

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JÉSSICA SILVEIRA FRANÇA

**RETENÇÃO DE ÁGUA EM SOLOS DE VÁRZEA E COXILHA SOB DIFERENTES
USOS NA REGIÃO SUL DO RIO GRANDE DO SUL**

**São Gabriel
2014**

JÉSSICA SILVEIRA FRANÇA

**RETENÇÃO DE ÁGUA EM SOLOS DE VÁRZEA E COXILHA SOB DIFERENTES
USOS NA REGIÃO SUL DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Gestão
Ambiental da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Gestão Ambiental.

Orientador: Mirla Andrade Weber

**São Gabriel
2014**

JÉSSICA SILVEIRA FRANÇA

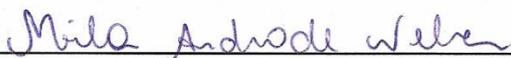
**RETENÇÃO DE ÁGUA EM SOLOS DE VÁRZEA E COXILHA SOB DIFERENTES
USOS NA REGIÃO SUL DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Gestão
Ambiental da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Gestão Ambiental.

Área de concentração: Solo e meio
ambiente.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 20 de março de 2014.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Mirla Andrade Weber
Orientadora
Unipampa



Prof. Ms. André Carlos Cruz Copetti
Unipampa



Prof. Dr. Leandro Homrich Lorentz
Unipampa

AGRADECIMENTO

À Deus, por me guiar e dar forças para continuar todo meu caminho.

À Universidade Federal do Pampa pela oportunidade de realização da graduação.

A minha orientadora Prof. Dr^a. Mirla Andrade Weber pelo apoio, ensinamento e transmissão do seu conhecimento, além de tudo isto, o incentivo e a confiança que me foi passada.

Ao professor Dr. Frederico Costa Beber Vieira pelos ensinamentos, sugestões e pelo convívio no laboratório com trabalhos de pesquisa realizados em colaboração.

À minha mãe, Vera Lucia de Ávila Silveira, que esteve sempre ao meu lado, se dedicando a mim, sendo companheira, e me ajudando nesta caminhada.

Aos meus tios, a qual não tenho como explicar minha gratidão pelo carinho recebido.

A todos os colegas de curso pelo convívio e amizade adquirida, principalmente aqueles os quais mesmo cansados do dia-a-dia trazem sua alegria, para continuar no estudo.

Ao meu namorado William Oliveira de Castro, pelo companheirismo e amizade, a qual me dedicou nos momentos que necessitei.

Aos professores que estão sempre prontos a nos ajudar e fazer com que a nossa formação seja a melhor possível.

Ao grupo de solos da Unipampa, pelo companheirismo e ajuda na realização de tarefas. Em especial a minha colega e companheira Luanna Corrêa Rangel, pela amizade e pela troca de experiência a qual realizamos.

A minha amiga e sempre companheira, Fabíula de Oliveira Zambrano, pela grande amizade durante toda esta trajetória.

Aos meus, amigos e colegas, que de uma forma ou outra contribuíram para que eu realizasse este trabalho.

Agradeço a todos, muito obrigada!

RESUMO

A importância do recurso solo para o adequado funcionamento do meio ambiente torna-se cada vez mais evidente. Devido à busca pela produtividade e sustentabilidade nos processos de produção, tem se buscado entender a qualidade do solo e como as práticas de uso e manejo interferem nesta. Por isto, este trabalho teve como objetivo avaliar a curva de retenção de água e quantificar o armazenamento máximo de água disponível às plantas em solos de área de coxilha e de várzea de uma propriedade rural da metade Sul do Rio Grande do Sul sob diferentes usos. As áreas avaliadas foram Coxilha Mata Nativa (CX-MN), Coxilha Campo Nativo (CX-CN), Coxilha cultivada em sistema de plantio direto com Soja (CX-S), Várzea com Mata Nativa (VZ-MN) e Várzea cultivada em preparo convencional com rotação arroz/soja (VZ-AS). Para o estudo foram avaliadas a granulometria, a curva de retenção de água no solo e o armazenamento de água disponível no solo nas camadas de 0 - 5, 5 - 10, 10 - 15, 15 - 20 e 20 - 30 cm de profundidade. Para a coleta das amostras foi aberto uma trincheira de 35 cm de profundidade, onde foram coletadas amostras deformadas para análise granulométrica, com uma repetição para cada camada. E para a determinação da curva de retenção de água, foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de anéis volumétricos de 4 cm de altura e 5,7 de diâmetro com 3 repetições por camada e local. Nestas amostras foram aplicadas tensões de 10 kPa, 33 kPa, 100 kPa, 500 kPa e 1100 kPa. A diferença entre a capacidade de campo (10 kPa) e o ponto de murcha permanente (1100 kPa) foi considerada como a capacidade de água disponível em cada tratamento. Os tratamentos CX MN, CX CN e VZ MN exibiram maior retenção de água nas primeiras camadas. Os maiores valores de AD foram encontrados nos tratamentos CX MN, CX CN e VZ MN. Já a área da várzea apresentou no PMP a maior retenção de água, mostrando uma correlação com a granulometria. Esta área possui maior quantidade de silte e argila, assim apresentando-se, com textura mais fina, comparado a área da coxilha. A umidade na CC nas áreas de coxilha não apresentou correlação com a textura. A curva de retenção de água no solo se mostra importante em estudos de qualidade dos solos, principalmente em áreas sob diferentes usos, para analisar seus efeitos no ambiente ao longo do tempo.

Palavras-Chave: Qualidade do Solo; Curva de Retenção de água; Água disponível.

ABSTRACT

The importance of soil resources for the proper functioning of the environment becomes increasingly evident. Due to the search for productivity and sustainability in production processes, has researched the quality of the soil and how the use and management practices affecting this. Therefore, this study aimed to evaluate the water retention curve and quantify the maximum storage of water available to plants in soils of upland and lowland areas of a farm in the Southern half of Rio Grande do Sul under different uses. The areas evaluated were upland under forest (CX-MN), upland under native grassland (CX-CN), upland cultivated with soybeans under no-till (CX-S), lowland under forest (VZ-MN) and lowland cultivated in conventional tillage rotation with rice / soybean (VZ-AS). For the study were evaluated particle size, the curve of water retention in the soil and available water storage in the soil layers 0 - 5, 5 - 10, 10 - 15, 15 – 20 and 20 - 30 cm depth. To collect the samples was open a trench 35 cm deep, where distorted samples were collected for particle size analysis, with a repeat for each layer. And for the determination of water retention curves, undisturbed soil samples were collected with the help of volumetric rings 4 cm in height and 5,7 cm in diameter, with 3 replicates per location and layer. In these samples were applied tensions of 10 kPa, 33 kPa, 100 kPa, 500 kPa and 1100 kPa. The difference between field capacity (10 kPa) and permanent wilting point (1100 kPa) was considered as the available water capacity in each treatment. The treatments MN CX, CX CN and MN VZ showed higher water retention in the first layers. The highest values of AD were found in treatments MN CX, CX VZ CN and MN. The lowland area showed the highest PMP that was correlated with particle size. This area has the highest amount of silt and clay, thus presenting with finer texture, compared to area upland. CC water in upland showed no correlation with the texture. The retention curve of soil water becomes important in studies of soil quality, especially in areas under different land uses to analyze its effects on the environment over time.

Keywords: Soil Quality; Water retention curve; Water Available.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Rio Grande do Sul. Em destaque o município de São Gabriel na cor vermelha.....	22
Figura 2 - Tratamentos em três áreas da coxilha.....	23
Figura 3 - Tratamentos em duas áreas na várzea.....	23
Figura 4 - Mapa da propriedade. Áreas da coxilha: mata nativa (a), campo nativo (b) e lavoura de soja (c). Áreas da várzea: mata nativa (d) e lavoura com rotação soja/arroz (e).	24
Figura 5 - Abertura da trincheira e coleta das amostras.....	25
Figura 6 - Etapas da análise granulométrica do solo.	27
Figura 7 - Mesa de tensão (a) e câmaras de Richards (b).	28
Figura 8 - Curva de retenção de água no solo, nos tratamentos da área da Coxilha (a) Mata Nativa, (b) Campo Nativo (c) Cultivado com Soja, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm de profundidade.	30
Figura 9 - Quantidade de areia ($g\ kg^{-1}$) com o aumento da profundidade (cm), nos tratamentos CX MN, CX CN, CX S, VZ MN e VZ AS.	32
Figura 10 - Curva de retenção de água no solo para a área da Várzea, nos tratamentos (a) Mata nativa e (b) Rotação Arroz/Soja, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm de profundidade.	34
Figura 11- Quantidade de argila ($g\ kg^{-1}$) com o aumento da profundidade (cm), nos tratamentos CX MN, CX CN, CX S, VZ MN e VZ AS.	35
Figura 12- Quantidade de silte mais argila ($g\ kg^{-1}$) com o aumento da profundidade (cm), nos tratamentos CX MN, CX CN, CX S, VZ MN e VZ AS.	35
Figura 13 - Dispersão dos valores de argila ($g\ kg^{-1}$) e a umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (1100 kPa), para a área da Coxilha (MN, CN e S), com pontos na cor vermelha e a área da Várzea (MN e AS), com cor azul.	38
Figura 14 - Dispersão dos valores de silte mais argila ($g\ kg^{-1}$) e a umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (1100 kPa), para a área da Coxilha (MN, CN e S) com pontos na cor vermelha e a área da Várzea (MN e AS) com cor azul.....	38
Figura 15 - Análise de regressão entre a argila ($g\ Kg^{-1}$) e a umidade volumétrica na Capacidade de Campo (10 kPa).	39

Figura 16 - Análise de regressão entre o silte mais argila (g Kg^{-1}) e a umidade volumétrica na Capacidade de Campo (10 kPa).....	40
Figura 17 - Armazenamento de água disponível (cm), nos tratamentos CX MN, CX CN, CX S, VZ MN e VZ AS, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm de profundidade. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 A influência do solo na qualidade ambiental	12
2.2 Solos da metade sul do Rio Grande do Sul	14
2.3 Propriedades Físicas do Solo	15
2.4 Água no Solo	17
2.5 Retenção de água no Solo	18
2.6 A influência da textura na retenção de água no solo	19
2.7 Matéria Orgânica do solo e sua influência na retenção de água	20
2.8 Curva de retenção de água no solo	20
2.9 Água Disponível no solo	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Localização do experimento e histórico da área	22
3.2 Amostragem do solo	24
3.3 Análise Granulométrica	26
3.4 Determinação da curva de retenção de água no solo	27
3.5 Água disponível	29
3.6 Análise Estatística	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Curva de retenção de água em solos sob diferentes usos	30
4.2 Água disponível	40
4.3 Conclusão	43
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Há alguns anos uma crescente preocupação com a utilização dos recursos naturais e a conservação do ambiente vem ocorrendo. Uma das formas para que seja alcançada a melhoria no ambiente é preocupação com a qualidade do solo. Esta é considerada como a capacidade de um solo funcionar dentro de seus limites, em um sistema natural ou manejado, e assim sustentar o desenvolvimento de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água, promovendo assim o bem estar de plantas, animais e do ser humano (DORAN, 1997).

A utilização antrópica do solo, pelo revolvimento excessivo e manejo incorreto, pode causar a degradação deste recurso, o qual é um dos principais para o funcionamento adequado dos ecossistemas. A qualidade do solo tem sido tema de grande relevância, principalmente pela necessidade da maior sustentabilidade dos sistemas de produção, além da preocupação com o aumento da produtividade das culturas, o que é devido a sua relação com a qualidade dos recursos que nos cercam, bem como o ar e a água.

Assim, alterações na qualidade do solo podem levar a obtenção de uma água de qualidade inferior e um ambiente atmosférico poluído. Isto acontece porque o solo possui várias funções no ambiente, dentre elas estão, atuar como meio para o desenvolvimento de plantas, fazer a regulagem e armazenamento de água na natureza, estocar e gerar a ciclagem de elementos na biosfera, além de servir como tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de compostos nocivos ao ambiente (LARSON & PIERCE, 1994; KARLEN et al., 1997).

A qualidade do solo é determinada pela qualidade física, química e biológica deste, sendo que a física está relacionada com as seguintes funções: promover a infiltração, retenção e disponibilização de água as plantas, águas superficiais e subsuperficiais; servir para o manejo e ter resiliência à degradação; permitir trocas de calor e de gases com a atmosfera e as raízes das plantas; além de permitir o crescimento e desenvolvimento das plantas. Estas funções são muitas vezes modificadas, pois o solo sofre perturbações que afetam a sua capacidade. O cultivo do solo é um dos fatores responsáveis pelas modificações que podem ocorrer em seus atributos físicos, principalmente na estrutura, pela forma de manejo que é executada. Quanto mais intensivo for o cultivo, maior o risco de este degradar o solo

e, assim prejudicar a retenção de água neste (BRADY & WEIL 1989). Por isso, é indispensável à busca por sistemas agrícolas e manejos adequados que sejam sustentáveis, melhorem ou mantenham a estrutura física do solo, para que este seja capaz de exercer suas funções, para o crescimento das plantas, favorecer a entrada e armazenamento de água, oxigênio e nutrientes (BLAINSKI et al., 2008).

Devido a preocupações relacionadas com a produção de alimentos e também pensando na melhoria da capacidade de produção, a utilização de terras de várzea surge como um meio do aumento da produtividade, visando utilizar de forma coerente os recursos que o meio oferece. No RS existem extensas áreas de várzeas, as quais são utilizadas principalmente com arroz irrigado. Entretanto, nos últimos anos a cultura da soja tem avançado sobre estas áreas. Porém, este tipo de solo apresenta alguns problemas que podem ser intensificados de acordo com o tipo de manejo adotado, como monocultivo, e a cultura a qual será implantada. Por isso, torna-se necessário, estudos de avaliação das propriedades físicas frente a diferentes usos dos solos de várzea, somado ao fato que no RS estes estudos nestas áreas são escassos.

Pela importância da água no solo, tanto para o desenvolvimento das culturas, como para a estabilidade dos ecossistemas, torna-se importante a avaliação de parâmetros relacionados a esta variável no solo. Um destes relaciona-se a retenção de água no solo, sendo esta utilizada como um dos parâmetros de qualidade do solo (DORAN & PARKIN, 1994). A curva de retenção de água no solo tem sido utilizada para quantificar a água disponível no solo, e como o manejo pode afetar o seu comportamento. Ela representa a relação entre o conteúdo de água e a tensão da água no solo. Sendo que este conteúdo de água em determinado potencial vai depender da estrutura, distribuição e tamanho dos poros (BEUTLER et al., 2002), que podem ser afetados pelo uso e manejo do solo (TORMENA & ROLOFF, 1996; BEUTLER et al., 2001; STONE et al., 2002; STEPNIEWSKI et al., 2002; BEUTLER et al., 2006;).

Devido ao exposto acima, este trabalho teve como objetivo avaliar a curva de retenção de água e quantificar o armazenamento máximo de água disponível às plantas em solos de área de coxilha e de várzea sob diferentes usos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A influência do solo na qualidade ambiental

No ambiente em que vivemos vários são os fatores que nos cercam e influenciam nossa qualidade de vida, como a qualidade do ar e da água, que são essenciais para nos mantermos saudáveis e para manutenção dos ecossistemas. Estes temas são abordados em diversas áreas e locais, até mesmo nas escolas, visando à conscientização da importância de sua preservação. Recentemente a qualidade do solo tem recebido mais atenção na qualidade ambiental, visto que era aceito somente como fator determinante para a melhoria da produtividade e o rendimento das culturas agrícolas. Atualmente, este tema passou a ser de relevância, sendo crescente a preocupação com a preservação deste recurso, visto que a qualidade deste influencia tanto a qualidade do ar quanto a da água, conseqüentemente, com a produtividade das culturas e a melhoria de um ecossistema, determinando, assim, a qualidade do ambiente.

A determinação da qualidade do solo é complexa, pois há muitos fatores que o afetam, sendo diferente da determinação da água e do ar, que possuem padrões de qualidade padronizados. A qualidade do solo depende dos atributos intrínsecos, de fatores externos, como as práticas de uso e manejo e das interações com o ecossistema.

Um solo pode ser determinado como de boa qualidade quando apresentar a capacidade de cumprir suas funções, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para manter a produtividade, a biodiversidade vegetal e animal e a melhoria da qualidade da água e do ar, permitindo o bem estar das plantas, animais e seres humanos e promovendo a melhoria do ambiente (DORAN & PARKIN, 1994; DORAN, 1997).

A determinação de indicadores da qualidade do solo se torna necessária para o monitoramento da qualidade ambiental, principalmente em áreas com problemas de degradação, que sofreram com ação antrópica, tornando-se áreas de baixa produtividade e deixando de promover o bem estar ambiental. Portanto, o solo deve ser considerado como um importante recurso natural, que desempenha funções essenciais para estabilidade do ecossistema. E sua degradação pode levar a perda de qualidade do meio ambiente, ou seja, quando o solo deixa de exercer suas

funções como: produção de biomassa, armazenamento e filtragem de água, ciclagem de nutrientes, servir como pool de carbono e de biodiversidade.

A ação antrópica exerce fortes influências no processo de degradação dos solos, principalmente, pelo seu uso inadequado, como pelo revolvimento intensivo associado a solo descoberto, ao esgotamento de nutrientes, causados pela exportação e não reposição destes, pelo excesso de animais sobre uma determinada área, causando compactação e, conseqüente, perda da qualidade física deste, pela perda de solo por erosão hídrica ou eólica, pela poluição ao se colocar grandes quantidades de resíduos, tanto urbanos quanto industriais, e, conseqüentemente, pela emissão de gases do efeito estufa, que é um dos problemas ambientais enfrentados atualmente (COX et al., 2000; GIARDINA and RYAN 2000; KIRSCHBAUM 2000; LUO et al., 2001; TANG et al., 2003).

Portanto, sendo o solo um recurso natural dinâmico, e visto que seu uso inadequado pode levar a perda da estabilidade do ecossistema e contribuir para problemas ambientais severos, como enchentes, deslizamentos de terras, assoreamento dos rios, contaminação das águas, aquecimento climático, entre outros, torna-se necessária a busca por alternativas de uso que promovam a conservação e manutenção da qualidade deste recurso. Isto se deve ao fato de partes destes problemas enfrentados atualmente com relação ao uso intensivo de recursos naturais serem ocasionados pelo uso ou manejo inadequado do ser humano em determinadas áreas.

Uma das atividades antrópicas que pode levar à degradação do solo é a agropecuária. Atualmente o modo de produção deste ramo de atividade é apontado muitas vezes como não sustentável e depreciativo, causando assim problemas de degradação do solo, que é uma importante variável na produção e produtividade agropecuária (CAMPOS, et al., 2012). A atividade agropecuária pode levar a problemas de degradação física do solo, o que tem levado ao aumento dos estudos sobre a qualidade física deste, visto que a qualidade física do solo afeta os rendimentos das culturas agrícolas. Diante das grandes limitações físicas ao desenvolvimento das plantas e também aos impactos ambientais relacionados à estrutura do solo afetada, esta propriedade tem recebido maiores atenções nos últimos anos.

2.2 Solos da metade sul do Rio Grande do Sul

A Depressão Central do RS é coberta principalmente por campo e vegetação rasteira. Devido a variações ocorridas na paisagem desta região, o relevo pode ser dividido em dois tipos predominantes, um mais plano, denominado de área de várzea, e outro mais declivoso, as áreas de coxilha. Nestas áreas formam-se diferentes tipos de solo, como os Argissolos nas zonas com melhor drenagem e Planossolos nas áreas mal drenadas (várzeas) (STRECK et al., 2008; DALMOLIN & PEDRON, 2004). Nas áreas de coxilha comumente aparecem solos bem drenados de granulometria mais grosseira. Dentro desta região localiza-se o município de São Gabriel. Este possui extensa área territorial com coxilhas e várzeas. Nas várzeas a classe de solo predominante é o Planossolo, apresentando como característica principal a deficiência de drenagem. Este é de profundidade média, com cores bruno e acinzentadas em horizontes superficiais e de cor amarelada nos horizontes profundos. Geralmente são plásticos e pegajosos, pela presença de argilominerais 2:1, sendo o material de origem siltitos e argilitos. Devido a estas características são normalmente utilizados para pastagens, arroz irrigado e nos últimos anos, para o cultivo da soja. Já em relevo mais ondulado, nas áreas de coxilha, o solo dominante é o Argissolo (STRECK et al., 2008). Estes possuem aptidão para pastagem ou lavouras para cultura de sequeiro, como a soja.

Os solos de várzea são caracterizados por apresentarem condições variadas de deficiência de drenagem, hidromorfismo, sendo encontrados nas planícies de rios, lagos e lagunas, ocupando extensas áreas, com relevo plano a suavemente ondulado. As áreas no Rio Grande do Sul que abrangem solos de várzea correspondem a aproximadamente 5,4 milhões de hectares, representando 20% da área do Estado do Rio Grande do Sul, sendo o cultivo de arroz irrigado a monocultura predominante exercida nestas áreas (MAPA, 2006).

Uma alternativa utilizada no Rio Grande do Sul, nos últimos anos, nestas áreas de várzea é a rotação de cultura soja e arroz irrigado, sendo a soja, uma cultura de sequeiro, adaptada a solos profundos, bem drenados e com boa capacidade de retenção de água, um ambiente diferente do encontrado em solos de várzea, os quais apresentam condições diferentes do ambiente do cultivo desta espécie em determinados locais (MAPA, 2006).

Devido a isto, é necessário que estudos e pesquisas sejam realizados nestes locais, com a inserção destas culturas de sequeiro em áreas de várzea, para verificar os impactos causados no solo e no comprometimento de suas funções. Visto que as propriedades físicas do solo vêm sendo utilizadas para avaliar a qualidade estrutural em terras de várzea, que além de apresentarem limitações naturais, estas podem ser intensificadas com o uso de implementos agrícolas (LIMA et al., 2008; LOUZADA et al., 2008). Poucos estudos sobre os efeitos da implantação da cultura de soja nestas áreas estão sendo feitos, por isso torna-se importante pesquisas e trabalhos científicos que abordem os efeitos na qualidade do solo e do ambiente, com a inserção desta cultura em áreas de várzea.

2.3 Propriedades Físicas do Solo

Um solo pode apresentar degradação química, biológica e física. Sendo a última uma das mais sérias. As propriedades físicas do solo podem servir como importantes parâmetros na avaliação da qualidade deste e, conseqüentemente, do ambiente (DORAN & PARKIN, 1994). Estudos realizados demonstram que o manejo do solo pode alterar a estrutura deste, influenciando algumas propriedades essenciais para o ideal funcionamento do sistema solo, podendo levar a sua degradação (STRECK et al , 2004; SUZUKI et al, 2007). A má qualidade física do solo pode se manifestar de várias formas. Exibe sintomas como: baixa capacidade de infiltração de água, maior escoamento superficial, má aeração, dificuldade de crescimento de raízes e problemas de operacionalização. Portanto, a melhoria destas condições visa um manejo adequado, tanto no cultivo, na irrigação, na drenagem que promova melhorias na aeração, no controle da infiltração e evaporação, na regulação da temperatura do solo, na prevenção de erosão, além da melhoria na estrutura do solo (HILLEL, 2003).

Para a estrutura do solo estar adequada ao crescimento das plantas deve apresentar poros para a infiltração, armazenamento e transmissão de água, além de ter uma boa aeração, para que não impeça o crescimento das raízes (OADES, 1984). Sendo assim, torna-se necessário manejar da melhor forma possível o solo, buscando manejos que diminuam os impactos que acabam degradando sua estrutura física e perdendo a capacidade de exercer suas funções como o

crescimento de raízes, favorecendo o fluxo de água, nutrientes e oxigênio (BLAINSKI et al., 2008).

O tráfego de máquinas agrícolas conduz à modificações na porosidade do solo, que afetam a distribuição dos poros, o que influencia no conteúdo de água armazenada no solo, na entrada de ar e conseqüentemente no desenvolvimento das culturas (LIMA et al., 2005). A qualidade da estrutura e, conseqüentemente, da porosidade do solo interfere no desempenho do movimento da água, que determina uma ampla variedade de processos físicos, químicos e biológicos. Estes apresentam grande influência sobre os atributos do solo, como na formação, no comportamento do solo, na intemperização de minerais, na decomposição da matéria orgânica, na contaminação de águas subterrâneas e no crescimento das plantas. Além disto, as interações solo-água definem as taxas de perdas por lixiviação, evapotranspiração e escoamento superficial, o equilíbrio de água e ar no solo, a taxa de mudança na temperatura, o ambiente dos organismos do solo, e o armazenamento de água para as plantas (BRADY & WEIL, 1989).

Contudo, são vários os fatores que influenciam a dinâmica da água no solo e a disponibilização às culturas, pois para que esta possa completar seu ciclo é necessário haver no solo uma determinada quantidade de água. Entretanto, esta é afetada pela quantidade e distribuição de água da chuva, capacidade que o solo irá ter de armazenar esta água, e a evaporação do local, que se torna diferente, dependendo das condições climáticas do local (LEPSCH, 2011).

Devido a alterações nestas propriedades, alguns fatores necessários para a melhoria no ambiente são afetados, como a infiltração de água, a entrada de ar, a penetração de raízes, prejudicando assim o desenvolvimento das plantas. Além do armazenamento e a filtragem da água, a capacidade de absorver poluentes, além de servir como dreno para as emissões dos gases do efeito estufa. Para Streck (2007), a qualidade do solo se dá devido a capacidade de infiltração de água no solo, a retenção desta e também pela disponibilização de água, pelas trocas de calor de gases para atmosfera e com as raízes das plantas e pelo crescimento das plantas. A textura e a estrutura do solo, através de seus poros, são quem define a porosidade do solo, que determinará o comportamento físico hídrico do mesmo. A textura não é influenciada ou modificada pelo uso e manejo do solo. Já a estrutura pode ser radicalmente modificada e degradada pelo mau uso do solo.

Diante do exposto, é fundamental a busca por práticas que recuperem a degradação causada a estes, e minimizem ou melhorem os impactos negativos provocados ao ambiente.

2.4 Água no Solo

A água é um dos recursos naturais essenciais à sobrevivência dos seres humanos e que tem enfrentando diversos problemas com relação à sua quantidade e qualidade. Problemas de contaminação e escassez são cada vez mais frequentes, levando a aumento da preocupação ambiental com relação ao uso deste recurso. Diante disto, torna-se imprescindível entender como acontece o movimento da água na natureza, o que compreende sua passagem pelo solo, que regula o ciclo hidrológico e armazena água para as necessidades das plantas. Por isto, para a melhor compreensão dos fatores que afetam a quantidade e qualidade da água, é essencial conhecer o ciclo hidrológico.

De uma forma mais resumida, pode-se entender o ciclo hidrológico ou ciclo da água por uma sequência de eventos periodicamente repetidos, em que a água evapora dos lagos, rios e oceanos, condensa e cai sobre o solo, na forma de chuva ou neve, onde pode permanecer armazenada por um período de tempo, onde é disponibilizada para as plantas e organismos do solo. Mas quando a capacidade do solo em reter esta água é alcançada, esta pode mover-se vertical e/ou lateralmente, alimentando, assim, os lençóis freáticos e posteriormente, os lagos, rios e oceanos, onde o processo iniciará novamente. O ciclo hidrológico refere-se à troca contínua de água entre a hidrosfera, a atmosfera e a pedosfera. A água ocupa grande volume no solo, junto com o ar e os sólidos. Esta água que compõe o solo é de extrema importância ao desenvolvimento das plantas e para os organismos que vivem no solo e acima dele. Mas é importante que esta água armazenada no solo esteja disponível às plantas, o que depende da qualidade do solo.

Devido às diversas possibilidades de uso da água, torna-se difícil definir qual uso é mais importante, mas sugere-se uma ordem como sendo as prioridades básicas, o abastecimento público de água potável, proteção à fauna e ao meio ambiente, uso agropastoril e uso industrial (BRANCO et al., 1983). Além das necessidades básicas, destaca-se o uso para agricultura, onde esta é amplamente

empregada, e por isto requer que seja utilizada de forma adequada, com o máximo de aproveitamento e o mínimo possível de desperdícios.

Esta água utilizada pela agricultura faz parte de algumas das etapas do ciclo hidrológico. Ela é armazenada no solo, consumida e transpirada pelas plantas. Diante disto é importante salientar que a qualidade da água está estreitamente relacionada à qualidade do solo. Um solo degradado pode acabar não disponibilizando de formada adequada água para os organismos vivos, bem como o não abastecimento de rios e lagos. Além disso, é no solo que ocorre o processo de filtragem de água, uma das etapas do ciclo hidrológico, para que esta possa voltar à atmosfera sem contaminações, não afetando o meio ambiente.

2.5 Retenção de água no solo

A retenção de água no solo expressa a relação entre o conteúdo de água neste e o potencial matricial ou tensão de água no solo. Alguns solos apresentam capacidades diferentes de reter a água, como os solos argilosos, que possuem maior capacidade de retenção do que solos arenosos.

A estrutura do solo é um importante fator relacionado à retenção de água no solo, pois o conteúdo de água neste é determinado tanto pela estrutura quanto pela distribuição e o tamanho dos poros (BEUTLER et al., 2002). Os macroporos do solo não retém água, enquanto os microporos são os responsáveis pela sua retenção. A distribuição do tamanho de poros depende da textura do solo e da estrutura do solo, sendo que esta última depende do teor de matéria orgânica no solo. O manejo do solo e as práticas agrícolas podem afetar sua estrutura, por meio da mudança no teor de MOS e/ou alteração do tamanho e quantidade dos poros, podendo levar a degradação física do solo.

Quando o solo se encontra degradado, sua estrutura é afetada, alterando assim a distribuição dos poros, afetando a dinâmica da água. É importante salientar que o fluxo de gases e o movimento da água no solo estão relacionados com o volume de macroporos. Isto significa que a oxigenação, a capacidade de infiltração e a distribuição de água no perfil dependem desta. Para que aconteça uma boa oxigenação e a entrada de água é necessária uma quantidade e continuidade destes poros no perfil, bem como sua abertura à superfície.

Esta diminuição dos poros, principalmente da macroporosidade, muitas vezes é ocasionada pela compactação do solo (SILVA et al., 1986). Assim, poderia haver com a diminuição da macroporosidade, um aumento dos microporos, aumentando, conseqüentemente, a capacidade de armazenamento de água pelo solo (BERTOL & SANTOS, 1995). A degradação da estrutura do solo também pode implicar em maiores problemas ambientais, como a emissão de gases do efeito estufa e a não descontaminação dos poluentes que antes eram filtrados pelo solo. Este último pode gerar prejuízos econômicos com mais gastos com o tratamento de águas, problemas sanitários e até mesmo falta de água potável à população em alguns locais.

Assim, tornam-se necessários estudos para avaliar a retenção de água no solo, como uma ferramenta de monitorar a qualidade deste, frente ao uso de diferentes manejos do solo, buscando práticas mais adequadas que possam auxiliar na sustentabilidade dos sistemas de produção e promover a qualidade ambiental.

2.6 A influência da textura na retenção de água no solo

A composição física de um solo define suas características, sendo a granulometria considerada como uma característica do solo. Esta representa as proporções de areia, silte e argila, ou seja, a distribuição do tamanho das partículas. A retenção de água no solo se dá pelos fenômenos de capilaridade e adsorção. Quando os poros encontram-se cheios de água, esta é retida pela capilaridade, quando estes começam a esvaziar a retenção de água ocorre por adsorção (REICHARDT & TIMM, 2004). Segundo Bernardo et al., (2006) a textura é um dos fatores que afetam estes fenômenos. As forças de adsorção vão depender da espessura do filme de água que vai recobrir as partículas do solo, que depende da área superficial específica (ASE). Solos argilosos por possuírem maior ASE vão reter mais água do que solos arenosos. Além disso, solos argilosos possuem maior porosidade total e maior volume de microporos, onde ocorre a retenção de água por capilaridade, que solos arenosos.

2.7 Matéria Orgânica do solo e sua influência na retenção de água

A matéria orgânica também interfere no comportamento físico, químico e biológico do solo. Ela tem importante contribuição na retenção de água no solo (DORAN & PARKIN, 1994), e sua presença no solo pode ter grande influência sobre o comportamento físico-hídrico (BRADY, 1984). Sua principal função física consiste em promover a formação de agregados e, conseqüentemente, poros no solo. Assim a MOS influencia na distribuição do tamanho dos poros, em sua estabilidade, na retenção e disponibilidade de água no solo. Somado a isso, a MOS possui elevada ASE e reatividade, também promovendo a retenção de água no solo.

Assim, se houver mudanças no conteúdo de matéria orgânica do solo, principalmente pelo uso do solo, haverá mudança na força de retenção de água no solo e na distribuição do tamanho e continuidade dos poros (COSTA et al., 2003; ARAÚJO et al., 2004), o que afetará toda dinâmica da água no solo.

2.8 Curva de retenção de água no solo

Para obtenção de uma estimativa mais rápida da disponibilidade de água no solo para as plantas e determinar a quantidade máxima ou mínima de água armazenada no solo na profundidade desejada, se torna necessária a avaliação da curva de retenção de água no solo (CRA). Na CRA pode-se avaliar a quantidade máxima de água que determinado solo pode armazenar, chamada de capacidade de campo (CC), e o armazenamento de água, considerado não disponível à planta, chamado de ponto de murcha permanente (PMP). Esta mostra o volume de água retido no solo em diferentes tensões (expressa pela relação entre o potencial matricial do solo e do teor de água).

A curva de retenção de água no solo também pode ser considerada uma importante ferramenta utilizada como indicador da qualidade do solo e para estimativa da sustentabilidade ambiental (SILVA et al., 2006), auxiliando na escolha das melhores práticas de manejo e uso do solo que promovam a sua qualidade.

2.9 Água Disponível no solo

A água que se encontra no solo, a qual está disponível as plantas, normalmente é utilizada para mensurar sua relação com o crescimento das plantas e também para verificar a qualidade física do solo (REYNOLDS et al., 2002; REICHERT et al., 2003). É importante ressaltar que a quantidade de água retida no solo não é a mesma que se encontra disponível as plantas. Devido a isto, torna-se importante para o desenvolvimento de culturas e dos organismos que vivem no solo que esta água esteja disponível e, portanto, o solo deve apresentar condições favoráveis.

A água disponível pode ser considerada como a quantidade de água compreendida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (VEIHMEYER & HENDRICKSON, 1950; HILLEL, 1980; HILLEL 1998). A capacidade de campo (CC) refere-se ao limite superior de armazenamento de água no solo, já o ponto de murcha permanente (PMP) corresponde ao limite inferior de disponibilidade de água as plantas. Pode-se dizer que a água disponível é a quantidade encontrada entre estes dois limites. Geralmente a CC está relacionada mais com a tensão de 10kPa do que a de 33 kPa (SILVA et al., 1994). Para Veihmeyer & Hendrickson (1950) e John Van Lier (2000) o ponto de murcha permanente é o teor de água no solo em que as folhas de uma planta que cresce ao solo e atinge um ponto de murcha que não conseguirá mais se recuperar, mesmo se for colocada em local com água em abundância. Este teor de água retido a potenciais de água menores que 1500 kPa (BRADY & WEIL, 1989).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento e histórico da área

O estudo foi realizado em uma propriedade rural no município de São Gabriel/RS, localizado na região fisiográfica da Campanha Gaúcha (Figura 1). O clima da região é classificado sendo Köeppen, como subtropical úmido (Cfa), com temperaturas médias anuais de 19°C, temperatura mínima de 5°C e máxima de 31°C. Já a precipitação média anual é superior a 1300 mm e inferior a 1800 mm, com regime de chuvas hibernais (MORENO,1961). As áreas estudadas localizam-se em duas posições na paisagem (coxilha e várzea) dentro da propriedade. Na várzea encontram-se solos hidromórficos, Planossolos, e nas coxilhas predominam Argissolos (STRECK et al., 2008). A área está delimitada próximo as coordenadas 30°04'50S e 53°56'37" O.

Figura 1 - Mapa do Rio Grande do Sul. Em destaque o município de São Gabriel na cor vermelha.



Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Gabriel_\(Rio_Grande_do_Sul\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Gabriel_(Rio_Grande_do_Sul))

Tratamentos

Na coxilha (CX) foram amostradas 3 áreas (Figura 2):

- Mata nativa (MN)
- Campo nativo pastejado (CN). Na década de 80 esta área foi cultivada em preparo convencional com soja.
- Lavoura de soja (S). Esta área vem sendo cultivada com sucessão soja/azevém pastejado cultivados em sistema de plantio direto.

Figura 2 - Tratamentos em três áreas da coxilha.



Fonte: Mirla A. Weber, 2012.

Na várzea foram amostradas 2 áreas (Figura 3):

- Mata nativa (MN).
- Lavoura com rotação soja/arroz (AS). Esta área é cultivada com arroz há pelo menos 30 anos. A cultura da soja entrou no sistema de rotação há 10 anos.

Figura 3 - Tratamentos em duas áreas na várzea.



Fonte: Mirla A. Weber, 2012.

Na Figura 4 encontra-se a distribuição das áreas avaliadas dentro da propriedade rural.

Figura 4 - Mapa da propriedade. Áreas da coxilha: mata nativa (a), campo nativo (b) e lavoura de soja (c). Áreas da várzea: mata nativa (d) e lavoura com rotação soja/arroz (e).



Fonte: Google Earth.

Avaliações realizadas:

Para este estudo foram avaliados a granulometria, a curva de retenção de água no solo e o armazenamento de água disponível no solo nas camadas de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 15 cm, 15 – 20 cm e 20 – 30 cm de profundidade.

3.2 Amostragem do solo

A coleta das amostras foi realizada em novembro de 2012 nas áreas de mata nativa e campo nativo da coxilha. Nas demais áreas a amostragem foi realizada em fevereiro de 2013.

Para a coleta das amostras foi aberta uma trincheira de 35 cm de profundidade em cada local de estudo (Figura 5). Para a granulometria foram coletadas amostras deformadas em cada camada, sendo uma repetição de campo por camada. As mesmas foram armazenadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Solos no campus São Gabriel da Universidade Federal do Pampa. Para a curva de retenção de água no solo foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de anéis volumétricos de 4 cm de altura e 5,7 de diâmetro em número de três repetições por camada e local. As amostras indeformadas foram embaladas em papel filme, acondicionadas e levadas ao Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 5 - Abertura da trincheira e coleta das amostras.



Fonte: Mirla A. Weber, 2012.

Análises Realizadas

3.3 Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada seguindo o Método da pipeta (EMBRAPA, 1997) com algumas modificações. Para esta análise foram colocadas 20 g de solo, já peneiradas em peneira de 2 mm, em frascos snap cap, com 10 mL de solução hidróxido de sódio 1 M e 50 ml de água destilada. Após, estas foram colocadas em agitador horizontal, sendo agitadas por 16 horas à 60 rpm. Após esta etapa as amostras foram transferidas para uma proveta de 1000mL, que era completada com água destilada. A solução dentro das provetas foi agitada com bastão apropriado por 30 segundos. Neste momento foi verificada a temperatura da solução. Após o período necessário para a descida da fração silte, foram coletados os primeiros 100 mL da proveta. O restante da solução contida na proveta foi passada em peneira 0,053 mm para retenção da areia. A areia foi colocada em frascos snap-cap e levada a estufa a 105°C para secagem. Os 100 mL amostrados também foram acondicionados em frascos snap-cap e levados para estufa a 105°C. Após a secagem foram quantificados os pesos de argila e areia na amostra. A fração silte foi obtida pela subtração da areia e da argila na amostra de solo (Figura 6).

Figura 6 - Etapas da análise granulométrica do solo.



Fonte: Jéssica S. França, 2013.

3.4 Determinação da curva de retenção de água no solo

Para a determinação da curva de retenção de água no solo as amostras indeformadas foram submetidas a diferentes tensões (10, 33, 100, 500 e 1100 kPa). A tensão de 10 kPa foi aplicada em mesa de tensão (Figura 7a). Já as demais tensões foram aplicadas em Câmaras de Richards (Figura 7b). Antes da aplicação das tensões, cada amostra dentro de seu respectivo anel, foi saturada com água em uma bandeja e pesada. Posteriormente a esta etapa as amostras foram colocadas na mesa de tensão para a aplicação da tensão de 10 kPa, sendo pesadas após a estabilização das mesmas naquela tensão. Em sequência as amostras foram transferidas para as Câmaras de Richards onde foram aplicadas as demais tensões, sendo que após a estabilização a cada tensão as amostras foram pesadas. Após a

pesagem na tensão de 1100 kPa as amostras foram colocadas em estufa 105°C para secagem com posterior pesagem das amostras.

Figura 7 - Mesa de tensão (a) e câmaras de Richards (b).

(a)



(b)



Fonte: Michael Mazurana, 2010.

3.5 Água disponível

O armazenamento de água disponível no solo de cada área foi calculado na camada de 0 a 30 cm de profundidade a partir da soma das 5 camadas avaliadas. O armazenamento de água disponível foi calculado pela diferença entre o armazenamento no potencial de 10kPa (considerado como o armazenamento na capacidade de campo) e o armazenamento no potencial 1100 kPa (considerado o do ponto de murcha permanente), conforme a fórmula abaixo:

$$AD = CC - PMP \quad (1)$$

AD= Água disponível em cm

CC = Capacidade de campo em cm

PMP = Ponto de murcha permanente em cm

O armazenamento de água em cada tensão (10 e 1100 kPa) foi obtido pela multiplicação da umidade volumétrica da amostra pela espessura da camada avaliada, conforme fórmula abaixo:

$$A = Uv \times \text{Camada} \quad (2)$$

A = Armazenamento de água em cm

Uv = Umidade volumétrica em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

3.6 Análise Estatística

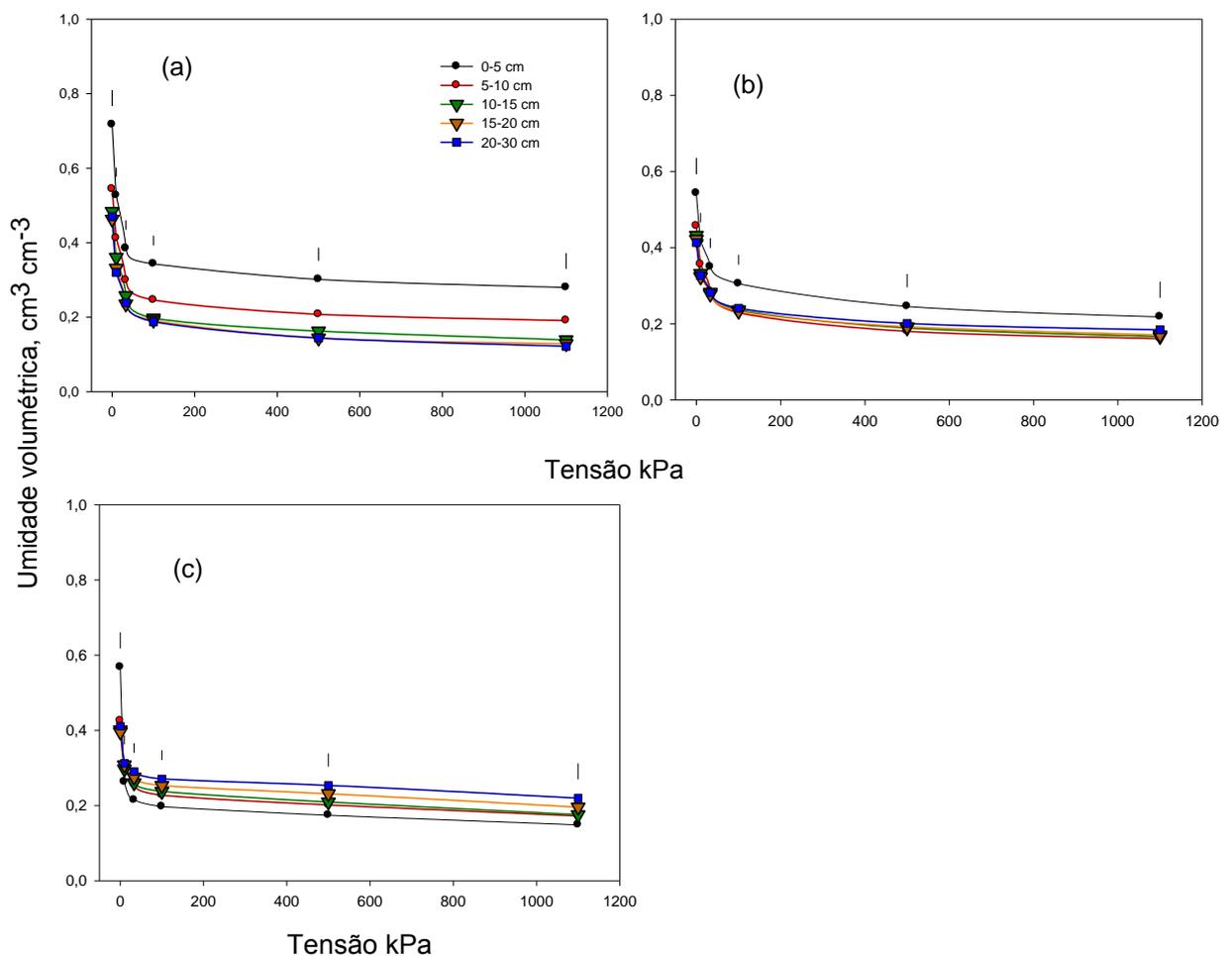
A análise estatística dos dados foi realizada em parcelas subdivididas, sendo 5 tratamentos, 5 profundidades e 3 repetições para as umidades em cada tensão da curva de retenção de água. Nesta etapa foi utilizado o Teste Tukey ($P < 0,05$) para comparação entre médias. Para a análise estatística da água disponível foi utilizada a ANOVA com o Teste Tukey ($P < 0,05$) para comparação das médias. Para estas etapas foi utilizado o software Assistat (Versão 7.7 beta). Ainda foram feitas análises de correlação entre os resultados das diferentes análises.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Curva de retenção de água em solos sob diferentes usos

Na área da coxilha analisou-se o movimento de água no solo sob diferentes usos (CX MN, CX CN e CX AS) realizados em cada local (Figura 8). Observou-se que a curva de retenção de água diferenciou-se para os tratamentos e para as camadas amostradas, mostrando interação significativa entre eles, sendo diferente para sistemas de uso e manejo do solo. Isto indica que diferentes atributos do solo influenciaram o conteúdo de água retido em diferentes tensões.

Figura 8 - Curva de retenção de água no solo, nos tratamentos da área da Coxilha (a) Mata Nativa, (b) Campo Nativo (c) Cultivado com Soja, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm de profundidade.



Na curva de retenção de água pode-se notar que com o aumento da tensão aplicada, houve diminuição da retenção de água no solo. Além disso, notou-se que a partir da tensão de 600 kPa, as curvas de retenção de água para estas áreas começaram a estabilizar.

No tratamento CX MN foi encontrado o maior conteúdo de água volumétrica na camada de 0-5 cm de profundidade. Com o aumento da profundidade houve diminuição do conteúdo de água retido. Segundo Klein & Libardi (2000), em condições de mata nativa, os valores de macroporosidade elevados podem prejudicar a retenção de água no solo.

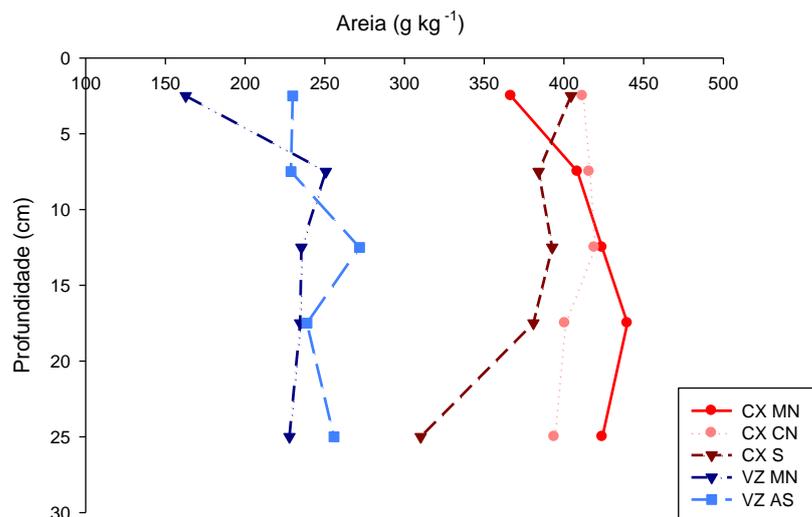
Este fato pode ter ocorrido devido ao maior conteúdo de areia neste tratamento. Pois para altos conteúdos de água, os fenômenos capilares tornam-se mais importantes na retenção de água. Já em menores conteúdos de água, onde o fenômeno de adsorção ocorre, esta retenção passa a depender mais da textura e da superfície específica do solo (HILLEL, 1970; DEMATTÊ, 1988).

A maior capacidade de campo (10 kPa) apresentada na CX MN na primeira camada, $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pode estar relacionada com os altos teores de matéria orgânica, visto que possui grande influência sobre a retenção de água no solo (DORAN & PARKIN, 1994), além de um efeito significativo sobre o comportamento físico-hídrico (BRADY, 1984). A maior retenção de água na mata nativa possivelmente se deve ao maior teor de MOS e melhor estrutura do solo formada. Possivelmente a CX MN apresente melhor agregação e maior macroporosidade, fazendo assim com que a água infiltre melhor, pois o movimento de água no solo e sua distribuição no perfil estão intimamente relacionados com o volume de macroporos do solo (SILVA, et al., 2005).

Em um estudo realizado por Beutler et al., (2002), ao avaliar diferentes sistemas de usos, como mata nativa, cultivo com cana de açúcar e algodão, observou-se que a mata nativa estudada apresentou o melhor teor de matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo. Entretanto os autores não observaram maior a retenção de água no solo, sendo os demais tratamentos, ou seja, os solos cultivados que apresentaram a maior retenção de água e também a maior capacidade de água disponível. Os autores também observaram que a densidade do solo foi um dos atributos que teve maior importância neste estudo do que a matéria orgânica.

A mata nativa proporciona um ambiente com maior cobertura do solo, assim esta pode trazer benefícios para qualidade física do solo. Alguns destes benefícios são para Salton & Mielniczuk (1995) a cobertura de resíduos no solo, podendo trazer a maior retenção de umidade. Já conforme, Centurion & Demattê (1985), a presença da matéria orgânica pode trazer melhorias para a estrutura física como aumento da capacidade de troca de cátions e também aumento na retenção de água no solo. Ainda na mata nativa, houve com aumento da profundidade diminuição da retenção de água. Entretanto estes baixos valores encontrados na mata nativa da coxilha nas últimas camadas podem estar relacionados com o menor teor de MOS e a alta quantidade de areia encontrada, que aumentou seu teor em profundidade (Figura 9).

Figura 9 - Quantidade de areia (g kg^{-1}) com o aumento da profundidade (cm), nos tratamentos CX MN, CX CN, CX S, VZ MN e VZ AS.



Fonte: Jéssica S. França, 2014

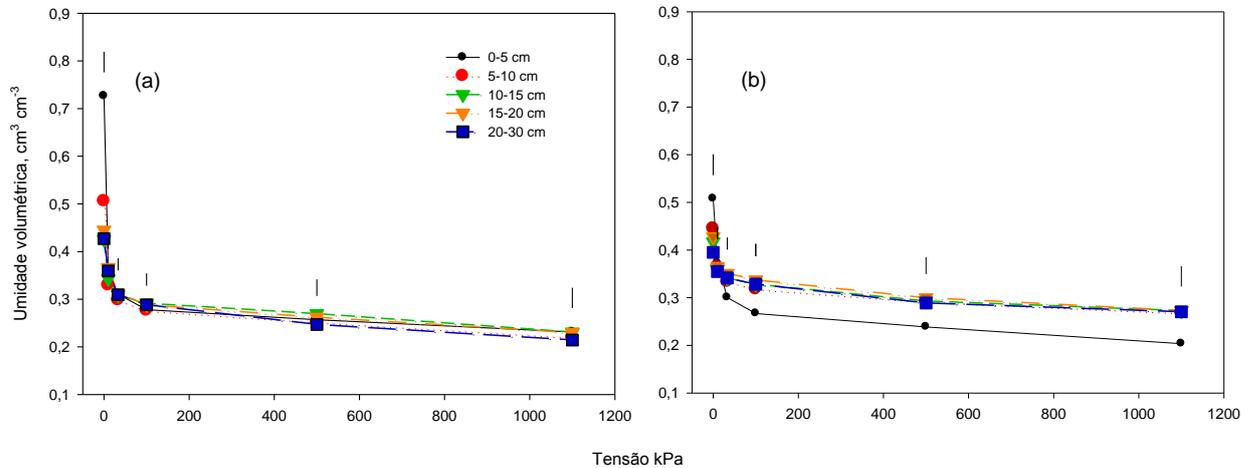
No tratamento CX-CN, a retenção de água foi inferior ao da CX-MN, mas também apresentou elevados valores na camada superficial. Nas demais camadas amostradas, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm de profundidade, os valores são muito próximos, fazendo com que as curvas se sobreponham. Para as camadas de 5-10-10-15, 15-20, 20-30, para as tensões de 100, 500 e 1100 kPa, apresentou valores similares e inferiores aos da CX S. O fato da área de campo nativo apresentar um valor inferior ao da área que é cultivada com soja nestas tensões e nestas camadas pode estar relacionado com o superpastejo do gado, ocasionando compactação das

camadas superficiais, interferindo na porosidade total do solo. Mas quando analisamos o todo, o tratamento CX CN apresentou-se melhor que a CX S.

Já o tratamento com cultivo de soja apresentou sua maior retenção de água nas camadas mais profundas, como a de 15-20 e 20-30 cm. Contudo, esta área cultivada com soja apresentou o menor conteúdo de água retido nas primeiras camadas, 0-5 e 5-10 cm. Este fato pode ter acontecido devido a estado mais compactado do solo, pois nestas áreas é implantada a cultura da soja em sistema de plantio direto. Visto que apesar deste apresentar-se como um sistema de manejo conservacionista do solo, pois mantêm resíduos vegetais sobre a superfície, e deixa de revolvê-lo, assim aumentando o teor de matéria orgânica (BAYER & MIELNICZUK, 1997; CASTRO FILHO et al., 1998), este sistema aumenta a densidade do solo e reduz a porosidade superficial (BERTOL et al., 2001). Com este adensamento do solo na superfície, por não haver revolvimento, ocasiona diminuição do volume de poros, especialmente os macroporos, que implica no aumento da resistência a penetração de raízes (BERTOL et al., 2001) e provavelmente também na estabilidade de agregados e na infiltração de água no solo, podendo acarretar em maior escoamento superficial, e assim degradação do solo.

Para os tratamentos da área da várzea (VZ MN e VZ S), verificou-se que houve diferença significativa entre as curvas de retenção de água. Apresentando a VZ AS nas tensões de 33 kPa, 100 kPa, 500 kPa e 1100 Kpa valores maiores que a VZ MN. Estes dois tratamentos apresentaram nas camadas mais profundas valores altos de retenção de água em relação à área da coxilha. A estabilização das curvas aconteceu a partir da tensão de 800 kPa (Figura 10).

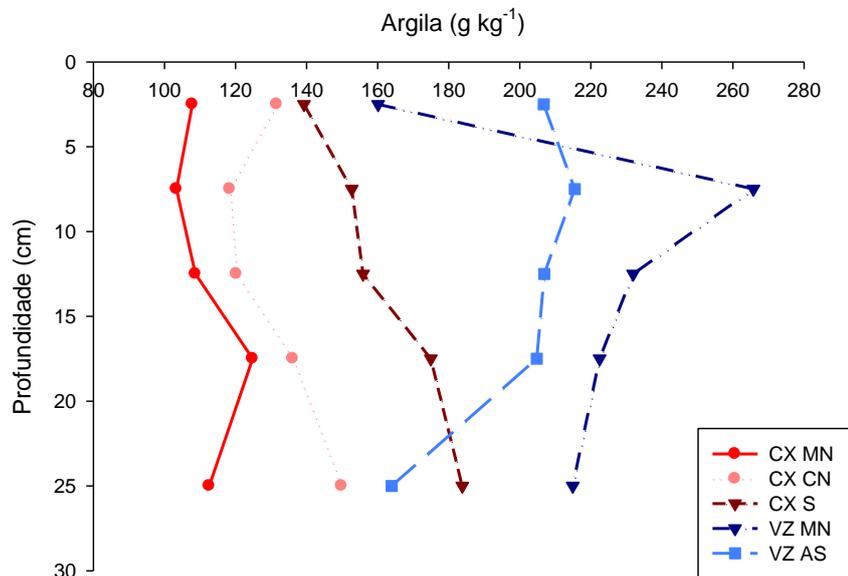
Figura 10 - Curva de retenção de água no solo para a área da Várzea, nos tratamentos (a) Mata nativa e (b) Rotação Arroz/Soja, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm de profundidade.



Fonte: Jéssica S. França, 2013

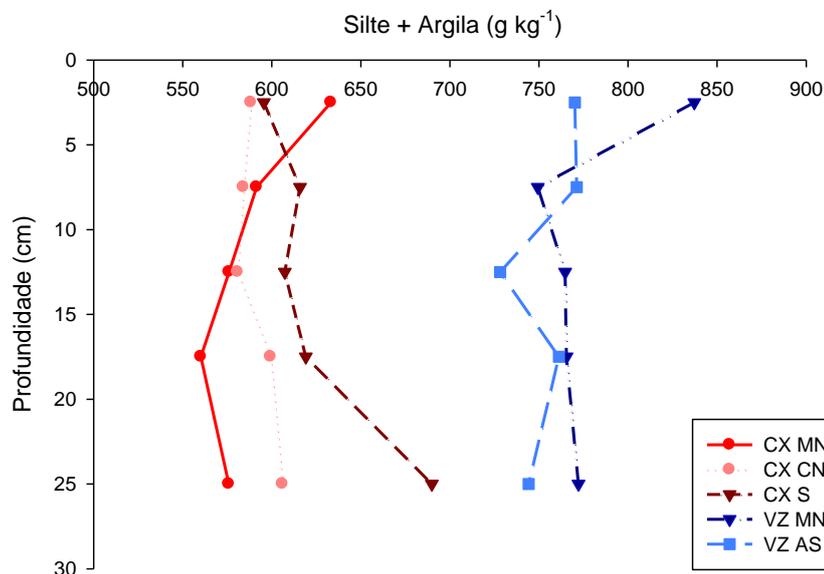
Estes dois tratamentos também foram os que apresentaram menores valores de areia e maiores valores de silte e argila, conforme Figura 11 e 12. Segundo Reichardt (1987) e Demattê (1988) afirmam que solos de textura mais fina, a distribuição dos poros por tamanho é maior e mais uniforme, o que proporciona a adsorção do maior conteúdo de água e um decréscimo mais lento da umidade conforme aumento da tensão.

Figura 11- Quantidade de argila (g kg^{-1}) com o aumento da profundidade (cm), nos tratamentos CX MN, CX CN, CX S, VZ MN e VZ AS.



Fonte: Jéssica S. França, 2014

Figura 12- Quantidade de silte mais argila (g kg^{-1}) com o aumento da profundidade (cm), nos tratamentos CX MN, CX CN, CX S, VZ MN e VZ AS.



Fonte: Jéssica S. França, 2014

Na VZ MN, houve um alto valor de saturação encontrado na primeira camada, 0-5 cm de profundidade, decrescendo gradualmente com a profundidade até os valores começarem a ficar muito próximos entre si, e mesmo aplicando pressão no solo, nota-se o conteúdo de água retido estabiliza, ficando as demais camadas, 5 -

10, 10 - 15, 15 - 20 e 20 - 30, com comportamento semelhante. Pode-se notar no gráfico que há uma sobreposição dos valores encontrados nas camadas. O alto valor encontrado na camada superficial pode estar relacionado à menor densidade, maior teor de matéria orgânica e maior porosidade total, em comparação as camadas mais profundas. Esta camada superficial apresenta maior cobertura do solo, propiciando um ambiente com melhor estrutura, como maior macroporosidade, que se faz importante na infiltração de água e aeração do solo.

Para a VZ AS, este sistema de manejo do solo possivelmente alterou a curva de retenção de água no solo. Nesta área é feito a rotação de culturas, soja/arroz, assim quando acaba a colheita de arroz, o solo é revolvido para implantação da nova cultura. O maior conteúdo de água, encontrada neste tratamento foi de $0,51 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, foi inferior ao valor encontrado na VZ MN, de $0,73 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, quando as amostras encontravam-se saturadas. Porém, este tratamento surpreendeu por ser o que mostrou maior retenção de água nas tensões de 33, 100, 500 e 1100 kPa, diferindo dos demais tratamentos (CX MN, CX CN, CX S e VZ MN).

A mobilização mecânica no solo e o seu revolvimento causam modificações na estrutura e na cobertura do solo. Isto pode interferir no movimento e armazenamento da água dentro deste (UNGER & CASSEL, 1991). Dentre estas alterações estão: redução da estabilidade dos agregados, aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica, surgimento de camadas compactadas e com o selamento superficial, ocasionando a erosão hídrica, devido ao entupimento dos poros, porque a água passa a não infiltrar mais no solo, provocando o escoamento superficial (ALEGRE et al., 1991). Estas alterações que o revolvimento pode causar, ainda envolvem o tamanho e distribuição dos poros, afetando assim as forças de retenção de água no solo, além de sua disponibilidade as plantas. Além disto, pode haver uma destruição dos macroporos, passando a predominar os microporos. Este fato poderia ser benéfico de acordo com Rezende et al., (2007), pois para solos mais intemperizados, que tivessem baixa capacidade de armazenamento de água para as plantas, a compactação poderia ocasionar maior retenção de água, por esta transformação de macroporos em microporos, os quais são os poros responsáveis pela retenção de água no solo (Oliveira et al., 2004).

Além disto, a maior retenção de água ocorreu nas últimas camadas, 5 - 10, 10 - 15, 15 - 20 e 20 - 30 cm, as quais geralmente apresentam maior densidade, menor teor de MOS e menor macroporosidade. O solo sob sistema de cultivo convencional,

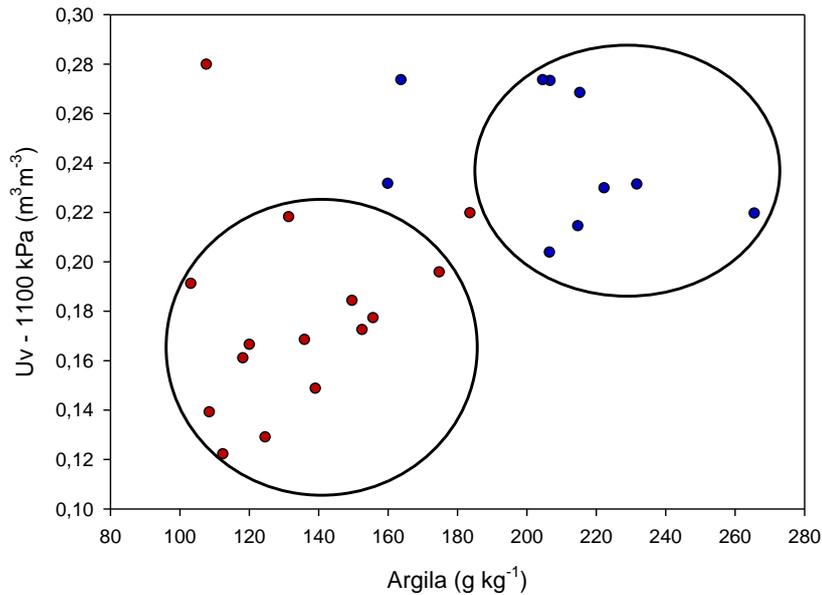
o qual passa por intenso revolvimento em sua camada superficial, pode levar à perda de matéria orgânica, pois favorece sua decomposição, e isto interfere em sua qualidade estrutural. Em camadas de subsuperfície promove compactação, com aumento da densidade e redução do tamanho dos agregados, volume e tamanho dos macroporos, taxa de infiltração de água e desenvolvimento das raízes das plantas (SILVA & MIELNICZUK, 1997).

Com relação a esta retenção de água no solo, nas camadas mais profundas, Beutler et al., (2002), explica que o conteúdo de água retido em um potencial, depende de características como estrutura e distribuição do tamanho dos poros. Em elevados potenciais, a retenção de água é influenciada por poros estruturais associados ao efeito da matéria orgânica na formação e estabilidade da estrutura do solo (RAWLS et al., 1991). Em potenciais mais baixos, o que interfere é a composição granulométrica e a mineralogia do solo, devido à superfície disponível para que ocorra a adsorção da água (GUPTA & LARSON, 1979). Assim, a retenção ocorrida em baixos potenciais, possivelmente se deve ao menor conteúdo de areia, e maior conteúdo de argila, neste tratamento (em comparação à coxilha). Esse maior teor de argila possibilitou maior retenção de água na várzea em comparação à coxilha (Figura 13), devido à primeira ter maior superfície específica, assim a força de adsorção é maior (SILVA, et al., 2005). Neste sentido, Reichardt (1987) afirma que a textura é o principal determinante da retenção de água, por atuar diretamente na área de contato entre as partículas sólidas e a água.

Devido ao solo da área da várzea apresentar mais argila que o solo da coxilha, estes foram os que apresentaram o maior teor de umidade no PMP. Ou seja, quanto maior a tensão aplicada (1100 kPa), mais água a VZ MN e VZ AS conseguiram reter, e isto possivelmente pode ser explicado pela textura mais fina destes solos. Na figura 13 pode ser visualizada a umidade do solo no PMP, que aumenta com o acréscimo da quantidade de argila. Quando é analisada a quantidade de silte + argila (Figura 14) observa-se maior diferença entre as áreas de coxilha e de várzea. E assim, pode-se ter uma melhor visão da correlação entre estas variáveis. No PMP o teor de silte+argila se correlacionou com a retenção de água no solo, pois fazendo uma análise de regressão entre silte + argila e a umidade na tensão de 1100 kPa, obteve-se o valor do R^2 de 0,52 mostrando que a textura mais fina explica 52% dos valores de umidade do solo (Figura 14). A análise de

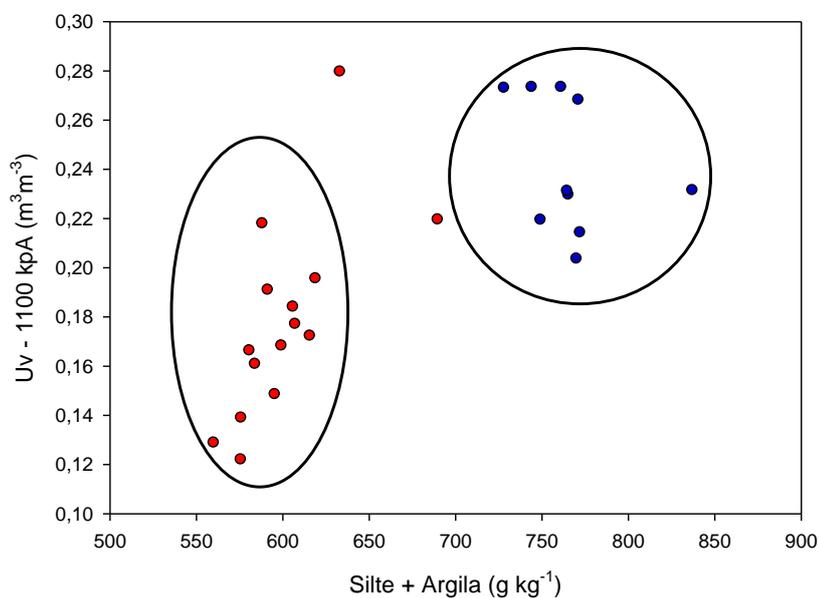
regressão apenas com a argila obteve valores menores de R^2 do que quando se soma o silte + argila.

Figura 13 - Dispersão dos valores de argila (g kg^{-1}) e a umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (1100 kPa), para a área da Coxilha (MN, CN e S), com pontos na cor vermelha e a área da Várzea (MN e AS), com cor azul.



Fonte: Jéssica S. França, 2014

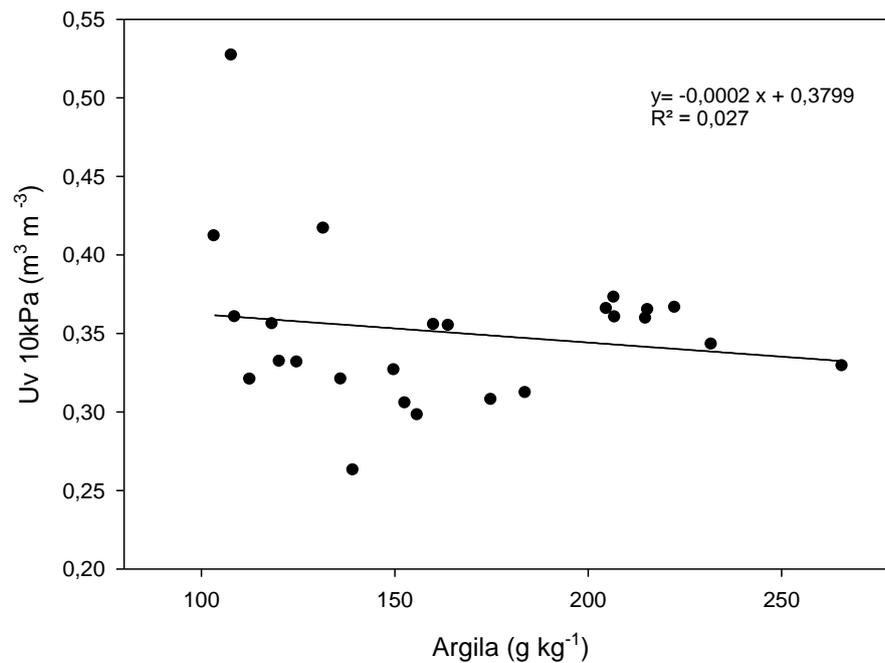
Figura 14 - Dispersão dos valores de silte mais argila (g kg^{-1}) e a umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (1100 kPa), para a área da Coxilha (MN, CN e S) com pontos na cor vermelha e a área da Várzea (MN e AS) com cor azul.



Fonte: Jéssica S. França, 2014

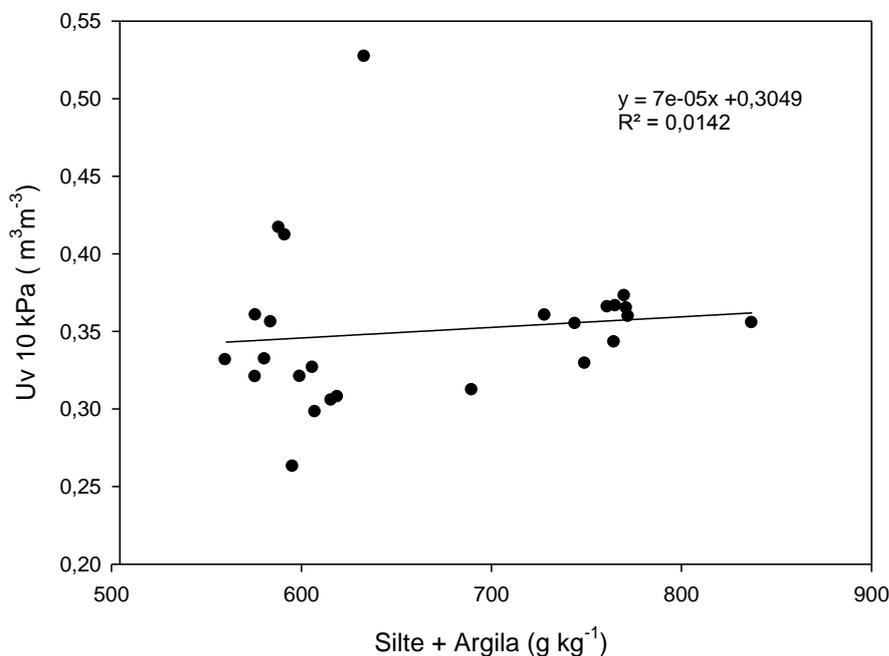
A umidade do solo na CC (10 kPa) não correlacionou-se com os teores de silte e argila. O valor de R^2 para correlação da umidade com a argila foi de 0,027 e o valor de R^2 para silte + argila foi de 0,014, os quais são considerados muito baixos. Provavelmente isto possa ser explicado por outros fatores que contribuíram para a retenção de água, não avaliados neste estudo. Um destes fatores pode ser a estrutura do solo e a porosidade, as quais são mais importantes para a retenção de água em tensões menores (Figura 15 e 16).

Figura 15 - Análise de regressão entre a argila (g Kg^{-1}) e a umidade volumétrica na Capacidade de Campo (10 kPa).



Fonte: Jéssica S. França, 2014

Figura 16 - Análise de regressão entre o silte mais argila (g Kg^{-1}) e a umidade volumétrica na Capacidade de Campo (10 kPa).



Fonte: Jéssica S. França, 2014

4.2 Água disponível

Os maiores conteúdos de água disponível foram encontrados no tratamento CX MN, seguida do CX CN, posteriormente a VZ MN, CX S e com menor valor a VZ AS. Verificou-se diferença estatística entre os tratamentos. As duas áreas cultivadas CX S e VZ AS não diferiram estatisticamente (Figura 17).

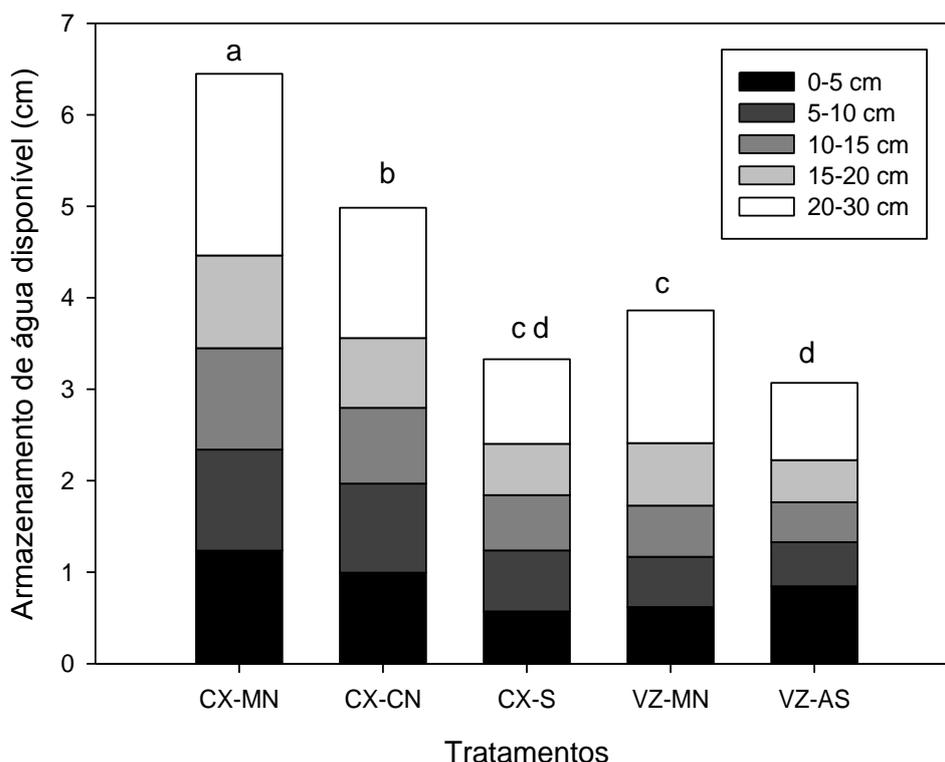
Os valores encontrados de água disponível variaram de 0,08 à 0,25 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Segundo Reynolds et al. (2002) os valores ideais de umidade disponível encontra-se entre 0,15 e 0,20 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Os tratamentos VZ MN, VZ AS e CX S foram os que apresentaram valores bem inferiores aos ideais, abaixo de 0,15 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Já a CX MN e CX CN apresentaram valores de 0,11 até 0,25 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

Como as áreas da várzea possuem textura mais fina que a área da coxilha, (Figura 12), esta possui também maior quantidade de microporos para reter a água no solo, além de maior área superficial específica para adsorver as moléculas de água. Visto que foram estes os tratamentos que possuíram maior capacidade para reter a água à altas tensões (Figura 10 e 14). Porém, a água que se encontra retida

no solo nestas áreas, não está na mesma proporção que a água disponível para que as plantas possam absorver. Isto acontece devido aos poros de menor diâmetro conseguir reter a água em tensões superiores à extração das plantas.

Os tratamentos que apresentaram maior capacidade de reter a água nas últimas camadas, ou seja, a VZ MN e VZ AS, (Figura 10) não se mostraram eficientes na disponibilidade de água às plantas. Isto mostra que a água retida a altas tensões permaneceu indisponível as plantas. Mas para a área da CX MN, que apresentou maior retenção apenas nas camadas mais superficiais, mostrou-se mais eficiente quanto a este fenômeno de disponibilização de água. Possivelmente a mata nativa da coxilha, por proporcionar um ambiente com menor densidade, maior acúmulo de resíduos vegetais e assim possuir mais matéria orgânica apresentou maior valor de água disponível, visto que esta possui papel importante para a retenção de água (DORAN E PARKIN, 1994).

Figura 17 - Armazenamento de água disponível (cm), nos tratamentos CX MN, CX CN, CX S, VZ MN e VZ AS, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm de profundidade. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Jéssica S. França, 2013.

Devido à compactação do solo, causada pelo tráfego de máquinas, o armazenamento de água disponível as plantas tende a ser mais baixo (DEXTER, 1991) e a força com que esta água encontra-se retida tende a ser maior (REICHARDT & TIMM, 2004). Isto pode explicar os menores valores de AD nas áreas cultivadas (CX S e VZ AS), mesmo estando a CX S em sistema plantio direto. Para Canali & Roloff (1997), em um estudo com um Latossolo Vermelho distrófico sob a forma de plantio direto encontraram maior disponibilidade de água na camada de 20-40 cm, em relação a camadas mais superficiais, como a de 0 à 20 cm, segundo estes autores, isto se deve ao fato da compactação superficial ocorrida no neste sistema.

Apesar do sistema de plantio direto proporcionar uma maior cobertura do solo por resíduos e assim melhorar a estrutura do solo, pelo acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais, pode trazer também efeitos negativos, como aumento da densidade na camada superficial pelo não revolvimento, quando comparado ao sistema de preparo convencional, pela diminuição da porosidade superficial (BERTOL et al., 2001). Além disto, uma diminuição do volume de macroporos, para microporos, o que vai favorecer a retenção de água, mas que pode ocasionar em menor disponibilidade desta.

Devido a fatores que interferem na disponibilidade de água à planta e por ser a água um fator limitante à produtividade das culturas torna-se importante a realização de estudos que possam avaliar esta propriedade. Além de mostrar como o uso do solo pode interferir e modificar o conteúdo de água disponível. Por sequência, esta também pode afetar o solo, pois se não consegue suprir as plantas com água, estas não conseguirão se desenvolver e o solo ficará descoberto e suscetível à degradação podendo implicar em prejuízos ao meio ambiente.

Diante disto, comparando a CX MN, CX CN e VZ MN, onde são áreas mais poupadas ou preservadas, ou seja, com menor intervenção em comparação a CX S e VZ AS, estes tratamentos apresentaram-se melhores que as áreas que passam pelo cultivo, mostrando que este pode causar modificações nas propriedades físicas do solo, como na estrutura, interferindo na retenção de água no solo e disponibilidade de água as plantas.

4.3 Conclusão

Entre os tratamentos avaliados, observou-se que a CX MN e CX CN apresentaram a maior retenção de água no solo nas primeiras camadas e a CX S menor retenção de água, com alto valor apenas na saturação.

Já as áreas VZ MN e VZ AS apresentaram maior capacidade de retenção de água com o aumento da profundidade, mostrando também que houve uma diminuição mais gradual no conteúdo de água com aumento da profundidade.

Além disto, no PMP as áreas de várzea apresentaram maior retenção de água do que as áreas de coxilha. A maior retenção de água na várzea pode ser explicada em parte pelo maior teor de silte e argila desta área. Entretanto as áreas de CX MN e CX CN apresentaram os maiores valores de AD, seguida pela VZ MN.

Com relação ao uso do solo, o cultivo afetou a retenção de água apenas na primeira camada para as áreas cultivadas CX S e VZ AS. Porém comprometeu a disponibilidade de água destes tratamentos, comparado às áreas que não são cultivadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à variabilidade espacial dos fatores relacionados ao solo e por ser um corpo heterogêneo, torna-se importante o estudo de outros fatores que interferem tanto na retenção de água, quanto na sua disponibilização as plantas.

E ainda pelas modificações causadas no solo com o uso da agricultura, torna-se essencial a busca de melhoria nos sistemas de produção. E a identificação de usos e manejos adequados que possibilitem a melhoria no uso deste recurso, para sustentabilidade do meio ambiente. Pois este é um dos recursos naturais, que além de cumprir várias funções para o adequado funcionamento do ecossistema, influencia diversos outros fatores ligados ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, J. C et al. Tillage systems and soil properties in Latin America. **Soil Tillage Research**, v.20, p.147-163, 1991.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, AP. Propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.337-345, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p. 105-112, 1997.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**, 8 ed. atualizada e ampliada, Viçosa: E. UFV, 2006, 625p.

BERTOL, I.; SANTOS, J. C. P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no Planalto Catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.263-267, 1995.

BERTOL, I et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo manejo do solo. **Scientia Agricola**, v.58, n.3, p.555-560, jul./set. 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.

BEUTLER, A. N et al. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26 p. 829-834, 2002.

BEUTLER, A. N et al. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.639-45, 2006.

BLAINSKI, É et al. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 975-983, 2008.

BRADY, N. C. **The natures and properties of soils**. 8 ed., New York: MacMillian, 1984. 639p.

BRADY, N. C.; WEIL R. R. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.

BRANCO, S. M. **Poluição: a morte de nossos rios**. São Paulo: Ascetesb, 1983. 155p.

CAMPOS, S. A. C.; COELHO, A. B.; GOMES, A. P. Influência das Condições Ambientais e Ação Antrópica Sobre a Eficiência Produtiva Agropecuária em Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba-SP, Vol. 50, N° 3, p. 563-576, Jul/Set, 2012.

CANALI, L. B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 99-104, 1997.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 263-266, 1985.

COSTA, F. S et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27 p.527- 535, 2003.

COX, P. M et al. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature**, 408, 2000, p. 750- 750.

DALMOLIN, R. S. D; PEDRON, F. de A. Distribuição dos solos no ambiente. In: AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D; PEDRON, F. de A. **Solos & Ambiente – I Fórum**. Santa Maria: Pallotti, 2004. p. 23-39.

DEMATTÊ, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos- região amazônica**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215p.

DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural processes. Amsterdam: **Soil and Tillage Research**, v. 20, n. 1, p. 87-100, 1991.

DORAN, J. W and PARKIN, T, B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAM, D. C.; BESDICEK, D. F. & STEWART, B. A. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p.1-20 (Special 35).

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.

GIARDINA, C. P and RYAN, M. G. Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature. **Nature**, 404, p. 858–861, 2000.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. **Water Resources Research**, Washington, v. 15, n. 6, p. 1633-1635, nov./dec. 1979.

HILLEL, D. **Solo e água, fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.

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

HILLEL, D. **Content and potential of soil water**. In: HILLEL, D. Environmental soil physics, San Diego: Academic Press, p.129-172, 1998.

HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. Philadelphia : Academic Press - Elsevier, 2003. 494p.

KARLEN, D. L et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. **Soil Science Society American Journal**, v.61. p. 4-10. 1997.

KIRSCHBAUM, M. U. F. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming. **Biogeochemistry**, v.48, p. 21-51, 2000.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p. 959-964, 2000.

LARSON, W. E AND PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J.W. (Ed), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America Special Publication n.35. **Soil Science Society of America and American Society of Agronomy**, Madison, WI, p. 37-51, 1994.

LIER, J. V. Q. Índices de disponibilidade de água para as plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, p. 95-106, 2000.

LIMA, A. C. R.; HOOGMOED, W.; BRUSSARD, L. Soil quality assessment in rice production systems: Establishing a minimum data set. **Journal Environmental Quality**, v. 37, p.623-630, 2008.

LIMA, H. V et al. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 677-684, 2005.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: 1ª. ed. Oficina de Textos, 2011, 456p.

LOUZADA, J. A; CAICEDO, N.; HELFER, F. Condições de drenagem relacionadas ao trânsito de máquinas em solo de várzea (RS-Brasil). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12: p. 98-106, 2008.

LUO, Y.Q et al. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. **Nature**, 413, p. 622-625, 2001.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. 1. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura. 1961. 41p.

OADES, J. W. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 76, n. 1-3, p.319-337, 1984.

OLIVEIRA, G.C et al. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28 p. 327-336, 2004.

RAWLS, W. J.; GISH, T. J.; BRAKENSIEK, D. L. Estimating soil water retention from physical properties and characteristics. **Advanced soil science**, New York, v. 16, p.213-234, 1991.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Barueri, SP: Manole, 1987. 188p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 478p.

REICHERT, J. M; REINERT, D. J; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p 29-48, 2003.

RESENDE, M et al. **Pedologia: Base para distribuição de ambientes**. 5ed. Lavras, MG: UFLA - Universidade Federal de Lavras, 2007. 322p.

REYNOLDS, W. D. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p.131- 146, 2002.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 313-319, 1995.

SILVA, A. P et al. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.91-95, 1986.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society American Journal**, v.58, p.1775-1781, 1994.

SILVA, E. M et al. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.323-330, 2006.

SILVA, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, I. F. da, MIELNICKZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, M. A. S et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, mai-jun, 2005.

STEPNIEWSKI, W.; HORN, R.; MARTYNIUK, S. Managing soil biophysical properties for environmental protection. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, p.175-181, 2002.

STONE , L. F.; GUIMARÃES , C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

STRECK, C. A et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, mai-jun, 2004.

STRECK, C. A. **Índice S e fluxo de água e ar em solos do Sul do Brasil**. 2007. 95 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

STRECK, E. V et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS - UFRGS, 2008. 222 p.

SUZUKI, L. E. A. S et al. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1159-1167, ago. 2007.

TANG, J. W et al. Assessing soil CO₂ efflux using continuous measurements of CO₂ profiles in soils with small solid-state sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.118 p. 207-220, 2003.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.20 p.333-339, 1996.

UNGER, P.W.; CASSEL, D. K. Tillage implement disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation: a literature review. **Soil Tillage Research**, v.19, p.363-382, 1991.

VEIHMEYER, F.J; HENDRICKSON, A. H. Soil moisture in relation to plant growth. **Annual Review of Plant Physiology**, v.1 p.285-304, 1950.

WIKIPÉDIA. Mapa do município de São Gabriel. Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Gabriel_\(Rio_Grande_do_Sul\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Gabriel_(Rio_Grande_do_Sul)). Acesso em: 28 jan. 2014.