

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO EM
CERRADO NO NORTE DO PANTANAL MATO-GROSSENSE
NO PERÍODO SECO

HELOISA AGNES BODNAR MASSAD

PROF. DR. OSVALDO BORGES PINTO JUNIOR
ORIENTADOR

Cuiabá - MT, fevereiro de 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO EM
CERRADO NO NORTE DO PANTANAL MATO-GROSSENSE
NO PERÍODO SECO**

HELOISA AGNES BODNAR MASSAD

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física Ambiental.

PROF. DR. OSVALDO BORGES PINTO JUNIOR
ORIENTADOR

Cuiabá - MT, fevereiro de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

M414c Massad, Heloisa Agnes Bodnar.
Curva de retenção de água do solo em cerrado no norte do
Pantanal Mato-Grossense no período seco / Heloisa Agnes Bodnar
Massad. -- 2018
56 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Borges Pinto Junior.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física
Ambiental, Cuiabá, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Potencial matricial. 2. Umidade volumétrica. 3. van
Genuchten (1980). I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

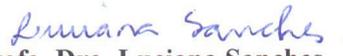
FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO EM CERRADO NO NORTE DO PANTANAL MATO-GROSSENSE NO PERÍODO SECO

AUTORA: HELOISA AGNES BODNAR MASSAD

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 22 de fevereiro de 2018, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. Osvaldo Borges Pinto Junior
Orientador
Universidade de Cuiabá/UNIC/Cuiabá


Profa. Dra. Luciana Sanches
Examinadora Interna
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e
Tecnologia/UFMT


Prof. Dr. Fernando da Silva Sallo
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá/UNIC/Cuiabá

DEDICATÓRIA

*À Deus, minha família, queridos amigos e professores,
por fazerem esta caminhada mais feliz e possível.*

AGRADECIMENTOS

- A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa concedida;
- Ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental – PGFA e, em especial, ao Coordenador Professor Doutor José de Souza Nogueira (Paraná), pela oportunidade, pelo incentivo e apoio;
- Ao Professor Doutor Osvaldo Borges Pinto Junior, pela orientação, pelo empenho e dedicação;
- Á Professora Doutora Luciana Sanches pela co-orientação e parceria no desenvolvimento desta pesquisa;
- Aos meus pais, Rachid e Ana, e aos demais familiares, pelo apoio, carinho e dedicação em todas as horas;
- A todos os Professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental - PGFA pela oportunidade de aprendizagem e convivência;
- Ao Cesário, Soilce e a Jô, pela ajuda e colaboração sempre que solicitei;
- Aos professores, técnicos e alunos responsáveis pelo laboratório de análise física de solos do Programa de Pós-Graduação em Agricultura tropical que cederam prontamente o laboratório bem como auxiliaram na execução das análises;
- A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

EPÍGRAFE

*“Se não houver frutos, valeu a beleza das flores;
Se não houver flores, valeu a sombra das folhas;
Se não houver folhas, valeu a intenção da semente.”*

Henfil

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE SÍMBOLOS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
1.2.1. Objetivo Geral	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1. PANTANAL MATO-GROSSENSE	4
2.2. ACURIZAL – <i>Scheelea phalerata</i> (Mart. ex Spreng)	5
2.3. INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	5
2.3.1. Métodos de determinação da infiltração de água no solo	6
2.4. CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	6
2.5. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	15
3.2. DESCRIÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTOS DE COBERTURA DO SOLO	16
3.3. ANÁLISES DAS VARIÁVEIS FÍSICAS DO SOLO.....	17
3.4. AQUISIÇÃO DOS DADOS CLIMATOLÓGICOS	18
3.5. DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	19
3.5.1. Ajuste da Curva de Retenção de água no solo	21
3.6. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO SATURADA DO SOLO.....	22
3.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	24

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS FÍSICAS NOS TRATAMENTOS	25
4.2. ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO SATURADA DO SOLO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS DE COBERTURA DO SOLO.....	27
4.3. ANÁLISES DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO.....	30
5. CONCLUSÃO.....	35
6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquematização do fenômeno da histerese.	7
Figura 2 - Exemplo de curva de retenção de água no solo, para solos arenosos, siltosos e argilosos, com seus respectivos pontos de saturação, de umidade na capacidade de campo e de ponto de murcha permanente.	8
Figura 3- Faixas de instrumentos utilizados para estimativa do potencial de água ...	11
Figura 4 - Localização do estado de Mato Grosso e da área de estudo no Pantanal Mato-Grossense.....	15
Figura 5 – Textura do solo da área de estudo, segundo Triângulo de classificação textural.....	16
Figura 6 - Esquematização de como os diferentes tipos de tratamentos do solo estavam dispostos.....	17
Figura 7 - Estação climática automática - modelo Vaisala WXT520.....	18
Figura 8 - Mesa de tensão do laboratório de solos do Programa de Pós Graduação em Agricultura Tropical (PPGAT – UFMT).	19
Figura 9 – Imagem de um modelo meramente representativo da Câmara de Richards.	20
Figura 10 - Modelo do equipamento WP4C utilizado no estudo.....	21
Figura 11 - Perfil esquemático do Infiltrômetro de mini disco e detalhe do disco de aço inoxidável poroso.	22
Figura 12 - Precipitação mensal acumulada em milímetros de junho de 2016 a agosto de 2017.....	26
Figura 13 - Condutividade hidráulica não saturada do solo ($K(\theta)$) (mm h^{-1}) nos diferentes tratamentos de cobertura do solo em relação ao período estudado.	28
Figura 14- Resultados da condutividade hidráulica ($K(\theta)$) (mm h^{-1}) corrigida pela equação proposta por Dohnal et al. (2010).	29
Figura 15 - Curva de retenção de água no solo dos três tratamentos e seus respectivos parâmetros para o ajuste da curva.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Parâmetros de van Genuchten para 12 classes de textura e valores de A para um raio de disco de 2,25 cm e valores de sucção de -0,5 a -6 cm.....	24
Tabela 2 - Valores de C_1 (mm h^{-1}) para os diferentes tratamentos de cobertura do solo no período estudado.	29
Tabela 3 – Resultado dos valores de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para cada tratamento.....	31

LISTA DE SÍMBOLOS

AD -	Água disponível
CC -	Capacidade de Campo
CRAS -	Curva de retenção de água no solo
CS -	Com serapilheira
CT -	Controle
$K(\theta)$ -	Condutividade hidráulica não saturada do solo
PMP -	Ponto de murcha permanente
RT -	Retirada

MASSAD, H. A. B.; **Curva de retenção de água do solo em cerrado no norte do Pantanal Mato-grossense no período seco.** 2018. 56p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

RESUMO

A curva de retenção de água no solo (CRAS) apresenta várias aplicações práticas, técnicas e científicas, como: a determinação da capacidade de campo do solo, do ponto de murcha permanente, água disponível para as plantas. O estudo foi realizado no Pantanal norte Mato-Grossense, em uma região predominante de palmeira acuri, no período seco do ano de 2017, sob diferentes tratamentos de coberturas do solo (com serrapilheira “CS”, retirada da serapilheira “RT” e área controle “CT”). Foram analisadas variáveis físicas do solo (densidade do solo e umidade do solo) seguindo os procedimentos recomendados na literatura. Para a estimativa da condutividade hidráulica não saturada do solo utilizou o método do infiltrômetro de tensão. A CRAS foi realizada por meio da mesa de tensão, da câmara de Richards e pelo método automatizado. Os resultados da condutividade não saturada do solo demonstraram que o tratamento controle apresentou os maiores valor, contudo houve diferenças significativas entre os tratamentos neste estudo. A CRAS, com diferenças no teor de matéria orgânica entre os tratamentos, apresentou diferença entre os tratamentos. O conteúdo de água de solo na CC (Capacidade de Campo) e no PMP (Ponto de Murcha Permanente) alcançou seu valor máximo, $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente, no tratamento que possuía a serrapilheira (CS), corroborando com valores descritos na literatura e havendo diferenças significativas entre os tratamentos. A partir disto conclui-se que os diferentes tratamentos da cobertura do solo para a região estudada, no período seco, apresentaram diferenças significativas para as variáveis.

Palavras-chave: Potencial matricial, Umidade volumétrica, van Genuchten (1980).

MASSAD, H. A. B.; **Soil water retention curve in cerrado in the north of the Pantanal Mato-grossense in the dry period.** 2018. 56p. Dissertation (Master's in Environmental Physics). Institute of Physics. Federal University of Mato Grosso. Cuiabá, 2017.

ABSTRACT

The soil water retention curve (SWRC) presents several practical, technical and scientific applications, such as: determination of soil field capacity, permanent wilting point, available water for the plants. The study was carried out in the northern Mato Grosso Pantanal, in a predominant acuri palm region, during the dry season of 2017, under different treatments of soil cover (addition litter "CS", removed litter "RT" and control area "CT"). Soil physical variables (soil density and soil moisture) were analyzed following recommended procedures in the literature. For the estimation of the unsaturated hydraulic conductivity of the soil, the strain infiltrator method was used. SWRC was performed through the tension table, the Richards chamber and the automated method. The results of unsaturated soil conductivity showed that the control treatment had the highest values, however there were significant differences between the treatments in this study. CRAS, with differences in organic matter content between treatments, presented a difference between treatments. The soil water content in the FC (Field Capacity) and in the PWP (Permanent Wilting Point) reached its maximum value, $0.38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ and $0.21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectively, in the treatment that had the (CS), corroborating with values described in the literature and with significant differences between treatments. From this it is concluded that the different treatments of the soil cover for the studied region, in the dry period, presented significant differences for the variables.

Keywords: Matric potential, Volumetric humidity, van Genuchten (1980).

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

A água é uma das substâncias mais importantes da crosta terrestre, seja para os processos vitais como para os processos físico-químicos. Em sua forma líquida e sólida cobre mais de 2/3 do planeta Terra, e, na forma gasosa, está presente em toda parte da atmosfera. Ter o conhecimento de suas propriedades físico-químicas é fundamental para entender seu comportamento no sistema solo-planta-atmosfera.

O ciclo hidrológico consiste na circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, alimentado basicamente pela força da gravidade e pela energia solar. No sentido superfície terrestre - atmosfera ocorre o intercâmbio da água por meio da evaporação e da transpiração das águas dos oceanos e dos continentes, em que há a formação de nuvens. No sentido atmosfera – superfície terrestre essas nuvens formadas, quando carregadas, transfere a água por meio da precipitação em suas variadas formas (chuva, neve, granizo, orvalho).

A água que cai sobre os continentes, na forma de precipitação, pode seguir diversos caminhos, ou seja, a água pode infiltrar no solo e formar os aquíferos; pode escoar pela superfície caso a taxa de precipitação seja maior que a capacidade de absorção do solo; congelar e formar camadas de gelo nas montanhas e geleiras. Grande parte da água que se infiltra ou que escoa acaba evaporando e uma parte da água que se infiltra é absorvida por plantas que transferem para a atmosfera pela transpiração, processo conhecido como a evapotranspiração.

Assim sendo, o solo funciona como um reservatório de água e é fundamental na produção vegetal porque as plantas consomem uma grande quantidade de água que é necessária para o seu desenvolvimento. E já que parte da água que passa pela planta é perdida pelo processo da transpiração, sua taxa deve ser mantida dentro dos limites necessários para cada cultura, havendo um manejo racional para maximizar a produção agrícola.

Neste contexto, a retenção de água no solo está voltada à capacidade do solo em reter a água, podendo ser influenciada pela textura e estrutura do solo. Quando a superfície do solo está saturada de água, há um movimento descendente dessa água

para as camadas inferiores, com a redistribuição para as camadas que apresentam baixos teores. A capacidade de infiltração de um solo é um processo de importância prática por afetar diretamente o escoamento superficial, que é o responsável pelos processos de erosão e inundações.

A grande diversidade de tipos de solo é condicionada pelas formas de relevo, clima, material de origem, tempo e organismos do solo. No Brasil, aproximadamente 25% do território é cerrado, sendo um sistema peculiar, pois possui uma baixa fertilidade. No estado de Mato Grosso a grande ocorrência é do Latossolo vermelho-amarelo, que são solos recobertos por vegetação de cerrado e seu principal uso é para pastagem.

No Pantanal Mato-grossense predomina os Planossolos, Plintossolos e os Argissolos que são considerados pobres em seu horizonte mais profundo porque sua composição predominante é argilo-arenosa, porém nas suas camadas superficiais, o solo é caracterizado muito fértil devido à matéria orgânica presente, proveniente da decomposição de plantas. Um fator muito importante neste ecossistema é o regime de chuvas, que gera uma alternância nas condições do solo, sendo alagado no verão e seco no inverno.

1.2. JUSTIFICATIVA

O Pantanal Mato-grossense apresenta um regime de chuva que gera uma alternância nas condições do solo, torna-se interessante estudar a curva de retenção de água nesse ecossistema. Até mesmo porque a curva de retenção de água no solo vem sendo bastante utilizada como uma ferramenta para descrever as características físicas e o comportamento hidráulico dos solos. Possui uma grande aplicabilidade nos meios científicos e principalmente no dia-a-dia dos produtores.

Dessa forma, é fundamental para estudo da modelagem do balanço hídrico e escoamento superficial, da disponibilidade de água para as plantas e a capacidade de infiltração, da evapotranspiração superficial e por sua vez o balanço de energia. Além da área agrícola, a curva de retenção de água também se torna importante para avaliação de áreas disponíveis para a disposição dos resíduos sólidos bem como para a recuperação de áreas degradadas.

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral foi analisar a curva de retenção de água no solo em uma área que possui diferentes tratamentos de cobertura do solo, com vegetação predominante de cerrado *Scheelea phalerata* (Mart. ex Spreng), no Pantanal Mato-grossense.

1.2.2. Objetivos Específicos

Analisar se a curva de retenção de água no solo diferiu nos diferentes tratamentos de cobertura do solo.

Estimar a condutividade hidráulica não saturada do solo nos diferentes tratamentos de cobertura do solo.

Caracterizar e analisar a densidade e umidade do solo nos diferentes tratamentos de cobertura do solo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. PANTANAL MATO-GROSSENSE

Aproximadamente 250 milhões de hectares no mundo são ocupados por áreas úmidas, e estes estão entre os ecossistemas mais produtivos da Terra, fornecendo muitos serviços importantes para a sociedade. Porém, eles também são sistemas ecologicamente sensíveis e adaptáveis devido à saturação ou completo alagamento do solo por águas superficiais ou subterrâneas que condiciona a sobrevivência de organismos com adaptações para viver em solos mal drenados. As áreas úmidas apresentam uma grande diversidade de acordo com sua gênese, localização geográfica, regime e química da água, espécies dominantes e características do solo e dos sedimentos (ARIEIRA e CUNHA, 2006; BASSI et al., 2014).

Diferentemente de outras áreas úmidas, os padrões e processos do Pantanal são regulados pela flutuação anual do nível da água, que são originados pelas diferenças locais do regime hidrológico e pelas variações da topografia e do solo. Isso acaba resultando no aparecimento de zonas permanente e periodicamente alagadas e outras raramente alagadas (JUNK et al., 2006a).

Localizada na depressão do rio Paraguai 16,20° S e 55,58° O, o Pantanal se compreende entre o antigo escudo cristalino do Brasil Central e sua zona de transição até o sopé dos Andes (SILVA, 2013). Envolve os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, partes do Paraguai e da Bolívia, com altitude média de aproximadamente 100 m variando de 80 a 150 m (JUNK & NUNES DA CUNHA, 2005).

O clima da Planície Pantaneira é típico de Savana do tipo Aw segundo a classificação de Köppen, caracterizado por ser quente e úmido, com a precipitação concentrando-se no verão e inverno seco, em um total anual que varia entre 1.000 e 1.600 milímetros. O clima é fortemente sazonal, com temperatura do ar média no verão entre 26°C e 29°C e de 20°C a 23°C no inverno (HOFMANN et al., 2010).

As variações permanentes nos níveis de alagamento no Pantanal, causadas por variações nos índices pluviométricos e por mudanças na dinâmica sedimentar ao longo do tempo, acabam exercendo uma forma de seleção no estabelecimento e

desenvolvimento de algumas espécies de plantas. Um dos principais fatores atuantes na distribuição e abundância das espécies vegetais na planície do Pantanal é o gradiente espacial da inundação (ARIEIRA e CUNHA, 2006). Conseqüentemente, há diversos números de unidades de paisagens que se diferem umas das outras pelo seu tamanho e, principalmente, em respeito a duração e profundidade da inundação anual (CUNHA et al., 2010).

2.2. ACURIZAL – *Scheelea phalerata* (Mart. ex Spreng)

No Pantanal o equilíbrio dos ecossistemas é determinado pela dinâmica das inundações periódicas, porém há determinados ambientes que a influência da cheia é menos evidente. Dentre esses ambientes destaca-se a mata seca, que também é conhecida como mata semidecídua ou mata semicaducifólia, que podem perder de 20% a 50% das folhas no período seco, e funcionam naturalmente em um sistema do tipo arquipélago, em que apresentam distribuição isolada entre si, como resultado das inundações anuais, já que devido às necessidades ecológicas próprias da sua flora característica, a água superficial é fator limitante à sua expansão. Todavia, a conectividade é causada pelo deslocamento terrestre de animais maiores, pelo voo ou por ação do vento, entre as ilhas desse tipo de vegetação na planície (BRANDÃO et al., 2011; DAMASCENO-JUNIOR, 2009).

Dentro dessa mata, uma das suas formações caracteriza-se pelo aspecto monodominante de uma vegetação conhecida por acurizal, dominados pela palmeira acuri *Scheelea phalerata* (Mart. ex Spreng), sendo que, *Attalea phalerata* (Mart. ex Spreng) é um sinônimo para essa espécie, e que apresentam ampla ocorrência em todo Pantanal. Comumente, ocorre em áreas de solo com alta fertilidade e podem alcançar 5 a 10 m de altura, com floração a partir do mês de julho, podendo estender-se até fevereiro e sua frutificação, a partir de abril, prolongando-se até dezembro (UBAID, 2014; CNCFLORA, 2017; DIAS, 2017).

2.3. INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A infiltração de água no solo é o processo em que acontece a entrada de água no solo através de sua superfície, essa entrada de água no solo diminui com o tempo,

dependendo do umedecimento do perfil, e assume um valor constante denominado velocidade de infiltração básica (VIB) do solo, no qual é essencial para determinar estudos hidrológicos, métodos conservacionistas do solo, planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem (NETO et al., 2011). Além de ser uma das etapas mais importantes no ciclo hidrológico, já que é responsável pela recarga de aquíferos e influencia diretamente o escoamento superficial e, portanto a erosão hídrica (MIRANDA et al., 2010).

A infiltração depende, em maior ou menor grau, de alguns fatores, dentre os quais se ressaltam as propriedades físicas do solo como cobertura vegetal, densidade, textura, estrutura, umidade, carga hidráulica, entre outros (CARVALHO e SILVA, 2006). A capacidade de infiltração é alterada para cada tipo de solo e diversos métodos fundamentados na infiltração da água no solo foram produzidos para definir os principais parâmetros que se deseja conhecer em um determinado solo estudado (SILVA JUNIOR et al., 2016).

2.3.1. Métodos de determinação da infiltração de água no solo

Os métodos mais utilizados para se determinar a capacidade de infiltração da água no solo são infiltrômetro de anéis concêntricos, ou duplo anel, e simuladores de chuva, ou infiltrômetro de aspersão (COELHO et al., 2000; CARVALHO e SILVA, 2006). No entanto, há uma novidade relativamente recente que é o infiltrômetro de tensão de mini disco (Mini Disk) (PAVÃO, 2017).

O infiltrômetro de tensão determina o movimento da água em solo não saturado, já que possui um mecanismo adequado para obter medições de infiltração de água sob potencial negativo, podendo ser empregado em estudo da dinâmica da água no solo e na avaliação das condições de porosidade do solo *in situ* (POTT et al., 2005). Além de ser ideal para medidas em campo porque necessita de pouco volume de água para realizar os ensaios e o seu tamanho reduzido permite a realização de vários ensaios em um pequeno tempo (MENDES, 2008).

2.4. CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A curva de retenção de água nos solos (CRAS) é uma relação entre o potencial matricial ou tensão de água no solo e a umidade volumétrica do solo, sendo o teor de

água no solo menor com o aumento da tensão, ou seja, para a função de retenção de água no solo mede-se uma série de pares de teor de água (θ) e de pressão (h) e, em seguida, ajusta-se os dados a uma função específica. Esta curva sofre grande influência da estrutura, textura do solo e conteúdo de matéria orgânica do solo (COSTA et al., 2016; COELHO, 2016).

A relação entre o potencial matricial e a umidade do solo pode ser obtida de duas formas diferentes, uma por meio do “secamento” da amostra e a outra por meio do “molhamento” da amostra (Figura 1). Cada maneira fornece uma curva contínua, mas na maioria dos casos, as curvas são distintas. Esse é um fenômeno que ocorre denominado histerese e que a umidade do solo na condição de equilíbrio, a um determinado potencial, é maior na curva de “secamento” do que na de “molhamento”. A histerese é atribuída à não uniformidade dos poros individuais com relação à fenômenos capilares, bolhas de ar que permanecem fixas nos macroporos e contração e expansão de argilas durante o secamento e molhamento (REICHARDT e TIMM, 2012).

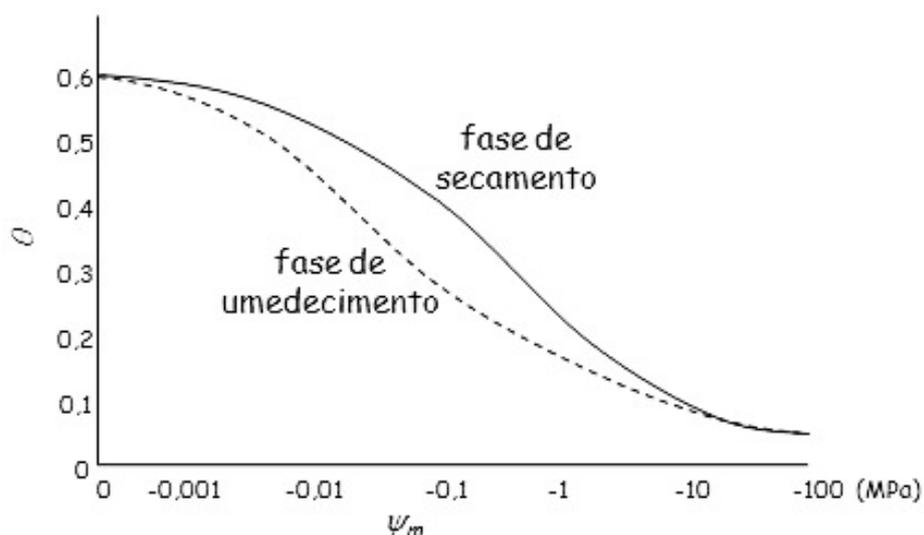


Figura 1 - Esquematização do fenômeno da histerese.

Fonte: Borma e Rennó, 2017.

A histerese traz sérios problemas para a descrição matemática do fluxo de água no solo, mas se direcionar as curvas de molhamento para fenômeno de infiltração de água no solo e curva de secamento para fenômeno da evaporação, isso pode ser

relativamente contornado. Porém, se os dois fenômenos ocorrem em simultâneo, o problema torna-se difícil e na maioria das vezes a histerese precisa ser desprezada (REICHARDT e TIMM, 2012).

No entanto, a CRAS (Figura 2) é fundamental para o estudo de vários processos relacionados à água do solo, como a disponibilidade de água para as plantas, a evapotranspiração e a modelagem do fluxo de água e gás em solos parcialmente saturados, o cálculo dos volumes de irrigação, a fertilização, a remediação de locais poluídos e muitos outros. A CRAS é não-linear e pode ser medido diretamente no laboratório, ou pode ser predito a partir de propriedades do solo com funções de pedotransferência (SOLONE et al., 2012; JENSEN et al., 2015).

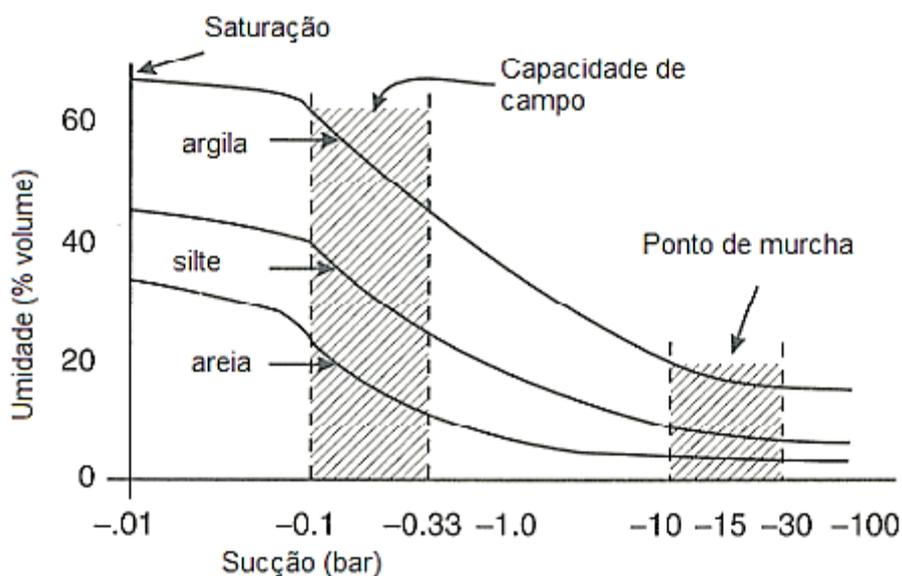


Figura 2 - Exemplo de curva de retenção de água no solo, para solos arenosos, siltosos e argilosos, com seus respectivos pontos de saturação, de umidade na capacidade de campo e de ponto de murcha permanente.

Fonte: Ward e Trimble, 2004.

A metodologia mais habitual e padronizada para se determinar a curva de retenção de água é o da câmara de pressão de Richards. Porém, este procedimento possui determinadas desvantagens, como o alto custo do equipamento, tempo necessário para equilíbrio entre umidade e tensão aplicada, problemas de contato

hidráulico entre a placa porosa e a amostra, além de não reproduzir bem as condições de campo (MELO FILHO et al., 2015).

Desta maneira, vários pesquisadores vêm propondo técnicas menos dispendiosas e rápidas. Atualmente, as tentativas buscam a utilização de equipamentos eletrônicos, a exemplo do analisador HYPROP, produzido pela empresa alemã UMS, que utiliza o método de evaporação de acordo com Wind /Schindler, que é uma técnica simples e rápida para determinar as curvas de retenção de amostras de solos. A condutividade não saturada é determinada através da medição da tensão de água do solo com mini-tensiômetros em dois níveis distintos no interior da amostra. (MELO FILHO et al., 2015; UMS, 2015).

Como existe um potencial da água no solo e que esse potencial define o estado de energia do sistema no ponto considerado, a tendência espontânea da água no solo é assumir estado de menor potencial. Conhecendo os potenciais da água em diferentes pontos do solo, podemos determinar sua tendência de movimento. O potencial da água é composto por uma série de componentes, sendo estes componentes: gravitacional, matricial, osmótico e de pressão. O componente gravitacional depende da posição da água em um campo gravitacional, o matricial depende das forças de adsorção, o osmótico depende da concentração da substância dissolvida na água e o de pressão depende da pressão hidrostática ou pneumática na água (REICHARDT e TIMM, 2012).

Dessa forma, existe um equipamento designado WP4C Dew Point PotentialMeter que mede a soma dos potenciais osmóticos e matriciais em uma amostra. Muitas vezes, um ou outro desses potenciais será o fator dominante na determinação do potencial total (METER Group, Inc., 2017).

Além de equipamentos eletrônicos, a periódica necessidade de drenagem da água em amostras de solo, geralmente a uma tensão perto da capacidade de campo, tem levado os pesquisadores a utilizarem mesas de tensão. Para aplicar essa tensão, utiliza-se uma coluna de água ou uma bomba reguladora de vácuo, de maneira que o solo em contato com o meio poroso perde ou ganha água de acordo com a tensão aplicada, ou seja, se a tensão for maior que o valor inicial da água presente no solo, ocorrerá à perda de água (LIMA e SILVA, 2008).

Uma combinação de metodologias para gerar curvas de retenção de água no solo é bastante importante, pois há uma larga faixa de carga hidráulica, evitando assim uma extrapolação propensa a erros da função de retenção e, conseqüentemente, na previsão de modelagens para fluxo de água em meio oscilantemente saturado (COELHO, 2016). Na Figura 3 observa-se que há uma escala sobre a qualidade que diversos equipamentos atingem nas várias faixas de tensões aplicadas:

WATER POTENTIAL INSTRUMENT RANGES

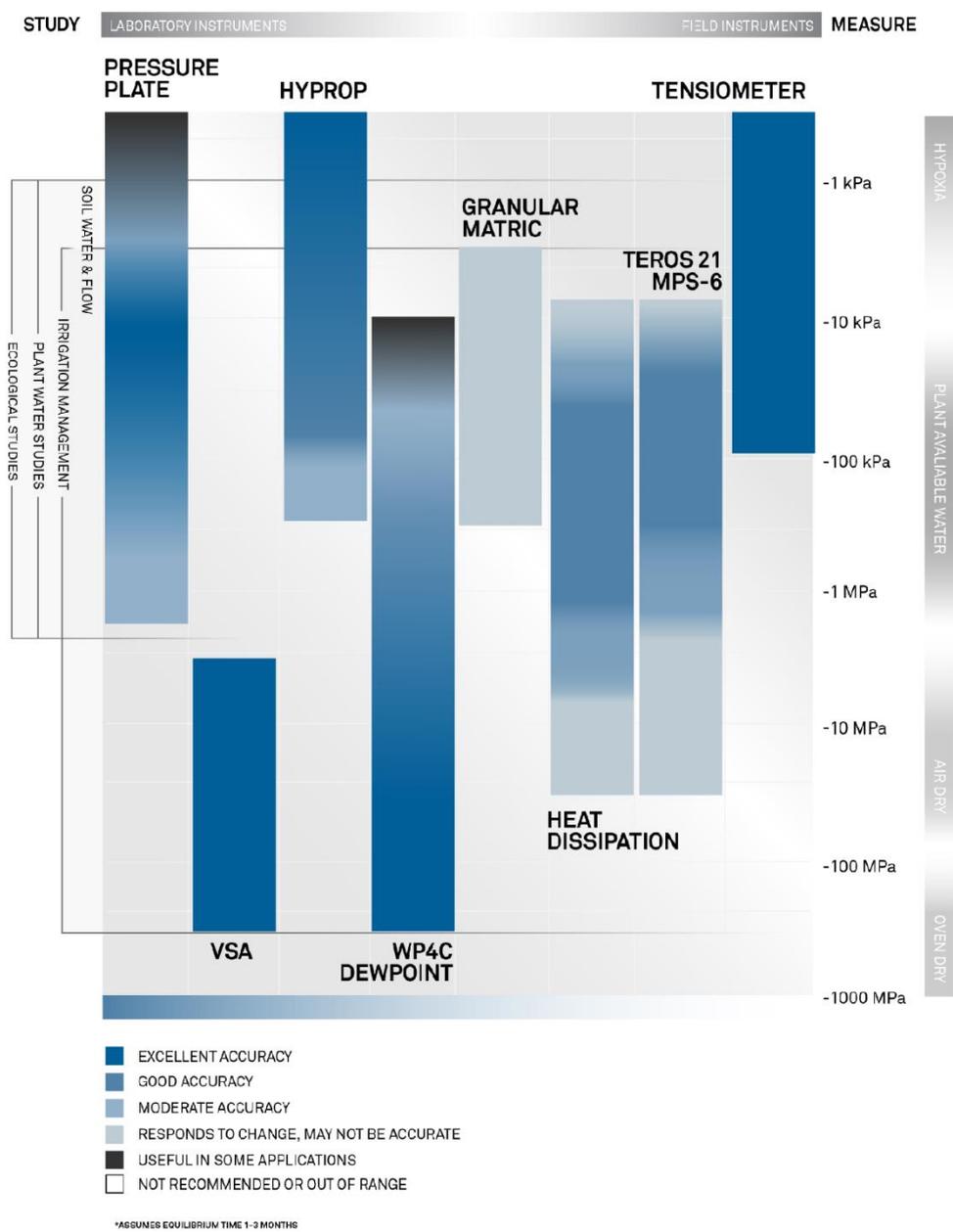


Figura 3- Faixas de instrumentos utilizados para estimativa do potencial de água

Fonte: Decagon Devices, 2015.

2.5. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO

A condutividade hidráulica (K) se sobressai entre as variáveis que influenciam o fluxo de água no solo, a recarga, bem como o transporte de poluentes (BETIM,

2013). Ela é um parâmetro que representa a facilidade com que o solo transmite água e seu valor máximo é alcançado quando o solo está saturado, denominando assim de condutividade hidráulica saturada. Por meio da condutividade hidráulica saturada do solo (K_s) e empregando modelos matemáticos pode-se determinar a condutividade hidráulica não saturada ($K(\theta)$) do solo e com isso conseguir informações sobre o movimento de água e solutos nos solos (MESQUITA E MORAES, 2004).

Em 1856, Henry Darcy introduziu a primeira equação usada para quantificar o movimento da água no solo, o qual trabalhou com colunas de areia saturada com água. Conhecida como equação de Darcy, Equação (1) logo abaixo, estabelece que a quantidade de água que passa por unidade de tempo e de área pelo meio poroso saturado é proporcional ao gradiente de potencial total da água nesse meio. A constante de proporcionalidade foi denominada por Darcy de condutividade hidráulica, conhecida hoje como condutividade hidráulica do solo saturado K_s (GONÇALVES e LIBARDI, 2013).

$$q = -K_s i A \quad (1)$$

Em que i é:

$$i = \frac{\Delta\Phi_t}{L}$$

E Φ_t é dado por:

$$\Phi_t = \Phi_p + \Phi_g$$

Em que:

q é a densidade do fluxo (mm h^{-1}),

K_s é a condutividade hidráulica saturada (mm h^{-1}),

i é o gradiente de potencial hidráulico (m m^{-1}),

A é área da seção transversal (m^2),

$\Delta\Phi_t$ é a diferença de potencial total (m),

L é o comprimento da amostra (m),

Φ_p é o potencial de pressão (m)

Φ_g é potencial gravitacional (m)

A condutividade hidráulica do solo saturado esquematiza a função de seu sistema poroso, envolvendo propriedades relacionadas com a sua porosidade, como quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros (GONÇALVES e LIBARDI, 2013). Nesse meio, o solo tem todos os poros preenchidos por água e conduzindo água, apresentando uma condição de condutibilidade máxima do fluido (SILVA JÚNIOR, 2010).

No entanto, em campo, nem sempre o solo fica completamente saturado, e então avaliamos a condutividade hidráulica em situações de não saturação ($K(\theta)$). Nesse meio, os poros encontram-se preenchidos por água e ar, decrescendo rapidamente a condutividade hidráulica (CARVALHO, 2002). Dessa maneira, houve a necessidade de adaptação da Equação (1) para atender a essa necessidade específica. E, em 1907, Buckingham teorizou uma equação para o fluxo da água em meios porosos não saturados.

Denominada de equação de Darcy-Buckingham, que por se tratar apenas de uma adaptação da Equação (1) de Darcy, torna-se muito semelhante a ela. A única diferença entre ambas é que na equação de Darcy-Buckingham foi introduzida uma relação funcional entre condutividade hidráulica e conteúdo de água no solo e, da mesma forma, entre o potencial mátrico e conteúdo de água no solo e está representada na Equação (2) abaixo (GONÇALVES e LIBARDI, 2013).

$$q = -K(\theta) i A \quad (2)$$

Em que i é:

$$i = \frac{\Delta\Phi_t}{L}$$

E Φ_t é dado por:

$$\Phi_t = \Phi_m + \Phi_g$$

Em que:

q é a densidade do fluxo (mm h^{-1}),

$K(\theta)$ é a condutividade hidráulica em condições não saturada (mm h^{-1}),

i é o gradiente de potencial hidráulico (m m^{-1}),

A é área da seção transversal (m^2),

$\Delta\Phi_t$ é a diferença de potencial total (m),

L é o comprimento da amostra (m),

Φ_m é o potencial matricial (m) e

Φ_g é potencial gravitacional (m)

Vale lembrar que o potencial total (Φ_t) é diferente entre as condições saturadas e não saturadas. Nas condições saturadas, Φ_t é a soma do potencial gravitacional (Φ_g) e do potencial de pressão (Φ_p), pois, na saturação existe uma pressão exercida por uma carga d'água sobre o ponto avaliado, além da influência da gravidade. Em condições não saturadas, Φ_t é a soma dos potenciais gravitacional (Φ_g) e matricial (Φ_m), já que o componente matricial está ligado ao teor de água no solo não saturado ou saturado por capilaridade, resultante das forças de adsorção que mantêm a água aderida às partículas sólidas e aos fenômenos de capilaridade existentes nos interstícios da massa de solo (MIRANDA et al., 2015; REICHARDT e TIMM, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi conduzida em uma área localizada na Base Avançada de Pesquisas do Pantanal – Baía das Pedras, pertencente a Reserva Particular do Patrimônio Natural na Estância Ecológica do Serviço Social do Comércio - RPPN SESC – Norte do Pantanal Mato-Grossense, no município de Poconé, Mato Grosso, Brasil. A região é uma área predominante de palmeira *Scheelea phalerata* (Mart. Ex Spreng.), conhecida como Acuri e está localizada sob as coordenadas 16°30'15" S, 56°24'15" O (Figura 4) (PAVÃO, 2017).

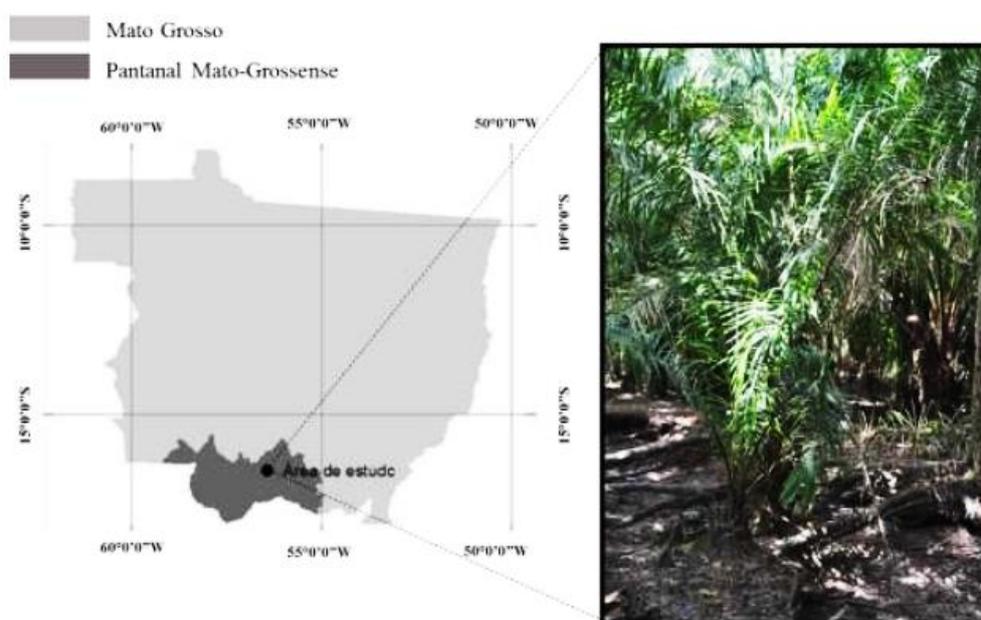


Figura 4 - Localização do estado de Mato Grosso e da área de estudo no Pantanal Mato-Grossense.

Fonte: Pavão, 2017.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Aw, apresentando sazonalidade característica, com um período chuvoso de outubro a abril e outro seco de maio a setembro. A temperatura média anual do ar varia entre 22 e 32°C e a precipitação média anual está entre 1100 e 1200 mm (HOFMANN et al., 2010).

O solo da região é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Típico e a fitofisionomia do local foi classificada como Cerrado *sensu stricto* (CARVALHO,

2013; PAVÃO, 2017). O pH do solo no Acurizal é em torno de 6,4, a média anual de carbono $27,55 \pm$ g/kg (DIAS, 2017) e o teor de matéria orgânica em média de 2% (PAVÃO, 2017). A textura do solo foi classificada, de acordo com o triângulo textural da Figura 5 abaixo, como argilosa na profundidade de 0-50 cm (DIAS, 2017).

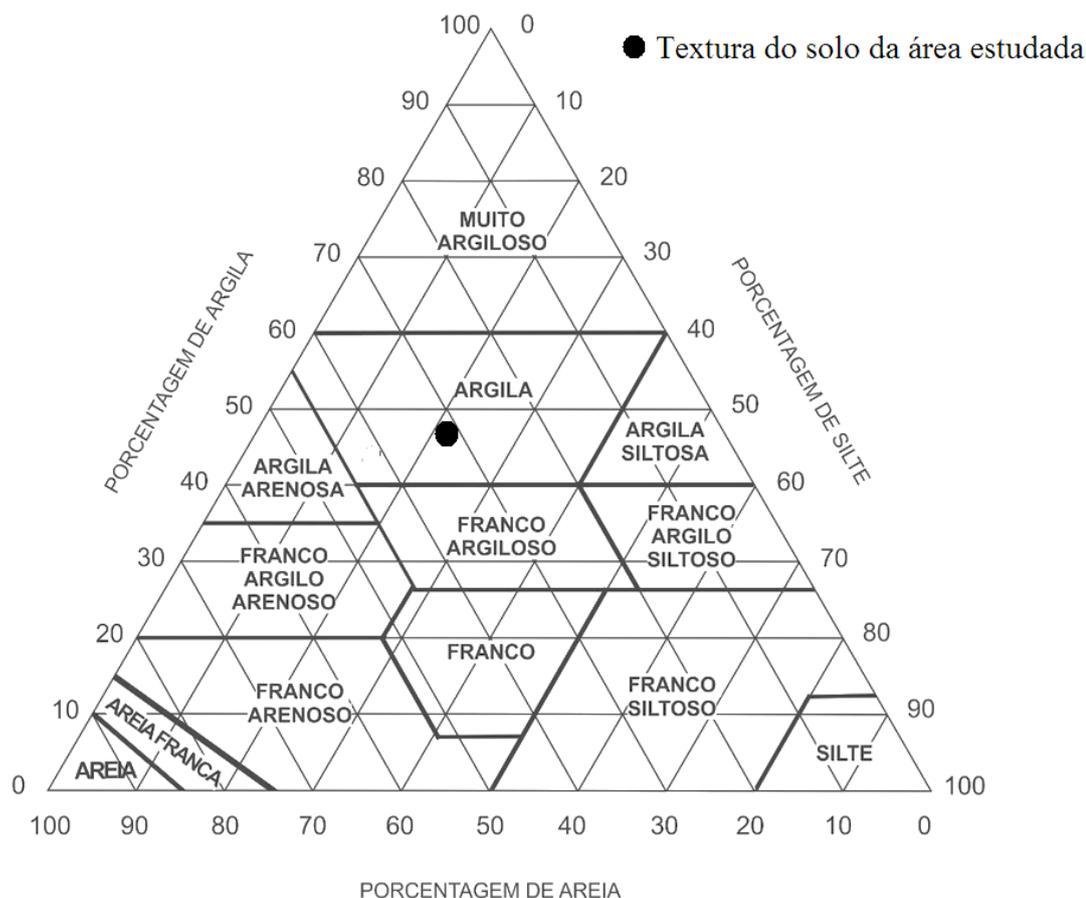


Figura 5 – Textura do solo da área de estudo, segundo Triângulo de classificação textural.

3.2. DESCRIÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTOS DE COBERTURA DO SOLO

Utilizou-se dentro da mesma área três diferentes tratamentos de cobertura do solo, levando-se em conta a influência da serrapilheira.

Um dos tratamentos constitui na retirada da serrapilheira mensalmente do solo, chamado de “retirada” (RT). A serrapilheira retirada foi disposta no tratamento que chamamos “com serrapilheira” (CS). E o último tratamento constituiu de condições

naturais do solo, ou seja, sem nenhum tipo de manipulação, chamado de “controle” (CT).

Os diferentes tipos de tratamentos do solo estavam dispostos lado a lado com dimensão de 2x2 metros, como esquematizado na Figura 6, e foram fixadas estacas para delimitar a área de cada tipo de tratamento.

Realizou-se 3 repetições em cada tipo de tratamento de cobertura de solo para cada análise (densidade do solo, umidade do solo e curva de retenção de água no solo).

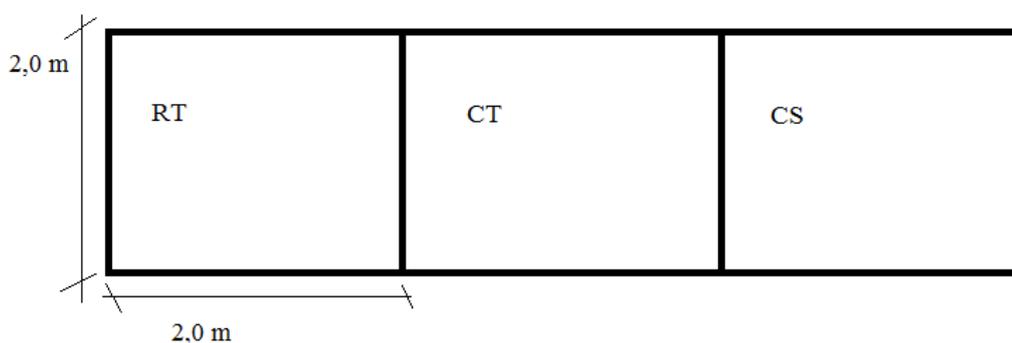


Figura 6 - Esquematização de como os diferentes tipos de tratamentos do solo estavam dispostos.

Legenda: RT – tratamento retirada; CT – tratamento controle; CS – tratamento com serrapilheira.

De acordo com Dias (2017), a serrapilheira produzida no ano de 2014 teve um total anual de 7,29 Mg ha⁻¹, em que desse total, 55% da serrapilheira produzida correspondeu às folhas, 22% correspondeu à ramos e 5% a partes reprodutivas (flores e sementes).

3.3. ANÁLISES DAS VARIÁVEIS FÍSICAS DO SOLO

Nos diferentes tratamentos do solo as coletas das amostras para medidas das variáveis físicas (densidade do solo e a umidade do solo) foram realizadas na profundidade de 0-10 cm de cada tratamento, uma vez a cada mês, em triplicata de cada variável, de maio a setembro do ano de 2017, período considerado seco e que o solo não estaria em condições de saturação.

O procedimento das variáveis seguiu as recomendações do Manual de Métodos de Análise de Solo (MMAS) (Embrapa, 2011). Todos foram realizados no Laboratório

de Solos do Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical (PPGAT) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e depois realizado média dos valores mensais para cada variável (densidade do solo e umidade do solo).

3.4. AQUISIÇÃO DOS DADOS CLIMATOLÓGICOS

Os dados de precipitação da área estudada foram adquiridos por meio de uma estação climática automática, modelo Vaisala Weather Transmitter WXT520 (Figura 7), que possui um sensor para precipitação e registrou a precipitação em mm a cada 30 minutos. Por essa razão, realizou a precipitação acumulada por um período de 15 meses, entre 2016 e 2017, abrangendo o período estudado.



Figura 7 - Estação climática automática - modelo Vaisala WXT520.

3.5. DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Foram utilizados três métodos para determinar a curva de retenção de água no solo. O primeiro método utilizou a mesa de tensão (Figura 8), sendo complementado pelo método da câmara de pressão de Richard (Figura 9). Inicialmente, utilizou-se 9 amostras indeformadas saturadas por 48 horas, sendo 3 amostras de cada tratamento (RT, CS, CT) com tensão que variou de 0 a 10 kPa, na mesa de tensão. Logo após, as amostras foram transferidas para a câmara de pressão de Richard, em que a tensão variou de 10 a 100 kPa.

A etapa seguinte foi colocar as amostras na estufa a 105°C por 24 horas, dessecar, esfriar, medir a massa do solo seco e determinar a umidade gravimétrica ($U_g = (\text{solo úmido} - \text{solo seco})/\text{solo seco}$).



Figura 8 - Mesa de tensão do laboratório de solos do Programa de Pós Graduação em Agricultura Tropical (PPGAT – UFMT).



Figura 9 – Imagem de um modelo meramente representativo da Câmara de Richards.

Fonte: Isabel, 2018.

Finalmente, para fazer análises no terceiro método, utilizou-se o WP4C Dew Point® PotentialMeter (Figura 10) e encontrou tensão que variou de 100 a 1500 kPa, utilizando 9 amostras (três para cada tratamento) deformadas. Posteriormente as determinações, as amostras foram transferidas para recipientes de alumínio taradas e levadas a estufa a 105°C por 24 h para obter o teor de umidade dos diversos potenciais matriciais avaliados.



Figura 10 - Modelo do equipamento WP4C utilizado no estudo.

Fonte: METER Group, Inc., 2017.

3.5.1. Ajuste da Curva de Retenção de água no solo

Por meio de um grupo de dados relacionando potencial matricial pelo conteúdo de água no solo, alcançados com a mesa de tensão, a câmara de Richards e o WP4C, foram ajustados por meio da Equação (3) proposta por van Genuchten (1980):

$$\theta = \frac{\theta_r + (\theta_s - \theta_r)}{[(1 + \alpha\psi)^n]^m} \quad (3)$$

Sendo: θ a umidade volumétrica; θ_r umidade volumétrica residual; θ_s umidade volumétrica na saturação; ψ potencial matricial (kPa); α , n e m são os parâmetros empíricos do modelo.

Após ajustadas as equações, foi encontrado valor de umidade do solo para tensão na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), adotando o valor proposto de 33 kPa e 1500 kPa, respectivamente. A quantidade de água disponível (AD) foi obtida pela diferença entre a umidade do solo na capacidade

de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) (REICHARDT e TIMM, 2012; FILGUEIRAS et al., 2016).

3.6. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO SATURADA DO SOLO

Neste estudo, utilizou-se o infiltrômetro de tensão (Mini Disk) (Figura 11) em que mede a condutividade hidráulica não saturada do solo. O equipamento possui duas câmaras, uma superior e outra inferior, dessa forma, o ensaio iniciou depois que completou a água nas duas câmaras. Na câmara superior, a sucção foi de -3 cm. Anotou o volume inicial da câmara inferior e a cada 30 segundos registrou a variação da lâmina d'água.

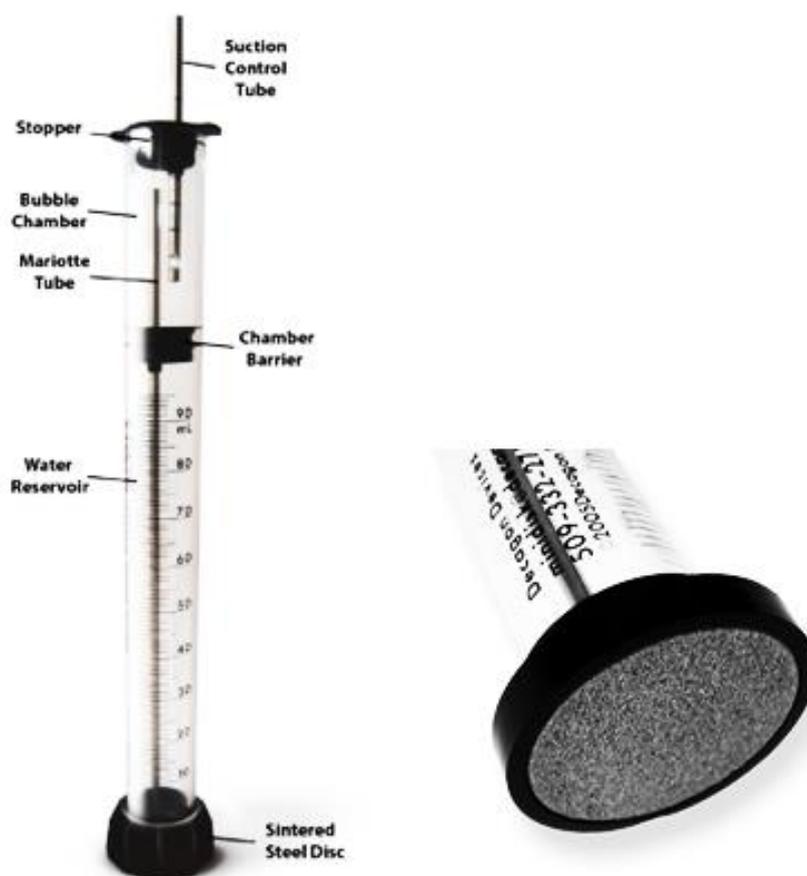


Figura 11 - Perfil esquemático do Infiltrômetro de mini disco e detalhe do disco de aço inoxidável poroso.

Fonte: DECAGON DEVICE, 2016.

Para o cálculo, empregou-se o método proposto por Zhang (1997) que funciona bem para medidas de infiltração em solo seco. O método requer a medição de infiltração acumulada em função do tempo e depois ajustar os resultados a função, Equação (4):

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (4)$$

Em que C_1 (cm s^{-1}) e C_2 ($\text{cm s}^{-1/2}$) são parâmetros e estão relacionados com a condutividade hidráulica e a sortividade¹ do solo, respectivamente. A condutividade hidráulica não saturada do solo ($K(\theta)$) (cm s^{-1}) é então calculada como a Equação (5):

$$K = \frac{C_1}{A} \quad (5)$$

Em que C_1 (cm s^{-1}) é a inclinação da curva da infiltração acumulada em relação à raiz quadrada do tempo e A é um valor que relaciona os parâmetros de van Genuchten para um determinado tipo de solo à taxa de sucção e ao raio do disco poroso. A é calculado pela Equação (6):

$$A = \frac{11,65(n^{0,1} - 1)\exp[2,92(n - 1,9)\alpha h_o]}{(ar_o)^{0,91}} \quad n \geq 1,9 \quad (6)$$

$$A = \frac{11,65(n^{0,1} - 1)\exp[7,5(n - 1,9)\alpha h_o]}{(ar_o)^{0,91}} \quad n < 1,9$$

Em que n e α são parâmetros de van Genuchten para as doze classes de textura, r_0 é o raio do disco (2,25 cm) e h_0 é a sucção na superfície do disco (-3 cm). Os parâmetros de van Genuchten para as doze classes de textura foram obtidos por Carsel e Parrish (1988). Os valores de A calculados para o infiltrômetro de mini disco são (Tabela 1):

¹ Capacidade que o solo possui para absorver água.

Tabela 1- Parâmetros de van Genuchten para 12 classes de textura e valores de A para um raio de disco de 2,25 cm e valores de sucção de -0,5 a -6 cm.

Textura	α	n	h_0						
			-0,5	-1	-2	-3	-4	-5	-6
			A						
areia	0,145	2,68	2,84	2,40	1,73	1,24	0,89	0,64	0,46
franco arenoso	0,124	2,28	2,99	2,79	2,43	2,12	1,84	1,61	1,40
franco arenoso	0,075	1,89	3,88	3,89	3,91	3,93	3,95	3,98	4,00
franco	0,036	1,56	5,46	5,72	6,27	6,87	7,53	8,25	9,05
silte	0,016	1,37	7,92	8,18	8,71	9,29	9,90	10,55	11,24
franco siltoso	0,020	1,41	7,10	7,37	7,93	8,53	9,19	9,89	10,64
franco argiloso arenoso	0,059	1,48	3,21	3,52	4,24	5,11	6,15	7,41	8,92
franco argiloso	0,019	1,31	5,86	6,11	6,64	7,23	7,86	8,55	9,30
franco argiloso siltoso	0,010	1,23	7,89	8,09	8,51	8,95	9,41	9,90	10,41
argila arenosa	0,027	1,23	3,34	3,57	4,09	4,68	5,36	6,14	7,04
argila siltosa	0,005	1,09	6,08	6,17	6,36	6,56	6,76	6,97	7,18
argila	0,008	1,09	4,00	4,10	4,30	4,51	4,74	4,98	5,22

Nota: A textura do solo estudado foi classificada como argilosa.

Fonte: DECAGON DEVICE, 2016.

3.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para a análise dos dados das variáveis físicas (umidade do solo, densidade do solo) foram realizadas médias entre as repetições (triplicata) de cada tratamento.

Para determinar as curvas de retenção de água no solo para cada tratamento estudado, foi realizada análise de regressão não linear, a fim de obter estimativas dos parâmetros da equação de van Genuchten: $Y = f(X, \theta) + \varepsilon$, em que $f(X, \theta)$ é a função das variáveis preditoras X e parâmetros θ a serem estimados e ε são os erros aleatórios, sobre os quais são assumidos os pressupostos usuais. As diferenças entre os tratamentos foram realizado por meio de uma Análise de Variância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS FÍSICAS NOS TRATAMENTOS

A densidade do solo apresentou valores semelhantes nos tratamentos “RT” e “CT”, $1,27 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,28 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente, e foram maiores que o valor de densidade do solo do tratamento “CS”, $1,14 \text{ g cm}^{-3}$. Essa menor densidade do solo no tratamento “CS” pode ser causada por conter uma maior quantidade de matéria orgânica depositada sob o tratamento. Corroborando com a explicação de Marcolin e Klein (2011), em que quando há um aumento no teor de matéria orgânica no solo a densidade do solo é reduzida, seja pelo impacto positivo na estabilidade estrutural do solo, ou por o material orgânico apresentar baixa densidade sendo menor do que os minerais sólidos do solo.

Segundo Pavão (2017), nessa região estudada, a densidade do solo teve variação também em relação as suas camadas com aumento significativo na maior profundidade que foi analisada (25-30 cm). Isso se deve ao fato de que em função da redução do teor de matéria orgânica e da conseqüente menor agregação, a densidade do solo pode aumentar com a profundidade (STEFANOSK et al., 2013). Porém para profundidades superiores a 30 cm, a densidade é considerada como constante. (REICHARDT e TIMM, 2012).

A umidade do solo apresentou maior valor médio para o tratamento “CS” de 52%, 43% e 40% no “RT” e “CT”, respectivamente. No mês de junho de 2017 a umidade do solo alcançou 40%, 51,8% e 38,2% para o tratamento “RT”, “CS” e “CT”, respectivamente. No mês de julho de 2017 os valores umidade do solo correspondente aos tratamentos “RT”, “CS” e “CT” foram 37,3%, 50,4% e 42,9%. Em agosto de 2017 a umidade do solo alcançou 51,9%, 53,1% e 38,6% para os tratamentos “RT”, “CS” e “CT”, respectivamente.

De acordo com Mendonça et al. (2009), um maior conteúdo de matéria orgânica resulta em uma maior umidade no solo. Ela também varia nas diferentes profundidades, isso acontece por causa das diferenças nas propriedades hídricas do solo e, principalmente, à distribuição radicular (REICHARDT e TIMM, 2012).

A precipitação durante os 15 meses, de junho de 2016 a agosto de 2017 (Figura 12), dando ênfases aos meses estudados (junho de 2017 a agosto de 2017), observa-se que para esse mesmo período no ano anterior, houve maior acúmulo de precipitação.

O mês de agosto de 2016 foi superior em 43% o acumulado de precipitação em relação a agosto de 2017, inferindo que pode ter ocorrido algum evento atípico, pois foi bastante discrepante.

Analisando entre o período estudado, mês de junho a agosto de 2017, junho registrou maior precipitação acumulada chegando a aproximadamente 1,88 mm. O mês de julho foi escasso de precipitação, tendo um acúmulo de apenas 0,02 mm e somente no final de agosto houve alguma chuva e em dias pontuais, acumulando ao mês 1,44 mm. Isto pode ser justificado pelo período estudado ser considerado um período seco para a região.

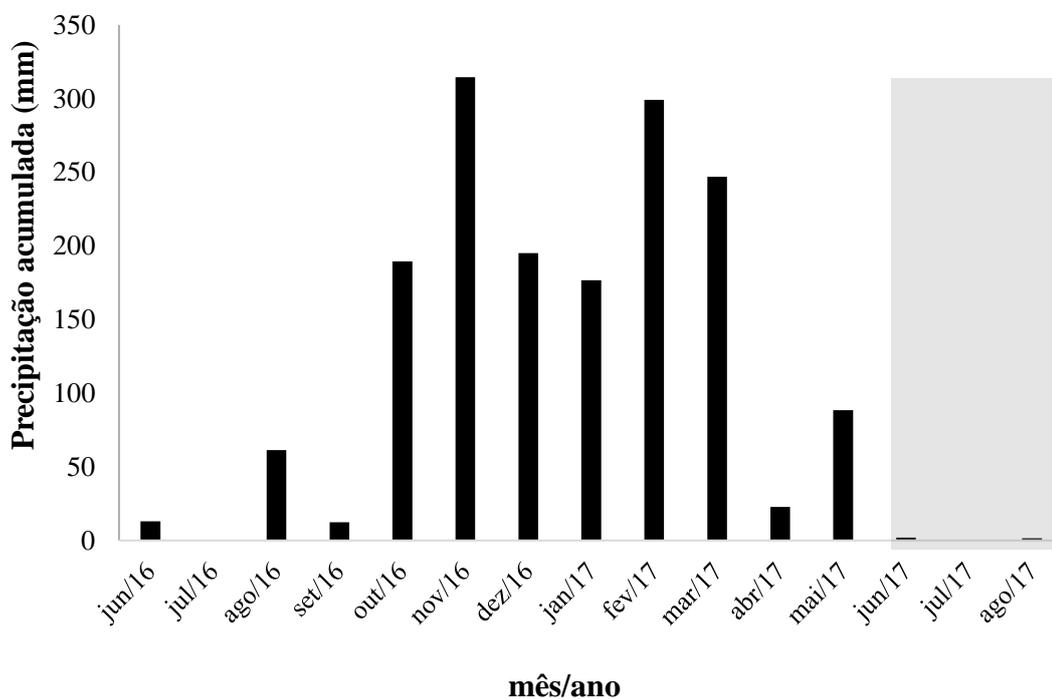


Figura 12 - Precipitação mensal acumulada em milímetros de junho de 2016 a agosto de 2017.

4.2. ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO SATURADA DO SOLO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS DE COBERTURA DO SOLO

A Figura 13 apresenta o resultado da condutividade hidráulica não saturada do solo, $K(\theta)$, que tem a raiz quadrada do tempo como uma forma de padronização do modelo proposto, em relação ao período estudado. O maior valor de $K(\theta)$ foi maior no tratamento “CT”, em todos os meses analisados. Em junho de 2017, para este tratamento, $K(\theta)$ foi 20,81 mm h⁻¹, em julho e agosto de 2017 $K(\theta)$ foi 24,56 mm h⁻¹ e 44,20 mm h⁻¹, respectivamente.

O tratamento “RT” apresentou em junho, julho e agosto de 2017 $K(\theta)$ iguais a 1,63 mm h⁻¹, 10,05 mm h⁻¹ e 11,93 mm h⁻¹, respectivamente. Já no tratamento “CS”, $K(\theta)$ foi 15,08 mm h⁻¹, 7,20 mm h⁻¹ e 35,52 mm h⁻¹, correspondente a junho, julho e agosto de 2017. Em junho de 2017, que de acordo com a Figura 12, apresentou maior precipitação acumulada para o período estudado, e $K(\theta)$ no tratamento “RT” teve menor valor em comparação aos outros tratamentos, podendo ser justificado justamente por essa maior quantidade de precipitação e pelo tipo de cobertura do solo.

Em junho de 2017 o solo não estava completamente seco, e com isso a taxa de infiltração tende a ser menor, se comparada com um solo mais seco. Isto ocorre porque existe menor gradiente hidráulico, ou seja, menor diferença no potencial matricial da água no solo e conseqüentemente a condutividade hidráulica não saturada tende a aumentar quando o potencial matricial se torna mais negativo (REICHARDT e TIMM, 2012).

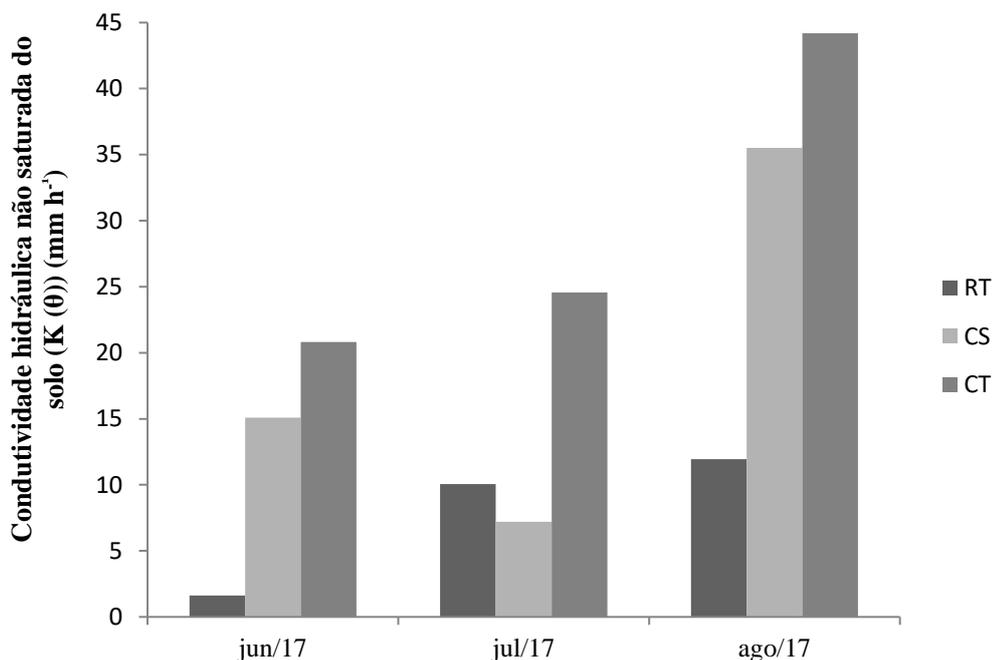


Figura 13 - Condutividade hidráulica não saturada do solo ($K(\theta)$) (mm h^{-1}) nos diferentes tratamentos de cobertura do solo em relação ao período estudado.

Para todos os tratamentos e meses analisados, a maior condutividade hidráulica não saturada do solo foi observada no mês de agosto. Este período apresentou precipitação apenas em alguns dias, especificamente na última semana do mês e, portanto, sofreu condição de seca na maior parte dos dias, e esta condição era observada desde o mês de julho de 2017. Nessas condições, o solo possui maior capacidade de absorver a água da chuva e, portanto, diminuir a intensidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, a possibilidade do solo enfrentar problemas da erosão (TUCCI, 1993).

Dohnal et al. (2010) propõem modificações nas estimativas de $K(\theta)$ em relação a Equação (5) de Zhang (1997), aplicando algumas mudanças e que é válido apenas para um solo com $n < 1,35$. Como o solo estudado apresentou $n = 1,09$, essa equação proposta é válida e é apresentada na Equação (7) a seguir.

$$K = \frac{C_1(ar_o)^{0,6}}{11,65(n^{0,82} - 1)\exp[34,65(n - 1,9)ah_o]} \quad (7)$$

O valor de α para um solo argiloso é 0,008; os valores de h_o e r_o foram os mesmos utilizados para a Equação (6), -3 cm e 2,25 cm, respectivamente. Os resultados dos valores de C_1 para cada tratamento são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de C_1 (mm h^{-1}) para os diferentes tratamentos de cobertura do solo no período estudado.

Tratamentos	Valores de C_1 (mm h^{-1}) relativos aos meses estudados		
	jun./2017	jul./2017	ago./2017
RT	7,37	45,40	53,87
CS	68,08	32,50	160,38
CT	93,95	110,91	199,54

Dessa forma, aplicou-se a equação proposta por Dohnal et al. (2010) e a Figura 14 apresenta os resultados obtidos de $K(\theta)$.

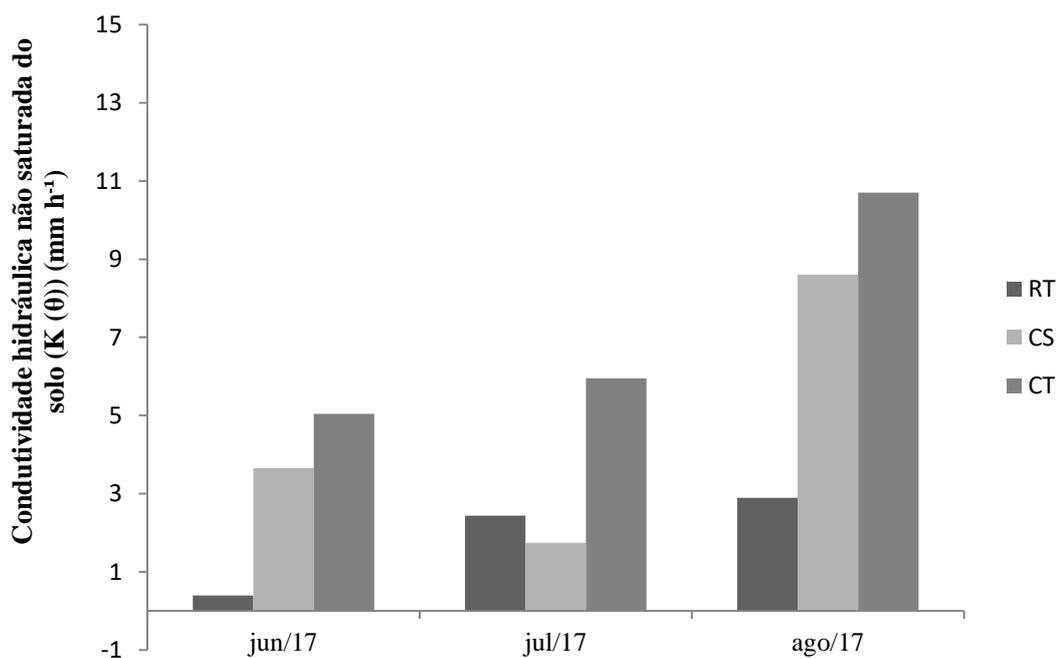


Figura 14- Resultados da condutividade hidráulica ($K(\theta)$) (mm h^{-1}) corrigida pela equação proposta por Dohnal et al. (2010).

Os resultados de $K(\theta)$ da equação proposta por Dohnal et al. (2010) em relação a equação de Zhang (1997) diminuiriam consideravelmente, sendo cerca de 4 vezes menor. Dohnal et al. (2010) ao realizarem a proposta, verificaram que

ampliaram o alcance da aplicabilidade da estimativa $K(\theta)$ de Zhang (1997) de 14 para 16 tipos de solo, tendo uma ótima resposta ao estudo.

Em relação a disponibilidade de água nas plantas, que é resultado de processos dinâmicos, envolvendo fluxos de água para baixo do perfil enraizado e em direção a raízes, a condutividade hidráulica do solo tende, em geral, a potenciais menores para solos mais argilosos e/ou mais compactados (BERNARDES, 2005; REICHARDT e TIMM, 2012). Em termos de infiltração, o processo é mais lento que um solo arenoso, devido a sua maior porosidade e maior capacidade em reter água, além de que, solos argilosos são menos lixiviáveis e favorecem maior escoamento superficial e tornam-se ideais para compor uma camada de impermeabilização de aterros sanitários (REINERT e REICHERT, 2006; BARROS, 2012).

Dessa forma, quando o solo se encontra não saturado, que é onde está a grande parte dos processos que envolvem o movimento da água em condições de campo, avaliar a condutividade hidráulica é bastante importante, pois ajuda a solucionar problemas práticos atrelados ao manejo de irrigação e drenagem (GUERRA et al., 2006).

4.3. ANÁLISES DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A Figura 15 apresenta as curvas de retenção de água no solo nos diferentes tratamentos de cobertura do solo analisados, além de apresentar também os respectivos valores de capacidade de campo, de ponto de murcha permanente e água disponível na Tabela 3. Por fim, será realizada comparação de todas as curvas de retenção de água no solo por meio de análise de variância.

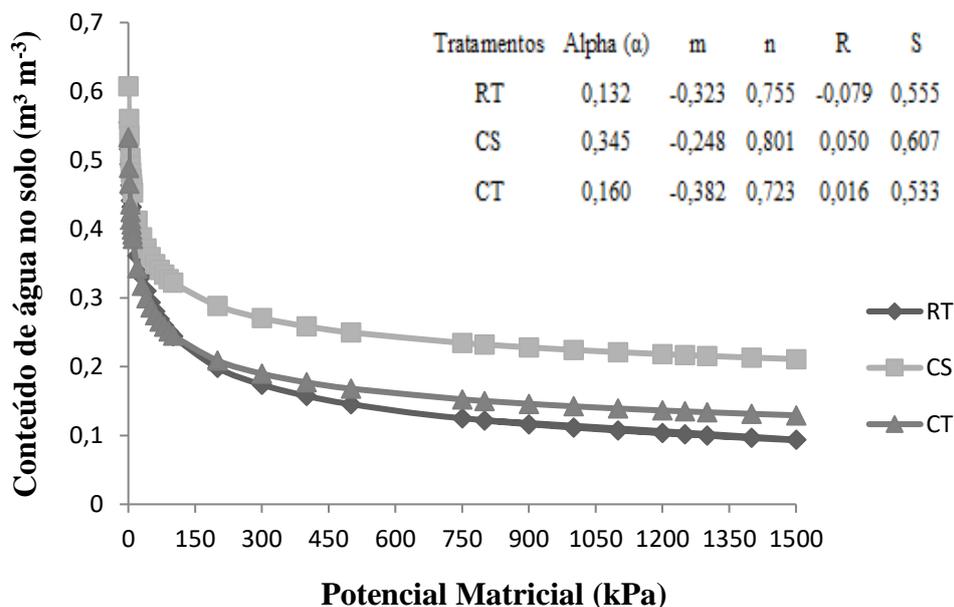


Figura 15 - Curva de retenção de água no solo dos três tratamentos e seus respectivos parâmetros para o ajuste da curva.

Legenda – RT: Retirada; CS: Com serrapilheira; CT: Controle.

Tabela 3 – Resultado dos valores de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para cada tratamento.

Tratamentos	CC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	PMP ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	AD ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
RT	0,32	0,09	0,23
CS	0,38	0,21	0,17
CT	0,31	0,13	0,18

Legenda – RT: Retirada; CS: Com serrapilheira; CT: Controle; CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AD: Água disponível.

A CRAS estimada para o tratamento “RT” apresentou comportamento descendente, ou seja, o conteúdo de água no solo foi diminuindo conforme foi aplicando maiores tensões. No potencial matricial 0 atingiu um máximo valor de umidade $0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. E no maior potencial matricial 1500 a umidade atingiu seu valor mínimo $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e também seu valor de ponto de murcha permanente. A capacidade de campo atingiu valor de $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e a água disponível de $0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Para o tratamento “CS” também apresentou um comportamento descendente. No potencial matricial 0 atingiu um máximo valor de umidade $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. E no maior potencial matricial 1500 a umidade e respectivamente o seu ponto de murcha permanente, atingiu valor mínimo $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A capacidade de campo atingiu $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de conteúdo de água no solo e a água disponível $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

E no tratamento “CT” a CRAS estimada, assim como os outros dois tratamentos, continuou apresentando um comportamento descendente. No potencial matricial 0 atingiu um máximo valor de umidade $0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. E no maior potencial matricial 1500 kPa a umidade e o ponto de murcha permanente atingiu seu valor mínimo $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Neste tratamento a capacidade de campo teve valor de conteúdo de água no solo de $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e a água disponível de $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Analisando a Figura 15, observou-se diferença entre as curvas de retenção de água no solo nos diferentes tipos de tratamentos da cobertura do solo, principalmente entre o tratamento “RT” e “CS”. Essa diferença pode ter sido ocasionada devido ao maior teor de matéria orgânica presente no tratamento que possui a serapilheira, pois segundo Silva et al. (2015), um dos principais fatores que interferem na retenção de água em solos é a matéria orgânica.

A partir da análise de variância entre a CRAS de cada tratamento ($F_{2,99} = 3,9$; $p=0,02$), observou-se que entre os modelos estimados, houve diferença significativa, mesmo realizando uma análise a partir do ponto de inflexão das curvas.

Em relação a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, os maiores valores tanto de CC e PMP ficaram no tratamento “CS” e os menores no tratamento “RT” e ambos corroboram com Pereira et al. (2010), que apresenta valores estimados do conteúdo de água do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente para o tipo de solo analisado neste estudo. Solos argilosos por apresentarem maior quantidade de poros e uma maior área superficial de suas partículas, apresentam maior quantidade de água retida na CC e no PMP (BUSKE, 2013).

O tratamento “RT” possuiu um maior valor de água disponível para as plantas ($0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e o tratamento “CS” possuiu um menor valor ($0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). A água disponível é considerada como o teor de água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Essa capacidade de água disponível para as plantas

pode tornar mais restritiva ou menos restritiva para uma determinada cultura, pois além de variar em função dos atributos do solo e condições meteorológicas, cada planta possui uma determinada necessidade de água para seu desenvolvimento (REICHARDT e TIMM, 2012).

Neste contexto, é comum o manejo de sistemas de irrigação com o uso destes atributos, acionando-se os sistemas antes que o solo alcance o teor de PMP e desligando no momento em que se atinge a umidade de capacidade de campo, diminuindo perdas de água, reduzindo custos de irrigação e aumentando a produtividade (BUSKE, 2013).

Um estudo realizado por Sales et al. (2016), em que as análises levaram em conta o plantio direto e o plantio convencional, tendo como testemunha a mata nativa, no semiárido brasileiro, mostrou que por mais que a compactação superficial do solo tenha sido mais intensa no plantio direto em relação ao plantio convencional, não houve diferença da CC e PMP nesses diferentes tratamentos e em diferentes profundidades, inclusive em relação à mata nativa.

Em contrapartida, o estudo de Dalmago et al. (2009) que analisaram a retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional no sul do país, observaram que nas camadas mais próximas à superfície e em potenciais matriciais mais elevados, a retenção de água no solo em plantio direto é maior que no solo em preparo convencional. Com relação à CC e o PMP, que são os limites de água disponível às plantas, houve interação significativa somente para PMP.

Dalmago et al. (2009), observaram que na maioria das profundidades em que foram avaliadas foi evidente a tendência de umidade do solo mais elevada no PMP em preparo convencional que em plantio direto, mas com diferença significativa entre sistemas de manejo apenas na profundidade mais elevada, sendo a diferença, portanto, atribuída à variabilidade natural do solo. Para a CC, a diferença foi significativa entre sistemas de manejo de solo e entre profundidades no perfil. A umidade na CC foi significativamente maior no preparo convencional em relação ao plantio direto, indicando que o solo no plantio direto reteve menos umidade logo após a drenagem natural. A umidade do solo na CC próximo à superfície não houve diferenças significativas entre profundidades.

A ausência de diferença significativa entre sistemas de manejo para a umidade do solo em CC e PMP, ocorre devido a umidade do solo em PMP ser determinada pelo conteúdo de argila, o qual não é afetado pelos sistemas de manejo enquanto aquela na CC deriva da interação complexa entre conteúdo de argila, estrutura, densidade e carbono orgânico do solo, cujo impacto da mudança desses fatores sobre a umidade do solo em CC, pode ser parcialmente compensado (DALMAGO et al, 2009; REYNOLDS et al., 2002).

Solos argilosos tendem a ter maior conteúdo de umidade na condição de saturação e de capacidade de campo, o que é positivo para as plantas. Mas, da mesma forma, apresentam maior umidade no ponto de murcha. Isso significa que nesta condição ainda que exista muita água no solo, porém esta água está tão fortemente ligada às partículas de argila, e conseqüentemente as plantas não conseguem retirá-la do solo (COLLISCHONN e TASSI, 2008).

5. CONCLUSÃO

A densidade do solo e a umidade do solo corroboraram com os dados da literatura, ou seja, a densidade do solo foi menor no tratamento que havia maior teor de matéria orgânica e a umidade do solo foi maior neste mesmo tratamento.

De acordo com as análises realizadas para a curva de retenção de água no solo, observou-se que houve diferença significativas entre os tratamentos.

A umidade na CC e no PMP atendeu aos valores correspondentes na literatura para o tipo de solo estudado e mostrou-se independente de qualquer tratamento em que foi proposto.

A condutividade hidráulica não saturada do solo apresentou diferença entre os diferentes tratamentos de cobertura do solo na área de estudo e entre as estimativas propostas.

De um modo geral, a cobertura do solo para a área de estudo influenciou nas variáveis, que apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos no período analisado.

6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

É sugerido estudo com tempo maior de análise, ou seja, não só no período considerado seco na região, mas também no período considerado úmido e analisando além da camada superficial bem como outros parâmetros como porosidade total, carbono total, densidade de raiz, entre outros parâmetros relevantes, sendo uma forma de tornar a pesquisa mais completa e consistente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIEIRA, J.; CUNHA, C. N.; Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (*Vochysiaceae*), no Pantanal Norte, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 3, p. 569-580, 2006.

BARROS, R. T. V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Editora Tessitura, 424p., Belo Horizonte, 2012.

BASSI, N.; KUMAR, M. D.; SHARMA, A.; PARDHA-SARADHI, P. Status of wetlands in India: A review of extent, ecosystem benefits, threats and management strategies. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 2, p. 1–19, 2014.

BERNARDES, R. S. **Condutividade hidráulica de três solos da Região Norte Fluminense**. Tese (mestrado) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2005.

BETIM, L. S. **Caracterização da condutividade hidráulica dos solos e estudo da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do Córrego Palmital -Viçosa/MG**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2013.

BORMA, L. S.; RENNÓ, C. D. **Processos Hidrológicos**. CST 318/SER 456. Tema 4 – Infiltração e movimento da água no solo - parte 2. DPI – INPE, 2017.

BRANDÃO, L.G.; ANTAS, P.T.Z.; OLIVEIRA, L.F.B.; JORGE-PÁDUA, M.T.; PEREIRA, N.C.; VALUTKY, W.W. Plano de Manejo da Reserva Particular de Patrimônio Natural do SESC Pantanal. *Conhecendo o Pantanal* 3: 1-149, 2011.

BUSKE, T.C. **Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2013.

CARSEL, R. F. AND R. S. PARRISH. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. **Water Resour Res.** n. 24: 755-769, 1988.

CARVALHO, L. A. **Condutividade Hidráulica do solo no campo: As simplificações do método do Perfil Instantâneo**. 2002. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Infiltração**. Apostila de Hidrologia, cap. 5, UFRRJ, 2006.

CARVALHO, P. V. de. **Estudo do fluxo de CO₂ e do estoque de Carbono do solo em área de interflúvio no Pantanal município de Poconé Mato Grosso**. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

CNCFLORA. **Attalea phalerata**. Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Attalea phalerata](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Attalea%20phalerata)>. Acesso em 14 julho 2017.

COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: parte I infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.4, n. 2, p.137-141, 2000.

COELHO, C. R. B. **Estudo Teórico e Experimental de Fluxo de Água e Transporte de Solutos em Equilíbrio e Não-Equilíbrio em Solos Tropicais**. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 141 p., 2016.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. IPH UFRGS, Versão 5, 2008.

COSTA, C. D. O.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. P. Armazenamento de água em dois solos sob diferentes usos e manejos. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 10, n. 2, p. 55-65, 2016.

CUNHA, C. N.; REBELLATO, L.; COSTA, C. P. Biodiversidade no Pantanal de Poconé – Vegetação e flora: experiência pantaneira no sistema de grade - Capítulo 3. Cuiabá: Centro de Pesquisa do Pantanal, 2010. 196p.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água

às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.855–864, 2009.

DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; POTT, A.; POTT, V. J.; SILVA, J. S. V. Florestas estacionais no Pantanal: considerações florísticas e subsídios para conservação. **Geografia**, 34: 697-707, Rio Claro, 2009.

DECAGON DEVICES. **Mini Disk Infiltrometer**. Version: September 2, 2016, 24p, 2016.

DECAGON DEVICES (2015). **WP4C Water Potential Meter – Comparisons**. Disponível em: <<https://www.decagon.com/en/soils/benchtop-instruments/wp4c-water-potential-meter/>>, Acessado em: 24 de novembro de 2017.

DIAS, V. R. M. **Ciclagem de carbono e nutrientes em florestas sazonalmente inundáveis no Pantanal Mato-Grossense**. Cuiabá, 2017, 131p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2017.

DOHNAL, M.; DUSEK, J.; VOGEL, T. Improving hydraulic conductivity estimates from Minidisk Infiltrometer measurements for soils with wide pore-size distributions. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 74:804-811, 2010.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 230, 2011.

FILGUEIRAS, R.; OLIVEIRA, V. M. R.; CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, E. J. Modelos de curva de retenção de água no solo. **Revista Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 115-120, 2016.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1174-1184, 2013.

GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D.; JUNIOR, G. B. Condutividade Hidráulica não saturada de um Fragipânico coeso determinada pelo método do Perfil Instantâneo. **Principia**, João Pessoa, n.14, Dezembro, 2006.

HOFMANN, G. S.; HASENACK, J. L. P. C.; OLIVEIRA, L. F. B. **O clima na Reserva Particular de Patrimônio Natural SESC Pantanal**. Rio de Janeiro: SESC, Departamento Nacional, 84 p., 2010.

ISABEL, M. **Retenção de água no solo.** Disponível em <<http://slideplayer.com.br/slide/1573994/>>, Acessado em: 06 de fevereiro de 2018.

JENSEN, D. K.; TULLER, M.; JONGE, L. W.; ARTHUR, E.; MOLDRUP, P. A New Two-Stage Approach to predicting the soil water characteristic from saturation to oven-dryness. **Journal of Hydrology**, v. 521, p. 498–507, 2015.

JUNK, W. J.; BROWN, M.; CAMPBELL, I. C.; FINLAYSON, M.; GOPAL, B.; RAMBERG, L. & WARNER, B. G. The comparative biodiversity of seven globally important wetlands: A synthesis. **Aquatic Sciences**, v.68, p. 400-414, 2006a.

JUNK, W. J.; NUNES DA CUNHA, C. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological Engineering**, 24(4):391-401, 2005.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P. Mesa de Tensão com areia: Procedimentos para montagem e validação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, nº 32, p. 2209-2214, 2008.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 349-354, 2011.

MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; CONCEIÇÃO, B. P. S. Curva de Retenção de Água elaborada pelo método do psicrômetro para uso na determinação do Índice “S” de qualidade física do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.5, p.959-966, set/out. 2015.

MENDES, R. F. **Estudo das propriedades Geotécnicas de solos residuais não saturados de Ubatuba (SP).** 2008. 236f. Tese (Doutorado em engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

MENDONÇA, L. A. R.; VÁSQUEZ, M. A. N.; FEITOSA, J. V.; OLIVEIRA, J. F.; FRANCA, R. M.; VÁSQUEZ, E. M. F.; FRISCHKORN, H. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Revista Eng Sanit Ambient**, v.14, n.1, p. 89-98, 2009.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Revista Ciência Rural**, v.34, n.3, mai-jun, 2004.

METER Group, Inc. **WP4C Dew Point PotentiaMeter - Operator's Manual**. Pullman, Washington, USA, Version: June 2, 2017.

MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M. V. S.; SILVA, D. F. Ciclo Hidrológico Planetário: abordagens e conceitos. **Geo UERJ** - Ano 12, v.1, n.21, 2010.

MIRANDA, J. H.; LIBARDI, P. L.; LIER, Q. J.; MORAES, S. O. **Capítulo 9: movimento da água no solo**. São Paulo: – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, 2015.

NETO, G. S.; SANTOS, K. P.; FERNANDES, G. A. G.; OLIVEIRA, C. F. Determinação da equação e da curva de velocidade de infiltração da água de latossolo vermelho. **Jornada Acadêmica da UEG**, campus Santa Helena de Goiás, v. 5, nº 1, 2011.

OLIVEIRA, L. F. C.; ROQUE, C. G. Determinação da umidade do solo por micro-ondas e estufa em três texturas de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 3, n. 4, p. 60-64, out./dez. 2016.

PAVÃO, L. L. **Caracterização dos atributos Físico-Hídricos do solo da área de Acuri Pantanal Mato-Grossense**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2017.

PEREIRA, L.S.; VALERO, J.A.J.; BUENDÍA, M.R.P.; MARTÍN-BENITO, J.M.T. **El riego e sus tecnologías**. Albacete: CREA-UCLM, 296 p., 2010.

POTT, C. A.; ROSIM, D. C.; DE MARIA, I. C. Velocidade de Infiltração de Água VIB: Para que serve e como avaliar essa importante propriedade dos solos. **O Agrônomo**, Campinas, 57(1), 2005.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 2. ed. - São Paulo: Manole, 500p., 2012.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p.131-146, 2002.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, jul-set, 2016.

SILVA, L. B. **Relações entre Aporte de Serrapilheira, Nutrientes e Efluxo de Dióxido de Carbono em Floresta Inundável de *Vochysia divergens Pohl* no Pantanal Mato-Grossense**. 2013. 70 f. Tese (Doutorado em Física ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

SILVA, T. T. S.; MONTEIRO, D. R.; ALMEIDA, B. G.; FIRMINO, M. C.; LIMA, V. L. A. **Comportamento da curva de retenção de água em diferentes tipos de solo**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2015.

SILVA JUNIOR, J. J. **Determinação da condutividade e hidráulica do solo utilizando o problema inverso do software Hydrus-1D**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SILVA JUNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R.; SOARES, W. A. Parâmetros de infiltrabilidade em solo urbano para modelo chuva-vazão. **Periódico Eletrônico “Fórum Ambiental da Alta Paulista”**, v. 12, nº 3, 2016.

SOLONE, R.; BITTELLI, M.; TOMEI, F.; MORARI, F. Errors in water retention curves determined with pressure plates: Effects on the soil water balance. **Journal of Hydrology**, v. 470–471, p. 65–74, 2012.

STEFANOSKI, D. C.; SOUZA, T. R. S.; SANTOS, I. L.; ALENCAR, V. S.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L. **Densidade, resistência à penetração e**

porosidade sob sistemas de manejo em Latossolo do Cerrado piauiense.

XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis – SC, 2013.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia. Ciências e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 943p., 1993.

UBAID, F. K. **Efeitos do Fogo sobre comunidades de aves no Pantanal Mato-Grossense.** Tese (doutorado) - Instituto de Biociências de Botucatu da Universidade Estadual Paulista, 2014.

UMS (2015). **Operation Manual HYPROP** – version 2015_01, UMS GmbH, Munich, Germany, 2015.

van GENUCHTEN, M. TH. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

WARD, A.D.; TRIMBLE, S.W. **Environmental Hydrology.** 2nd Ed. USA: Lewis Publishers, 475 p., 2004.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Sci Soc. Am. J.** n.6, p.1024-1030, 1997.