

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**AJUSTES DE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA PARA  
AMOSTRAS INDEFORMADAS E DEFORMADAS EM  
DIFERENTES TEXTURAS DE SOLO**

SARA VICTÓRIA MOREIRA DE SIQUEIRA CRIADO  
STEPHANY LILLIAN SILVEIRA FRANÇA

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2018

**AJUSTES DE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA PARA AMOSTRAS  
INDEFORMADAS E DEFORMADAS EM DIFERENTES TEXTURAS  
DE SOLO**

SARA VICTÓRIA MOREIRA DE SIQUEIRA CRIADO  
STEPHANY LILLIAN SILVEIRA FRANÇA

Orientador: Prof.Dr.Eder Pereira Gomes  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup>Dr.<sup>a</sup> Elaine Reis PinheiroLourente

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal da Grande Dourados, como  
parte das exigências para conclusão do curso de  
Engenharia Agrícola.

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2018

**AJUSTES DE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA PARA AMOSTRAS  
INDEFORMADAS E DEFORMADAS EM DIFERENTES TEXTURAS DE SOLO**

Por

Sara Victória Moreira de Siqueira Criado  
Stephany Lillian Silveira França

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para  
obtenção do título de ENGENHEIRA AGRÍCOLA

Aprovado em: 7 de Março de 2018.

---

Prof. Dr. Eder Pereira Gomes  
Orientador – UFGD/FCA

---

Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro  
Membro da Banca – UFGD/FCA

---

Prof.<sup>a</sup>Dr.<sup>a</sup> Anamari Viegas de Araújo Motomiya  
Membro da Banca – UFGD/FCA

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

F837a França, Stephany Lillian Silveira  
AJUSTES DE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA PARA AMOSTRAS INDEFORMADAS E DEFORMADAS EM  
DIFERENTES TEXTURAS DE SOLO / Stephany Lillian Silveira França, Sara Victoria Moreira de Siqueira Criado, Eder  
Pereira Gomes -- Dourados: UFGD, 2018.  
45f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Eder Pereira Gomes  
Co-orientadora: Elaine Reis Pinheiro Lourente

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) -Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Grande Dourados.  
Inclui bibliografia

I. Potencial Matricial. 2. Umidade do solo. 3. Granulometria. I Sara Victoria Moreira de Siqueira Criado II Eder Pereira  
Gomes III. Título.

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

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

## AGRADECIMENTOS

Sara Victória Moreira de Siqueira Criado

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida que tenho, pela saúde, sabedoria e por sempre me dar o caminho certo para a realização dos meus objetivos.

Agradeço a minha família, por todo apoio dado, a minha mãe Maristela Moreria de Siqueira e pai Diego Criado Mancilla, por todos os princípios passados e todo ensinamento dado.

Ao meu noivo Vinicius De Sousa Pereira, que em todo esse período me ajudou, auxiliou e acreditou em mim.

Ao Prof. Dr. Eder Pereira Gomes, pelo auxílio, colaboração e orientação durante toda esta etapa.

Agradeço aos meus amigos, Carlos César Silva Jardim, Elton Bruno e Rogério Alves de Oliveira que nos ajudou na execução deste trabalho, tanto em campo como em laboratório. Agradeço a minha companheira de trabalho Stephany Lillian Silveira França, pela ajuda, empenho e dedicação para que este experimento fosse realizado com êxito, meu muito obrigado a todos envolvidos, direto e indiretamente.

## AGRADECIMENTOS

Stephany Lillian Silveira França

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelas oportunidades colocadas em meu caminho, por sempre me guiar nos momentos difíceis e por nunca me abandonar.

A Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD por tornar possível a realização desta pesquisa.

A minha mãe Eliane Braga Silveira por ter sido minha mãe e meu pai, pelo amor, pelo apoio, pela paciência, por me incentivar a nunca desistir diante de tantos momentos de dificuldade passadas ao longo desses anos e principalmente por sempre acreditar em mim.

A minha família, em especial minha avó Maria José Braga Silveira por estar presente na minha vida, por tantas vezes que ligou pra ver como eu estava e por me confortar quando eu só queria chorar.

Ao meu namorado, Rogério Alves de Oliveira, por ser meu porto seguro, pela ajuda, pelo carinho e companheirismo. Sendo essencial para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Eder Pereira Gomes, pela orientação na condução deste estudo, seus ensinamentos, paciência, confiança e apoio em futuros trabalhos.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial aos amigos feitos durante o curso de engenharia agrícola, Haroldo Martins de Freitas, Jhon Correa, Fabrício Dantas, Jimmy Alegre, Sara Victória, Franciely da Cruz, Letícia Barbosa, Elton Bruno e Thaine Luchetti que de alguma forma marcaram minha vida. Particularmente meu amigo Carlos César Silva Jardim, por todo conhecimento compartilhado e dedicação a ajudar realizar este experimento.

Agradeço também a todos meus amigos fora da faculdade que torceram por mim durante este processo de conclusão de curso, Carla Akahoshi, Yasmin Garcez, Tássia Andrade, Nayara Mendes, Ana Carolini Silva, Tatiane Jara Garcia e Elimar Godoy.

Enfim, gratidão por todos que de alguma forma contribuíram para realização deste estudo e por vencer uma importante etapa da minha caminhada.

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
2.1. Água no solo.....	13
2.2. Curva de retenção de água no solo .....	14
2.3. Atributos do solo que afetam a curva de retenção.....	15
2.4. Métodos para obtenção da curva de retenção de água.....	16
2.4.1. Câmara de pressão de Richards.....	17
2.5. Amostras indeformadas e deformadas.....	18
2.5.1. Amostras indeformadas.....	18
2.5.2. Amostras deformadas.....	19
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1. Caracterização da área de estudo.....	20
3.2. Amostragem de solo .....	20
3.3. Curva de retenção de água no solo .....	21
3.3.1. Câmara de pressão de Richards.....	21
3.4. Ajuste da curva de retenção de água. ....	25
3.5. Análise Granulométrica.....	25
3.5.1. Método da pipeta.....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
4.1. Avaliação da curva experimental de retenção de água em diferentes metodologias.....	28
4.2. Avaliação da curva teórica de retenção de água em diferentes metodologias.....	31
4.3. Avaliação da curva teórica de retenção de água em diferentes solos e metodologias.....	34
4.4. Resultados das análises granulométricas.....	37
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>39</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>40</b>

CRIADO, S. V. M. DE S. e FRANÇA, S. L. S. **Ajustes de curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas em diferentes texturas de solo.** 2018. 37p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

### RESUMO

Este trabalho teve por objetivo determinar a curva de retenção de água no solo utilizando a câmara de pressão de Richards, com amostras indeformadas e deformadas, de três regiões: Dourados, Itahum e Juti, pertencentes a diferentes classes texturais. Foram coletadas 24 amostras indeformadas e deformadas nas camadas de 0 a 0,2 m. submetidas a seis pressões: 10-30 - 60- 100 - 300 - 1500 kPa. As curvas de retenção de água no solo estimada pela câmara de Richards foram ajustadas pela equação de Van Genuchten, obtendo-se os coeficientes  $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$ . Também foram mensuradas as variáveis porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, granulometria. A Avaliação da curva de retenção com base nas amostras deformadas demonstra um comportamento dos solos contrário quando comparado a curva de retenção com as amostras indeformadas, pois a quantidade de água é menor do nas amostras deformadas quando comparada as indeformadas logo nas primeiras pressões, demonstrando uma fragilidade dos solos quando são desestruturados. Este comportamento valida a importância da manutenção da estrutura do solo para fins hídricos, sendo que o revolvimento do solo, desestruturando da sua característica original, acarreta em uma menor retenção de água, fazendo com que o manejo de irrigação seja diferente do que o necessário.

**Palavras-chave:** Potencial matricial; Umidade do solo; Granulometria.

## ABSTRACT

The objective of this work was to determine the water retention curve in the soil using the Richards pressure chamber, with undisturbed and deformed samples from three regions: Dourados, Itahumã and Juti, belonging to different textural classes, and deformed in the 0 to 0.2 m layers, subjected to six pressures: 10-30 - 60 - 100 - 300 - 1500 kPa. The water retention curves in the soil estimated by the Richards chamber were adjusted by the Van Genuchten equation, obtaining the coefficients  $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$ ,  $m$  and  $n$ . The variables total porosity, macroporosity, microporosity, soil density and particle size were also measured. The evaluation of the retention curve based on the deformed samples demonstrates a contrary soil behavior when compared to the retention curve with the undeformed samples, since the amount of water is lower than in the deformed samples when compared to the undisturbed samples at the first pressures, demonstrating a fragility of the soils when they are unstructured. This behavior demonstrates the importance of maintaining the soil structure for purposes of water, and the soil revolting, de-structuring of its original characteristic, results in a lower water retention, making irrigation management different than necessary.

Keywords: Matrix potential; Soil moisture; Granulometry.

## 1. INTRODUÇÃO

A curva de retenção de água (CRA), conhecida também como curva característica de umidade é utilizada para estudos de qualidade do solo, pois visa conduzir as práticas de uso e o manejo sustentável dos sistemas de produção agrícola (MACHADO et al., 2008).

Vem sendo utilizada para explicar a dinâmica da água no solo, essa curva constitui graficamente a interação entre a energia de retenção de água (potencial matricial, em escala logarítmica) e o conteúdo de água presente, o qual tem relação com as características intrínsecas de cada solo, conforme os atributos do solo (CARDUCCI et al., 2011).

É fundamental ter o conhecimento sobre os atributos físicos do solo, saber como o solo funciona no ecossistema e como ele pode ser melhor manejado e conseqüentemente mais produtivo, o que pode contribuir para o gerenciamento, reduzindo custos nos sistemas de produção. Estudos e análises possibilitam o aumento da produção, a diminuição da degradação do solo e diminuição da poluição dos recursos hídricos (MACHADO et al., 2008).

O cultivo do solo ocasiona modificações nos atributos físicos, conforme a intensidade de preparo do solo, de início com alterações na quantidade do volume de macroporos, tamanho de agregados, taxa de infiltração de água no solo e aumento da resistência à penetração de raízes e densidade do solo (ANJOS et al., 1994; ALBUQUERQUE et al., 1995; KLEIN & BOLLER, 1995; CAVENAGE et al., 1999; BEUTLER et al., 2001; UTSET & CID, 2001). Ocorrendo as modificações na estrutura do solo junto com a compactação faz com que a perda da estabilidade dos agregados mudam a distribuição do tamanho dos poros, bem como a retenção, o movimento e a disponibilidade de água no solo (MACHADO et al., 2008).

Em campo, geralmente o preparo do solo é conduzido sem levar em conta a umidade do solo, a qual é um dos fatores controladores da compactação (DIAS JUNIOR & PIERCE, 1996).

As curvas de retenção de água são construídas com dados obtidos pela metodologia de Richards (1965), determinando a umidade do solo correspondente ao potencial mátrico ou matricial ( $\Psi_m$ ) aplicado. O extrator ou câmara de Richards possui o formato de uma panela de pressão, contendo uma placa cerâmica porosa, equipamentos de produção e controle de pressão, podendo usar tanto amostras indeformadas como deformadas. A literatura determina que a estrutura do solo influencie na retenção de água desde valores próximos a zero até valores entre -100 a -200 kPa (HILLEL, 1998; RICHARDS, 1965).

Richards (1965) em sua metodologia descreve que, a extração de água ocorre por diferença de potencial entre a placa porosa e a amostra de solo eo fluxo de água é consideravelmente reduzido quando o potencial matricial ficar mais negativo, em relação de quando se aproxima de  $-1500$  kPa, gastando um tempo maior para atingir o equilíbrio da umidade na amostra (COLLARES et al., 2002).

Segundo Beutler et al. (2002) a curva de retenção da água do solo é representada pelo teor de água ( $\theta$ ) e potencial mátrico ( $\Psi_m$ ), com a perda lenta e contínua dessas variáveis durante a drenagem do solo. O conceito de água retido no  $\Psi_m$  é decorrente da estrutura e da distribuição dos tamanhos de poros. E Rawlset al. (1991) apresentaram resultados de que, em elevados  $\Psi_m$ , a curva de retenção tem interferências por poros estruturais associados ao efeito da matéria orgânica (MO) na formação e na estabilidade da estrutura do solo.

A realização da determinação da curva de retenção de água no solo pode ser feita diretamente no campo ou em laboratório utilizando amostras deformadas e indeformadas de solo (CAMPBELL, 1988; URACH, 2007; NASCIMENTO, 2009; EMBRAPA, 2011), e a utilização de diferentes metodologias, como por exemplo, a mesa de tensão, câmara ou extrator de Richards e outras (RICHARDS, 1965; EMBRAPA, 2011).

O conteúdo de água retido no solo em determinada tensão é característica específica de cada solo e é resultado da ação conjunta e complexa de vários fatores. Este depende do teor e mineralogia da fração argila, do teor de matéria orgânica, das diferenças da microestrutura com elas relacionadas e da compactação do solo. Para altos conteúdos de água, nos quais os fenômenos capilares são importantes na retenção de água, onde depende da densidade do solo e da porosidade, enquanto, para menores conteúdos de água, em que o fenômeno de adsorção domina, depende mais da textura e da superfície específica do solo (BEUTLER et al., 2002).

Cada cultura tem a necessidade de uma determinada porcentagem de água para se desenvolver da melhor maneira possível, evitando as perdas e aplicando um bom manejo de tal forma que a análise é de altíssima importância, com ela descobre se a quantidade de lâmina de água ideal que deve ser aplicada nestas diferentes texturas do solo das regiões estudadas. Por essa razão que nem toda água que o solo consegue armazenar está disponível para as plantas. Normalmente, a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) são usualmente considerados como a quantidade máxima e mínima de água disponível. Através desta quantidade, pode-se determinar a quantidade de armazenamento de água no solo, considerando a profundidade do sistema radicular das plantas (ROSSATO, 2001).

A análise granulométrica do solo é bastante utilizada para determinar algumas propriedades hídricas, entre elas a curva de retenção de água no solo (ARYA & PARIS, 1981; HWANG & POWERS, 2003).

Os fatores que determinam a quantidade de água disponível às plantas são a estrutura do solo, por reorganizar as partículas e a textura, que dispõe a composição granulométrica do solo. E também o teor de matéria orgânica (KLEIN & LIBARDI, 2000).

Por meio do estudo da porosidade e textura do solo conclui-se que comportamento da água em seu interior, mostrando suas características de retenção e condução. Para analisar as características de retenção de água no solo, utiliza-se a curva de retenção de água no solo, que estabelece o teor de água e a tensão com que a mesma está contida no solo (GRIGOLON, 2013).

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar e modelar a retenção de água no solo das amostras indeformadas e deformadas, de três regiões: Dourados, Itahum e Juti, pertencentes a diferentes classes texturais.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Água no solo

A água disponível no solo é proveniente das precipitações ou da irrigação que nela é aplicada, quando atinge a superfície do solo pode infiltrar ou escoar pela superfície, a água que infiltra no solo, boa porcentagem retorna à atmosfera pela evaporação direta do solo e parte pela transpiração das plantas, cujo nome é conhecido como evapotranspiração. E a água que sobra no solo fica acumulada nos horizontes do solo, sendo grande parte absorvida pelas raízes das plantas ou vão concentrar nas camadas mais profundas, no lençol freático, sendo assim dando origem às nascentes, lagos e pequenos rios (KIEHL, 1979).

A água no solo é essencial para a produção agrícola, age como um solvente para o solo, pois junto com os sais minerais compõe a solução do solo que por sua vez, fornece nutrientes essenciais aos vegetais em crescimento (GRIGOLON, 2013).

O solo é um reservatório natural de água para as plantas e é reabastecido pelas chuvas, ou até pela irrigação, desta forma é importante realizar o acompanhamento periódico do armazenamento de água no solo, para determinar se a necessidade de aplicar água por meio da irrigação ou não (VIEIRA, 2006).

A água pode ser caracterizada de diferentes formas e quantidades, o termo potencial total da água, que é representado pela letra grega ( $\psi$ ), representa a somatória das forças realizadas quando a unidade de massa (volume ou massa) de água em estado padrão é levada isotérmica, isobárica e reversível para o estado considerado ideal para o solo (REICHARDT, 1985). O potencial total da água no solo (Equação 1) é a somatória de cinco potenciais: térmico ( $\psi$ ), pressão ( $\psi_P$ ), gravitacional ( $\psi_g$ ), osmótica ( $\psi_{os}$ ) e matricial ( $\psi_m$ ). O potencial térmico, por conta de suas variações de temperatura que o solo-planta-atmosfera sofre, torna-se muitas vezes desprezíveis. Sendo assim, a equação pode ser descrita da seguinte maneira (REICHARDT, 1985; CAMPBELL, 1988; LIBARDI, 2010):

$$\psi = \psi_P + \psi_g + \psi_{os} + \psi_m \quad (1)$$

Onde:

$\psi_P$ : Ocorre sempre que a pressão que atua sobre a água do solo se diferencia da pressão  $P_0$  que atua sobre a quantidade de água padrão.

$\psi_g$ : Ocorre devido à presença do campo gravitacional terrestre em que é um potencial extremamente importante em solos saturados.

$\psi_{os}$ : Ocorre pelo simples fato da água no solo ser uma solução com muitos sais minerais e a água padrão ser pura.

$\psi_m$ : Conhecido também como potencial capilar, tensão da água no solo, sucção ou pressão negativa potencial matricial é a somatória de todos os outros trabalhos que envolvem a interação entre a matriz do solo e a água, como a força capilar e de adsorção.

## 2.2. Curva de retenção de água no solo

É um atributo físico representado inicialmente por um gráfico, estabelecido em laboratórios que desenvolva relação entre o potencial matricial e o conteúdo de água no solo. O potencial mátrico é a medida da energia de retenção da água pela matriz do solo, enquanto o conteúdo de água revela a quantidade de água presente no solo (REICHARDT & TIMM, 2004; SILVA, 2005; BITTELLI & FLURY, 2009; GUBIANI et al., 2012).

Desta forma, pode-se construir um gráfico relacionando assim as umidades volumétricas ( $\theta$ ) com os esforços de sucção ou potenciais matriciais da água ( $\Psi_m$ ), que é denominado “curva característica da água no solo” ou “curva de retenção”, os diferentes valores de  $\Psi_m$  e  $\theta$  vão refletir na disponibilidade de água no solo para as plantas (AGUIAR, 2007; JURY et al., 1991).

A textura do solo influencia a curva de retenção, porque são diferentes para solos argilosos, siltosos e arenosos, sendo assim quanto maior for o conteúdo de argila, maior o teor de água absorvida pelo solo, sob um dado potencial mátrico, dessa forma menor a inclinação da curva devido à classificação uniforme dos poros. Já em solos arenosos os poros são maiores, perdendo rapidamente a água, que é absorvida no solo a baixas tensões, sobrando assim pequena porcentagem de água retida a altas tensões, o que explica assim a maior inclinação da curva de retenção de água, além disso, o mecanismo de adsorção também ocorre de forma mais intensa em solos de textura fina (PEREIRA, 2004; HILLEL, 1982).

Segundo Reichardt (1990), a estrutura e a granulometria do solo são fatores importantes para a curva de retenção de água no solo, a estrutura caracteriza o arranjo das partículas e, por consequência, a distribuição dos poros, e a granulometria resulta da composição mineralógica do solo.

A curva de retenção de água é um importante indicador da qualidade física do solo, (SILVA et al., 2010; DEBNATH et al., 2012), e por estar associada a diferentes quantidades de volume, com a molhagem e secagem do solo, tem-se assim uma grande importância para configurar os solos.

Também é possível estimar outros atributos do solo, como, a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente, quantidade de água disponível, a porosidade do solo, balanço hídrico, condutividade hidráulica não saturada através destes atributos determina-se a instabilidade de armazenamento que o solo possui (COSTA; OLIVEIRA; KATO, 2008; SÁ et al., 2010; REZAEI; SHABANPOUR; DAVATGAR, 2011).

Segundo Silva (2005) a curva de retenção de água é fragmentada em três etapas de drenagem: a primeira é quando praticamente todos os poros do solo estão totalmente preenchidos com água e ocorre até o valor de entrada de ar. A segunda etapa é entre a pressão de entrada de ar e o ponto de início da umidade residual, nesta etapa o fluxo da água é em estado líquido, quando a sucção efetuada aumenta e o solo é drenado com o aumento da sucção. Na terceira etapa a conservação da água nos vazios é relativamente reduzida, descontinua e acréscimos adicionais na sucção apenas acontecem mudanças no grau de saturação do solo.

Através da curva de retenção, reconhece que, quando o solo chega à condição de saturação, pequenas sucções são muito suficientes para extrair a água do solo, mas por outro lado, em solos com pouca umidade a retirada de água já exige elevadas atividades de sucções. Sendo assim, a curva mostra a modificação gradual na tensão com que a água é retida quando se diminui ou aumenta a umidade (BRADY & BUCKMAN, 1989).

A curva de retenção é importante em vários aspectos, como também para o produtor rural ajudando no auxílio do manejo da irrigação, como já vimos acima é sim, possível estimar a quantidade de água disponível no solo para as plantas, que tem como limite superior a capacidade de campo e o ponto de murcha do solo como limite inferior de umidade no solo, desta forma estima-se a quantidade de água no solo em relação às necessidades hídricas de determinado cultivo (NASCIMENTO, 2009).

### **2.3. Atributos do solo que afetam curva de retenção**

Os processos de infiltração de água no solo, projetos de irrigação e drenagem, perdas de fertilizantes e de solo por erosão e de substâncias químicas por lixiviação são geralmente relacionados ao fluxo de água, o qual influencia todo o processo de utilização dos recursos do solo e água (MESQUITA & MORAES, 2004)

As modificações provocadas pelo revolvimento na estrutura, distribuição do tamanho dos poros e teor de carbono orgânico, alteram as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade, as quais são fatores determinantes para o desenvolvimento de plantas em sistemas não irrigados. O preparo modifica também a rugosidade superficial, com a incorporação de resíduos vegetais, ocasionando diminuição da infiltração e aumento da evaporação de água. Além do manejo, a granulometria e a constituição do solo influenciam a retenção de água, pois as forças de adsorção dependem, basicamente, da espessura do filme de água que recobre as partículas, a qual varia de acordo com sua superfície específica. Assim, a retenção de água é maior

em solos argilosos e com alto teor de matéria orgânica (SALTON & MIELNICZUK, 1995, ROJAS & VAN LIER, 1999).

Conforme Rezende et al. (2007) o fluxo e a retenção de água no solo dependem da profundidade, textura, estrutura, porosidade e pedofórmula, as quais podem integrar-se de várias maneiras. Entretanto, não se pode prever sempre, para todas as classes de solo, a retenção de água somente a partir da textura. Isso se dá porque, além da textura são importantes os efeitos concorrentes, principalmente da mineralogia, da estrutura e da porosidade. De fato, pouco se pode dizer a respeito do comportamento de um solo que tenha 50% de argila, por exemplo, exceto que ele é argiloso.

A compactação do solo afeta a curva de retenção de água, por provocar a redução da porosidade total do solo por resultar na diminuição dos poros maiores integrados. Sendo assim, o conteúdo de água de saturação e os de água retidos a baixos potenciais são reduzidos. A textura é outro atributo que afeta o conteúdo de água no solo, de forma que quanto maior a quantidade de argila maior será o conteúdo de água sob um dado potencial matricial enquanto que em solos arenosos a tendência é ocorrer o inverso (URACH, 2007).

#### **2.4. Métodos para obtenção da curva de retenção de água**

Pode-se obter a curva de retenção diretamente no campo ou em laboratório utilizando amostras indeformadas e deformadas de solo (CAMPBELL, 1988; URACH, 2007; NASCIMENTO, 2009; EMBRAPA, 2011), utilizando diferentes metodologias, como por exemplo, a mesa de tensão ou câmara de Richards (RICHARDS, 1965; EMBRAPA, 2011) e o psicrômetro modelo WP4-T (*Dewpoint Potential Meter*) (KLEIN; REICHERT; REINERT, 2006; KLEIN et al., 2010).

No campo os métodos usualmente requerem a instalação de tensiômetros e tem a vantagem de possibilitar a determinação da relação potencial matricial e umidade do solo em muitas profundidades simultaneamente sob condições naturais. Mas os métodos de laboratório agilizam análises de um grande número de solos simultaneamente e com maior facilidade (URACH, 2007).

Os métodos têm a finalidade de determinar certo número de pontos estrategicamente selecionados, com o desígnio de traçar uma curva que relaciona a umidade retida no solo em um determinado potencial matricial (NASCIMENTO et al., 2010). No entanto, a maior parte dos equipamentos utilizados para medir a retenção atua quando as forças capilares são predominantes.

### 2.4.1. Câmara de pressão de Richards

O método da câmara de Richards possui limitações, tais como, alto valor de aquisição, dependem de um complexo sistema pneumático, as placas porosas são frágeis, nem sempre se consegue o contato ideal entre a amostra de solo e a placa, além da demora nas determinações em função do lento equilíbrio do potencial da água na amostra e a dificuldade no controle do ponto de equilíbrio entre a pressão aplicada e a água retida no solo, com destaque para altos potenciais (CAMPBELL; SMITH; TEARE, 2007; CÁSSARO et al., 2008; COSTA; OLIVEIRA; KATO, 2008; KLEIN, 2008; TAVARES; FELICIANO; VAZ, 2008; NASCIMENTO et al., 2010).

Entre as metodologias para determinação da curva de retenção de água, uma das mais utilizadas é o tradicional princípio da placa de pressão ou câmara de Richards. A câmara de Richards é um equipamento que consiste numa câmara de pressão hermeticamente fechada. A placa porosa interna permite o fluxo de água e não do ar, por vazios muito pequenos (SILVA, 2005), esquema demonstrativo(Figura 1).

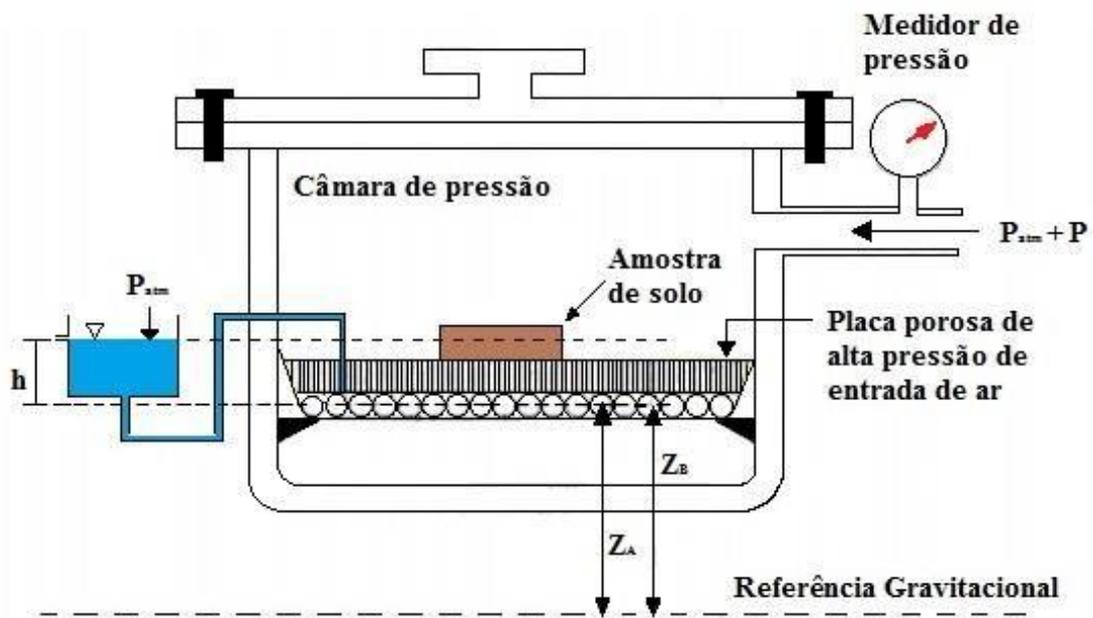


Figura 1. Câmara de Richards (SILVA, 2005).

Na câmara de Richards a metodologia ocorre com extração da água por diferença de potencial entre a placa porosa e amostra de solo, o fluxo de água é exponencialmente reduzido quando o potencial matricial se torna mais negativo, isso faz ser gasto um período muito longo para atingir o equilíbrio da umidade na amostra (NASCIMENTO, 2009).

## **2.5. Amostras indeformadas e deformadas**

Antes de se iniciar a realização de ensaios, deve-se realizar a coleta de amostras, é extremamente importante e primordial para o desenvolvimento de uma pesquisa experimental. As amostras são classificadas em dois grupos parcialmente distintos conforme a sua forma de coleta, classificados como amostras indeformadas e deformadas.

### **2.5.1. Amostras indeformadas**

São porções de solo que apresentam os mesmos arranjos encontrados no campo e que não tenham sofrido alterações ao decorrer do tempo ou que sejam percentualmente pequenas a ponto de poderem ser utilizadas em ensaios de laboratório (TEIXEIRA; MAGALHÃES; BRAUNBECK, 2000).

Segundo Godoi (2014), deve haver cuidados extremamente especiais na coleta das amostras indeformadas para a execução de ensaios de laboratório. Entretanto, a falta de cuidados no momento da retirada da amostragem pode ocorrer deformações nas amostras de solo, comprometendo assim a confiabilidade dos resultados (PIRES et al., 2004; PIRES; BACCHI; REICHARDT, 2004).

As alterações na estrutura física das amostras podem ocorrer próximo das paredes do anel volumétrico ou cilindro, conhecido como anel de Kopeck, em decorrência do rearranjo das partículas de solo e da forma de entrada do amostrador no perfil do solo por impacto, independentemente da classe textural do solo (BORTOLON et al., 2009).

A forma utilizada para a coleta de amostras indeformadas de solo é com o uso de um anel volumétrico de aço inox ou alumínio com uma altura e um diâmetro conhecido, que é introduzido no solo com a indispensabilidade e da aplicação de uma pressão mecânica, normalmente por impacto, a diferentes amostradores (EMPRESA 1997; KLEIN, 2012).

O castelo é um tipo de amostrador, prático, simples e muito barato, no qual o anel de Kopeck é introduzido diretamente no solo por meio de golpes com um martelo (preferencialmente) de borracha ou nylon. Entretanto mesmo que ele seja de baixo custo e de fácil manuseio, o uso desse método está em crescente extinção por um grande malefício que ele possui: a retirada do anel do solo, ou seja, como o anel é introduzido diretamente no solo, há a necessidade da escavação ao redor do anel de Kopeck para a sua retirada do solo, o que demanda grande tempo de coleta e grande perda de amostras. Além disto, como o impacto é realizado por batidas com martelos, a força aplicada na coleta não é constante (KLEIN, 2012).

### **2.5.2. Amostras deformadas**

As amostras deformadas devem ser mantidas com sua umidade natural, o acondicionamento deve ser feito em recipientes de plástico, vidro ou alumínio com tampa hermética, parafinada ou até selada com fita colante, identificando adequadamente cada amostra. As amostras só devem ser coletadas do material retirado à medida que a trincheira avance, não é permitida a amostragem por raspagem da parede. Os recipientes com as amostras devem permanecer a sombra, em um local ventilado, até ser levado ao laboratório (NBR 9604, 1986).

A coleta de amostras deformadas ocorre quando existe a quebra da estrutura do solo. As amostras deformadas devem conservar todos os minerais, e também a umidade natural do solo. Entretanto não conservam a estrutura original do solo que é modificada pelo método que é extraída do solo. As retiradas dessas amostras do solo são feitas com o uso de alguns equipamentos, como trados, pás, escavadeiras manuais, talhadeiras e martelos e acondicionadas em recipientes impermeáveis que auxiliam para que a amostra não perda sua umidade (FLACH, 2016).

Já em laboratório as amostras deformadas são utilizadas na determinação da granulometria, através do método da pipeta e da densidade de partículas, pelo método do psicrômetro (EMBRAPA, 1997).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi dividido em duas partes, as coletas realizadas no campo e as análises no laboratório de RASPA- Relações Água, Solo, Planta e Atmosfera, na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, em Dourados, Mato Grosso do Sul.

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

As amostras foram coletadas em três classes texturais do solo: arenosa, mista e argilosa. As coletas das amostras foram feitas entre os meses de setembro a novembro de 2017. As áreas em que foi conduzido o estudo não estavam recebendo tratamentos culturais, no mínimo por dez anos.

Na região de Dourados com as seguintes coordenadas geográficas  $22^{\circ} 11' 45''$  S e  $54^{\circ} 55' 18''$  W, com altitude de 446 m. Em Juti com as coordenadas geográficas: latitude:  $22^{\circ} 51' 38''$  S, longitude:  $54^{\circ} 36' 10''$  W e Altitude: 373m. Segundo a Regionalização do IBGE, está localizada na Região Centro-Oeste do Brasil. A localidade Itahum de Dourados está localizada na Microrregião de Dourados. As coordenadas de satélite de Itahum são: latitude  $22^{\circ} 0' 0''$  S e longitude  $55^{\circ} 19' 59''$  W. As regiões apresentadas em questão ficam no estado Mato Grosso do Sul.

A escolha de três classes texturais do solo é devido à influência nas curvas de retenção de água que dependem de vários fatores como a estrutura do solo (arranjo das partículas de areia, silte e argila), espaço poroso entre as partículas, tipo de solo, textura, mineralogia e manejo adotado no solo (Silva, 2005).

#### 3.2. Amostragem do solo

Foram coletadas 24 amostras indeformadas e deformadas nas camadas de 0 a 0,2 m. As amostras indeformadas foram retiradas no campo em cilindros volumétricos ou anel de Kopeck (0,05 m de diâmetro e 0,052m de altura) e depois em laboratório foram retirados os excessos de solo, foi feita a vedação do fundo dos cilindros volumétricos com tecido de nylon preso por um atilho de borracha.

As amostras deformadas foram coletadas com espátula, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras de TFSA foram condicionadas em bandejas de isopor devidamente identificadas para posteriores análises (Figura 2).



Figura 2. Amostras deformadas organizadas em bandejas de isopor.

### 3.3. Curva de retenção de água no solo

Para determinar a curva de retenção foi utilizado o método da câmara de pressão de Richards (Figura 3), descrito pela Embrapa (2011), utilizando os dois tipos de amostras indeformadas e deformadas.



Figura 3. Extrator de Richards.

#### 3.3.1. Câmara de pressão de Richards

As amostras indeformadas (Figura 4) foram saturadas em uma bandeja de plástico por elevação gradual de uma lâmina de água: até 1/3 por 24 horas.



Figura 4. Amostras indeformadas saturando.

As amostras indeformadas foram retiradas da bandeja para medir a massa da água correspondente ao ponto de saturação (0 kPa), colocadas em placas de cerâmica previamente saturadas (Figura 5) e submetidas a seis pressões: 10, 30, 60, 100, 300 e 1500 kPa.



Figura 5. Placas porosas sendo preparadas para o extrator de Richards.

E após as amostras atingirem a drenagem máxima da água contida em seus poros (Figura 6), foi determinada a umidade do solo correspondente a cada pressão aplicada, medindo a massa de cada amostra (Figura 7). A etapa seguinte foi colocar as amostras na estufa a 105°C por 72 horas (Figura 8), dessecar, esfriar, medir a massa do solo seco e determinar a umidade gravimétrica ( $\text{kgkg}^{-1}$ ).



Figura 6. Amostras indeformadas no extrator de Richards.



Figura 7. Amostras indeformadas sendo pesadas.

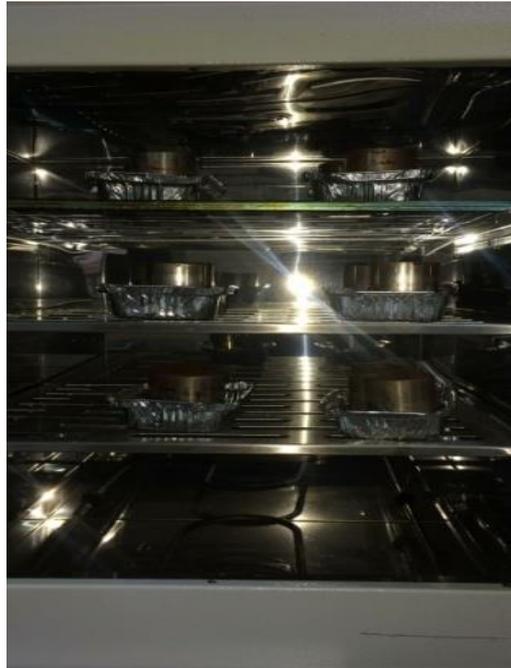


Figura 8. Amostras indeformadas na estufa para determinação da densidade.

As amostras deformadas foram colocadas diretamente na placa porosa, com volume de 20 cm<sup>3</sup> (Figura 9) de solo e depois foram saturadas com uso do borrifador de água (Figura 10). Foram pesadas saturadas, correspondentes ao ponto de saturação (0 kPa), conforme a figura 11. Em seguida colocadas no extrator de Richards (Figura 12).



Figura 9. Amostras deformadas sendo colocadas na placa porosa.



Figura 10. Amostras deformadas sendo saturadas com auxílio do borrifador.



Figura 11. Amostras deformadas saturadas sendo pesadas.



Figura 12. Amostras deformadas colocadas no extrator de Richards.

### 3.4. Ajuste da curva de retenção de água

A partir de um conjunto de dados de pontos de potencial matricial *versus* conteúdo de água no solo, obtidos com a câmara de Richards, foram ajustados por meio da função (Equação 2) proposta por Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\psi - m|)^n]^m} \quad (2)$$

Sendo:

$\theta$ : Conteúdo de água do solo ( $\text{kg kg}^{-1}$ );

$\theta_r$ : Conteúdo de água residual ( $\text{kg kg}^{-1}$ );

$\theta_s$ : Conteúdo de água na saturação ( $\text{kg kg}^{-1}$ );

$\psi$ : Potencial matricial (mPa);

$\alpha$ ,  $n$  e  $m$ : São os parâmetros empíricos do modelo, em geral é válida a relação.

Para o comportamento físico-hídrico em diferentes solos e condições, o modelo de ajuste recomendado por Van Genuchten (1980) é adotado universalmente e permite relacionar, com alto poder de predição, a energia de retenção e disponibilidade hídrica (DEXTER, 2004). A equação matemática de Van Genuchten (1980) caracteriza-se por apresentar duas assíntotas, relacionadas com os conteúdos de água no solo correspondentes à saturação ( $U_{\text{sat}}$ ) e ao conteúdo residual ( $U_{\text{res}}$ ), e um ponto de inflexão entre os platôs, o qual é dependente dos atributos do solo, sendo a sua forma e inclinação reguladas por parâmetros empíricos de ajuste do modelo (“ $\alpha$ ”, “ $n$ ” e “ $m$ ”).

Conforme aquisições dos resultados analíticos de retenção de água no solo, o uso de aparelhos de placas porosas ou câmara de Richards é considerado método padrão de avaliação (KLUTE, 1986; EMBRAPA, 1997). Estes aparelhos foram desenvolvidos para quantificar a retenção de água na faixa disponível para as plantas.

### 3.5. Análise granulométrica

A análise granulométrica visa à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo. O procedimento operacional visa à ruptura dos agregados do solo e a individualização dessas partículas, por meio de uma combinação de energia mecânica e química, com a formação de uma suspensão estabilizada e a quantificação após a separação das frações (CURI et al., 1993).

#### 3.5.1. Método da pipeta

Nas determinações realizadas pela Embrapa (1997), realizou-se pesagem 20 g de solo (Figura 13), com aproximação de 0,0001 g. Acrescentou-se 10 ml de solução normal de

hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol L<sup>-1</sup> e 100 ml de água deionizada, agitando com bastão de vidro e deixando em repouso por uma noite (Figura 14). A amostra é dispersa por agitação a 14.000 rpm, durante 15 min. As frações agitadas passam em uma peneira com malha 0,04 mm de espessura, sobre um funil que destina as frações silte + argila para a proveta de 1000 ml (Figura 15), imediatamente é realizado agitação com bastão (tendo este na sua extremidade inferior, uma tampa de borracha contendo vários furos e diâmetro um pouco menor do que a da proveta de 1000 ml) agitando durante 20 segundos e em seguida coleta 25 ml da suspensão (fração silte + argila).



Figura 13. Amostras deformadas pesadas para análise granulométrica.



Figura 14. Amostras deformadas agitadas com bastão em repouso.

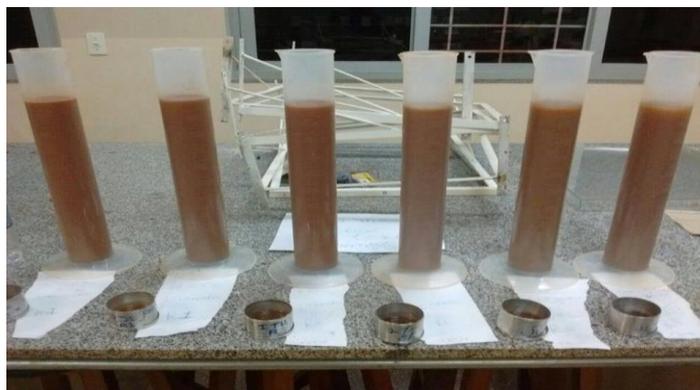


Figura 15. Mistura das frações silte e argila na proveta.

Decorrido o tempo calculado pela a temperatura ambiente das amostras com frações silte + argila, dispersante e água deionizada, verifica-se o tempo da sedimentação da fração argila, coletada a 5 cm superficiais, 25 ml da suspensão de argila extraída por

um pipetador automático de borracha. Todas as frações são secas em estufa a 105 °C (Figura 16) e pesadas com aproximação de 0,0001 g.



Figura 16. Amostras secas em estufa a 105°C.

A partir dos dados da análise granulométrica, foram calculadas as proporções das frações areia fina, areia grossa, silte e argila, utilizando as equações apresentadas pela Embrapa (1997) e para este trabalho sendo realizada a análise granulométrica com três diferentes solos do estado Mato Grosso do Sul.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabelas de análise descritiva dos dados de umidade nas diferentes regiões.

Tabela 1. Amostras indeformadas.

	Juti	Itahum	Dourados
máximo	0.4553	0.3623	0.5317
mínimo	0.1723	0.2115	0.3505
media	0.2748	0.2631	0.4114
mediana	0.2595	0.2541	0.4005
desvio padrão	0.0783	0.0418	0.0487
CV(%)	28.5011	15.8867	11.8487
Ds (Kg/m <sup>3</sup> )	1540.4387	1688.0446	1293.6943

Tabela 2. Amostras deformadas.

	Juti	Itahum	Dourados
máximo	0.4469	0.6756	0.8040
mínimo	0.0204	0.0000	0.0736
media	0.2074	0.2894	0.3743
mediana	0.1732	0.3014	0.3828
desvio padrão	0.1167	0.1607	0.1677
CV(%)	56.2463	55.5253	44.8070
Ds (Kg/m <sup>3</sup> )	1266.7463	1080.6838	935.8088

##### 4.1. Avaliação da curva experimental de retenção de água em diferentes metodologias

Segundo Suzuki et al. (2014), as práticas de manejo desenvolvidas no local interferem na qualidade estrutural do solo, e em sua capacidade de retenção de água. A curva de retenção de água no solo, usualmente é avaliada com a utilização de amostras indeformadas, fazendo com que as amostras representem a estrutura do solo em que foram retiradas, também poderá ser utilizada a amostragem deformada, onde não se mantém a estrutura do solo. As utilizações de diferentes tipos de amostragem devem ser avaliadas com base na comparação com a metodologia de amostras indeformadas.

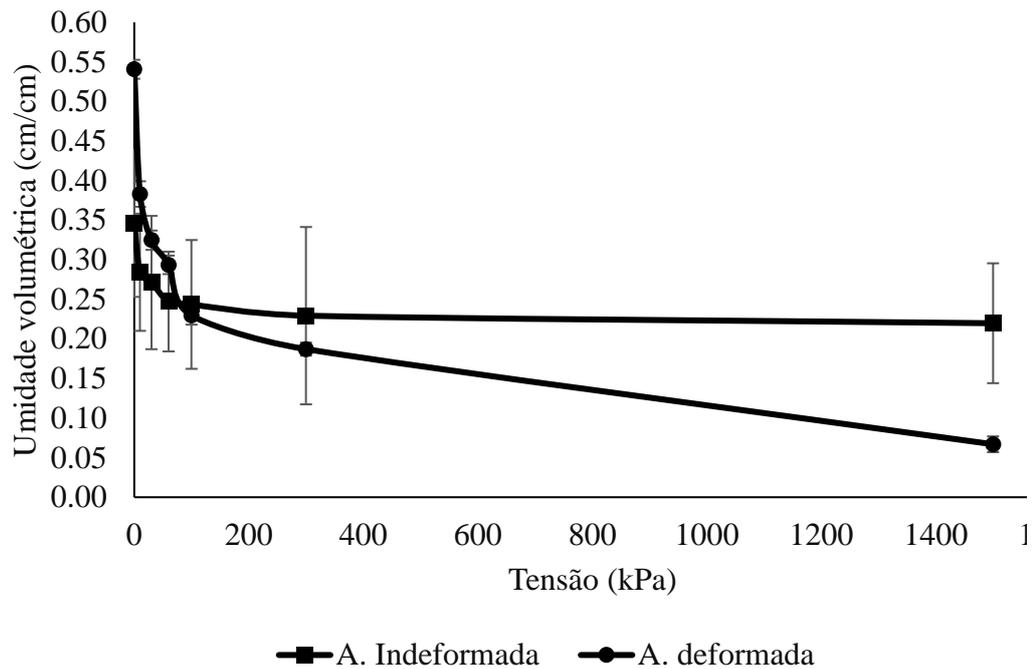


Figura 17. Curva experimental de retenção de no município de Itahum.

Diferentes tipos de solos apresentam características distintas, onde o manejo do solo também interfere nos resultados obtidos. A figura 17 demonstra o comportamento do solo do município de Itahum em dois tipos de amostragem, onde as barras de erro são relacionadas ao desvio padrão entre as amostras de cada ponto. A interposição das barras indica que é possível que ocorra pontos comuns entre as duas metodologias.

De acordo com Costa; Da Silva Oliveira; Kato(2008), as amostras deformadas fornecem maior quantidade de água em maiores pressões do que as amostras indeformadas. Pode se observar que experimentalmente podem-se encontrar as mesmas umidades até as pressões de 300 kPa, tanto em amostras deformadas, quanto em amostras indeformadas. Esse resultado demonstra uma facilidade em utilizar diferentes tipos de amostras para avaliar a umidade desse solo, com a ressalva em que a avaliação não ultrapasse pressões acima da citada anteriormente.

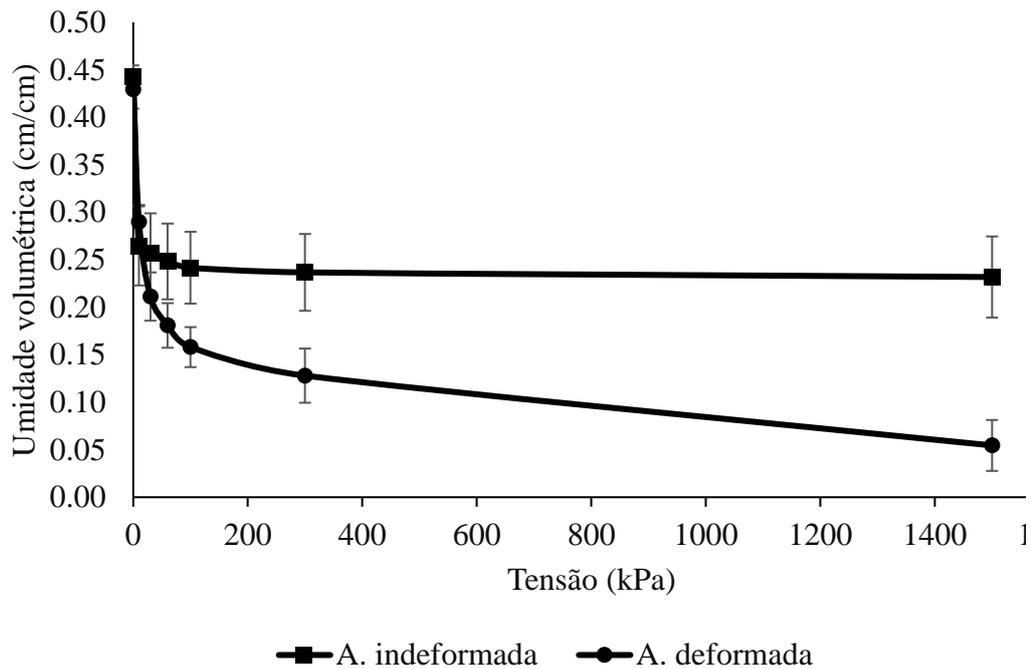


Figura 18. Curva experimental de retenção de no município de Juti.

A figura 18 demonstra a curva de retenção do município de Juti, onde o comportamento da disponibilidade de água da amostra deformada foi maior que a amostragem indeformada, colaborando com o trabalho de Costa; Da Silva Oliveira; Kato(2008). Porém conforme ocorre à modificação de tipos de solo e manejos empregados nos mesmos diferencia também na curva de retenção de água, onde os diferentes tipos de amostragem só são congruentes até a pressão de 30 kPa, a partir dessa pressão as amostras possuem comportamentos diferentes onde a quebra da estrutura do solo aumenta a água disponível desse solo.

Em comparação com o solo de Itahum, o solo de Juti apresenta uma sensibilidade muito grande em relação a manutenção da estrutura, pois a disponibilidade de água aumenta muito rapidamente em pressões muito baixas. Esse comportamento demonstra que esse solo deve ser manejado diferentemente do que em Itahum, pois a manutenção da capacidade hídrica será realizada de forma satisfatória.

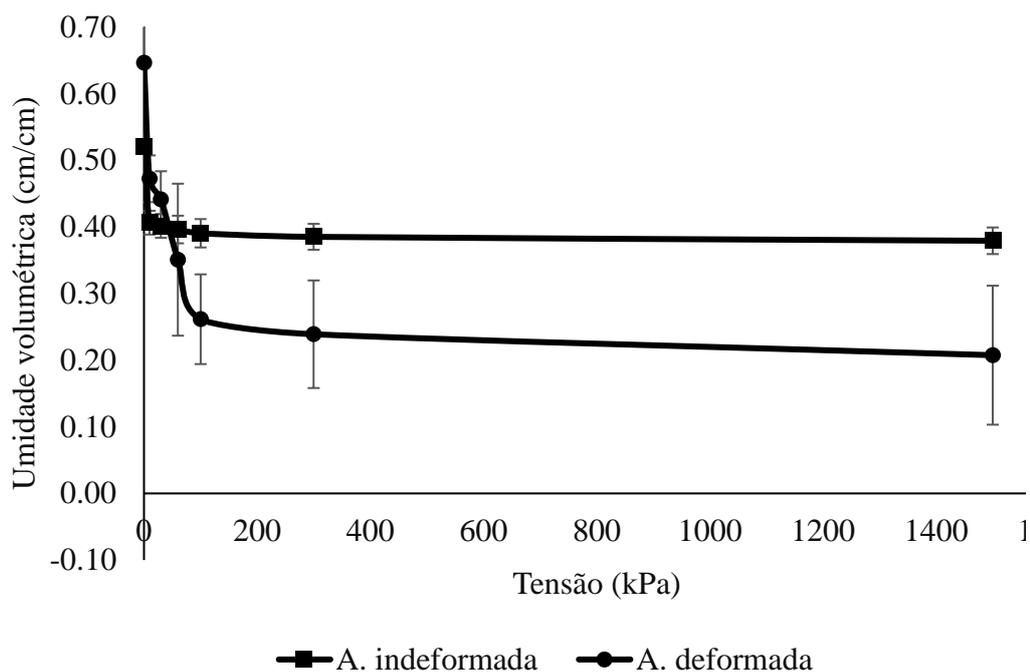


Figura 19. Curva experimental de retenção de no município de Dourados.

A figura 19 demonstra o comportamento da retenção de água no solo em Dourados em amostras deformadas e indeformadas. A quantidade de água em amostras deformadas possui o comportamento de maior disponibilidade do que as amostras indeformadas, conforme demonstrado anteriormente por Costa; Da Silva Oliveira; Kato (2008). As metodologias de amostragens são congruentes até a pressão de 60 kPa, onde em pressões acima desse nível há uma diferença entre as quantidades de água nas amostras avaliadas.

Comparando as amostras de Dourados com as demais, ela se difere tanto de Itahum quanto de Juti, mantendo-se intermediária e demonstrando uma forte relação da disponibilidade de água com a estrutura do solo assim como Juti. Nascimento (2009) em sua pesquisa ressalta a textura do solo como uma das principais interferências nas curvas de retenção de água no solo, onde os poros formados a partir da organização das partículas do solo influenciam na capacidade hidráulica do mesmo e também na sua capacidade de retenção. Outro fator que diferencia solos de mesma classe textural é o manejo empregado, com a incorporação de matéria orgânica no solo, aumentando a capacidade de água.

#### 4.2. Avaliação da curva teórica de retenção de água em diferentes metodologias

Assim como a avaliação da curva experimental de retenção de água, a análise da representação gráfica teórica é utilizada para diferenciar o comportamento da água em diferentes solos. Conforme descrito, as amostras deformadas possuem uma maior

disponibilidade de água em menores tensões, onde os solos apresentam-se desestruturados e não conseguem reter água em maiores tensões.

A avaliação da curva teórica de retenção deve ser embasada na metodologia das amostras indeformadas, e modeladas de acordo com a equação de van Genuchten descrito por Dane & Hopmans (2002), e as demais alternativas devem ser comparados com a curva gerada por essa metodologia.

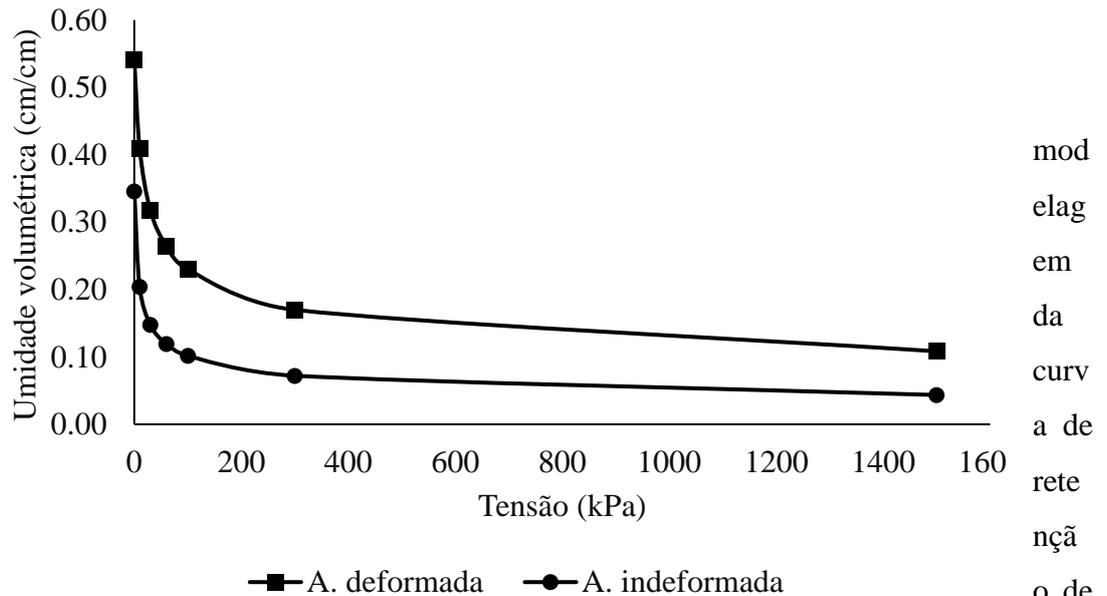


Figura 20. Curva teórica de retenção de água realizada através da análise de amostras deformadas no município de Itahum.

representada na figura 20, o solo de Itahum apresentou uma menor amplitude da variação da água do solo em amostras indeformadas, em comparação as amostras deformadas. Os valores de  $\theta_{sat}$  e  $\theta_{res}$  para as amostras indeformadas foram de 0.346 e 0.202 respectivamente, e para amostras deformadas foram 0.541 e 0.00 respectivamente.

A modelagem dos pontos através da equação de Van Genuchten com a restrição de Muallen comprova que para os solos de Itahum, as metodologias de amostragem não são compatíveis para determinar a curva de retenção de água, pois tanto para os valores de umidade quanto os índices da equação apresentaram divergências. Sendo recomendada a utilização da metodologia das amostras indeformadas.

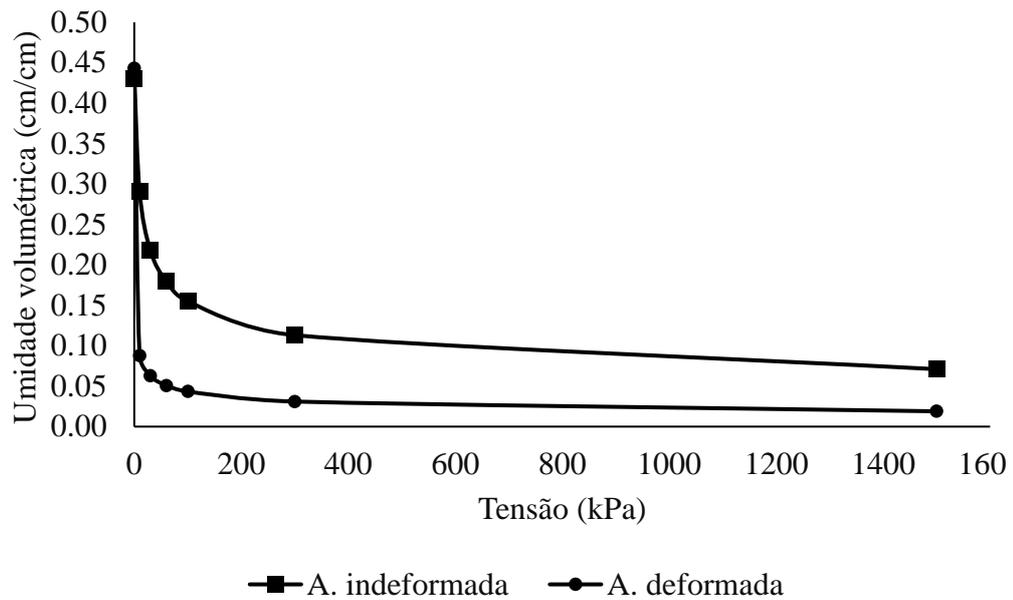


Figura 21. Curva teórica de retenção de água realizada através da análise de amostras deformadas no município de Juti.

A modelagem da curva de retenção de água demonstrada na figura 21, o solo de Juti apresentou uma menor amplitude da variação da água do solo em amostras indeformadas, em comparação as amostras deformadas. Os valores de  $\theta_{\text{sat}}$  e  $\theta_{\text{res}}$  para as amostras indeformadas foram de 0.443 e 0.222 respectivamente, e para amostras deformadas foram de 0.43 e 0.00 respectivamente. Confirmando a menor capacidade de retenção de água no solo para as amostras deformadas.

Observa-se a diferença entre as metodologias de amostragem onde não são compatíveis, sendo que o padrão é considerado avaliando a curva de retenção de amostras indeformadas. Recomendando-se utilizar somente a metodologia de amostras indeformadas para a caracterização dos solos de Juti.

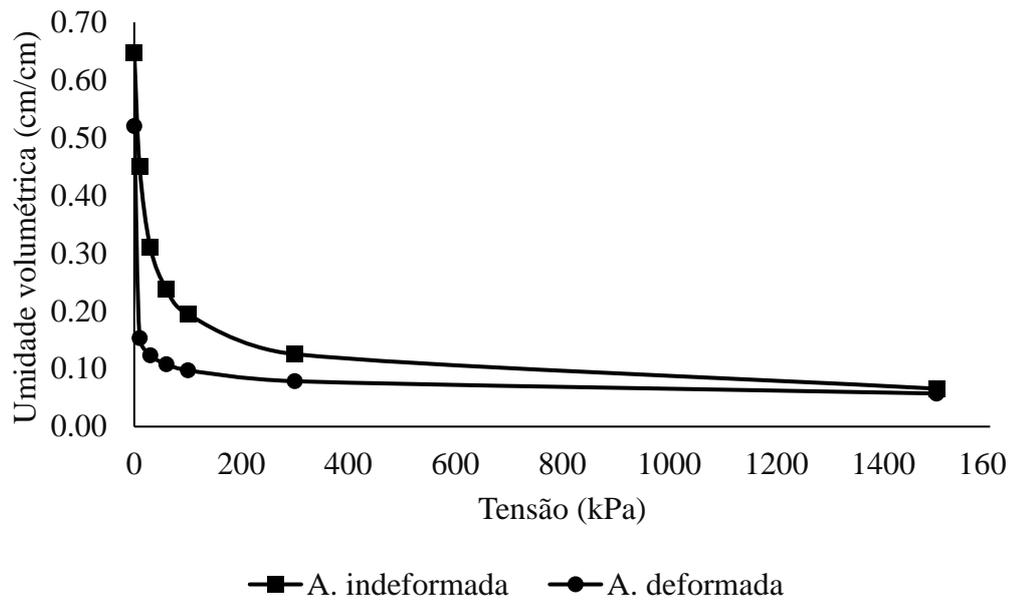


Figura 22. Curva teórica de retenção de água realizada através da análise de amostras deformadas no município de Dourados.

A modelagem da curva de retenção de água demonstrada na figura 22, o solo de Dourados apresentou uma menor amplitude da variação da água do solo em amostras indeformadas, em comparação as amostras deformadas. Os valores de  $\theta_{sat}$  e  $\theta_{res}$  para as amostras indeformadas foram de 0.52 e 0.362 respectivamente, e para amostras deformadas foram de 0.647 e 0.158 respectivamente. Demonstrando um rápido decréscimo da água no solo com a desestruturação do mesmo.

Assim como os demais solos, a utilização de amostras deformadas não atende a pressuposição da utilização dessa metodologia para comparar com a curva formada utilizando as amostras indeformadas.

#### 4.3. Avaliação da curva teórica de retenção de água em diferentes solos e metodologias

A avaliação da curva de retenção comparativa entre os diferentes tipos de solo, serve para avaliar o comportamento dos solos em relação a disponibilidade hídrica em diferentes pressões exercidas. A escolha da quantidade dos pares de pressão e umidade foi embasada na pesquisa de Grigolon (2013), onde o número mínimo de pares são sete pontos.

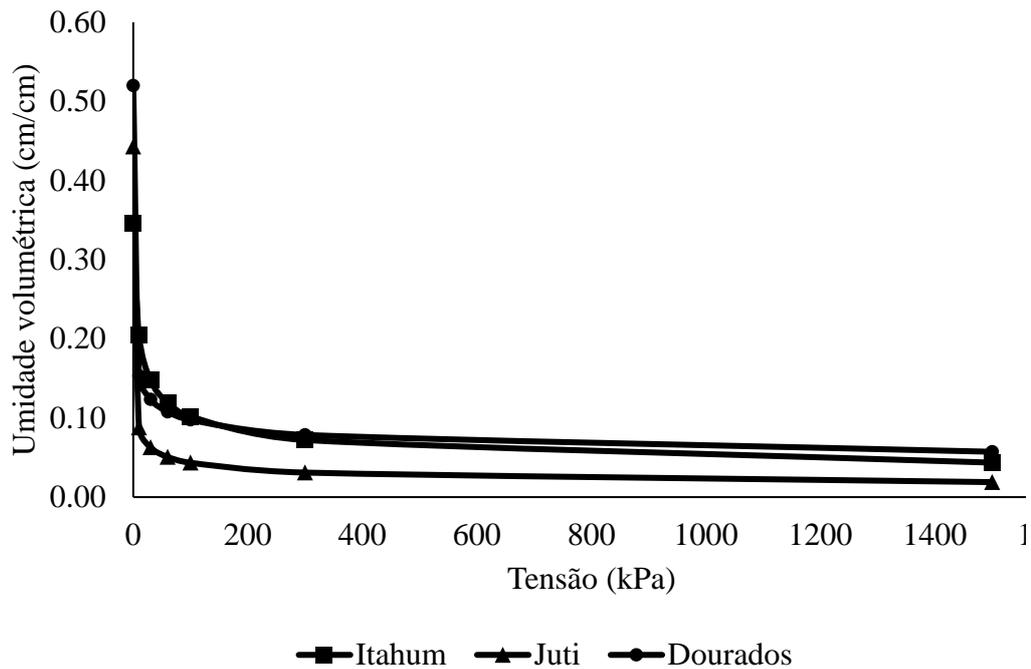


Figura 23. Curva teórica de retenção de água realizada através da análise de amostras indeformadas.

A figura 23 demonstra a interação entre os três tipos de solo, onde a avaliação deve ser considerada com alta relação a textura do solo. Os solos de Itahum e Dourados são solos argilosos, e apresentam características semelhantes, e modelado pela equação de van Genuchten, com a restrição de Muallén. E o solo de Juti, de textura arenosa, apresenta inferioridade na quantidade de água acumulada.

De acordo com Beutler et al. (2002), a maior retenção de água é encontrada em solos de textura mais fina, no caso os solos argilosos. Isso demonstra que as matrizes desses solos são capazes de acumular mais água e reter com a variação da tensão do solo. Os solos argilosos possuem uma maior quantidade de microporos, que são responsáveis pela retenção de água no solo, enquanto em solos arenosos essa quantidade é muito inferior, sendo mais abundante a presença de macroporos que são responsáveis pela aeração do solo.

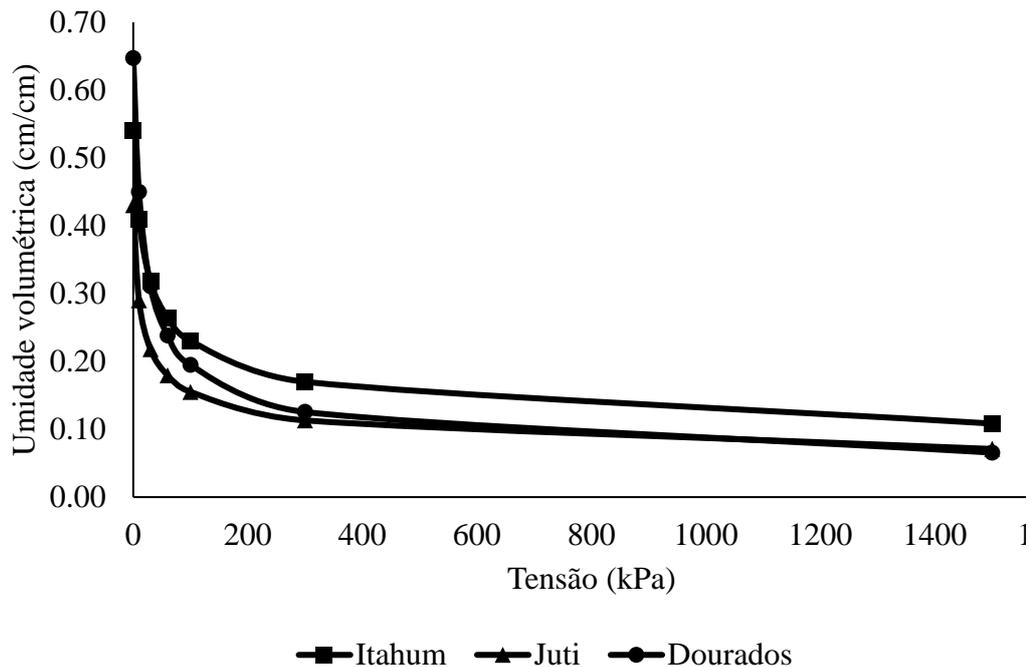


Figura 24. Curva teórica de retenção de água realizada através da análise de amostras deformadas.

A figura 24 demonstra a interação entre os três tipos de solo, com as amostragens deformadas, onde se pode observar o comportamento desses solos de acordo com a pressão exercida. Além de não ser correlatada com as amostragens indeformadas, esse segundo método não traz os mesmos comportamentos do solo. Pode-se observar que quando deformadas, as amostras possuem uma maior amplitude nas umidades em menores pressões, isso significa que os solos perdem mais água.

Os solos de Juti e de Itahum continuam com o comportamento relativo à sua textura, variando somente o solo de Dourados, que apresenta um comportamento de solo arenoso em pressões acima de 300 kPa quando se observando as amostras deformadas. Essa avaliação permite visualizar as consequências que a desestruturação dos solos desse município pode acarretar.

De acordo com Suzuki et al. (2014), as práticas de manejo do solo podem interferir na qualidade do solo, demonstrada a partir da avaliação das amostras do solo, porém pode-se interpretar que a amostragem do solo deformada corresponde aos solos mecanizados, onde não apresentam uma estrutura do solo formada. Assim as avaliações realizadas com as amostras indeformadas não seriam uma metodologia no qual não corrobora com a proposta pela literatura e sim mais uma ferramenta para avaliar o comportamento do solo após uma intervenção mecânica.

#### 4.4. Resultados das análises granulométricas

A análise granulométrica do solo é realizada em três etapas: aplicação de pré-tratamentos para remoção de agentes cimentantes e floculantes, dispersão da amostra de solo e quantificação das frações do solo. Para quantificar as frações do solo, há necessidade de separá-las previamente.

Para determinar as concentrações das frações do solo foram utilizadas as Equações 3 a 8, resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Concentrações granulométricas (%).

Locais	Rep.	Concentração areia fina (%)	Concentração areia grossa (%)	Concentração Silte (%)	Concentração Argila (%)
Juti	R1	66,5856	21,5936	4,8733	6,9475
Juti	R2	67,2385	21,1129	4,8023	6,8463
Itahum	R1	39,6443	16,3347	3,6161	40,4049
Itahum	R2	40,2837	16,6009	4,3900	38,7254
Dourados	R1	11,8646	2,3390	6,9533	78,8432
Dourados	R2	12,1044	2,5028	7,8449	77,5479

Portanto, as equações utilizadas para determinar as frações granulométricas, foram as seguintes:

$$f = TFSA / TFSE \quad (3)$$

$$Sm = \left( \frac{m_{af} * f}{m_i} \right) + \left( \frac{m_{at} - m_{af} * f}{m_i} \right) + \left( \frac{m_{sa} - m_{ar} * f}{m_i * R_v} \right) + \left( \frac{m_{ar} * f}{m_i * R_v} \right) \quad (4)$$

$$T_{af} = \left( \frac{m_{af} * f}{m_i} \right) * \left( \frac{1000}{Sm} \right) * 10 \quad (5)$$

$$T_{ag} = \left( \frac{m_{at} - m_{af} * f}{m_i} \right) * \left( \frac{1000}{Sm} \right) * 10 \quad (6)$$

$$T_s = \left( \frac{m_{sa} - m_{ar} * f}{m_i * R_v} \right) * \left( \frac{1000}{Sm} \right) * 10 \quad (7)$$

$$T_{arg} = \left( \frac{m_{ar} * f}{m_i * R_v} \right) * \left( \frac{1000}{Sm} \right) * 10 \quad (8)$$

Onde:

f: fator de correção de umidade para a massa inicial;

Sm: somatório das massas das frações, em g;

m<sub>at</sub>: massa de areia total, em g;

m<sub>af</sub>: massa de areia fina, em g;

$m_{sa}$ : massa de silte + argila, seca em estufa, em g;  
 $m_{ar}$ : massa de argila, seca em estufa, em g;  
 $m_i$ : massa inicial da amostra, em g;  
 $R_v$ : razão do volume pipetado para o volume total da proveta.  
 $T_{af}$ : concentração de areia fina, em %;  
 $T_{ag}$ : concentração de areia grossa, em %;  
 $T_s$ : concentração de silte, em %;  
 $T_{arg}$ : concentração de argila, em %;

## 5. CONCLUSÃO

Avaliação da curva de retenção em modelo experimental possibilitou observar que a amplitude no teor de umidade das amostras em baixas pressões, sendo que a estrutura da amostra só influenciou a partir de tensões mais elevadas, sendo primordial a manutenção dessa estrutura para a retenção de água em quantidades satisfatórias para atender as culturas que futuramente poderão ser implantadas.

A observação das curvas de retenção obtidas nos três municípios certifica que a metodologia utilizada como base das amostras indeformadas, que o solo de Juti apresenta uma menor retenção de água, pois a sua textura é arenosa sendo que a quantidade de água disponível em tensões de capacidade de campo é menor do que a quantidade de água disponível para o solo de Dourados e Itahum.

Concluimos com as avaliações da curva de retenção com base nas amostras deformadas, apresentam um comportamento dos solos contrário quando comparado a curva de retenção com as amostras indeformadas, demonstrando uma fragilidade dos solos quando são desestruturados. Este comportamento valida a importância da manutenção da estrutura do solo para fins e hídricos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FLORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. Bras. Ci. Solo, 19:115-119, 1995.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 18:139-145, 1994.

AGUIAR, L. I. G. Propriedades físico-hídricas do solo em plantio direto após calagem. 2007. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, SP, Brasil, 2007.

ARYA, L. M.; PARIS, F. A. *Physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. Soil Science Society of America Journal, Madison*, v. 45, n. 6, p. 1023-1030, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9604: Informação e documentação: Comissão de Estudo de Sondagem e Coleta de Amostras. Sistema nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial, p.9. 1986.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C. & PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. R. Bras. Ci. Solo, 25:167-177, 2001.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I. & ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. R. Bras. Ci. Solo, 26:829-834, 2002.

BITTELLI, M.; FLURY, M. *Errors in water retention curves determined with pressure plates. Soil Science Society of America Journal*, v. 73, n. 5, p. 1453-1460, 2009.

BORTOLON, L. et al. Equipamento para coleta de amostras indeformadas de solo para estudo em condições controladas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 6, p. 1929-1934, 2009.

BRADY, N. C.; BUCKMAN, H. O. Natureza e propriedades dos solos. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 647 p.

CAMPBELL, G. S.; SMITH, D. M.; TEARE, B. L. *Application of a dew point method to obtain the soil water characteristic. Experimental Unsaturated Soil Mechanics: Springer Proceedings in Physics*, v. 112, p. 71-77, 2007.

CAMPBELL, G.S. *Soil water potential measurement: An overview. Irrigation Science*, v. 9, n. 1, p. 265-273, 1988.

CARDUCCI C. E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo *Van genuchten*. R. Bras. Ci. Solo, 35:77-86, 2011.

CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M. & BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. R. Bras. Ci. Solo, 23:997-1003, 1999.

CÁSSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; SANTOS, R. A. dos; GIMÉNEZ, D.; REICHARDT, K. Funil de haines modificado: curvas de retenção de solos próximos à saturação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2555-2562, 2008.

COLLARES G. L. et al. Retenção de água medida pelo método de placas porosas de Richards e pelo psicrômetro de termopar. In: XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2002, Cuiabá - MT. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.

COSTA, W. A.; DA SILVA OLIVEIRA, C. A.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um latossolo-vermelho-amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 2, p. 515-523, 2008.

COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. da S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 515-523, 2008.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. Vocabulário de ciência do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89 p.

DANE, J.H.; HOPMANS, J.W. *Pressureplateextractor*. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.). *Methods of soil analysis: Part 4 - Physical methods*. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 688-690. (Soil Science Society of America Book Series, 5).

DEBNATH, P.; DEB, P.; SEN, D.; PATTANNAIK, S. K.; SAH, D.; GHOSH, S. K. *Physico-chemical properties and its relationship with water holding capacity of cultivated soils along altitudinal gradient in Sikkim*. *International Journal of Agriculture Environment & Biotechnology*, v. 5, n. 2, p. 161-166, 2012.

DEXTER, A. R. *Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effect on root growth*. *Geoderma*, v. 120, p. 201-214, 2004

DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. R. Bras. Ci. Solo, 20: 175-182, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2011. 230 p. (Documentos 132).

FLACH, M. K. Análise da estabilidade de um talude em solo natural com avaliação dos parâmetros de resistência em diferentes profundidades. Nova Trento – SC. 2016. 107p, trabalho de conclusão de curso.

GODOI, C. S. Caracterização Geomecânica de um Solo Residual de Gnaisse – Santo Amaro da Imperatriz, Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

GRIGOLON, G. B. Curva de retenção de água no solo determinada a partir de um número mínimo de pares de umidade e tensão na câmara de Richards. P. 83, 2013.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; CAMPBELL, C.; REINERT, D. J.; GELAIN, N. S. *Assessing errors and accuracy in dew-point potentiometer and pressure plate extractor measurements. Soil Science of America Journal*, v. 77, p. 19-24, 2012.

HILLEL, D. *Environmental soil physics*. 1. ed. New York, Academic Press, 1998. 770p.

HILLEL, D. *Introduction to soil physics*. London: Academic Press, 1982. 364 p.

HWANG, S. I.; POWERS, S. E. *Using particle-size distribution models to estimate soil hydraulic properties. Soil Science Society of America Journal, Madison*, v. 67, n. 4, p. 1103-1112, 2003.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. *Soil physics*. 5. Ed. New York: John Wiley, 1991. 328p.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo, Editora Agronômica ‘Elos’, 1979. 124 p.

KLEIN, V. A. Física do solo. Passo Fundo: EDIUPF, 2008. 212 p.

KLEIN, V. A. Física do solo. 2. Ed. Passo Fundo: UPF, 2012. 212 p.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com o psicrômetro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.

KLEIN, V. A. & BOLLER, W. Avaliação de diferentes métodos de manejos do solo e métodos de semeadura em área sob sistema de plantio direto. *Ci. Rural*, 25:395-398, 1995.

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

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um LATOSSOLO VERMELHO Argiloso e murcha fisiológica de culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 646-650, 2006.

KLUTE, A. *Water retention: laboratory methods. Soil Science Society of America, Masison*, p.635-662. 1986.

LIBARDI, P. L. Água no solo. In: VAN LIER, Q. de J. Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 103-152.

MACHADO J.L. et al. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. R. Bras. Ci. Solo, 32:495-502, 2008.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES. S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. Revista Ciência Rural. 2004.

NASCIMENTO, P. dos S. Análise do uso da curva de retenção de água no solo determinada por diferentes métodos e planilha para manejo da irrigação. 2009.

NASCIMENTO, P. dos S.; BASSOI, L. H.; PAZ, V. P. da S.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. de M.; MANIERI, J. M. Estudo comparativo de métodos para a determinação da curva de retenção de água no solo. Irriga, Botucatu, v. 15, n. 2, p. 193-207, 2010.

PEREIRA, E. M. Estudo do comportamento à expansão de materiais sedimentares da formação Guabirotuba em ensaios com sucção controlada. 2004, 253 p. Tese (doutorado em Engenharia Geotécnica) Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

PIRES, L. F.; BACCHI O. O. S.; REICHARDT, K. *Damagetosoilphysicalpropertiescausedbysoilsamplerdevices as assessedbygammaraycomputedtomography. AustralianJournalofSoilResearch*, v. 42, i. 7, p. 857-863, 2004.

PIRES, L. F. et al. *The use of gamma ray computed tomography to investigate soil compaction due to core sampling devices. Brazilian Journal of Physics*, v. 34, i. 3, p. 728-731, 2004.

RAWLS, W.J.; GISH, T.J. & BRAKENSIEK, D.L. *Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. Adv. Soil Sci.*, 16:213-234, 1991.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, Plantas e Atmosfera: Conceitos Processos e Aplicações. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990 188 p.

REICHARDT, K. Parte I: A água. In: REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4º edição revista e ampliada. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p. 10-19.

REICHARDT, K. Parte II: Os processos. A água em equilíbrio. In: REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4º edição revista e ampliada. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p. 98-165.

REZAEI, L.; SHABANPOUR, M.; DAVATGAR, N. *Estimating the soil water retention curve from soil particle size distribution using the Arya and Paris model for Iranian soils. Turkish Journal of Agriculture Forestry*, v. 35, p. 649-657, 2011. DOI: 10.3906/tar-1006-1095.

RICHARDS, L. A., *Physical conditions of water in soil. In: C. A. BLACK, D. D. EVANS, J. L. WHITE, L. E. ENSMINGER and F. E. CLARK, ed. Methods of soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling. Madison, ASASSA, 1965. p.128-152.*

ROJAS, C.A.L.; VAN LIER, Q.J. Alterações físicas e hídricas de um Podzólico em função de sistemas de preparo. *Pesq. Agrop., Gaúcha*, v.5, n.1, p.105-115, 1999.

ROSSATO, L. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil. 2001.

SÁ, P. C. C. de; VALE, C. N. C. do; MAIA, C. E.; LEVIEN, L. A. Índice S de área sob a curva de retenção de água para avaliar qualidade física do solo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 4, n. 2, p. 110-114, 2010.

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

SILVA, A. M. da. Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A.; DIAS JUNIOR, M. de S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 241-281.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Estrutura e armazenamento de água em um argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 1, p. 94–106, 2014.

TAVARES, M. H. F.; FELICIANO, J. J. da S.; VAZ, C. M. P. Análise comparativa de métodos para a determinação da curva de retenção de água em solos. *Irriga, Botucatu*, v. 13, n. 4, p. 417-524, 2008.

TEIXEIRA, M. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Equipamento para extração de amostras indeformadas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 4, p. 693-699, 2000.

URACH, F. L. Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação. 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

UTSET, A. & CID, G. *Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. Soil Till. Res.*, 61:193-202, 2001.

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

VIEIRA, M. L. Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo. 2006. 115 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.