

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
CURSO DE AGRONOMIA

CURVA DE RETENÇÃO E CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL
EM LATOSSOLOS

FELIPE CARDOSO DE OLIVEIRA MAIA

BRASÍLIA

2016

FELIPE CARDOSO DE OLIVEIRA MAIA

**CURVA DE RETENÇÃO E CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL
EM LATOSSOLOS**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr.TAIRONE PAIVA LEÃO

Coorientador: Dr. VINICIUS BOF BUFON

BRASÍLIA

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Maia, Felipe Cardoso de Oliveira.

Curva de retenção e capacidade de água disponível em Latossolos / Felipe Cardoso de Oliveira Maia. Orientação: Tairone Paiva Leão, Brasília, 2016.

Monografia – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2016.

52 p. : il.

1. Capacidade de campo. 2. Ponto de murcha permanente. 3. Parâmetros de van Genutchen. 4. Solos tropicais.

I. LEÃO, T.P. II. Ph. D.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MAIA, F. C. O. **CURVA DE RETENÇÃO E CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL EM LATOSSOLOS**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016. 52 p. Monografia.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: FELIPE CARDOSO DE OLIVEIRA MAIA

Título da Monografia de Conclusão de Curso: Curva de retenção e capacidade de água disponível em Latossolos

Grau: 3°

Ano: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Felipe Cardoso de Oliveira Maia

CPF: xxx.xxx.xxx-xx

Endereço: Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte.

CEP: 70910-900. Brasília, DF. Brasil

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, que sempre esteve ao meu lado e nunca me deixou desistir dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade concedida.

Aos meus pais, pela educação que me foi dada e sem a qual nada disso seria possível.

A minha família e à minha namorada, pela motivação e pelo amor incondicional.

Aos professores da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília que, com humildade e sabedoria, contribuíram de alguma forma para o meu conhecimento.

Aos meus orientadores Tairone Leão e Vinicius Bufon, pela amizade, compreensão, profissionalismo e conhecimento adquirido.

Ao Nericles Marcante, pela amizade e pelos vários livros que peguei emprestado.

Ao professor Marcelo Fagioli, pela indicação de estágio na Embrapa Cerrados e disposição em ajudar a nós, alunos.

Aos meus amigos de curso, pelos bons momentos desfrutados e experiências adquiridas ao longo desses cinco anos.

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

MAIA, FELIPE CARDOSO DE OLIVEIRA. **CURVA DE RETENÇÃO E CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL EM LATOSSOLOS**. 2016. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

RESUMO

A água armazenada no solo e que será efetivamente usada pela planta está compreendida entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), denominada de capacidade de água disponível (CAD), cuja disponibilidade depende do tipo de solo e das suas características de retenção de água. Este trabalho objetivou compilar informações acerca das curvas de retenção de água em Latossolos e fornecer uma primeira aproximação acerca dos valores mais prováveis de armazenamento de água e CAD desses solos, assim como suas amplitudes. O banco de dados foi constituído a partir de informações coletadas em artigos, teses, dissertações e outras publicações. As curvas de retenção de água no solo, assim como a CAD, foram estimadas para a ordem Latossolos e suas respectivas subordens: Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA). O LV apresentou o maior conteúdo de água no solo, retido na tensão do PMP, porém a CAD desse solo foi menor quando comparada com a CAD do LVA e do LA, uma vez que apresentou menor amplitude de conteúdo de água retida entre a CC e o PMP. O LA apresentou a maior CAD dentre os solos analisados, apresentando o maior conteúdo de água retido na CC e o menor conteúdo de água retido no PMP. As informações geradas nesse trabalho sintetizam a informação disponível na base de dados para os valores mais prováveis de retenção de água e CAD em Latossolos. O banco de dados está disponível mediante solicitação ao autor.

Palavras-chave: Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente, Parâmetros de van Genuchten, Solos Tropicais.

ABSTRACT

The water stored in the soil and that will be effectively used by the plant is held between the field of capacity (FC) and the permanent wilting point (PWP) is called available water capacity (AWC), whose availability depends on the type of soil and characteristics water retention. This work aimed to compile information about water retention curves in Latossolos and to provide a first approximation about the most probable values of water storage and AWC of these soils, as well as their amplitudes. The database was formed collecting information on peer-reviewed articles, thesis, dissertations, and other publications. Soil water retention curves, as well as AWC, were estimated for the order Latossolos and their respective suborders: Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) and Latossolo Amarelo (LA). The LV presented the highest values of soil water content in the PWP, but the AWC of this soil was lower when compared to the AWC of the LVA and LA, because it presented lower amplitude of soil water content between FC and PWP. LA presented the highest CAD among the analyzed soils, presenting the highest content of water retained in the FC and the lowest content of water retained in the PWP. The information generated in this work synthesizes the information available in the database for the most probable values of water retention and AWC in Latossolos. The database is available upon request to the author.

Key-Words: Field Capacity, Permanent Wilting Point, Parameters of van Genuchten, Tropical Soils.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva característica de retenção de água no solo (adaptado de Silva, 2005).	25
Figura 2: Curva de retenção de água para solos de diferentes classes texturais (adaptado de Tuller, 2003).	26
Figura 3: Curvas de retenção geradas para a subordem Latossolo Vermelho (LV).	36
Figura 4: Curvas de retenção geradas para a subordem Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).	36
Figura 5: Curvas de retenção geradas para a subordem Latossolo Amarelo (LA).	37
Figura 6: Curvas de retenção geradas para a ordem Latossolo (todas as subordens).	37
Figura 7: Capacidade de água disponível (CAD) estimada para a ordem e subordens de Latossolos.	39
Figura 8: Curvas de retenção de água estimadas para a ordem e subordens de Latossolos.	401
Figura 9: Conteúdo médio de argila para a ordem e subordens de Latossolos.	412
Figura 10: Conteúdo médio de areia para a ordem e subordens de Latossolos.	422
Figura 11: Densidade do solo (Ds) para a ordem e subordens de Latossolos.	433
Figura 12: Densidade do solo (Ds) em função da fração areia para Latossolos.	434
Figura 13: Densidade do solo (Ds) em função da fração argila para Latossolos.	444
Figura 14: Porosidade total (Pt) para a ordem e subordens de Latossolos.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites de diâmetro médio das partículas das frações granulométricas.....	18
Tabela 2: Estatística descritiva e teste de normalidade para o conjunto de dados utilizado nesse trabalho.	322
Tabela 3: Correlação de Pearson	333
Tabela 4: Parâmetros medianos da equação de van Genutchen estimados para a ordem e subordens de Latossolos	344
Tabela 5: Parâmetros da equação de van Genutchen estimados para a ordem e subordens de Latossolos a partir dos quartis de dispersão inferior	35
Tabela 6: Parâmetros da equação de van Genutchen estimados para a ordem e subordens de Latossolos a partir dos quartis de dispersão superior	35
Tabela 7: Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) estimados para a ordem e subordens de Latossolos a partir das curvas de retenção medianas.....	38
Tabela 8: Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) estimados para a ordem e subordens de Latossolos a partir das curvas de dispersão	38
Tabela 9: Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) estimados para a ordem e subordens de Latossolos a partir das curvas de dispersão	38
Tabela 10: Capacidade de água disponível (CAD) estimada para a ordem e subordens de Latossolos	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Objetivos gerais.....	14
1.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Classificação de solos.....	15
2.2	Solos tropicais no Brasil	16
2.3	Propriedades físico-hídricas do solo.....	17
2.3.1	Textura e estrutura do solo	18
2.3.2	Densidade do solo (D_s)	19
2.3.3	Densidade de partículas (D_p)	19
2.3.4	Porosidade total do solo (α)	20
2.4	Relação solo, planta e atmosfera.....	21
2.5	Conteúdo de água no solo	22
2.5.1	Curva de retenção de água no solo (CRA).....	24
2.5.2	Capacidade de água disponível (CAD)	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Constituição do banco de dados.....	28
3.2	Análise estatística	28
3.3	Obtenção das curvas de retenção e da CAD	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	Caracterização do banco de dados e análise estatística	31
5.2	Curvas de retenção e CAD.....	34
5.3	Possíveis aplicações e estudos futuros	45
6	CONCLUSÕES	47
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

Um dos desafios prioritários da agricultura brasileira a médio e longo prazo é o crescimento da produtividade e da competitividade internacional. No contexto atual, a maior parte dos aumentos em produção deve ser dada a partir de ganhos em produtividade, onde as pressões sobre os recursos naturais, como abertura de novas áreas e especialmente sobre os recursos hídricos, poderão ser minimizadas (FAO, 2015).

Com o aumento da escassez de água doce a agricultura se torna cada vez mais um dos vários usuários concorrentes para sua utilização. Como reflexo dessa situação, existe um maior interesse em utilizar essa água de forma mais eficiente, visando compreender seu comportamento no solo. Essa visão holística é de fundamental importância para que se gerem novos estudos e ideias sobre a gestão dos recursos hídricos (MILLER; GARDNER, 2001).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016), a área plantada na safra 2014/2015 foi de 57,9 milhões de hectares, dos quais segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2015), 6,11 milhões estão sob regime de irrigação.

A disponibilidade hídrica pode ser considerada uma das principais causas de variação da produtividade agrícola em solos tropicais, especialmente na região dos cerrados, onde se tem uma má distribuição de chuvas e que, dependendo da fase de desenvolvimento em que a cultura se encontra, pode contribuir para baixas produtividades. O solo funciona como um reservatório temporário da água utilizada para suprir as exigências da cultura no processo de produção e evapotranspiração. O esgotamento dessa água pelo sistema solo-planta-atmosfera exige sua recarga artificial, feita por meio da irrigação. Práticas racionais de agricultura como a correção do pH do solo (calagem), fertilização adequada e um manejo correto da água, podem levar a significativos aumentos em produtividade nesses solos (REICHARDT; TIMM, 2012).

Nesse contexto, é fundamental o conhecimento sobre as características morfológicas do solo e suas propriedades físico-hídricas, visando à otimização do uso da água (TEIXEIRA; MORAES; SIMONETE, 2005). De maneira geral, as características morfológicas do solo (espessura e distribuição dos horizontes, cor, textura, estrutura, porosidade) refletem sua constituição e as condições sob as quais ele foi formado, possibilitando prever seu comportamento frente às práticas de manejo que lhe são impostas e, sobretudo, possibilitam que se façam inferências de grande valia

no campo da agricultura, como aquelas relacionadas à drenagem, compactação e capacidade de armazenamento de água (RIBEIRO; OLIVEIRA; FILHO, 2012).

A retenção de água em um solo não saturado, ou seja, aquele solo em que seus poros estão preenchidos por quantidades variáveis de água (solução do solo) e ar, ocorre predominantemente pelos fenômenos de capilaridade e adsorção, constituindo as forças mátricas do solo. Essas forças definem a energia (potencial mátrico) com que a água está retida na matriz do solo e cuja intensidade aumenta conforme seu conteúdo de água diminui. Cabe salientar que, se comparando classes de solo, verificam-se variações em suas propriedades de retenção de água e condutividade hidráulica, afetando, conseqüentemente, a capacidade de um determinado solo fornecer água às plantas (LIBARDI, 2010).

Estudos sobre a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera, como os que envolvem a disponibilidade de água para as culturas, necessitam do conhecimento da relação entre o conteúdo de água no solo e o potencial mátrico, representada pela curva de retenção de água no solo (NEBEL, 2009). A água armazenada no solo e que será efetivamente usada pela planta está compreendida entre a CC e o PMP, denominada de capacidade de água disponível (CAD). Conforme vai ocorrendo o processo de evapotranspiração, o conteúdo de água no solo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) vai diminuindo, tornando cada vez mais difícil a absorção de água pela cultura (OLIVEIRA; RAMOS; AQUINO, 2016).

Sendo assim, uma vez que as informações sobre curvas de retenção de água no solo e CAD se encontram dispersas na literatura, reuni-las em uma base simplificada e prontamente disponível ao usuário facilitará e incentivará seu conhecimento e adoção.

OBJETIVOS

1.1 Objetivos gerais

O objetivo desse trabalho é reunir informações acerca das curvas de retenção de água em Latossolos e fornecer uma primeira aproximação sobre os valores mais prováveis de CAD desses solos, assim como sua amplitude.

1.2 Objetivos específicos

- Gerar tabela de capacidade de água disponível (CAD) para a ordem Latossolo e para as subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA);
- Gerar tabela de parâmetros estimados da equação de van Genuchten para a ordem Latossolos e para as subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA);
- Gerar curvas de retenção de água estimadas para a ordem Latossolos e para as subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Classificação de solos

Por se tratarem de sistemas complexos, o estudo dos solos é realizado por meio de modelos e teorias que possibilitem sua compreensão e que permitam fazer inferências sobre sua dinâmica e comportamento no ambiente em que estão inseridos. Essa complexidade se dá devido aos diferentes ambientes e processos pedogenéticos que esses solos são submetidos ao longo do tempo, agindo diretamente sobre seu material de origem. Foram criados então os sistemas de classificação de solos, com a intenção de promover e facilitar a compreensão e a transferência de informações (BUOL; HOLE; MCCRACKEN, 1981).

Com o avanço do conhecimento sobre os solos brasileiros, foi desenvolvido o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), um sistema hierárquico, multicategórico e aberto, permitindo identificar os solos desde classes mais gerais até subdivisões específicas. A princípio, se tinha como base para classificação dos solos brasileiros os sistemas estrangeiros, tais como o Soil Taxonomy e a Legenda da FAO para o Mapa de Solos do Mundo. Porém, esses sistemas apresentaram-se inapropriados para descrição e identificação de alguns atributos, como por exemplo, estabeleciam uma seção de controle de 200 cm para análise de perfis, o que para alguns solos brasileiros, como os Latossolos, que apresentam horizonte A húmico mais espesso que 200 cm, não refletiam sua realidade, ficando sua classificação comprometida (ANJOS et al., 2012).

O SiBCS compreende atualmente 13 ordens de solos, separadas por suas características morfo-estruturais predominantes na gênese do solo, como a presença ou ausência de atributos ou horizontes diagnósticos, as quais refletem diferenças no tipo e grau de desenvolvimento pedogenético. Material de origem, grau de intemperismo, estruturação, estabilidade de agregados, textura e estrutura são aspectos secundários, hierarquizados dentro de cada classe e que são de grande importância agrônoma (ANJOS et al., 2012).

Segundo Carvalho (2002), a água retida nos espaços porosos do solo depende do tipo de solo, das suas características morfo-estruturais, dos seus componentes granulométricos e do seu arranjo, influenciando diretamente as taxas de infiltração e capacidade de retenção de água. Logo, o conhecimento sobre a morfologia do solo é importante para se avaliar seu comportamento frente a diferentes práticas de manejo e

comparar características e propriedades físico-hídricas entre diferentes classes, visto que estas tendem a se comportar de maneiras distintas.

2.2 Solos tropicais no Brasil

Os solos tropicais recobrem cerca de 65% da área total do Brasil, prevalecendo nas regiões Amazônicas, Centro-Oeste e Sudeste, abrangendo grande parte das terras agrícolas (FORMOSO et al., 1999). Em geral, são solos altamente intemperizados, característicos de regiões sob temperatura e índice pluviométrico altos (FARIA; RIBEIRO; MESQUITA, 2007).

A grande maioria dos solos tropicais encontra-se na condição não saturada, ou seja, tem seus espaços porosos preenchidos por quantidades variáveis de água e ar, alterando assim o conteúdo de água disponível para as culturas. Solos que estão no bioma Cerrado, como os Latossolos, além de problemas relacionados à retenção de água, enfrentam também longos períodos de estiagem e veranicos, limitando seu uso quando não se utiliza irrigação (LIBARDI, 2010).

Os Latossolos ocupam cerca de 32% do território brasileiro, constituindo-se, portanto, uma importante classe de solo do país (FERREIRA, 2010). O conhecimento da composição textural desses solos (porcentagem relativa de areia, silte e argila) e da sua granulometria (tamanho das partículas) tem sido útil para uma melhor compreensão e avaliação de propriedades que afetam diretamente o crescimento das plantas, tais como a capacidade de retenção e disponibilidade de água (LEÃO, 2016).

Em sua fração mais grosseira (areia + silte) prevalece o mineral quartzo, com pequenas quantidades de muscovita e feldspatos. Por serem solos com grau de intemperismo mais elevado, possuem mineralogia da fração argila com predominância de minerais silicatados do tipo 1:1 e oxi-hidróxidos de Fe e Al (SPOSITO; FONTES; CAMARGO, 2001). Os oxi-hidróxidos de Fe (goethita, responsável pela coloração amarelada do solo e hematita, responsável pela coloração avermelhada) e Al (gibbsita) encontram-se na sua grande maioria dispersos na massa do solo, com grau de cristalinidade variado e sob a forma de complexos orgânicos (FERREIRA et al., 1999; KER, 2003).

Grande parte desses solos altamente intemperizados possuem carga elétrica variável e apresentam propriedades que estão ligadas direta ou indiretamente ao balanço dessas cargas na superfície das partículas que compõem seu sistema coloidal (LEÃO et

al., 2013). Esses solos, em geral, apresentam boa profundidade e porosidade, estrutura estável e alta permeabilidade. No entanto, se constatam algumas propriedades indesejáveis para a agricultura, como elevada acidez, baixa reserva de nutrientes, baixa capacidade de troca catiônica e alta capacidade de adsorção aniônica (SPOSITO; FONTES; CAMARGO, 2001).

2.3 Propriedades físico-hídricas do solo

A determinação das características físicas do solo e de retenção de água é necessária e fundamental para se compreender a disponibilidade de água para as plantas (GUPTA; LARSON, 1979) e possibilitar a correta aplicação de modelos hidrológicos baseados em tais características (ENOCH; WERNECK; STRAUCH, 2011).

Em condições naturais, as propriedades físicas do solo são as que sofrem mudanças menos abruptas ao longo do tempo, sendo necessária a atuação de intempéries climáticas por longos períodos para que ocorram mudanças significativas em sua estrutura. Porém, com a interferência antrópica, esse processo se torna mais acelerado, interferindo diretamente e em curto espaço de tempo na resposta que este solo pode apresentar no sistema produtivo (GIMENES, 2012).

Propriedades físicas, tais como: textura, estrutura, densidade e porosidade do solo são predominantemente responsáveis pela organização do esqueleto mineral (matriz do solo), podendo variar em escala local e influenciar diretamente a capacidade de retenção e armazenamento de água, disponibilidade de oxigênio e penetração de raízes no solo (LEWAN; JANSSON, 1996).

Textura é o termo utilizado para indicar as proporções de areia, silte e argila em determinado solo. É ainda uma importante propriedade para que se possa adotar um correto manejo do solo, pois está estritamente relacionada com seu conteúdo de água e suas propriedades químicas. Estrutura diz respeito ao arranjo das partículas do solo em agregados, unidades secundárias compostas pela junção de grânulos que permanecem unidas por substâncias orgânicas, óxidos de ferro e alumínio, argilas, carbonatos e sílica. A densidade do solo, ou a massa seca por unidade de volume de solo, está relacionada com a quantidade de espaços porosos, variando de solo para solo e conseqüentemente alterando suas propriedades hídricas (MILLER; GARDNER, 2001).

2.3.1 Textura e estrutura do solo

A textura é uma importante propriedade do solo, pois afeta os índices de infiltração e armazenamento de água, aeração e fertilidade, uma vez que influi na área de contato entre as partículas sólidas e a água. Devido a sua relativa estabilidade e aos seus efeitos de superfície livre, é de grande importância na descrição, identificação e, principalmente, na classificação do solo (HILLEL, 2002a; FERREIRA, 2010).

Segundo Gupta e Larson (1979) vários trabalhos demonstraram que a diferença na retenção de água correspondente a dois potenciais matriciais (capacidade de água disponível) foi prevista com base nas relações texturais e estruturais do solo e que a umidade no ponto de murcha permanente está em grande parte relacionada com teor seu teor de argila.

Tabela 1: Limites de diâmetro médio das partículas das frações granulométricas.

Fração	Diâmetro equivalente (mm)
Areia	2,00 - 0,05
Areia grossa	2,00 - 0,20
Areia fina	0,20 - 0,05
Silte	0,05 - 0,002
Argila	< 0,002

Fonte: Ferreira (2010).

Solos arenosos apresentam elevada velocidade de infiltração por apresentarem um maior número de macroporos, ao passo que aqueles mais argilosos apresentam uma maior quantidade de microporos, logo, a velocidade de infiltração da água tende a ser menor (RIBEIRO; OLIVEIRA; FILHO, 2012; SILVA, 2016).

Segundo Hillel (2002b), ao contrário da textura, a estrutura do solo é fortemente alterada pelas práticas de manejo adotadas nos sistemas agrícolas. Estrutura é o arranjo ou organização das partículas (areia, silte e argila) do solo, formando os agregados e o sistema poroso. A estrutura desempenha papel fundamental na determinação da retenção e transporte de água, gases e nutrientes no solo (ZHAO et al., 2016).

Merece destaque a estrutura do tipo granular pequena a muito pequena (microgranular), presente em grande parte dos Latossolos, o que lhes confere uma boa

permeabilidade e aeração, favorecendo o desenvolvimento radicular das plantas (FERREIRA, 2010).

2.3.2 *Densidade do solo (D_s)*

A densidade do solo (D_s , kg m^{-3}) é obtida pela razão entre a massa de solo seco em estufa (m_s , kg) e seu respectivo volume total (v_t , m^3) (Equação 1), incluídos aí os espaços porosos ocupados pela solução do solo e seus constituintes gasosos. Ao se comparar diferentes classes de solo se encontra grande variabilidade nos valores de densidade, reflexo das diferentes estruturas apresentadas.

$$D_s = \frac{m_s}{v_t} \quad (1)$$

Latossolos, por exemplo, apesar dos elevados teores de argila, apresentam uma baixa densidade quando comparado àqueles solos que apresentam estrutura do tipo em blocos, pois apresentam um maior volume de poros para uma mesma massa, devido a sua estrutura granular. Logo, qualquer prática de manejo inadequado que possa alterar a disposição das partículas do solo e conseqüentemente seu sistema poroso, refletirá nos valores de densidade e na capacidade de retenção e movimento da água no solo (FERREIRA, 2010; GRIGOLON, 2013).

2.3.3 *Densidade de partículas (D_p)*

A determinação da densidade de partículas do solo (D_p , kg m^{-3}) possui grande relevância como indicativa da composição mineralógica e determinação indireta da porosidade, porém, não reflete as condições de estruturação do solo (GUBIANI; RINERT; REICHERT, 2006).

Representada a relação entre a massa do solo seco em estufa (m_s , kg) e seu respectivo volume de sólidos ou partículas (v_s , m^3) (Equação 2).

$$D_p = \frac{m_s}{v_s} \quad (2)$$

Em grande parte dos solos minerais, a D_p varia de 2600 a 2700 kg m^{-3} , devido à predominância do quartzo, cuja massa específica está entorno de 2650 kg m^{-3} . Porém, solos mais intemperizados e com a presença de óxidos de Fe e metais pesados possuem maiores valores de D_p , a exemplo do horizonte B de Latossolos Vermelhos férricos que

podem apresentar valores superiores a 3000 kg m^{-3} , por conta da presença de magnetita, cuja massa específica é da ordem de 5200 kg m^{-3} (FERREIRA, 2010).

2.3.4 Porosidade total do solo (α)

A água é retida nos poros do solo predominantemente pelas forças de adesão e capilaridade. A porosidade total (α , $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) é entendida como sendo a parte do volume aparente do solo ocupado por espaços "vazios", os quais são preenchidos por água e ar (KIRKHAM, 2004).

Seu valor é dado por meio da razão entre o volume de poros (V_p , m^3) e o volume total do solo (V_t , m^3), conforme Equação 3:

$$\alpha = \frac{V_p}{V_t} \quad (3)$$

Pode ainda ser obtido a partir das determinações da densidade do solo (D_s) e densidade de partículas (D_p) (Equação 4), indicando também que, uma mudança na densidade do solo altera sua porosidade.

$$\alpha = 1 - \frac{D_s}{D_p} \quad (4)$$

É importante também, além da simples determinação da porosidade total do solo, conhecer seu tamanho e sua distribuição. Poros de diferentes tamanhos apresentam funções distintas no solo. Poros menores que 0,5 mm de diâmetro (microporos) favorecem a retenção de água e a difusão de íons na solução do solo, ao passo que os macroporos, maiores que 50 mm de diâmetro, favorecem a aeração e a drenagem do excesso de água. Os poros com tamanho intermediário (entre 0,5 e 50 mm) são responsáveis pela retenção de água contra a gravidade e sua liberação para as plantas (PIRES et al., 2016)

Num primeiro momento, é de se esperar que um solo argiloso (muitas partículas menores que 0,002 mm) apresente grande microporosidade, e que um solo arenoso (muitas partículas maiores que 0,05 mm) apresente grande macroporosidade. Porém, alguns solos tropicais, apesar de possuírem textura muito argilosa, possuem também grande macroporosidade, reflexo de sua estrutura granular. Alguns Latossolos brasileiros, por exemplo, os gibbissíticos, apresentam boa retenção de água devido aos

microporos no interior dos agregados e boa drenabilidade devido aos macroporos formados entre os agregados, não oferecendo restrições físicas ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas (RESENDE et al., 1999; FERREIRA, 2010; RIBEIRO; OLIVEIRA; FILHO, 2012).

2.4 Relação solo, planta e atmosfera

Qualquer matéria no universo move em direção à redução de sua energia total. Assim, a água flui sempre que houver um decréscimo de energia potencial total no percurso solo-atmosfera. Os valores do potencial de água na atmosfera são, na maioria das vezes, muito menores (mais negativos) do que os potenciais da água no solo, assim, quase que invariavelmente, a água tende a deslocar-se diretamente do solo em direção à atmosfera (evaporação) ou através da planta (transpiração) (VAN LIER, 2010b).

Evaporação e transpiração ocorrem de maneira simultânea, transferindo água do solo e das plantas para a atmosfera, na forma de vapor de água. A combinação desses dois processos é denominada evapotranspiração (ET). Ela representa, na prática, o consumo de água de uma cultura, geralmente expresso em milímetro por dia (mm d^{-1}), que corresponde à altura da lâmina formada pela aplicação de um litro de água numa área de 1 m^2 (OLIVEIRA; RAMOS; AQUINO, 2016).

Numa condição de déficit hídrico, aumenta-se a resistência ao fluxo de água no solo, e para a manutenção do fluxo de água na planta o potencial da raiz diminuirá até certo limite. Próximos a esse limite, mecanismos fisiológicos causam o fechamento dos estômatos, órgãos onde ocorrem as trocas de gases com a atmosfera, e ao mesmo tempo em que se diminui a transpiração, a entrada de CO_2 na planta fica também prejudicada, implicando em menor produção de assimilados e reduzindo a produtividade (VAN LIER, 2010b).

A água absorvida pelas plantas, porém, não depende somente do seu potencial no solo, mas também, da habilidade das raízes em absorver água (densidade de raízes, profundidade, taxa de crescimento, fisiologia), das condições atmosféricas (déficit de saturação, vento, radiação disponível) e das propriedades do solo (textura, estrutura, condutividade hidráulica, difusividade, relações entre umidade e potencial) (REICHARDT; TIMM, 2012).

2.5 Conteúdo de água no solo

A quantidade variável de água contida em uma massa ou volume de solo e o estado de energia com que a água se encontra retida são importantes fatores que afetam o crescimento das plantas (HILLEL, 2002b).

O conteúdo de água no solo pode ser medido ou estimado utilizando-se diversos métodos. O método gravimétrico é utilizado para determinar diretamente o conteúdo de água no solo em laboratório, onde a remoção da água é feita por evaporação a 105°C em estufa. Medições diretas apresentam uma série de problemas, principalmente devido à necessidade de amostragem destrutiva, muitas vezes alterando a densidade e distribuição de poros da amostra. Os métodos mais recentes, como a reflectometria no domínio do tempo (TDR) e a sonda de nêutrons, são métodos indiretos baseados em modelos matemáticos empíricos ou semi-empíricos e podem ser utilizados diretamente no campo, de maneira minimamente destrutiva, desde que feitas as calibrações necessárias (SMITH; MULLINS, 2000).

O conteúdo de água pode ser expresso como uma proporção a base de massa (θ_g , kg kg⁻¹) (LIBARDI, 2010), conforme a Equação 5:

$$\theta_g = \frac{m_a}{m_s} \quad (5)$$

Em que:

m_a = massa de água (kg);

m_s = massa de sólidos (kg).

Ou à base de volume (θ_v , m³m⁻³), conforme as Equações 6 e 7:

$$\theta_v = \frac{V_a}{V} \quad (6)$$

Em que:

V_a = volume de água (m³)

V = volume da amostra de solo (m³)

$$\theta_v = \frac{D_s}{D_a} \cdot \theta_g \quad (7)$$

Em que:

D_s = densidade do solo (g cm⁻³);

D_a = densidade da água (g cm⁻³);

θ_g = umidade a base de massa (kg kg^{-1}).

A física clássica reconhece duas formas principais de energia: cinética e potencial. Uma vez que a circulação de água no solo é bastante lenta, sua energia cinética (ou de movimento) é considerada desprezível. A energia potencial total da água em um solo não saturado, sentido do movimento da água entre dois pontos, é determinada essencialmente pela posição ou profundidade (potencial gravitacional), pelo conteúdo de água (potencial matricial) e pelo teor de solutos na solução do solo (potencial osmótico) (VAN LIER, 2010b).

O potencial matricial (ϕ_m , energia / volume de água) diz respeito às interações entre a matriz do solo e a solução que se encontra neste, envolvendo forças relacionadas com a adsorção (responsáveis pela retenção da água nas superfícies das partículas do solo) e capilaridade (responsáveis pela retenção da água nos poros capilares dos agregados). Sendo assim, para se remover a solução retida no solo por essas forças e torná-la livre é necessário despende cada vez mais energia à medida que a umidade do solo diminui. A não ser em uma condição de saturação do solo ($\phi_m = 0$), o potencial mátrico é sempre uma quantidade negativa (Equação 8). No entanto, é comum a utilização do termo tensão de água no solo ($\psi = |\phi_m|$), onde, por exemplo, ao invés de se dizer que o potencial mátrico da água no solo $\phi_m = -33 \text{ kPa}$, se diz que a tensão da água no solo $\psi = 33 \text{ kPa}$ (LIBARDI, 2010).

$$\phi_m = \varepsilon - \varepsilon_0 \quad (8)$$

Em que:

ε = energia potencial total específica da água no solo não saturado;

ε_0 = energia potencial total específica da água no estado padrão (25°C, 1 atm).

Partindo do entendimento de que as diferentes classes de solo apresentam variabilidade quanto à quantidade de água disponível, a obtenção da relação entre o potencial matricial e a umidade do solo para determinadas classes de solo é extrema importância, o que é conseguido por meio das curvas de retenção de água no solo (CARVALHO, 2002).

2.5.1 Curva de retenção de água no solo (CRA)

Estudos que envolvem a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera, como a disponibilidade de água para as culturas, necessitam do conhecimento da relação entre o conteúdo de água no solo e o potencial matricial (ou tensão da água no solo), o qual é representado pela curva de retenção de água no solo (NEBEL, 2009).

A determinação da curva de retenção, a partir de técnicas tradicionais de laboratório como a câmara de pressão de Richards (1948), método da centrífuga (SILVA e AZEVEDO, 2002), tensiometria e funil de placa porosa (HAINES, 1930), por exemplo, se baseia em determinar o conteúdo volumétrico ou gravimétrico de água no solo em diferentes valores de tensão (ψ), comumente variando de 1 kPa a 1.500 kPa. Com base nesses pontos é traçada uma curva característica de retenção de água no solo (Figura 1), através da relação entre o conteúdo de água e a tensão com que está retida ao solo, representando, então, a capacidade que o solo tem de armazenar água (SILVA, 2005; SILVA et al., 2006; GRIGOLON, 2013).

A determinação da curva de retenção envolve vários parâmetros desconhecidos e que precisam ser determinados ou estimados utilizando-se de modelos de regressão não-linear, a fim de que as equações se ajustem da melhor forma possível aos dados experimentais. Talvez uma das grandes limitações no ajuste de modelos não lineares seja a atribuição de valores iniciais para o método numérico iterativo de estimação (LEONG; RAHARDJO, 1997).

Como medições precisas da retenção de água em solos não saturados são de difícil obtenção em laboratório, na maioria das vezes os valores são tomados a partir da utilização de modelos empíricos ou semi-empíricos, como o modelo de van Genuchten (1980) (Equação 9). No entanto, a determinação arbitrária de um conjunto de pontos ou dados da literatura sem um critério de seleção estatístico bem definido, pode resultar em curvas não representativas, sendo necessários estudos bem criteriosos que resultem na adequada descrição das curvas de retenção de água no solo (SILVA et al., 2006).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha\psi)^n]^m} \quad (9)$$

Em que:

θ = conteúdo volumétrico de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_s = conteúdo de saturação de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_r = conteúdo residual de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

Ψ = valor absoluto do potencial mátrico (kPa);

α = inverso do valor de entrada de ar (kPa^{-1})

n, m = parâmetros empíricos de forma da curva.

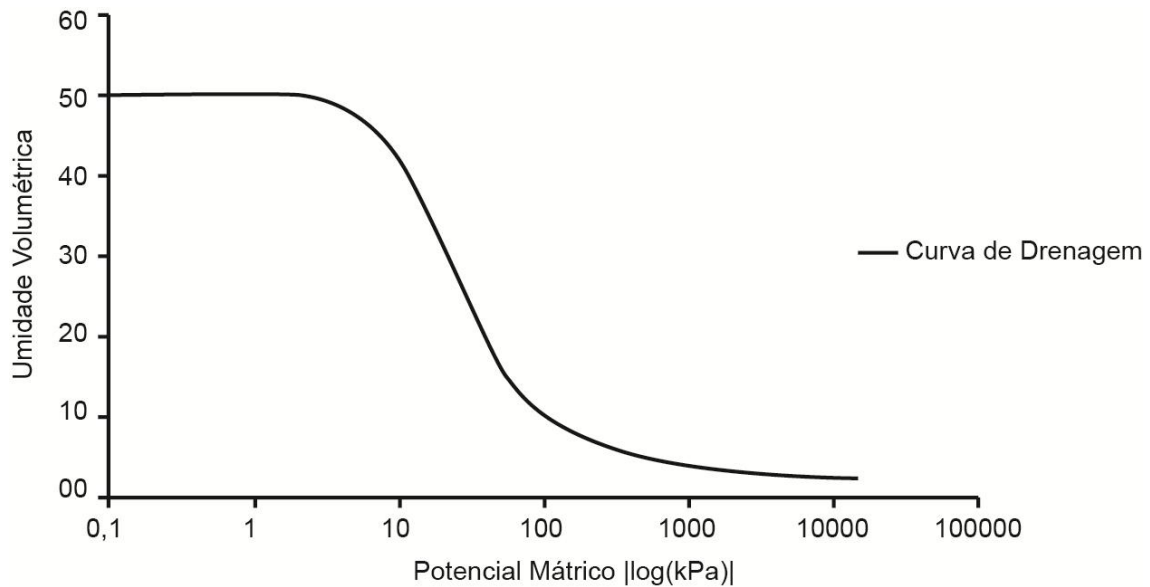


Figura 1: Curva característica de retenção de água no solo (adaptado de Silva, 2005).

A obtenção da curva de retenção parte do princípio de que a água ocupa os espaços porosos do solo sob determinada tensão, a qual está diretamente relacionada com a composição granulométrica e seu arranjo estrutural (CARVALHO, 2002). A alta variabilidade das propriedades físicas do solo, tais como a densidade, distribuição de poros e os conteúdos de areia, silte e argila podem resultar em alterações significativas nas características de retenção de água pelo solo (BABALOA, 1978).

A aplicação de pequenas tensões causa grande variação no conteúdo de água em solos arenosos, ao passo que, em solos de textura mais argilosa, modificações expressivas em seu conteúdo de água só são conseguidas com a aplicação de grandes tensões, como se pode observar na Figura 2, reforçando a influência do tipo de solo na retenção de água (SILVA, 2005).

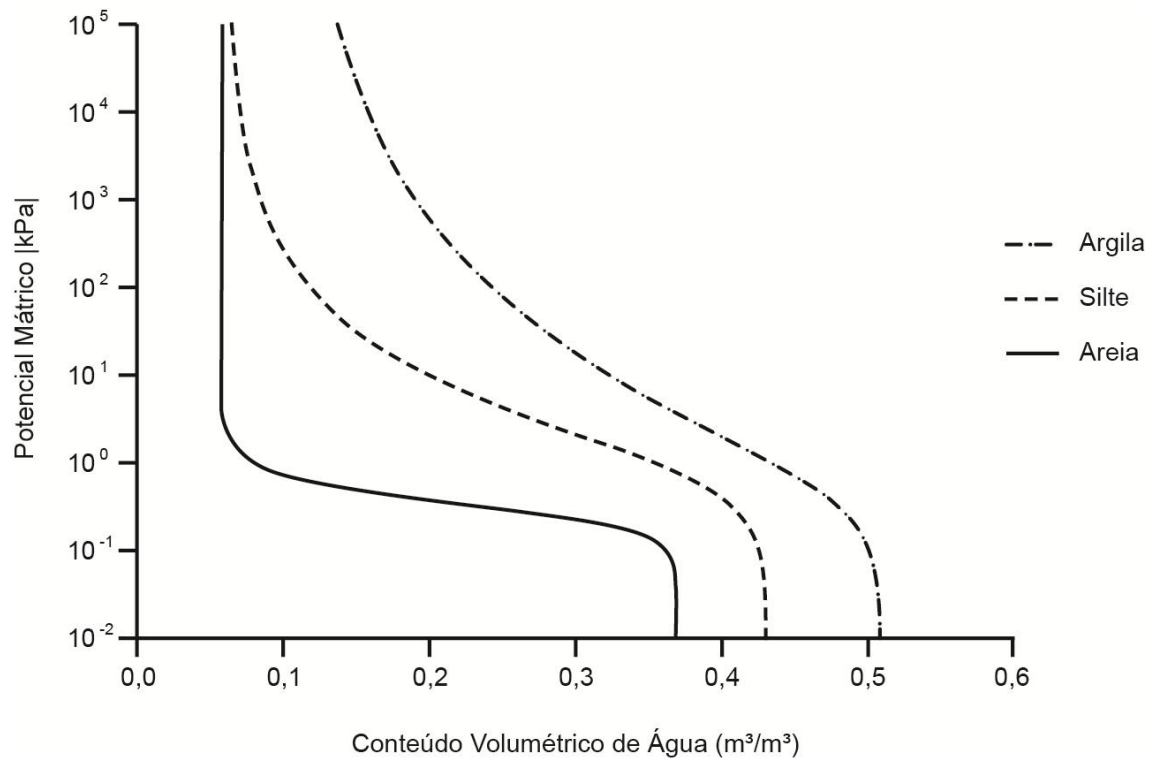


Figura 2: Curva de retenção de água para solos de diferentes classes texturais (adaptado de Tuller e Or, 2005).

Uma vez que se tenha conhecimento da curva característica de retenção de água de determinado solo, podem-se fazer inúmeras inferências de importância agrícola, como: determinação da capacidade de campo, do ponto de murcha permanente e consequentemente da quantidade de água disponível (GRIGOLON, 2013).

2.5.2 Capacidade de água disponível (CAD)

A quantidade de água disponível para absorção pelas plantas está relacionada com a disponibilidade de água no solo, tendo a ela associados os termos de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD). A CC se refere às condições de água no solo onde, após uma chuva ou irrigação a drenagem é considerada desprezível e o teor de água permanece constante para uma determinada profundidade, sendo usualmente determinada nas tensões de 6 a 33 kPa. Já o PMP, cuja tensão de água no solo está na faixa de 1.500 kPa, se refere ao conteúdo de água onde as raízes não conseguem absorver a água retida na matriz do solo, uma vez que a água está contida com uma energia maior do que a planta consegue dispender para absorvê-la (KIRKHAM, 2004)

A CAD é definida como sendo a quantidade de água retida entre a CC e o PMP (Equação 10) e que está efetivamente disponível para suprir as demandas hídricas da cultura. Sua determinação tem sido considerada uma importante ferramenta no que diz respeito ao monitoramento e cálculo do balanço de água no solo (HORNE; SCOTTER, 2016).

$$CAD = CC - PMP \quad (10)$$

Segundo Ottoni Filho et al. (2014), o conteúdo de água no solo apresenta correlação significativa com suas propriedades físicas, tais como textura e estrutura. A maioria dessas correlações foi encontrada para a umidade do solo nas tensões de 6, 33 e 1500 kPa, onde se constatou uma maior influência da estrutura do solo na determinação da CC.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Constituição do banco de dados

Os dados foram extraídos de artigos, dissertações, e teses publicadas nacional e internacionalmente, consultados a partir das seguintes bases e periódicos: Portal de periódicos CAPES/MEC; SciELO (Scientific Electronic Library Online); Google Acadêmico; BDPA (Bases de Dados da Pesquisa Agropecuária); ScienceDirect (Elsevier); SCOPUS (Elsevier); Web of Science; WRR (Water Resources Research); SSSAJ (Soil Science Society of America Journal). Também foram utilizados dados extraídos do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos - Embrapa (Proceedings of the Eighth International Soil Classification Workshop: classification, characterization and utilization of Oxisols) e de trabalhos enviados diretamente por professores e/ou pesquisadores da área. O procedimento de busca foi realizado utilizando-se palavras-chave como: curva de retenção de água no solo; parâmetros da equação de van Genuchten; capacidade de água disponível, e umidade do solo.

Todos os arquivos contendo os termos relacionados foram inspecionados e os trabalhos em que houve variáveis de interesse foram incluídos no banco de dados. Considerou-se como variáveis de interesse: ordem e subordem (de acordo com a taxonomia do SiBCS em vigor durante o período); profundidade de amostragem; teores de areia, silte e argila; classe textural; densidade do solo (Ds); porosidade total (Pt); parâmetros de ajuste da curva de retenção de água no solo segundo a equação de van Genuchten (1980) e o método utilizado na determinação da curva. Todos os trabalhos utilizados estão devidamente referenciados no banco de dados, caso seja necessária a obtenção de informações complementares. Os dados foram sistematizados em planilha MS Excel®.

3.2 Análise estatística

Os dados foram classificados e filtrados a fim de se eliminar valores discrepantes que não representem o comportamento característico das curvas de retenção de água no solo. Tal procedimento foi realizado mediante a utilização de um simulador de curva de retenção feito em planilha MS Excel®. Os dados foram submetidos às seguintes análises e procedimentos:

- Estatística descritiva (média, mediana, máximo, mínimo, desvio padrão) e teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO e WILK, 1965) para os dados como um todo, com auxílio do programa de análises estatísticas R (R Development Core Team, 2014);
- Matriz de correlação e coeficiente de Pearson (r) para todas as variáveis quantitativas entre si e sua respectiva significância (p), visando melhor embasamento teórico e buscando facilitar a compreensão do leitor (MOORE, 1995), via R;
- Regressão linear simples entre as principais variáveis com "r" significativo, via MS Excel®, para a obtenção de modelos matemáticos que melhor representem as variáveis analisadas.

3.3 Obtenção das curvas de retenção e da CAD

As curvas de retenção de água representativas da ordem Latossolo e das subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA), foram geradas com base na análise dos parâmetros da equação de van Genuchten, presentes no banco de dados. Visando a obtenção de informações que representem tanto o valor mais representativo quanto a dispersão da CAD para os Latossolos, utilizou-se a mediana, o primeiro e o terceiro quartil de distribuição dos parâmetros.

Com base nisto, foram geradas três curvas de retenção de água representativas da ordem Latossolo. Uma curva foi gerada a partir dos parâmetros medianos (Med) e as outras duas foram geradas a partir dos parâmetros obtidos pelo primeiro quartil (Q1) e pelo terceiro quartil de distribuição (Q3). A mesma metodologia foi utilizada para gerar as três curvas de retenção representativas das subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA).

A capacidade de água disponível (CAD) foi estimada, primeiramente, a partir dos parâmetros originais da equação de van Genuchten, fornecidos pelos trabalhos constantes no banco de dados. Posteriormente, estimou-se a CAD a partir das curvas de retenção geradas para representar a ordem e as subordens de Latossolos. Em seguida comparou-se a CAD estimada a partir dos parâmetros originais com a CAD estimada a partir das curvas de retenção geradas para a ordem e subordens de Latossolos.

Para o cálculo da CAD assumiu-se os conteúdos de água nas tensões de 10 e 1.500 kPa como sendo correspondentes ao conteúdo de água na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do banco de dados e análise estatística

Ao todo, 235 pontos amostrais foram coletados em 23 trabalhos publicados, abrangendo a ordem Latossolos e suas subordens. Não foram incluídos no banco de dados os Latossolos Brunos, em função da menor abrangência destes solos, e conseqüentemente menor número de observações na literatura. Os valores de média, mediana, máximo, mínimo, desvio padrão e teste de normalidade para as variáveis analisadas são apresentados na Tabela 2.

Nenhuma das variáveis apresentou distribuição normal quando submetidas ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Em todos os casos os valores de probabilidade calculados utilizando o teste foram muito menores do que o valor crítico de $p = 0,05$ adotado neste trabalho, indicando que a hipótese nula de que os dados são de uma população normalmente distribuída deve ser rejeitada. De acordo com Leão (2016), a ausência de normalidade é considerada normal nesse tipo de análise, onde diferentes conjuntos de dados são agrupados para compor os metadados.

Foi calculada também a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis em estudo, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3. O coeficiente de correlação de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas e varia de -1 a 1. Um coeficiente igual a 1 significa que a relação linear é perfeita e um coeficiente igual a -1 também indica uma relação linear perfeita, mas inversa, ou seja, a medida que uma variável aumenta a outra diminui. O valor zero significa que não há relação linear e quanto mais próximo o coeficiente estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação entre as duas variáveis (FALCO, 2008). Esses dados evidenciam uma maior correlação da CC e do PMP com os conteúdos de areia e argila, densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt). Já os valores de CAD estão mais relacionados com a CC e o PMP.

Tabela 2: Estatística descritiva e teste de normalidade para o conjunto de dados utilizado nesse trabalho.

Variável	Contagem (n)	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Shapiro-Wilk (valor- <i>p</i>)
Areia (g kg ⁻¹)	190	33,00	878,00	400,46	345,00	225,96	5,29x10 ⁻¹⁰
Silte (g kg ⁻¹)	190	0,00	440,00	131,71	110,00	85,96	5,46x10 ⁻⁰⁹
Argila (g kg ⁻¹)	192	76,00	900,00	469,25	504,00	184,23	2,05x10 ⁻⁰⁵
Ds (kg m ⁻³)	186	790,00	1751,00	1264,52	1240,00	219,17	9,48x10 ⁻⁰⁴
Pt (m ³ m ⁻³)	186	0,34	0,70	0,52	0,53	0,08	8,74x10 ⁻⁰⁴
θs (m ³ m ⁻³)	235	0,15	0,73	0,49	0,52	0,14	8,03x10 ⁻⁰⁹
θr (m ³ m ⁻³)	235	0,03	0,32	0,20	0,20	0,07	1,30x10 ⁻⁰⁷
n	235	1,14	6,18	1,89	1,60	0,86	4,50x10 ⁻²²
m_calc	235	0,12	0,84	0,41	0,37	0,15	2,17x10 ⁻⁰⁸
α (kPa)	235	0,00	39,63	1,43	0,49	3,57	9,27x10 ⁻²⁸
θ10kPa (m ³ m ⁻³)	235	0,10	0,57	0,33	0,35	0,09	6,14x10 ⁻⁰⁴
θ1500kPa (m ³ m ⁻³)	235	0,03	0,32	0,21	0,23	0,07	4,98x10 ⁻⁰⁸
CAD (m ³ m ⁻³)	235	0,01	0,34	0,12	0,10	0,07	8,28x10 ⁻¹⁵

Ds: Densidade do solo; Pt: Porosidade total; m_calc: 1-1/n; θ10kPa: Conteúdo de água na capacidade de campo; θ1500kPa: conteúdo de água no ponto de murcha permanente.

Tabela 3: Correlação de Pearson entre as variáveis de estudo.

	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Ds (kg m ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)	θs (m ³ m ⁻³)	θr (m ³ m ⁻³)	n	m_calc	α (kPa)	θ10kPa (m ³ m ⁻³)	θ1500kPa (m ³ m ⁻³)	CAD (m ³ m ⁻³)
Areia (g kg ⁻¹)	1												
Silte (g kg ⁻¹)	-0,63***	1											
Argila (g kg ⁻¹)	-0,93***	0,31***	1										
Ds (kg m ⁻³)	0,73***	-0,23**	-0,76***	1									
Pt (m ³ m ⁻³)	-0,73***	0,23**	0,76***	-1***	1								
θs (m ³ m ⁻³)	-0,66***	0,15*	0,73***	-0,70***	0,70***	1							
θr (m ³ m ⁻³)	-0,79***	0,50***	0,73***	-0,55***	0,55***	0,70***	1						
n	0,35***	-0,18*	-0,34***	0,04 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1					
m_calc	0,32***	-0,10 ^{ns}	-0,35***	0,13 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,90***	1				
α (kPa)	-0,16*	-0,11 ^{ns}	0,25***	-0,32***	0,32***	0,27***	-0,08 ^{ns}	-0,18**	-0,31***	1			
θ10kPa (m ³ m ⁻³)	-0,45***	0,07 ^{ns}	0,52***	-0,27***	0,27***	0,50***	0,50***	0,09 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,20**	1		
θ1500kPa (m ³ m ⁻³)	-0,81***	0,47***	0,77***	-0,57***	0,57***	0,71***	0,95***	-0,08 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,60***	1	
CAD (m ³ m ⁻³)	0,15*	-0,32***	-0,02 ^{ns}	0,16*	-0,16*	-0,05 ^{ns}	-0,28***	0,18**	0,19**	-0,20**	0,66***	-0,20**	1

***significativo a 0,1%; **significativo a 1%; *significativo a 5%; ns - não significativo.

5.2 Curvas de retenção e CAD

A média e a mediana são medidas de tendência central e em um conjunto de dados normalmente distribuído a média e a mediana estarão próximas uma da outra. Porém, a medida que a distribuição se torna assimétrica, a média se torna menos representativa do conjunto de dados, uma vez que esta é mais influenciada por valores extremos do que a mediana. Por esta razão, uma vez que o conjunto de dados não apresentou distribuição normal (Tabela 2), optou-se pela utilização da mediana para o cálculo dos parâmetros da equação de van Genuchten.

Para mostrar tanto o valor mais representativo quanto a dispersão dos parâmetros para a obtenção das curvas de retenção, e conseqüentemente da CAD, além da mediana (Med), foram calculados o primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3) dos parâmetros da equação de van Genuchten, para a ordem Latossolo e para as subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA), conforme são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6. A mediana é obtida então a partir da ordenação do conjunto de dados em ordem crescente, e representa o valor no qual metade das observações seja menor e a outra metade seja maior que ele (representa 50% dos casos). Os quartis representam a dispersão da metade central do conjunto de dados, também colocados em ordem crescente, onde o primeiro quartil abarca 25% dos valores, e o terceiro quartil, 75% (MOORE, 1995).

Tabela 4: Parâmetros da equação de van Genuchten gerados a partir dos valores medianos (Med) do banco de dados.

Parâmetro	LV	LVA	LA	Todos
θ_r ($m^3 m^{-3}$)	0,2422	0,1540	0,1214	0,2045
θ_s ($m^3 m^{-3}$)	0,5800	0,4740	0,3722	0,5200
α (kPa)	0,5605	0,3900	0,0176	0,4900
n	1,6255	1,4890	1,6425	1,5967
m_calc	0,3848	0,3284	0,3885	0,3737

LV: Latossolo Vermelho; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo.

Tabela 5: Parâmetros da equação de van Genutchen gerados a partir dos valores do primeiro quartil (Q1) do banco de dados.

Parâmetro	LV	LVA	LA	Todos
θ_r ($m^3 m^{-3}$)	0,1666	0,1181	0,0975	0,1372
θ_s ($m^3 m^{-3}$)	0,4600	0,3754	0,3225	0,3811
α (kPa)	0,1667	0,0901	0,0107	0,0861
n	1,4713	1,3720	1,3300	1,4375
m_calc	0,3203	0,2711	0,2481	0,3043

LV: Latossolo Vermelho; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo.

Tabela 6: Parâmetros da equação de van Genutchen gerados a partir dos valores do terceiro quartil (Q3) do banco de dados.

Parâmetro	LV	LVA	LA	Todos
θ_r ($m^3 m^{-3}$)	0,2688	0,1795	0,1618	0,2600
θ_s ($m^3 m^{-3}$)	0,6290	0,5058	0,4389	0,6171
α (kPa)	1,1790	2,2571	0,8113	1,1975
n	1,9125	1,7346	2,3419	1,9282
m_calc	0,4771	0,4235	0,5730	0,4814

LV: Latossolo Vermelho; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo.

A partir dos parâmetros apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6 foram geradas as curvas de retenção de água no solo a partir dos parâmetros medianos (Med), primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3), para as subordens LV, LVA, LA e para ordem Latossolo, apresentadas, respectivamente, através das Figuras 3, 4, 5 e 6.

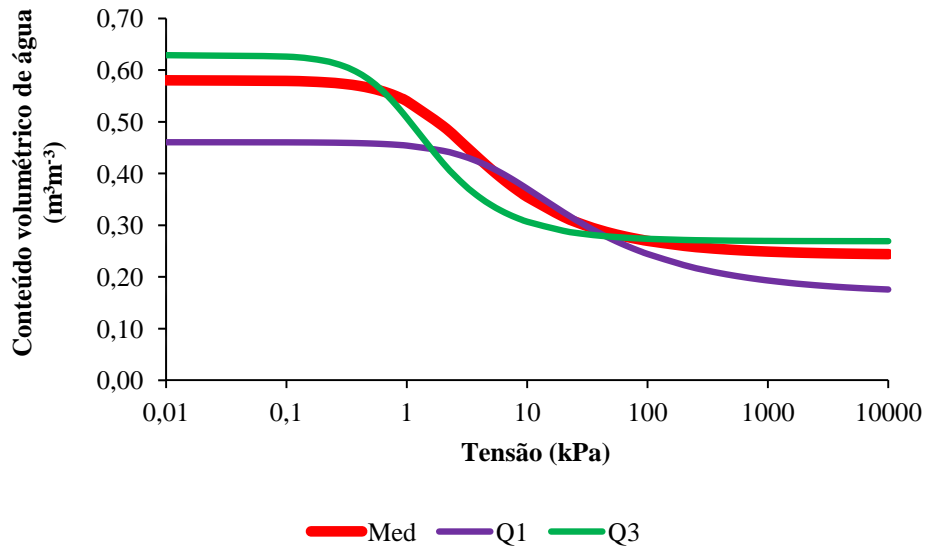


Figura 3: Curvas de retenção geradas a partir dos parâmetros medianos (Med), primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3) para a subordem Latossolo Vermelho (LV).

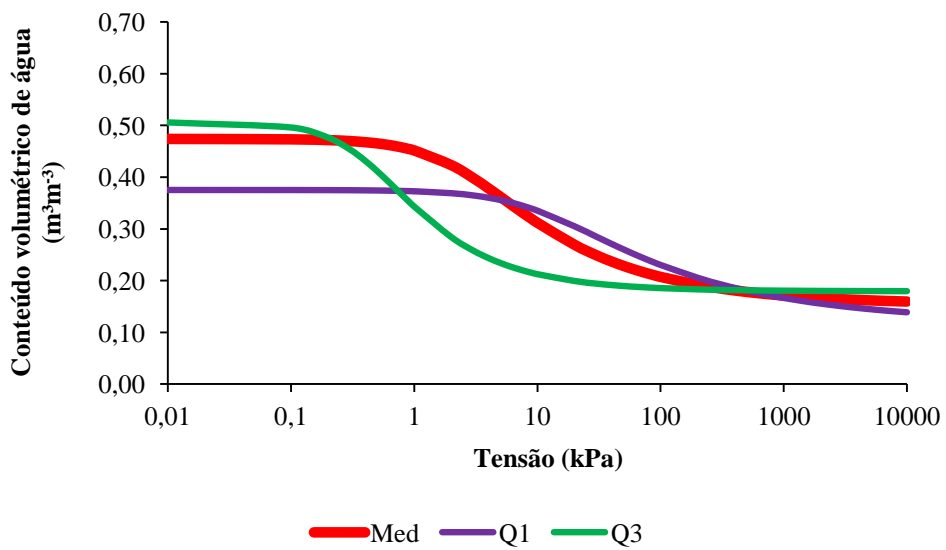


Figura 4: Curvas de retenção geradas a partir dos parâmetros medianos (Med), primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3) para a subordem Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

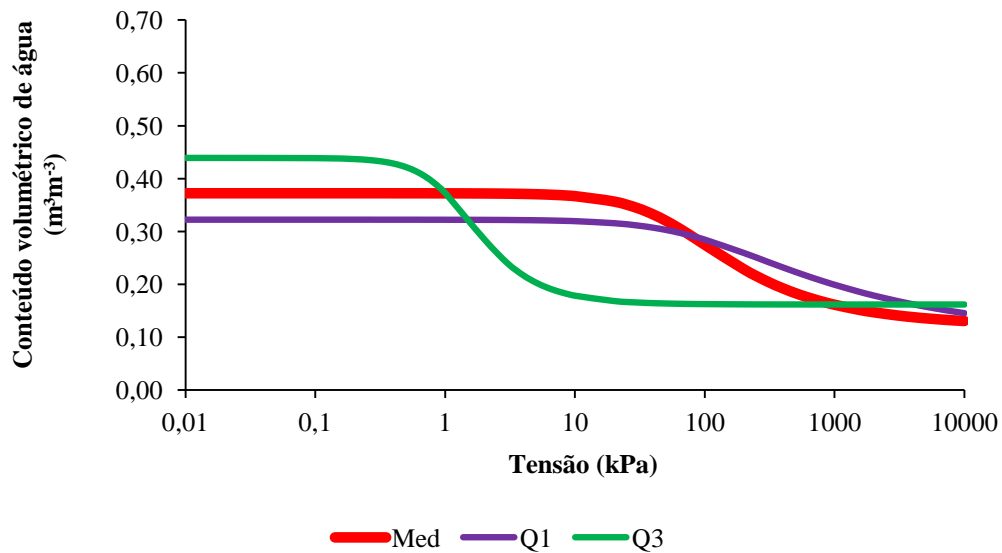


Figura 5: Curvas de retenção geradas a partir dos parâmetros medianos (Med), primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3) para a subordem Latossolo Amarelo (LA).

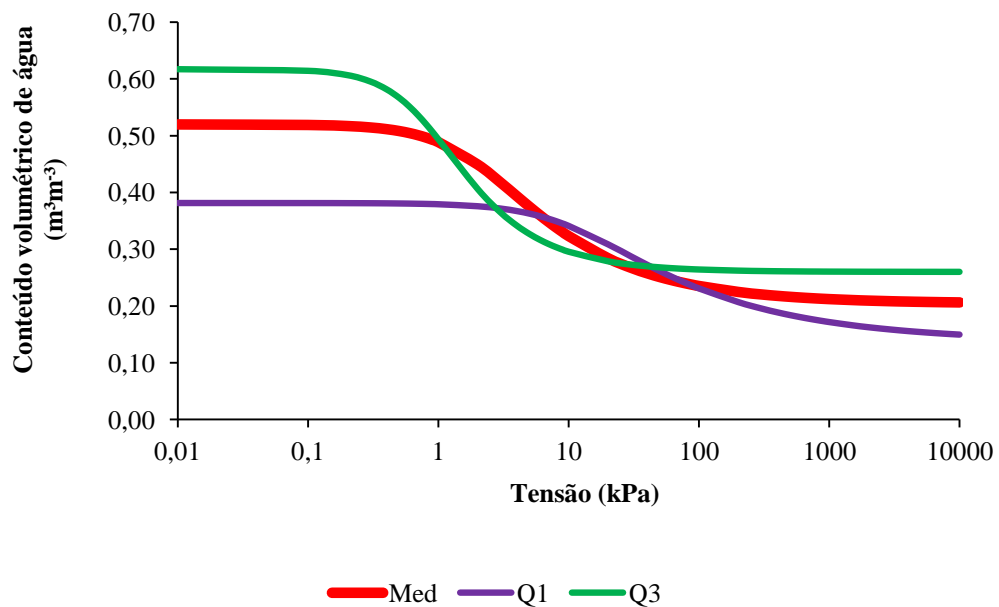


Figura 6: Curvas de retenção geradas a partir dos parâmetros medianos (Med), primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3) para todas as subordens.

Os conteúdos de água na capacidade de campo (10 kPa) e no ponto de murcha permanente (1.500 kPa) resultante das curvas de retenção ajustadas a partir da Med, Q1 e Q3 para Latossolo e subordens são apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7: Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) estimados a partir dos parâmetros medianos (Med).

	LV	LVA	LA	Todos
	-----m ³ m ³ -----			
CC	0,3546	0,3119	0,3668	0,3233
PMP	0,2472	0,1682	0,1524	0,2106

LV: Latossolo Vermelho; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo.

Tabela 8: Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) estimados a partir dos parâmetros do primeiro quartil (Q1).

	LV	LVA	LA	Todos
	-----m ³ m ³ -----			
CC	0,3704	0,3354	0,3197	0,3409
PMP	0,1884	0,1596	0,1870	0,1663

LV: Latossolo Vermelho; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo.

Tabela 9: Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) estimados a partir dos parâmetros do terceiro quartil (Q3).

	LV	LVA	LA	Todos
	-----m ³ m ³ -----			
CC	0,3066	0,2125	0,1784	0,2955
PMP	0,2692	0,1803	0,1618	0,2603

LV: Latossolo Vermelho; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo.

Embora o LA tenha apresentado o maior conteúdo de água na CC (Tabela 7) este apresentou também o menor conteúdo de água retido no PMP, contribuindo para que este solo apresente uma maior CAD dentre as subordens de Latossolos. O LV apresentou valores elevados de conteúdo de água na CC, mas também apresentou os maiores conteúdos de água retido no PMP e, conseqüentemente, detêm o menor valor de CAD dentre as subordens estudadas.

A CAD estimada com base nos parâmetros originais (PO) da equação de van Genuchten e a CAD gerada a partir das curvas de retenção representativas da ordem e subordens de Latossolos são apresentadas na Tabela 10. Conforme os resultados apresentados, a menor e a maior CAD foram verificadas no LV e no LA, respectivamente, estimados a partir da análise de frequência de ocorrência dos PO. O mesmo foi observado para a CAD calculada a partir das curvas de retenção geradas pelos parâmetros medianos (Med), como se pode verificar na Figura 7, onde as caixas

do *Boxplot* representam a CAD calculada com os PO e os símbolos representam a CAD estimada a partir dos parâmetros Med, Q1 e Q3.

Tabela 10: Capacidade de água disponível (CAD) estimada a partir dos parâmetros originais (PO) e a partir dos parâmetros medianos (Med), primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3).

	LV	LVA	LA	Todos
	-----m ³ m ⁻³ -----			
CAD_PO	0,1131	0,1345	0,1412	0,1209
CAD_Med	0,1074	0,1437	0,2144	0,1127
CAD_Q1	0,1820	0,1758	0,1328	0,1747
CAD_Q3	0,0374	0,0322	0,0166	0,0352

LV: Latossolo Vermelho; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo.

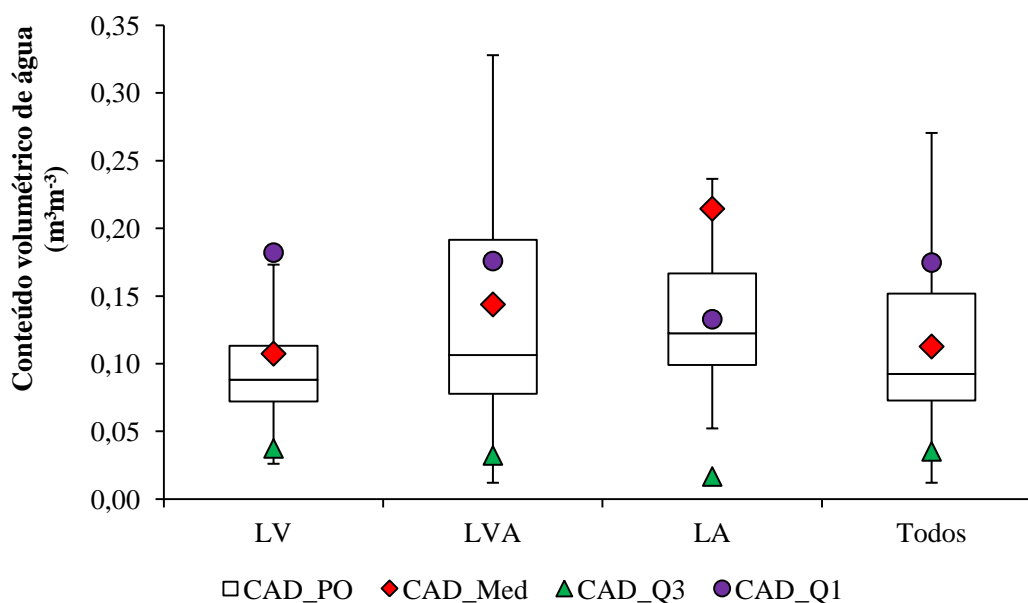


Figura 7: CAD estimada a partir dos parâmetros originais (PO) e a partir dos parâmetros medianos (Med), primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3) para a ordem Latossolo (todos os solos) e para as subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA).

Os maiores valores na CAD no LA podem ser atribuídos à grande variação nos valores de " α ", onde este apresentou valor mínimo e máximo de 0,0011 e 11,3661 kPa, respectivamente. De acordo com Silva (2005), " α " influencia diretamente no formato da parte superior da curva de retenção, alterando conseqüentemente a estimativa do conteúdo de água disponível. Outra parte da variação aponta para uma maior variabilidade natural da CAD nos LA e para as diferentes metodologias utilizadas na

determinação das curvas de retenção de água desses solos como, por exemplo, o método da câmara de pressão de Richards, mesa de tensão, funil de placa porosa, método do papel filtro e o método do psicrômetro Decagon Devices WP4.

Embora a retenção de água na CC tenha sido maior no LV (Figura 8), a CAD nesse solo foi menor ($0,1074 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) quando comparado com o LVA ($0,1437 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) e o LA ($0,2144 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$), de textura mais grosseira (Figura 9 e 10). Isto está de acordo com o resultado encontrado por Beutler et al. (2002), e demonstra que a retenção de água elevada na CC na matriz do LV não resulta, necessariamente, em uma maior CAD, haja visto que a retenção de água em tensões mais elevadas, como no PMP, são proporcionalmente ainda mais elevadas, reduzindo a disponibilidade total (CAD) de água para as plantas. Silva et al. (1998), observaram que os maiores teores de óxidos de Al como a gibbsita na fração argila do LV favorece uma maior agregação e manutenção da estrutura microgranular nesses solos, favorecendo a retenção e, conseqüentemente, tornando mais dispendiosa, em termos energéticos, a absorção dessa água pela cultura. Neste sentido, Reichardt (1987) afirma que o principal determinante na retenção de água no solo é a mineralogia da fração argila, por interferir diretamente na área de contato entre as partículas sólidas e a água. O maior grau de intemperismo dos LV em relação aos LVA e LA também explica o maior conteúdo de água retido nesses solos, devido à contribuição significativa da sua matriz.

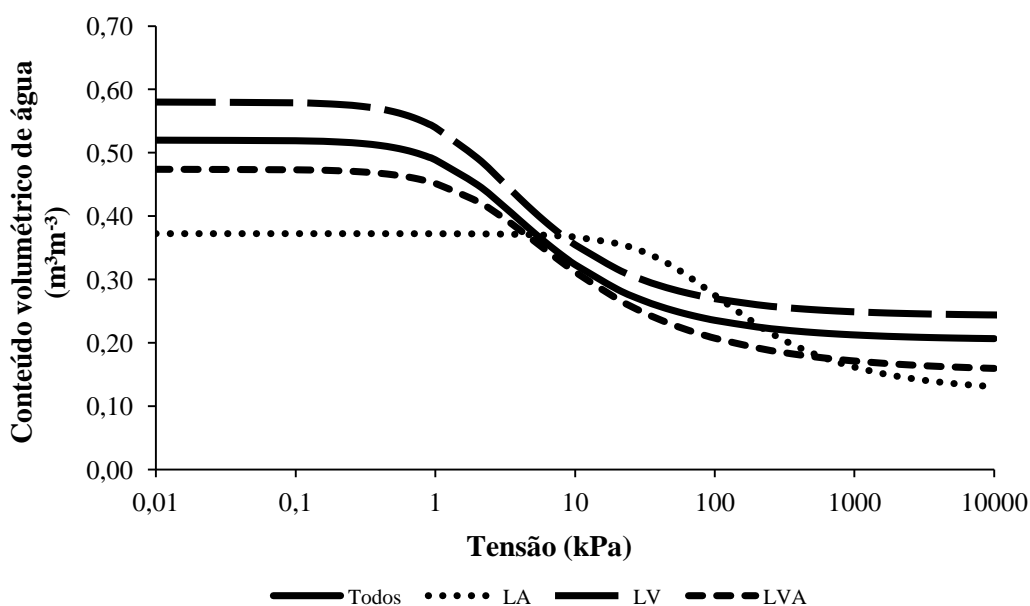


Figura 8: Curvas de retenção de água geradas a partir dos parâmetros medianos (Med) para a ordem Latossolo (todos os solos) e para as subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA).

A mineralogia é resultante da ação e interação dos fatores e processos de formação do solo. A ocorrência de minerais com características distintas, principalmente na fração argila dos Latossolos, está em grande parte associada ao relevo em que esses solos se encontram. Curi e Franzmeier (1984), ao analisarem uma topossequência de Latossolos no Planalto Central do Brasil, encontraram maiores teores de gibbsita na posição mais elevada do terreno e um maior teor de caulinita associada à goethita nas cotas mais baixas e com drenagem menos eficiente.

Horizontes característicos de Latossolos são geralmente compostos por uma forte estrutura de microagregados, associada à interação de oxi-hidróxidos de Fe e Al, argilo-minerais e matéria orgânica. O conteúdo de argila presente nesses solos é geralmente elevado, com baixos teores de areia e silte. No entanto, quando comparadas as diferentes subordens de Latossolo, o LV está presente predominantemente em áreas mais bem drenadas, apresentando maiores conteúdos medianos de argila (Figura 9) e predominância de hematita, indicando a presença de condições aeróbias e grau de intemperismo mais elevado (SILVA et al., 1998). Já o LVA e o LA apresentam maiores conteúdos de goethita e caulinita em detrimento da hematita, decorrentes das condições de maior umidade em que esses solos se encontram, interferindo no grau de intemperismo dos minerais, o que justifica os conteúdos medianos mais elevados de areia encontrados nesses solos (Figura 10), apresentando também uma correlação positiva com a CAD (Tabela 3) (KAMPF; MARQUES; CURI, 2012; LEÃO et al., 2013).

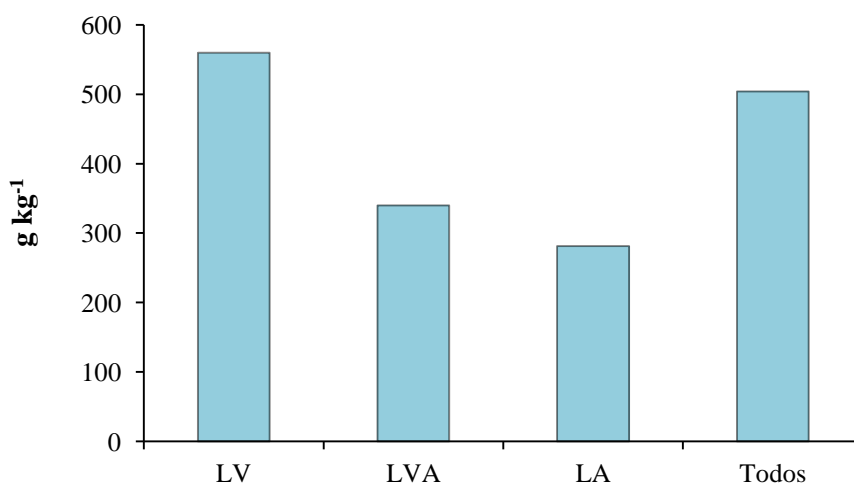


Figura 9: Conteúdo mediano de argila para as subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Latossolo Amarelo (LA) e para a ordem Latossolo (todos os solos).

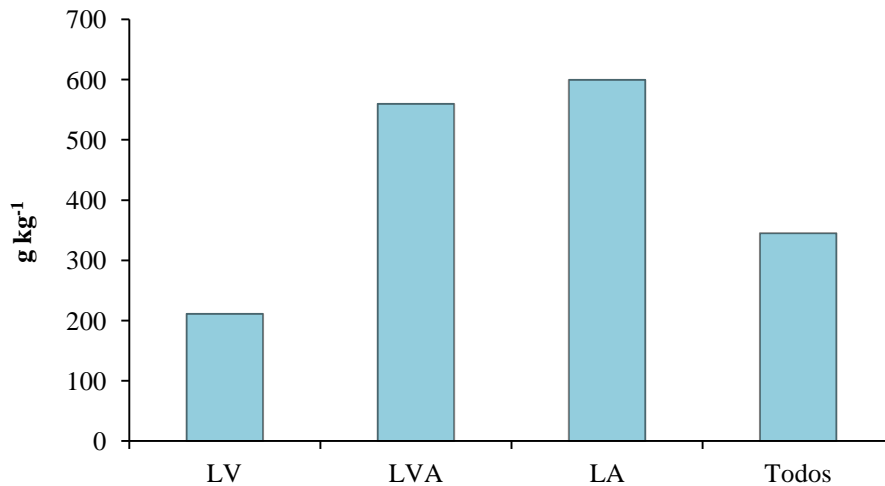


Figura 10: Conteúdo mediano de areia para as subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Latossolo Amarelo (LA) e para a ordem Latossolo (todos os solos).

Outro fator importante na mineralogia dos Latossolos diz respeito à substituição isomórfica do Fe pelo Al nas estruturas da goethita e hematita. Essa substituição leva a uma diminuição no tamanho da célula unitária devido ao menor raio atômico do Al (0,053nm) em relação ao Fe (0,065), onde esses óxidos de ferro aluminizados apresentam maior área específica e reatividade. Em geral, observa-se uma menor tendência de substituição isomórfica na goethita em condições de hidromorfismo (LVA, LA). Em condições de melhor drenagem observam-se maiores valores de substituição, provavelmente em razão da maior acidez e maior atividade de Al na solução, particularmente no caso dos LV que tem um maior grau de intemperismo (KER, 2003).

Os valores medianos de Ds para as subordens LV, LVA e LA e para a ordem Latossolo (todas as subordens) podem ser verificados na Figura 11. A maior Ds no LA se dá em função da sua mineralogia e menor grau de intemperismo, corroborando com os resultados encontrados por Ferreira et al. (1999a), onde verificaram uma maior predominância de quartzo nesses solos, não havendo minerais de fácil intemperização.

O maior conteúdo de areia no LA contribui para que esses solos apresentem maiores valores de densidade (Figura 12), quando comparados com solos mais argilosos (Figura 13), uma vez que essa maior quantidade de areia interfere na estrutura do solo e contribui para uma diminuição da sua porosidade total, diminuindo também o conteúdo de água retido no PMP (Tabela 7) e resultando em uma maior CAD para esses solos (Tabela 10). Valores de densidade do solo mais baixos para Latossolos gibbsíticos e mais altos para Latossolos caulíníticos, em razão do ajuste face a face das placas de

caulinita, têm sido observados em diversos trabalhos (Muggler et al., 1996; Chagas et al., 1997; Resende et al., 1999). Os valores de D_s se correlacionaram positivamente com o conteúdo de água disponível (Tabela 3), o que pode ser atribuído às quantidades variáveis de macro e microporos formados pela presença e agregação dos diferentes minerais constituintes da fração argila.

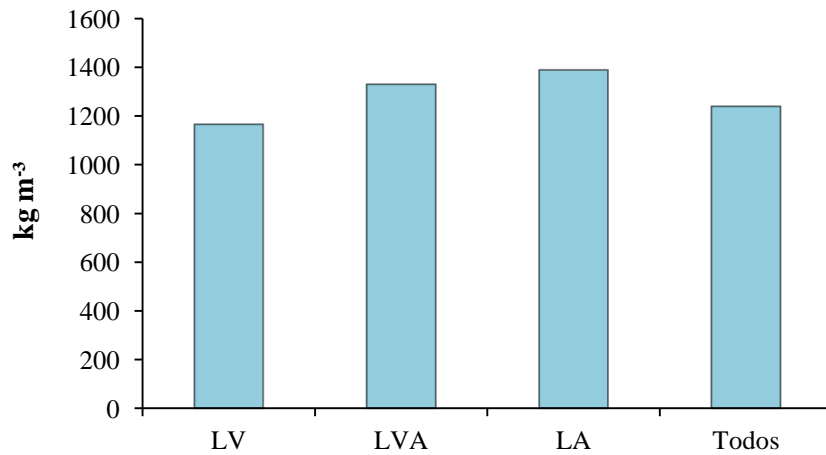


Figura 11: Valores medianos de densidade do solo (D_s) para as subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Latossolo Amarelo (LA) e para a ordem Latossolo (todos os solos).

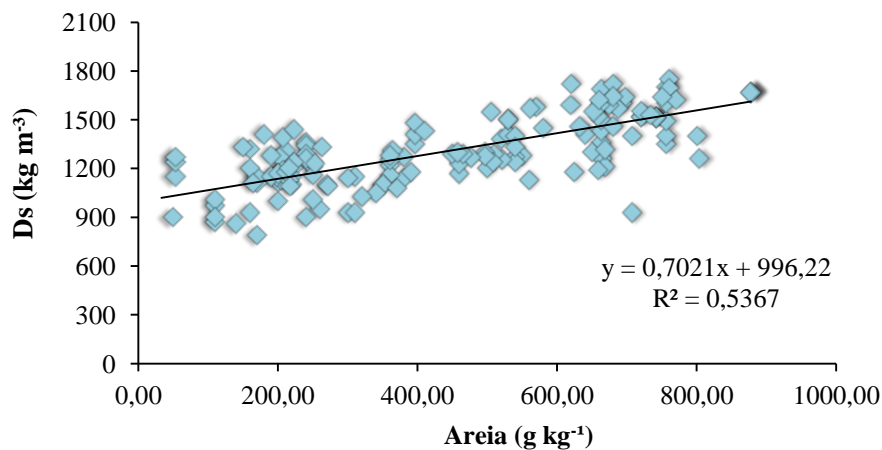


Figura 12: Densidade do solo (D_s) em função da fração areia para os Latossolos utilizados no banco de dados.

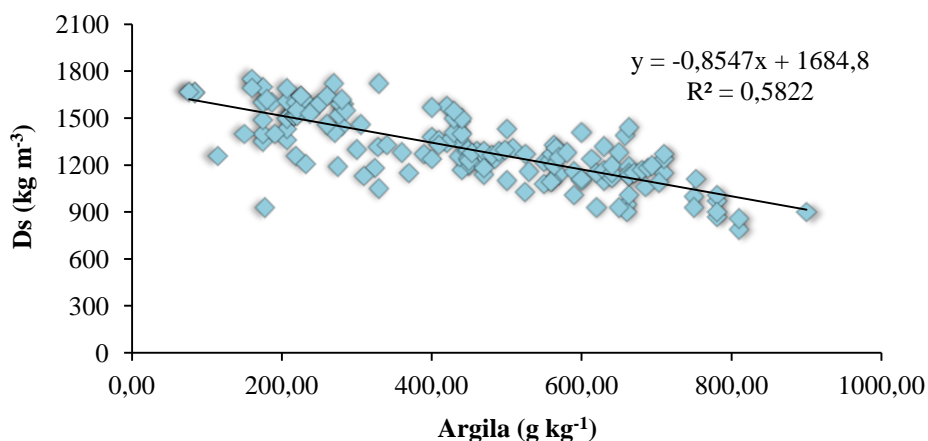


Figura 13: Densidade do solo (Ds) em função da fração argila para os Latossolos utilizados no banco de dados.

Como se pode verificar na Figura 14, o LA apresentou valores medianos mais baixos de porosidade total (Pt) quando comparado com o LV, o que corrobora com o verificado por Ferreira et al., (1999), que atribuiu os menores valores de porosidade no LA à sua gênese, mineralogia e macroestrutura predominantemente em blocos subangulares e a uma maior porosidade em Latossolos predominantemente gibbsíticos, resultado de sua estrutura predominantemente granular pequena ou muito pequena. Latossolos com maiores teores de gibbisita (LV), apresentam maior conteúdo de água retido em sua estrutura devido aos microporos no interior dos agregados, aumentando, inclusive, a retenção no PMP (1.500 kPa) como se pode verificar na Tabela 7, o que explica em parte o menor conteúdo de água disponível nesses solos quando comparados ao LVA e ao LA. Esse maior conteúdo de água retido no ponto de murcha do LV é devido também a maior predominância das forças de adsorção e capilaridade, que tornam a liberação dessa água para a planta mais difícil (RESENDE et al., 1999; FERREIRA, 2010; RIBEIRO; OLIVEIRA; FILHO, 2012).

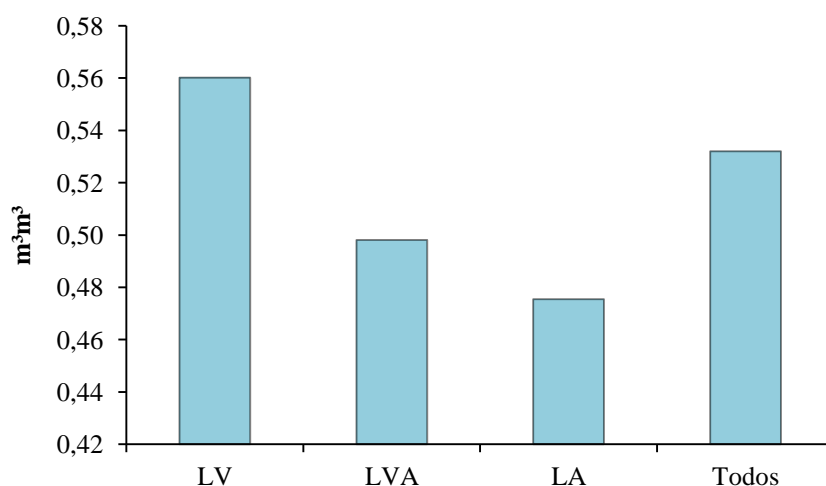


Figura 14: Valores medianos de porosidade total (Pt) para as subordens Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Latossolo Amarelo (LA) e para a ordem Latossolo (todos os solos).

5.3 Possíveis aplicações e estudos futuros

O conhecimento da curva característica de retenção de água do solo é de grande valia para a melhorar a eficiência do sistema produtivo, composto por diferentes ambientes e solos com características distintas. Esse conhecimento permite que se façam inúmeras inferências de importância agrícola, como a determinação da capacidade de campo, do ponto de murcha permanente e consequentemente da quantidade de água disponível, o que do ponto de vista prático, é uma importante ferramenta para o produtor, uma vez que, com tais informações em mãos, este saberá quando irrigar e o quanto de água deverá ser aplicado ao solo para atender às exigências do sistema produtivo (CARVALHO, 2002; GRIGOLON, 2013).

Ressalta-se ainda a importância do conhecimento dos valores mais prováveis de armazenamento de água nos solos brasileiros, sobretudo Latossolos por sua maior ocupação com agricultura, para uso em modelagem ambiental e de sistemas de produção, ferramenta utilizada intensamente para previsões de safra, análise de viabilidade de tecnologias e investimentos em agricultura, etc. Parâmetros sólidos para modelagem são fundamentais para resultados confiáveis. E dentre os parâmetros para modelagem de sistemas solo-planta-água-atmosfera, o armazenamento de água no solo é, certamente, um dos mais importantes.

Sendo assim, este trabalho fornece uma primeira aproximação da CAD em Latossolos, baseada em ampla base de dados (235 pontos amostrais). Uma segunda

aproximação poderia ser alcançada através de vasta coleta de dados primários (amostras), submetendo todas às mesmas metodologias e critérios de análise laboratorial, reduzindo a variabilidade resultante das diferenças metodológicas. A ampliação do número amostral também pode ser buscada para aprimorar ainda mais as certezas quanto aos valores mais prováveis de CAD, bem como de sua variabilidade natural. Agregar novas ordens e subordens neste tipo de análise já tem sido alvo desta equipe de trabalho e também trará inúmeros benefícios aos potenciais usuários, uma vez que os dados estarão compilados em uma única base de dados, e não dispersos na literatura, o que de certa forma limita a utilização dessas informações.

6 CONCLUSÕES

- Os parâmetros da equação de van Genuchten gerados a partir da mediana (Med) do conjunto de dados para ordem Latossolo e para as subordens LV, LVA e LA sintetizam as informações disponíveis na base de dados utilizada nesse trabalho para os valores mais prováveis de curva de retenção e CAD nesses solos;
- A maior variabilidade nas curvas de retenção de água e na CAD do LA é atribuída, em parte, aos diferentes métodos utilizados na determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten e à variabilidade natural da CAD nesses solos;
- O LV apresenta valores elevados de conteúdo de água na capacidade de campo (CC), mas valores proporcionalmente ainda mais elevados de retenção de água no ponto de murcha permanente (PMP) resultando em menor amplitude de armazenamento e, conseqüentemente menor CAD, quando comparado com o LVA e o LA;
- O LA apresenta a maior CAD dentre os solos analisados, apresentando também o maior conteúdo de água retido na CC e o menor conteúdo de água retido no PMP.
- O conteúdo de areia apresenta correlação positiva com a CAD nos solos analisados, enquanto o conteúdo de argila apresenta correlação negativa;
- Os maiores valores de densidade são verificados no LA e LVA, e os menores no LV, os quais se correlacionam positivamente com a CAD e com o conteúdo de areia do solo e negativamente com o conteúdo de argila;
- De todos os solos analisados, o LA é o que apresenta os menores valores de porosidade total (Pt), refletindo em um menor conteúdo de água retido no ponto de murcha permanente (PMP) e em uma maior CAD.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Agência Nacional de Águas. Brasília, DF, 2015.
- ANJOS, L. H. C. DOS et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. In: KER, J. et al. (Eds.). **Pedologia: fundamentos**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 304–343.
- BABALOA, O. Spatial variability of soil water properties in tropical soils of Nigeria. **Soil Science Society of America Journal**, n.126, v.5, p.269-279, 1978.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 829–834, 2002.
- BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; MCCracken, R. J. **Génesis y clasificación de suelos**. 1. ed. México: Editorial Trilhas, 1981.
- CARVALHO, L. A. DE. **Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2002. 86 p.
- CHAGAS, C.S.; CURI, N.; DUARTE, M.N.; MOTTA, P.E.F. & LIMA, J.M. Orientação das camadas de rochas metapelíticas pobres na gênese de Latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 32:539-548, 1997.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Observatório agrícola**, v. 3, n. 12, p. 1–182, 2016.
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the central plateau of Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, 48:341-346, 1984.
- DE JONG VAN LIER, Q. (ED.). **Física do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010a. 298 p.
- DE JONG VAN LIER, Q. Disponibilidade de água às plantas. In: DE JONG VAN LIER, Q. (Ed.). **Física do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010b. p. 283-298.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 1995. 101 p.
- ENOCH, J.; WERNECK, F.; STRAUCH, M. Development of a soil database for applying SWAT model in a catchment of the Brazilian Savanna. **Soil e Water Assessment Tool**, p. 10. 2011.
- FALCO, J. G. **Estatística Aplicada**. 1. ed. Cuiabá, MT: EduFMT, 2008.

FAO. Perspectivas Agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira. **Revista FAO**, p. 54, 2015.

FARIA, L. F.; RIBEIRO, L. R. DE; MESQUITA, G. M. **III Simpósio sobre solos tropicais e processos erosivos no Centro-Oeste**. (W. Conciani, Ed.). Resultados preliminares de ensaios laboratoriais com misturas de solo tropical, fosfogesso e cal. **Anais...Cuiabá, MT: Editora CEFET, 2007.**

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: DE JONG VAN LIER, Q (Ed.). **Física do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1-27.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 23, n. 1, p. 515–524, 1999b.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 23, p. 507–514, 1999a.

Ferreira, M.M., Fernandes, B., Curi, N., 1999. **Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil**. R. Bras. Ci. Solo 23, p. 507–514.

FORMOSO, M. L. L.; MELFI, ADOLFO; CERRI, C. C.; FRITSCH, E. Tropical soils: genesis, distribution and degradation of lateritic pedological systems. In: FORMOSO, M. L. L.; CERRI, C. C. (Eds.). **Workshop on Tropical Soils**. 1. ed. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1999. p. 9–30.

GIMENES, F. H. S. **Curva de retenção na avaliação da qualidade física do solo**. 2012. 69 p. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

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**. 2013. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

GUBIANI, P. I.; RINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo: exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 664–668, 2006.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Estimating Soil Water Retention Characteristics From Particle Size Distribution, Organic Matter Percent, and Bulk Density. **Water Resources Research**, v. 15, n. 6, p. 1633–1635, 1979.

HAINES, W. B. Studies in the physical properties of soil: V. The hysteresis effect in capillary properties and the modes of moisture associated therewith. **J. Agr. Sci.** 20: 97-116, 1930.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. 5. ed. United States of America: Academic Press, 2002b. 771 p.

HILLEL, D. Particle sizes and specific surface. In: HILLEL, D. (Ed.). . **Environmental soil physics**. 5. ed. United States of America: Academic Press, 2002a. p. 59–74.

HORNE, D. J.; SCOTTER, D. R. The available water holding capacity of soils under pasture. **Agricultural Water Management**, v. 177, p. 165 – 171, 2016.

KAMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia de solos brasileiros: principais aspectos. In: **Pedologia: fundamentos**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 82–145.

KER, J.C. **Latossolos do Brasil: Uma revisão**. Genomos, Minas Gerais, v.5, n.1, p. 17-40, 2003.

KIRKHAM, M. B. **Principles of soil and plant water relations**. 1. ed. Kansas: Dreibelbis, Dana, 2004. 500 p.

LEÃO, T. P. Particle size distribution of Oxisols in Brazil. **Geoderma Regional**, v. 7, n. 2, p. 216–222, 2016.

LEÃO, T.P.; GUIMARÃES, T.L.B.; FIGUEIREDO, C.C.; BUSATO, J.G.; BREYER, H.S. On critical coagulation concentration theory and grain size analysis of Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, 77:1955-1964, 2013.

LEONG, E. C.; RAHARDJO, H. Review of soil water characteristic curve equations. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 123, n. 12, p. 1106 – 1117, 1997.

LEWAN, E.; JANSSON, P. Implications of Spatial Variability of Soil Physical Properties for Simulation of Evaporation at the Field Scale. **Water Resources Research** , v. 32, n. 7, p. 2067–2074, 1996.

LIBARDI, P. L. Água no solo. In: LIER, Q. DE J. VAN (Ed.). . **Física do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 103–152.

LIBARDI, P.L. Água no solo. In: DE JONG VAN LIER, Q. (Ed.). **Física do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 103-152.

MILLER, R. W.; GARDINER, D. T. Soil physical properties. In: AMERICA, U. S. OF (Ed.). **Soils in our environment**. 9. ed. [s.l.] Prentice Hall, 2001. p. 63–98.

MOORE, D. **The basic practice of statistics**. 1. ed. New York: Copyright, 1995.

MUGGLER, C.C.; CURI, N.; SILVA, M.L.N. & LIMA, J.M. Características pedológicas de ambientes agrícolas nos chapadões do Rio Corrente, sudoeste da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 31:221-232, 1996.

- NEBEL, Á. L. C. **Funções de pedotransferência e estrutura de variabilidade espacial da retenção de água em solos de várzea do Rio Grande do Sul**. 2009. 140 p. Tese (Doutorado) Universidade Federal De Pelotas, Pelotas - RS.
- OLIVEIRA, R.A. de.; RAMOS, M.M.; AQUINO, L. Â. de. Irrigação. In: BORÉM, A.; SANTOS, F. (Eds.). **Cana-de-açúcar: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016. p. 177-207.
- OTTONI FILHO, T. B.; OTTONI, MARTA VASCONCELOS; OLIVEIRA, MURIEL BATISTA DE; MACEDO, JOSÉ RONALDO DE; REICHARDT, KLAUS. Revisiting Field Capacity (FC): variation of definition of fc and its estimation from pedotransfer functions. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 38, n. 1, p. 1750–1764, 2014.
- PIRES, L. F.; BORGES, JAQUELINE A. R.; ROSA, JADIR A.; COOPER, MIGUEL; HECK, RICHARD J.; PASSONI, SABRINA; ROQUE, WALDIR L. Soil structure changes induced by tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v. 165, p. 66–79, 2016.
- R Development Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. URL <http://www.R-project.org>.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, 1987. 188p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2012. 500 p.
- RESENDE, MAURO et al. **Pedologia: base para a distinção de ambientes**. 3. ed. Viçosa, MG: Neput, 1999. 338 p.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 2.ed. Viçosa, NEPUT, 1997. 367p.
- RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B. DE; FILHO, J. C. de A. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J. C. et al. (Eds.). **Pedologia: fundamentos**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 48–79.
- SHAPIRO, S.S., WILK, M.B., 1965. **An analysis of variance test for normality**. *Biometrika* 52, p. 591–611.
- SILVA, A. M. da. **Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros**. 2005. 125 p. Dissertação (Mestrado) Universidade de São paulo, São Carlos - SP.
- SILVA, E. M. da et al. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 323–330, 2006.
- SILVA, E. M. da; AZEVEDO, J. A. de. Influencia do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1487-1494, 2002.

SILVA, M. L. do N. **Influência do tamanho da amostra na determinação da curva de retenção da água no solo**. 2016. 77 p. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP.

SILVA, M.L.N.; BLANCANEAUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.G.S.M. & CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33:97-103, 1998.

SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. **Soil and environmental analysis: physical methods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2000. 637 p.

SPOSITO, G.; FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A. DE. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 3, p. 627–646, 2001.

TEIXEIRA, C.F.A.; MORAES, S.O.; SIMONETE, M.A. Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 161-168, 2005.

TULLER, M.; OR, D. Water retention and characteristic curve. **Elsevier**, p. 278–289, 2005.

ZHAO, D. et al. Quantification of soil aggregate microstructure on abandoned cropland during vegetative succession using synchrotron radiation-based micro-computed tomography. **Soil & Tillage Research**, v. 165, p. 239–246, 2016.