



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE "BARRAGINHAS" EM DOIS
SOLOS DO DISTRITO FEDERAL**

HELOISA DO ESPÍRITO SANTO CARVALHO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF

MAIO/2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE "BARRAGINHAS" EM DOIS
SOLOS DO DISTRITO FEDERAL**

HELOISA DO ESPÍRITO SANTO CARVALHO

ORIENTADOR: EIYTI KATO

CO-ORIENTADOR: JORGE ENOCH FURQUIM WERNECK LIMA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 138/2017

BRASÍLIA/DF

MAIO/2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE "BARRAGINHAS" EM DOIS
SOLOS DO DISTRITO FEDERAL

HELOISA DO ESPÍRITO SANTO CARVALHO

DISSERTAÇÃO DE Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, como parte dos requisitos necessários a obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

APROVADA POR:

EIYTI KATO, Dr., Professor Adjunto
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília – UnB)
(ORIENTADOR) e-mail: kato@unb.br

TAIRONE PAIVA LEÃO, Ph.D, Professor Adjunto
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília – UnB)
(EXAMINADOR INTERNO) e-mail: tleao@unb.br

MARCOS AURÉLIO CAROLINO DE SÁ, Dr., Pesquisador
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA CERRADOS - CPAC)
(EXAMINADOR EXTERNO) marcos.sa@embrapa.br

BRASÍLIA/DF, 05 de maio de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Carvalho, Heloisa do Espírito Santo

Capacidade de infiltração de "barraginhas" em dois solos do Distrito Federal/Heloisa do Espírito Santo Carvalho; Orientação: Eiyti Kato e Jorge Enoch Furquim Werneck Lima. - Brasília, 2017

64p.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2017.

1. Velocidade de infiltração básica. 2. Condutividade hidráulica saturada. 3. Estradas rurais.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARVALHO, H.E.S. **Capacidade de infiltração de "barraginhas" em dois solos do Distrito Federal.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2017, 64p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Heloisa do Espírito Santo Carvalho

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **Capacidade de infiltração de "barraginhas" em dois solos do Distrito Federal.**

Grau: MESTRE

Ano: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Heloisa do Espírito Santo Carvalho

Tel. (61) 3367-6844 /99948-2175/Email: heloisaescarvalho@gmail.com

*À minha mãe,
Wania Carvalho, com
amor, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, obrigada a todos da minha família pelo apoio e incentivo em todas as minhas aventuras sempre. Especialmente meus pais, Wania e Diniz, minha irmã, Marília, e ao meu companheiro, Renato, pelo equilíbrio que trazem para minha vida.

Agradeço também aos professores da FAV, principalmente Eiyti Kato e Tairone Leão, por compartilharem comigo conhecimento e experiência, e aos pesquisadores da Embrapa Cerrados, Jorge Werneck e Marcos Carolino, pelas conversas e discussões produtivas acerca do trabalho.

Agradeço ainda aos estagiários do Laboratório de Hidrologia e aos funcionários e técnicos da Embrapa Cerrados, em especial ao Luciano, Jatobá e Juaci, cujo suporte nos trabalhos de campo, laboratório e estatística tornou possível a realização deste projeto.

Obrigada ainda a todos os amigos que vivenciaram todo esse tempo de estudo comigo e que me incentivaram cada um a sua maneira. Principalmente Vanessa Mattos e Juliana Hiromi Sato pelas infinitas palavras de motivação e pela prontidão em me ajudar nas crises técnicas e emocionais.

Por último, agradeço ao IBRAM por viabilizar a realização deste projeto e aos amigos da GEFLO, meus companheiros de trabalho, pela preocupação e carinho comigo, especialmente Clarine Rocha, grande amiga, que acompanhou de perto minha jornada.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1 Processos erosivos e as práticas conservacionistas em estradas rurais.....	5
3.2 Dimensionamento das barraginhas	10
3.3 Atributos físico-hídricos do solo.....	16
3.3.1 Textura.....	17
3.3.2 Densidade do solo (Ds)	20
3.3.3 Volume total de poros (VTP)	21
3.3.4 Matéria Orgânica do Solo (MO).....	22
3.3.5 Condutividade Hidráulica Saturada (Ks).....	24
3.4 Processo de infiltração e a Velocidade Básica de Infiltração	25
3.5 Métodos para determinação da Velocidade de Infiltração Básica e da Condutividade Hidráulica.....	27
3.5.1 Infiltrômetro de anéis concêntricos	28
3.5.2 Infiltrômetro de Aspersão ou Simulador de Chuva.....	29
3.5.3 Infiltrômetro de pressão.....	30
3.5.4 Permeâmetro de Carga Constante.....	31
3.5.5 Permeâmetro de Carga Decrescente	32
4. MATERIAL E MÉTODO.....	32
4.1 Determinações	35
4.3.1 Velocidade de Infiltração Básica (VIB)	35

4.3.2	Amostragem do Solo	37
4.3.3	Condutividade Hidráulica Saturada (Ks).....	39
4.3.4	Densidade do Solo (Ds), Porosidade Total (PT) e Textura	40
4.3.5	Matéria Orgânica (MO)	41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1	Velocidade de Infiltração Básica	42
5.2	Condutividade Hidráulica	46
5.3	Textura, Densidade do Solo, Porosidade e Matéria Orgânica	49
6.	CONCLUSÕES.....	55
7.	SUGESTÕES	55
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A: Área da seção transversal da coluna (m^2)
- Adasa: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
- CAB: Cultivando Água Boa
- CAD: Capacidade de água disponível
- Caesb: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
- CPAC: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
- CRA: Curva de Retenção de Água
- CTC: Capacidade de troca de cátion
- CV: Coeficiente de Variação
- CX: Cambissolo
- DF: Distrito Federal
- Dp: Densidade de partículas ($kg.m^{-3}$)
- DP: Desvio Padrão
- Ds: Densidade do solo ($kg.m^{-3}$)
- Emater: Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
- Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- H: altura da amostra e da coluna (cm)
- h: Profundidade máxima de água a ser acumulada pela bacia (m)
- ($h_1 - h_2$): diferença entre as cargas piezométricas que atuam nas extremidades da coluna (m)
- IAC: Infiltrômetro de Anéis Concêntricos
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- K_0 : Condutividade hidráulica ($mm.h^{-1}$)
- K_s : Condutividade hidráulica saturada ($mm.h^{-1}$)
- L: Distância percorrida pelo fluxo (m)

LV: Latossolo Vermelho

LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo

MOS: Matéria orgânica do solo (%)

M_s : Massa do solo seco (kg)

PSA: Pagamento por Serviços Ambientais

VTP: Volume total de poros ($m^3 \cdot m^{-3}$)

Q: Vazão (m^3);

Seagri/DF: Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Desenvolvimento Rural do Distrito Federal

Sema/DF: Secretaria de Meio Ambiente do Distrito Federal

TFSA: Terra Fina Seca ao Ar

TFSE: Terra Fina Seca em Estufa

V: Volume total do solo (m^3)

V_a : Volume de água (m^3)

V_{ar} : Volume de ar (m^3)

VIB: Velocidade de Infiltração Básica

V_p : Volume dos poros ou volume do espaço poroso (m^3)

ψ_m : Potencial Matricial ($N \cdot m^2$ ou Pa)

f_d : Fator de correção para declividade para dimensionamento de bacias (barraginhas)

l: Largura da estrada (m)

E: Espaçamento entre as bacias (barraginhas)

R: Raio da bacia (barraginha) (m)

I: Intensidade máxima da chuva em 24 horas (m)

f_s : Fator de correção para tipo de solo equivalente ao índice Kt

a: Área de contribuição da estrada (m^2) para bacia (barraginha)

c: Comprimento do trecho (m)

Vb: Volume de água a ser armazenado pela bacia (barraginha) (m³)

ES: Lâmina de escoamento superficial (mm)

RESUMO

As barraginhas são utilizadas como técnica de manejo e conservação do solo e da água, principalmente no controle de erosão em estradas rurais. Programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como o Produtor de Águas, capitaneado pela Agência Nacional de Águas (ANA) e parceiros, vêm utilizando essa técnica não apenas para o controle do escoamento superficial da água em estradas e conseqüente erosão e carreamento de sedimentos para os corpos hídricos, mas também alegando que estas favorecem a infiltração de água no solo, colaborando, inclusive para a elevação do nível do lençol freático e do escoamento de base em bacias hidrográficas. A proposta do presente estudo foi avaliar a capacidade de infiltração destas estruturas em dois diferentes solos do bioma Cerrado. Foram medidas a velocidade de infiltração básica (VIB) em campo, por meio do infiltrômetro de anéis concêntricos, a condutividade hidráulica saturada (Ks), por meio do permeâmetro de carga constante, e foram determinados o perfil textural, o teor de matéria orgânica (MO), a densidade (Ds) e a porosidade total (PT) do solo. Tais parâmetros foram determinados para três barraginhas localizadas em área de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e três em área de Cambissolo (CX), solos típicos do Cerrado e do Distrito Federal. Para todos os parâmetros foram adotadas três repetições e diferentes camadas do perfil do solo. Para análise estatística dos dados utilizou-se o teste F para comparação das variâncias seguido do teste T-Student para comparação das médias, ambos a 5% de significância. Os resultados mostraram que a VIB medida em campo por meio do infiltrômetro de anéis concêntricos apresentou diferença significativa, com valores 3,5 vezes superiores fora das barraginhas quando comparados aos valores obtidos dentro delas. Os valores foram da ordem de 90 mm.h⁻¹ em área de Cambissolo Háplico distrófico no interior da barraginha e 302 mm.h⁻¹ fora delas; e de 136 mm.h⁻¹ e 471 mm.h⁻¹ para áreas de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, dentro e fora, respectivamente. Não foi identificada nenhuma alteração significativa nas características físicas do solo que pudessem justificar tais diferenças nos valores de infiltração. Portanto, o estudo sugere que o processo de infiltração no interior das barraginhas é governado pela condição da superfície do solo o que mostra que os programas voltados para o manejo e a conservação do solo e da água devem focar na manutenção recorrente destas estruturas físicas e na pesquisa sobre formas de aumentar a capacidade de infiltração de barraginhas.

Palavras-chave: velocidade de infiltração básica, condutividade hidráulica saturada, estradas rurais.

ABSTRACT

"Barraginhas" also known by infiltration basins are used as a technique for soil and water management and conservation, mainly in erosion control on rural roads. Environmental Services Payment Programs (PSA) as the Water Producer, led by the National Water Agency (ANA) and partners have been using this technique not only to control the surface runoff of water on roads and consequent erosion and sediment transport to the water bodies, but also claiming that they stimulate water infiltration into the soil and also contributing to the elevation of groundwater level and base flow in watersheds. The purpose of the present study was to evaluate the infiltration capacity of those infiltration basins in two different soils of the Brazilian Savanna. It was measured: the basic infiltration velocity (VIB) in the field by using the double-ring infiltrometers, saturated hydraulic conductivity (Ks) by the constant head soil core and the textural profile, organic matter (OM), soil density (Ds) and total porosity (PT). These parameters were determined for three basins located in the area of the Oxisol (LVA) and three basins located in the Cambisol area (CX), both considered typical Cerrado soils found in the Federal District. For all parameters, three replicates were conducted in different depths. For statistical analysis of the data the F test was used to compare the variances followed by the Student T-test for comparison of the means, both at 5% significance. The results showed that the VIB measured in field by the double-ring infiltrometers was significantly different when comparing the condition inside and outside the basins with values 3.5 times higher outside them. The values obtained were 90 mm.h⁻¹ in the basins located in Cambisol area and 302 mm.h⁻¹ outside them, while in Oxisol the VIB was 136 mm.h⁻¹ and 471 mm.h⁻¹ inside and outside the basins, respectively. The infiltration process inside the basins is determined by the soil surface condition, which shows that programs for soil and water management and conservation should focus on the recurrent maintenance of these physical structures and on the research on ways to increase infiltration capacity of the basins.

Keywords: basic infiltration velocity, saturated hydraulic conductivity, rural roads.

1. INTRODUÇÃO

A perda de solo e de água é um problema recorrente nas áreas rurais e urbanas e acontece principalmente em função do manejo incorreto destas áreas, de obras mal planejadas e do exercício de práticas agrícolas não sustentáveis. Tais atitudes juntamente com o crescimento populacional e as mudanças e variabilidades climáticas vêm ameaçando a disponibilidade de água em muitas regiões.

No que diz respeito ao DF, a população cresce de forma bastante acelerada e desordenada a uma taxa de aproximadamente 2,2% ao ano, que é quase duas vezes maior do que a média nacional (IBGE, 2015). Tal crescimento vem provocando uma rápida mudança no uso e na ocupação do solo, principalmente no que se refere ao processo de conversão de áreas naturais e agrícolas em áreas urbanas (FERRIGO et al., 2014).

Em recente análise de tendências quanto às mudanças das temperaturas e precipitações médias na região do DF e seu entorno, verificou-se um claro sinal de aumento das temperaturas, bem como indicativos de mudanças no regime de chuvas como, por exemplo, uma leve intensificação do período seco. Tendo em vista que, nesta região, as chuvas se concentram nos meses de outubro a abril, com o restante do ano seco, a manutenção das vazões nos rios depende amplamente dos processos de recarga dos lençóis freáticos e da geração de escoamento de base (FERRIGO et al. 2014).

Nos anos de 2015 e 2016, conforme descrito no Decreto Distrital 37.976 de 24 de janeiro de 2017, o comportamento da chuva diferiu significativamente das médias consideradas normais para o DF. As médias de precipitação no reservatório do Descoberto, por exemplo, que abastece 65% da população (ICMBio, 2014), nos dois anos foram 368,8 mm e 412,4 mm, o que significa 42,5% e 35,7%, respectivamente, abaixo da média histórica de 641,4 mm para região (DISTRITO FEDERAL, 2017).

Assim, esforços são despendidos no DF para a integração das questões hidrológicas na gestão do território, principalmente no que diz respeito à conservação e manejo do solo e da água (REIS e LIMA, 2015). Dentre as iniciativas governamentais, destacam-se o Plano de Manejo e Conservação da Água e do Solo em Áreas de Produção Rural no DF lançado em 2015 pela Seagri/DF com o objetivo de promover e implantar as práticas de manejo e conservação da água e do solo, tendo a unidade hidrográfica como base de planejamento, com foco na adequação ambiental da infraestrutura e da produção rural, visando à melhoria da qualidade de vida da população do DF (DISTRITO FEDERAL, 2015); outros programas como o Cultivando Água Boa desenvolvido pela Itaipu Binacional e parceiros na região do oeste do Paraná, trazido para o DF pela Sema/DF em 2015 e o Produtor de Águas, capitaneado pela ANA e parceiros, que ocorre na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau desde 2011, utilizam princípios do PSA para incentivar a adoção de práticas sustentáveis nas propriedades rurais visando a preservação do meio ambiente, recuperação de áreas degradadas, conservação do solo e da água, melhoria da qualidade de vida no campo entre outros aspectos.

Dentre as principais ações desenvolvidas por estes programas está o controle e a prevenção de erosão. O solo é um recurso natural que tem um papel destacado dentro dos ecossistemas terrestres e, estando nesta posição, recaem sobre ele as mais variadas formas de degradação. Considerada uma das mais severas, a erosão hídrica é um dos aspectos mais importantes a ser considerado com relação ao uso e manejo do solo (SILVA et al., 1999).

Wishmeier e Smith (1978) consideram a erodibilidade como sendo "a susceptibilidade natural do solo à erosão hídrica, expressa como a quantidade de solo perdido por unidade de erosividade da chuva". É a reação do solo à ação da água. O processo de erosão hídrica ocorre quando o impacto das gotas de chuva causa a quebra dos agregados, o desprendimento das partículas e o seu transporte via escoamento superficial. Esse material, posteriormente, é

depositado em outro local, causando a limitação da infiltração e diminuindo a rugosidade da superfície (LE BISSONNAIS, 1995). O processo erosivo causa também a perda de água que ao invés de infiltrar no perfil do solo é levada via escoamento ou enxurrada, resultando no aumento dos picos de cheia, agravamento das secas e da própria erosão, com conseqüente decréscimo da qualidade da água e da diversidade dos ecossistemas (WAGENER e FRANKS, 2005).

Neste contexto, enquanto nas áreas urbanas vivenciamos um cenário de frequentes enchentes, alagamentos, desmoronamentos e outros eventos desta natureza, nas áreas rurais é cada vez mais comum prejuízo com a perda de solo via enxurradas, o carreamento de agrotóxicos e fertilizantes para os mananciais e o assoreamento de córregos e demais cursos d'água em função do acúmulo de sedimentos.

No âmbito dos programas governamentais citados, diversas ações são implementadas nas áreas rurais a fim de promover a sustentabilidade no uso dos recursos hídricos. Dentre as medidas, são adotadas diferentes práticas para controle e prevenção de erosão hídrica e perda de solo e água. As práticas mecânicas de controle da erosão, em especial, são aquelas que utilizam estruturas artificiais para a redução da velocidade de escoamento da água sobre a superfície do solo, atuando nas fases mais críticas do processo erosivo (DISTRITO FEDERAL, 2015), visando conter a água da enxurrada, propiciando sua infiltração no solo ou o seu escoamento seguro. Tais práticas devem proteger o terreno quando ocorrem chuvas muito intensas, canalizando a água de forma segura (PIRES e SOUZA, 2006).

As estradas, pavimentadas ou não, sofrem pela ação das águas da chuva que em áreas tropicais é o principal agente erosivo. A erosão hídrica se inicia com o impacto das gotas de chuva e se intensifica com o escoamento superficial, sendo caracterizada em três fases: desagregação, transporte e deposição (HUDSON, 1995).

As estradas não pavimentadas, em especial, são facilmente erodidas e necessitam de constante manutenção a fim de evitar buracos e formações de sulcos que venham a se tornar voçorocas, dificultando ou até mesmo impedindo o tráfego de veículos. Assim, a captação estratégica da água, impedindo a formação de grandes massas e de velocidade erosiva, é uma das alternativas de conservação de estradas.

As barraginhas construídas às margens das estradas para captação e retenção da água que escoam pelo leito vêm sendo utilizadas como técnica de manejo e conservação do solo e da água, principalmente no controle de erosão em estradas. Programas voltados para PSA como o Produtor de Águas utilizam essa técnica não apenas para o controle do escoamento superficial da água em estradas e consequente erosão e carreamento de sedimentos para os corpos hídricos, mas também sob a alegação de que como bacias de infiltração, estas estruturas favorecem a infiltração de água no solo o que resulta em benefícios indiretos como a elevação do nível do lençol freático (PIRES e SOUZA, 2006) e do escoamento de base em bacias hidrográficas.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade de infiltração de barraginhas em um Latossolo Vermelho-Amarelo e um Cambissolo no Distrito Federal.

2.2 Objetivos Específicos

- i. Gerar valores de referência para auxílio na simulação do impacto de barraginhas em processos hidrológicos na região;
- ii. Identificar mudanças nas características físico-hídricas do terreno que justifiquem alterações no processo de infiltração de água em barraginhas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Processos erosivos e as práticas conservacionistas em estradas rurais

Casarin (2008) define estradas rurais como faixas de terreno com características adequadas para permitir o deslocamento de pessoas e veículos; para que possam cumprir sua função plenamente, mantendo-se em condições favoráveis do tráfego sob as mais variadas condições climáticas.

No Brasil, grande extensão da rede viária é composta por estradas rurais, não pavimentadas, e exercem importante papel social e econômico (ODA et al.,2007). Segundo o Anuário da Confederação Nacional do Transporte (2016), em 2015, a extensão de rodovias pavimentadas no Brasil chegou a 210,6 mil quilômetros, o que representa 12,2% do total, apenas.

Além de serem o principal meio de escoamento da produção agropecuária no país, interferindo inclusive no custo destes produtos, as estradas rurais são as responsáveis pela ligação entre propriedades e povoados, acesso das áreas rurais aos municípios e da população aos serviços de saúde, educação, lazer e comércio, fatores importantes para a redução do êxodo rural (GRIEBELER et al., 2009).

Apesar disso, as estradas rurais ainda são pouco estudadas. Um dos maiores desafios relacionados ao tema consiste na manutenção e conservação destas estradas. Não raro elas se tornam intransitáveis em função do forte ravinamento que ocorre em seus leitos (ODA et al., 2007).

O Manual de Conservação e Recuperação de Estradas Vicinais de Terra (SANTOS et al., 1988), apresenta a erosão em ravina como um dos mais sérios problemas das estradas rurais que tem como causa a falta ou a deficiência de um sistema de drenagem adequado. Estas surgem, inicialmente, na forma de sulcos onde os solos têm baixa resistência à erosão e,

sob a ação de enxurradas evoluem para grandes ravinas. Em muitos casos, podem evoluir para voçorocas, podendo chegar até o nível do lençol freático.

As estradas carecem de investigações mais específicas voltadas para o planejamento do seu uso adequado e de seus impactos nos recursos hídricos (CUNHA et al.,2013). A água provinda do escoamento do leito da estrada, por exemplo, deve ser coletada nas suas laterais e encaminhada, de modo a não provocar erosão, para os escoadouros naturais, artificiais, bacias de acumulação ou outro sistema de retenção localizado no terreno marginal (GRIEBELER et al.,2009).

É difícil separar os efeitos hidrológicos dos efeitos geomorfológicos das estradas tendo em vista que a água é o agente para o transporte de sedimentos nas bacias hidrográficas e as estradas influenciam ambos os processos (LUGO E GUCINSKI, 2000).

O processo de erosão hídrica se inicia com o período das chuvas, quando parte do volume precipitado é interceptado pela vegetação e parte atinge a superfície do solo, provocando o umedecimento de seus agregados e reduzindo suas forças coesivas. Com a continuidade da ação das chuvas pode ocorrer a desintegração dos agregados, com consequente desprendimento de partículas menores. A quantidade de solo desestruturado aumenta com a intensidade da precipitação e com a velocidade e o tamanho das gotas (PRUSKI et al., 2003).

Estradas rurais são caracterizadas pela ausência de vegetação, solo compactado e quase sempre apresentam certa declividade. Assim, sua capacidade de infiltração de água é muito reduzida e se tornam local onde a ocorrência de erosão hídrica se dá de forma muito mais intensa. Não raramente as estradas rurais apresentam a formação de pequenos sulcos, o que mostra que a água já está atingindo energia suficiente para promover o desprendimento das partículas do solo (GRIEBELER et al., 2009).

Algumas das causas da perda de solo por erosão podem ser controladas, e todas as técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo denominam-se práticas conservacionistas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). No caso das estradas rurais, estruturas construídas nas laterais das estradas com o objetivo de interceptar a água produzida, principalmente no leito das estradas, possuem a função de armazenar e dissipar energia evitando que a água escoe por longos trechos, adquirindo mais energia cinética e causando erosão do solo durante sua passagem. Tais estruturas fazem parte do conjunto de práticas mecânicas para controle de erosão hídrica em áreas agrícolas.

Cunha et al. (2013), denominam estas estruturas, em formato de trincheiras, de *caixas de contenção*. O Manual de Conservação e Recuperação de Estradas Vicinais de Terra chama de *caixas de infiltração ou acumulação* (SANTOS et al., 1988).

Pires e Souza (2006) em seu livro de "Práticas Mecânicas de Conservação do Solo e da Água", tratam estas estruturas como *bacias de contenção e retenção* para onde a água deve ser direcionada ao ser retirada do leito da estrada.

A Circular Técnica da Embrapa Milho e Sorgo (EMBRAPA, 2000), de Minas Gerais, fala da captação de águas superficiais de chuvas em *barraginhas, pequenas barragens ou mini-açudes*. Na língua inglesa a terminologia adotada por Silva et al. (2014) e outros autores é "infiltration basins".

Em livros de hidráulica e hidrologia voltados para gestão de águas pluviais em ambientes urbanos, é comum encontrar a terminologia *bacia de detenção*.

Pruski et al. (2009), no livro "Conservação de solo e água: práticas mecânicas para controle da erosão hídrica", diferenciam *barraginha* e *bacias de acumulação* pelo fato de a primeira ser implantada em áreas de exploração agropecuária propriamente ditas e a segunda estarem associadas à retenção do escoamento superficial advindo de estradas não pavimentadas.

Tendo em vista a adoção do termo no âmbito do Programa Produtor de Água (ANA, 2011), neste estudo, foi adotada preferencialmente a denominação *barraginha* ou *bacias de contenção* quando em referência a autores que utilizam outras terminologias.

Embora haja uma variação de nomenclaturas e até mesmo no formato dessas estruturas, o objetivo principal é o mesmo: interceptação, retenção e condução segura da água proveniente das estradas. A retenção de águas pluviais baseia-se no conceito de armazenar o escoamento temporariamente em uma bacia de detenção e então liberá-las de maneira controlada para limitar a vazão afluente a uma área ocupada e abrandar os efeitos destrutivos do escoamento (GRIBBIN, 2009). Outros objetivos da retenção de águas pluviais incluem controle de qualidade da água e recarga dos aquíferos.

Acredita-se que, com o tempo, a capacidade destas estruturas em promoverem a infiltração da água no solo diminui, sendo a manutenção primordial para o seu funcionamento, uma vez que o acúmulo de sedimentos finos, principalmente fração argila (<0,002 mm), pode ocasionar o selamento da superfície do solo e impedir a infiltração da água. Grace et al. (1998), em estudo realizado na Carolina do Norte, EUA, observaram que mais de 90% do sedimento produzido em áreas florestais provêm de estradas, sendo a drenagem inadequada um dos principais fatores responsáveis pela perda.

As estradas interferem inclusive em toda a dinâmica de drenagem de uma bacia hidrográfica estando diretamente relacionadas ao aumento do volume de escoamento superficial e diminuição do tempo de concentração (JONES e GRANT, 1996).

Das bacias hidrográficas presentes no território do Distrito Federal, as do Ribeirão Pípiripau e do Rio Jardim apresentam destaque na importância para o setor agrícola.

A bacia do Ribeirão Pípiripau, pertencente à bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu, região hidrográfica do Paraná, e a bacia do Rio Jardim faz parte da bacia hidrográfica do Rio Preto, região hidrográfica do São Francisco.



Figura 1. Localização das bacias hidrográficas do Ribeirão Pipiripau e Rio Jardim com relação às bacias hidrográficas que compõem o território do Distrito Federal e suas Regiões Hidrográficas.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau localiza-se na região nordeste do DF, próxima à cidade administrativa de Planaltina. Abrange uma área de 23.527,36 hectares e engloba três núcleos rurais, denominados Santos Dumont, Taquara e Pipiripau. Com altitude média de 1.050 m, apresenta declividade média de $5,8 \text{ cm.m}^{-1}$ e solos bem drenados. É limitada ao sul e norte pelas coordenadas UTM 213.601 E/8.264.250 N e 235.913 E/8.289.742 N, respectivamente, Datum SIRGAS 2000, na Zona 23S (CAESB, 2001).

As propriedades rurais na bacia variam entre 50 e 500 hectares. O ribeirão Pipiripau abastece a cidade de Planaltina que possui mais de 150.000 habitantes, bem como um projeto de irrigação de hortaliças e frutas. No caso do abastecimento doméstico, a concessionária de

água local dispõe de uma barragem de captação a fio d'água que, em razão do processo acelerado de sedimentação, necessita ser frequentemente desassoreada, por meio da abertura de uma comporta de fundo (CHAVES e PIAU, 2008).

Segundo o Diagnóstico Ambiental do Plano de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pípiripau (CAESB, 2001) os tipos de solos mais frequentes na bacia do Ribeirão Pípiripau são os Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo, representando 59,36% e 15,02% da área total respectivamente e o Cambissolo, com representação de 11,73% da área total. O restante da área divide-se entre Neossolo Quartzarênico, Gleissolo, Plintossolo e Nitossolo Vermelho.

Já a bacia do Rio Jardim está localizada na parte leste do DF, inserida na região hidrográfica do rio São Francisco. A bacia ocupa uma área de 52.755,15 hectares e sua área agrícola é responsável pela produção da maior parte dos grãos (milho, soja, trigo e feijão) do DF (SPERA et al., 2002).

De acordo com o levantamento pedológico semidetalhado, publicado na escala de 1:50.000, as principais classes de solos que ocorrem nessa região são os Latossolos, representando aproximadamente 63% da área da bacia, e os Cambissolos que aparecem em 29% das áreas. O restante é distribuído entre Nitossolos, Plintossolos, Gleissolos e Neossolos (REATTO et al., 2000; EMBRAPA, 2003).

3.2 Dimensionamento das barraginhas

A concepção dos projetos das barraginhas ou bacias de captação, conforme adotado por alguns autores, é bastante desafiadora uma vez que há inúmeras incertezas associadas às previsões das taxas de precipitação e infiltração a curto e longo prazo. Tais incertezas influenciam na dimensão do volume destas estruturas e tanto projetos subestimados quanto os superestimados trazem grande implicação econômica (MASSAM, 2003).

O desempenho das instalações de infiltração depende da combinação de uma série de fatores, devendo ser consideradas as características do solo da superfície, a geologia de subsolo, condições das águas subterrâneas, geometria da lagoa e série histórica. As metodologias para dimensionamento de barraginhas para fins de controle de erosão e conservação de solo, via de regra, não consideram fatores químicos e biológicos de qualidade da água, mas focam em estimar a quantidade de água que será armazenada e que irá infiltrar no subsolo.

Segundo a Circular Técnica da Embrapa (EMBRAPA, 2000), o período para construção das bacias é a época das águas, até três meses após o encerramento do ciclo chuvoso, quando o solo apresenta ainda uma umidade residual, o que facilita a construção, baixa os custos e dá qualidade de compactação dos taludes das mesmas.

Ao projetar uma bacia é comum assumir que ela está seca e utilizar dados de uma única tempestade (SILVA et al., 2014). No entanto, em locais de clima tropical e subtropical essas condições nem sempre representam a realidade, uma vez que é comum a ocorrência de chuvas diárias em certas épocas do ano, não permitindo que as bacias sequem a tempo de ocorrer nova chuva. Assim, o desempenho da bacia está fortemente relacionado com o tempo entre uma precipitação e outra (SILVA et al., 2014).

No que diz respeito ao maquinário necessário para a construção destas estruturas, a Circular Técnica da Embrapa (EMBRAPA, 2000) recomenda a utilização da pá carregadeira pois aumenta em até três vezes o rendimento da operação em relação ao trator de esteira e oferece outras vantagens como o deslocamento próprio, agilidade, facilidade de manutenção e grande número de equipamentos no mercado. Já Miranda et al. (2009) relaciona dois tipos principais de formatos de bacias, retangular e semicircular, podendo ser construídas com a utilização de diferentes máquinas, como tratores equipados com lâmina frontal, pá carregadeira ou retroescavadeiras.

As operações de compactação do camalhão das bacias de captação, tanto do talude como da crista do camalhão, são imprescindíveis para conferir maior estabilidade ao camalhão da bacia e evitar o seu rompimento (MIRANDA et al., 2009).

O dimensionamento das bacias deve considerar primeiramente a distância entre elas que dependerá da declividade da estrada, pois o relevo influencia diretamente no escoamento da água da chuva em diferentes em diferentes trajetórias do terreno. Para consideração da declividade no cálculo do espaçamento entre as bacias, faz-se a utilização de um fator. Casarin (2008) recomenda a utilização do fator de correção f_d , conforme tabela a seguir.

Tabela 1. Fator de correção para declividade para o cálculo do espaçamento entre as bacias segundo Casarin (2008).

Declividade (%)	Fator de Correção (f_d)
Até 5	1
5 a 10	1/2
10 a 15	1/3
15 a 20	1/4

Considera-se L a largura da estrada rural. Em áreas muito declivosas é comum que se façam bacias de menor capacidade de armazenamento, no entanto, com maior frequência ao longo da estrada. Ladrão ou extravasor, é um ponto de extravasamento preferencial do excesso do volume de água escoado da bacia para uma área adjacente fora da estrada caso ocorra algum evento de chuva que ultrapasse a capacidade de armazenamento efetiva da bacia (MIRANDA et al., 2009). Assim, o extravasor é posicionado no encontro entre o camalhão da bacia e o terreno, a fim de conferir maior estabilidade a estrutura.

Outra questão importante são as características e resistência de cada tipo de solo à erosão e a declividade da estrada. Para isso, Lombardi Neto et al. (1994) sugere um índice de

correção para cada agrupamento de solo segundo suas qualidades, características e resistência à erosão. Tal índice é chamado K_t e ele irá determinar o valor do fator de correção para tipo de solo (f_s). E, um fator de correção referente à declividade, f_d , pois, quanto mais declivosa a estrada, menor deverá ser a distância entre uma bacia e outra e, conseqüentemente, maior o número de bacias em um trecho da estrada.

Considerando então as correções relativas à declividade e tipo de solo, temos a seguinte fórmula para o cálculo do espaçamento entre as bacias (CASARIN, 2008).

$$E = \frac{R^2 \times f_d \times f_s}{L \times I} \text{ (m)} \quad (1)$$

Onde;

E: espaçamento entre bacias (m);

R: raio da bacia (m);

L: largura da estrada (m);

I: intensidade máxima de chuva em 24 h (m);

f_d : fator de correção para declividade;

f_s : fator de correção para tipo de solo equivalente ao índice K_t .

O cálculo para dimensionamento das bacias deve considerar a chuva crítica da região, entendendo-se como chuva crítica aquela cuja combinação da sua intensidade e duração gera o máximo volume de detenção, dada a vazão efluente e o tempo de recorrência do evento. É a chuva de maior intensidade da região, ou, a chuva de retorno (PRUSKI et al., 2009).

A bacia de contenção deve ser capaz de armazenar o volume equivalente ao volume de enxurrada gerado por uma chuva com tempo de retorno de 10 anos que cai sobre a área da estrada entre uma bacia e outra, chamada de área de contribuição.

Para o dimensionamento das bacias, deve-se conhecer a lâmina máxima de escoamento superficial que pode ser determinada pelo método do número da curva, método do balanço da água na superfície do solo, método racional ou do hidrograma (PRUSKI et al., 2009). Posteriormente quantifica-se a área de contribuição do escoamento superficial para bacia e então estima-se o volume de água a ser retido por ela.

$$A = L \times C \text{ (m}^2\text{)} \quad (2)$$

Onde;

A : área de contribuição (m²);

L: largura da estrada (m);

C: comprimento do trecho (m).

$$V = \frac{A \times ES}{1000} \text{ (m}^3\text{)} \quad (3)$$

Onde;

A: área de contribuição para a bacia (m²);

V : volume de água a ser armazenado pela bacia (m³);

ES : lâmina de escoamento superficial (mm).

A partir do volume de água a ser armazenado pela bacia já estabelecido, é possível dimensioná-la considerando que o técnico responsável pelo projeto pode determinar a profundidade ou o raio a ser utilizado na estrutura, dependendo das condições de cada local. São passíveis de utilização as seguintes equações a seguir (PRUSKI et al., 2009).

Para bacias circulares, utiliza-se a equação (4) para chegar ao raio/profundidade da bacia.

$$V = \frac{\pi h^2(3R-h)}{3} \text{ (m}^3\text{)} \quad (4)$$

Onde;

V : volume de água a ser armazenado pela bacia (m³);

h: profundidade máxima de água a ser acumulada (m);

R: raio da bacia (m).

No caso da utilização de bacias em formato semicircular, o raio poderá ser determinado a partir da equação a seguir:

$$R = \sqrt{\frac{4V}{\pi h}} \text{ (m)} \quad (5)$$

Onde;

R : raio da bacia semicircular (m);

V : volume da bacia (m³);

h : profundidade máxima de água a ser acumulada (m).

Já nos casos de bacias retangulares, o cálculo da largura é feito pela equação:

$$B = \frac{2V}{h L} \text{ (m)} \quad (6)$$

Onde;

B : largura da bacia (m); e

V : volume da bacia (m³);

h : profundidade máxima de água a ser acumulada (m);

L : comprimento da bacia (m).

A eficiência do funcionamento de práticas mecânicas para a conservação do solo e da água consiste em seguir corretamente as metodologias existentes para o dimensionamento e implantação destas obras. Além do mais, apesar de serem reconhecidas as contribuições qualitativas que as práticas conservacionistas trazem para o meio ambiente, não existe ainda muito conhecimento quantitativo destas contribuições, sendo necessário um monitoramento para se verificar estes valores de contribuição e a necessidade de manutenção das estruturas construídas com o decorrer do tempo (MIRANDA et al., 2009).

Cabe lembrar ainda que durante a construção, as operações de escavação e compactação do talude do camalhão provocam também a compactação do fundo da bacia, o que prejudica uma de suas principais funções que é a de promover a infiltração da água no solo, sendo assim, é fundamental proceder à escarificação do fundo da estrutura após todas as operações (MIRANDA et al., 2009).

3.3 Atributos físico-hídricos do solo

A compreensão do movimento da água no solo, da erosão do solo, bem como da capacidade de um determinado solo infiltrar água, requer o conhecimento das suas características físico-hídricas como por exemplo: textura, porosidade total, densidade do solo e condutividade hidráulica. A erosão do solo resulta da influência combinada de vários parâmetros, sendo as características do solo tão importantes quanto os parâmetros topográficos, climáticos ou de uso da terra (SHAINBERG e LEVY, 1995).

Todos os processos físicos fundamentais que ocorrem no solo são objetos de estudo da física do solo (PREVEDELLO, 1996). As características físicas e químicas primárias determinam a estrutura do solo e, portanto, a taxa de infiltração. Determinam também a resposta do solo quando ele é submetido à precipitação (SHAINBERG e LEVY, 1995). Daí a

importância de se caracterizar o solo para uma boa análise da infiltração e do comportamento da água no solo.

3.3.1 Textura

A textura do solo é considerada uma das principais características dos solos, pois além da sua estreita relação com a retenção de água, influencia também na troca catiônica, fixação de fósforo e nas recomendações de calagem, gessagem e adubações, que são feitas com base em percentuais de argila além de ser fundamental para caracterização de perfis de solos usados em levantamentos e classificação de solos (EMBRAPA, 1997), bem como no planejamento conservacionista do uso das terras.

A textura expressa a distribuição percentual das partículas primárias e é determinada por meio da análise granulométrica (CAMARGO et al., 2009). Tal análise trata-se da determinação da proporção entre as partículas de diferentes tamanhos presentes em uma amostra que irá gerar uma curva granulométrica da qual podem ser extraídos os dados para a definição da classe textural do solo (LIMA, 2010). Na análise de textura, ou granulométrica, são consideradas as partículas menores que 2 mm, acima disso é chamada a fração grosseira do solo.

Os dados obtidos a partir da análise granulométrica podem ser apresentados em forma gráfica, a exemplo do triângulo textural utilizado para classificação de solos no Brasil. Embora o triângulo textural apresente a distribuição das partículas em percentual, atualmente, tem sido comum expressar as quantidades de cada tipo de partícula em gramas por quilo.

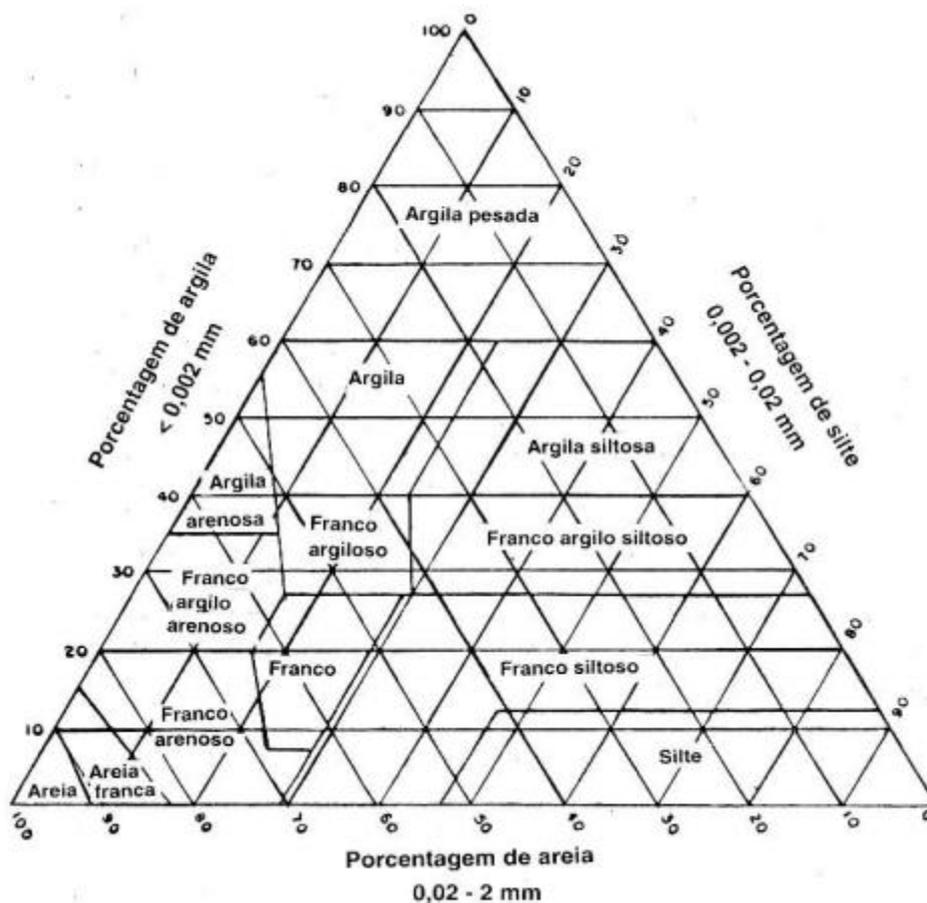


Figura 2. Triângulo para determinação de classes texturais -IAC.

(Fonte: CAMARGO et al., 2009)

Segundo Le Bissonnais (1995), existe uma relação entre a textura e outros parâmetros como mineralogia da argila e matéria orgânica. Essas relações influenciam de forma diferente na quebra dos agregados, dependendo do processo.

A velocidade de infiltração básica depende diretamente da textura e da estrutura dos solos. Determina o tempo em que se deve manter a água na superfície do solo, sendo importante parâmetro a ser utilizado nas práticas conservacionistas e no controle das erosões hídricas (PRUSKI, 2006).

O sucesso da análise granulométrica depende sobretudo de dois fatores: (a) a preparação da amostra para assegurar perfeita dispersão de todos os seus agregados em

partículas primárias, sem que haja a quebra dessas partículas, e (b) um fracionamento adequado da amostra e seus separadores (BAVER et al., 1972).

A análise é baseada no princípio da desagregação mecânica da amostra associada à dispersão química e avaliação da proporção relativa das partículas primárias por sedimentação em meio aquoso. Os métodos mais usuais para definição da textura e da curva granulométrica são o de peneiramento e sedimentação. Sendo que o de peneiramento considera apenas o tamanho das partículas fazendo a separação do material granular não coeso em classes de tamanho de partículas mediante sua passagem por superfícies vazadas com aberturas de dimensões conhecidas (peneiras). O peneiramento é utilizado para separar as frações mais grosseiras como calhaus em peneiras de 20 mm e cascalhos em peneiras de 2 mm (EMBRAPA, 1997).

Já o princípio da sedimentação considera ainda o comportamento hidrodinâmico das partículas do solo. Os métodos que utilizam este princípio baseiam-se na assertiva de que uma partícula cai com velocidade uniforme quando está em suspensão em um fluido parado, e essa velocidade, chamada terminal ou de sedimentação, é variável em função do tamanho das partículas (LIMA, 2010).

A diminuição da taxa de infiltração de um valor inicial muito alto pode ser resultado de uma deterioração gradual da estrutura do solo, usualmente causada pela exposição dos agregados ao impacto da energia das gotas de água que conduz a uma vedação parcial do perfil pela formação de uma superfície densa. A tendência dos solos em formar o selamento depende da estabilidade de sua estrutura e tende a aumentar conforme o aumento do conteúdo de argila. As partículas de argila atuam como material de cimentação ligando as partículas em conjunto nos agregados (SHAINBERG e LEVY, 1995).

3.3.2 Densidade do solo (D_s)

A *densidade de um corpo* é, por definição, o quociente da massa pelo volume desse corpo. No caso do solo, deve-se chamar atenção para a diferença entre a densidade dos sólidos (D_p), também conhecida pelos nomes densidade das partículas do solo e densidade real do solo, e a densidade do solo (D_s).

A densidade das partículas (D_p) não considera o espaço poroso do solo e por isso possui uma relação direta com a composição mineral do solo, ou seja, o valor aumenta quando o solo contém porcentagem de minerais como dióxido de manganês e dióxido de titânio, por exemplo. E diminui quando aumenta o seu teor de matéria orgânica (LIBARDI, 2012).

$$D_p = \frac{M_s}{V_p} \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} \quad (7)$$

Onde;

D_p : densidade de partículas (kg.m^{-3});

M_s : massa do solo seco (kg);

V_p : volume do espaço poroso (m^3).

Já a densidade do solo (D_s) em que se considera todo o espaço poroso entre os sólidos, além de ser afetada pela composição mineral do solo, recebe influência também do manejo conferido ao solo. A densidade do solo pode ser modificada continuamente pelo uso da terra. A utilização de máquinas e equipamentos pesados, bem como, elevada carga animal, favorece o aumento deste atributo (BERTOL et al., 2006).

Para o cálculo da densidade do solo deve-se utilizar o volume do solo total (V), conforme a equação abaixo:

$$D_s = \frac{M_s}{V} \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} \quad (8)$$

Onde;

D_s : densidade do solo (kg.m^{-3});

M_s : massa do solo seco (kg);

V : volume total do solo (m^3).

3.3.3 Volume total de poros (VTP)

O volume total de poros é um índice que quantifica a fração do volume do solo ocupada pelos poros (LIBARDI, 2012). Tanto a solução quanto o ar do solo são armazenados e transportados dentro dos espaços porosos. As raízes das plantas também ocupam esses espaços. Assim, a fração volumétrica total dos poros do solo é uma importante propriedade (PREVEDELLO, 1996).

O volume total de poros do solo representa a relação entre o seu volume de vazios e o seu volume total.

$$VTP = \frac{V_p}{V} = \frac{V_a + V_{ar}}{V} \text{ (m}^3 \cdot \text{m}^{-3}\text{)} \quad (9)$$

Onde;

VTP: volume total de poros ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

V : volume total do solo (m^3);

V_p : volume dos poros ou volume do espaço poroso (m^3);

V_a : volume de água (m^3);

V_{ar} : volume de ar (m^3).

Outra maneira de calcular o volume total de poros é a partir da relação da densidade total do solo e a densidade de partículas.

$$PT = 1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right) (m^3.m^{-3}) \quad (10)$$

Onde;

VTP: volume total de poros ($m^3.m^{-3}$);

Ds: densidade do solo ($kg.m^{-3}$);

Dp: densidade de partículas ($kg.m^{-3}$).

O armazenamento, disponibilidade e transporte da solução e do ar no solo não só dependem da porosidade total, mas também, e principalmente, de como o espaço poroso total é distribuído por tamanho (PREVEDELLO, 1996). Assim, existem diversas classificações por tamanho de poros, isto devido aos processos de transporte que ocorrem nos poros que estão relacionados ao tamanho deles.

Os macroporos são aqueles com diâmetro maior que 100 μm e sua principal função é a aeração da matriz do solo e condução da água durante o processo de infiltração. Já os mesoporos possuem diâmetro entre 30 e 100 μm , e são responsáveis pela condução da água durante o processo de redistribuição, isto é, após a infiltração quando se esvaziam os macroporos. E por último, os microporos são aqueles com diâmetro inferior a 30 μm . Também chamados de poros capilares, a água se move muito vagarosamente por esses poros capilares (LIBARDI, 2012).

3.3.4 Matéria Orgânica do Solo (MO)

A MO do solo não é uma característica física do solo propriamente dita, no entanto, apresenta importância na sua estrutura e, conseqüentemente, grande influência na velocidade de infiltração de água no solo (BRANDÃO et al., 2009).

A MO é um dos agentes estabilizadores de agregados mais importantes e bem conhecidos nos solos (LE BISSONNAIS, 1995). O teor de MO em solos virgens do Cerrado pode atingir até cerca de 5%, principalmente em solos argilosos a muito argilosos.

Solos com conteúdos mais elevados de MO apresentam agregados mais estáveis, resistentes à desagregação por agentes físicos e, portanto, são mais bem estruturados (CAMARGO et al., 2009), o que reflete no aumento da infiltração, da capacidade de retenção de água no solo e no aumento de sua disponibilidade (RESCK et al., 1991).

Dois principais efeitos da MO com relação à erosão do solo são: o efeito na estabilidade dos agregados por meio da interação argila-matéria orgânica e ação de ligação de polímeros; e a proteção física da superfície do solo como uma cobertura vegetal, portanto, favorecendo a infiltração (LE BISSONNAIS, 1995). Quando há um comprometimento do fluxo de energia e matéria ao sistema, a perda da energia leva a ruptura dos agregados do solo de forma a proporcionar maior exposição da MO e sua consequente oxidação. A redução desta energia armazenada associada a alterações na organização dos componentes do sistema culmina com a compactação, baixa resistência à erosão, menor infiltração e retenção de água do solo, levando a uma menor produtividade do sistema vegetal (ROSCOE e BUURMAN, 2003).

Sistemas de cultivo que aportam grande quantidade de resíduos vegetais sobre o solo têm demonstrado melhor exploração do perfil do solo pelo sistema radicular das plantas, e também tem sido observada maior taxa de infiltração da água no solo (SÁ, 2011). A maioria dos estudos descobriram que a MO reduz a erodibilidade do solo, e que se trata de um agente de ligação entre as partículas minerais do solo. A relação provavelmente é não linear e depende das interações entre MO e outras propriedades do solo (LE BISSONNAIS, 1995).

3.3.5 Condutividade Hidráulica Saturada (Ks)

Henry Darcy, em 1856, introduziu a primeira equação para quantificar o movimento da água no solo. Darcy trabalhou com colunas de areia saturadas com água e a equação desenvolvida estabelece que a quantidade de água que passa por unidade de tempo e de área pelo meio poroso saturado é proporcional ao gradiente de potencial total da água nesse meio. A constante de proporcionalidade foi denominada por Darcy de condutividade hidráulica, hoje conhecida como condutividade hidráulica saturada (Ks) (GONÇALVEZ e LIBARDI, 2013).

$$Q = K_s A \frac{(h_1 - h_2)}{L} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (11)$$

Onde;

Q: vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

Ks: condutividade hidráulica saturada ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);

A: área da secção transversal (m^2);

($h_1 - h_2$): diferença entre as cargas piezométricas que atuam nas extremidades da coluna (m);

L: distância percorrida pelo fluxo (m).

Pela equação (11), Ks é uma propriedade do meio poroso que traduz a rapidez com que determinado líquido atravessa esse meio (LIBARDI, 2012) e descreve a funcionalidade de seu sistema poroso, englobando propriedades relacionadas com a sua porosidade, como quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros (GONÇALVEZ e LIBARDI, 2013). Por depender da forma e continuidade do sistema poroso, a condutividade hidráulica saturada varia fortemente de um local a outro, e seu valor se eleva a medida que aumenta o grau de agregação de um solo. Um solo argiloso pode apresentar valores de Ks semelhantes aos de um solo arenoso em função de sua estrutura e da distribuição de

macroporos (diâmetro maior que 50 μm), é o que Libardi (1999) chama de "geometria porosa dos solos" (GONÇALVEZ e LIBARDI, 2013).

Há diversos métodos para determinação direta da condutividade hidráulica dos solos. Eles podem ser classificados em métodos de laboratório e métodos de campo. Os métodos de laboratório permitem maior controle das condições experimentais e são utilizadas amostras com estrutura indeformada que geralmente possuem a forma cúbica ou cilíndrica e preservam a estrutura do solo. Esse tipo de amostragem exige maior cuidado do que amostras deformadas.

Nos métodos de campo utilizados para determinação de K_s , como o próprio nome já diz, as medidas são realizadas no campo e a perturbação do solo deve ser a mínima possível. Embora as determinações no campo possam ser mais difíceis de controlar, possuem a vantagem de estimar as propriedades hidráulicas *in situ*, o que é de considerável valor no uso da informação hidráulica (MUBARAK et al., 2010).

Há ainda outros métodos, considerados indiretos, que calculam a condutividade hidráulica utilizando equações que a correlacionam com outras propriedades do meio poroso de mais fácil medida (SLACK, 1980; van GENUTCHEN, 1980; KIDWELL et al., 1997).

3.4 Processo de infiltração e a Velocidade Básica de Infiltração

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra no solo através de sua superfície, ou seja, entrada de água no solo através da interface solo-atmosfera (BRANDÃO et al., 2009; LIBARDI, 2012). É considerado um dos mais importantes processos que compõem o ciclo hidrológico.

Além de ser vista como componente perpendicular nos modelos de formação do manto de alteração, a infiltração da água no solo é importante para a recarga dos aquíferos e para a manutenção do fluxo de base dos rios, sendo, portanto, muito relevante para a gestão dos

recursos hídricos (MORAIS, 2012). O aumento da infiltração pode acarretar em redução da erosão e maior recarga dos aquíferos, ampliando o escoamento de base e reduzindo as vazões máximas de cursos d'água (CECÍLIO et al., 2013). Durante um evento de precipitação (chuva e/ou irrigação), parte da água pode infiltrar e movimentar-se verticalmente no perf e parte pode escorrer pela superfície do solo, isto se o terreno apresentar grau de declividade.

A velocidade ou taxa de infiltração consiste na quantidade de água que atravessa essa unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo. Depende diretamente da textura e da estrutura dos solos. Em solos arenosos ou argilosos com partículas bem agregadas, em razão de sua maior percentagem de poros grandes, têm-se maiores velocidades de infiltração (BERNARDO et al, 2008). Em um mesmo tipo de solo, a velocidade de infiltração varia com o teor de água do solo; a temperatura do solo; a porosidade do solo; a existência de camada menos permeável ao longo do perfil; a cobertura vegetal e outros fatores.

A dinâmica espacial e a temporal dos fatores controladores da infiltração incorpora, na sua representatividade espaço-temporal, alto grau de incertezas (LANGHANS et al., 2010).

Sabe-se que durante o processo de infiltração num perfil de solo inicialmente seco, a taxa de infiltração tende a decrescer com o tempo. Inicialmente ela é relativamente alta e diminui gradativamente até atingir um valor final quase constante. Neste ponto, em que a variação da velocidade é muito pequena, ela é chamada de velocidade de infiltração básica (VIB) ou capacidade de infiltração.

A obtenção da velocidade de infiltração de água no solo é de grande importância para definir técnicas de conservação, planejamento de projetos de irrigação e sistemas de drenagem (PAIXÃO et al., 2005).

Bernardo et al. (2008), considerando a taxa de infiltração para cálculos de sistemas de irrigação, classifica o solo de acordo com a sua velocidade de infiltração sendo, então, considerada infiltração básica nas seguintes categorias: $> 30 \text{ mm.h}^{-1}$ (VIB muito alta). De 15-

30 mm.h⁻¹ (VIB alta), 5-15 mm.h⁻¹ (VIB média) e < 5 mm.h⁻¹ (VIB baixa). Já Klute (1965) propõe as seguintes faixas de variação: baixa (VIB > 20 mm.h⁻¹); média (20 ≤ VIB ≤ 125 mm.h⁻¹); alta (VIB > 125 mm.h⁻¹).

Cecílio et al. (2003), a partir do estudo dos parâmetros de entrada da equação de Green-Ampt que melhor se adequassem para predição da infiltração de água no solo, concluíram que a taxa de infiltração estável, ou básica, apresenta bons resultados quando considerada igual à condutividade hidráulica.

Dentre os métodos para determinar a condutividade hidráulica, assim como os utilizados para determinação da VIB, destacam-se o método do infiltrômetro de anel, o simulador de chuva ou infiltrômetro de aspersão para determinação em campo, e, também, o permeâmetro de carga constante e carga decrescente utilizados em laboratório.

Cada método produz taxas de infiltração constantes que são determinadas pela leitura de três ou mais valores iguais de tempo para infiltrar um volume de água pré-determinado, seja em uma amostra ou no solo propriamente dito. Métodos que não consideram o impacto da gota da chuva podem superestimar a infiltração da água, originando problemas no dimensionamento de projeto de irrigação e drenagem, ou subdimensionando projetos de conservação e acarretando em problemas de erosão do solo (POTT e DE MARIA, 2003).

3.5 Métodos para determinação da Velocidade de Infiltração Básica e da Condutividade Hidráulica

Há diversas opções de ensaios de campo para determinação da condutividade hidráulica e velocidade básica de infiltração, que podem ser realizados em furos de sondagens, em poços, aproveitando piezômetros e utilizando equipamentos e arranjos especiais, como os infiltrômetros (ZUQUETTE e PALMA, 2006).

Vários são os métodos também para determinação em laboratório. Segundo Alves Sobrinho et al. (2002) o valor da VIB apresenta grande dependência do método utilizado em sua determinação. Abaixo são citados alguns dos métodos existentes.

3.5.1 Infiltrômetro de anéis concêntricos

Vieira (1977) citado por Costa et al. (1999) relatou que o infiltrômetro de anéis concêntricos era a metodologia mais utilizada para determinação da VIB em campo. Ainda hoje, esse método é frequentemente recorrido em estudos que analisam taxa de infiltração, VIB e condutividade hidráulica por ser um método de simples aplicação e relativamente prático. Uma limitação do método é a quantidade de água que se tem que ter disponível no campo, exigindo muitas vezes o transporte de diversos galões de água.

O método apresenta limitações também quando usado para fins de elaboração de projetos de irrigação por aspersão ou para trabalhos em que os dados gerados se deem por meio de precipitações, pois, não prevê o impacto de gotas de chuva uma vez que a água entra em contato com o solo de maneira suave de forma que a desagregação e obstrução dos poros ocorrem minimamente quando comparado à precipitação natural ou à irrigação por aspersão.

A metodologia consiste em posicionar no solo dois anéis concêntricos de diâmetros diferentes, enterrados no solo há pelo menos 10 cm de profundidade, com auxílio de uma marreta. As medidas são realizadas no anel interno e o anel externo tem a finalidade de impedir que a infiltração de água ocorra de forma lateral no solo (BERNARDO et al., 2008).

Após a instalação dos anéis, coloca-se água simultaneamente nos dois anéis e com uma régua graduada acompanha-se a infiltração vertical no cilindro interno. A medição pode ser feita de duas maneiras, medindo-se na régua a lâmina de água infiltrada em intervalos de tempo pré-definidos, ou medindo-se no cronômetro o tempo para infiltrar uma lâmina de água pré-definida. A medição é feita até que se obtenha três ou mais medições consecutivas

semelhantes, considerando-se o fluxo estacionário. Com os valores obtidos anotados em uma planilha é possível gerar o gráfico de velocidade de infiltração e infiltração acumulada. A velocidade atingida ao final do processo, quando o fluxo foi considerado estacionário, representa a velocidade de infiltração básica (VIB).

3.5.2 Infiltrômetro de Aspersão ou Simulador de Chuva

O simulador de chuva também consiste em um método de campo para determinação da infiltração, no entanto, diferentemente dos outros métodos, permite a observação da influência da porosidade do solo uma vez que possibilita a ocorrência do escoamento superficial e o gradiente de pressão na superfície é praticamente inexistente (ESPÍRITO SANTO, 2011).

Os simuladores de chuva ou infiltrômetros de aspersão são equipamentos que aplicam água por aspersão, apresentando intensidade de precipitação constante e superior à velocidade de infiltração da água no solo, exceto durante um curto período de tempo logo após o início do ensaio. Alguns simuladores permitem controlar a intensidade de precipitação, tamanho e velocidade de impacto das gotas sobre a parcela de solo em que se deseja estudar as características de infiltração, escoamento superficial e produção de sedimento (ALVES SOBRINHO et al., 2002).

Presume-se que neste método, ao ser atingida a taxa de infiltração estável, esta se iguale à condutividade hidráulica saturada. No entanto, existe a possibilidade de ocorrência de selamento superficial em função do impacto direto das gotas de água. Segundo Pott e De Maria (2003), alguns trabalhos têm encontrado menores valores de VIB determinados com infiltrômetros de aspersão, quando comparados com outros métodos. Uma alternativa para minimizar este efeito é a cobertura do solo com restos vegetais.

De acordo com Alves Sobrinho (2002), um infiltrômetro de aspersão deve atender alguns critérios: (a) produzir gotas de diâmetro médio similar àquele da chuva natural; (b) apresentar velocidade de impacto das gotas no solo o mais próximo possível da velocidade terminal das gotas de chuva; (c) produzir precipitação com energia cinética próxima a da chuva natural; (d) possibilitar o controle da intensidade de precipitação; (e) promover distribuição uniforme da precipitação sobre a parcela experimental em estudo; (f) aplicar água de modo contínuo numa parcela experimental com área adequada ao processo em estudo; (g) ser portátil e fácil de operar no campo.

3.5.3 Infiltrômetro de pressão

Os infiltrômetros de pressão são equipamentos que medem a infiltração de água no solo por meio de um único anel cilíndrico inserido no solo não saturado, com carga hidráulica controlada (REYNOLDS et al., 2002) geralmente por um frasco de Mariotte. De acordo com Reynolds et al. (2002), este método é utilizado principalmente para determinar a condutividade hidráulica saturada em campo, mas uma de suas vantagens é também a possibilidade de determinar fluxo de potencial matricial, sorvidade, parâmetro do comprimento da capilaridade macroscópica e outros parâmetros.

A análise original e mais amplamente usada para infiltrômetro de pressão baseia-se na fase de quase estado de equilíbrio com carga constante de infiltração. Mas também é possível fazer uma análise de carga dupla ou de múltiplas cargas. Das desvantagens do método pode-se dizer que necessita-se de um aparato mais complexo para as medições e que a análise de múltiplas cargas exige mais tempo.

3.5.4 Permeâmetro de Carga Constante

O Permeâmetro de Carga Constante baseia-se na experiência de Darcy e deve ser executado quando se utilizam amostras com estrutura não deformada. Recomendado para amostras de solo cujos valores de K sejam maiores que $2 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ (LIBARDI, 2012) ou $7,2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

O método costuma levar a valores relativamente altos de condutividade hidráulica, apesar da diferença de potencial hidráulico observada experimentalmente ser corrigida na aplicação de Darcy. A variabilidade espacial dos poros do solo e a possível existência de megaporos são fatores que podem influenciar nos resultados obtidos por este método. Tal fato, embora não fossem suficientes para influenciar os resultados de condutividade em grandes áreas, quando relacionados à uma amostra como a do anel volumétrico, podem ser importantes fontes de erro (MESQUITA et al., 2002).

Por se tratar de um método que permite o controle das condições em laboratório, o permeâmetro de carga constante é bastante utilizado. Para execução do método é necessário que as amostras estejam saturadas devendo permanecer por um período de 24 horas em uma bandeja com nível de água um pouco abaixo do topo da amostra. A extremidade de baixo da amostra deve ser coberta por uma peça circular de pano convenientemente presa. Na outra extremidade, para utilização do método de carga constante, deve ser conectado um cilindro vazio adicional com uma rodela de papel filtro no topo e, vagarosamente, completado com água até $3/4$ de seu volume. Tal procedimento fará com que a amostra permaneça saturada e a carga hidráulica acima da amostra será mantida sempre a mesma por meio da utilização de um frasco de Mariote. Após a estabilização do sistema, são feitas as leituras de volume e tempo para o cálculo da condutividade hidráulica (REYNOLDS et al., 2002).

3.5.5 Permeâmetro de Carga Decrescente

Semelhante ao Permeâmetro de Carga Constante, o Permeâmetro de Carga Decrescente utiliza uma carga hidráulica variável decrescente acima das amostras de solo. Considera-se mais adequado para solos de K_s baixo, inferior à $7,2 \text{ mm.h}^{-1}$ (LIBARDI, 2012). O procedimento de saturação da amostra é o mesmo do Permeâmetro de Carga Constante. No entanto, para utilização de uma carga decrescente, deve ser conectado um funil e haste longa de vidro transparente acima da amostra o que permite a leitura dos diferentes níveis da carga hidráulica.

Existem várias metodologias para este método que variam de acordo com a natureza das amostras, principalmente tipo de solo, e também com o aparato disponível em laboratório.

4. MATERIAL E MÉTODO

Para o desenvolvimento do experimento, foram selecionadas três barraginhas construídas em áreas de dois tipos de solos representativos do Bioma Cerrado.

Segundo o Mapa Pedológico Digital do DF (REATTO et al., 2004), a Estrada 1 localiza-se em uma mancha de Cambissolo Háptico Tb Distrófico (CXd) com textura argilosa na bacia do Ribeirão Pipiripau, a aproximadamente 1.085 m de altitude. Já a Estrada 2 localiza-se em uma mancha de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) com textura média próxima a áreas de Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa, no interior da bacia do Rio Jardim, aproximadamente 1.140 m de altitude.

Tabela 2. Localização geográfica das estradas objeto de estudo em coordenadas UTM, Datum Sirgas, 2000 - Zona 23S.

Estrada/Localização	Tipo de Solo	Coordenadas
Estrada 1 - DF-140	CXd	228.579,168 E / 8.272.237,25 N
Estrada 2 - DF-120	LVA d	220916,738 E / 8259290,79 N

Segundo a classificação de Köppen, o clima da área de estudo é do tipo “tropical de savana e temperado chuvoso de inverno seco”, caracterizado por duas estações bem definidas, sendo que a estação seca compreende o período entre os meses de maio a setembro, e a estação chuvosa compreende o período entre os meses de outubro a abril.

Na Figura 3 é possível visualizar, em imagens aéreas, outras estradas rurais cujas barraginhas foram construídas pelo Programa Produtor de Água na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau.



Figura 3. Fotos aéreas das barraginhas construídas no âmbito do Programa Produtor de Águas da Bacia do Ribeirão Pipiripau (Fonte: ADASA, 2013).

Para cada variável adotada foram realizadas três repetições no interior das barraginhas, além de três repetições fora das barraginhas, nas áreas adjacentes. O leito da estrada não foi considerado área adjacente.

Os valores resultantes de todas as determinações feitas foram submetidos às análises univariadas, aplicando-se o teste F isolado para testar as variâncias, seguido do teste t- student para comparação de médias, ambos a 5% de significância.

O nível de significância de 5% representa o limite de erro na decisão de se descartar como verdadeira a hipótese de igualdade entre as médias. Isto significa que as médias devem ser consideradas diferentes quando o nível de significância calculado for igual ou menor que 5%. Neste tipo de teste, quanto maior for o valor de F, maior é a diferença entre as médias, e menor é o risco de erro ao se rejeitar a hipótese verdadeira de igualdade entre elas. Quanto menor o nível de significância encontrado, mais evidente é a diferença entre as médias (SILVA e AZEVEDO, 2002).

A distribuição log-normal pode ser usada em casos altamente variáveis e é frequentemente apropriado para grandes valores de CV. Os valores de Ks, assim como os de VIB, apresentam a distribuição log-normal (WARRICK, 1983) e antes de serem utilizados em procedimentos estatísticos baseados na distribuição normal, os dados foram transformados logaritmicamente utilizando-se a equação (12) (LIMA, 2010).

$$m_x = m_{\ln x} + 0,5 \sigma_{\ln x}^2 \quad (\text{mm.h}^{-1}) \quad (12)$$

Onde;

m_x : valor médio de X (mm.h^{-1});

X: valores de VIB ou Ks (mm.h^{-1});

$m_{\ln x}$: média do logaritmo natural dos valores de X (mm.h^{-1});

$\sigma_{\ln x}^2$: variância do logaritmo natural dos valores de X (mm.h^{-1}).

4.1 Determinações

4.3.1 Velocidade de Infiltração Básica (VIB)

Para determinação da velocidade de infiltração básica utilizou-se o método tradicional e amplamente adotada dos anéis concêntricos, conforme metodologia de de Bernardo et al. (2008).

A razão para o uso de dispositivos duplos concêntricos é minimizar a percolação lateral, abaixo da área de anel ou do cilindro interior, onde a taxa de infiltração é medida. O fluxo lateral por unidade de área de infiltração interior depende dos efeitos de escala, derivados principalmente de gradientes hidráulicos laterais entre o solo molhado abaixo do dispositivo e o solo seco fora dele (OTTONI FILHO et al., 2014).

Os ensaios de infiltração começaram a ser realizados em setembro de 2015 e concluídos no início do ano de 2016. Os cilindros foram instalados concentricamente no solo a uma profundidade de aproximadamente 7 cm. A água foi depositada ao mesmo tempo nos anéis de fora e de dentro. Os anéis utilizados foram fabricados de ferro e possuem diâmetros de 20 cm, o interno, e 39 cm, o externo.

Estabeleceu-se uma altura de 6 centímetros de coluna de água marcada no anel interno, onde foi feita a leitura, com auxílio de uma régua graduada. Marcou-se o tempo que a água levava para infiltrar uma lâmina de 2 centímetros, ou seja, até a marca de 4 centímetros da régua graduada localizada no anel interno. Completava-se o volume de água para a marca de 6 centímetros a cada repetição.

O volume de água no anel externo era periodicamente reabastecido a medida da necessidade para que fosse mantido o mesmo nível de água do anel interno e sua função é minimizar ao máximo a influência da percolação horizontal da água tendo em vista que o objetivo é medir a velocidade de infiltração básica da água no sentido vertical.

A taxa de infiltração foi determinada no cilindro interno e cada ensaio durou até que a taxa de infiltração fosse considerada constante. O tempo variou de um ponto para outro levando até 195 minutos para estabilização nas áreas de CX e 144 minutos nas áreas de LVA. Considerou-se constante quando o valor da leitura do tempo apresentou medidas aproximadamente iguais por três vezes consecutivas. A variação aceita foi de no máximo $0,02 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ na taxa de infiltração básica, considerando a precisão de duas casas decimais.

Tendo em vista que o ensaio foi conduzido até que a taxa fosse considerada constante, não há influência da sazonalidade no estudo.

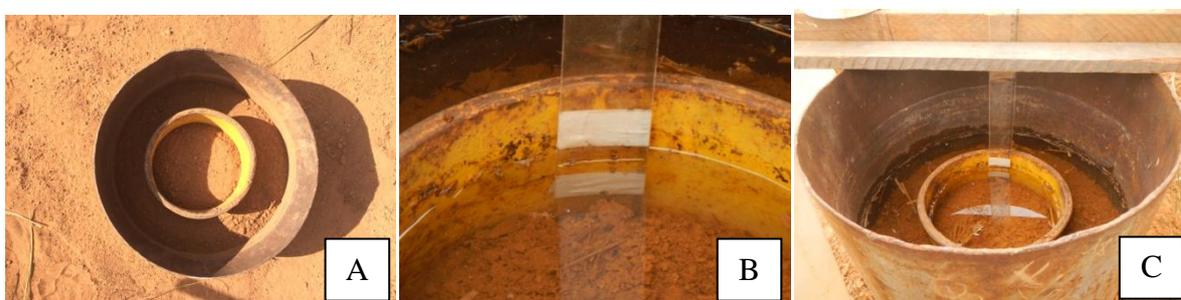


Figura 4. Detalhe do posicionamento dos anéis concêntricos (A); Detalhe da régua graduada com a marcação dos dois centímetros de coluna no anel interno (B); Infiltrômetro do anel instalado para medição da taxa de infiltração (C).

Os testes de infiltração foram realizados nas três barraginhas localizadas em cada uma das estradas, com três repetições dentro de cada barraginha e três repetições nas áreas adjacentes fora das barraginhas. Ao todo, foram realizados 24 ensaios de infiltração.

Nos casos em que havia presença de vegetação no interior das barraginhas, a área foi limpa cuidadosamente com auxílio de enxada ou tesoura com atenção para não alterar as condições do solo na superfície do terreno.

Em relação aos valores médios de VIB, foram obtidos a partir da sequência de equações, abaixo.

$$\text{VIB} = \frac{\Delta I}{\Delta t} \text{ (cm.s}^{-1}\text{)} \quad (13)$$

Onde;

VIB: velocidade de Infiltração Básica (cm.s⁻¹);

ΔI: altura de água infiltrada (cm);

Δt: tempo para infiltração de ΔI (s);

4.3.2 Amostragem do Solo

Para caracterização físico-hídrica dos dois tipos de solos selecionados foram determinadas: (i) textura, (ii) porosidade total, (iii) densidade do solo; (iv) matéria orgânica; (v) curva de retenção e (vi) condutividade hidráulica. Coletou-se amostras deformadas e não-deformadas em diferentes profundidades no perfil do solo dentro e fora das barraginhas.

Com exceção das amostradas coletadas na superfície para as quais utilizou-se uma enxada para raspar suavemente a camada mais superficial de solo, as demais amostras deformadas foram coletadas com auxílio de um trado de ponta de aproximadamente 10 centímetro de altura descartando-se os 5 centímetros iniciais de solo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório para realização das análises.

Para as amostras deformadas, foram adotadas 5 camadas do perfil do solo: a) entre 0,00 e 0,025m de profundidade; b) entre 0,025 e 0,075m; c) entre 0,125 e 0,175m; d) entre 0,275 e 0,325m e; e) entre 0,575 e 0,625m. Em três pontos diferentes dentro de cada barraginha e três pontos diferentes fora das barraginhas, totalizando 60 amostras deformadas por estrada, ou seja, 120 amostras no total do experimento.



Figura 5. Detalhe da coleta de amostras deformadas com auxílio de um trado (A); amostras acondicionadas em sacos plásticos após a coleta (B).

Para as amostras não deformadas, adotou-se as mesmas profundidades das amostras deformadas, com exceção da superfície. Utilizou-se um trado e anéis cilíndricos de aço inoxidável de aproximadamente 100 cm³ de volume. As amostras foram cuidadosamente tratadas para que o solo preenchesse o volume total do cilindro sem perder sua conformação. Coletou-se 48 amostras não deformadas por estrada, totalizando 96 amostras no experimento.

As coletas de solo na estrada do Núcleo Rural Pípiripau, onde encontra-se a região de CX, foram realizadas nos dias 07 e 08 de novembro de 2016. E as coletas de solo na estrada do Núcleo Rural Jardim, onde encontra-se a região de LVA, foram realizadas nos dias 29 e 30 de novembro de 2016.

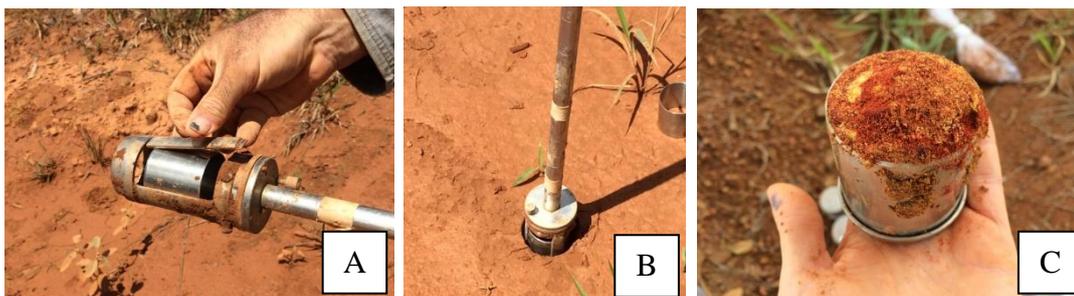


Figura 6. Detalhe da montagem do anel cilíndrico no trado para retirada da amostra não deformada (A); inserção do trado no solo (B); retirada do cilindro com a amostra não deformada (C).

As análises foram realizadas nos laboratórios da Empraba Cerrados - CPAC entre os meses de novembro 2016 a janeiro 2017.

4.3.3 Condutividade Hidráulica Saturada (K_s)

A condutividade hidráulica foi determinada por meio do Permeômetro de Carga Constante, conforme metodologia proposta no Manual da Embrapa (1997), adotando-se uma carga hidráulica de 6,80 cm acima das amostras com a utilização do frasco de Mariotte.

O ensaio foi realizado nas amostras não deformadas coletadas a 0,05; 0,15; 0,30 e 0,60 m de profundidade. Para cada barraginha foram realizadas três repetições semelhante aos ensaios com infiltrômetro de anel, e ainda, três repetições nas áreas adjacentes fora das barraginhas.



Figura 7. Amostras não-deformadas em processo de saturação (A); permeômetro de carga constante com ligação ao frasco de mariote (B); detalhe do permeômetro de carga constante com quatro amostras em processo de estabilização (C).

A condutividade hidráulica foi calculada a partir da equação de Darcy (14).

$$K_s = q / \frac{\Delta H_t}{\Delta L} (\text{cm.s}^{-1}) \quad (14)$$

Onde;

q: densidade de fluxo (cm.s^{-1});

Ks: condutividade hidráulica saturada (cm.s^{-1});

ΔH_t : gradiente de potencial total (cm);

ΔL : gradiente de potencial gravitacional (cm).

Levando-se em consideração as dimensões do aparelho Permeômetro de Carga Constante, bem como dos cilindros utilizados na coleta das amostras fez-se a aplicação da equação (15) (EMBRAPA, 1997).

$$K_s = \frac{V}{A \times t} \frac{L}{\Delta H} (\text{cm.s}^{-1}) \quad (15)$$

Onde;

Ks: condutividade hidráulica (cm.s^{-1});

V: volume de água que passou pela amostra (cm^3);

L: altura da amostra igual 5,088cm;

A: área da amostra igual a 18,544 cm^2 ;

t: tempo de passagem do volume de água V (s);

ΔH : gradiente de potencial total (cm).

4.3.4 Densidade do Solo (Ds), Porosidade Total (PT) e Textura

Os parâmetros de densidade, porosidade e textura foram determinados conforme metodologia proposta pela Manual da Embrapa (1997).

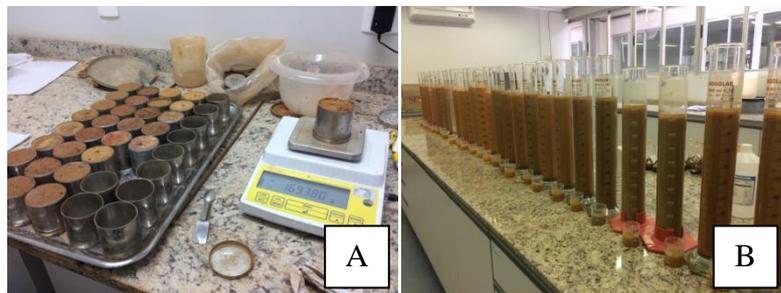


Figura 8. Pesagem das amostras para cálculo da densidade (A); provetas para determinação da textura (B).

Para análise de textura utilizou-se as amostras de TFSE, assim, não foi necessária a correção de umidade nos cálculos.

4.3.5 Matéria Orgânica (MO)

A determinação da matéria orgânica foi feita no laboratório de química da Embrapa Cerrados conforme metodologia de Walkley-Black (1934) que resulta na matéria orgânica total.



Figura 9. Amostras de solo pesadas para análise (A); detalhe da amostra sendo titulada com sulfato ferroso amoniacal (B); parte das amostras já tituladas, com coloração escura e parte que será titulada, coloração alaranjada indicando baixo teor de matéria orgânica (C).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Velocidade de Infiltração Básica

Os resultados dos ensaios com o infiltrômetro de anéis concêntricos apresentaram alta variabilidade. Conforme valores máximo e mínimo, as médias obtidas no interior das três barraginhas foram inferiores às médias obtidas em suas áreas adjacentes nos dois tipos de solo trabalhados e ainda, que há uma tendência dos valores encontrados no LVA serem maior que no CX.

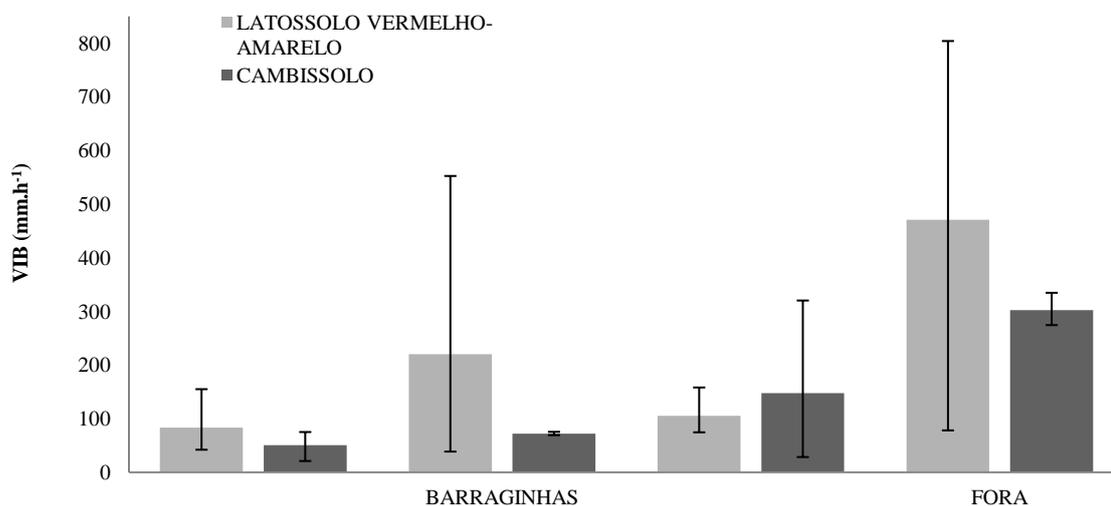


Figura 10. Médias de VIB obtidas a partir do infiltrômetro de anéis concêntricos em área de Cambissolo e de Latossolo Vermelho-Amarelo, a barra indica dos valores mínimos e máximos.



Figura 11. Barraginha com presença de gramíneas exóticas e indivíduos arbóreos em baixa densidade e maior parte do solo exposto (A); Barraginha dominada por gramínea exótica praticamente sem solo exposto (B); Barraginha com baixa densidade de gramíneas, solo exposto e indivíduos arbustivos esparsos (C) localizadas na Estrada 1, em área de CX.

De acordo com a classificação proposta por Klute (1965), para o CX, a média da VIB no interior das barraginhas foi considerada média, de $89,9 \text{ mm.h}^{-1}$, enquanto nas áreas adjacentes os ensaios registraram uma média alta, de $302,3 \text{ mm.h}^{-1}$.

Já no LVA, dentro e fora das barraginhas ambas foram consideradas altas, segundo Klute (1965), com valores médios de $136,2 \text{ mm.h}^{-1}$ e $470,6 \text{ mm.h}^{-1}$, respectivamente.



Figura 12. Barraginha com presença de gramíneas exóticas e indivíduos herbáceos, arbustivos e parte do solo exposto (A); Barraginha com grande parte do solo exposto e pouca densidade de gramíneas (B); Barraginha com baixa densidade de gramíneas e solo predominantemente com encrostamento superficial (C) localizadas na Estrada 2, em área de LVA.

Pelo teste de comparação de médias adotado, tanto no LVA quanto no CX, os valores de VIB foram estatisticamente diferentes comparando-se os dados obtidos dentro e fora das barraginhas, o que mostra que as barraginhas apresentaram capacidade de infiltração significativamente inferior quando comparado com suas áreas adjacentes. No gráfico, as médias de VIB seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si.

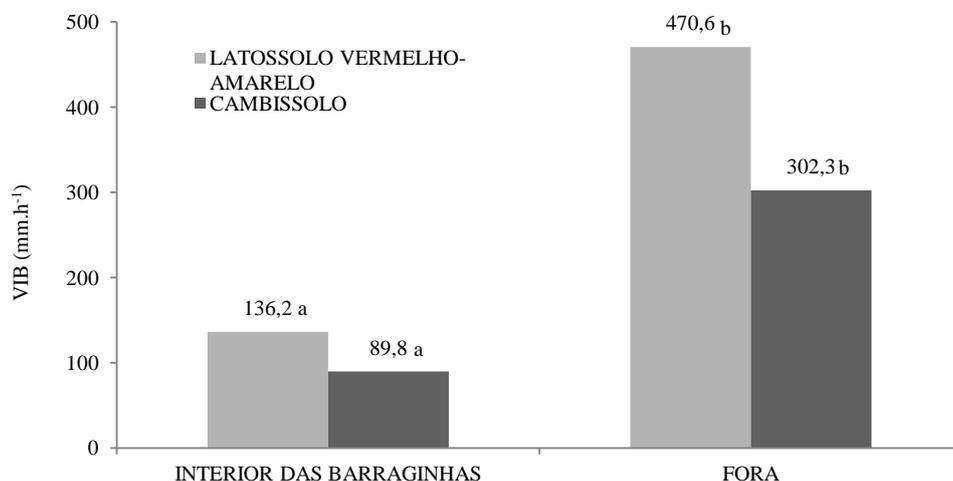


Figura 13. Médias da VIB obtidas a partir do infiltrômetro de anéis concêntricos em área de Cambissolo e Latossoilo Vermelho-Amarelo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de t-Student.

Como se observa na Figura 13, em ambos os casos verificou-se redução de aproximadamente 70% no valor da VIB, ou seja, os valores obtidos dentro das barraginhas são cerca de 3,5 vezes menores do que fora.

As áreas adjacentes às barraginhas são bastante heterogêneas e não são áreas consideradas produtivas ou exploradas economicamente. No entanto, em virtude da

proximidade dessas áreas com as áreas cultivadas e tendo em vista que a vegetação predominante nas duas estradas é gramínea exótica com indivíduos arbóreos nativos esparsos, os valores foram comparados a valores obtidos por outros autores em áreas agrícolas e Cerrado nativo.

Assim, os valores de VIB estão dentro da faixa dos resultados encontrados por outros autores em solos do Cerrado sob diferentes tipos de manejo. Sato et al. (2012) encontraram valores de VIB variando de 138,3 a 419,7 mm.h⁻¹ em um experimento que avaliou diversas parcelas em LVA distrófico típico sob consórcio milho e forrageiras, utilizando o mesmo método do IAC.

Otoni Filho (2003), também utilizando o dispositivo de anéis concêntricos, encontrou valores de VIB variando de 261 mm.h⁻¹ a 334 mm.h⁻¹ em áreas de CX Háptico no interior da Bahia.

Os baixos valores de VIB aferidos no interior das barraginhas poderiam ser explicados pelo fato de se tratarem de horizontes pedológicos distintos e por isso apresentarem características hidrológicas e capacidades de infiltração diferentes. No entanto, Marques et al. (2002), relacionando as propriedades hidráulicas com os horizontes pedológicos de dois Latossolos, não constataram a coincidência entre os valores de condutividade hidráulica e os horizontes com homogeneidade textural e estrutural, concluindo que a dinâmica da água nem sempre se altera quando há mudança de horizonte pedológico.

Uma outra razão pode ser a ocorrência de selamento superficial no interior das barraginhas em função do acúmulo de sedimentos carregados das estradas, fato este que foi observado em campo. Segundo Silva e Kato (1997), o selamento superficial é a formação de uma camada delgada (geralmente de 1 a 3 mm) na superfície do solo e é caracterizada por uma elevada densidade do solo, pequena porosidade e baixa condutividade hidráulica.

O infiltrômetro de anéis concêntricos permite a realização do ensaio sem a remoção da camada mais superficial do solo na colocação dos anéis no solo e por isso é apto a retratar tal condição. Para que seja feita esta correlação, sugere-se a repetição dos ensaios com o mesmo dispositivo de anéis concêntricos procedendo a remoção da camada superficial do solo no interior das barraginhas para comparação com os valores obtidos sem a remoção desta camada.

Quando comparados os resultados obtidos entre os dois tipos de solo, embora as médias do LVA tenham sido maiores tanto dentro quanto fora das barraginhas, o teste estatístico não apontou diferença significativa entre eles.

Levin et al. (2000) avaliaram a influência da crosta superficial nas taxas de infiltração de água medidas com simulador de chuva e anéis concêntricos e concluíram que as VIBs determinadas por estes dois dispositivos devem ter seus valores corrigidos considerando as condições de manejo, principalmente aquelas relacionadas com a existência e formação de crosta superficial e com a presença de cobertura vegetal.

5.2 Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica aferida pelo Permeâmetro de Carga Constante em laboratório apresentou alta variabilidade, com CV entre 23,1% e 112,9% na área de CX e entre 20,9% e 165,7%, em LVA. Considerando que a distribuição dos dados é log-normal, tal comportamento é considerado natural.

Segundo Lima e Silans (1999), a K_s é um dos atributos com maior coeficiente de variação, alcançando valores de CV da ordem de 226,1%, como encontrado por Azevedo (2004) em solo sob pastagem. De acordo com esses mesmos autores, a variação seria dependente da macroporosidade, da distribuição de partículas e da D_s , além da existência de caminhos preferenciais ao longo de macroporos e ou ao longo das raízes.

Abaixo são apresentados os resultados de Ks juntamente com os desvios padrão e os coeficientes de variação para cada solo trabalhado em cada camada.

Tabela 3. Desvio Padrão (DP) e Coeficiente de Variação (CV) para Condutividade Hidráulica (Ks) das amostras coletadas em área de CX.

Intervalo da Camada	Cambissolo			Latossolo Vermelho-Amarelo		
	Ks	DP	CV	Ks	DP	CV
m	mm.h ⁻¹	mm.h ⁻¹	%	mm.h ⁻¹	mm.h ⁻¹	%
Barraginha A						
0,025 - 0,075	33,7	20,0	59,3	106,3	115,6	108,7
0,125 - 0,175	69,0	22,5	32,6	123,4	116,1	94,0
0,275 - 0,325	152,3	54,9	36,1	219,9	286,6	130,3
0,575 - 0,625	121,9	85,7	70,3	27,1	44,9	165,7
Barraginha B						
0,025 - 0,075	56,5	27,7	49,1	90,9	44,7	49,2
0,125 - 0,175	55,0	54,0	98,1	107,8	35,8	33,3
0,275 - 0,325	77,2	65,2	84,5	154,4	206,0	133,5
0,575 - 0,625	213,0	161,7	75,9	67,3	91,5	136
Barraginha C						
0,025 - 0,075	50,9	43,4	85,2	104,9	43,6	41,5
0,125 - 0,175	79,0	70,2	88,9	103,4	86,3	83,5
0,275 - 0,325	89,1	100,5	112,9	87,2	41,9	48
0,575 - 0,625	101,6	23,4	23,1	156,8	107,8	68,8
Fora						
0,025 - 0,075	146,2	122,9	84,1	133,2	27,8	20,9
0,125 - 0,175	183,4	139,4	76	97,3	51,3	52,7
0,275 - 0,325	154,8	46,4	30	28,5	23,3	81,7
0,575 - 0,625	194,9	53,4	27,4	130,6	75,2	57,6

Aplicando-se o teste F para análise das variâncias obtidas dentro e fora das barraginhas, em cada uma das camadas, as diferenças encontradas foram poucas. Observou-se que no CX, não houve igualdade de variância nas camadas de 0,05 e 0,15m. Porém, o teste de comparação de médias acusou diferença significativa nas duas profundidades para variâncias iguais. Tal acontecimento pode ser explicado pela ocorrência de *outliers* nos resultados obtidos durante a execução do método, o que é comum, caso haja a presença de fragmentos rochosos ou vazios dentro da amostra que podem resultar numa barreira à passagem da água

ou em um caminho preferencial da água, traduzindo-se em valores muito acima ou muito abaixo da média o que pode não ser significativos em uma área extensa, mas que provoca um efeito grave já que o método utiliza amostras indeformadas em cilindros de apenas 94 cm³ de solo.

Nas áreas de LVA, os resultados encontrados nas camadas de 0,15 e 0,30 m chama a atenção, pois as médias de Ks registradas dentro das barraginhas foram superiores às registradas fora. Chegou-se aos valores de 111,53 mm.h⁻¹ e 97,3 mm.h⁻¹, dentro e fora, respectivamente, na camada de 0,15 m e 153,8 mm.h⁻¹ e 28,5 mm.h⁻¹ na camada de 0,30m. Aplicando os testes estatísticos, apenas a camada de 0,30 m apresentou diferença significativa tanto para as variâncias quanto para as médias.

Borges et al. (2009) fazendo a avaliação dos parâmetros físico-hídricos de um LV sob pastejo e Cerrado natural encontraram valores médios de Ks de 121,2 mm.h⁻¹ para área de Cerrado, utilizando o permeâmetro de Guelph, a uma profundidade de 0,10 a 0,15 m. No mesmo estudo, os valores encontrados nas camadas de 0,70 a 0,80m foi de 124 mm.h⁻¹. Os valores encontrados por Borges et al. (2009) foram inferiores aos valores encontrados neste estudo para as camadas de 0,15 e 0,60 m, o que revela que nem sempre uma área de Cerrado natural apresenta média maior de Ks do que áreas antropizadas. No entanto, deve-se considerar que o Permeâmetro de Guelph faz a determinação de Ks em campo enquanto o Permeâmetro de Carga Constante é um método de laboratório.

Ainda assim, muitos dos valores de Ks determinados dentro das barraginhas foram superiores ou muito próximos a valores de referência do Cerrado e alguns superiores às médias de VIB determinadas pelo infiltrômetro de anéis concêntricos. Tal fato sugere que a diminuição na capacidade de infiltração de água no interior destas estruturas pode estar relacionada à uma condição de superfície, uma faz que as amostras indeformadas são retiradas

a diversas profundidades não representando qualquer influência da condição encontrada na superfície.

As principais diferenças entre os dois métodos utilizados para determinação da VIB e do Ks residem no fato do infiltrômetro de anéis concêntricos se tratar de um método de campo e é aplicado à superfície enquanto o permeâmetro de carga constante consiste em um método de laboratório e trabalha com amostras de pequenos volumes de solo.

5.3 Textura, Densidade do Solo, Porosidade e Matéria Orgânica

Abaixo estão descritos os resultados obtidos para cada uma das camadas, sendo a Tabela 4 referente ao CX e a Tabela 5 ao LVA.

Tabela 4. Densidade do solo (Ds); volume total de poros (VTP); matéria orgânica (M.O) e granulometria das amostras em área de CX, Núcleo Rural Pipiripau - Planaltina/DF.

Camada	Intervalo da Camada	Ds ⁽¹⁾	VTP ⁽¹⁾	MO	Areia	Silte	Argila
m	m	g.cm ⁻³	cm ³ .cm ⁻³	%	g.kg ⁻¹		
Barraginha A							
0	0,000 - 0,025	-	-	0,66	510,4	216,0	273,6
0,05	0,025 - 0,075	1,36	0,49	0,59	577,7	151,1	271,2
0,15	0,125 - 0,175	1,41	0,46	0,38	593,7	122,3	284,0
0,30	0,275 - 0,325	1,33	0,50	0,24	570,8	208,0	221,2
0,60	0,575 - 0,625	1,24	0,53	0,06	555,8	228,4	215,8
Barraginha B							
0	0,000 - 0,025	-	-	1,91	500,8	190,4	308,8
0,05	0,025 - 0,075	1,46	0,45	0,77	641,4	111,8	246,8
0,15	0,125 - 0,175	1,22	0,54	0,89	594,7	166,7	238,6
0,30	0,275 - 0,325	1,40	0,47	0,72	638,6	131,4	230,0
0,60	0,575 - 0,625	1,26	0,52	0,49	612,2	133,4	254,4
Barraginha C							
0	0,000 - 0,025	-	-	0,97	237,4	330,0	432,6
0,05	0,025 - 0,075	1,29	0,51	1,11	410,5	192,3	397,2
0,15	0,125 - 0,175	1,33	0,50	0,99	433,6	192,8	373,6
0,30	0,275 - 0,325	1,34	0,49	0,81	517,3	222,7	260,0
0,60	0,575 - 0,625	1,23	0,54	0,69	533,8	230,0	236,2
Fora							
0	0,000 - 0,025	-	-	1,83	619,0	147,2	233,8
0,05	0,025 - 0,075	1,31	0,50	1,31	605,3	154,5	240,2
0,15	0,125 - 0,175	1,30	0,51	1,04	637,3	132,7	230,0
0,30	0,275 - 0,325	1,29	0,51	1,20	607,6	164,0	228,4
0,60	0,575 - 0,625	1,26	0,52	1,08	611,7	153,1	235,2

⁽¹⁾Não foi determinada Ds e PT na superfície em virtude da impossibilidade de se retirar amostras não deformadas.

Embora a mancha de CX onde foi realizado o experimento esteja classificado no mapa Mapa Pedológico Digital (REATTO et al., 2004) como um CX de textura argilosa, os resultados das análises de textura realizadas mostram um solo com textura média, onde a maioria dos valores de argila encontrados estão na faixa entre 15 e 35%.

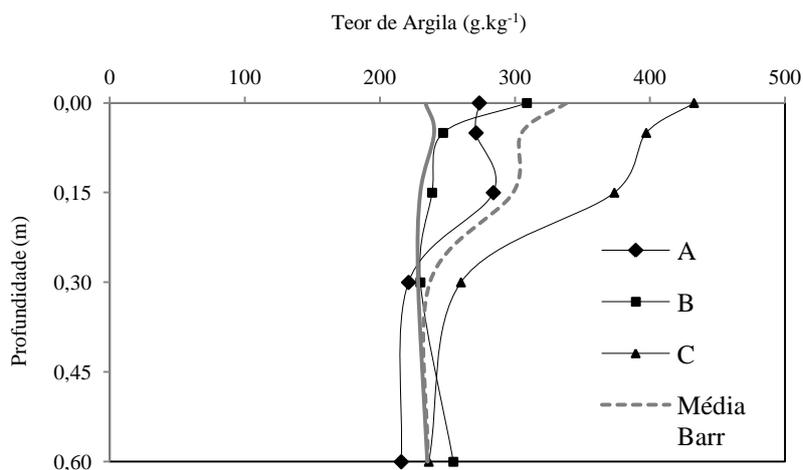


Figura 14. Conteúdo de argila determinado pelo método da Embrapa (1997) para o Cambissolo.

Tabela 5. Densidade do solo (D_s); volume total de poros (VTP); matéria orgânica (M.O) e granulometria das amostras coletadas em área de LVA, Núcleo Rural Jardim - Planaltina/DF.

Camada	Intervalo da Camada	$D_s^{(1)}$	VTP ⁽¹⁾	M.O	Areia	Silte	Argila
m	m	$g.cm^{-3}$	$cm^3.cm^{-3}$	%	g.kg ⁻¹		
Barraginha A							
0	0,000 - 0,025	-	-	0,68	712,9	74,3	212,8
0,05	0,025 - 0,075	1,22	0,54	0,90	648,7	109,5	241,8
0,15	0,125 - 0,175	1,25	0,53	0,72	694,2	82,0	223,8
0,30	0,275 - 0,325	1,18	0,55	0,65	713,3	48,7	238,0
0,60	0,575 - 0,625	1,42	0,46	0,54	604,1	56,5	339,4
Barraginha B							
0	0,000 - 0,025	-	-	1,60	283,0	333,6	383,4
0,05	0,025 - 0,075	1,45	0,45	0,73	653,3	73,5	273,2
0,15	0,125 - 0,175	1,40	0,47	0,65	690,4	50,2	259,4
0,30	0,275 - 0,325	1,31	0,50	0,74	659,6	68,2	272,2
0,60	0,575 - 0,625	1,39	0,48	0,50	658,8	60,6	280,6

Camada	Intervalo da Camada	D _s ⁽¹⁾	VTP ⁽¹⁾	M.O	Areia	Silte	Argila
m	m	g.cm ⁻³	cm ³ .cm ⁻³	%	g.kg ⁻¹		
Barraginha C							
0	0,000 - 0,025	-	-	0,15	807,3	25,9	166,8
0,05	0,025 - 0,075	1,45	0,45	0,21	776,1	45,5	178,4
0,15	0,125 - 0,175	1,44	0,46	0,39	712,3	73,1	214,6
0,30	0,275 - 0,325	1,43	0,46	0,55	742,0	72,0	186,0
0,60	0,575 - 0,625	1,38	0,48	0,79	663,4	86,0	250,6
Fora							
0	0,000 - 0,025	-	-	1,80	670,4	96,8	232,8
0,05	0,025 - 0,075	1,37	0,48	1,49	690,3	80,1	229,6
0,15	0,125 - 0,175	1,35	0,49	1,40	713,8	58,6	227,6
0,30	0,275 - 0,325	1,44	0,46	1,44	687,4	98,2	214,4
0,60	0,575 - 0,625	1,29	0,51	1,73	669,8	82,0	248,2

⁽¹⁾Não foi determinada D_s e PT na superfície em virtude da impossibilidade de se retirar amostras não deformadas.

Já com relação ao LVA, os teores de argila encontrados estão de acordo com a classificação do Mapa Pedológico Digital (REATTO et al., 2004) descreve um LVA de textura média.

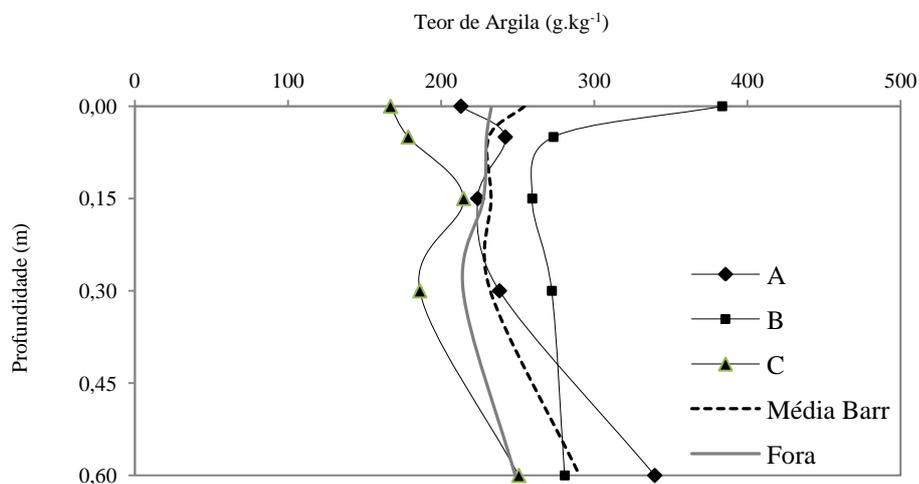


Figura 15. Conteúdo de argila determinado pelo Método da Embrapa (1997) para o Latossolo Vermelho-Amarelo.

Cabe lembrar que as barraginhas são escavadas às margens das estradas, tendo sido removido de 1,0 m a 1,5 m de profundidade do solo para sua construção. Assim, com exceção das amostras de fora das barraginhas, a referência às camadas feitas com relação às amostras, não representam a profundidade real com relação à superfície do solo original, portanto, perderam a referência pedogenética.

Os dois solos trabalhados apresentaram teores de areia que podem ser considerados altos para solos do Cerrado encontrados no DF, que geralmente apresentam textura mais argilosa. Considerando um LV distrófico moderado com textura argilosa, Borges et al. (2009) encontraram valores médios aproximados de 580 g.kg⁻¹ de argila, 90 g.kg⁻¹ de silte e 330 g.kg⁻¹ de areia total. Já Papa et al. (2011) encontrou valores de argila variando entre 481,0 g.kg⁻¹ a 698,0 g.kg⁻¹ em LVA do DF sob vegetação nativa do Cerrado. No entanto, Silva et al. (2006) encontraram valores mais próximos aos determinados neste estudo, para LV, 524 g.kg⁻¹ de argila, 125 g.kg⁻¹ de silte e 321 g.kg⁻¹ de areia total.

É comum haver uma variação nos teores de areia, silte e argila dos solos, e quando analisa-se os valores obtidos de Ds e PT, percebe-se que a densidade acima de 1,0 g.cm⁻³ condiz com os maiores teores de areia encontrados nos solos, uma vez que as partículas de areia são mais densas.

Sabe-se que solos de texturas grosseiras, possuem maior quantidade de macroporos que os de textura fina e, conseqüentemente, apresentam maior condutividade hidráulica e taxa de infiltração. Entretanto, segundo Fiorin (2008), os solos argilosos bem estruturados, ou com estrutura estável, podem apresentar maiores taxas de infiltração do que os com estrutura instável, que sofrem dispersão quando umedecidos ou submetidos a algum agente desagregador. A estabilidade dos agregados é determinada pelos chamados agentes cimentantes, que são representados, principalmente pela matéria orgânica e pelos óxidos de

Fe e Al. Dessa forma, a medida que aumentam estes compostos no solo, maior é a possibilidade dos agregados apresentarem estruturas mais estáveis (SILVA e KATO, 1997).

Quanto aos valores de Ds e PT, não houve diferença significativa entre os valores obtidos dentro e fora das barraginhas tampouco entre os tipos de solo trabalhados quando aplicados os testes estatísticos propostos neste estudo. No entanto, as médias obtidas para Ds foram superiores aos valores usualmente encontrados para áreas de Cerrado natural de textura argilosa ou média. Borges et al. (2009) encontraram para área de Cerrado natural valores abaixo de $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$ nas camadas variando de 0 a 0,80 m. No entanto, em áreas de Cerrado antropizado e áreas cultivadas com pastagem os autores mediram valores que ultrapassam $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$, chegando a valores de 1,20 e $1,19 \text{ g.cm}^{-3}$.

Em outro estudo, Silva et al. (2008) encontraram valores de 1,61, 1,52 e $1,47 \text{ g.cm}^{-3}$ em áreas cultivadas com plantio direto de soja e milho, pastagem e cerrado nativo pastejado, respectivamente, avaliando as camadas superficiais de um LVA distrófico. Valores característicos de solos com textura franco-arenosas.

Silva et al. (2006) também encontraram densidade em torno de $1,20 \text{ g.cm}^{-3}$ em LV distrófico cultivado. Tais densidades podem ser consideradas altas quando comparadas a condição natural de Cerrado que se situa em torno de $0,90 \text{ g.cm}^{-3}$ (SPERA et al., 2000), mas que se justificam pela classe textural do solo. Os valores encontrados neste estudo são característicos de texturas mais arenosas.

A Ds é considerada um indicador de qualidade do solo em sistemas de produção agrícola e de acordo com Alves et al. (2007), quando ocorre a degradação de sua estrutura, o efeito imediato é no seu aumento, acarretando a redução da macroporosidade. Os autores afirmam ainda que em solos degradado há relação inversa entre Ds e PT. Para Silva e Kato (1998), solo descobertos apresentam forte redução na taxa de infiltração de água em relação aos solos protegidos por palha, por exemplo, assim, tanto a elevação da Ds quanto a redução

da macroporosidade podem estar associadas à baixa cobertura vegetal do solo e possível grau de compactação do solo, realidade encontrada na maioria das barraginhas. Tal fato pode estar relacionado à ocorrência de selamento superficial em função do impacto das gotas de chuva e também pela ausência de raízes e fatores que contribuam para manter o solo estruturado.

Goedert (2005) propõe parâmetros para avaliação da qualidade do solo sob uso agrícola, determinados na camada superficial de Latossolos tropicais, que são valores inferiores a $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$ para Ds e superiores a $0,60 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ para PT. Embora as barraginha não sejam utilizadas para fins agrícolas, sabe-se que áreas agrícolas devem apresentar boa taxa de infiltração de água e mesmo suas áreas adjacentes devem apresentar boa cobertura vegetal para garantia de uma boa taxa de infiltração e controle de erosão. Assim, a melhoria destes atributos no solo do interior das barraginhas poderia acarretar também melhoria na sua capacidade de infiltração de água.

Com relação aos resultados de MO, encontrou-se valores percentuais não expressivos. Quando comparados os resultados obtidos dentro e fora das barraginhas, os testes estatísticos acusaram diferenças significativas em todas as camadas avaliadas para o LVA, com exceção da superfície, e nas camadas mais profundas de 0,30 e 0,60 m para o CX. Ou seja, a quantidade de MO fora das barraginhas, onde os valores de VIB também foram significativamente maiores houve uma correlação positiva da MO com a infiltração da água no solo.

Como já mencionado anteriormente, o aumento no teor de MO pode favorecer a infiltração de água no solo, contribuindo para a estabilidade dos agregados e protegendo a superfície do solo contra os agentes erosivos. Assim, manejos que proporcionem o aumento no percentual da MO no interior das barraginhas pode contribuir para o aumento da VIB, aumentando a possibilidade destas estruturas contribuírem para a recarga efetiva dos aquíferos e lençóis freáticos. Esse aumento de MO pode ser obtido por meio da manutenção de

vegetação no interior das barraginhas, fazendo com que o solo fique permeado por raízes as quais crescem e morrem, deixando bioporos e estruturando o solo.

6. CONCLUSÕES

1. A capacidade de infiltração dentro das barraginhas, em um Latossolo e em um Cambissolo do Distrito Federal, foi cerca de 3,5 vezes menor do que aquela obtida fora dessas estruturas.
2. Não foi possível identificar eventuais mudanças nas características físico-hídricas dos solos que justifiquem as reduções significativas verificadas no processo de infiltração da água nas barraginhas.
3. Os valores de Velocidade de Infiltração Básica (VIB) obtidos neste estudo podem servir como referência para estudos de modelagem matemática que buscam avaliar o impacto de barraginhas no ciclo hidrológico de bacias hidrográficas. Fora das barraginhas os valores médios medidos foram de 471 mm.h^{-1} e 302 mm.h^{-1} , para um Latossolo e um Cambissolo, respectivamente, enquanto dentro das barraginhas os valores foram de 136 e 90 mm.h^{-1} para os mesmos ambientes.
4. As barraginhas não podem ser inseridas de forma indiscriminada em programas de manejo e conservação do solo e da água como bacias que favorecem a infiltração de água no solo, sendo sua principal função fazer a captação e retenção do escoamento superficial.

7. SUGESTÕES

O efeito de operações de descompactação do solo (escarificação subsolagem) ou mesmo preparo de solo tem sido relatado como temporário (poucos meses a um ano), tanto no Brasil (SILVA et al., 2012) quanto no mundo (TIM CHAMEN et al., 2015), requerendo intervenções constantes, as quais apresentam custos e contribuem para desestruturação do solo e redução da matéria orgânica por mineralização. Como sugestão para se aumentar a

infiltração de água no interior da barraginha, a manutenção de vegetação permanente com gramíneas de hábito estolonífero, crescimento agressivo e que proporcionem boa cobertura do solo, resistindo a períodos de inundação poderia contribuir. Uma planta que apresenta tais características é a Braquiária humidícola (CRISPIM e BRANCO, 2002; SILVA et al., 2007), que poderia fazer parte de estudos futuros.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A. e PRISKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.337-344, 2002.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S. e SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 31:617-625, 2007.

ANA - Agência Nacional de Águas. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Estudo Técnico. **Caderno de Recursos Hídricos**. Agência Nacional de Águas. p. 123 2005.

ANA - Agência Nacional de Águas. Programa Produtor de Águas. **Site da Agência Nacional de Águas**, 2011. Disponível em: <<http://produtordeagua.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 Novembro 2015.

AZEVEDO, E. C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no Estado de Mato Grosso**. 2004.158p. (Tese de Doutorado) Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2004.

BASTOS, C.A.; MILITISKY, J. e GEHLING, W. A avaliação da erodibilidade dos solos sob o enfoque geotécnico – pesquisas e tendências. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, 1: 17-25, 2000.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H. e GARDNER, W.. R. **Soil physics**. 4. ed. 1972.

BERNARDO,S.; SOARES, A.A. e MANTOVANI,E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Atual e Ampl., Viçosa: UFV, 2008. 625p.

BERTOL, I.; MAFRA, A. L. e COGO, N. P. **Conservação do solo em pastagens**. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J.C.; SILVA, S. C. e FARIA, V. P., eds. As pastagens e o Meio Ambiente. In: **Anais do 23º Simpósio sobre Manejo da Pastagem**, Piracicaba: FEALQ, 2006. p.139-163.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 5ª Edição . São Paulo : Ícone, 355p. 2005.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA A. P. DA; ROQUE, C. G. e FERRAZ, A. P. DA. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.575-580, 2004.

BORGES, T. A.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, E. M. da e GOEDERT, W. J . Avaliação de parâmetros físico-hídricos de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, v. 13, p. 18-25, 2009.

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

BUDIMAN, M.; MC BRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M. L. e SANTOS, H. G. **Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do Solo** - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, Documentos n. 45, 2003. 50 p.

CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Plano de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau**. Brasília, DF. 2001.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. e VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física do solo do Instituto Agronômico de Campinas. Boletim técnico 106, p. 55-61. **Instituto Agrônômico: Campinas**, 2009. 77p.

CASARIN, R. D. **Controle de erosão em estradas rurais não pavimentadas, utilizando sistema de terraceamento com gradiente associado a bacias de captação**. 2008. 89p. (Dissertação de Mestrado) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo, Campus Botucatu, SP, 2008.

CECÍLIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F. e SILVA. D. D. Modelo para estimativa da infiltração de água e perfil de umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 37:411-421, 2013.

CECÍLIO, R. A.; SILVA. D. D.; PRUSKI, F. F. e MARTINEZ, M. A. Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.3, p.415-422, 2003.

CHAVES, H. M. L. e PIAU, L. P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 32:333-343, 2008.

CHAVES, T. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; JÚNIOR, O. A. C.; BRAGA, A. R. S. e GUIMARÃES, R. F. Mapa de Erodibilidade dos Solos da Bacia do Rio Jardim-DF. **Espaço & Geografia**, Vol.13, No 2, 253:276, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Anuário CNT do transporte – estatísticas consolidadas 2016.** – 2ª tiragem. – Brasília: CNT, 2016. 209 p.:il. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/>. Acesso em: 17 de abril de 2017.

COSTA, E. L.; SILVA, A. M.; COLOMBO, A. e ABREU, A.. R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.131-134, 1999.

CRISPIM, Sandra Mara Araújo; BRANCO, Oslain Domingos. Aspectos gerais das braquiárias e suas características na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS. Embrapa Pantanal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 2002.

CUNHA, M. C.; THOMAZ, E. L. e VESTENA, L. R. Medidas de Controle de Erosão em Estradas Rurais na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-PR. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, 25 (1): 107-118, jan/abr.2013

DISTRITO FEDERAL, Cartilha do plano de manejo e conservação da água e do solo em áreas de produção rural no Distrito Federal. **Secretaria de Estado de Agricultura, Abastecimento e Desenvolvimento Rural**. Abril, 2015.

DISTRITO FEDERAL, Decreto Distrital nº 37.976 de 24 de janeiro de 2017. Decreta situação de emergência e determina restrições para o uso de água no Distrito Federal. **Diário Oficial do Distrito Federal - DODF**, Edição nº18, página 01, publicado dia 25 de janeiro de 2017.

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. **Conjuntura Socioeconômica Rural – RA VI Planaltina: Unidades Locais: Rio Preto Taquara, Tabatinga, Planaltina e Pípiripau**. Brasília: Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento/ SEAPA-DF, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Captação de Águas Superficiais de Chuvas em Barraginhas**. Circular Técnica 2. Sete Lagoas, MG, 2000. 16p: Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/484688>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Características Físico-Hídricas e Disponibilidade de Água no Solo**. Circular Técnica 21. Sete Lagoas, MG, 2003.

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

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, 2013. 353p.

ESPÍRITO SANTO, A.F.do **Condutividade hidráulica saturada em função do tipo e uso do solo e método de determinação**. 2011. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

FERRIGO, S.; TÁVORA, B. E.; MINOTI, R. T.; LIMA, J. E. F. W. e KOIDE, S. Avaliação de possíveis impactos das mudanças climáticas e do uso do solo sobre a produção de

sedimentos em bacia hidrográfica no Distrito Federal. Trabalho apresentado no **XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, João Pessoa, 2014.

FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções** (2008). 97p. (Tese de Doutorado) Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2008.

GHIBERTO, P. J. e MORAES, S. O.. Comparação de Métodos de Determinação da Condutividade Hidráulica em um Latossolo Vermelho-Amarelo **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 35:1177-1188, 2011.

GOEDERT, W. J. Qualidade do solo em sistemas de produção agrícola. In: **Congresso Brasileiro de Ciências do Solo**, 30., 2005, Recife. *Anais...*Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROOM

GONÇALVES, A. D. M. A. e LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica no solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 37:1174-1184, 2013.

GRACE III, J. M.; RUMMER, B.; STOKES, B. J. e WILHOIT, J. Evaluation of erosion control techniques on forest roads. Transactions of the ASE. **American Society of Agricultural Engineers**. vol. 41(2):383-391, 1998.

GRIBBIN, J. E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. Tradução da 4ª edição norte-americana. CENAGE Learning, Trilha, 2009.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F. e DA SILVA, J. M. A. **Controle da erosão em estradas não pavimentadas**. In: PRUSKI, F. F. Conservação do Solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Editora UFV, 279p. 2009. p. 166-215.

HUDSON, N. W. **Soil Conservation**. 3. Ed. Ithaca, New York: Cornell University, 1995.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em: em 01 de dezembro de 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, Séries estatísticas 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=df>. Acesso em: em 14 de abril de 2017.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo APA da Bacia do Descorberto**. Ministério do Meio Ambiente, 2014.

JACOMINE, P.K.T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, Recife, vols. 5 e 6, p.161-179, 2008-2009.

JONES, J. A. e GRANT, G. E. Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon. **Water Resources Research**, vol.32, no.4, p.959-974, 1996.

KIDWELL, M. R.; WELTZ, M. A. e GUERTIN, D. P. Estimation of Green-Ampt effective hydraulic conductivity for rangelands. **Journal of Range Management**, v. 50, n. 3, p. 209-299, 1997.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. **American Society of Agronomy**, Madison, USA, 1965. p.210-221.

LANGHANS, C.; GOVERS, G.; DIELS, J.; CLYMANS, W. e van den PUTTE, A. Dependence of effective hydraulic conductivity on rainfall intensity: Loamy agricultural soils. **Hydrol. Process.**, 24:2257-2268, 2010.

LE BISSONNAIS, Y. **Soil characteristics and aggregate stability**. Soil Survey Staff of France, National Institute for Agronomic Research, Orleans, France. In: AGASSI, M.(editado por) **Soil Erosion, Conservatio, and Rehabilitation**. Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc.402 p. 1995. p.41-60.

LEVIN, R.; DE JONG VAN LIER, Q. e ALVES, A. G. C. Influence of surface crust on water infiltration rates measured by a rotating-boom rainfall simulator and a double-cylinder device. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 24:479-486, 2000

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. Editora da Universidade de São Paulo, 2ed. (Acadêmica; 61), 2012.

LIMA, C. A. G. e SILANS, A. P. DE. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p.2311-2320, dez. 1999.

LIMA, J. E. F. W. **Modelagem numérica do fluxo da água no solo e do escoamento de base em uma bacia experimental em área agrícola no Cerrado (Distrito Federal)**. 2010. 312p. (Tese de Doutorado) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.

LIMA, J. E. F. W. Situações e perspectivas sobre as águas do cerrado. **Ciência e Cultura. Sociedade brasileira para o progresso da ciência** vol.63. no. 3 São Paulo, SP, 2011.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI, JR. e LEPSH, T.F. **Terraceamento agrícola do Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Coordenadoria de Assistência Integral, 1994. 39 p. (Boletim Técnico, 206)

LUGO, A. E. e GUCINSKI, H. Function, effects, and management of forest roads. **Forest Ecology and Management** 133, 249±262. 2000.

MARQUES, J.D.; LIBARDI, P.L. e JONG van LIER, Q. Relação entre horizontes pedológicos e propriedades hidráulicas em dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 26:567- 577, 2002

MASSAM, J. W. A Design Manual for Sizing Infiltration Ponds. **Final Research Report** Research Project Agreement No. Y8265 Implementation of Infiltration Ponds Research Washington State Transportation Commission Department of Transportation and in cooperation with U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, October 2003.

- MEDRADO, E. e LIMA, J.E.F.W. Development of pedotransfer functions for estimating water retention curve for tropical soils of Brazilian savanna. **Geoderma Regional** **1**. 59-66, 2014.
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S.O. e CORRENTE, J. E. More adequate probability distributions to represent the saturated soil hydraulic conductivity. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v.59, n.4, p.789-793, 2002.
- MIRANDA, A. C. R.; DA SILVA, D. P.; MELLO, E. L. e PRUSKI, F. F. **Implantação, avaliação e monitoramento de práticas mecânicas para conservação de solo e água**. In: PRUSKI, F. F. Conservação do Solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Editora UFV, 279p. 2009. p.216-259.
- MORAIS, DE F. Infiltração – uma variável geomorfológica. **Caderno de Geografia**, v.22, n.38, 2012.
- MUBARAK, I.; ANGULO-JARMILLO, R.; MAILHOL, J.C.; RUELLE, P.; KHALEDIAN, M. e VAUCLIN, M. Spatial analysis of soil surface hydraulic properties: Is infiltration method dependent? **Agricultural Water Management**, 97:1517-1526, 2010.
- ODA, S.; FERNANDES JÚNIOR, J. F. e SÓRIA, M. H. A. **Implantação, localização e manutenção de estradas**. Departamento de Transporte - EESC-USP, Universidade de São Paulo, 2007.
- OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 27:211-222,2003.
- OTTONI FILHO, T. B.; OTTONI, M.V.; OLIVEIRA, M.B. e MACEDO, J.R. Estimation of field capacity from ring infiltrometer-drainage data. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. vol.38 no.6 Viçosa Nov./Dec. 2014.
- PAIXÃO, F. J. R.; ANDRADE, A. R. S. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE; SILVA, J. M. e FEITOSA, R. M. Estimativa da infiltração da água no solo através de métodos empíricos e funções não-lineares. **Revista Biológica de Ciência da Terra**, v.5, p. 50-60, 2005.
- PIRES, F. R. e SOUZA, C. M. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. Produção Independente.3ª Edição, 2006.
- POTT, C. A. e DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 27:19-27, Press, 324p. 2003.
- PREVEDELLO, C. L. **Física do Solo com Problemas Resolvidos**. Curitiba: SAEAFS, 1996.
- PRUSKI, F. F. **HIDROS: dimensionamento de sistemas hidrogríolas**. Viçosa: UFV, 2006.
- PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; DA SILVA, J. M. A. e OLIVEIRA, J. R. S. **Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica em áreas agrícolas**. In: PRUSKI, F. F. Conservação do Solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Editora UFV, 279p. 2009. p. 132-165.

PRUSKI, F.F. ; SILVA, D. D. e BRANDÃO, V.S. **Infiltração da água no solo: manejo de solos, percolação da umidade dos solos.** Viçosa: Editora UFV, 98 p. 2003.

REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T.; CHAGAS, C.S.; MARTINS, E.S.; ANDAHUR, J.P.; GODOY, M.J. e ASSAD, M.L.C..L. **Levantamento semidetalhado da bacia do Rio Jardim, DF, escala1: 50.000.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000.

REATTO, A.; MARTINS, E. de S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V. e CARVALHO JR, O. A. **Mapa Pedológico Digital - SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo.** Documento 120, EMBRAPA Cerrados. Planaltina, DF. 2004. 31p.

REID, L. M. e DUNNE, T. Sediment Production From Forest Road Surfaces. **Water Resources Research**, vol.20, no.11, p.1753-1761, 1984.

REIS, A. M. e LIMA, J. E. F. W. Mapeamento do uso e ocupação do solo no distrito federal por unidade hidrográfica de gestão dos recursos hídricos. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável: desafios do conhecimento e da gestão.** Brasília, DF. 2015.

RESCK, D. V.S.; PEREIRA, J. e SILVA, J. E. da. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos Cerrados.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 22p, 1991.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; YOUNGS, E. G.; BOOLTINK, H. W. G. e BOUMA, J. Laboratory Methods. In: DANE, J. H. e TOPP, G.C., co-editores; comitê editorial, CAMPBELL, G. S.; et al. **Methods of Soil Analysis, Part 4-Physical Methods. Soil Science Society of America Book Series.** Wisconsin, USA, 2002. p.802-842.

ROSCOE, R e BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research - Elsevier**, 70. 2003. p 107–119.

SÁ, J. M. **Dinâmica de Matéria Orgânica do Solo e Eficiência Energética de Sistemas Agropecuários de Produção em Latossolo Vermelho de Cerrado.** 2011 (Dissertação de Mestrado) Curso de pós-graduação em Fitotecnia, Instituto de Agronomia Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 112p. 2011.

SANTOS, A. R. dos SANTOS.; PASTORE, E. L.; AUGUSTO JÚNIOR, F. e CUNHA. M.A. **Manual Técnico para Conservação e Recuperação de Estradas Vicinais de Terra.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. 2ª edição: São Paulo, 1988.

SATO, J.H.; FIGUEIREDO, C.C.; LEÃO, T. P.; RAMOS, M.L.G. e KATO, E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.16, n.2, p.189–193, 2012.

SHAINBERG, I. e LEVY, G. J. **Infiltration and Seal Formation Processes.** Institute of Soils and Water, The Volcani Center, Agricultural Research Organization, Bet-Dagan, Israel. In: AGASSI, M. (editado por) **Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation.** Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc. 402 p. 1995. p.1-22.

SILVA, A. S. et al. Biomassa seca da raiz e da parte aérea de cultivares de *Brachiaria brizantha* e de *B. humidicola* alagadas e não alagadas. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. supl 2, p. 123-125, 2007.

SILVA, C. L. e KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.7, p.1149-1158, 1998.

SILVA, C. L. e KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.2, p.213-220, 1997.

SILVA, D. P.; PRUSKI, F.F.; AGOURIDIS, C. T. P.E.; DA SILVA, J.M.A. e MEIRELES FILHO, W.D.M. Model for Designing Infiltration Basins in Tropical and Subtropical Climates with a Focus on Unpaved Roads. Nota Técnica. **Journal of Hydrologic Engineering**, Vol. 19, No 9, 2014.

SILVA, E. M. e AZEVEDO, J. A. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V.37, n.10, p.1487-1494, 2002.

SILVA, E. M.; LIMA, J. E. F. W.; AZEVEDO, J. A. e RODRIGUES, L. N. 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, G. J.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E. C. e MAIA, J. C. S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado Mato-grossense sob diferente formas de uso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 32:2135-2143, 2008.

SILVA, M. L. N., CURI, N.; FERREIRA, M. M., LIMA, J. M. e FERREIRA, D. F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos brasileiros. **Pesquisa agropecuária brasileira** Vol.34 nº.12, 1999.

SILVA, S. G. C. et al. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 547-555, 2012.

SILVA, U. P. A.. **Análise da importância da gestão participativa dos recursos hídricos no ceará: um estudo de caso**. 2004 (Dissertação de Mestrado) Departamento de Economia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. 246p) 2004.

SLACK, D. C. Modeling infiltration under moving sprinkler irrigation systems. **Transactions of ASAE**. v. 23, n. 2, p. 596-600, 1980.

SOUZA, L. D. e REICHARDT, K. Estimativas da capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.183-189, 1996.

SPERA, S.T.; REATOO, A.; CORREIA, J.R. e SILVA, J.C.S. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro no cerrado de Planaltina, DF, submetido à ação do fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p. 1817-1824, 2000.

SPERA, S.T.; REATTO, A.; MARTINS, E. de S. e CORREIA, J.R. Aptidão Agrícola das Terras da Bacia do Rio Jardim, DF. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 27, Embrapa ISSN 1676-918X, Abril, 2002.

TAVARES-FILHO, J. e MAGALHÃES, F. S. Dispersão De Amostras De Latossolo Vermelho Eutroférico Influenciadas Por Pré-Tratamento Para Oxidação Da Matéria Orgânica E Pelo Tipo De Agitação Mecânica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 1429-1435, 2008.

TERRACAP - COMPANHIA IMOBILIÁRIA DE BRASÍLIA. Novo Mapeamento 1:10.000 do DF. Brasília, TERRACAP, 2015. Disponível em: <http://ortofoto.mapa.codeplan.df.gov.br/demo/tms>. Acesso em: 14 de abril de 2017.

TIM CHAMEN, W.C.; MOXEY, A.P.; TOWERS, W.; BALANA, B.; HALLETT, P.D. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. **Soil & Tillage Research**, v.146, p.10-25, 2015.

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

WAGENER, T. e FRANKS, S. Regional hydrological impacts of climate change - impact assessment and decision-making. In: WAGENER, T.; FRANKS, S.; GUPTA, H.V.; BGH, E.; BASTIDAS, L.; NOBRE, C. e GALVÃO, C.O.,eds. **Regional hydrological impacts of climate change-impact assessment and decision-making**. Wallingford, IAHS, p.1-8, 2005.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, 37:29-38, 1934.

WARRICK, A. W. Interrelationships of irrigation uniformity terms. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, 109(3), 1983. p.317-332

WISHMEIER, W. H. e SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Agriculture Handbook, No. 537, Washington: United States Department of Agriculture, 58 p. 1978.

ZUQUETTE, L. V. e PALMA, J. B. Avaliação da condutividade hidráulica em área de recarga do aquífero Botucatu. **R. Esc. Minas, Ouro Preto**, 59(1): 81-87, 2006.