UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

LUCAS DOS SANTOS BATISTA

ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO SOB DIFERENTES USOS NA BACIA DO RIO POXIM

São Cristóvão, SE.

2017

LUCAS DOS SANTOS BATISTA

ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO SOB DIFERENTES USOS NA BACIA DO RIO POXIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos como parte dos requisitos de obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos

Orientador: Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho

Co-orientador: Dr. Clayton Moura de Carvalho

São Cristóvão, SE
2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

B333a

Batista, Lucas dos Santos

Atributos físicos e hídricos em argissolo vermelho amarelo sob diferentes usos na bacia do Rio Poxim / Lucas dos Santos Batista ; orientador Raimundo Rodrigues Gomes Filho. – São Cristóvão, 2017.

66 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, 2017.

1. Recursos hídricos. 2. Velocidade de infiltração. 3. Condutividade hidráulica 4. Mecânica do solo 5. Poxim, Rio, bacia. I. Gomes Filho, Raimundo Rodrigues, orient. II. Título.

CDU: 556.14(813.7)

LUCAS DOS SANTOS BATISTA

ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO SOB DIFERENTES USOS NA BACIA DO RIO POXIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos como parte dos requisitos de obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Aprovada: 17 de fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho

(Orientador)

Prof. Dr. Clayton Moura de Carvalho

(Co-orientador)

Prof. Dr. Alceu Pedrotti

(Banca)

Prof. Dr. Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas

(Banca)

São Cristóvão, SE
2017

RESUMO

As bacias hidrográficas são unidades de planejamento e gerenciamento de gestão ambiental tendo uma grande importância na gestão dos recursos hídricos e na utilização dos mesmos. Para tal, o conhecimento sobre os atributos físicos e hídricos do solo é de suma importância no contexto da dinâmica da água em áreas de recarga de aquíferos. A determinação da velocidade de infiltração de água no solo, condutividade hidráulica, umidade do solo e da resistência mecânica do solo à penetração possibilitam conciliar condições de agregação do solo em relação a cada uso, com isso esses atributos associados favorecem maior infiltração de água no solo, que é considerada uma peça chave no ciclo hidrológico, pois o aumento deste processo pode acarretar em redução da erosão e consequentemente maior recarga do lençol freático. Assim, o presente trabalho teve como finalidade avaliar os atributos físicos e hídricos presente na fitofisionomia da bacia hidrográfica do rio Poxim no Estado de Sergipe, através do uso de cilindro infiltrômetro para determinação da velocidade de infiltração básica e condutividade hidráulica e, também, da resistência mecânica do solo à penetração com auxílio do penetrometro móvel nas áreas de agricultura, eucalipto e floresta nativa. A velocidade de infiltração foi estimada por meio dos modelos matemáticos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e Philip. Ao serem feitas as comparações entre os modelos de estimativas das velocidades de infiltrações básicas, o modelo Horton mostrou uma melhor adequação em comparação aos outros modelos utilizados, e o tipo de cobertura do solo que obteve a maior taxa de infiltração foi a mata nativa. Já para a condutividade hidráulica não houve diferença significativa ($p>0,05$) para os diferentes tipos de cobertura. Na resistência mecânica do solo à penetração os valores foram classificados como moderados à extremamente altas.

PALAVRAS-CHAVE: Velocidade de infiltração, condutividade hidráulica, resistência mecânica do solo à penetração.

ABSTRACT

The watersheds are units of planning and environmental management with a great importance in water resource management and its use. To this end, the knowledge about the physical and hydric soil is of utmost importance in the context of the dynamics of water in areas of recharge of aquifers. The determination of the speed of water infiltration into the soil, hydraulic conductivity, soil moisture and soil mechanical resistance to penetration allow reconcile conditions of soil aggregation for each use, favoring greater water infiltration into the soil, which is considered a key piece in the hydrological cycle, because the increase of this process can lead to a reduction in soil erosion and consequently greater recharge of groundwater. The present study aimed to evaluate the physical attributes and water resources present in the phytophysiognomy of watershed of Poxim river in the Sergipe State, through the use of cylinder infiltrometer for determination of the infiltration rate and hydraulic conductivity and, also, the soil mechanical resistance to penetration with the aid of mobile penetrometer in the areas of agriculture, eucalyptus and native forest. The infiltration rate was estimated by means of mathematical models of Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton and Philip. When comparisons are made between the models of estimates of speeds of infiltration, the model Horton showed a better adequacy in comparison to other models used, and the type of soil cover which had the highest rate of infiltration was the native forest. As for the hydraulic conductivity, there was no significant difference ($p>0,05$) for the different types of soil. In the soil, the mechanical resistance values to penetration were classified as moderate to extremely high.

KEYWORD: Infiltration, hydraulic conductivity, mechanical resistance to penetration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Poxim, no Estado de Sergipe. 19
Figura 2. Fluxograma das operações realizadas para criação do mapa de uso da terra da bacia do rio Poxim, no Estado de Sergipe. 20
Figura 3. Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da bacia do rio Poxim, no Estado de Sergipe. 21
Figura 4. Conjunto de anéis concêntricos duplo. 23
Figura 5. Esquema de infiltração do método de anel concêntrico duplo para a obtenção da condutividade hidráulica. 26
Figura 6. Curva dos valores médios medidos das taxas de infiltrações no plantio direto (PD), cultivo minímo (CM) e cultivo convencional (CC), em função do tempo acumulado. 30
Figura 7. Taxa de infiltração na área do eucalipto. 33
Figura 8. Taxa de infiltração na área de mata nativa. 34
Figura 9. Valores médios das velocidades de infiltração medidos e calculados pelos modelos matemáticos no sistema de cultivo convencional (A), plantio direto (B), cultivo mínimo (C), na área do eucalipto (D) e na área da mata nativa (E). 41
Figura 10. Resistência mecânica do solo à penetração em 0 – 40 cm para o tipo de manejo do solo do plantio direto – PD/cultivo mínimo – CM/cultivo convencional – CC (A), mata nativa (B) e eucalipto – EU (C). 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes do uso da terra na bacia do rio Poxim, no Estado de Sergipe. 21
Tabela 2. Textura dos diferentes tipos de cobertura da terra em um Argissolo Vermelho Amarelo da bacia hidrográfica do rio Poxim, da camada superficial de (0 – 20 cm). 23
Tabela 3. Densidade (Kg dm^{-3}) de um Argissolo Vermelho Amarelo da bacia hidrográfica do rio Poxim nas profundidades de 0 – 10 e 10 – 20 cm submetida a diferentes tipos de manejo do solo. 29
Tabela 4. Resultados dos parâmetros empíricos para os modelos matemáticos utilizados e as equações de Horton, Kostikov, Kostiakov-Lewis e Philip. 35
Tabela 5. Resumo da análise de variância para infiltração de água no solo em função dos tipos de cobertura do solo e diferentes modelos de estimativa..... 37
Tabela 6. Valores médios de velocidade de infiltração básica MN – mata nativa, PD – plantio direto, PM – plantio mínimo, EU – eucalipto, PC – plantio convencional. 38
Tabela 7. Condutividade hidráulica do solo (Ko) em cm h^{-1} à temperatura padrão de 20ºC, com os respectivos coeficientes de variação (CV). 42
Tabela 8. Teor de água do solo de um Argissolo Vermelho Amarelo da bacia hidrográfica do rio Poxim nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm submetida a diferentes tipos de cobertura do solo. 44
Tabela 9. Resumo da análise de variância para resistência mecânica do solo à penetração em função do tipos de cobertura do solo nas diferentes camadas de profundidades. 44
Tabela 10. Médias de interação entre às profundidades aplicadas em relação aos tipos de coberturas do solo amostradas para resistência mecânica do solo à penetração (RMP). 45

SUMÁRIO

RESUMO 5

ABSTRACT 6

LISTA DE FIGURAS 7

LISTA DE TABELAS 8

1. INTRODUÇÃO 10

2. OBJETIVO 12

2.1. Objetivo geral 12

3. REVISÃO DE LITERATURA 13

3.1. Bacia hidrográfica 13

3.2. Uso e cobertura da terra 14

3.3. Umidade do Solo 15

3.4. Velocidade de infiltração básica 16

3.5. Condutividade hidráulica 17

3.6. Resistência do solo à penetração mecânica 19

4. MATERIAL E MÉTODOS 20

4.1. Localização das áreas de estudo 20

4.2. Caracterização da área de estudo 21

4.3. Amostragens em campo 23

4.3.1. Teste de infiltração 24

4.3.2. Condutividade hidráulica 27

4.3.3. Resistência mecânica do solo à penetração 28

4.4. Análise estatística 28

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 30

6. CONCLUSÕES 52

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 53

1. INTRODUÇÃO

Os problemas relacionados à disposição da quantidade de água são reais em algumas áreas do planeta, motivada pela característica edafoclimática como também ação antrópica. Assim, as atenções estão voltadas para as possibilidades de soluções que visem estruturar ambientalmente a capacidade do reabastecimento natural dos mananciais hídricos nessas regiões.

No Brasil, as dificuldades na aplicação ambiental e no gerenciamento dos recursos hídricos eram ainda maiores, pois os órgãos gestores eram desafiados pelas limitações das suas arguições instituídas. Por esse motivo houve à necessidade da criação de políticas de proteção dos recursos hídricos mais atuantes e rigorosas que visasse um planejamento que proporcionasse assegurar qualidade e quantidade de água para diversos tipos de usos. Diante disso, foi criada a Lei 9.433/97 que institui as bacias hidrográficas como áreas fisiográficas drenadas consideradas como representantes das unidades de planejamento ambientais, sendo caracterizadas tanto pelas funcionalidades dos seus elementos como também pela integração de toda área de terra. Porém, mesmo perante a importância do conhecimento funcional das bacias hidrográficas as falhas ou falta de monitoramento hidrológico são presentes.

No manejo das bacias hidrográficas na área dos recursos hídricos é necessário o conhecimento da infiltração da água no solo para solucionar as questões relacionadas à conservação da água. Caracterizada como um sistema de entrada da água através da superfície do solo, a infiltração, favorece ao umedecimento do solo, assim há um decréscimo na taxa de entrada de água no solo, posteriormente atinge um menor valor constante, chamada de velocidade de infiltração básica. A infiltração da água tanto na vertical como na horizontal, é definida no solo pelo uso, tipo e declividade da área. A dinâmica é reflexo de mudanças ocorridas no solo. A textura e estrutura são decisivas na qualidade do solo sendo determinante para obter uma alta condutividade hidráulica.

A condutividade hidráulica é considerada como quantificação do fluxo de água no solo, estando diretamente relacionada à capacidade do solo em conduzir água. Assim a sua determinação é de grande importância para qualquer seguimento que envolva a percolação no solo, como em construções de barragens de terra, avaliação de estabilidade de taludes, investigação da contaminação e da compactação do solo.

A compactação é definida como as alterações nos atributos físicos do solo de modo a reduzir os espaços internos que normalmente são ocupados por água e ar. Além de prejudicar o crescimento radicular, afeta a infiltração e a condutividade hidráulica, ela também provoca

mudanças nos processos químicos e biológicos no solo. Uma propriedade física adotada como indicativo da compactação é a resistência do solo à penetração, o seu conhecimento relacionado ao teor de água é de grande importância, pois permite o manejo adequado do solo. Além de se apresentar como estudo mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo.

Assim, considerando a importância de se obter maiores conhecimentos sobre a recarga da água no lençol freático, pelas características de infiltração da água no solo, condutividade hidráulica e resistência mecânica do solo à penetração e densidade do solo, este trabalho teve como objetivo avaliar esses atributos físicos e hídricos presente na fitofisionomia da bacia do rio Poxim no Estado de Sergipe sob diferentes condições de uso do solo.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Avaliar os atributos físicos e hídricos em um Argissolo Vermelho Amarelo presente na fitofisionomia da bacia do rio Poxim no Estado de Sergipe sob diferentes condições de uso do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma unidade de planejamento e gestão devido ao caráter integrador dos elementos que a constituem, além de ser uma unidade física com fronteiras delimitadas (ALBURQUERQUE; OLIVEIRA, 2015). Ela é o elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico, principalmente em englobar a infiltração e o escoamento superficial. Ela pode ser definida como uma área que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes (ARAÚJO; LOBÃO, 2009).

As características físicas e bióticas de uma bacia hidrográfica desempenham papel de fundamental importância nos processos do ciclo hidrológico, exercendo influência na infiltração, no deflúvio, na evapotranspiração e nos escoamentos superficial e subsuperficial. A geomorfologia e o relevo propriamente ditos agem sobre a taxa de deflúvio, isto é, sobre o regime de disponibilidade de água, consequentemente sobre a taxa de sedimentação. O padrão de drenagem da bacia, ou seja, o caráter e extensão de seus canais vão exercer influência sobre a disponibilidade de sedimentos e a taxa de formação do deflúvio. A estrutura geológica também exerce influência e controle sobre as características físicas da bacia hidrográfica (STIPP et al., 2010).

Os principais componentes das bacias hidrográficas - solo, água, vegetação e fauna - coexistem em permanente e dinâmica interação, respondendo às interferências naturais (intemperismo e modelagem da paisagem) e àquelas de natureza antrópica (uso/ocupação da paisagem), afetando os ecossistemas como um todo. Nesses compartimentos naturais - bacias/sub-bacias hidrográficas, os recursos hídricos constituem indicadores das condições dos ecossistemas no que se refere aos efeitos do desequilíbrio das interações dos respectivos componentes. Assim, pode-se determinar com razoável consistência prioridades nas intervenções técnicas para correção, mitigação e, sobretudo, prevenção de impactos ambientais negativos que ocorram nas bacias/sub-bacias hidrográficas (FERNANDES; SOUZA, 2013).

As bacias hidrográficas, tanto nas áreas urbanas quanto nas áreas rurais sofrem grandes alterações, especialmente, pela impermeabilização excessiva do solo, que gera mudanças na vazão dos cursos de água, redução das áreas de infiltração das águas pluviais, escoamento superficial mais rápida, aumento na frequência de enchentes, que acabam por sua

vez, prejudicando a quantidade e qualidade dos recursos hídricos e, consequentemente, as condições de vida da população (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2009).

A lei das águas (BRASIL, 1997) trouxe uma abordagem inovadora para gestão dos recursos hídricos incorporando princípios de integração, descentralização e participação, assim como instrumentos que visam o planejamento e o ordenamento dos usos múltiplos. Um dos maiores desafios da gestão dos recursos hídricos é garantir a participação efetiva e democrática na primeira instância de deliberação, por esses motivos foram criados os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs)

A gestão dos recursos hídricos tem nas bacias hidrográficas uma estratégia que visa proteger e restaurar a qualidade ambiental e, consequentemente, os ecossistemas aquáticos. Esta abordagem baseia-se na constatação de que muitos dos problemas de qualidade e quantidade de água são evitados ou resolvidos de maneira eficaz por meio de ações que focalizem a bacia hidrográfica como um todo. Portanto, discutir a gestão dos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica significa, sobretudo, abordar as variáveis socioeconômicas (PINHEIRO et al., 2009).

3.2. Uso e cobertura da terra

O uso e a cobertura da terra têm se tornado um tema muito discutido nos diversos níveis do conhecimento, devido às diversas problemáticas que o uso e ocupação desordenados trouxeram ao meio ambiente. Ações desenfreadas a exemplo dos desmatamentos para implantação de agroindústrias, de mineradoras, para a criação de animais, plantações e muitas outras atividades ligadas ao uso e cobertura da terra, se constituem hoje como um dos grandes desafios para as políticas de controle ambientais (ARAUJO; LOBÃO, 2009).

Os conceitos relativos são muito próximos, por isso, muitas vezes são usados indistintamente. Estão associados diretamente com os tipos de cobertura natural ou artificial, que é de fato o que as imagens de sensoriamento remoto são capazes de registrar. Imagens não registram atividades diretamente. Cabe ao intérprete buscar as associações de reflectâncias, texturas, estruturas e padrões de formas para derivar informações acerca das atividades de uso, a partir do que é basicamente informação de cobertura da terra (ARAÚJO et al., 2007). De acordo com Santos (2014), a água disponível nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm nos solos estudados na sub-bacia do rio Siriri/SE está diretamente ligada a características pedológicas e uso ocupação do solo.

Uso, ocupação e cobertura da terra podem ser sintetizados através de mapas sendo a informação mais acessível numa imagem de satélite, pois a mesma permite a visualização e

identificação direta dos elementos ali geometricamente apresentados. Estes indicam a distribuição espacial da tipologia da ação antrópica que pode ser identificada pelos seus padrões homogêneos característicos na superfície terrestre através de análise em imagens remotas sensoriadas. Sua identificação, quando atualizada, é de grande importância ao planejamento e orienta à ocupação da paisagem, respeitando sua capacidade de suporte e/ou sua estabilidade/vulnerabilidade (LEITE; ROSA, 2012). São de grande importância, na medida em que os efeitos do seu uso desordenado causam deterioração no ambiente. Os processos de desmatamento e erosão intensos e os assoreamentos e inundações desenfreados de reservatórios e cursos d'água são consequências do mau uso e ocupação da terra. Assim, verifica-se que o levantamento do uso da terra, em uma determinada região, torna-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço e planejamento de políticas públicas. Entretanto, as medidas para o planejamento do uso da terra têm sido, até recentemente, baseadas em informações fragmentadas e desatualizadas sobre os efeitos do uso do solo no ambiente (PRADO et al., 2007).

Em uma bacia hidrográfica o uso e cobertura da terra são fatores determinantes na degradação ambiental das águas, pois é a partir deles que serão definidos os usos prioritários da bacia (ESPINDULA, 2012). Visto que algumas práticas de usos da terra podem contribuir para a degradação dos ecossistemas. Estas práticas estão associadas principalmente à demanda por produção e à urbanização de áreas sem infraestrutura básica, como o recolhimento e tratamento de resíduos sólidos e líquidos, energia, entre outros. Quando essas atividades são desenvolvidas próximas a ecossistemas aquáticos, podem ter efeito negativo direto na qualidade da água e assim, causar crises na oferta e demanda hídrica (TUNDISI, 2008).

3.3. Umidade do Solo

O conhecimento da umidade do solo é essencial para diversas aplicações, tais como secas, inundações, climatologia e agronomia (PIERDICCA et al., 2015). Ela é uma fonte de água para a atmosfera por processos que conduzem a partir de terra, que incluem principalmente transpiração das plantas e evaporação do solo, levando-se em conta sua importância no sistema climático, a umidade do solo foi reconhecida como um importante variável do clima (SENEVIRATNE et al., 2010).

Um fator que afeta a susceptibilidade de uma bacia hidrográfica a inundações é a umidade do solo, pois ela controla a infiltração de água, portanto, controla o escoamento superficial. (TRUDEL et al., 2014). Embora a umidade do solo represente uma pequena parte

do volume de água do planeta, ela controla a interação entre solo e vegetação. (ZOMARA et al., 2015). Em 2010, a umidade do solo foi introduzida como um das variáveis climáticas fundamentais estabelecidas pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), o sistema de observação do clima global e o comitê de satélites de observação terrestre, entre outros, considerando-o como "tecnicamente e economicamente viável a sua observação" (WMO, 2010). Monitorar a umidade do solo é fundamental para a melhoria de produtividade agrícola, florestal, e no ecossistema. Muito esforço tem se concentrado em medir a umidade do solo utilizando diversas abordagens, desde medição de modelos hidrológicos e redes de comunicações via satélite sensores, que são o único meio prático de mapeamento global (DORIGO et al., 2011).

Conforme Carvalho et al. (2007) atributos físicos como densidade e umidade são indicadores da qualidade do solo, entendendo como qualidade do solo a capacidade deste em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da terra. Já para Guiarez et al. (2009), a umidade influencia linearmente nos valores de densidade do solo.

3.4. Velocidade de infiltração básica

A infiltração é um processo dinâmico e inicialmente, seu valor é elevado, diminuindo com o tempo, até se tornar constante no momento em que o solo fica saturado, atingindo assim a velocidade de infiltração básica (VIB), o seu conhecimento é de fundamental importância para definir os métodos de conservação do solo, planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem (CUNHA et al., 2009). A infiltração da água no solo deve ser mensurada por meio de técnicas capazes de representar, adequadamente, as condições naturais em que se encontra o solo (CUNHA et al., 2011).

Os modelos de infiltração podem ser divididos em duas categorias: empírico e teórico (HABILI; HEIDARPOUR, 2015). Assim, apresentam coeficientes que podem ser calculados a partir das equações teóricas ou serem estimados por meio de regressão a partir de dados de infiltração medidos no campo (TOMASINI et al., 2010). Apesar da disponibilidade de um grande número de modelos de infiltrações, alguns disponíveis têm sido muito populares e frequentemente utilizados em várias aplicações em recursos hídricos mundiais, devido à sua simplicidade e produzindo razoavelmente satisfatórios os resultados na maioria das aplicações (ULOMA et al., 2014). Há exemplo dos empíricos que apresentam vantagens, pois a característica do solo se relaciona com os parâmetros do modelo, sem que tenha obrigação um significado físico e também abrange a determinação de suas constantes, lembrando que são de

difíceis considerações nos modelos teóricos. Porém, sua principal dificuldade são os ajustes que só são válidos para as condições que as equações dos modelos foram determinadas, não podendo ser empregadas em outros solos, que possuem características diferentes (SOUZA, 2011).

O modelo muito empregado em manejo de irrigação é a equação de Kostiakov-Lewis, normalmente utilizado para a estimativa da infiltração acumulada, cujos parâmetros não têm significado físico próprio e são estimados a partir de dados experimentais. Já o modelo de Horton, é considerado mais consistente que o de Kostiakov-Lewis, é escrito na forma de uma função exponencial (DALRI et al., 2010). Ambos apresentam coeficientes que podem ser calculados a partir de dados de infiltração medidos em campo (PERTUSSATTI et al., 2011). Dentre todos os modelos de infiltração, Kostiakov e Philip são dois dos mais populares. O modelo empírico de Kostiakov é derivado, usando os dados observados, quer no campo ou no laboratório e o teórico de Philip pode ser calculado por métodos numéricos ou por meio de análise de regressão, a partir de medições da infiltração, esse modelo foi baseado na equação de Richards (ULOMA et al., 2014).

Cunha et al. (2009), trabalhando com diferentes modelos empíricos, constatou que Kostiakov e Horton foram iguais, do ponto de vista estatístico. Já Santos (2014), ao trabalhar com a estimativa da velocidade de infiltração básica (VIB) nos solos da sub-bacia do rio Siriri/SE utilizando o modelo de Horton, Kostiakov-Lewis e Philip relata que, dentre os modelos analisados, o de Horton foi o que obteve o maior índice de confiança ajustado, seguido pelo modelo de Kostiakov-Lewis e Philip em relação aos dados observados pelo infiltrômetro de anel.

3.5. Condutividade hidráulica

O conhecimento das propriedades hidráulicas do solo é indispensável para resolver os problemas relacionados à agricultura, ecologia e questões ambientais. As propriedades hidráulicas do solo são os principais fatores que regulam a circulação das águas subterrâneas e o transporte de solutos. A condutividade hidráulica é uma das mais importantes propriedades hidráulicas do solo, sendo possível obter um melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos (SHWETHA; VARIJA, 2015).

A condutividade hidráulica (Ko) controla, juntamente com o gradiente de potencial hidráulico, o limite superior do fluxo de água em solos (KOHNE et al., 2011). Ela representa um parâmetro chave para análise da intensidade do deslocamento da água no solo. Para a sua determinação existe uma grande variedade de métodos, com diferentes níveis de precisão;

alguns aplicáveis apenas em determinadas condições ou com certos objetivos, os quais, de modo geral, podem ser agrupados em métodos indiretos ou diretos. Os métodos indiretos relacionam a condutividade hidráulica com propriedades do solo (distribuição do tamanho dos poros, textura, porosidade drenável, densidade do solo, etc.). Nos métodos diretos, a condutividade hidráulica pode ser determinada em condições de laboratório e campo, ressaltando-se neste trabalho, os métodos de laboratório (MARQUES et al., 2008).

Existem muitas técnicas e métodos de campo para medir e estimar a condutividade hidráulica do solo (Ko), dentre elas existe o método de anéis concêntricos (KOHNE et al., 2011). Que consiste em infiltrômetros de duplos anéis concêntricos que são os equipamentos utilizados na determinação da taxa de infiltração da água no solo (FIORIN, 2008). Composto por diâmetros diferentes, em forma de cilindros, cravados na superfície do solo. Este arranjo resulta na delimitação de dois compartimentos que serão preenchidos com água: o compartimento externo, delimitado pela parede interna do cilindro de maior diâmetro e pela parede externa do menor cilindro; e o compartimento interno, totalmente delimitado pela parede interna do cilindro menor. A água infiltrada no solo a partir do compartimento externo apresenta uma tendência natural de fluir vertical e lateralmente. A saturação do solo nas porções imediatamente abaixo do compartimento externo permite que a água infiltrada a partir do compartimento interno infiltre predominantemente segundo o sentido vertical (FIORI et al., 2010).

Em suma, esta técnica determina o rebaixamento da coluna de água, no interior do cilindro, em um determinado período de tempo (OLIVEIRA et al., 2010). As vantagens do ensaio com anéis concêntricos, segundo Zuquette e Palma (2006), devem-se a melhor representatividade da geometria porosa do solo e a facilidade de execução e uma limitação, quando se usa o duplo anel, a infiltração horizontal é induzida pelos gradientes hidráulicos de pressão quando o solo está muito úmido.

Fiori et al. (2010), ao trabalharem com a variabilidade da condutividade hidráulica das classes de solos, observaram que os Neossolos quartzarênicos, apresentaram um comportamento homogêneo de elevados valores da condutividade independente da profundidade considerada, por se tratar de um perfil. Já os Gleissolos e Organossolos, obtiveram menores valores absolutos de Ko desde a superfície até as maiores profundidades, apresentando perfis com deficiência de drenagem, consequência da própria natureza do material, que apresenta textura muito argilosa, na maioria dos casos, caracterizada pela natureza impermeável do substrato, que mantém os níveis d'água elevados.

3.6. Resistência do solo à penetração mecânica

A resistência mecânica do solo à penetração (RMP) é uma estimativa do impedimento que o solo oferece as raízes, sendo um dos mais comumente citados fatores físicos que afetam o crescimento de raízes (SILVA et al., 2008). Ela tem sido utilizada, ao longo de muitos anos, com inúmeras aplicações em diversas áreas da pesquisa agronômica, sendo várias já consolidadas, tais como: detecção de camadas compactadas, em estudo da ação de ferramentas de máquinas no solo, prevenção de impedimento mecânico, predição da força de tração necessária para execução de trabalhos e para conhecimento de processos de umedecimento e de ressecamento (CUNHA et al., 2002). Segundo Pedrotti et al. (2001), o aumento da resistência do solo à penetração ocasiona especialmente a diminuição da porosidade, da condutividade hidráulica e da permeabilidade da água.

Andrade et al. (2013), trabalhando com a estimativa da resistência do solo à penetração e no estresse efetivo, obteve como resultado que na região do cerrado brasileiro os valores de resistência do solo à penetração iguais ou maiores que 1900 kPa, determinados no conteúdo de água do solo equivalente à capacidade de campo, podem ser considerados indicadores de solos compactados.

Para Rocha (2012), a resistência do solo à penetração é suficiente para fazer a determinação da qualidade física do solo. Em um Argissolo Amarelo coeso no recôncavo sul da Bahia, a resistência do solo à penetração apresentaram valores elevados sempre acima dos valores críticos para a maioria das plantas, em todo o perfil obteve um atributo de média variabilidade e distribuição normal, com presença de valores extremos, os quais influenciam no número mínimo de amostras necessárias para representar a média com precisão (SANTOS; PEREIRA, 2013).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização das áreas de estudo

O trabalho foi realizado na bacia hidrográfica do rio Poxim que compreende uma área de 346,72 km^2, localizada na porção leste do Estado de Sergipe, abrangendo parte dos municípios de Itaporanga d'Ajuda, Areia Branca, Laranjeiras, Nossa Senhora do Socorro, São Cristóvão e Aracaju (Figura 1). Situada entre as coordenadas geográficas de 10°55’ e 10°45’ de latitude Sul e 37°05’ e 37°22’ de longitude Oeste (FERREIRA et al., 2011).

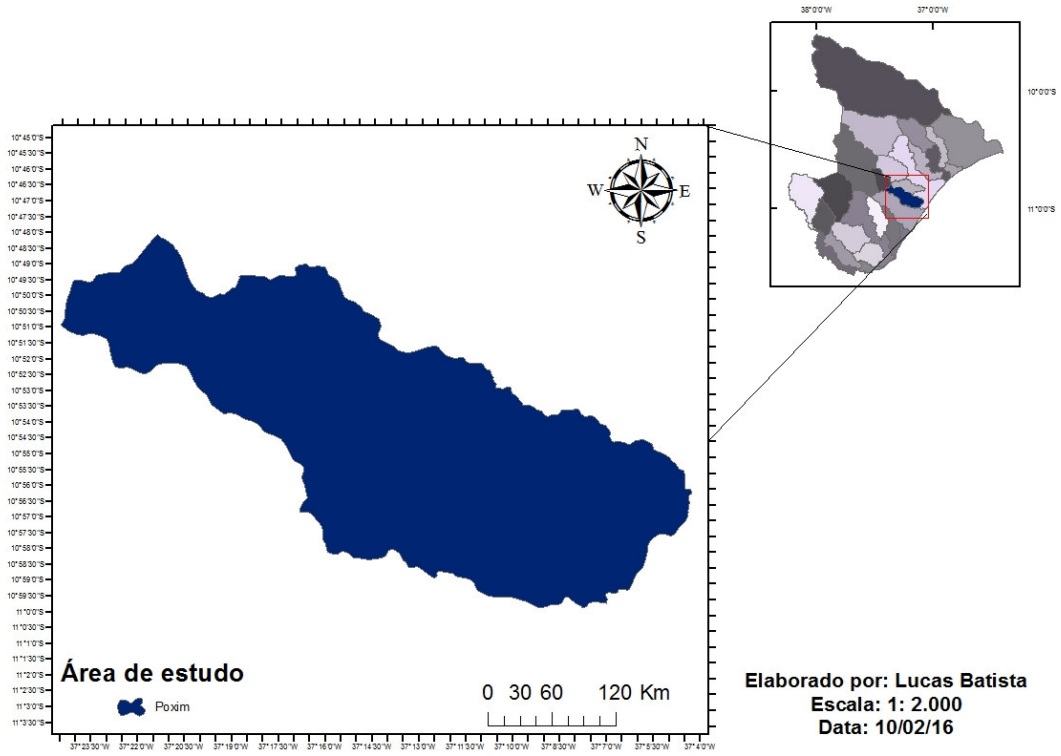


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Poxim, no Estado de Sergipe.

A bacia hidrográfica é caracterizada de clima do tipo A’s Tropical (chuvoso com verão seco), de acordo com a classificação de Köppen. A precipitação média anual é de 1.200 mm, com período de chuvas concentrado nos meses de abril a setembro (FERREIRA, 2015) e temperatura média 23°C nos meses mais frios (julho e agosto) e 31°C nos meses mais quentes (dezembro e janeiro) (SILVA, 2001).

Inserida no bioma da Mata Atlântica, atualmente a bacia do rio Poxim restringe-se aos manguezais nos estuárias, vegetação restinga sobre os terrenos arenosos e pouco remanescente da Floresta Tropical Úmida (BRASIL, 2001). De acordo com o Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe (2013), os solos presentes nessa área são:

Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico, Gleissolo e a predominância do Argissolo Vermelho Amarelo.

4.2. Caracterização da área de estudo

Para realização do trabalho, inicialmente obteve-se imagens do Satélite GeoEye para confecção de mapas de uso e ocupação do solo na bacia, e posteriormente nestas áreas localizadas nos mapas realizou-se visitas em campo.

Utilizou-se o procedimento técnico metodológico com base na abordagem de mapeamento elaborada por Moreira (2011), que usa como base as imagens de alta resolução espacial capturadas do *Google Earth,* além da técnica de interpretação visual, descrita por Novo (2008). A aquisição das imagens do Satélite GeoEye da bacia foi realizada com apoio do software *Google Earth 7.1*. Para recobrir o limite da bacia hidrográfica, necessitou-se de um conjunto de seis cenas, as mesmas foram salvas no formato (JPEG). Os parâmetros de georreferenciamento foram inseridos nas imagens, em seguida gerou-se um mosaico das cenas convertidas e registradas no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 24 L e Datum WGS84 e exportação do arquivo em formato GeoTIFF. Durante o processo de interpretação, as seguintes atividades foram realizadas quase simultaneamente: detecção, reconhecimento, análise, dedução, classificação e avaliação. Além disso, a interpretação visual se baseou em sete características da imagem no processo de extração de informações, tais elementos como: tonalidade/cor, textura, padrão, localização, forma, sombra e tamanho (NOVO, 2008). Aliado ao suporte metodológico à orientação do Manual Técnico de Uso das Terras do IBGE (2006), conforme pode ser observada na Figura 2.

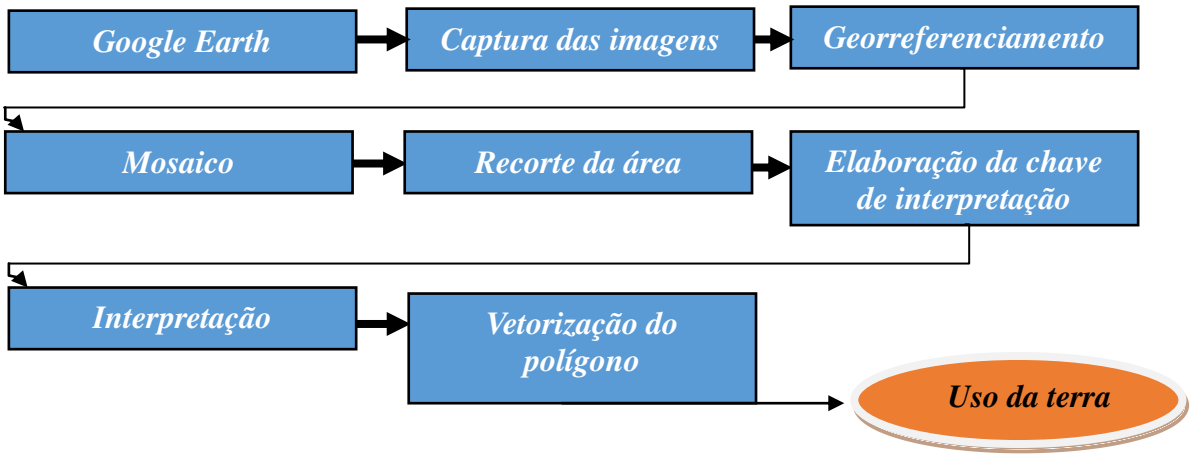


Figura 2. Fluxograma das operações realizadas para criação do mapa de uso da terra da bacia do rio Poxim, no Estado de Sergipe.

Com base no reconhecimento da área de estudo por meio das imagens de alta resolução, foram identificadas seis classes de uso e cobertura das terras na bacia hidrográfica do rio Poxim, sendo elas: vegetação nativa, corpos d'água, agricultura, solo exposto, pastagem e área urbana. A análise visual é definida como ato de examinar uma imagem com o propósito de identificar objetos e estabelecer julgamentos sobre suas propriedades. Essa série de procedimento teve como finalidade, criar o mapa de uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Poxim (Figura 3) e a área total para cada classe mapeada na bacia (Tabela 1).

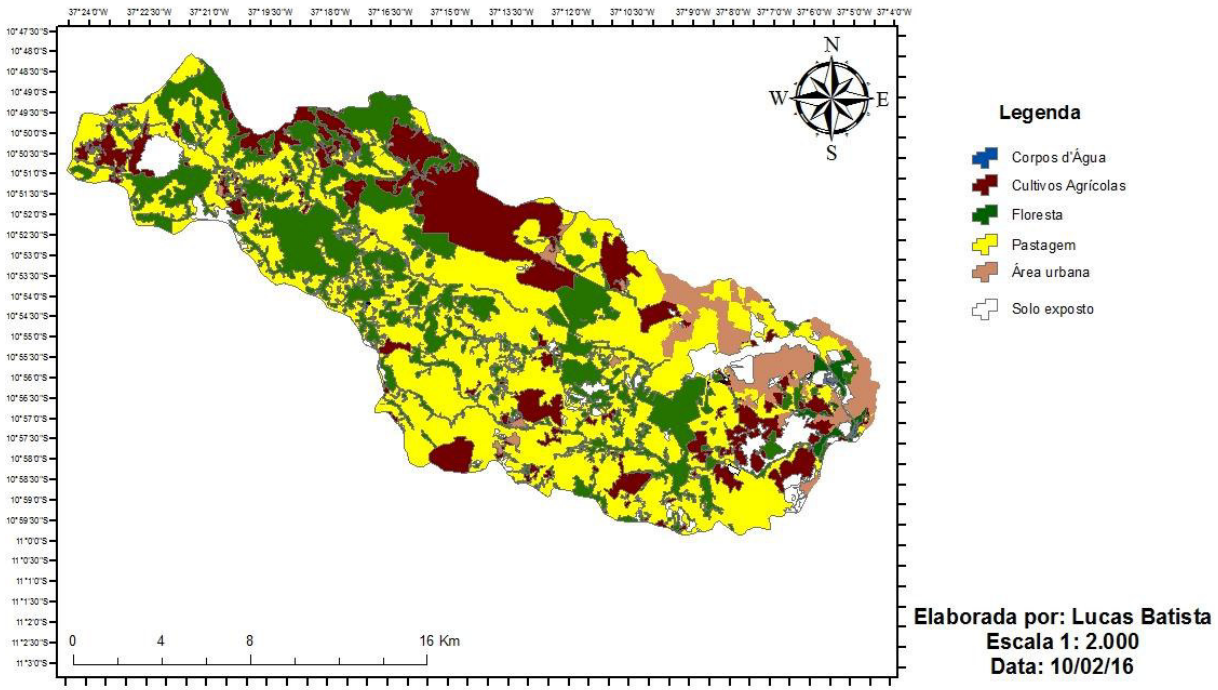


Figura 3. Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da bacia do rio Poxim, no Estado de Sergipe.

Tabela 1. Classes do uso da terra na bacia do rio Poxim, no Estado de Sergipe.

Classe de uso da terra	Área (km^2)	Percentagem (%)
Pastagem	158,81	45,80
Floresta	91,52	26,39
Cultivos agrícolas	58,36	16,83
Solo exposto	18,93	5,45
Área urbana	18,63	5,37
Corpos d'água	0,47	0,13

Classe de uso da terra	Área (km^2)	Percentagem (%)
Total	346,72	

4.3. Amostragens em campo

Inicialmente foram identificadas as áreas para realizações dos testes de infiltração, condutividade hidráulica e resistência mecânica do solo à penetração, como também para as coletas das amostras de solo para determinação da umidade, densidade e textura. As áreas foram de florestas, mais especificadamente de mata nativa e eucalipto; área de cultivo agrícola, nos diferentes sistemas de manejo implantado no ano de 2001, e que vem sendo desenvolvido estudos sobre o comportamento dos sistemas de manejos (plantio direto – PD, cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM). O cultivo do girassol (H*elianthus annuus* L) antecedeu à cultura do milho (*Zea mayes* L.), variedade Biomatrix BM 3061 em todas as áreas do sistema de manejo. Os sistemas de cultivos foram estabelecidos da seguinte maneira: plantio direto que consistiu do não revolvimento do solo e cultivo de plantas de cobertura em sucessão a cultura comercial; cultivo convencional, composto de gradagem com grade niveladora de discos + aração com arado de discos + gradagem; cultivo mínimo, composto de uma ou duas gradagens com grade niveladora de discos, sendo que a segunda gradagem somente foi realizada quando houve incidência considerável de plantas invasoras.

Antes de cada teste, foram coletadas amostras de solo deformadas para determinação da umidade pelo método gravimétrico e textura (EMBRAPA 1997), como também amostras de solo indeformadas para determinação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico, nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm. De posse dos dados de umidade a base de massa (U) e a densidade do solo (ds), estimou-se a umidade volumétrica ($\theta = U \times ds$). As amostras foram condicionadas em recipientes, previamente identificados e pesados, em seguida foram levados a estufa a temperatura de 105ºC por 24 horas, no Laboratório do Departamento de Engenharia Agronômica (DEA) na Universidade Federal de Sergipe (UFS). Após o término de 24 horas, as amostras foram colocadas em dessecador para esfriar e em seguida pesadas, conforme procedimentos sugeridos por Klein (2008). Realizou-se também a análise textura do solo pelo método de pipeta (Tabela 2), no Laboratório de Física do Solo, na Embrapa Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas, Bahia.

Tabela 2. Textura dos diferentes tipos de cobertura da terra em um Argissolo Vermelho Amarelo da bacia hidrográfica do rio Poxim, da camada superficial de (0 – 20 cm).

	Textura (%)		
Tipo de uso do solo			
	Areia	**Argila**	**Silte**
Mata nativa	70,61	15,13	14,26
Agricultura	68,76	18	13,24
Eucalipto	64,95	16,55	18,50

4.3.1. Teste de infiltração

Foram realizados testes de infiltração da água no solo nas mesmas áreas e nos mesmos períodos. A metodologia utilizada, foi o duplo cilindro infiltrômetro (BRANDÃO et al., 2009), que consiste em se utilizar dois anéis concêntricos, sendo o maior com diâmetro de 50 cm e o menor com diâmetro de 25 cm, ambos com altura de 40 cm (Figura 4). A determinação da infiltração se processa pela medida da altura de água infiltrada no cilindro menor (interno) em tempos sucessivos de leituras. O cilindro maior (externo) tem a função de eliminar a infiltração lateral do cilindro interno. No momento dos testes, utilizou-se um termômetro digital com o intuito de mensurar a temperatura da água no início e no final dos testes, visto que, a taxa de infiltração de água no solo pode sofrer interferência pela viscosidade, ocasionado pela variação da temperatura da água. Foram feitas três repetições em lugares diferentes no mesmo tipo de uso e cobertura da terra.

Figura 4. Conjunto de anéis concêntricos duplo.

Os testes foram realizados até que a taxa de infiltração, observado mediante do anel interno, tornasse aproximadamente constante com o tempo. O critério adotado neste trabalho para condição de taxa de infiltração constante foi quando o valor de leitura da carga de água no cilindro interno repetiu pelo menos três vezes. De acordo aos testes experimentais realizados nas áreas, foram estabelecidos os tempos em minutos para cada leitura de: 2, 5, 5, 10, 10, 20, 20, 20 minutos, iniciando do instante zero.

A velocidade de infiltração de água no solo ainda foi estimada por meio de modelos empíricos e teóricos, quais sejam: Kostiakov (1932), Horton (1940), Kostiakov-Lewis e Philip (1957).

4.3.1.1. Modelo de Kostiakov

A equação empírica é baseada na infiltração do modelo Kostiakov desenvolvida em 1932, essa da forma da conexão da curva dos dados de campo. Assim representada:

$$I = kt^{\propto} \qquad (1)$$

em que:

I é a infiltração;

k é a taxa infiltração no início da infiltração;

α é um parâmetro relacionado com a forma da curva da taxa de infiltração; e

t é o tempo; e

k e α são constantes que dependem do solo e das suas condições iniciais, ou seja, dependem das características do solo, tais como textura do solo, teor de umidade, densidade e outros parâmetros.

4.3.1.2. Modelo de Horton

Esta equação desenvolvida por Horton (1940) tem sido amplamente utilizada em modelos hidrológicos, por refletir as leis e os princípios fundamentais da física do solo. Sendo expressa pela equação abaixo:

$$i = i_f + \left(i_i - i_f\right)e^{-\beta t} \qquad (2)$$

em que:

i é a taxa de infiltração;

i_f é o equilíbrio final ou capacidade da taxa de infiltração ;

i_i é a primeira capacidade de infiltração (t = 0); e

β é uma constante que representa a taxa de diminuição da capacidade da taxa de infiltração.

4.3.1.3. Modelo de Kostiakov-Lewis ou Kostiakov modificada

Essa equação foi desenvolvida para eliminar a deficiência da taxa de infiltração de tender a zero quando o tempo tende a infinito, que pode ser assim representada:

$$I = kt^{\propto} + i_f t \qquad (3)$$

em que:

I é a infiltração;

k é a taxa infiltração no inicio da infiltração;

α é um parâmetro relacionado com a forma da curva da taxa de infiltração;

t é o tempo tendendo para o infinito; e

i_f é o equilíbrio (a taxa da infiltração final constante).

4.3.1.4. Modelo Philip

Combinado com a equação de Darcy para meios não saturados com a equação da continualidade chega-se a uma equação diferencial parcial não linear de segunda ordem, também denominada de equação de Richards. Para estimar a taxa de infiltração no sentido vertical Philip (1957) propôs a seguinte equação:

$$I = \frac{1}{2} S t^{-1/2} + F \qquad (4)$$

em que:

F é uma constante de contribuição da gravidade para um movimento do solo; e

S é determinado pela regressão linear de I em função de $t^{-1/2}$.

4.3.2. Condutividade hidráulica

A determinação dos valores de condutividade hidráulica dos solos foi realizada por intermédio de ensaios de campo, utilizando também o método de duplo anéis concêntricos utilizado na metodologia da determinação da velocidade de infiltração (Figura 5) (BRANDÃO et al., 2009).

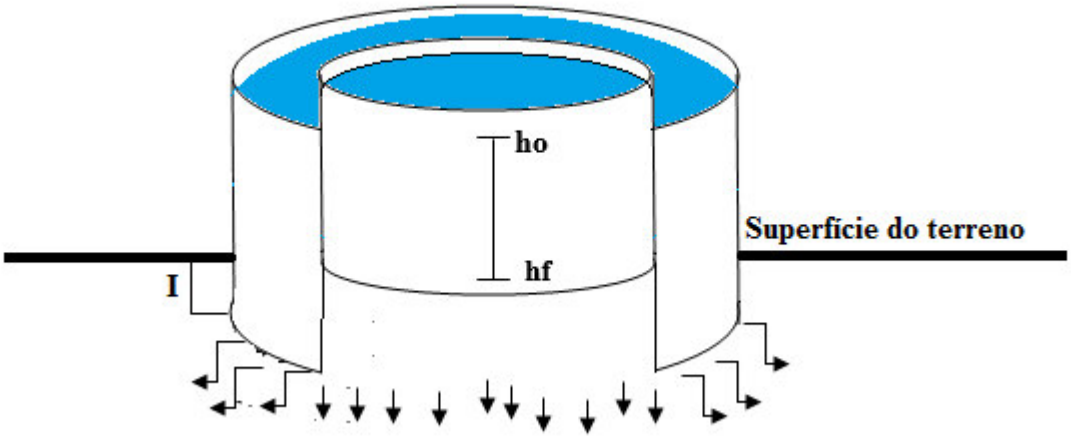


Figura 5. Esquema de infiltração do método de anel concêntrico duplo para a obtenção da condutividade hidráulica.

Assim, utilizando-se os dados obtidos em campo, foram calculados para obtenção do valor da condutividade hidráulica (K_v) pela aplicação da equação (BERNARDO, 1986):

$$K_v = \frac{I}{\Delta t} \ln\left(\frac{h_o}{h_f}\right) \qquad (5)$$

em que:

I é a profundidade de instalação do cilindro;

h_o é a coluna d'água inicial;

h_f é a coluna d'água final; e

Δt é a tempo decorrido para o rebaixamento entre h_o e h_f.

Os valores da K_o foram corrigidos para a temperatura padrão de 20º C, com a finalidade de uniformizar a viscosidade da água, devido à variação da temperatura nos testes realizados, usando a expressão:

$$k_o 20^0C = k_o \frac{\mu_t}{\mu_{20}} \qquad (6)$$

em que:

K_o *20ºC* é a condutividade hidráulica na temperatura de 20°C, cm min^{-1};

K_o é a condutividade hidráulica à temperatura de ensaio, cm min^{-1};

μ_t é a viscosidade absoluta da água a temperatura T, medida durante o teste, cP; e

μ_{20} é a viscosidade absoluta da água a temperatura de 20°C, cP.

4.3.3. Resistência mecânica do solo à penetração

Para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RMP) foi utilizado o penetrômetro digital Falker, modelo PenetroLOG - PLG 1020, com aptidão eletrônica para aquisição dos dados. Através das medições da resistência do solo à penetração do cone metálico, o penetroLOG indicou os valores de pressão correspondente à compactação do solo em MPa. O conjunto desses valores formou o perfil de compactação do solo. Assim esse penetrômetro foi configurado para registrar leituras a cada 5 cm de incremento de profundidade, em seis repetições por área de coleta, trabalhando em velocidade de penetração constante. Os dados referentes ao penetrômetro Falker foram extraídos da memória digital e analisados a uma profundidade máxima de 40 cm. Assim as medições foram armazenadas e analisadas instantaneamente em gráficos. Para o processamento dos dados de resistência do solo à penetração, utilizou-se o Software PenetroLOG necessário para a identificar e analisar os dados armazenado.

A partir das medições da RMP os dados foram dispostos nos gráficos de acordo a área de cobertura e tipo de uso da terra relacionando pressão (MPa) e profundidade (cm).

4.4. Análise estatística

Para avaliar o desempenho entre os valores da velocidade de infiltração de água no solo, determinada com infiltrômetro de anel e os valores estimados por meio dos modelos empíricos e teóricos, foram utilizados os seguintes índices estatísticos: coeficiente de massa residual (CMR) (Equação 7), coeficiente de ajuste (CA) (Equação 8) e eficiência (EF) (Equação 9).

$$CMR = \frac{(\sum_{i=1}^{n} O_i - \sum_{i=1}^{n} P_i)}{(\sum_{i=1}^{n} O_i)} \quad (7)$$

$$CA = \frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^{n} (P_i - \bar{O})^2} \quad (8)$$

$$EF = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2\right]}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

em que:

O_i representa os valores observados;

P_i representa os valores estimados;

n é o número de observações;

$\bar{O}$ a média aritmética das observações; e

$\bar{P}$ a média aritmética dos valores estimados.

Ainda na avaliação infiltração de água no solo, avaliou-se sob cinco tipos de cobertura do solo (plantio direto, cultivo convencional, cultivo mínimo, mata nativa e cultivo de eucalipto) e os modelos empíricos e teóricos em esquema de parcelas subdivididas, segundo um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância e as médias comparadas mediante a aplicação do teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na avaliação da condutividade hidráulica, adotou-se também o delineamento (inteiramente casualizado com três repetições) sob os cinco tipos de cobertura do solo. Os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância e as médias comparadas mediante a aplicação do teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

E para a resistência mecânica do solo à penetração adotou-se o mesmo delineamento (inteiramente casualizado com três repetições) sob os cinco tipos de cobertura do solo e os resultados também foram submetidos ao teste F da análise de variância e as médias comparadas mediante a aplicação do teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 verifica-se os valores de da densidade para as diferentes de coberturas do solo do presente estudo. A densidade do solo diz a respeito ao grau de compactação do solo, que segundo Oliveira et al. (2011) a compactação do solo e o efeito de alterações sucessivas de sua estrutura resulta em modificações na densidade.

Tabela 3. Densidade (Kg dm^{-3}) de um Argissolo Vermelho Amarelo da bacia hidrográfica do rio Poxim nas profundidades de 0 – 10 e 10 – 20 cm submetida a diferentes tipos de manejo do solo.

COMPACTAÇÃO DO SOLO (Kg dm^{-3})		
COBERTURA DO SOLO	0-10 cm	10-20 cm
MN	1,34 bA	1,44 bB
PD	1,76 aA	1,93 aB
CM	1,88 aA	2,03 aB
EU	1,89 aA	1,93 aB
CC	1,90 aA	1,96 aB

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na mesma linha (desdobramento dos cultivos dentro de cada camada de profundidade), e minúscula na mesma coluna (desdobramento das camadas de profundidades dentro de cada tipo de cobertura do solo), não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Aonde MN – mata nativa, PD – plantio direto, CM – cultivo mínimo, EU – eucalipto, CC – cultivo convencional.

Dessa forma observa-se que na camada de 0 – 10 cm a mata nativa (MN) diferenciou significativamente a 5% de probabilidade das demais, obtendo a menor média 1,34 Kg dm^{-3} de densidade do solo. Posteriormente seguido da área do plantio direto (PD), cultivo mínimo (CM), eucalipto (EU) e cultivo convencional (CC) apresentaram medias de densidade do solo em 1,76, 1,88, 1,89 e 1,90 Kg dm^{-3} respectivamente, assim de acordo ao teste de Scott-Knott a 5% a probabilidade, não diferindo significativamente entre os mesmos. Dessa forma pode-se perceber que a cobertura do solo influenciou na compactação, ou seja, aonde houve maior revolvimento do solo ocorreu o aumento da densidade do solo.

Já para a camada sub superficial de 10 – 20 cm o CM e CC foram os tipos de cobertura do solo que obtiveram as maiores médias de densidade apresentando 2,03 e 1,96 Kg dm^{-3} respectivamente, assim não apresentando efeito significativo a 5% de acordo ao teste de Scott-Konott entre as mesmo, como também não se diferenciando das áreas do EU e PD. Porém a área do MN como na camada anterior, apresentou a menor média 1,44 Kg dm^{-3}

demonstrando diferença estatística a 5% com os demais tipos de cobertura do solo apresentado no presente trabalho.

Na Figura 6, observam-se as curvas da velocidade de infiltração da água no solo ao longo do tempo para os três tipos de manejo do solo estudado. As curvas obtidas nos testes descrevem bem o processo de infiltração de água no solo na área.

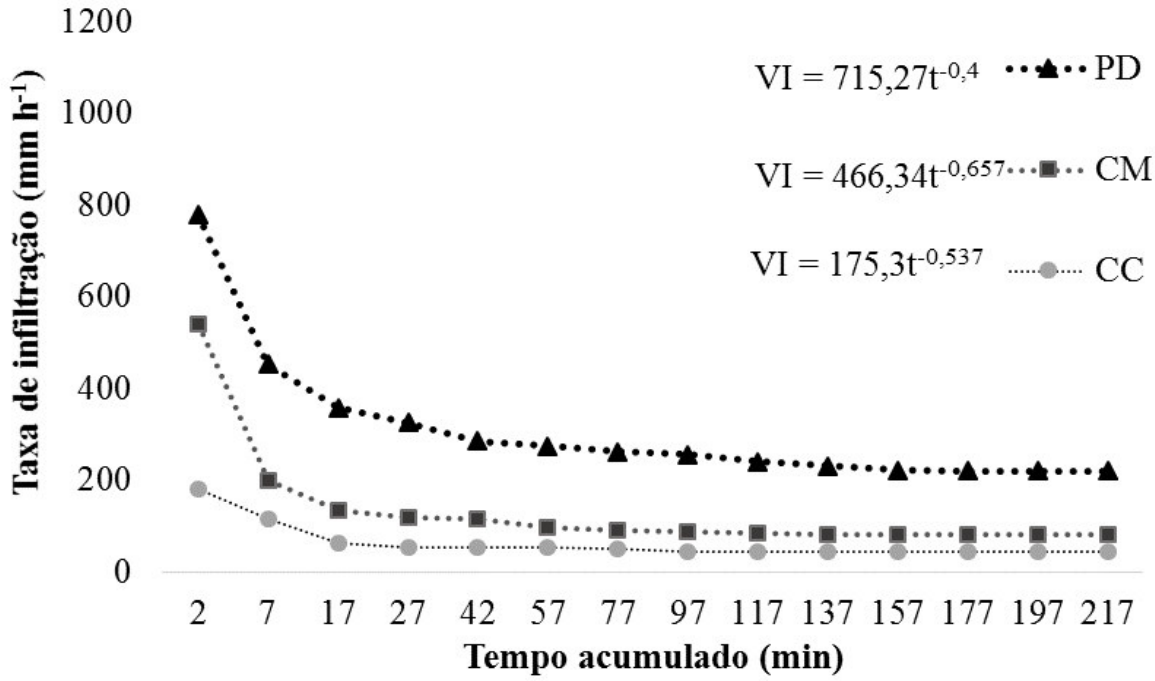


Figura 6. Curva dos valores médios medidos das taxas de infiltrações no plantio direto (PD), cultivo minímo (CM) e cultivo convencional (CC), em função do tempo acumulado.

Verifica-se que o valor da velocidade de infiltração básica para a área do plantio direto foi de 220 mm h^{-1}. O resultado encontrado no presente trabalho está de acordo, como o estudo de Cunha et al. (2009) que obtiveram a estabilização da velocidade em 160,32 mm h^{-1} ao avaliarem, a infiltração da água no solo submetido ao sistema plantio direto.

Esses valores elevados de velocidade de infiltração de água no solo podem ser motivados pelas excelentes características de drenagem nos respectivos solos, já que o manejo de plantio direto permite a manutenção dos restos vegetais. Essas áreas são caracterizadas pelo não revolvimento do solo, ou seja¸ pela permanência, por períodos variáveis, dos resíduos da cultura anterior e da planta na superfície, que acarreta no aumento da porosidade total da área, em especial a macroporosidade que exerce grande influência sobre a infiltração de água no solo. Nota-se também, que a taxa de infiltração inicial foi de 780 mm h^{-1} considerada muito alto, o que demonstra que o efeito da cobertura vegetal proporciona uma

proteção suficiente para dissipação da energia cinética das gotas de chuva, oferecendo barreiras para o selamento da superfície do solo consequentemente para o escoamento superficial das águas, melhorando a infiltração de água no solo (SANTOS; PEREIRA, 2013; MONTENEGRO et al., 2013; NICHOLLS; ALTIERI, 2012; NUNES et al., 2012; PANACHUKI et al., 2011).

Almeida et al. (2016) concluíram que, o plantio direto é um eficiente sistema para a conservação do solo ou sua recuperação. Nele, a matéria orgânica atribuída, melhora as condições físicas do solo.

Outro fator que também se destaca para obter uma boa taxa de infiltração é a continuidade dos poros no solo. Como afirma Costa (2013), que os valores de porosidade inferiores ao adequado podem ser encontrados, mas devido a uma boa conectividade entre os poros, esta situação não é restritiva, havendo boa condução de água. Para Silva et al. (2006) a condição do solo proporcionada pelo seu manejo é um fator que influencia claramente a infiltração da água. Farias (2015), cita que a taxa de infiltração de água é um dos melhores parâmetros para se avaliar a qualidade estrutural do solo. Stefanoski et al. (2013) ainda esclarece que, ao discriminar solos com sinais de degradação, os indicadores de qualidade física do solo evidenciam a necessidade da adoção de sistemas que favoreçam a estruturação do solo, como aqueles que elevam os teores de matéria orgânica.

O sistema de plantio mínimo apresentou um valor intermediário entre os três sistemas de manejo agrícola estudado, com a velocidade de infiltração básica, se estabilizando ao atingir o valor de 82 mm h^{-1}, o que já era previsto, já que a redução do uso implementos agrícolas na respectiva área possibilita uma melhor taxa de infiltração, ou seja, há uma inversa proporcionalidade, de modo que, quanto maior o revolvimento do solo através na mecanização agrícola menor será a taxa de infiltração de água no solo. De acordo com Lazzarotto (2008) e Figueiredo et al. (2008), esse sistema de manejo e preparo do solo consiste no revolvimento mínimo do solo, reduzindo o potencial de erosão por não desagregação do solo e pela manutenção da vegetação na superfície; manutenção da umidade e da capacidade de retenção de água pelo solo, por causa da não alteração da estrutura e capilaridade do solo; manutenção do equilíbrio biológico no solo. Para Blainsk et al. (2008), os sistemas de uso e manejo devem manter a capacidade do solo de exercer as funções físicas para o crescimento das raízes das plantas, bem como favorecer o suprimento água. As perdas de solo por erosão, a redução de matéria orgânica, a compactação, a diminuição da porosidade, e da permeabilidade, são algumas das consequências do mau uso do recurso solo.

O presente trabalho discordou com os resultados encontrados por outros autores (CUNHA et al., 2015; KAMIMURA et al., 2009; PINHEIRO et al., 2009) ao estudarem as taxas de infiltração em diferentes sistemas de manejo (convencional, mínimo e plantio direto), concluíram que o cultivo mínimo que obteve os maiores valores. Essa diferença pode estar associada muitas vezes, as diferentes condições, classes de solos distintos, aporte de matéria orgânica, qualidade do solo, diferente clima e o tempo de uso nas áreas. Veiga (2005) afirma que a utilização continuada de sistema de manejo determina alterações em propriedades do solo, cuja intensidade depende do tempo de uso.

Ainda de acordo com as taxas de infiltração na Figura 6, o sistema do plantio convencional obteve uma velocidade de infiltração básica de 42 mm h^{-1}, sendo a menor entre os testes realizados, foi observado que nesse tratamento a taxa de infiltração se iniciou em 180 mm h^{-1} e logo depois sofreu um acentuado decréscimo, a partir dos primeiros sete minutos, essa diminuição foi devida, basicamente, ao tráfego de máquinas agrícolas como também, ao uso de arado de disco e grade niveladora, implementos utilizados para mobilizar e incorporar os resíduos vegetais no preparo do solo. Quando se prepara o solo, a permeabilidade das camadas superficiais tende a aumentar temporariamente, em razão da quebra da estrutura desta faixa fato que, Costa et al. (2015) em seu estudo sobre movimento de água e porosidade dos solos de uma sub-bacia hidrográfica no noroeste do Estado de São Paulo, declara que, normalmente o revolvimento do solo promove um aumento temporário da porosidade, e consequentemente do movimento de água no solo. E logo depois, há uma redução que é motivada pela compactação no fundo sulco denominado (“pé de grade” ou “pé de arado”), essa camada compactada que se desenvolve logo abaixo da faixa arada ou gradeada, faz com que ocorra um selamento no solo, dificultando a infiltração da água nessas áreas.

Bertol et al. (2004) afirmam que o preparo convencional degrada as propriedades físicas, pois o revolvimento rompe os agregados, compacta o solo abaixo da camada preparada e o deixa descoberto. Segundo Silva et al. (2014), as características físicas do solo estão diretamente ligadas a sua capacidade de infiltração de água. Os mesmos autores ainda declara que, devido ao processo de mecanização é necessário analisar camadas mais profundas que correspondam a todo perfil explorado pelas raízes para obter uma maior certeza de disponibilidade de água para os cultivos. Esse resultado diverge com o encontrado por Viana et al. (2015), os quais, estudando a determinação da velocidade infiltração de água no solo, concluíram que em áreas com o sistema de plantio convencional apresentaram VIB de 234 mm h^{-1}.

Na Figura 7 observa-se a curva de infiltração de água no solo determinada a partir dos dados coletados com o infiltrômetro de duplo anel para a área de eucalipto. A infiltração básica da água no solo nessa área apresentou a velocidade de infiltração de 50,01 mm h^{-1}. As áreas com plantações de eucalipto permitem melhorias, devido a maiores concentrações da matéria orgânica, como também as grandes quantidades de raízes presentes que promovem a aproximação das partículas, através da constante absorção de água no perfil do solo. Segundo Prevedello (2012), os sistemas florestais dos eucaliptos contribuem para a melhoria da qualidade estrutural, pois favorecem a formação de poros contínuos, importantes para uma adequada aeração, retenção e condução de água.

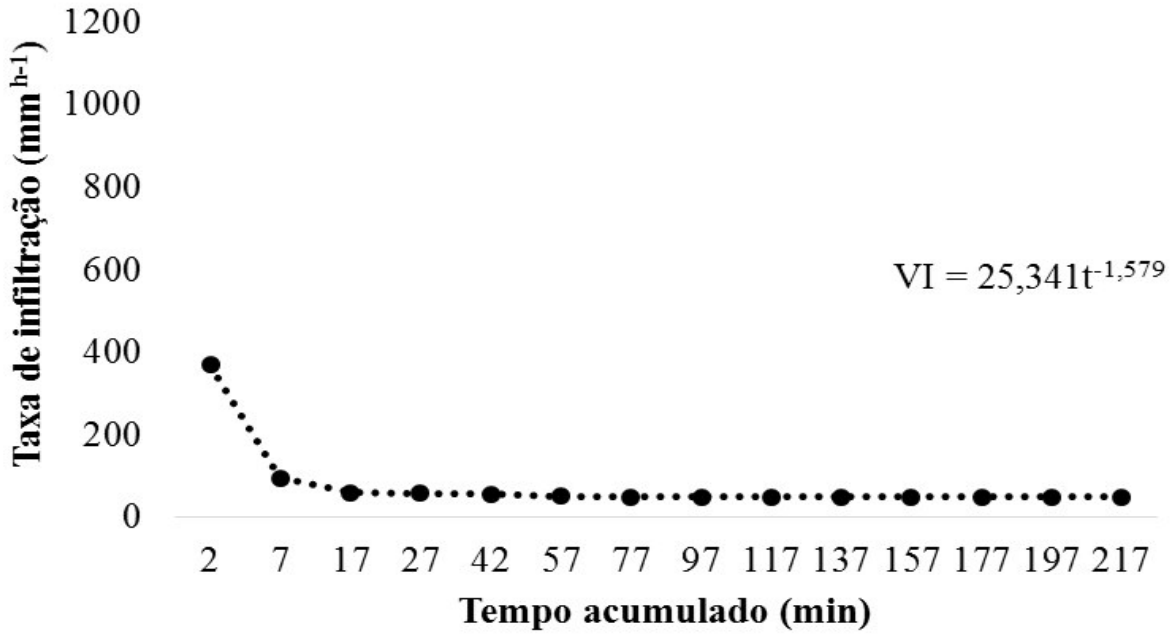


Figura 7. Taxa de infiltração na área do eucalipto.

De acordo a curva da taxa de infiltração plotada no gráfico, verifica-se um decréscimo muito acentuado em pequeno espaço de tempo nos primeiros sete minutos iniciais do teste de infiltração, reduzindo-se pela metade, isso pode ser motivada pela passagem intensa dos maquinários na área dos eucaliptos, que possivelmente tenha causado uma compactação nas camadas do solo, levando assim a baixa capacidade de infiltração de água no solo nessa área, sendo possível afirmar que há uma grande susceptibilidade a ocorrência do escoamento superficial.

Em estudo da compactação do solo causada por tratores Szymczak et al. (2014), alertam que o peso e movimentação das máquinas, aliados à condição de umidade do solo

imprópria para tal, são as principais causas da degradação estrutural do solo, verificada, principalmente, por alterações em suas propriedades físicas aliado a isso, os mesmo autores ainda concluíram no mesmo estudo que, as operações de colheita impactam o solo até a profundidade de 10 cm, causando compactação nas linhas de tráfego das máquinas. Morais et al. (2012) ainda ressaltam que o excessivo tráfego de máquinas agrícolas causam compactação e adensamento do solo, o que, em último termo, se traduz em altos valores da densidade do solo.

A velocidade de infiltração média da água no solo na área de mata nativa (Figura 8) foi classificada como muito alta, ao atingir o valor de 273 mm h^{-1}. Tal resultado discorda do encontrado Marcatto e Silveira (2015) que realizando ensaios da velocidade de infiltração na bacia hidrográfica do rio Pirapó no Estado do Paraná obteve valores de VIB variando de 2100 a 1560 mm h^{-1}. Esses resultados podem estar associados a variedade de espécies vegetais presentes nas florestas, com diferentes tipos de sistemas radiculares, e a presença de macrofauna encontrados nesses solos, próximo a superfície.

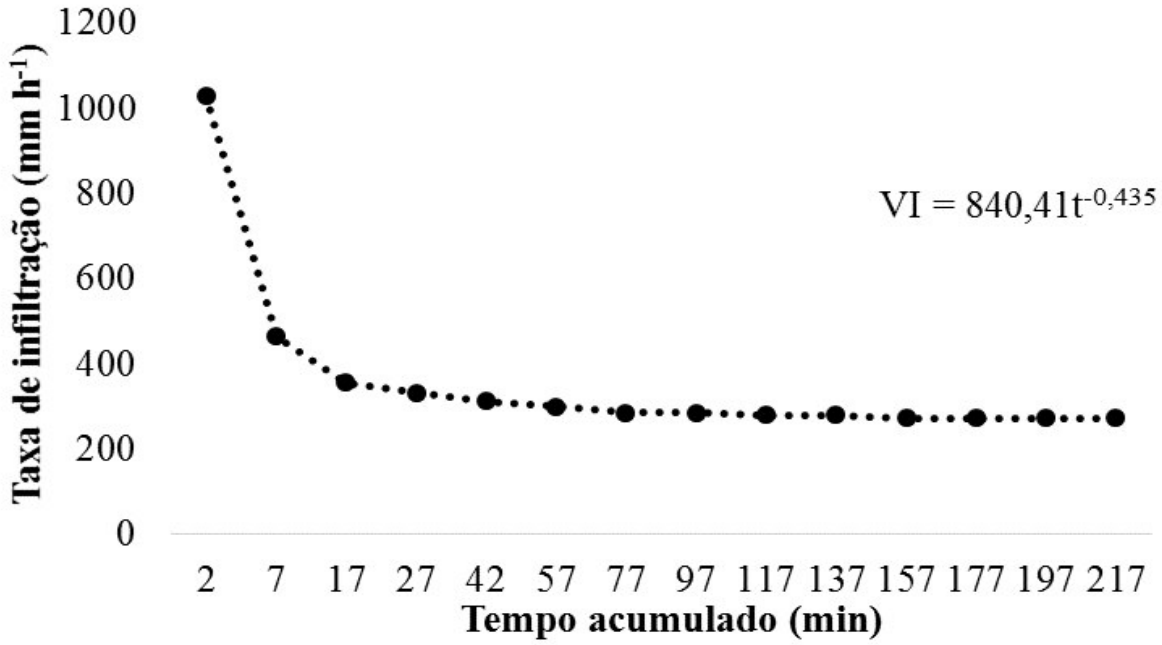


Figura 8. Taxa de infiltração na área de mata nativa.

Nota-se ainda que foram registradas diferenças na capacidade de infiltração para os diferentes tipos de cobertura do solo. Para a mata nativa houve uma tendência de estabilização a partir dos 97 minutos, tempo superior aos outros cultivos estudado no presente trabalho. Essa situação também foi comprovada por Pinheiro et al. (2009), na capacidade de infiltração

em solos sob diferentes usos e práticas de manejos agrícolas e por Zwirtes et al. (2013), com a utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água.

De acordo com Marcatto e Silva (2015), as boas condições de permeabilidade na floresta, comparado aos outros sistemas de cultivos deve-se a manutenção das condições naturais do solo, sem interferência direta de uso e manejo de qualquer tipo de cultura comercial. A floresta frequentemente tem sido usada como parâmetro de comparação, devido a sua maior conservação das propriedades físicas e hídricas dos solos.

Os parâmetros empíricos para os modelos matemáticos utilizados para explicar as infiltrações de água nos solos estudados, e as equações completas de Horton, Kostikov, Kostiakov-Lewis e Philip ajustadas para cada tipo e cobertura de solo podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados dos parâmetros empíricos para os modelos matemáticos utilizados e as equações de Horton, Kostikov, Kostiakov-Lewis e Philip.

Tipo de cobertura do solo	Modelos	EF	R^2	CRM	CA
Plantio direto	Horton	0,92	0,93	0,008	1,03
	Kostiakov	0,85	0,96	0,06	1,26
	Kostiakov-Lewis	0,70	0,97	0,07	3,60
	Philip	0,95	0,97	-0,20	1,04
Plantio mínimo	Horton	0,89	0,95	0,04	1,25
	Kostiakov	0,85	0,95	0,12	1,91
	Kostiakov-Lewis	0,57	0,98	0,19	4,84
	Philip	0,95	0,97	-0,13	1,05
Plantio convencional	Horton	0,96	0,98	0,01	1,26
	Kostiakov	0,94	0,98	0,03	1,37
	Kostiakov-Lewis	0,50	0,98	0,16	4,37
	Philip	0,97	0,98	-0,16	1,02
Eucalipto	Horton	0,86	0,95	0,03	1,80
	Kostiakov	0,62	0,93	0,13	3,99
	Kostiakov-Lewis	0,11	0,97	0,34	8,68
	Philip	0,85	0,92	-0,20	1,16

Tipo de cobertura do solo	Modelos	EF	R^2	CRM	CA
Mata nativa	Horton	0,96	0,96	0,04	1,41
	Kostiakov	0,75	0,94	0,02	2,25
	Kostiakov-Lewis	0,46	0,96	0,12	6,72
	Philip	0,92	0,96	-0,18	1,07

Baseado nos resultados disponibilizados na Tabela 4, no que se refere aos valores da eficiência (EF), os modelos obtiveram bom desempenho geral, dentre eles, se destaca o modelo de Philip, apresentando os melhores resultados entre as equações e áreas, seguido respectivamente pelos modelos de Horton, Kostiakov e Kostiakov-Lewis. Foi observado (Tabela 4), que para o coeficiente de correlação (R^2), os valores foram superiores a 0,92, considerado alto, o que significa uma boa correlação das regressões entre os valores estimados e observados. Esse resultado corrobora com Souza Netto (2010), que obteve para os modelos valores também superiores a 0,92, reforçando assim a representatividade nas estimativas do parâmetro dos modelos. Phillip e Kostiakov-Lewis foram os que apresentaram os maiores coeficientes de correlações para a área do plantio direto e mata nativa, já os modelos Horton e Kostiakov obtiveram os maiores valores para o coeficiente de correlação para as áreas de plantio convencional e mínimo, respectivamente. Segundo Oliveira (2015), a análise da eficiência (EF) juntamente com o coeficiente correlação (R^2) representa uma forma concisa de avaliação de desempenho de modelos. Fato não observado no presente trabalha, já que a EF e R^2 não apresentaram valores que pudessem ser correlacionados.

Ainda na Tabela 4 observou-se que pelo valor do coeficiente de massa residual (CMR), quando se utiliza as equações de Horton, Kostiakov, Kostiakov-Lewis, a taxa de infiltração final pode ter sido subestimada, fato indicado pelos valores positivos do índice CMR. Para a equação de Philip, observaram-se valores superestimados da taxa de infiltração final em todos os tratamentos, o que foi indicado pelos valores negativos do índice CMR. Esse índice estatístico também confirma que o melhor ajuste da equação foi para Horton, pois apresentou desvios mais próximos de zero em todos as áreas. Fato oposto do encontrado por Tomasini et al. (2010), no estudo da infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita, os autores afirmam que o melhor ajuste dos dados foram para o modelo da equação de Philip. Deve-se considerar que as diferenças nas previsões podem ser atribuídas a diversos pressupostos do modelo e das condições do campo, especialmente o antecedente de umidade do solo (BAMUTAZE et al., 2010). O coeficiente de

ajuste (CA) dentre todos os modelos utilizados em geral, os melhores valores foram oriundo da equação matemática de Philip, isso pode ser comprovado pelo valor mais próximos de 1.

Conforme o resultado do resumo da análise de variância para a infiltração de água no solo em função dos tipos de cobertura do solo, na Tabela 5, pode-se notar que houve interação significativa ($p<0,05$) entre os tipos de cobertura do solo e os modelos de estimativa de infiltração do solo. Isto é, tanto os tipos de cobertura do solo quanto os modelos estimados interferem significativamente no valor do outro.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para infiltração de água no solo em função dos tipos de cobertura do solo e diferentes modelos de estimativa.

FV	**GL**	**QM**
Tipo de cobertura do solo (TC)	4	162478,4516**
erro 1	10	359933,7492
Modelos (MOD)	4	2028,762437**
TC*MOD	16	254,92918*
erro 2		108,184085
Total Corrigido	74	
CV 1 (%)	46,38	
CV 2 (%)	8,04	

* e ** significativo pelo teste F a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Analisando o resultado da aplicação pelo teste de probabilidade em nível de 0,05 (Tabela 6), há confirmação dos resultados observados anteriormente, em que os maiores valores da velocidade de infiltração foram obtidos para área da mata nativa, plantio direto, plantio mínimo, eucalipto e plantio convencional respectivamente. Ainda de acordo ao teste, houve diferença significativa entre as áreas da mata nativa, plantio direto, plantio mínimo e as áreas do eucalipto e plantio convencional, porém ambas não diferiram entre si. Nos sistemas de plantios agrícolas houve efeito significativo ($p <0,05$) para todos os tratamentos estudados.

Tabela 6. Valores médios de velocidade de infiltração básica MN – mata nativa, PD – plantio direto, PM – plantio mínimo, EU – eucalipto, PC – plantio convencional.

Modelos de estimativa da	**Tipos de cobertura**				
infiltração (mm h^{-1})	**MN**	**PD**	**PM**	**EU**	**PC**
Kostiakov-Lewis	285,08aA	245,84aB	91,28aC	51,78aD	49,05aD
Anel	273,00aA	220,00bB	82,00aC	50,00aD	42,00aD
Horton	273,00aA	220,00bB	82,00aC	50,00aD	42,00aD
Kostiakov	238,54bA	208,21bB	70,16abC	39,75aD	39,00aD
Philip	231,45bA	219,63bA	57,72bB	30,69aBC	41,77aC

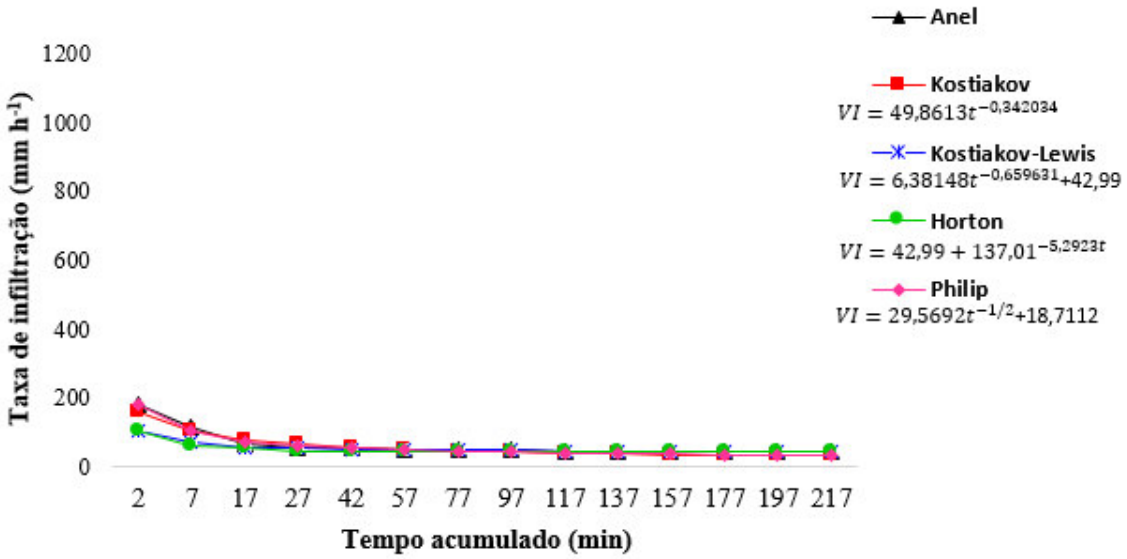
Médias seguidas da mesma letra maiúscula na mesma linha (desdobramento dos cultivos dentro de cada modelo de infiltração), e minúscula na mesma coluna (desdobramento dos modelos de infiltração dentro de cada tipo de cobertura), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados apresentados diferem dos encontrado por Cunha et al. (2015) trabalhando com taxa de infiltração de água no Latossolo sob diferentes sistemas de manejo do solo, onde concluíram que o sistema de plantio direto foi estatisticamente semelhante ao modelo de preparo convencional e ambos diferiram estatisticamente a partir do modelo de cultivo mínimo.

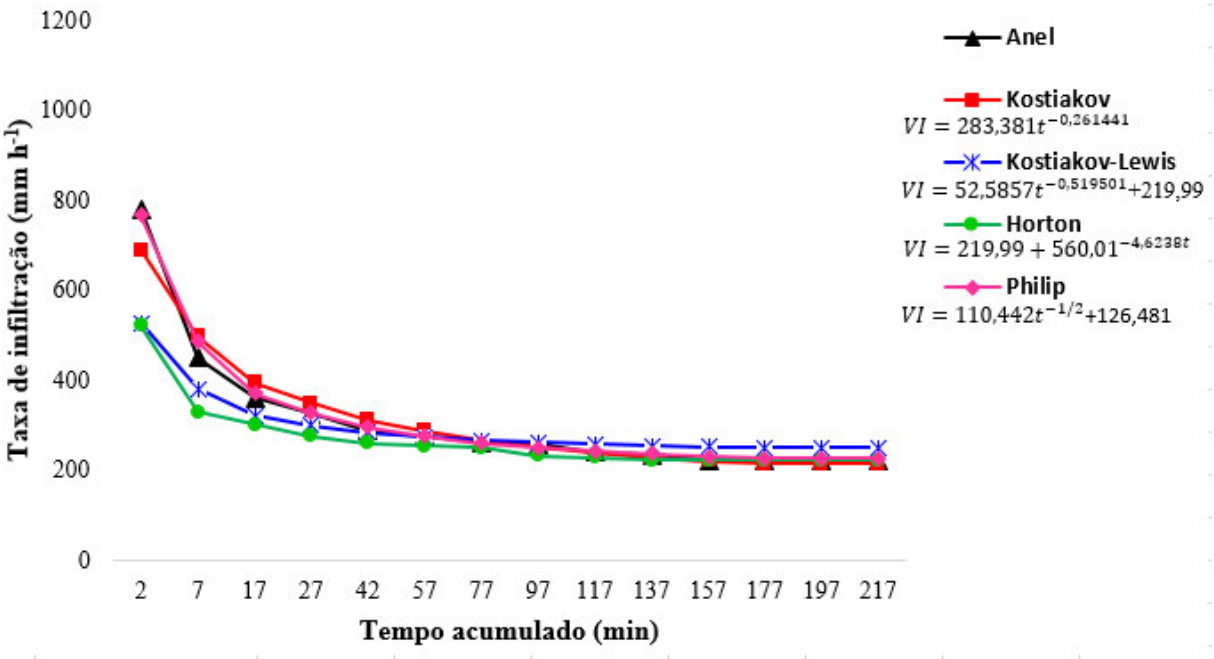
Nas áreas das florestas houve efeito significativo com efeito a 5% para a mata nativa e o eucalipto, sendo a mata nativa o maior valor da taxa de infiltração. Resultado semelhante encontrado por Romeiro et al. (2014), tendo maior infiltração encontrada para a vegetação nativa e a menor para o eucalipto, se diferenciando também estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Bonini (2012), estudando áreas degradadas em recuperação verificou que a testemunha (vegetação nativa) apresentou a taxa de infiltração de água no solo maior que nos tratamentos que foram modificados por ação antrópica. Solos com cobertura vegetal tendem a ter maior velocidade de infiltração, devido a fatores como presença de canais formados por raízes, presença de matéria orgânica e atividade microbiológica (BONINI; ALVES, 2012; BONINI, 2012; BRANDÃO et al., 2009).

Observam-se na Figura 9 as curvas das taxa de infiltração medidos e estimados pelos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e Philip para todas as áreas estudadas.

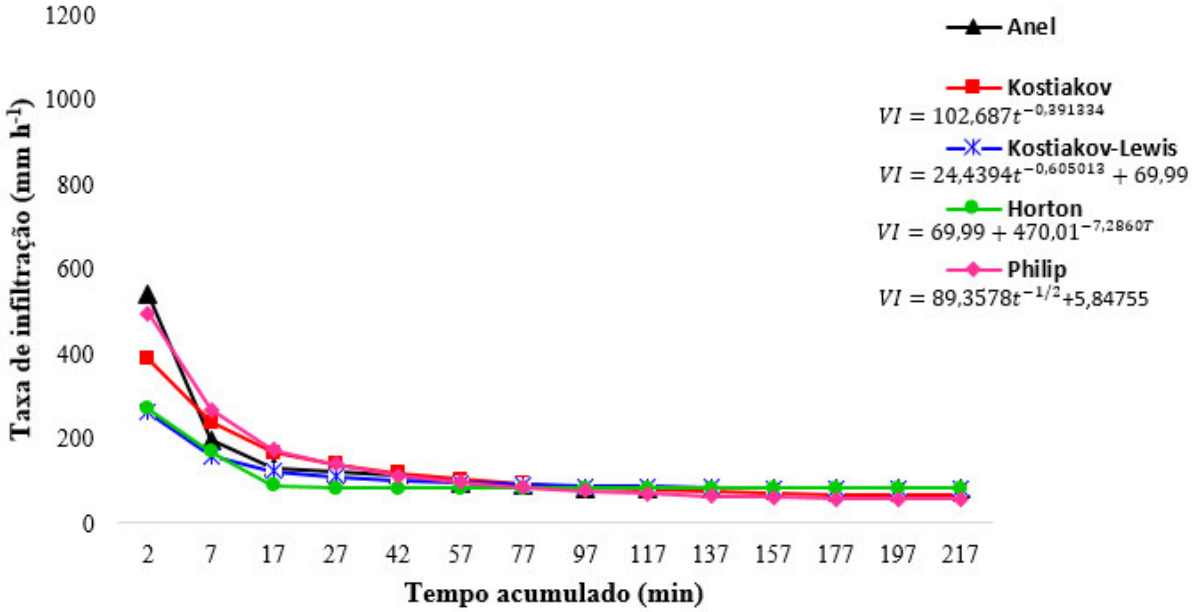
A.


Anel
Kostiakov
$VI = 49{,}8613t^{-0{,}342034}$
Kostiakov-Lewis
$VI = 6{,}38148t^{-0{,}659631}+42{,}99$
Horton
$VI = 42{,}99 + 137{,}01^{-5{,}2923t}$
Philip
$VI = 29{,}5692t^{-1/2}+18{,}7112$
Taxa de infiltração (mm h-1)
1200
1000
800
600
400
200
0
2 7 17 27 42 57 77 97 117 137 157 177 197 217
Tempo acumulado (min)

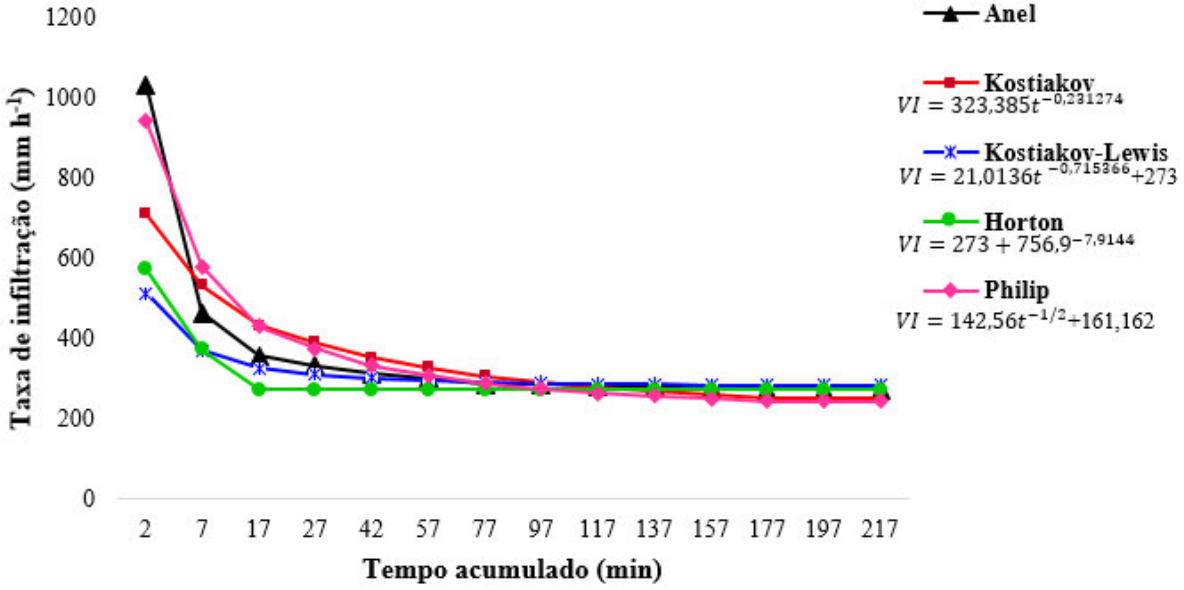
B.


Anel
Kostiakov
$VI = 283{,}381t^{-0{,}261441}$
Kostiakov-Lewis
$VI = 52{,}5857t^{-0{,}519501}+219{,}99$
Horton
$VI = 219{,}99 + 560{,}01^{-4{,}6238t}$
Philip
$VI = 110{,}442t^{-1/2}+126{,}481$
Taxa de infiltração (mm h-1)
1200
1000
800
600
400
200
0
2 7 17 27 42 57 77 97 117 137 157 177 197 217
Tempo acumulado (min)

C.


Taxa de infiltração (mm h-1)
1200
1000
800
600
400
200
0
2 7 17 27 42 57 77 97 117 137 157 177 197 217
Tempo acumulado (min)
Anel
Kostiakov
VI = 102,687t^-0,391334
Kostiakov-Lewis
VI = 24,4394t^-0,605013 + 69,99
Horton
VI = 69,99 + 470,01^-7,2860T
Philip
VI = 89,3578t^-1/2+5,84755

D.


Taxa de infiltração (mm h-1)
1200
1000
800
600
400
200
0
2 7 17 27 42 57 77 97 117 137 157 177 197 217
Tempo acumulado (min)
Anel
Kostiakov
VI = 323,385t^-0,231274
Kostiakov-Lewis
VI = 21,0136t^-0,715866+273
Horton
VI = 273 + 756,9^-7,9144
Philip
VI = 142,56t^-1/2+161,162

E.

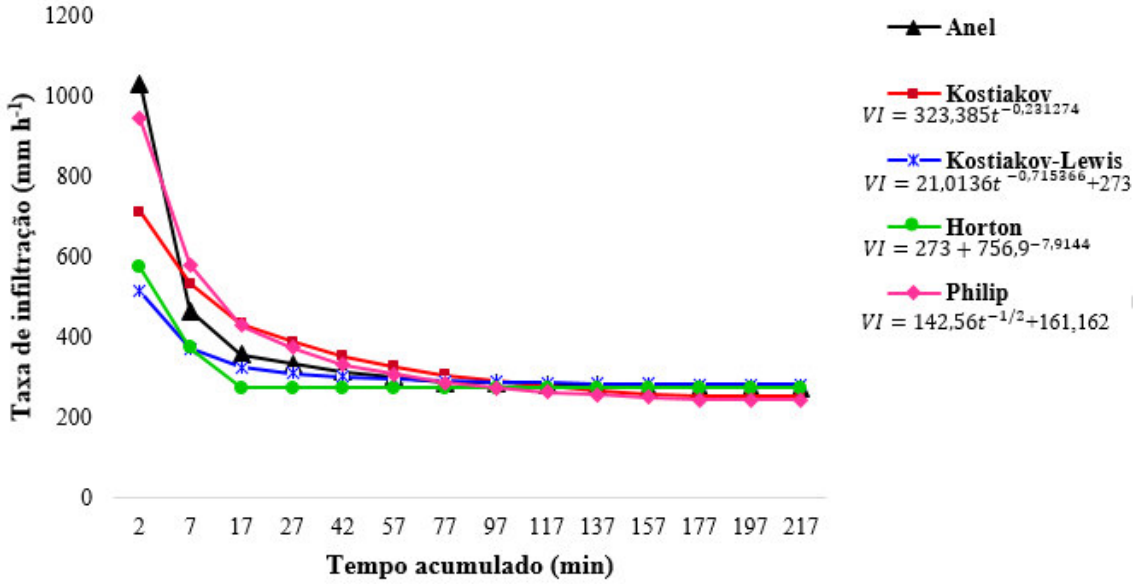


Figura 9. Valores médios das velocidades de infiltração medidos e calculados pelos modelos matemáticos no sistema de cultivo convencional (A), plantio direto (B), cultivo mínimo (C), na área do eucalipto (D) e na área da mata nativa (E).

Os valores observados em campo por meio do anel concêntrico quando comparado com o modelo de Kostiakov-Lewis, evidencia que o desempenho entre curvas foram distintas no início da infiltração, apresentando valores menores que o medido, porém ao logo do teste observou que as curvas se mantiveram semelhantes prolongando até o termino do teste. O que é comprovado aplicando teste de probabilidade a 5% (Tabela 6), quando mostrou que não há diferença significativa, exceto para a área do plantio direto. Indicando assim, que esse modelo não deve ser utilizado para avaliar o estudo da velocidade de infiltração básica da água no solo para essa área. Esses resultados não estão de acordo com os de Pertussatti et al. (2011), ao estudarem a erosão hídrica e infiltração de água sob diferentes tipos e cobertura de solo, afirmaram que o modelo de Kostiakov-Lewis foi o que obteve o melhor ajuste para os solos em estudos.

Analisando a distribuição dos dados para o modelo de Philip em comparação ao infiltrômetro, nota-se que os valores foram bastante semelhantes no início, porém ao passar do tempo os valores foram se distanciando, e ao termino do teste subestimou o valor real da velocidade de infiltração básica do solo. Dessa forma considerando essa equação impropria. A análise estatística (Tabela 6) embasou o resultado anterior a comprovar que houve efeito significativo ($p<0,05$) para os plantios direto e convencional.

Já para os valores encontrados no campo e comparado a equação matemática de Kostiakov é possível afirmar que, o comportamento das curvas foram diferentes, esse modelo subestimou os valores reais tanto no início quanto no final dos testes. Quando se aplicou o teste de médias estatísticas notou-se que houve diferença significativa em comparação ao teste real em todas as áreas exceto no sistema do plantio convencional, isso pode estar associado à limitação desse modelo em determinar a velocidade de infiltração básica da água no solo, em teste de longo tempo. Esses dados obtidos no presente trabalho vão de encontro ao afirmado por Cunha et al. (2015) ao pesquisarem sobre a determinação da velocidade de infiltração em um Latossolo os autores concluíram que, o modelo de Kostiakov foi o que melhor descreveu a taxa de infiltração real.

Dentre os modelos empíricos utilizados para estimar as curvas de velocidade de infiltração real, o modelo proposto por Horton, embora tenha subestimado os valores da curva de infiltração, no início do processo, foi o que produziu alturas de lâminas de água que melhor se ajustaram àquelas infiltradas no solo, após 117 minutos acumulados, as curvas se tornaram praticamente idênticas em todas as áreas. Através dos valores oriundos da Tabela 6 foi possível confirmar o que foi observado anteriormente ao verificar que não houve diferença significativa nos diferentes tratamentos trabalhados, a 5% de probabilidade quando se comparou com os dados medidos, dessa forma é possível afirmar que, a equação de Horton é perfeitamente aderente sendo a que melhor expressa a velocidade de infiltração em todas as áreas do presente estudo, o que foi observado por outros autores em estudo de infiltração de água no solo descrito através de modelos matemáticos (SANTOS, 2014; SCHREINER et al., 2010; TOMASINI, et al., 2010; PAIXÃO et al., 2009).

Na Tabela 7 observam-se os resultados da condutividade hidráulica vertical superficial para as áreas de mata nativa, plantio direto, mínimo, convencional e eucalipto obtendo os valores de 28,51, 24,22, 5,92, 1,28 e 1,19 cm h^{-1} respectivamente. Dessa forma esses resultados são congruentes com os disponibilizados pela Tabela 6.

Tabela 7. Condutividade hidráulica do solo (Ko) em cm h^{-1} à temperatura padrão de 20ºC, com os respectivos coeficientes de variação (CV).

Tipos de cobertura do solo	**Ko**	**CV(%)**
MN	28,51 a1	43,17
PD	24,22 a1	85,68
CM	5,92 a1	27,1

Tipos de cobertura do solo	Ko	CV(%)
EU	1,28 a1	51,33
CC	1,19 a1	14,33

MN – mata nativa, PD – plantio direto, CM – cultivo mínimo, EU – eucalipto, CC – cultivo convencional.
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de probabilidade a 5%.

De acordo com a classificação feita por Ferreira (2001) para a condutividade ajusta ao padrão de 20ºC, as áreas de mata nativa e plantio direto classificam-se como muito rápida, o plantio mínimo como moderada, já as áreas de eucalipto e plantio convencional como moderada lenta. Em estudo realizado por Fiori et al. (2010) sobre a variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do estado de Goiás, os Latossolos Vermelho Amarelo foram classificados de alta a muito baixa, os mesmo autores ainda afirmaram que os valores de condutividade hidráulica vertical demonstram o desempenho hídricos das coberturas e controlam diretamente a função dos filtros dos aquíferos.

Em conformidade ainda com a Tabela 7, onde são dispostos os resultados do teste de média a 5% de probabilidade, percebe-se que não houve efeito significativo ($p>0,05$) para a condutividade hidráulica nos diferentes tratamentos. Resultado que corrobora com Batista e Souza (2015), ao avaliarem a condutividade hidráulica do solo sobre condições de cobertura por cerrado e pastagem, concluíram que ambos os ambientes apresentaram as mesmas condições de condutividade hidráulica. Segundo o teste de Tukey os valores de condutividade apresentaram alta variabilidade com CV (%) alternando de 18,44 a 85,68% evidenciando alta heterogeneidade nas áreas. Nos estudos realizados por Ribeiro (2008) sobre a distribuição de vazios, determinada pela teoria geométrica probabilística e Santos et al. (2012), na variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco, também concluíram em seus trabalhos que os altos valores de coeficiente de variação indicaram grande heterogeneidade do solo, que provavelmente foi motivado por presença de raízes, porosidade, atividade microbiana entre outros fatores.

Na Tabela 8 estão dispostos os valores médios da umidade do solo, nota-se que no momento do teste da resistência mecânica do solo à penetração de modo geral a camada de 0 – 10 cm apresentou maior teor de água no solo do que a camada de 0 – 20 cm.

Tabela 8. Teor de água do solo de um Argissolo Vermelho Amarelo da bacia hidrográfica do rio Poxim nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm submetida a diferentes tipos de cobertura do solo.

	Umidade do solo (Kg Kg^{-1})	
Tipo de cobertura	0-10 cm	10-20 cm
MN	4,39	2,58
EU	4,74	5,43
PD	6,03	5,56
CM	11,14	8,18
CC	9,84	8,66

Aonde MN – mata nativa, PD – plantio direto, CM – cultivo mínimo, EU – eucalipto, CC – cultivo convencional.

O resumo da análise de variância para a resistência mecânica do solo à penetração encontra-se na Tabela 9. No que se diz a respeitos dos fatores estudados, constatou-se que houve interação significativa ($p<0,05$) entre os tipos de cobertura do solo e as camadas do solo, ou seja, a profundidade interfere significativamente na variação dos resultados dos tipos de cobertura do solo, sendo o inverso também verdadeiro.

Tabela 9. Resumo da análise de variância para resistência mecânica do solo à penetração em função do tipos de cobertura do solo nas diferentes camadas de profundidades.

FV	**GL**	**QM**
Tipos de cobertura do solo (TC)	4	36,663695*
Camada (CAM)	7	20,135268*
TC*CAM	28	3,287276*
erro	80	2,003265
Total corrigido	119	
CV (%)	30,05	
Média geral	4,70	

* e ** significativo pelo teste F a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Na Tabela 10 podem ser observados os resultados dos testes de médias a 5% de probabilidade para os testes de resistência mecânica do solo à penetração.

Tabela 10. Médias de interação entre às profundidades aplicadas em relação aos tipos de coberturas do solo amostradas para resistência mecânica do solo à penetração (RMP).

Camadas de Profundidades (cm)	Tipo de cobertura (Mpa)				
	PD	**PM**	**PC**	**MN**	**EU**
0-5	1,56aA	1,46aA	1,44aA	3,10aB	4,13aB
5-10	2,50aA	2,32aA	2,08aA	7,56bB	7,96bB
10-15	3,33aA	3,34aA	2,96aA	5,95 bB	5,62aB
15-20	3,96bA	4,23bA	3,62bA	4,17a A	6,33bA
20-25	4,37bA	5,11bA	4,26bA	7,10bB	7,80bB
25-30	4,75bA	5,87bA	4,62bA	4,10bA	4,13bA
30-35	4,88bA	5,33bA	4,80bA	7,17bA	5,60bA
35-40	5,09bA	5,36bA	4,56bA	6,94bA	6,33bA

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na mesma linha (desdobramento dos cultivos dentro de cada camada de profundidade), e minúscula na mesma coluna (desdobramento das camadas de profundidades dentro de cada tipo de cultivo), não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Aonde MN – mata nativa, PD – plantio direto, PM – plantio mínimo, EU – eucalipto, PC – plantio convencional.

Observam-se que os menores valores de compactações do solo foram constatados nas camadas superficiais, já nas camadas inferiores apresentaram maiores valores de resistência do solo à penetração, em todos os tratamentos. É importante elucidar que esse resultado pode ser motivado pela presente área está disposta numa região de solos de tabuleiros costeiros que tem como característica marcante ambiente com horizontes subsuperficiais coesos, que dificultam o aprofundamento. Segundo Portela et al. (2011) embora considerados profundos, grande parte desses solos apresentam profundidade efetiva reduzida por horizontes subsuperficiais coesos, com espessura entre 0,2 e 0,6 m. Como também esses valores podem estarem associados as diferenças nas umidades dos solos, pois houve tendência ao aumento da resistência do solo à penetração em profundidade, o que se deve ao solo apresentar menor teor de água nas camadas mais inferiores, comprovado anteriormente (Tabela 8).

Diferentemente dos dados obtidos nesse presente estudo Vogel e Fey (2016) analisando a resistência mecânica do solo à penetração em diferentes sistemas de uso do solo no município de Jardim Alegre – PR, nas profundidades de 0 – 20; 20 – 40; 40 – 60 cm concluíram-se que, a área de pastagem não alterou os valores de RMP ao longo do seu perfil 0 – 60 cm.

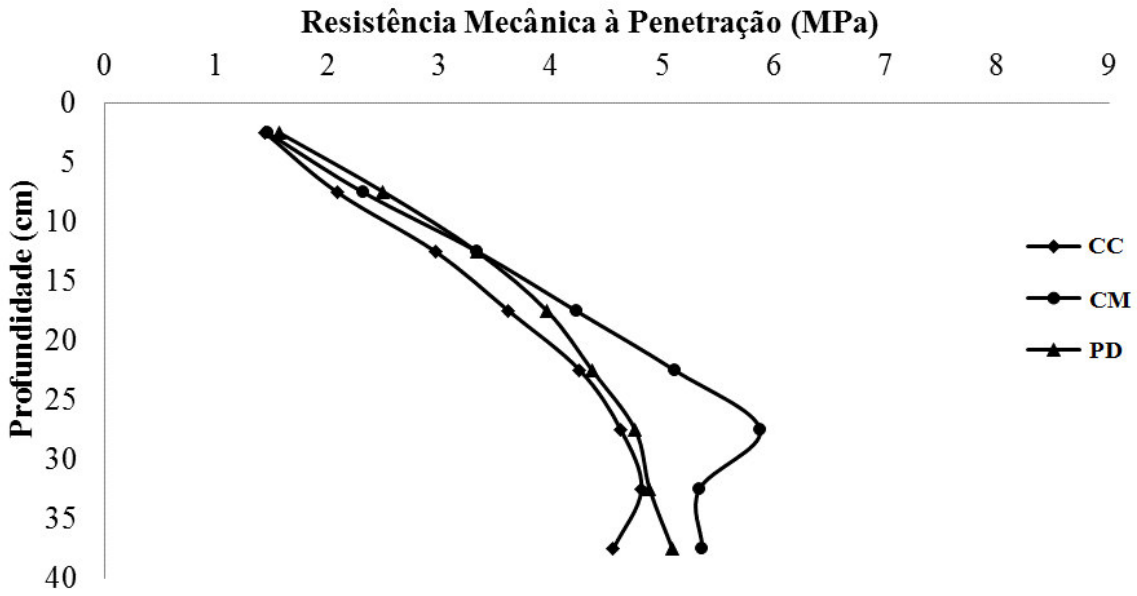
Verificou-se ainda que nas camadas 25 – 30, 30 – 35 e 35 – 40 cm não apresentaram valores que se diferenciassem significativamente a 5% de probabilidade, para os tipos de cobertura do solo. Esse fato pode ser motivado pelo presente solo ser classificado de acordo a EMBRAPA (2013) como Argissolo Distrófico arênico com horizonte B textural, aonde o teor de argila se eleva em relação ao horizonte A. Pedrotti et al. (2001) trabalhando com a resistência mecânica do solo à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo observaram que a partir dos 25 cm houve um aumento da resistência do solo motivado pela presença horizonte B com o aumento dos teores de argila. A susceptibilidade do solo à compactação apresenta variações, em função das propriedades do solo como a textura. A textura influencia o comportamento do solo, quando submetido a pressões externas, pois determina o atrito entre as partículas e o tipo de ligação entre elas. Em geral, quanto maiores as partículas do solo, menor sua compressibilidade e agregação (MACEDO, et. al., 2010).

Já nas camadas 0 – 5 cm não apresentaram diferenças significativas ($p>0,05$) entre os tipos de cobertura do solo estudados apenas para área de agricultura (plantio direto – PD, plantio mínimo – PM e plantio convencional – PC), porém ela se diferenciou significativamente a 5% de probabilidade da área florestal (mata nativa – MN e eucalipto – EU). Nas camadas de 5 – 10 e 10 – 15 cm a área do eucalipto (EU) não apontou diferença significativa ($p>0,05$) apenas para a área mata nativa (MN), se diferenciando significativamente para as demais áreas. Para as camadas de 15 – 20 cm não apresentou diferença significativa ($p>0,05$), já a camada de 20 – 25 cm houve diferença significativa ($p<0,05$) para a área florestais com a área da agricultura.

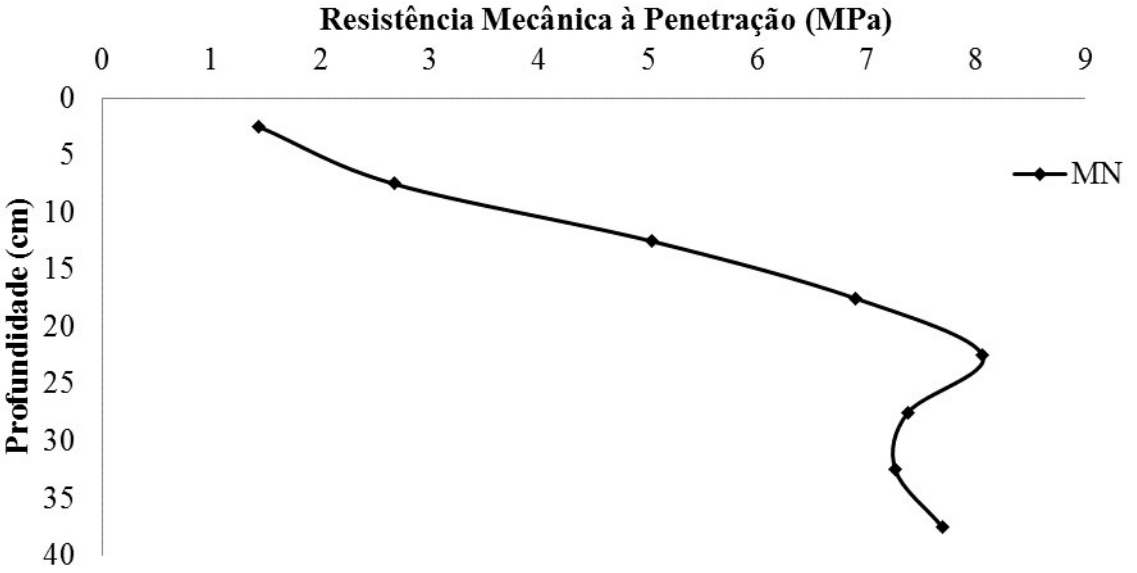
Silva et al. (2012) trabalhando com resistência mecânica do solo à penetração com diferentes coberturas vegetais sob sistema em Plintossolo Háplico, com a obtenção dos dados por meio de penetrômetro mecânico em quatro profundidades, sob diferentes usos (cultivo antecessor, leguminosas e vegetação espontânea) em um Sistema Agroflorestal, observaram que, a RMP não diferiu entre os sistemas de cultivo dentro de cada profundidade 0 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, respectivamente. Entretanto notou-se que nestas camadas, principalmente de 0 – 10 e 10 – 20 cm, que a RMP ficou abaixo de 1,5 MPa, exceção apenas para vegetação espontânea na camada de 10 – 20 cm.

Nas Figuras 10 (A, B e C) foram plotados os gráficos que corresponde a distribuição vertical média em todos os pontos de cada região amostral para a resistência do solo à penetração para cada camada e o tipo de cobertura da área da bacia hidrográfica do rio Poxim.

A.


Resistência Mecânica à Penetração (MPa)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
Profundidade (cm)
0 5 10 15 20 25 30 35 40
CC
CM
PD

B.


Resistência Mecânica à Penetração (MPa)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
Profundidade (cm)
0 5 10 15 20 25 30 35 40
MN

C.

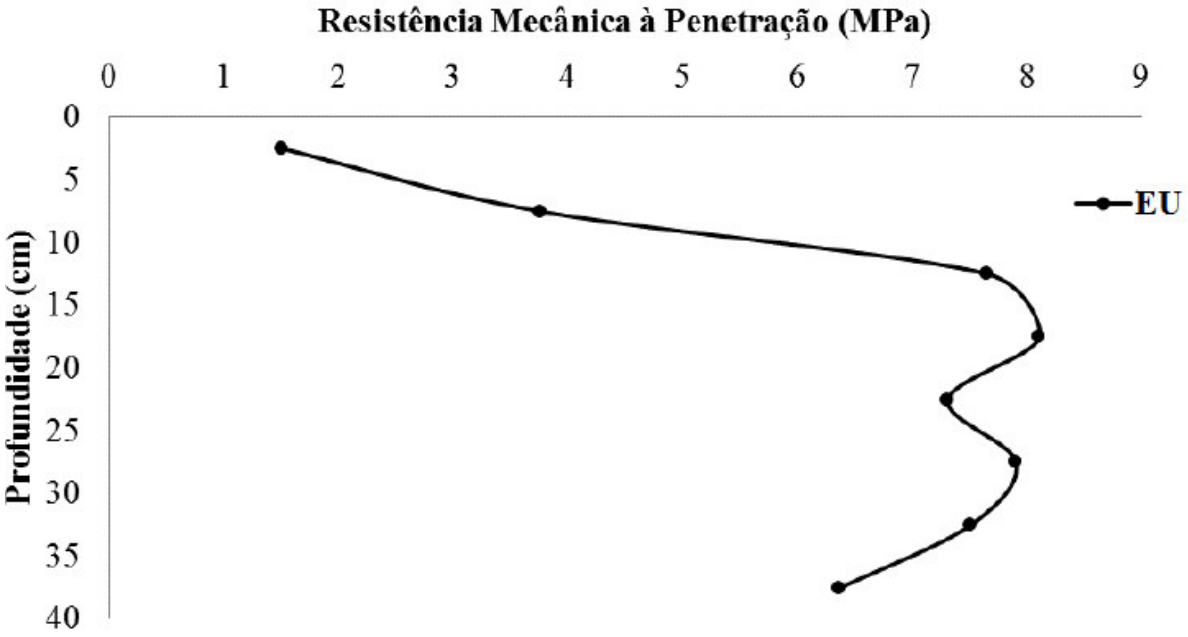


Figura 10. Resistência mecânica do solo à penetração em 0 – 40 cm para o tipo de manejo do solo do plantio direto – PD/cultivo mínimo – CM/cultivo convencional – CC (A), mata nativa (B) e eucalipto – EU (C).

De acordo ao estudo geral dos tipos de cobertura do solo presente na bacia hidrográfica do rio Poxim para cada tipo especifico das áreas de cultivos agrícolas e florestais, observa-se que a abrangência do cultivo agrícola foi o que obteve os menores valores de RMP em todas as camadas de profundidades, em comparação as áreas florestais (Figura 10).

Esse resultado provavelmente está ligado a diferença da umidade do solo no momento dos testes de RMP (Tabela 8). A umidade do solo subestimou os valores da RMP, isto é, a resistência mecânica do solo à penetração está intimamente relacionada ao teor de água no solo. (COUTO et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2015; SOUZA et al., 2014; ASSIS et al., 2014; TAVARES et al., 2014; LIMA et al., 2010; MORAES et al., 2013; TORRES et al., 2012; VAZ et al., 2011; BENEDETTI et al., 2010; SILVEIRA et al., 2010; SILVEIRA, 2009; ASSIS et al., 2009; RIBON; TAVARES FILHO, 2008; GENRO JÚNIOR et al., 2004; BORGES, 2004; RIBON et al., 2004; RIBON et al., 2003; CUNHA et al., 2002) correlacionam o alto valor de RMP a umidade do solo, onde a mesma exerce efeito negativo na RMP quando o solo apresenta baixa umidade.

Sabe-se que é importante procurar estabelecer as avaliações sempre após um período semelhante de chuvas homogêneas, realizando a avaliação no mesmo dia em todas áreas a serem comparadas a fim de evitar que a evapotranspiração e infiltração interfira no conteúdo

de água do solo na camada avaliada, ou ainda que novas precipitações venham ocorrer entre as avaliações. Porém, apesar de conhecer esses critério, nem sempre é possível seguir o mesmo padrão em ensaios de penetrometria, as vezes por disponibilidade de equipe, equipamentos ou até mesmo da área experimental. Além disso seria necessário uma ferramenta adicional, por exemplo sonda TDR, para aferir o teor de água do solo em tempo real no momento antes de decidir iniciar as amostragens.

Dessa forma, os dados reportados anteriormente na Tabela 10 destacam que no presente trabalho os valores obtidos pelos testes de RMP área para o plantio direto obtiveram os menores valores seguidos pelo plantio mínimo e convencional respectivamente. Observa-se ainda que dentro da área da agricultura não houve diferença significativa ($p>0,05$) das camadas 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 15 cm porém essas camadas se diferenciaram significativamente a 5% de probabilidade das demais. Esse presente resultado reforçam os dados dispostos na Tabela 6, onde no sistema de plantio direto foram obtidos os melhores valores de infiltração de água no solo. Sabe-se que os tipos de manejos que mantêm a proteção do solo por meio do contínuo aporte de resíduos orgânicos são fundamentais para a manutenção de uma boa estrutura. E que o contínuo fornecimento de material orgânico serve como fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização dos agregados e assim apresentam melhores características físicas ao solo. Por outro lado, a constante mobilização do solo através do acúmulo das cargas dos implementos utilizado no preparo do mesmo, é uma das principais causas das compactações dos solos, especialmente pela formação de uma camada bastante compactada em profundidade de 10 – 20 cm denominada de “Pé de grade” (SANTOS et al., 2015; LIMA et al., 2013; PALMA et al., 2013) fato também mencionado anteriormente no estudo da infiltração da água no solo do presente trabalho. Para Vezzani e Mielniczuk, (2009) os sistemas agrícolas que favorecem a qualidade do solo são aqueles que cultivam plantas intensivamente, de preferência de espécies diferentes, sem o revolvimento do solo.

Em trabalho conduzido por Lima et al. (2013) com a resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes sistemas de uso do solo, sendo uma área de Latossolo Amarelo sob três sistemas de uso do solo campo nativo (CN), área cultivada (AC) e área de Pastagem (AP). Os autores evidenciaram que o efeito do acúmulo das cargas dos implementos de preparo do solo utilizados, formaram o chamado "pé de grade". Este efeito ficou evidente no tratamento que recebeu revolvimento do solo, pois a resistência do solo à penetração aumentou na camada subsupeficial.

De acordo ainda com a Tabela 10, observa-se que a área do eucalipto obteve valores médios da resistência mecânica do solo à penetração variando em valores de 4,13 a 7,96 Mpa, e de 3,10 a 7,56 Mpa para área da mata nativa para as camadas estudadas (0 – 40 cm). Tais resultados provavelmente pode ser motivado pela área do plantio do eucalipto está disposta em uma região de transição de solo aonde há presença do Argissolo Vermelho Amarelo em associação com Plintossolos que em geral, apresentam características de solos rasos a poucos profundos, imperfeitamente drenados a mal drenados e, por vezes, fertilidade natural variável de eutróficos, epieutróficos a distróficos (ACRE, 2010). Oliveira et al. (2015) avaliando a resistência do solo à penetração em áreas de florestas na região amazônica, atribuiu a maior resistência do solo à penetração em áreas de eucalipto, por essa área apresentar maior quantidade de raízes e a menor umidade do solo.

Os valores da resistência do solo à penetração apresentados neste trabalho variaram de 1,24 a 8,10 MPa e estão classificados de moderados à extremamente altas, segundo a classificação de Soil Survey Staff (1993), que considera até 2,0 MPa como uma resistência do solo à penetração moderada e acima de 8 MPa como extremamente alta. Dados similares foram encontrados por Oliveira et al. (2015) no estudo da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes usos, ao concluírem que os valores de RMP foram classificados de moderadas a extremante altas. Diferentemente do que foi reportado por Couto et al. (2016) em trabalhos conduzidos com atributos edáficos e resistência a penetração em áreas de sistemas agroflorestais no sudoeste os valores de RMP variaram de muito baixa a alta. Segundo ainda o mesmo autor essa variação de resultados, são atribuídas às diferenças inerentes às classes de solos e aos manejos.

Observa-se que nas últimas quatros profundidades (25 – 30, 30 – 35 e 35 – 40 cm) já não houve efeito significativo a 5% dentro de cada área estudada (Tabela 10). Provavelmente devido ao efeito da sobreposição das camadas superiores. Esses dados assemelham-se a resultados verificados por (SANTOS et al., 2015; PALMA et al., 2013; SILVA et al., 2012;)

6. CONCLUSÕES

Os diferentes usos dos tipos de cobertura do solo (mata nativa, plantio direto, mínimo, convencional e eucalipto) proporcionaram velocidades de infiltração diferentes, sendo que o tratamento da mata nativa foi que obteve a maior taxa e o plantio convencional a menor taxa de infiltração nos testes na bacia hidrográfica do rio Poxim.

A equação matemática de Horton se adaptou melhor as condições edafoclimaticas da bacia do rio Poxim.

A condutividade hidráulica foi maior nas áreas de mata nativa, plantio direto, mínimo, eucalipto e plantio convencional respectivamente. Sendo que o tipo de uso do solo não modificou a condutividade hidráulica no Argissolo Vermelho Amarelo na bacia hidrográfica do rio Poxim.

A resistência mecânica do solo na área da bacia hidrográfica do rio Poxim, obteve os maiores valores nas camadas mais superficiais. E que foi intimamente influenciada pelo teor de água no solo, sendo inversamente proporcionais.

O uso da terra modificou a resistência mecânica do solo à penetração nas áreas da agricultura, sendo que os valores foram seguidos pelo Plantio direto, mínimo e convencional para a camada 0 – 10 cm. Já para a camada 10 – 20 cm o plantio continuou obtendo os menores valores, porém o convencional apresentou um menor valor de resistência mecânica do solo à penetração relacionado ao mínimo.

A densidade do solo está estritamente condicionada aos valores de resistência mecânica do solo à penetração, velocidade de infiltração do solo, porém possui uma menor correlação com a condutividade hidráulica do solo na presente bacia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRE. Governo do Estado do Acre. 2010. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000)**: Documento Síntese. 2.ed. SEMA, Rio Branco, Brasil. 356 p

ALBURQUERQUE, L. B.; OLIVEIRA, O. Caracterização da bacia hidrográfica do córrego pratinha – três lagoas (ms) como subsídio ao planejamento ambiental. **Revista Conexão Eletrônica**, v. 12, n. 1, p. 24–31, 2015.

ALMEIDA, D. M.; ANTUNES, R. M.; BARROS, W. S.; OLIVEIRA, J. A. G.; OLIVEIRA, T. O. P. Conceitos e atribuições do sistema de plantio direto e sua viabilidade nos agroecossistemas. **Revista Conexão Eletrônica**, v. 13, n. 1, p. 1–11, 2016.

ANDRADE, R. S; STONE, L. F; GODOY, S. G. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v. 17, n. 9, p. 932–937, 2013.

ARAÚJO, M. C. F; MENESES, P. R; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da Terra na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 1, p. 441–451, 2007.

ARAUJO, A. M.; LOBÃO, J. S. B. Análise do uso e cobertura da terra na Carta Santa luz SC-24-Y-D-III a partir das geotecnologias. In: Simpósio XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal – RN. **Anais** 2009.

ASSIS, R.L.; LAZARINI, G.D.; LANÇAS, K.P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 558–568, 2009.

ASSIS, E. B.; NUNES, M. C. M.; BARELLI, M. A. A.; SEABRA JUNIOR, S.; SERAFIM, M. E. Resistência à penetração em Argissolo Vermelho-Amarelo sob pousio e diferentes culturas de cobertura. **Enciclopédia biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1668–1677, 2014.

BAMUTAZE, Y.; TENYWA, M. M.; MAJALIWA, M. J. G.; VANACKER, V.; BAGOORA, F.; MAGUNDA, M.; OBANDO, J. WASIGE, J. E. Infiltration characteristics of volcanic sloping soils on Mt. Elgon, Eastern Uganda. **Catena**, v. 80, n. 1, p. 122–130, 2010.

BENEDETTI, M. M.; DUARTE, I. N.; MELO JUNIOR, H. B.; BORGES, E. N. Resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes usos**. Enciclopédia biosfera,** v. 6, n. 11, p. 1-9, 2010.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Universidade Federal de Viçosa: UFV,1986. 596 p.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BONINI, C. S. B. **Restauração ecológica de um solo decapitado sob intervenção antrópica há 17 anos.** 2012. 167 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha solteira, SP, 2012.

BONINI; C. S. B.; ALVES, M.C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 329–336, 2012.

BORGES, J. R. Resistência à penetração de um Gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. **Revista brasileira de Agrociências**, v. 10, n. 1, p 83-86, 2004.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, n. 3, p. 975-988, 2008.

BRASIL. **Constituição Federal, Coleção de Leis de direito ambienta**l. São Paulo: Manole, 2004. BRASIL. LEI N.º 9.433, DE 08 DE JANEIRO DE 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. Fernando Henrique Cardoso. Gustavo Krause.

BRASIL. Agência Nacional das Águas, **A gestão dos hídricos no Estado de Sergipe.** Série: Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos, CD n° 1, versão preliminar, 2001.

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

CARVALHO, A. J. A.; SOUZA, E. H.; MARQUES, C. T. S.; GAMA, E. V. S.; NACIF, P. G. S. Caracterização física dos solos dos quintais agroflorestais e cultivos monotípicos na região de Amargosa, Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2. p. 941-944. 2007.

COSTA, C. D. O. **Perdas de solo e deposição de sedimentos em duas sub-bacias hidrográficas no entorno da usina hidrelétrica de Ilha Solteira-SP**. 2013. 151 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2013.

COSTA, C. D. O; ALVES, M. C; SOUZA, A. P. Movimento de água e porosidade dos solos de uma sub-bacia hidrográfica no noroeste do estado de São Saulo. **Irriga**, v. 20, n. 2, p. 304-318, 2015.

COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C.; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G. Atributos edáficos e resistência a penetração em áreas de sistemas agroflorestais no sudoeste amazônico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 811-823, 2016.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHAES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v. 10, n. 1, p. 1-7, 2002.

CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E.; SANTOS, R. B. J. Velocidade de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 199-205, 2009.

CUNHA, J. L. X.; SILVA, C. A.; COELHO, M. E. H.; FONTES, L. O.; SILVA, M. G. O.; SILVA, I. N. Velocidade de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido ao

sistema de cultivo mínimo. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 7, n. 1, p. 30-35, 2011.

CUNHA, J. L. X. L.; COELHO, M. E. H.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A, SILVA, A. B.; CARVALHO, I. D. E. Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1021–1027, 2015.

DALRI, A. B.; CORTEZ, G. E. P.; RIUL, L. G. S.; ARAÚJO, J. A. C.; CRUZ, R. L. Influência da aplicação de vinhaça na capacidade de infiltração de um solo de textura franco arenosa. **Irriga**, v. 15, n. 4, p. 344-352, 2010.

DORIGO, W. A.; WAGNER, W.; HOHENSINN, R.; HAHN, S.; PAULIK, C.; XAVER, A.; GRUBER, A.; DRUSCH, M.; MECKLENBURG, S.; OEVELEN, P. V.; ROBOCK, A.; JACKSON, T. The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements**. Hydrol Earth System Science,** v. 15, n. 1, p. 1675–1698, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.

ESPINDULA, N. L. **influência do uso e cobertura da terra na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio bubu, município de Cariacica – ES**. 2012. 70 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria, ES, 2012.

FARIAS, H. F. L. **Velocidade de infiltração da água no solo irrigado por pivô central no município de Silvânia – Go**. 2015. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 2015.

FERNANDES, M. R; SOUZA, L. M. M. **Parâmetros Básicos de Bacias Hidrográficas –** Inferências. 2013. 14 p.

FERREIRA, O. J. M. **Cultivo do milho sob sistemas de manejos e culturas antecedentes nos tabuleiros costeiros.** 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2015.

FERREIRA, R. B.; NETTO, A. O. A.; SANTOS, T. I. S.; MATOS, E. L. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, estado de Sergipe: da degradação à restauração. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 265-277, 2011.

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matérias orgânicas de um Latossolo vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal.** v. 24, n. 2, p. 24-30, 2008.

FIORI, J. P. O; CAMPOS, J. E. G; ALMEIDA, L**.** Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do estado de Goiás. **Geociências**, v. 29, n. 2, p. 229-235, 2010.

FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 2008. 116 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

GENRO JÚNIOR, S. A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 477-484, 2004.

GUIAREZ, H. CAMPANHARO, W. A; PICOLI, M. H. S; CECÍLIO, R. A;HOLLANDA, M. P. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal – RN. **Anais** 2009.

HABILI, J. M.; HEIDARPOUR, M. Application of the Green–Ampt model for infiltration into layered soils. **Journal of Hydrology**, v. 25, n. 527, p. 824–832, 2015.

HORTON, R. E. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 5, n.1, p. 399-417, 1940.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 171 p.

KAMIMURA, K. M.; ALVES, M. C.; ARF, O.; BINOTTI, F. F S. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho sob cultivo do arroz de terras altas em diferentes manejos do solo e água. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 723-731, 2009.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

KONHE, J. M.; ALVES, J.; KOHNE, S.; TIEMEYER, B.; LENNARTZ, B.; KRUSE, J. Double-ring and tension infiltrometer measurements of hydraulic conductivity and mobile soil regions. **Pesquisa Agropecuária Tropical,** v. 41, n. 3, p. 336-347, 2011.

KOSTIAKOV, A. N. On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. Trans. 6t h comm. **International Society of Soil Science**, p. 17-21, 1932.

LAZZAROTTO, C. Cultivo mínimo do solo com tração animal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 3, Suplemento especial, p. 57-58, 2008.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 4, n. 12, p. 90-106, 2012.

LIMA, R. P.; LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. Resistência mecânica à penetração sob diferentes sistemas de uso do solo. **Scientia Plena**, v. 9, n. 6, p. 1-7, 2013.

MACEDO V. R. M.; SILVA A. J. N.; CABEDA M. S. V. Influência de tensões compressivas na pressão de precompactação e no índice de compressão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 2, n. 14, p. 856-862, 2010.

MARCATTO, F. S.; SIVEIRA, H. Avaliação físico-hídrica do Latossolo Vermelho textura argilosa: subsídios a gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Pirapó-PR. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá**, v. 7, n. 1, p. 117-138, 2015.

MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ, O. F. J.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazonica**. v. 38, n. 2, p. 193 – 206, 2008.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINHGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109, n. 4, p. 139-149, 2013.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHICI, J. C.; SILVA, V. R. Soil penetration resistance in a rhodiceutrudox affected by machinery traffic and soil water content. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p.748-757, 2013.

MORAIS, T. P. S.; PISSARRA, T. C. T.; REIS, F. C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho-Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera,** v. 8, n. 15, p. 214-223, 2012.

MOREIRA, A. M. Uso de imagens do Google Erath capturadas através do software Stich map e do TM/ metodológico Ladsta-5 para mapeamento de lavouras cafeeiras – nova abordagem. In: XV Simpósio Brasileira de Sensoriamento Remoto, Curitiba – PR. **Anais** 2011.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A. Estratégias agroecológicas para aumentar a resiliência no contexto das mudanças climáticas. **Agriculturas: experiências em agroecologia**, v. 9, n. 1, p. 12-19, 2012.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 338 p.

NUNES, J. A. S.; SILVEIRA, M. H. D.; SILVA, T. J. A.; NUNES, P. C. M.; CARVALHO, K. S. Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em Latossolo Vermelho de cerrado. **Enciclopédia biosfera**, v. 8, n. 15; p. 1685-1692. 2012.

OLIVERA, P. C. A.; RODRIGUES, S. C. Utilização de cenários ambientais como alternativa para o zoneamento de bacias hidrográficas: estudo da bacia hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia MG. **Revista Sociedade & Natureza (Online),** v. 21, n. 3, p. 45-57, 2009.

OLIVEIRA, L. A.; GONÇALVES, R. M; MARTINS, F. P. Contraste de condutividade hidráulica em solos de texturas arenosa e argilosa encontrados nos tributários da margem esquerda do rio tijuco, município de Ituiutaba, estado de Minas Gerais, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 33, p. 230 – 243, 2010.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; COSTA, Y. D. J.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, E. F. F. Compressibilidade de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 435-442, 2011.

OLIVEIRA, V. B. **Avaliação da infiltração da água no solo utilizando modelos determinísticos**. 2015. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura 'Luiz Queiroz"/USP. Piracicaba, SP, 2015.

OLIVEIRA, B. S.; CARVALHO, M. A.; LANGE, A.; DALLACORT, R.; SILVA, V. P. Resistência do solo à penetração em áreas sob o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11 n. 22, p. 3678-3689, 2015.

PAIXÃO, F. J. R.; ANTONIO R. S. ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V.; COSTA. T. L.; GUERRA, O. C. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 1, p. 107-112, 2009.

PALMA, M. A. Z.; VOLPATO, C. E. S.; SILVA, F. C.; SOUZA, P.; SILVA, J. A. Resistência do solo à penetração em cafezais cultivados com sistema. **Coffee Science, Lavras**, v. 8, n. 3, p. 364-370, 2013.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 35, p. 1777-1785, 2011.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p.521-529, 2001.

PERTUSSATTI, C. A.; ALVES, T. S.; REBUCCI, L. C. S.; RODRIGUES, D. B. B; OLIVEIRA, P. T. S. Erosão hídrica e infiltração de água sob diferentes tipos e cobertura de solo. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió – AL. **Anais** 2011.

PIERDICCA, N; FASCETTI, F; PULVITENTI, L; CRAPOLICCHIO, R; SABATER, J.M. Analysis of ASCAT, SMOS, in-situ and land model soil moisture as a regionalized variable over Europe and North Africa. **Remote Sensing of Environment,** v. 170, n. 1, p. 280–289, 2015.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de águas em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícolas. **Revista Ambiente & Água**, v. 4, n. 2, p. 1-12, 2009.

PHILIP, J. R. The theory od infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. **Soils Scienc**e, v. 83, p. 345-357, 1957.

PORTELA, J. C.; LIBARDI, P. L.; JONG, L. V. Q. Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 5, n. 1, p. 49-50, 2001.

PRADO, R. B; NOVO, E. M. L. M; PEREIRA, M. N. Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 1, 2007.

PREVEDELLO, J. **Dinâmica do armazenamento e da disponibilidade de água em Argissolo sob eucalipto e campo nativo**. 2012. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, RS, 2012.

RIBEIRO, K. D. **Distribuição de vazios, determinada pela teoria geométrica, probabilística e sua influência na caracterização físico hídrico do solo**. 2008. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, MG, 2008.

RIBON, R.; SIMON, J. E.; MATTOS, G. T. Bird extinction in Atlantic Forest fragments of the Viçosa region, southeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 2, n. 17, p.1827-1839, 2003.

RIBON, R.; LAMAS, I. R.; GOMES, H. B. Avifauna da zona da Mata de Minas Gerais: municípios de Goianá e Rio Novo, com alguns registros para Coronel Pacheco e Juiz de Fora. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p.291-305, 2004.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do estado do paraná. **Revista Brasileira de Ciência Sol**o, v. 32, n. 5, p. 1817-1825, 2008.

ROCHA, P. R. **Indicadores da qualidade do solo e determinação de níveis de degradação de pastagens.** 2012. 78 f. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria, ES, 2012.

ROMEIRO, E. R.; BONINI, C. S. B.; BONINI, A. Infiltração de água no solo sob diferentes usos e manejo. **X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 7, p. 39-49, 2014.

SANTOS, S. K.; MONTENEGRO, A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANDRADE, T. S.; FONTES JUNIOR, R. V. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 828–835, 2012.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã – MA. **Cadernos de Pesquisa**, v. 20, n. especial, p. 108-112, 2013.

SANTOS, H. M. T**. Estimativa da velocidade de infiltração básica (VIB) nos solos da sub-bacia do Rio Siriri-SE utilizando o modelo de Horton, Kostiakov-Lewis e Philip.** 2014.

84 f. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2014.

SANTOS, M. H. F.; RIBON, A. A.; FERNANDES, K. L.; SILVA, O. C. C.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, A. Estimativa da compactação através da resistência do solo a penetração em solo sob diferentes culturas e mata nativa**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 1, n. 27, p. 49-62, 2015.

SEMARH-SE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas digital sobre os Recursos Hídricos de Sergipe**. Aracaju: SEPLANTEC/SRH, 2013.DVD-ROM.

SCHREINER, D. T.; VOGELMANN, E. S.; PREVEDELLO, J.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; CONSENSA, C. O. B. Estimativa da infiltração de água no solo através de pedofunções em área de floresta plantada**.** In: VII Reunião Sul Brasileiro de ciência do solo. Santa Maria – RS. **Anais** 2010.

SENEVIRATNE, S. I; CORTI, T; DAVIN, E. L. D; HIRSCHI, M; JAEGER, E. B; LEHNER, I; ORLOWSKY, B; TEULING, A. J. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. **Earth-Science Reviews,** v. 99, n. 1, p. 125–161, 2010.

SHWETHA, P; VARIJA, K. Soil water retention curve from saturated hydraulic conductivity for sandy loam and loamy sand textured soils. **Aquatic Procedia**, v. 4, n. 1, p. 1142 – 1149, 2015.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; CABRAL, F. R.; TEIXEIRA, M. B., CARVALHO, J. J. Características físico-hídricas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 5, p. 375-390, 2014.

SILVA, J. C. A.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F. Avaliação da infiltração da água no solo como indicador de modificações edáficas em três sistemas de manejo. **Agropecuária Técnica**, v. 27, n. 2, p. 85–91, 2006.

SILVA, Z. F. B. **Cenário atual da secção urbana do rio Poxim**. 2001. 86 f. Monografia. (Especialização em Gestão de Recursos Hídricos em Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2001.

SILVA, A. R.; SILVA, L. L.; FRAZÃO, J. J.; SALGADO, F. H. M.; Silva, M. C.; CORRECHEL, V. Resistência mecânica à penetração do solo com diferentes coberturas vegetais sob sistema. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 22, n. 2, p. 1-13, 2012.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2008.

SILVEIRA, D.C. **Diagnóstico da qualidade do solo em um pomar de citros cultivado com plantas de cobertura nas condições ambientais do Recôncavo da Bahia**. 2009. 73 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2009.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.

SOIL SURVEY STAFF**. Soil survey manual**. Handbook, 18. USDA-SCS. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C. USA. 1993.

SOUZA NETO, G. J. **Desempenho de Modelos de infiltração em sub-Bacia hidrológica do Ribeirão Marcela na região do alto Rio Grande – MG**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

SOUZA, G. J. N. **Desempenho de modelos de infiltração em sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela na região do Alto Rio Grande-MG.** 2015. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agricola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2015.

SOUZA, E. B.; PATROCÍNIO FILHO, A. P.; PIMENTA, W. A.; NAGAHAMA, H. J.; CORTEZ, J. W. Resistência mecânica do solo à penetração em função da sua umidade e do tipo de penetrômetro. **Engenharia na agricultura**, v. 22, n. 1, p. 67-76, 2014.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301–1309, 2013.

STIPP, N. A. F; CAMPOS, R. A; CAVIGLIONE, J. H. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Taquara – uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal da Cartografia**, v. 3 n. 1, p. 105-124, 2010.

SZYMCZAK, D. A.; BRUN, E. J.; REINERT, D. J.; FRIGOTTO, T.; MAZZALIRA, C.C.; LÚCIO, A. D.; MARAFIGA, J. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de Pinus taeda L. na região Sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 641-648, 2014.

TAVARES, U. E.; MONTENEGRO, A. A. A.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. S.; VICENTE, T. F. S.; ANDRADE, C. W. L. Variabilidade espacial da resistência à penetração e da umidade do solo em Neossolo Flúvico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 3, n. 2, p. 79-89, 2014

TOMASINI, B. A.; VITORINO, A. C. T.; GARBIATE, M. V SOUZA, C. M. A.; 4, TEODORICO A. T. S**.** Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de- -açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 6, p.1060-1070. 2010.

TORRES, J. L. R.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; SENE, G. A.; JAIME, D. G.; VIEIRA, D. M. S. Resistência à penetração em área de pastagem de capim Tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, v. 28, n. Supplement 1, p. 232-239, 2012.

TRUDEL, M; LECONTE, R; PANICONI, C. Analysis of the hydrological response of a distributed physically-based model using post-assimilation (EnKF) diagnostics of streamflow and in situ soil moisture observations. **Journal of Hydrology,** v. 514, n. 1, p. 192–201, 2014.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados,** v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

ULOMA, A. R; SAMUEL, A. C; KIGSLEY, I. K. Estimation of Kostiakov's Infiltration Model Parameters of Some Sandy Loam Soils of Ikwuano – Umuahia,Nigeria**. Open Transactions on Geosciences**, v. 1, n. 1, p. 21-30, 2014.

VAZ, C. M. P.; MANIERI, J. M.; DE MARIA, I. C.; TULLER, M. Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. **Geoderma**, v. 166, n. 1, p. 92-101, 2011.

VEIGA, M. **Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas**. 2005. 110 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p:743-755, 2009.

VIANA, P. C.; LIMA, J. G. A.; ALVES, A. S.; LIMA, R. M. S.; MEDEIROS, J. F.; PEREIRA, M. M. Determinação da velocidade de infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. In: XXV CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. São Cristóvão - SE. **Anais** 2015.

VOGEL, G. F.; FEY, R. Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 1, p. 21–26, 2016.

WMO – World Meteorological Organization. **Implementation plan for the global observing system for climate in support of the unfccc**. 2010.

ZOMARA, G. A; SÀNCHEZ, N; FERNÀNDEZ, M. J; GUMUZZIO, A. PILES, E. O. Long-term SMOS soil moisture products: A comprehensive evaluation across scales and methods in the Duero Basin (Spain). **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 83, n. 1, p. 123-136, 2015.

ZUQUETTE, L. V.; PALMA, J. B. Avaliação da condutividade hidráulica em área de recarga do aquífero Botucatu. **Revista Escola de Minas**. v. 59, n. 1, p. 81-87, 2006.

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGOL, D. R.; ROSA, G. M.; MORAES, M. T. Utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3489-3500, 2013.