

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
MESTRADO EM GESTÃO DO TERITÓRIO

MARILAINÉ ALVES DOS SANTOS

INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA VARIABILIDADE SAZONAL  
DA TAXA DE INFILTRAÇÃO NA BÁCIA HIDROGRÁFICA RIO BONITO EM IRATI –  
PR

PONTA GROSSA  
2016

MARILAINE ALVES DOS SANTOS

INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA VARIABILIDADE SAZONAL  
DA TAXA DE INFILTRAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA RIO BONITO EM IRATI –  
PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, curso de Mestrado em Gestão do Território da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientação: Dra. Silvia Méri Carvalho

Co-Orientação: Dr. Valdemir Antoneli

PONTA GROSSA  
2016

**Ficha Catalográfica**  
**Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG**

S237 Santos, Marilaine Alves dos  
Influência do uso e ocupação da terra na variabilidade sazonal da taxa de infiltração na Bacia Hidrográfica Rio Bonito em Irati -PR/ Marilaine Alves dos Santos. Ponta Grossa, 2016.  
113f.

Dissertação (Mestrado em Gestão do Território - Área de Concentração: Gestão do Território: Sociedade e Natureza), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profª Drª Silvia Méri Carvalho.

Coorientador: Prof. Dr. Valdemir Antoneli.

1.Infiltração. 2.Sazonalidade. 3.Uso da terra. 4.Resistência a penetração. I.Carvalho, Silvia Méri. II. Antoneli, Valdemir. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Gestão do Território. IV. T.


CDD: 551


## TERMO DE APROVAÇÃO

Marilaine Alves dos Santos

### "INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA VARIABILIZAÇÃO SAZONAL DA TAXA DE INFILTRAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA RIO BONITO EM IRATI-PR"

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:   
Prof.ª, Dr.ª, Sílvia Méri Carvalho  
UEPG

  
Prof. Dr. Nicolas Floriani  
UEPG

  
Prof.ª, Dr.ª Nilza Feres Stipp  
UEL

Ponta Grossa, 08 de julho de 2016.

Dedico à Deus, por guiar meu caminho e me permitir chegar até aqui. Dedico também à minha família que sempre esteve ao meu lado me apoiando.

## AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia por possibilitar o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Geografia por sempre estarem dispostos a ajudar.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo auxílio financeiro, que foi de fundamental importância para o desenvolvimento deste trabalho.

À professora orientadora Dr<sup>a</sup>. Silvia Méri Carvalho pela dedicação, apoio incondicional no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. Valdemir Antoneli, co-orientador, pelo incentivo, apoio e dedicação para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Edézio da Cunha e Edivaldo Lopes Thomaz pelas contribuições durante a banca de Qualificação.

Aos amigos do LAESA- Laboratório de Estudos Socioambientais da UEPG, Zíngara, Dulcina, Andreza e Adelita.

Ao Ministério do Meio Ambiente pelo fornecimento das imagens para a elaboração dos mapas temáticos.

Aos amigos da Geografia da UNICENTRO - Universidade Estadual Do Centro Oeste, Regiane, Vanessa, Aline, Inês e Elenise, pelo carinho e amizade.

À Professora Dra. Selma Regina Aranha Ribeiro, do laboratório de Geoprocessamento pelo apoio e pelos ensinamentos em Sensoriamento Remoto.

Ao professor João Anésio Bednarz do Laboratório de Geografia Física da UNICENTRO pelos ensinamentos e análises de solos.

Ao departamento de ciência do solo e engenharia agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pelo auxílio nas análises físicas do solo.

À todos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Mas é preciso ter força  
É preciso ter raça  
É preciso ter gana sempre...

(Milton Nascimento e Fernando Brant)



## RESUMO

A variabilidade nas condições físicas do solo ocorre devido uma série de fatores tanto climáticos, topográficos quanto em decorrência do uso e ocupação da terra. Esses fatores podem interferir no processo de infiltração de água no solo, gerando uma série de problemas, como a erosão do solo e as enchentes, muitas vezes advindos de um intenso escoamento superficial. Esta pesquisa teve como objetivo compreender a influência do uso e ocupação da terra na variabilidade sazonal da taxa de infiltração na bacia hidrográfica Rio Bonito em Irati, região Centro-sul do estado do Paraná. Mensurou-se a taxa de infiltração com um infiltrômetro de anel concêntrico, no período de junho de 2014 a julho de 2015, em quatro diferentes classes de uso: Cultura, Floresta, Pastagem e Áreas Urbanizadas. Foram realizadas também coletas de solos para análise de granulometria, densidade e porosidade, sendo abertas ao longo do perfil da vertente três trincheiras e coletados solos nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-30cm em cujos pontos foram realizadas coletas de umidade, compactação e infiltração. Foram constatados valores significativos de infiltração para as classes Cultura e Floresta e menores valores para Pastagem e Áreas Urbanizadas. A análise granulométrica revelou solos com altos teores de argila e silte. As maiores resistências a penetração foram encontradas na classe pastagem e a menor na floresta, a pastagem foi a classe que apresentou a maior densidade e a menor porosidade do solo, já a floresta a menor densidade e maior porosidade. A classe cultura embora tenha apresentado elevados valores de densidade e compactação registrou uma alta taxa de infiltração. A análise dos resultados de alguns atributos físicos do solo apresentou relação com a infiltração como resistência e densidade do solo, no entanto os valores mais significativos foram com a sazonalidade, que apresentou maiores valores de infiltração no inverno e na primavera.

**Palavras-chave:** Infiltração, Sazonalidade, Uso da terra, Resistência a penetração.

## ABSTRACT

The variability in the physical condition of the soil occurs because a series of climatic factors, as well as topographic due to use and occupancy of the land. These factors may interfere in the process of water infiltration into the soil, creating a series of problems such as soil erosion and flooding, often from a runoff. This research aimed to understand the influence of the use and occupation of land on seasonal variability of infiltration rate on watershed Rio Bonito in Irati, the Center-South region of the State of Paraná. Measure the rate of infiltration with a concentric ring infiltrômetro in the period of June 2014 to July 2015, in four different classes of use: Culture, forest, pasture and Urbanized Areas. Also soil samples were taken for analysis of particle size, density and porosity, being opened along the profile of three trenches and collected soil depths 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm in whose collections were carried out points of moisture, compression and infiltration. Had been evidenced significant infiltration values for classes and Forest Culture and lower values for Pasture and Urbanized Areas. Particle size analysis revealed high levels of soil clay and silt. The greatest resistance to penetration was found in grassland and the lowest class in the forest, grazing was the class that presented the highest density and lowest porosity of the soil, the forest a lower density and higher porosity. The class culture although it has presented high values of density and compression registered a high rate of infiltration. The analysis of the results of some physical attributes of soil presented related to infiltration as resistance and soil density, however the most significant values were with seasonality, which presented higher values of infiltration in the winter and spring.

**Keywords:** Infiltration, Seasonality, Land use, Penetration resistance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interações entre os componentes de uma bacia hidrográfica .....	19
Figura 2 – Métodos para estudos e planejamento de Bacias Hidrográfica .....	20
Figura 3 – Esquema teórico de construção de uma nomenclatura da cobertura terrestre.....	30
Figura 4 – Processos ocorridos devido à urbanização.....	32
Figura 5 – Modelo que representa a infiltração em diferentes usos da terra.....	34
Figura 6 – Localização da bacia Rio Bonito - Irati, PR. ....	36
Figura 7 – Hipsometria da Bacia Rio Bonito em Irati-PR.....	37
Figura 8 – Declividade da Bacia Rio Bonito em Irati-PR. ....	38
Figura 9 – Solos da bacia Rio Bonito Irati-PR. ....	39
Figura 10 – Metodologia e operacionalização .....	42
Figura 11 – Penetrômetro de Impacto.....	48
Figura 12 – Mostrador de exposição do solo no plantio direto em área de cultivo ....	50
Figura 13 – Medidor de umidade do solo digital portátil .....	51
Figura 14 – Infiltrômetro de anel.....	52
Figura 15 – Gráfico <i>boxplot</i> .....	53
Figura 16 – Distribuição espacial do uso da terra na bacia Rio Bonito – Irati/PR.....	55
Figura 17- Densidade do Solo.....	62
Figura 18 – Porosidade do Solo .....	67
Figura 19 – Triângulo de grupamento textural Profundidade 0-15 (A) e 15-30 (B).....	69
Figura 20 – Resistência a penetração (MPa) .....	76
Figura 21 – Normais climatológicas de precipitação sazonal.....	81
Figura 22 – Precipitação sazonal .....	82
Figura 23 – Taxa de infiltração sazonal na classe florestal .....	85
Figura 24 – Taxa de infiltração constante na classe florestal .....	87
Figura 25 – Taxa de infiltração sazonal na classe cultura .....	89
Figura 26 – Taxa de infiltração constante na classe cultura.....	90
Figura 27 – Taxa de infiltração sazonal na classe área urbanizada.....	92
Figura 28 – Taxa de infiltração constante na classe área urbanizada.....	93
Figura 29 – Taxa de infiltração sazonal na classe pastagem .....	94
Figura 30 – Taxa de infiltração constante na classe pastagem.....	95
Figura 31 – <i>Boxplot</i> da taxa de infiltração .....	98
Figura 32 – <i>Boxplot</i> da resistência à penetração .....	98
Figura 33 – <i>Boxplot</i> da exposição do solo.....	99
Figura 34 – <i>Boxplot</i> da umidade do solo .....	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis amostradas e sistemática de coletas .....	43
Quadro 2 – Caracterização dos pontos de coleta .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de resistência a penetração no solo. ....	49
Tabela 2 – Uso e ocupação da terra nas Sub-bacias Rio Bonito e Arroio do Meio, em Irati-PR. ....	56
Tabela 3 – Densidade da área Florestal .....	58
Tabela 4 – Densidade da área Cultivo .....	59
Tabela 5 – Densidade da área urbanizada .....	60
Tabela 6 – Densidade - Área Pastagem .....	61
Tabela 7 – Porosidade da área Florestal .....	63
Tabela 8 – Porosidade da área de Cultivo .....	64
Tabela 9 – Porosidade da Área Urbanizada.....	64
Tabela 10 – Porosidade área de Pastagem .....	65
Tabela 11 – Composição Granulométrica das áreas estudadas .....	68
Tabela 12 – Resistência a penetração classe florestal. ....	71
Tabela 13- Resistência a Penetração classe Cultura .....	73
Tabela 14 – Resistência do solo na classe Área Urbanizada.....	74
Tabela 15 – Resistência a Penetração na classe pastagem .....	75
Tabela 16 – Exposição do solo .....	78
Tabela 17 – Umidade do solo.....	79
Tabela 18 – Taxa de infiltração na classe florestal.....	84
Tabela 19 – Taxa de infiltração na classe cultura .....	88
Tabela 20 – Taxa de infiltração na classe área urbanizada .....	91
Tabela 21 – Taxa de infiltração na classe pastagem .....	94

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>CAPÍTULO 1 – BASES TEÓRICAS E CONCEITUAIS</b> .....	16
1.1 A BACIA HIDROGRÁFICA NA PERSPECTIVA DA INTER-RELAÇÃO ENTRE FATORES FÍSICOS E USO DA TERRA .....	16
1.2 A INFILTRAÇÃO COMO UM DOS PROCESSOS EXPRESSIVOS NA BACIA HIDROGRÁFICA .....	21
1.3 VARIÁVEIS FÍSICAS DO SOLO E INFILTRAÇÃO .....	24
1.4 TRASFORMAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E SUA RELAÇÃO COM A INFILTRAÇÃO .....	29
<b>CAPÍTULO 2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA</b> .....	36
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA RIO BONITO EM IRATI-PR .....	36
2.2 BASE CARTOGRÁFICA E VARIÁVEIS OPERACIONAIS .....	40
2.3 AVALIAÇÃO FÍSICA DO SOLO .....	46
2.3.1 Densidade e Porosidade do Solo .....	46
2.3.2 Resistência a Penetração .....	48
2.3.3 Exposição do solo .....	49
2.3.4 Umidade do solo .....	50
2.3.5 Precipitação .....	51
2.3.6 Infiltração .....	51
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	53
<b>CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	55
3.1 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA .....	55
3.2 ANÁLISES DAS VARIÁVEIS FÍSICAS DO SOLO .....	57
3.2.1 Densidade Aparente do Solo .....	57
3.2.2 Porosidade do Solo .....	63
3.2.3 Granulometria do solo .....	67
3.2.4 Resistência a penetração do solo .....	70
3.2.5 Exposição dos solos .....	77
3.2.6 Umidade do solo .....	79
3.2.7 Precipitação .....	81
3.3 INFILTRAÇÃO DO SOLO .....	82
3.4 INTEGRAÇÃO DOS DADOS .....	95

**CONSIDERAÇÕES FINAIS** ..... 101

**REFERÊNCIAS**..... 103

## INTRODUÇÃO

A biosfera e, portanto, todos os seres vivos, é produto da interação da energia solar com a superfície terrestre, a qual, em condições naturais, chega a um equilíbrio dinâmico, que tem relação com a entrada e saída de energia na natureza. O ciclo hidrológico é um sistema que compreende essa dinâmica por meio dos processos de evaporação, precipitação, infiltração e escoamento superficial e, a bacia hidrográfica, um sistema que materializa essas interações.

A bacia hidrográfica, como um sistema natural aberto, funciona mediante a interação entre seus fatores e elementos, como a troca de energia e matéria com o ambiente. Ao estudar uma bacia hidrográfica, devemos compreender a dinâmica que ela contempla, assim como um estudo detalhado do uso da terra e das relações existentes dentro desse sistema.

Para Coelho Neto (1995, p. 204), a bacia hidrográfica corresponde a um sistema aberto que recebe e devolve energia para o ambiente, através da inércia produzida pelo sol, que possibilita essa troca de energia, a qual funciona com a entrada de radiação solar e a saída de água e sedimentos solúveis.

Segundo Carvalho (2009, p. 109), o conceito de bacia hidrográfica possui relevância além das evidenciadas pelas questões naturais de seu funcionamento, pois, além dos aspectos hidrológicos, envolve o conhecimento da estrutura biofísica da bacia, destacar destacando-se as mudanças do uso da terra e de suas implicações. Dentro dessa perspectiva, o uso e ocupação da terra é um fator determinante, pois, dependendo da classe de uso, as interações podem ocorrer de forma diferente.

O processo de infiltração de água no solo, que ocorre em uma bacia hidrográfica, é diretamente influenciado por essa interação, que compreende o uso da terra, as características físicas do solo e os fatores do clima, tais como a sazonalidade.

O uso da terra exerce importante influência sobre a infiltração, pois toda modificação altera o funcionamento natural do ambiente, e a variabilidade sazonal climática altera as propriedades momentâneas do ambiente, a exemplo da umidade do solo, da compactação, ou daquelas mudanças exercidas pelas atividades agrícolas, que seguem a dinâmica do clima para plantar e colher.

A dinâmica das áreas agrícolas da bacia Rio Bonito sofre influência do clima. Isso implica em períodos de redução das atividades agrícolas devido ao inverno, com períodos de intensificação da agricultura e períodos de redução das atividades, o que

pode ocasionar variação nos parâmetros hidro-físicos, com períodos de maior compactação do solo, e de menor ou maior taxa de infiltração.

O comportamento do solo na classe florestal está relacionado ao depósito de matéria orgânica sobre o solo, o que agrega nutrientes e possibilita que ele apresente características de um solo fértil com grande capacidade de infiltração. As coberturas florestais contribuem para melhoria e conservação dos atributos físicos e da dinâmica da água do solo na camada superficial, onde a deposição da serapilheira eleva o teor de matéria orgânica e deixa o solo mais poroso (BARBOSA, 2012, p. 54). No entanto, a expansão urbana, ao progredir sobre áreas de florestas, diminui a permeabilidade do solo (FARIA; PEDROSA, 2005, p. 75).

Em áreas urbanas e com presença de pastagem a tendência é baixa capacidade de infiltração, solos compactados e degradados em função do seu uso. A impermeabilização que resulta da expansão urbana transforma as características naturais do espaço e altera os processos de infiltração. O aumento das áreas urbanas sempre provoca impacto ao ambiente natural e construído, pois alteram-se as condições locais, modificando os regimes de escoamento e infiltração (FARIA; PEDROSA, 2005, p. 210).

Nesse contexto, o presente trabalho de pesquisa focaliza o processo de infiltração e as variáveis que o afetam. Assim, tem como pergunta de partida: quais fatores têm maior influência nos processos de infiltração? Como a infiltração de água se porta em diferentes tipos de usos do solo e como algumas variáveis hidrológicas podem interferir na taxa de infiltração sazonal? Para responder a essas perguntas, foi proposto, como o objetivo geral, a compreensão da influência do uso e ocupação da terra na variabilidade sazonal da taxa de infiltração em vertentes na bacia hidrográfica Rio Bonito em Irati – PR. Os objetivos específicos foram estabelecidos como: identificar os diferentes tipos de usos da terra para a Bacia Hidrográfica Rio Bonito; diferenciar a capacidade de infiltração de água para cada tipo de cobertura da terra; apontar as características físicas do solo e a sua influência na infiltração; e distinguir os valores de infiltração para cada estação do ano.

A hipótese que fundamenta esta pesquisa é que em determinados períodos do ano a taxa de infiltração de água no solo apresenta variações, devido à influência da sazonalidade climática e à característica de cada uso do solo.

Este trabalho justifica-se pela importância de compreender a interferência do uso e ocupação da terra e da variabilidade sazonal na taxa de infiltração, pois essas



informações podem auxiliar no planejamento das áreas estudadas, como, por exemplo, na adoção de técnicas de manejo adequadas para cada classe de uso e ocupação da terra por período.

O presente estudo foi elaborado em três capítulos, sendo o primeiro destinado à revisão de literatura, no qual se discute conceitos geográficos e a inter-relação entre a bacia hidrográfica, o uso da terra e os processos hidrológicos do solo. O segundo capítulo aborda a metodologia adotada e como se fundamenta a integração dos dados, sendo descritas as informações utilizadas e os procedimentos adotados no cruzamento dessas informações. O terceiro e último capítulo apresenta os resultados sobre os fatores mais relevantes na infiltração de água no solo, e como ele é influenciado pela alteração no sistema natural e pelas variabilidades sazonais climáticas.

## **CAPÍTULO 1 – BASES TEÓRICAS E CONCEITUAIS**

O presente capítulo aborda a revisão de literatura dos conceitos tratados neste trabalho, tais como a bacia hidrográfica, o manejo do solo, a infiltração física dos solos, a densidade, porosidade, e estabilidade de agregados, a resistência à penetração, e o uso e ocupação da terra.

### **1.1 A BACIA HIDROGRÁFICA NA PERSPECTIVA DA INTER-RELAÇÃO ENTRE FATORES FÍSICOS E USO DA TERRA**

A utilização da Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e gestão ambiental não é algo recente, pois há tempos especialistas de diversos ramos da ciência, como hidrólogos e limnólogos, perceberam em seus estudos a inter-relação entre os fatores físicos e como eles refletem na bacia hidrográfica (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002, p. 140).

Estudiosos de diversos campos da ciência, tais como a Geografia, a Agronomia, as Engenharias Florestal e Ambiental, a Saúde Pública, a Geociências, entre outras, ao utilizarem a bacia hidrográfica em seus estudos, concluíram que o resultado é a interdisciplinaridade na interpretação das observações, o que leva ao aprimoramento da teoria conceitual e da instrumentação prática nas questões ambientais (CARVALHO, 2009, p. 114).

Nesse sentido, a conceituação de Bacia Hidrográfica como o “conjunto de terras drenadas por um corpo d’água principal e seus afluentes” (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002, p. 17), necessita de extrapolação que possa abranger outros aspectos importantes, como os aspectos biofísicos, os padrões de uso da terra, e os aspectos bióticos e abióticos.

Tendo em vista a possibilidade de conceituar a Bacia Hidrográfica como uma unidade ampla e dinâmica para o planejamento e gestão ambiental, pode-se relacioná-la à ideia de um “ecossistema”, considerando-a como um sistema aberto no qual interagem componentes bióticos e abióticos.

O conceito abrangente do que se considera como Bacia Hidrográfica sofreu um processo de evolução, que resultou no atual consenso da utilização da Bacia Hidrográfica como unidade ambiental de gerenciamento e planejamento. As abordagens de manejo das Bacias Hidrográficas, convergiam, inicialmente, com as

questões relacionadas aos recursos hídricos, mas, atualmente, há o entendimento de que a água representa um fator sinérgico dentro do sistema.

A bacia hidrográfica é considerada por diversos autores como um objeto de estudo adequado por possibilitar a atuação de diversos profissionais ligados às investigações das questões sociedade-natureza em pesquisas realizadas nas mais diferentes áreas do conhecimento; a exemplo da Geografia, que estuda essas relações de forma a destacar que: essa ciência facilita essa proposição, à medida que conseguem integrar diversas especificidades das relações sociedade-natureza (ROCHA, 2011, p. 205).

Santos (2004, p. 78) justifica a utilização da Bacia Hidrográfica como a unidade lógica para o planejamento ambiental, pois representa um sistema natural com delimitação espacial, no qual ocorre a inter-relação entre os recursos naturais. Além disso, é uma unidade espacial facilmente reconhecida pelas interações e pressões naturais ou antrópicas. Outra questão que torna a Bacia Hidrográfica uma unidade adequada de planejamento e gestão é sua facilidade de delimitação, por conta dos divisores de água, passíveis de identificação em curvas de nível e em fotografias aéreas, que ela apresenta (CARVALHO, 2009, p. 117).

Partindo do exposto, a Bacia Hidrográfica, além de representar porções de terra alagadas por um corpo d'água e seus afluentes, representa também uma analogia ao conceito de ecossistema, porque as degradações identificadas nesse ambiente são geralmente relacionadas ao uso não sustentável dos recursos naturais disponíveis. Pires, Santos e Del Prette (2002, p. 187) listam e discutem como causas de ameaças a esses ambientes a pesca, as substâncias tóxicas, a erosão dos solos, o assoreamento dos corpos d'água e a perda da biodiversidade. Tais ameaças não comprometem apenas a qualidade do recurso hídrico, mas também a dinâmica dos processos do sistema Bacia Hidrográfica.

De acordo com Lorandi e Cançado (2002, p. 101), o gerenciamento das Bacias Hidrográficas deve incluir alternativas ambientais que assegurem a conservação e proteção dos recursos hídricos, o uso adequado dos solos, a manutenção das matas marginais e a utilização racional dos recursos naturais, conforme os princípios de sustentabilidade definidos pela Agenda 21.

A bacia hidrográfica é considerada por uma gama de autores (TUCCI; CLARKE, 1997; SILVA et al., 2003; GUERRA; CUNHA, 2006; CARVALHO, 2009; ROCHA, 2011), como um objeto de estudo adequado por possibilitar a atuação de

diversos profissionais ligados às investigações no âmbito das questões sociedade-natureza e no campo de experimentos técnicos realizados nas mais diferentes áreas do conhecimento, a exemplo da Geografia, que estuda essas relações.

São encontrados na literatura muitos estudos que apresentam problemáticas relacionadas à compreensão dos fenômenos presentes em uma bacia hidrográfica, tais como estudos que contemplam o uso da terra, seja no mapeamento e classificação (RIBEIRO, 2005; PINHEIRO, 2008; BATISTA, 2011), como na compactação do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; SCHICK et al., 2000; BERTOL et al., 2007), na infiltração (PAIXÃO et al., 2004; BRANDÃO, 2004; FIORIN, 2008; EL BANNA, 2009; BROUSSE, 2011; PASCHOAL et al., 2012; BARROS et al., 2014), e na perda de sedimentos (BAYER; BERTOL, 1999; ANTONELI, 2012). Problemas que envolvem o ambiente são retratados há muito tempo na literatura (MORAIS et al., 2008; PANACHUKI et al., 2006), como, por exemplo, a análise que engloba a relação de uso e ocupação, e também as alterações causadas pelo ser humano e pelas suas formas de se relacionar com o ambiente, entre outros.

Esses estudos são importantes, pois se configuram como estudos de base para novas pesquisas, atualmente sob a perspectiva holística, o que possibilita uma maior compreensão de todos os fatores e elementos do sistema de bacia hidrográfica.

A Figura 1 evidencia os principais componentes das bacias hidrográficas – solo, água, vegetação e fauna – e como coexistem em permanente e dinâmica interação, respondendo às interferências naturais (intemperismo e modelagem da paisagem) e àquelas de natureza antrópica (uso/ocupação da paisagem).

Segundo Carvalho (2009, p. 117), estudos que abordam a bacia hidrográfica vêm crescendo no campo de análise. Isso faz com que ela possa ser estudada como uma “unidade de análise” ou “unidade de gerenciamento”. No que diz respeito ao primeiro item, ele responde pelas questões de cunho “técnico científico”, sobretudo sob o ponto de vista da comunidade científica; o segundo item, no entanto, está mais associado ao propósito político administrativo da bacia hidrográfica.

Figura 1 – Interações entre os componentes de uma bacia hidrográfica



Fonte: TUCCI, 1989.

As pesquisas em bacias hidrográficas podem ser desenvolvidas empregando modelos conceituais (Figura 2) que auxiliam na organização do fluxo de informações.

O **modelo A** implica no levantamento de informações, a fim de fornecer a representação da bacia, seja por meio das bases cartográficas ou dos aspectos sociais, econômicos e jurídicos.

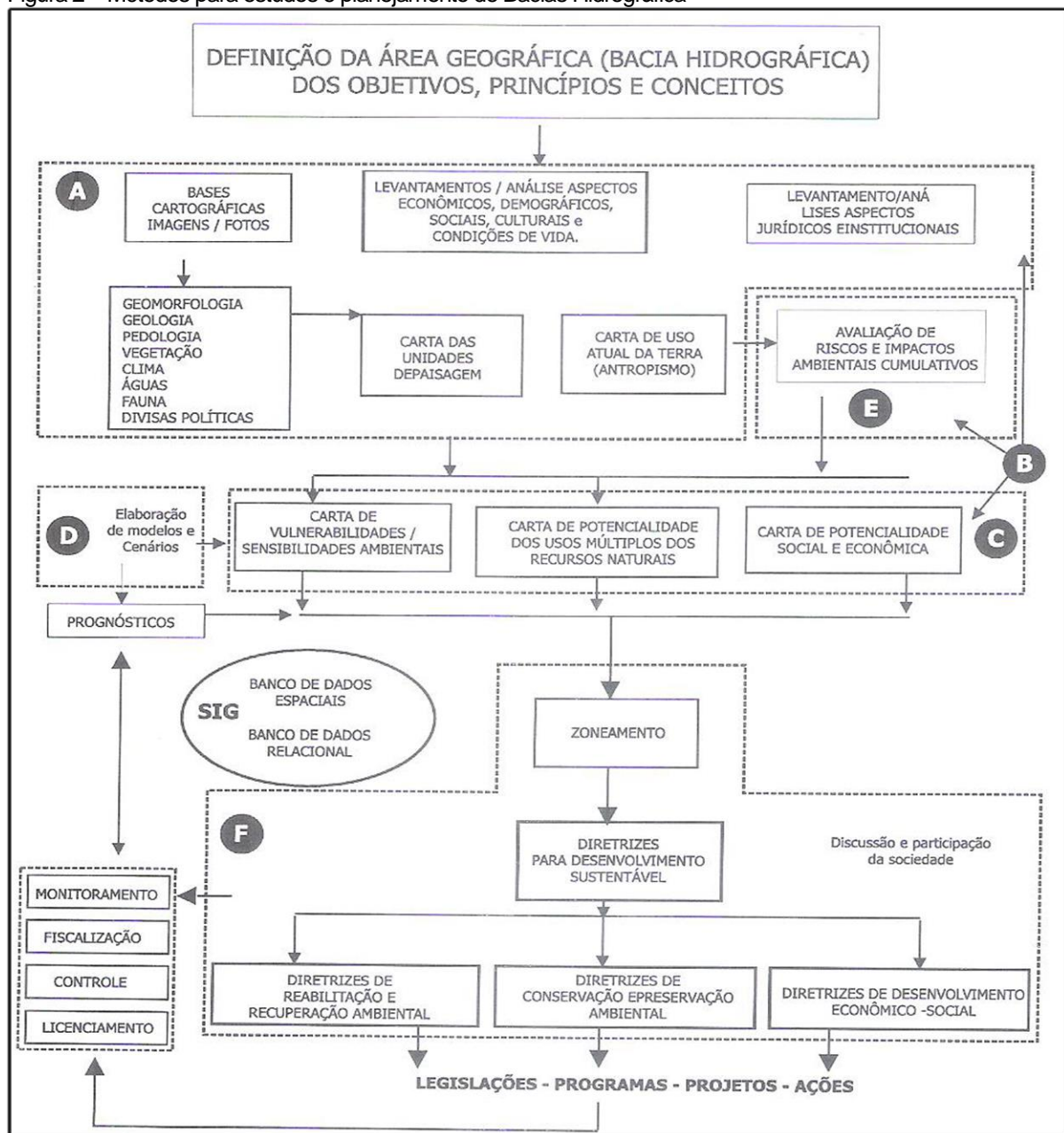
O **modelo B** prioriza o entendimento dos processos presentes na bacia hidrográfica, que podem, dessa forma, identificar áreas de riscos e de conflito ambiental.

Os **modelos C e D** de avaliação e de mudança, respectivamente, utilizam cenários para identificar potencialidades e vulnerabilidades do sistema.

O **modelo E** visa a identificar os impactos e ações que causam alterações na bacia, e, por fim, o **Modelo F** – ou de decisões – incorpora as informações anteriores, a fim de propor diretrizes e possíveis formulações de leis, programas e projetos.

No caso da presente pesquisa, o modelo utilizado foi o modelo B e o modelo E, pois buscamos a compreensão dos processos hidrogeomorfológicos, dos impactos e das ações que causam alterações na bacia hidrográfica.

Figura 2 – Métodos para estudos e planejamento de Bacias Hidrográficas



Fonte: SANTOS, 2004.

Dessa forma, ao estudar uma bacia hidrográfica, deve-se compreender toda a dinâmica que ela contempla, assim como um estudo detalhado do uso da terra e de suas inter-relações, pois o homem, ao se apropriar de um determinado espaço, acaba por modificá-lo.

O aumento no grau de interferência no ciclo hidrológico faz com que existam poucos sistemas de drenagem sem interferência antrópica, sendo que essas alterações, causadas pelo homem, realizadas direta ou indiretamente em bacias hidrográficas, podem causar ou intensificar fenômenos, entre os quais as enchentes e inundações.

A produção espacial urbana torna-se prejudicial às condições do solo, o que acarreta na redução da infiltração das águas da chuva, devido à construção de casas, loteamentos de estradas, os quais impedem a infiltração da água no solo e propiciam um aumento em sua vazão, desencadeando uma série de problemas para a população ribeirinha.

Pode-se destacar que a ação desenvolvida pelo homem ao longo da história modificou ambientes que eram naturais, fato que afeta diretamente a dinâmica de uma bacia hidrográfica. Essas alterações trazem consigo problemas que afetam negativamente a natureza e se intensificam com o passar do tempo. Por esse motivo, estudos têm sido realizados por diversos autores, os quais estabelecem conceitos e contribuem para desencadear ações diferenciadas com relação a esse objeto de estudo, ou seja, a bacia hidrográfica.

As ações dentro de uma bacia hidrográfica estão relacionadas diretamente com ciclo hidrológico. Essa relação permite que toda e qualquer alteração em uma bacia hidrográfica seja sentida. Os input e output funcionam dentro da bacia hidrográfica como um sistema que recebe e perde energia, e essa energia se caracteriza por ser um sistema físico dentro da bacia hidrográfica.

Estudar uma bacia hidrográfica significa conhecer todos seus elementos e fatores, inclusive o sistema no qual ela funciona, por *inputs* (entrada de energia) e *outputs* (saída de energia), sendo eles o uso da terra, da hidrologia, da geologia, dos solos, do relevo, e das áreas urbanas e cultivadas (CARVALHO, 2004, p. 117).

Conhecendo todos esses aspectos dentro de uma bacia hidrográfica é possível propor, por exemplo, ações de disciplinamento do uso e ocupação da terra, operacionalizadas por meio de um zoneamento ambiental ou por mecanismos de proteção, tais como o estabelecimento de unidades de conservação, além da adoção de práticas de manejo que visam à preservação do solo, da água e da vegetação.

## 1.2 A INFILTRAÇÃO COMO UM DOS PROCESSOS EXPRESSIVOS NA BACIA HIDROGRÁFICA

Segundo Brandão et al. (2004, p. 118), a infiltração se caracteriza por ser o caminho que a água faz quando atravessa a superfície do solo. Essa infiltração depende de uma série de fatores, sendo eles a declividade da área, as condições físicas e químicas do solo, e os tipos de uso da terra. As respostas desses estudos

podem determinar as condições de uma bacia hidrográfica, como, por exemplo, as relações existentes entre a infiltração do solo e a vazão de um rio.

A infiltração ocorre em maior ou menor quantidade no solo devido, em primeiro lugar, às características existentes no uso e ocupação da terra, pois em diferentes usos da terra o solo será diferente e a infiltração também; depois, um dos fatores relevantes que a influenciam são as características do solo, tais como a compactação, a umidade e as características físicas do solo. Esse processo de infiltração se define por ser o caminho pelo qual a lâmina de água atravessa a superfície do solo, e possui uma considerável importância porque a taxa de infiltração da água no solo é um dos fatores que mais influencia o escoamento superficial, além de influenciar outros fatores dentro do ciclo hidrológico, o que acarreta em processos indesejáveis, tais como: erosão e escoamento superficial e até mesmo inundações e enchentes (PAIXÃO et al., 2004, p. 38; BRANDÃO et al., 2003, p.2014).

Assim, o uso do conhecimento da velocidade de infiltração de água no solo é de fundamental importância para definir os métodos de conservação do solo, o planejamento e o dimensionamento do sistema de irrigação de drenagem (RIQUELME et al., 2012, p. 186).

Segundo Paixão et al. (2004, p. 194), para compreender a infiltração de água no solo há a necessidade de adotar métodos cujas mensurações aconteçam sem alterar a veracidade dos resultados. Além disso, ele ressalta que a velocidade de infiltração é afetada pelo conteúdo inicial de umidade, assim como pelas condições da superfície do solo.

Segundo Reichard (1990, p. 90), o valor da infiltração pode ser classificado em relação à quantidade de água que infiltra no solo, sendo, nesse caso:

- infiltração **muito alta** >300mm/h;
- infiltração **alta** 150-300 mm/h;
- infiltração **média** 50-150 mm/h;
- infiltração **baixa** 50-10 mm/h;
- infiltração **muito baixa** <10mm/h.

Segundo Fiorin (2008, p. 87), o conhecimento da infiltração da água no solo é indispensável para a solução de problemas relativos às áreas de irrigação e drenagem, de conservação da água e do solo, assim como para solução do controle do deflúvio superficial. Destaca-se, ainda, que conhecer as propriedades físicas do



solo possibilita apresentar soluções para diversas áreas que apresentam problemas que estejam correlacionadas com o solo, seu uso e ocupação.

Quando a água infiltra no solo ela segue um processo no qual, inicialmente, a infiltração apresenta-se em maior quantidade e, com o decorrer das mensurações, vai manifestando uma alternância de níveis de baixas ou elevadas infiltrações, a qual está correlacionada à permuta do perfil do solo, para só, então, atingir seu ponto de saturação, ou infiltração constante. Dessa forma, os valores passam a se repetir por uma sequência de valores iguais. Esse processo já fora descrito por vários autores, a exemplo de ALVES SOBRINHO *et al.* (2003, p. 12), BRANDÃO *et al.* (2004, p. 123) e PAIXÃO *et al.* (2004, p. 43).

Deve-se salientar, ainda, que esse processo pode ser semelhante em alguns estudos; no entanto, os valores de água infiltrada são diferentes, pois dependem das características específicas de cada local e do solo, assim como dos fatores atuantes, tais como as características físicas do solo, a profundidade, o uso e ocupação da terra e a declividade. Nesse sentido, nenhum fator deve ser desconsiderado.

Como características físicas da infiltração, pondera-se que:

A permeabilidade é a capacidade que o solo tem de deixar passar a água e ar através do seu perfil. Em termos de movimento de água, é a condutividade hidráulica do solo saturado. Está diretamente relacionado com o tamanho das partículas, volume e distribuição dos poros e varia nos horizontes de dado solo (SILVA *et al.*, 2003, p. 15).

Os autores acima citados apontam a relação entre a condutividade hidráulica e o tamanho das partículas, volume e distribuição dos poros, o qual pode variar ao longo dos horizontes. Isso se dá pelo fato de que solos que apresentam texturas mais permeáveis permitem uma maior infiltração, já solos com estruturas menos permeáveis não permitem o movimento da água e do ar entre suas partículas. Essas características são uma das principais propriedades físicas para estabelecer práticas conservacionistas.

De acordo com Carvalho *et al.* (2012, p. 210), os fatores que intervêm na infiltração são o tipo de solo: a capacidade de infiltração pode variar diretamente com a porosidade do solo, com o tamanho das partículas do solo (distribuição granulométrica) e com o estado de fissuração das rochas; a umidade do solo: o solo no estado seco tem maior capacidade de infiltração, pelo fato de que a ação gravitacional se soma às forças capilares. De outro modo, quanto maior for a umidade do solo, menor será a capacidade de infiltração; e a compactação pela ação de

homens e animais: a compactação da superfície do solo o torna mais impermeável, diminuindo a capacidade de infiltração. “Pode-se compreender que a densidade é a medida quantitativa mais direta da compactação” (BENINI, 2007, p. 24).

A infiltração pode ser alterada pela ação antrópica, pois em locais onde ocorre essa interferência, ocorre também uma modificação no equilíbrio natural do solo, que vai perdendo nutrientes. Como consequência disso, ocorre a alteração no processo hidroquímico, na potencialidade de fertilidade física e química do solo e na capacidade de uso agrícola produtivo; a exposição do solo leva também ao seu enfraquecimento, suscetibilidade e fragilidade erosiva, que impactam na saúde do solo, elevando sua compactação.

O manejo do solo influencia no processo de infiltração, pois interfere nas propriedades físicas e na superfície do solo (alterações na compactação e perda de umidade), o que é), fator determinante na infiltração (CECILIO, 2002, p. 110).

Nesse sentido, através da compreensão do uso e ocupação da terra é possível verificar a variação dos parâmetros geomorfológicos em diferentes períodos do ano (estações) e também a influência das etapas do calendário agrícola nesse mesmos períodos.

### 1.3 VARIÁVEIS FÍSICAS DO SOLO E INFILTRAÇÃO

O solo é um elemento disponível na natureza e é essencial para a vida na terra; ele é tão importante quanto outros elementos indispensáveis para a sobrevivência, tais como a água, o ar, e a vegetação. É nele que se encontra a cobertura vegetal e que ocorre o desenvolvimento do plantio de culturas, que servem para a produção de alimentos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990, p. 256).

Os autores acima citados ainda destacam que com a cobertura vegetal as propriedades do solo são conservadas de forma mais eficiente, sem impactos significativos em sua estrutura, pois não ocorre o carregamento de seus nutrientes com a água da chuva.

Um fato que pode desestruturar as partículas do solo são as práticas de manejo desenvolvidas, pois sua conservação depende do preparo do solo. Por exemplo, as práticas de preparo convencionais degradam as propriedades físicas do solo, o trato com máquinas e o revolvimento do solo rompem os agregados, tornando o solo mais pobre e favorável à erodibilidade e, conseqüentemente, à condução de seus nutrientes. Já as práticas de plantio direto favorecem a conservação das

partículas do solo, porque sua mobilização é menor, o que não traz tantos danos para o solo, como como consequência disso, há a conservação de suas partículas (BERTOL et al., 2007, p. 218).

O impacto das gotas da chuva e o escoamento superficial são agentes ativos na erosão hídrica, a qual é influenciada pela cobertura e rugosidade do solo, pelos tipos de cobertura e pelo sistema de preparo (SCHICK et al., 2000, p. 210).

Quando a estrutura do solo é pouco revolvida, ou quando ela possui uma rica cobertura vegetal, é esperado que nesse solo se encontrasse grande quantidade de matéria orgânica. A importância da matéria orgânica em relação às características químicas, físicas e biológicas do solo são amplamente reconhecidas (BAYER; BERTOL, 1999, p. 318).

A falta da cobertura vegetal é um dos principais causadores de erosão, compactação e déficit de nutrientes no solo. Na concepção de Lombardi Neto e Bertoni (1975, p.190), a cobertura vegetal serve como um amortecimento para a força exercida pelas gotículas de água da chuva; com a ausência dessa fonte de amortecimento, ocorre o impacto dela diretamente no solo, causando o carregamento de nutrientes, a compactação e o efeito *splash*. Esse efeito resulta na ruptura dos agregados de solo quando golpeados pela gota de água da chuva, o que é um grande potencializador das etapas posteriores do processo erosivo. Uma das fases que desencadeiam a erosão é a ação das gotas da água da chuva nos agregados do solo sendo primeira etapa da erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993; GUERRA, 2005, p. 75).

As características presentes no solo de uma bacia hidrográfica dizem muito sobre seu funcionamento; por essa razão, o conhecimento dessas características é fundamental. Destacamos que algumas variáveis, tais como tipo do solo, relevo, vegetação e algumas condições como cobertura vegetal, tipo de uso do solo e declividade, podem alterar significativamente a dinâmica de infiltração e compactação do solo em uma bacia hidrográfica.

Dependendo da condição em que se encontra o solo, por exemplo, o tipo de uso afetará a capacidade tanto de infiltração como de escoamento, e a parcela de água que escoar para os corpos hídricos também está diretamente correlacionada a essa condição. Um exemplo disso é que não se pode esperar que uma área ocupada por uma atividade agrícola tenha as mesmas condições de infiltração do solo que uma área florestada. Que existe diferença, já se sabe, porém a relevância, agora, está em

descobrir, para a bacia hidrográfica selecionada para esta pesquisa, que diferença é essa.

Na concepção de Simões e Coiado (2001, p. 119), os efeitos do uso da terra sobre os solos podem ocorrer conforme a porcentagem da cobertura vegetal, sendo ela de grande importância para a conservação do solo, pois amortece o impacto da água da chuva.

Para pesquisas relacionadas à infiltração de água no solo existe a metodologia de Prado (2011, p. 48), que determina a quantidade de infiltração para cada classe de solo, correlacionando a capacidade de infiltração à composição do solo e às suas características físicas.

O tempo que a água permanece no perfil do solo depende da capacidade água disponível (CAD), das perdas por evapotranspiração, das características morfológicas especiais (estrutura bem desenvolvida; gradiente elevado; profundidade do mosqueamento, da plintita, do fragipã e do duripã); e da forma do relevo (pedoforme) (PRADO, 2011, p. 49).

Ainda de acordo com ele, para se determinar a capacidade de infiltração de uma classe de solo, deve-se saber a capacidade de água disponível (CAD) e a quantidade de água disponível (CC-PMP); ou seja, para determinar a frente de molhamento do perfil, considera-se o grau de umidade atual e a capacidade de campo, assim como a densidade aparente do solo. Nesse sentido, bastaria classificar o solo e seus componentes para que se soubesse a real capacidade de infiltração. No entanto, para se utilizar essa metodologia, deve-se, em primeiro lugar, fazer testes antecedentes sobre análise física do solo que possam validar as expectativas com relação aos resultados, uma vez que podem ocorrer variações nas características do solo de um lugar para outro.

O solo é um elemento importante na natureza, pois ele é um recurso natural lentamente renovável encontrado de diferentes maneiras no ambiente. Sabe-se que as ações antrópicas impactam em sua estrutura, favorecendo também sua modificação. Além disso, a essência do solo tem origem nas rochas e sedimentos pela ação climática e orgânica do ambiente (STRECK et al., 2008, p. 210). “Sua importância está também na avaliação do grau de degradação ambiental e na identificação de práticas de uso sustentáveis” (LIMA et al., 2010, p. 1). Os sistemas de preparo e manejo do solo determinam as condições físicas para o crescimento das plantas e produtividade das culturas (TORMENTA et al., 2002, p. 189).

As operações de preparo do solo influenciam a erosão hídrica das áreas cultivadas, alterando o micro-relevo e a cobertura por resíduos vegetais e promovendo a exposição da superfície do solo à ação da chuva e da enxurrada (PANACHUKI et al., 2006, p.38).

Segundo Kemerich et al. (2014, p. 98), um dos principais fatores que causam a degradação do solo é a densidade ocasionada pela compactação. Esse fenômeno ocorre frequentemente em áreas onde o pisoteio de animais é intensificado (CAMARGO; ALLEONI, 1997, p. 154.). Isso influencia nos processos de infiltração de água no solo, elevando as taxas de escoamento superficial. A existência de árvores favorece o aporte de matéria orgânica nos solos, cultivando a umidade, crescendo a capacidade de permeabilidade e infiltração de água, amortizando o risco de erosão e incitando a atividade biológica (MUSCHLER, 2000, p. 39; BARBERA-CASTILLO, 2001, p. 132).

Dentre as propriedades físicas do solo, são estimadas como mais importantes a textura, a estrutura e a porosidade. A textura do solo é definida pela distribuição de tamanho de partículas; a estrutura é definida pelo agrupamento das partículas em agregados e a porosidade é responsável por um conjunto de fenômenos e desenvolve uma série de mecanismos de importância na física de solos, tais como a retenção e o fluxo de água e ar, e, se analisada conjuntamente à matriz do solo, gera um grupo de outras propriedades físicas do solo associadas às relações de massa e volume das fases do sistema do solo (REINERT; REICHERT, 2006, p. 308).

Em se tratando da textura do solo, compreendemos que ela representa a distribuição quantitativa das partículas sólidas do solo em tamanho (areia, silte e argila). Essa textura, principalmente em relação ao teor de argila, define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros do solo, determinando, assim, a área de contato entre as partículas sólidas e a água (REICHARDT, 1987, p. 10; apud Klein et al., 2010, p. 98).

A porosidade é o espaço vazio no interior do solo, a qual afeta os teores de água no solo. Ela é um parâmetro físico utilizado para quantificar os espaços vazios em um determinado ambiente do solo (BERRYMAN; WANG, 2000, p.10). Em florestas, os solos apresentam significativa porosidade, especialmente macroporosidade (MENDONÇA et al., 2002, p. 194). Os macroporos são caminhos preferenciais que promovem a infiltração e o abastecimento dos aquíferos (CHENG et al., 2002, p. 67).

A porosidade do solo está relacionada à densidade e à compactação. Em solos urbanos, nos quais a ação antrópica se expressa com grande ênfase através da retirada da cobertura vegetal para o estabelecimento de atividades comerciais, industriais, ou de moradia, sua compactação é maior e, conseqüentemente, a porosidade é menor. O mesmo acontece em áreas de pastagem em que o pisoteio dos animais exerce grande influência sobre a porosidade do solo e sua conseqüente relação com a compactação. Segundo Sousa et al. (1998, apud COSTA, 2000, p. 85), a pressão exercida por pisoteio de equinos na compactação do solo é de 161,2 kPa, superior até à pressão do trator, que é de 92,1 kPa.

Áreas de floresta, em geral, apresentam maior porosidade e menor compactação e densidade, devido à qualidade da estrutura preservada, em função da vegetação ali existente, pois a matéria orgânica diminui a densidade do solo. A matéria orgânica é um aporte que nutre os solos, mantendo a porosidade e a capacidade de infiltração (CALOURO, 2005, p. 20). Em florestas, os solos apresentam elevada porosidade e macroporosidade, sendo os macroporos o caminho preferencial que promove a infiltração e o abastecimento dos aquíferos (CHENG et al., 2002, p. 102).

Em áreas de cultivo, a porosidade do solo se diferencia muito. Essa diferenciação está relacionada ao sistema de manejo adotado, uma vez que o plantio convencional agride muito a estrutura do solo, enquanto que o plantio direto conserva mais suas propriedades.

A textura e a porosidade do solo reportam grande parte da sua qualidade ambiental, uma vez que essas propriedades assumem correlação com a compactação e a densidade, as quais interferem em outros fenômenos importantes, tais como a infiltração, o escoamento superficial, a erosão, dentre outros. “Uma importante função do solo, influenciada pela porosidade, é a transmissão de água, que afeta diretamente a produtividade das plantas e o ambiente” (GONÇALVES; MORAES, 2012, p. 338). Macroporosidade influencia diretamente na capacidade de infiltração, na drenagem do solo e nos espaços entre os poros (HILLEL, 1998, p. 30). Condições como porosidade, umidade do solo, e atividade biológica influenciam nos processos de infiltração (CARDURO; DORFMAN, 1988, p. 94).

A densidade do solo é definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros (PEREIRA, 2013, p. 43). De forma geral, compreendemos que quanto mais elevada a densidade do solo, maior será a sua tendência à compactação, a

degradação será mais ampla e sua porosidade será menor, com probabilidade a maiores restrições para o crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das plantas (REINERT et al., 2008, p. 54).

Ressaltamos que a determinação da densidade de um perfil de solo permite avaliar certas propriedades, tais como a porosidade do solo. Além disso, o uso da terra pode acelerar a compactação do solo, explicado pelo aumento da densidade, devido ao pisoteio animal, ao tráfego de máquinas e aos implementos agrícolas, ao cultivo intensivo e ao sistema de manejo inadequado (HAMZA; ANDERSON, 2005, p. 111).

A resistência à penetração no solo é um dos fatores que mais prejudicam o crescimento das plantas e a qualidade ambiental do solo. Ela se caracteriza pela redução do volume do solo quando uma pressão externa é aplicada, o que aumenta a densidade, a diminuição da porosidade e a distribuição de poros. Além disso, a resistência à penetração pode interferir na infiltração, pois quanto maior a resistência menor a infiltração. Esses parâmetros são de fundamental importância para a variação na taxa de infiltração.

#### 1.4 TRANSFORMAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E SUA RELAÇÃO COM A INFILTRAÇÃO

Para Mendonça e Kosel (2004, p. 10), mesmo o homem sendo um elemento da natureza, suas ações, relações e trato com o ambiente o fazem se tornar um fator que degrada, polui e acelera alguns processos, que gera transtornos para a sociedade.

O uso da terra, entendido a partir de como se deu a espacialidade da ocupação humana na Terra (ROSA, 2003, p. 32), pode influenciar diretamente no estado ambiental de uma bacia hidrográfica, pois a pressão sentida pelo ambiente em determinados usos da terra, tais como a urbanização, a produção de *commodities*, dentre outros, pode afetá-la significativamente, em relação à qualidade ambiental, seja do solo ou da água.

Nash et al. (2010, p. 94) alertam que:

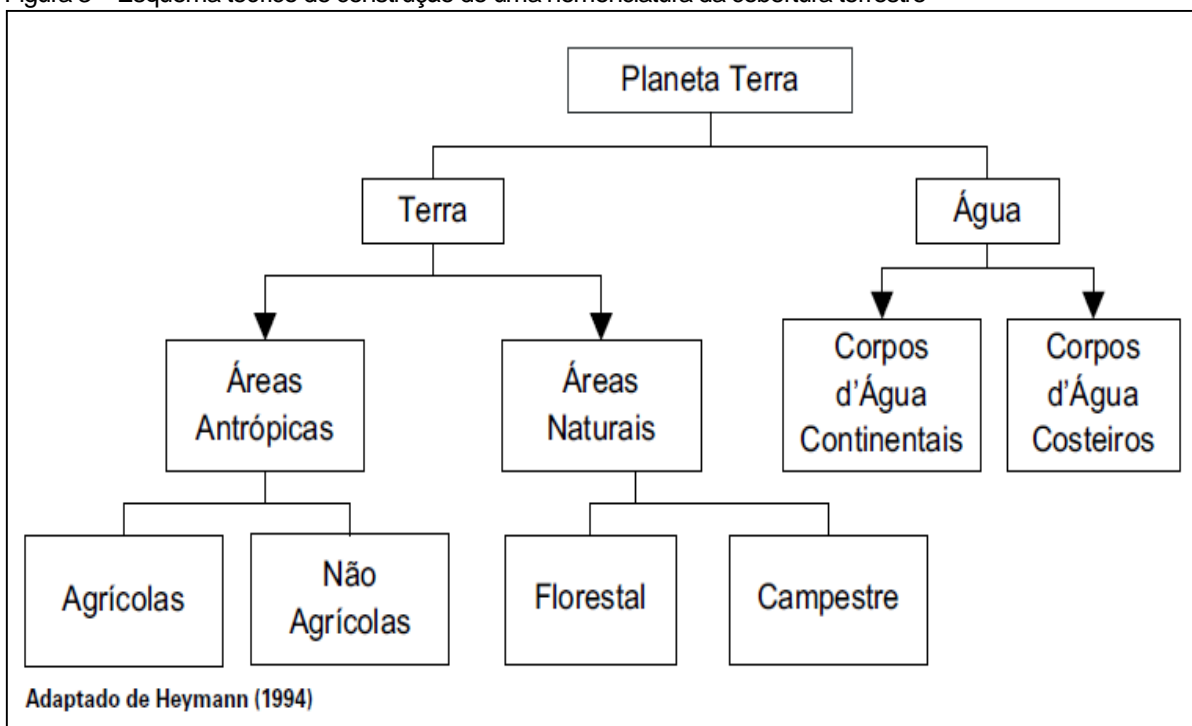
Os impactos ambientais relacionados com *commodities* agrícolas são muito diversificados, mas tipicamente abrangem poluição do ar e da água, resultante da produção e do processamento, além dos decorrentes da utilização insustentável de recursos do solo e dos oriundos de perdas de habitats naturais (NASH et al. 2010, p. 94).

Toda atividade do ser humano no uso e ocupação da terra tem seus prós e contras; se por um lado a produção de alimentos, a moradia e a própria indústria trazem a sobrevivência, por outro, são elas que trazem um maior dano para o ambiente.

Em se tratando de uso da terra, sobretudo relacionado à agricultura, Drew (1986) alerta quanto aos efeitos da agricultura sobre o ambiente, os quais se relacionam inteiramente à hierarquia em que ela – agricultura – é empreendida, destacando dois aspectos a se considerar: primeiro, a intensidade e o grau da alteração provocada no solo ao substituir a vegetação preexistente por outros usos; segundo, a área em que se deu essa alteração.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2006, p. 24) “a nomenclatura para o Levantamento do Uso e da Cobertura da Terra foi organizada segundo três níveis hierárquicos comportando desdobramentos para níveis de maior detalhe dependendo da escala de trabalho”, assim como evidencia a Figura 3.

Figura 3 – Esquema teórico de construção de uma nomenclatura da cobertura terrestre



Fonte: IBGE, 2006.

O uso e ocupação da terra segue uma dinâmica de desenvolvimento e não está somente relacionado à sobrevivência do ser humano, mas também ao desenvolvimento econômico, o qual, Segundo Briassoulis (2010), segue um



ordenamento que está relacionado ao propósito de produção de alimentos, de construções de casas, de recreação, de extração de recursos materiais, e assim por diante, e às características bio-físicas da terra em si, as quais causam

Alterações na ocupação da terra ocorrem em diversos níveis espaciais e dentro de vários períodos de tempo são as expressões materiais impressas pela sociedade no ambiente, fruto da dinâmica ambiental e humana e de suas interações. Estas mudanças têm tido efeito prejudiciais e causando impacto, que afetam o bem-estar humano (BRIASSOULIS, 2010, p. 1818).

Esses problemas ambientais tratados pelo autor acima citado são de grande dano para sociedade, tanto de imediato como em longo prazo, o que pode aumentar a insegurança alimentar da população, levar à má qualidade da água, à vulnerabilidade humana e à catastrofes ambientais, tais como enchentes, cheias e inundações.

Segundo Nash et al. (2010, p.15) os danos na transição do uso da terra, quando não alicerçada por políticas públicas, mal concebida ou executada, podem reforçar os danos por uso de subsídios inadequados. O conhecimento da cobertura e do uso da terra é de grande importância, pois isso faz com que ela possa ser usada para planejamento, recuperação e preservação de áreas frágeis. O levantamento da cobertura e do uso da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre (IBGE, 2006, p. 29).

A ocupação do solo interfere diretamente nos recursos hídricos, bem como na sua gestão territorial, pois o uso inadequado pode originar processos erosivos, compactação, aumento da salinidade do solo e, conseqüentemente, o assoreamento de corpos de água (SILVA et al., 2003, p. 54). Esses efeitos da urbanização podem afetar toda a população, de forma a prejudicar a qualidade dos recursos básicos como a água, e a desencadear a poluição do leito dos rios, o que leva ao desenvolvimento de cheias, principalmente quando o adensamento populacional está atrelado à falta de planejamento ambiental e urbano.

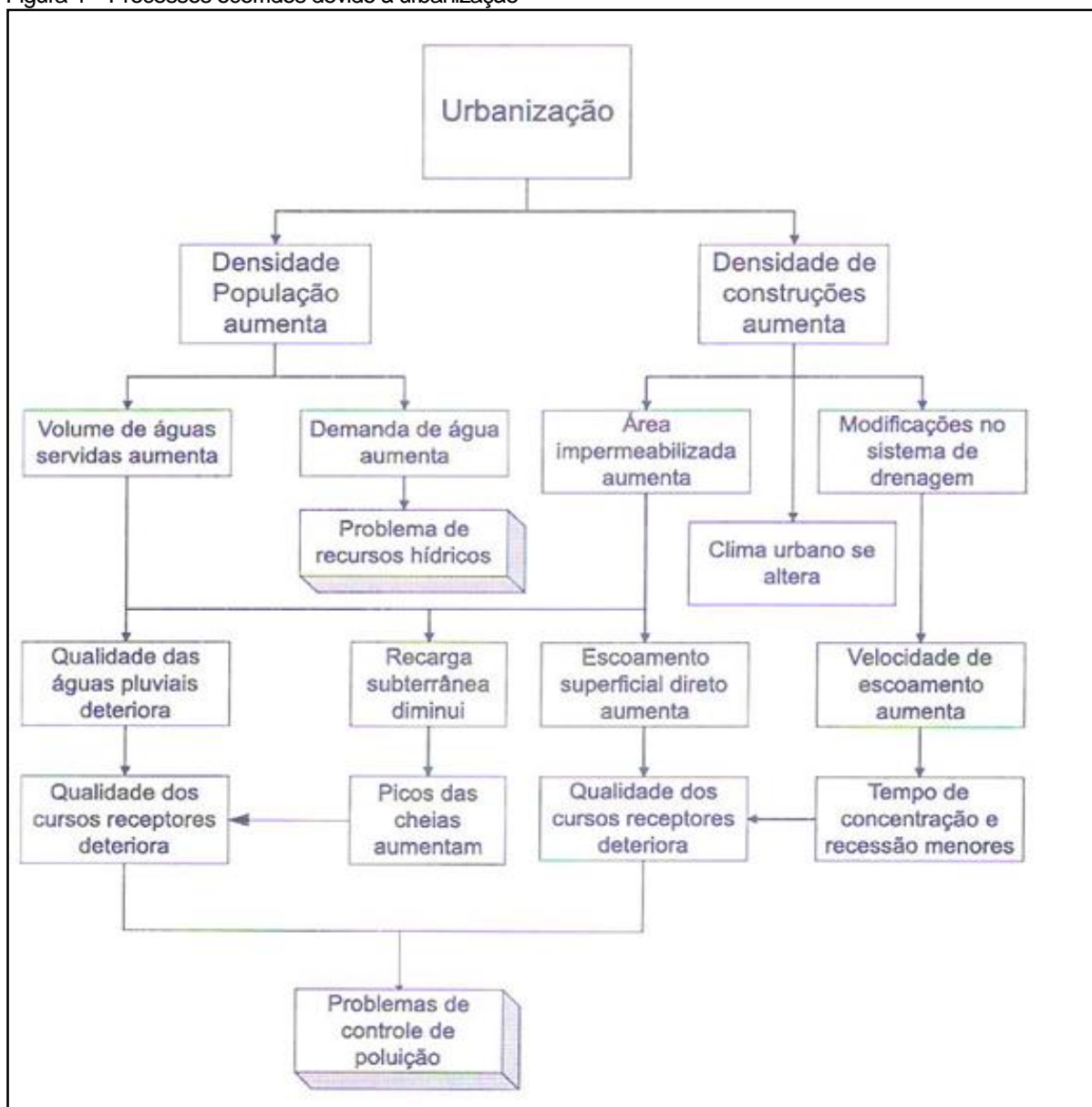
Especificamente em áreas urbanas, o impacto no uso da terra apresenta muitos problemas, sobretudo aqueles relacionados a enchentes (Figura 4) causadas devido à impermeabilização do solo, pois a retirada da vegetação reduz a taxa de infiltração e potencializa as enchentes devido ao aumento no escoamento superficial.

A diminuição da capacidade do solo de absorção da chuva, devido a prováveis mudanças no uso da terra, poderia afetar a distribuição de água por todos os trajetos,

ao passo que a subtração da água subterrânea poderia afetar apenas o fluxo dos rios, os depósitos lacustres e a vazão para os oceanos (Drew, 1986, p. 134).

Quando se trata do uso e ocupação da terra, compreendemos que uma modificação no espaço foi realizada pelo ser humano. Essa modificação, mesmo que pequena, altera a funcionalidade natural da bacia hidrográfica ou de qualquer ambiente e reflete no processo de infiltração, pois, com isso, ocorre a alteração das propriedades físicas do solo. Todas essas modificações, causadas pelo homem no ambiente natural, alteram o equilíbrio de uma natureza que não é estática, mas que apresenta quase sempre um dinamismo harmonioso em evolução estável e contínua (ROSS, 1990, p. 54).

Figura 4 – Processos ocorridos devido à urbanização



Fonte: TUCCI, 1989.

Em se tratando de áreas destinadas à prática agrícola, a degradação é maior mesmo tendo em vista práticas conservacionistas, até porque tais práticas não são totalmente livres do uso de maquinários e do uso de insumos agrícolas que potencializam a produção. Dessa forma, compreendemos as práticas agrícolas como um dos usos que mais alteram as propriedades físicas e químicas do solo, podendo, também, interferir no processo de infiltração. Alguns atributos físicos podem ser modificados pelas práticas de manejo, o que altera, assim, a taxa de infiltração e permite, em alguns casos, o aumento do escoamento superficial e a aceleração das perdas de solo e de água, alterando o equilíbrio hidrológico natural do sistema (PANACHUKI, 2003, p. 86).

Da mesma forma que as práticas agrícolas interferem no processo de infiltração, o espaço urbano também o altera, uma vez que ele concentra maior adensamento populacional, o qual reflete em construções de casas, edifícios, asfaltos e estradas; elementos, estes, que potencializam a degradação do solo e contribuem para os elevados valores de compactação e densidade, o que, conseqüentemente, gera a redução da infiltração.

A redução da infiltração em ambientes urbanos apresenta muitos problemas. Escolhemos destacar aqui a potência da velocidade da água até o rio, a qual, não encontrando o amortecimento da vegetação nem condições favoráveis no solo para infiltração, acaba por escoar diretamente para o rio, elevando o assoreamento, o que pode extrapolar a vazão do rio, e, nesse caso, refletir em alguns casos de eventos extremos, tais como enchentes e inundações.

Com o desenvolvimento urbano, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas calçadas e pátios, entre outros. Dessa forma, a parcela da água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções (TUCCI, 2003, p. 198).

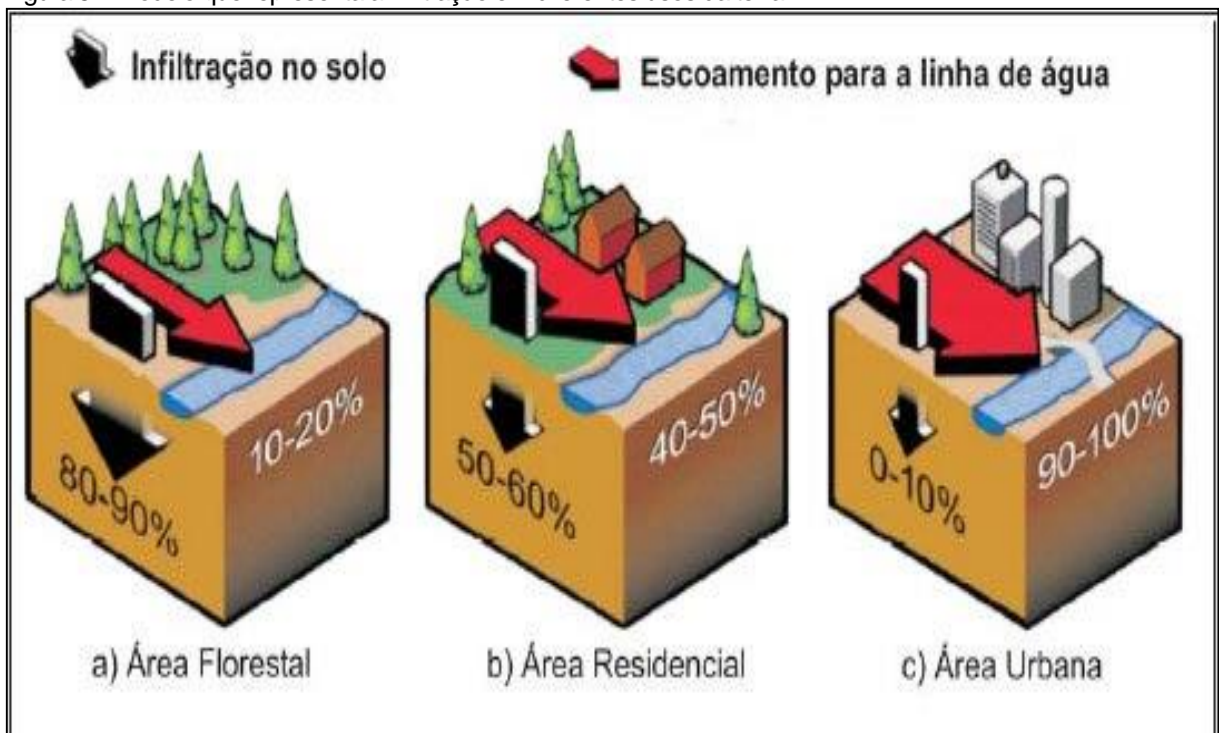
Quanto mais o solo é coberto por construções (asfalto, concreto, casas, etc), menos água consegue se infiltrar no solo, e, assim, quanto menos água se infiltra, mais água escoar pela superfície (ruas, sarjetas, rios, etc), vide Figura 5.

As áreas que correspondem à pastagem apresentam significativa compactação do solo. Isso possui estreita relação com o pisoteio do animal no pasto,

expressa na literatura como um dos principais fatores que interferem nas propriedades físicas do solo, refletindo na menor infiltração.

Solos em área de pastagem são mais compactados devido ao pisoteio dos animais (FLORES et al., 2007, p. 34). A ocorrência do encrostamento superficial causa as modificações do adensamento nas partículas e a consolidação de uma estrutura pouco profunda (BRANDÃO et al., 2006, p. 54). Mesmo essas camadas sendo pouco espessas, seus efeitos sobre as propriedades físicas do solo influenciam acentuadamente nas condições de infiltração (ZWIRTES et al., 2012, p. 5).

Figura 5 – Modelo que representa a infiltração em diferentes usos da terra



Fonte: SOUZA, 2012.

Ao contrário das áreas de pastagem, a classe “uso florestal” apresenta características de preservação e conservação excelentes para o processo de infiltração, pois a presença da vegetação eleva o potencial de nutrientes para o solo devido à produção de serapilheira nesse ambiente. Isso faz com que as folhas das árvores tornem-se verdadeiros amortecedores da água, que caem diretamente no solo, o que evita, dessa forma, o efeito *splash* e a compactação.

O uso inadequado da terra altera as características físicas do solo, causando-lhe maior ou menor compactação, afetando sua porosidade e, por consequência disso, afeta, também, a disponibilidade de água na condutividade da infiltração. A condutividade hidráulica é alterada nos solos mais compactados devido ao aumento

da resistência à penetração neles. Portanto, adotar práticas conservacionistas pode contribuir para que esses processos ocorram de forma menos impactante para tais processos.

## CAPÍTULO 2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

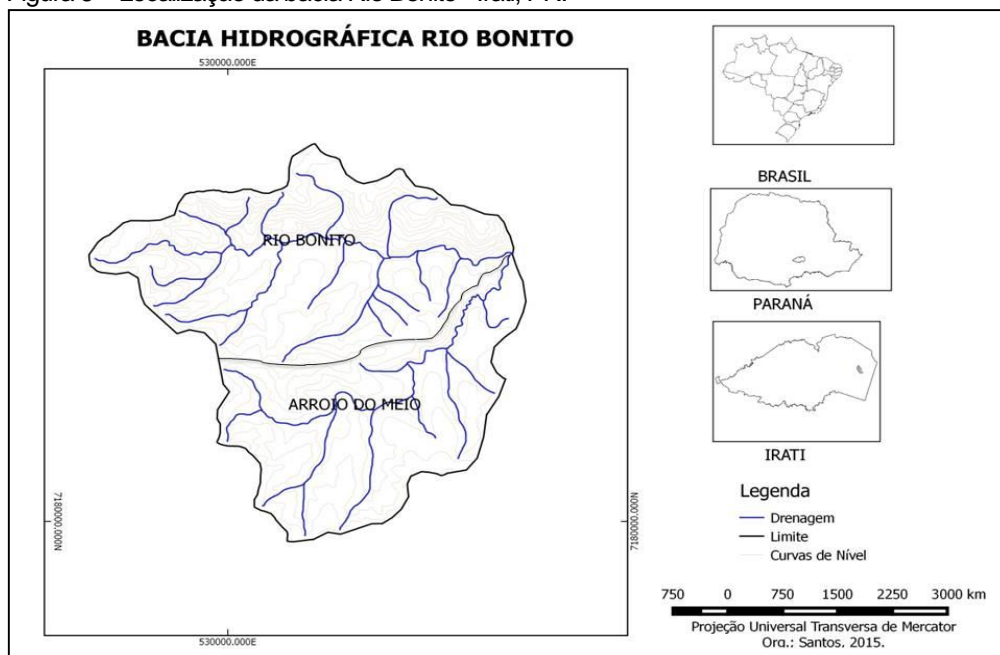
Esta pesquisa contemplou atividades de gabinete, de campo e de laboratório. As atividades de gabinete englobaram a delimitação da área de estudo a partir de base cartográfica pré-existente e a elaboração de mapas temáticos para representação dos diversos aspectos que caracterizam a bacia do Rio Bonito. As atividades de campo compreenderam a confirmação dos dados levantados no gabinete, a escolha dos pontos de coleta e a realização das coletas de solo propriamente. Por último, as atividades de laboratório foram representadas pelas análises pedológicas.

Inicialmente foi realizada a caracterização da área de pesquisa, seguida das informações da base cartográfica utilizada e a apresentação dos procedimentos operacionais.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA RIO BONITO EM IRATI-PR

A bacia hidrográfica do Rio Bonito (Figura 6) ocupa a porção leste do município de Irati-PR, apresenta extensão de 2.934,5 ha, sendo uma sub-bacia do Rio das Antas, que abrange a maior parte do município, ou seja, é de grande relevância para o mesmo. Possui 27 canais fluviais, sendo uma bacia hidrográfica de 4º ordem formada por dois rios principais, Rio Bonito e Arroio do Meio.

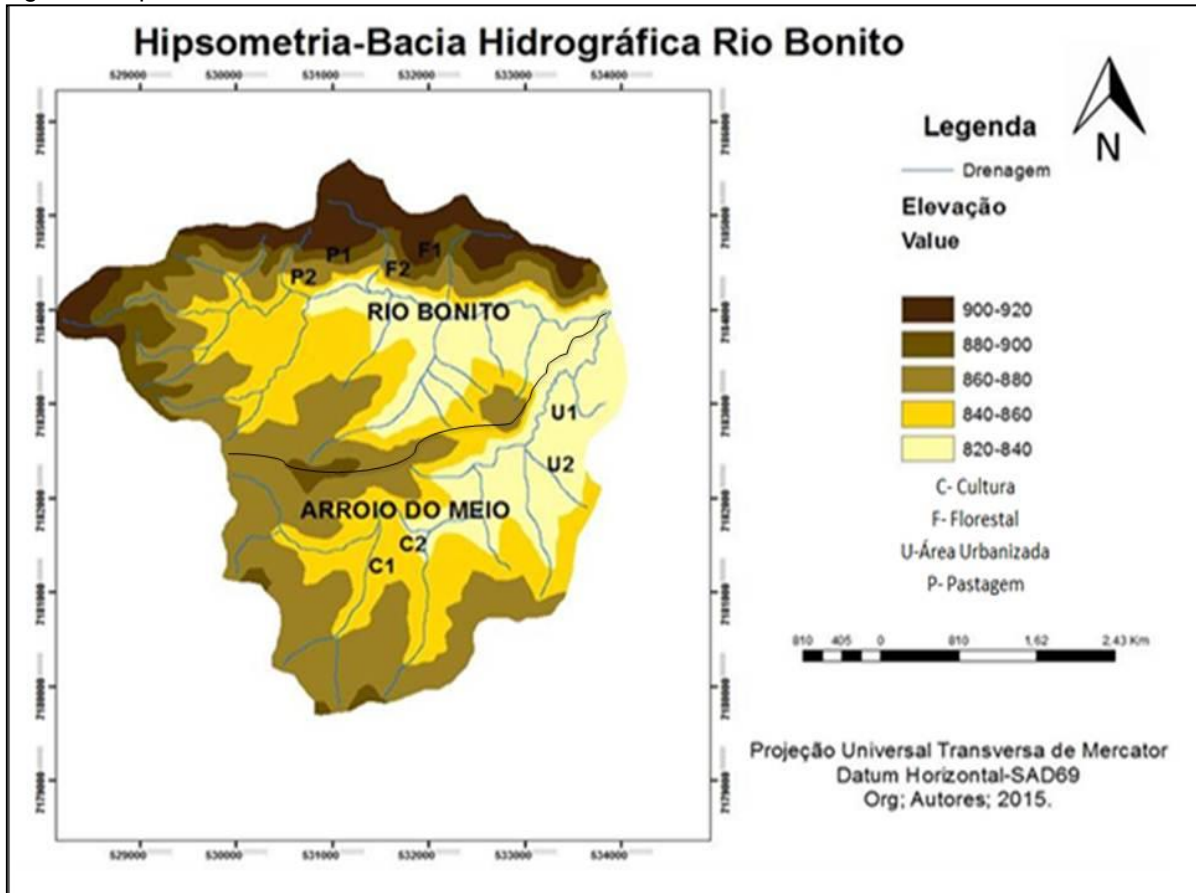
Figura 6 – Localização da bacia Rio Bonito - Irati, PR.



Org.: SANTOS, 2015.

A hipsometria da bacia varia de 820 a 920 metros de altitude, sendo a porção norte a área com a maior elevação, o que explica a maior concentração de vegetação e menor grau de urbanização. As áreas mais baixas se encontram na porção leste da bacia local de sua maior ocupação, sobretudo próximo a foz do Arroio do Meio (Figura 7).

Figura 7 – Hipsometria da Bacia Rio Bonito em Irati-PR.



Fonte: Exército Brasileiro, 1980.  
Org.: Santos, 2015.

Quanto à declividade, a classe entre 45-75% situa-se ao norte e nordeste da bacia, no entanto possui pouca representatividade espacial uma vez que abrangem apenas 10% da área total da bacia (Figura 8).

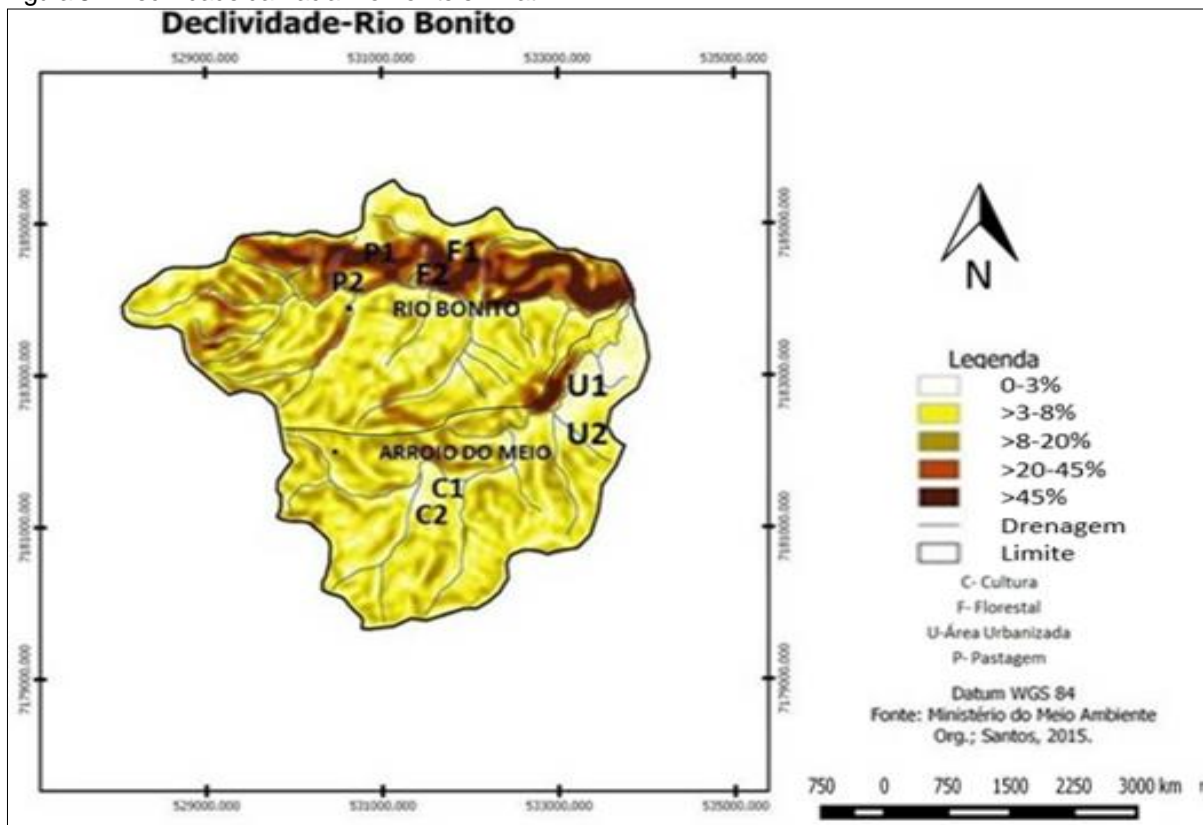
A classe entre 20-40% (relevo forte/ondulado) possui a menor representatividade espacial de todas as classes, pois abrange apenas 5% de toda área e localiza-se, sobretudo ao norte e nordeste da bacia.

A classe entre 8-20% (relevo ondulado) está representada em 30% do total da bacia, e sua distribuição espacial não se concentra em apenas uma região, porque

está distribuída homogeneamente. Nessa classe se estabelecem o uso de cultura e de pastagem.

A classe entre 3-8% (relevo suave ondulado) está presente em grande parte da bacia representando 55% do total de sua área, também estão presentes diversos usos como cultivo, pastagem e florestal. Na classe de 0-3% está presente a área urbanizada da bacia.

Figura 8 – Declividade da Bacia Rio Bonito em Irati-PR.

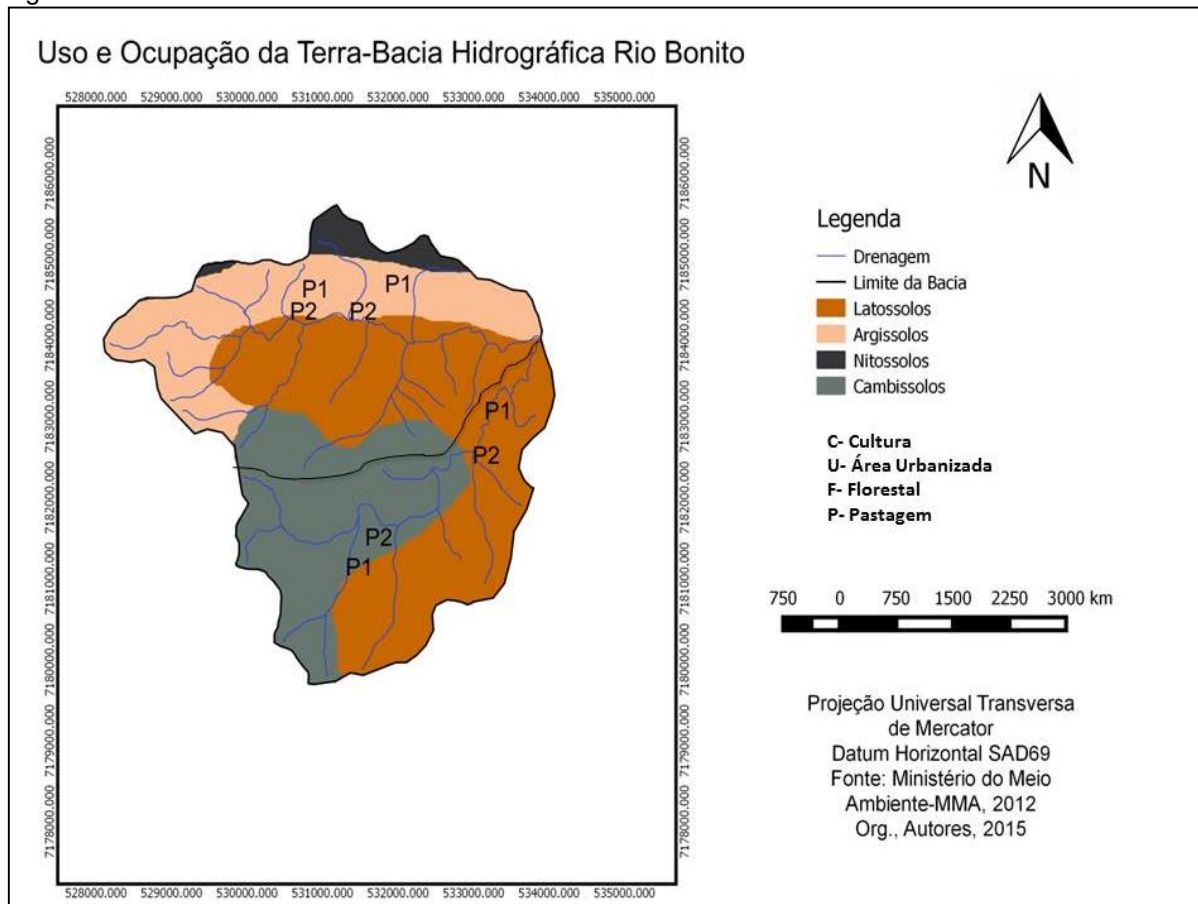


Fonte: Exército Brasileiro, 1980 e EMBRAPA, 1979.  
Org.: Santos, 2015.

Segunda a classificação da EMBRAPA Solos (2007), os solos da bacia Rio Bonito são compostos por: Argissolos Vermelhos e Amarelos, Latossolos Vermelhos Eutróficos, Nitossolos Brunos Aluminicos e Cambissolos Háplicos (AGEITC, 2014), conforme demonstrado na Figura 9.



Figura 9 - Solos da bacia Rio Bonito Irati-PR.



Fonte: EMBRAPA Solos, 2013.  
Org.: Santos, 2016.

Argissolos Vermelhos e Amarelos- são solos em que o desenvolvimento exibe horizonte de acúmulo de argila, com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita; apresentam a textura médio-argilosa, podendo mostrar-se em menor presença a textura média e média/muito argiloso. Apresentam também baixa a muito baixa fertilidade natural, com reação vigorosamente ácida e argilas de atividade baixa.

Latossolos Vermelhos Eutróficos- correspondem a solos identificados em extensas áreas dispersas em todo território nacional, associados aos relevos: plano, suave ondulado ou ondulado. Ocorrem em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, de textura e de estrutura.

Nitossolos Brunos Aluminicos- correspondem a solos com a cor bruna amarela pouco expressiva, e a diferenciação da divisão do horizonte é pouco notável, apresentam uma estrutura prismática que se desfaz em blocos quando seco.

Cambissolos Háplicos Aluminicos- são identificados normalmente em relevo forte ondulados ou montanhosos que não exibem horizonte superficial A húmico. São

solos de fertilidade natural variável. Apresentam como principais limitações para uso, o relevo com declives acentuados, a pequena profundidade e a ocorrência de pedras na massa do solo.

Os solos mais representativos nos pontos de coletas foram os Cambissolos e os Argissolos.

## 2.2 BASE CARTOGRÁFICA E VARIÁVEIS OPERACIONAIS

A base cartográfica utilizada no desenvolvimento do trabalho foi a carta topográfica elaborada pela Diretoria de Serviços Geográficos (DSG) do Exército Brasileiro (1980), escala 1:50.000, folhas SG 22-X-C1-4 (Irati) e SG-22-X-C-IV-2 (Rebouças).

A partir das cartas topográficas foram retiradas informações, como rede de drenagem, curvas de nível e os dados necessários para a quantificação e a realização dos mapas.

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação da terra foi utilizada imagem RapidEye (2013) com resolução espacial de 5m, disponibilizada pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA (GEOCATALOGO, 2014), multiespectral, bandas azul, verde, vermelho e NIR (infravermelho próximo). Os tipos de uso para a mensuração da infiltração foram selecionados em campo, condizentes com os objetivos da presente pesquisa, ou seja, foram adotadas as classes até o nível II, e com base na proposta do IBGE (2006) abrangeram as classes: Cultura, Áreas Urbanizadas, Florestal, Pastagem e Silvicultura.

**Cultura-** Ocorre em pequenas propriedades com produções diversificadas, conjugando culturas temporárias como mandioca, milho, feijão, batata-inglesa, fumo, hortícolas e floríferas, com frutíferas permanentes, cultivo de árvores, pecuária de leite, avicultura e suinocultura. É nessa categoria que estão incluídas as culturas produzidas na agricultura familiar e/ou de subsistência. Estavam representadas na área de pesquisa com Trigo (inverno) e Soja (verão).

**Áreas Urbanizadas-** São regiões de uso intensivo do solo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nessa categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos (industriais e comerciais) e instituições que podem, em alguns casos, encontrar-se isoladas das áreas urbanas. Essa zona é representada

por espaços densamente ocupados por casas e comércio, sem planejamento urbano adequado.

Florestal- São as formações arbóreas com porte superior a 5m, inclui-se aí: as fisionomias da Floresta Densa (estrutura florestal com cobertura superior contínua), da Floresta Aberta [estrutura florestal com diferentes graus de descontinuidade da cobertura superior, conforme seu tipo (com cipó, bambu, palmeira ou sororoca)], da Floresta Estacional [estrutura florestal com perda das folhas dos estratos superiores durante a estação desfavorável (seca e frio)], além da Floresta Ombrófila Mista (estrutura florestal que compreende a área de distribuição natural da *Araucaria angustifolia*, elemento marcante nos estratos superiores, que geralmente forma cobertura contínua) e das áreas de mangues.

Pastagem- Áreas destinadas ao pastoreio de gado, formadas mediante plantio de forragens perenes. Nessas áreas o solo está coberto por vegetação de gramíneas ou leguminosas, cuja altura pode variar de alguns centímetros a alguns metros.

Silvicultura- Reflorestamento e cultivo agroflorestal, no caso da área de estudo, eucalipto.

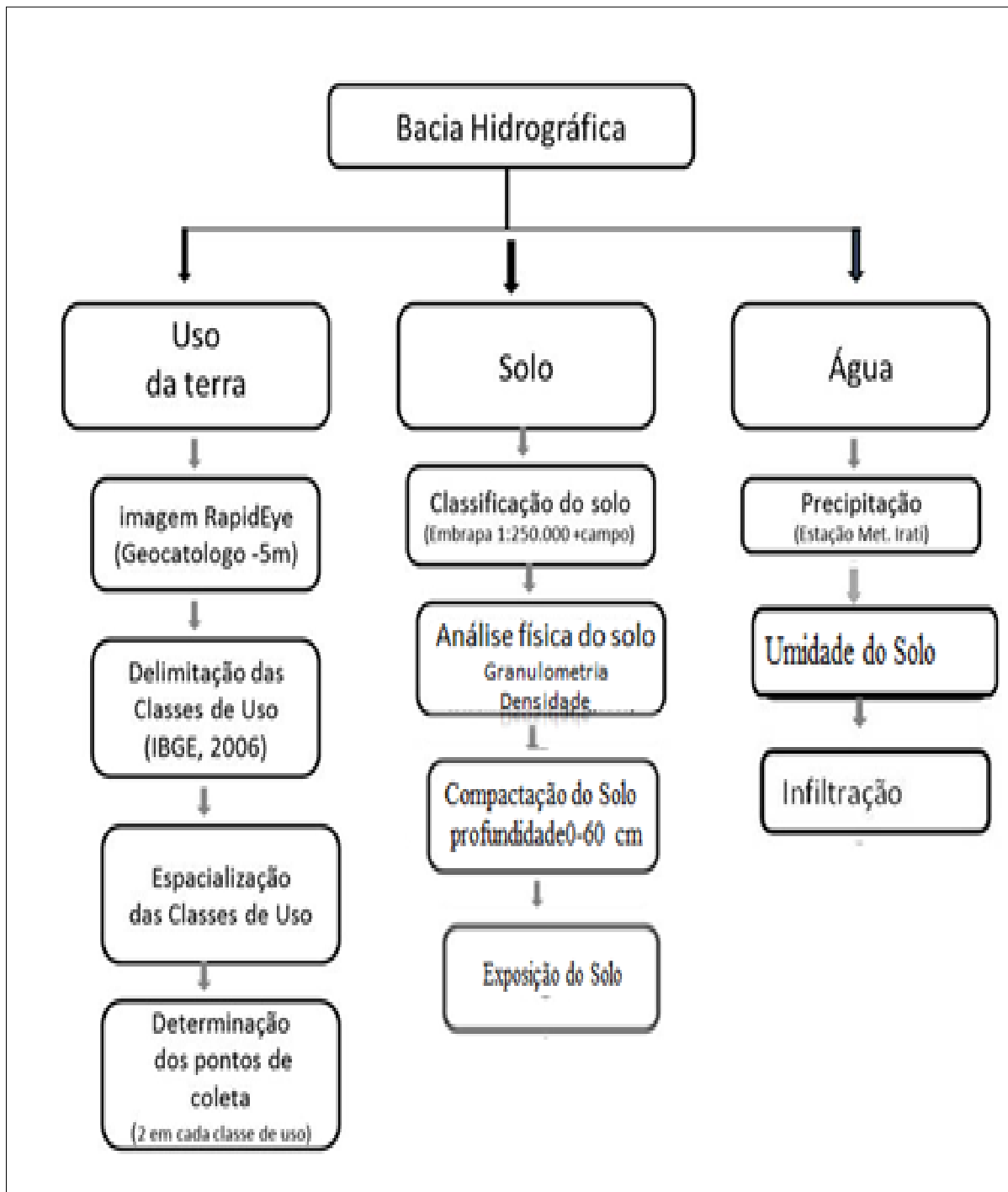
Utilizou-se o *software Quantum Gis*, versão 2.6 e o *software ArcGis* 9.2 para a elaboração dos mapas, caracterização da área de estudos, para suporte à análise e integração dos dados que compõem esse estudo.

As variáveis operacionais da presente pesquisa foram: uso e ocupação da terra, solo e água, tendo a bacia hidrográfica como recorte espacial (Figura 10).

Com relação ao uso e ocupação da terra foram escolhidas quatro áreas para a realização deste estudo, sendo: uma área cultivada com soja e trigo, uma com pastagem, uma com floresta e uma área urbana. Foram definidos dois pontos para cada classe de uso, sendo: no Cultivo (C1 e C2), Urbano (U1 e U2), Floresta (F1 e F2) e Pastagem (P1 e P2).

A variável solo compreendeu a classificação dos solos, a análise física representada pela granulometria e a densidade, além da compactação e exposição do solo. A variável água foi representada pela precipitação, umidade do solo e infiltração.

Figura 10- Metodologia e operacionalização



Org. Santos, 2016.

O monitoramento das variáveis foi realizado de forma que cumprisse com os objetivos desse trabalho, para isso foram realizadas diversas coletas e mensurações conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1- Variáveis amostradas e sistemática de coletas

Variáveis	Floresta	Urbano	Agricultura	Pastagem
Infiltração	Mensurada 3 vezes em cada ponto, 6 amostras de infiltração no mês totalizando em 12 meses 72.	Mensurada 3 vezes em cada ponto, 6 amostras de infiltração no mês totalizando em 12 meses 72.	Mensurada 3 vezes em cada ponto, 6 amostras de infiltração no mês totalizando em 12 meses 72.	Mensurada 3 vezes em cada ponto, 6 amostras de infiltração no mês totalizando em 12 meses 72.
Resistência do solo	2 pontos de coletas com 3 repetições em cada ponto = 6 No ano foram 4 coletas totalizando 24 amostras.	2 pontos de coletas com 3 repetições em cada ponto = 6 No ano foram 4 coletas totalizando 24 amostras.	2 pontos de coletas com 3 repetições em cada ponto = 6 No ano foram 4 coletas totalizando 24 amostras.	2 pontos de coletas com 3 repetições em cada ponto = 6 No ano foram 4 coletas totalizando 24 amostras.
Exposição de solo	5 amostras em cada ponto, 60 coletas no ano.	5 amostras em cada ponto 60 coletas no ano.	5 amostras em cada ponto 60 coletas no ano.	5 amostras em cada ponto 60 coletas no ano.
Granulometria	3 Coletas em cada profundidade sendo duas profundidades =6 amostras	3 Coletas em cada profundidade sendo duas profundidades =6 amostras.	3 Coletas em cada profundidade sendo duas profundidades =6 amostras	3 Coletas em cada profundidade sendo duas profundidades =6 amostras
Porosidade	3 coletas em 4 profundidades 36 amostras por área	3 coletas em 4 profundidades 36 amostras por área	3 coletas em 4 profundidades 36 amostras por área	3 coletas em 4 profundidades 36 amostras por área
Densidade	3 coletas em 4 profundidades 36 amostras por área	3 coletas em 4 profundidades 36 amostras por área	3 coletas em 4 profundidades 36 amostras por área	3 coletas em 4 profundidades 36 amostras por área

Org.: Santos, 2016.

Tendo em vista essas características de usos e ocupações da terra foram escolhidos oito pontos de amostragem para coleta de solos e respectivas análises pedológicas (dois em cada classe de uso), além das análises de infiltração, principal variável associada. Na sub bacia Rio Bonito foram selecionados quatro pontos de amostragem, sendo dois na classe pastagem (P1 e P2) e dois na classe florestal (F1 e F2), na sub bacia Arroio do Meio mais quatro pontos, dois pontos na classe cultura (C1 e C2) e dois em área urbana (U1 e U2). As áreas são descritas de acordo com o uso e o manejo no Quadro 2, e embora estejam sobre diferentes tipos de solo, eles apresentaram similaridades, porque foram classificados como siltosos e argilosos.





Os pontos na classe pastagem ocorrem sobre Cambissolos, com altas porcentagens de argila e silte, respectivamente, em uma declividade entre 20% e 40% coberto por gramíneas e com presença de cavalos (Quadro 2).

Os pontos de coleta na floresta ocorrem sobre Argissolos, com mais de 50% de silte tanto nas camadas superficiais (0 a 15cm), como nas subsuperficiais (15 a 30 cm) em uma declividade entre 20% e 40%, com presença de Floresta Ombrófila Mista em estágio secundário (Quadro 2).

Os pontos na área de cultivo ocorrem em solos Cambissolo com altas porcentagens de silte sobretudo nas camadas superficiais (0 a 15cm) em uma declividade entre 3% e 8%, em culturas temporárias de verão com soja, e de inverno com trigo, sob plantio direto, em pequenas propriedades rurais (Quadro 2).

Os pontos na área urbanizada apresentam solos com textura extremamente argilosa, em áreas planas (0% -3%) próximas à foz do Arroio do Meio. Foram alocados em dois quintais de residências no Bairro Planalto. Essas áreas sofrem com alagamentos sempre que os valores de precipitação são elevados (Quadro 2).

Quadro 2 – Caracterização dos pontos de coleta

Classe de Uso	Declividade (%)	Características	Imagens
Pastagem	20-40	Coberta com gramíneas com a presença de equinos. Utilizada há 8 anos como pastagem aproximadamente 1 ou 2 animais por hectare.	
Florestal	20-40	Floresta Ombrófila Mista	
Cultivo	3-8	Culturas temporárias (soja e trigo) técnica de manejo com plantio direto	
Área Urbanizada	0-3	Área urbana com grande adensamento populacional	

Org.: Santos, 2016.

## 2.3 AVALIAÇÃO FÍSICA DO SOLO

### 2.3.1 Densidade e Porosidade do Solo.

Para a realização das análises de densidade aparente do solo e de porosidade, abrimos três trincheiras e coletamos nas profundidades de 0-5,0-10,10-20-20-30cm, totalizando 36 amostras de cada ponto. Posteriormente, as amostras foram levadas para o laboratório de Geografia da UNICENTRO, Irati-PR, onde foram processadas e analisadas. No laboratório, foram feitas análises físicas de rotina de acordo com o Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA, 1997, p.122).

A densidade aparente expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco pelo volume do anel, e através dele há possibilidade de interpretar a permeabilidade do solo e sua respectiva relação com a infiltração. É de grande importância na compreensão das características do solo, e pode ajudar no entendimento de sua estrutura, juntamente com o conhecimento de outros fatores que podem indicar processos de degradação relacionados ao uso e a preservação.

Para análise da densidade aparente do solo em laboratório, as amostras indeformadas foram coletadas pela técnica de anel volumétrico de 100 cm<sup>3</sup> e levadas ao laboratório, identificadas, pesadas e levadas à estufa a 105 °C por 24 horas. Na sequência foi pesada novamente para identificar o peso do solo sem umidade.

A densidade do solo será estimada através da Equação 1 descrita pela Embrapa (1997, p;23)

$$D = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde:

Ds: Densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>)

P: Peso da amostra seca (g)

V: Volume do anel volumétrico (cm<sup>-3</sup>)

A porosidade do solo foi identificada através do método proposto pela Embrapa (1997, p.35) onde se cruza dos dados de densidade de partículas com a densidade aparente conforme a equação 2.

$$P_t = 100 \frac{D_r - D_a}{D_r} \quad (2)$$

Onde:

P<sub>t</sub>= porosidade total



$D_r$ = densidade de partículas

$D_a$ = densidade aparente

Para a identificação da densidade de partículas foi usado o procedimento de análise do balão volumétrico proposto pela Embrapa (1997, p.38). Esse método se caracteriza pela inserção de 20 g de solo seco e moído, da amostra no balão volumétrico de 50 ml, completando com álcool etílico até a marca do nível de 50 ml, agita-se e deixa em repouso por 24 h. Se acaso houver queda no volume do álcool se completa novamente com álcool (Equação 3).

$$D_r = \frac{P}{(50 - V_{álcool})} \quad (3)$$

Onde:

$D_r$ = densidade de partículas

P = Peso da amostra seca

V álcool= Volume do álcool gasto

Para a análise granulométrica abrimos três trincheiras e coletamos nas profundidades de 0-15cm e 15-30cm, utilizou-se o método de peneiramento colocado 50 g de solo em um recipiente com 4 bolas de gude, e 25 ml de NAHO, 250 ml de água da torneira, agitado por 16 horas em 120 a 150 rpm.

Após terminar esta etapa foi feita a análise do solo na peneira 0,053 para secar na estufa de 104 ° C durante 24 h, a solução que passou ficou na proveta grande de 1L , e com o agitador de metal agitou-se 25 vezes e, em seguida foi tirado a prova em branco (25 ml de NAHO e 1 litro de água da torneira), que consistiu em agitar em branco da mesma forma que as outras provetas, deixando então repousar por 90 minutos, após esse repouso foi retirado o líquido com um sugador de 200 ml da solução e feito a leitura com o densímetro, primeiro a prova em branco depois as próximas soluções. Por fim foi aplicada as equações:

$$\text{Argila Grossa (g kg-1)} = \text{MAG} \times 50; \text{ Argila Fina (g kg-1)} = \text{MAF} \times 50 \quad (4)$$

$$\text{Argila Total (g kg-1)} = (\text{MARG} - 0,02) \times 1000 \quad (5)$$

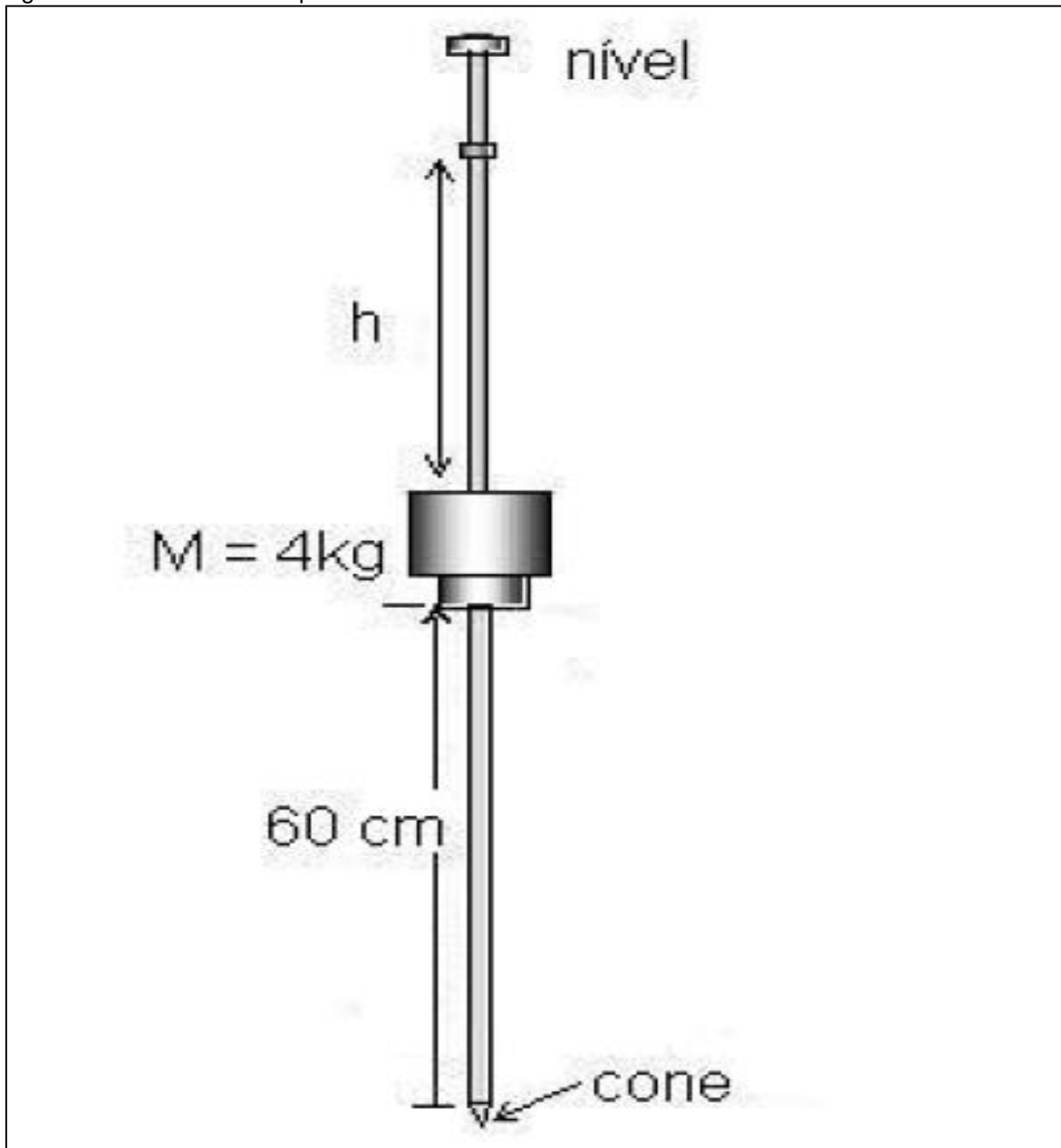
$$\text{Silte (g kg-1)} = 1000 - (\text{AG} + \text{AF} + \text{AT}). \quad (6)$$

Em que: AG = argila grossa; AF = argila fina; AT = argila total; MAG = massa de areia grossa (g) retida na peneira de 0,210 mm; MAF = massa de areia fina (g) retida na peneira de 0,053 mm; e MArg = massa de argila total (g); 0,02 = massa do dispersante químico (g).

### 2.3.2 Resistência a Penetração

Para o monitoramento da compactação do solo foi utilizado um penetrômetro de impacto (Figura 11), modelo IAA/PLANALSUCAR, segundo o método de STOLF (1991). Os cálculos foram realizados com o uso do programa PENETRON' (STOLF, 1991).

Figura 11- Penetrômetro de Impacto



Fonte: Stolf et al., 1983.

Esse processo foi realizado em quatro meses ao longo do ano, agosto, novembro, fevereiro e junho, em dez pontos ao longo da vertente. Juntamente com as

coletas de compactação realizou-se também as medições de umidade do solo em dez pontos ao longo do perfil da vertente.

Os valores de compactação foram equiparados com base na USDA (1993), que classifica a compactação do solo em classes de resistência.

Tabela 1- Classes de resistência a penetração no solo.

<b>Classe</b>	<b>Resistência a Penetração em MPa</b>
Pequena	<0,1
Extremamente Pequena	<0,01
Muito Baixa	0,01-0,1
Intermediária	0,1-2
Baixa	0,1-1
Moderada	01-2
Grande	>2
Alta	02-4
Muito Alta	04-8
Extremamente Alta	≥ 8

Adaptado: USDA, 1993.

### 2.3.3 Exposição do solo

A exposição do solo varia conforme o período do ano, fato relacionado à dinâmica da cobertura vegetal, principalmente em áreas agrícolas e florestais.

Para constatar a exposição solo em diferentes usos e ocupação da terra, foi adaptado o método de mostrador de exposição de solo proposto por Antoneli (2011, p.194), que consiste em um quadro (1x1m<sup>2</sup>). Nesse quadro foram feitas subdivisões a cada 10 cm, entrelaçados por um barbante formando uma malha de 100 quadros de 10 cm<sup>2</sup> cada (Figura 12).

A partir desta metodologia pode-se identificar o percentual de exposição dentro desses quadros menores, por meio de avaliação visual, em que o pesquisador indica um valor (aproximado) do percentual de exposição.

Foram realizadas 10 coletas em cada classe de uso (floresta, pastagem, urbano e cultivo), em cada período de coleta, totalizando 120 coletas de exposição em cada área ao longo do monitoramento. Ao término da avaliação foi retirado o valor da exposição do solo em porcentagem.

Figura 12 – Mostrador de exposição do solo no plantio direto em área de cultivo



Fonte: a autora, 2015.

#### 2.3.4 Umidade do solo

A umidade do solo foi mensurada mensalmente antes das coletas de infiltração com medidor de umidade do solo digital portátil (Figura 13), que é ideal para medições rápidas e confiáveis, essas medições foram feitas em menos de um segundo. A mensuração de umidade do solo é realizada através do índice volumétrico de água (VWC), onde o medidor converte um sinal elétrico medido no índice de umidade do solo em porcentagem usando uma equação válida sobre uma escala larga de solos.

Figura 13 – Medidor de umidade do solo digital portátil



Fonte: a autora, 2016.

### 2.3.5 Precipitação

Os dados coletados de precipitação corresponderam ao período de julho de 2014 a junho de 2015, os dados mensais foram extraídos do site do Inmet- Instituto Nacional de Meteorologia e comparados com a estação pluviométrica do Colégio Florestal em Irati-PR.

### 2.3.6 Infiltração

Os pontos de infiltração foram selecionados em cada uso de acordo com o perfil longitudinal da vertente, com o princípio de coletar em diferentes declividades a infiltração.

Para o monitoramento da infiltração de água nos diferentes tipos de uso do solo foi utilizado um infiltrômetro manual de anel duplo (Figura 14), conforme metodologia proposta por Dunne e Leopold (1978).

Figura 14- Infiltrômetro de anel



Fonte: a autora, 2015.

O infiltrômetro manual de cilindros concêntricos é caracterizado por dois cilindros; um de 400 mm e outro de 900 mm de diâmetro, e uma bureta de PVC devidamente graduada para medir o volume de água adicionado no cilindro interno (400 mm), em intervalos de tempo de 5 minutos durante uma hora (adotado como tempo padrão). Nesse caso foi adicionada água aos poucos, no cilindro interno que havia sido enterrado 5 cm no solo, tomando o devido cuidado para que não fosse modificada a estrutura do solo dentro do cilindro (ZALUSKI e ANTONELI, 2014, p.15).

Já o cilindro externo (900 mm) foi mantido constantemente com água, para que a infiltração lateral se tornasse uniforme, porque a força capilar impulsiona a água para cima e com isso a infiltração da água adicionada no cilindro interno seria alterada pela capilaridade. A taxa de infiltração constante (taxa de infiltração básica) foi considerada quando a leitura do anel interno se repetiu pelo menos três vezes seguidas. (BRANDÃO et al., 2003, p. 15).

Os equipamentos de monitoramento (anéis duplos) foram fixados em locais pré-definidos na bacia. A análise da variabilidade de infiltração foi realizada em quatro

diferentes usos da terra, sendo 4 pontos por coleta. As repetições de infiltração foram mensais.

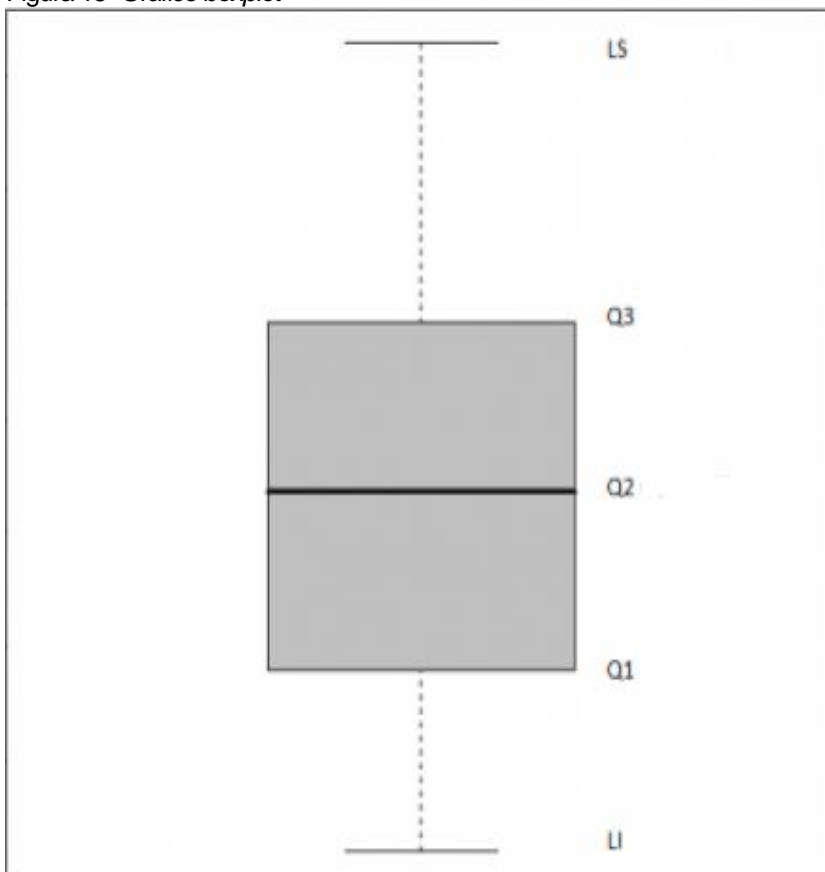
Segundo Antoneli e Thomaz (2009, p. 110) o anel duplo evita que ocorra grande transferência de água pelas bordas do anel de infiltração, isso porque a água é colocada no anel externo e no anel interno, onde é feita a leitura da infiltração. Quando se usa esse procedimento possibilita que a infiltração ocorra verticalmente, e que não ocorram desvios de erro na taxa de infiltração.

Os anéis foram enterrados em torno de cinco centímetros no solo, a água foi colocada constantemente, adotando uma lâmina de 2 a 5 cm de altura dentro dos anéis.

## 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Utilizou-se o *software Bioestat* para análise em gráficos *boxplot*, que fornece informação sobre locação e dispersão. O *boxplot* é uma ferramenta gráfica que ajuda a identificar a existência de possíveis *outliers* (valores discrepantes) no conjunto de dados. A Figura 15 apresenta um exemplo do formato de um *boxplot*.

Figura 15- Gráfico *boxplot*



Fonte: Portal Action, 2016.

O *boxplot* pode ainda ser utilizado para uma comparação visual entre dois ou mais grupos. Por exemplo, duas ou mais caixas são colocadas lado a lado e se compara a variabilidade entre elas, a mediana e assim por diante. Na pesquisa em questão foram colocadas em cada caixa uma classe de uso da terra, sendo possível observar a diferença entre os *quartis* ( $Q_3 - Q_1$ ), que é uma medida da variabilidade dos dados, por exemplo resistência à penetração do solo, à exposição, e à umidade do solo, entre outros.



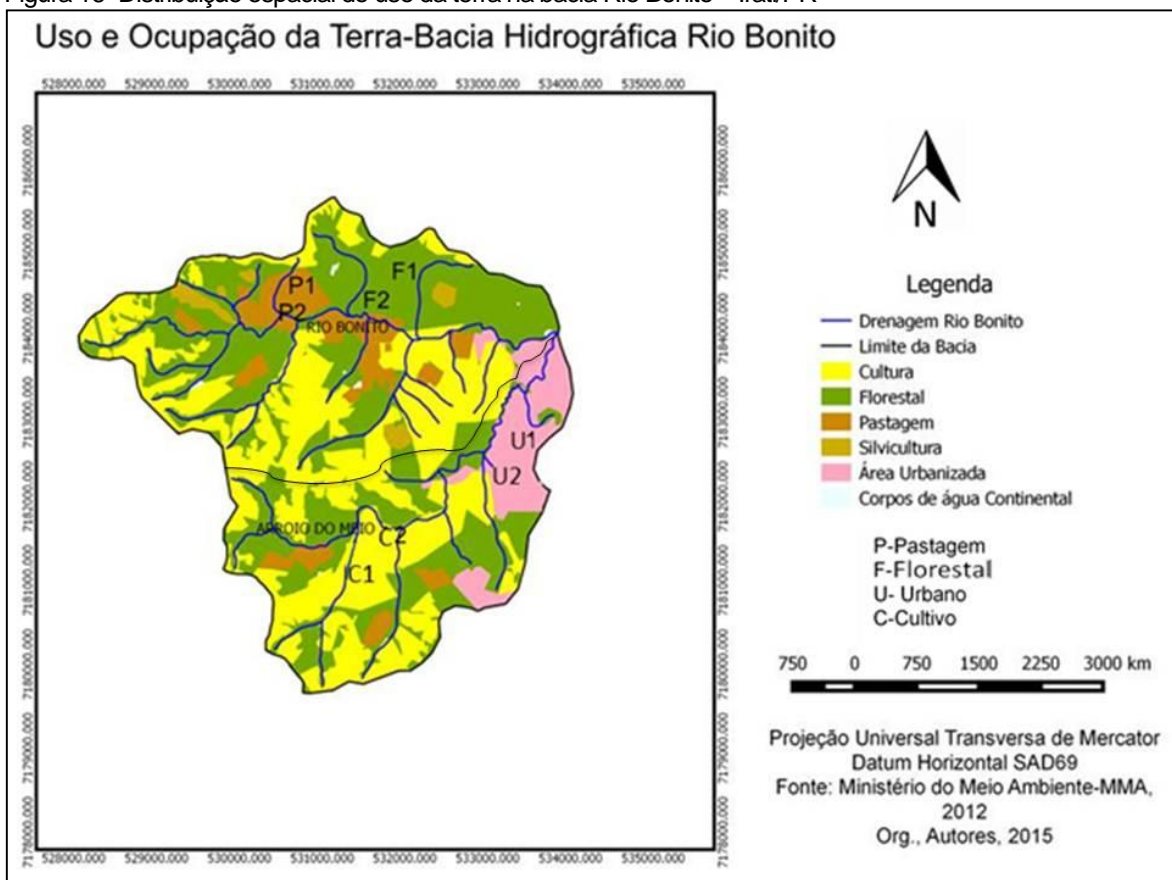
## CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram apresentados os dados sobre o uso e ocupação da terra para a bacia Rio Bonito, destacando a distribuição espacial e a quantificação de cada classe. Num segundo momento foram apresentadas e discutidas as demais variáveis que deram suporte para tal resultado de infiltração. A seguir, apresentam-se os dados de infiltração.

### 3.1 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

A bacia Rio Bonito, recorte espacial desta pesquisa, é formada por duas sub bacias: Rio Bonito, que apresenta uma área de 2,040ha e corresponde a 69,6% do total da bacia e Arroio do Meio com 894,5ha ou 30,4% da área. As características do uso da terra, conforme demonstrado na Figura 16, apresentam predomínio das classes Florestal e Cultura na sub bacia Rio Bonito e das classes Cultura, Florestal e Área Urbanizada na sub bacia Arroio do Meio.

Figura 16- Distribuição espacial do uso da terra na bacia Rio Bonito – Irati/PR



Fonte: Ministério do Meio Ambiente - GEOCATÁLOGO, 2012.  
Org.: Santos, 2015.

A classe Florestal ocupa 68% da área (Tabela 2) e concentra-se sobretudo na porção norte da sub bacia Rio Bonito, sobre Argissolos, composta por Floresta Ombrófila Mista em estágio secundário (VALÉRIO et al., 2008, p. 34). Ocupa sobretudo a margem esquerda da sub bacia, apresentando baixa fragmentação (Figura 16), fato justificado por ser uma área íngreme, com declividade acima de 20% podendo alcançar em alguns pontos até 75%, o que dificulta a ocupação humana e consequente modificação, portanto é uma área indicada para preservação. Já na sub bacia do Arroio do Meio essa classe de uso está distribuída por toda a sub bacia com fragmentos, sobretudo próximo aos cursos d'água.

Tabela 2 – Uso e ocupação da terra nas Sub Bacias Rio Bonito e Arroio do Meio, em Irati-PR

Sub Bacias	Área Ha	Cultura		Área Urbanizada		Área Florestal		Pastagem		Silvicultura	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Rio Bonito	2,040	836,4	41	53,0	2,6	836,4	41	255	12,5	59,6	2,9
Arroio do Meio	894,5	411,4	46	196,7	22	241,6	27	44,8	5	0	0
<b>Total</b>	<b>2934,5</b>	<b>1,247,8</b>	<b>87,0</b>	<b>249,7</b>	<b>24,6</b>	<b>1078,0</b>	<b>68,0</b>	<b>299,8</b>	<b>17,5</b>	<b>59,6</b>	<b>2,9</b>

Org.: Santos, 2016.

A classe de Cultura se apresenta bem distribuída pelas duas sub bacias, cobrindo 87% da área total. Predomina na sub bacia do Arroio do Meio com culturas temporárias como soja e trigo. Por apresentar um relevo suave ondulado (3% a 8%) não oferece restrições para a mecanização e ocorre igual a adoção do sistema de plantio direto. Na sub - bacia do Rio Bonito ocorre em locais onde a declividade é baixa com relevo suave e ondulado. Caracteriza-se por culturas temporárias como por exemplo: feijão, milho, trigo, soja, fumo. Os pontos de coleta estão sobre Cambissolos e o manejo do solo é realizado com a técnica de plantio direto, ou seja, não ocorre o revolvimento do solo durante o plantio e a colheita. Essa área adota essa forma de manejo há aproximadamente 15 anos.

A classe Área Urbanizada ocupa 24,6% da área, sobretudo próximo a foz do Arroio do Meio, representada pelos bairros DER, Pedreira e Planalto. Ocorrem sobre Cambissolos que se caracterizam por ser pouco profundos e bastante alterados, uma vez que estão em áreas residenciais estão sujeitos a problemas com terraplanagem,

ou seja, são solos alocados de outros lugares, as vezes alocados de restos de construção, o que pode afetar a densidade dos mesmos. Essas condições tornam a área vulnerável a enchentes e inundações pois, segundo Vasquez e Winch (2014, p. 104) a impermeabilização dos solos aumenta o escoamento superficial em áreas urbanas.

A classe Pastagem se concentra no curso médio do Rio Bonito sobre Cambissolos, representando 12,5% dessa sub-bacia (Tabela 2). Caracteriza-se por apresentar áreas com gramíneas (*Paspalum notatum*) e com a presença de animais (equinos) que não têm hábitos de promover revolvimento do solo como os suínos, por exemplo. A presença de gramíneas reduz a exposição do solo, mas pode levar a maior escoamento de água. No Arroio do Meio está restrita a uma área pontual não ultrapassando 5% da área da sub bacia, com a presença igualmente de equinos.

A classe Silvicultura ocorre em apenas 2,9% da área estando restrita a pontos isolados com a presença de eucalipto, porém não foram realizadas coletas nessa classe.

## 3.2 ANÁLISES DAS VARIÁVEIS FÍSICAS DO SOLO

### 3.2.1 Densidade Aparente do Solo

A densidade média da classe Florestal, sobre Argissolos, variou entre 0.99 g/cm<sup>3</sup> e 1.06g/cm<sup>3</sup> (Tabela 3), não apresentando grande variação ao longo do perfil de coleta (30 cm), fato justificado pela influência da matéria orgânica sobre o solo e pela baixa ação antrópica, que faz com que sua estrutura permaneça menos densa e compactada. O solo sob sistema florestal apresenta menor densidade aparente, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados, quando comparado ao mesmo solo sob sistema de plantio convencional (CARVALHO, 2004, p. 109).

A variação da densidade entre as camadas na classe Florestal está relacionada a decomposição de serapilheira que faz com que o solo agregue mais nutrientes, reduzindo sua compactação. Em um estudo, Marasca et al. (2013, p. 10) encontraram valores de densidade menores que em plantio direto e convencional, os autores atribuíram esses menores valores à quantidade de matéria orgânica no solo da floresta.

Abuquerque et al. (2001, p. 54) encontraram valores de densidade 0,81 nas camadas de 0-5cm; 0,77cm nas camadas de 5-10, e 0,72cm nas camadas de 10-15 e 0,82cm nas camadas de 15-30, e mesmo com baixa densidade encontraram uma alta resistência do solo à penetração, relacionando esse fato com a coesão entre os agregados do solo.

Tabela 3- Densidade da área Florestal

Profundidade (cm)	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )			
	TR1	TR 2	TR 3	Media profundidade
0-5	0.99	1.02	1.05	1.02
5-10	1.10	1.08	1.01	1.06
10-20	0.97	0.99	1.03	0.99
20-30	0.89	1.01	1.18	1.03
Densidade média	0.99	1.02	1.07	1.03

\*TR: Trincheira de coleta.

Org.: Santos, 2016.

De um modo geral, observamos que as densidades mais baixas foram registradas na média de todas as profundidades, na classe Florestal, com valor médio de 1,03 g/cm<sup>3</sup> e as mais elevadas na classe Cultura com valor médio de 1,41g/cm<sup>3</sup> (Tabela 4). O comportamento da densidade para a classe Florestal pode ser explicado pela baixa ação antrópica e pela influência da matéria orgânica no solo. No entanto, as áreas de cultivo apresentaram valores elevados em função das atividades agrícolas desenvolvidas nesse local. Mesmo sendo sobre sistema de manejo por plantio direto, que não causa revolvimento do solo, as modificações de um estado natural do solo, seja pela passagem de maquinários ou pela utilização de agrotóxicos, alteram suas propriedades naturais.

Como citado acima na bacia Rio Bonito a técnica de manejo é por plantio direto, técnica em que o agricultor não revolve o solo até o chamado pé de grade, é apenas realizado a escarificação que vai a uma profundidade de até 10 cm. Essa forma de manejo acaba compactando as camadas inferiores do solo. Reinert e Reichert (2006, p. 103) apresentam valores entre 0,9 a 1.7 g cm<sup>3</sup>, para uma área de cultivo sobre o sistema de plantio direto, destacando também as maiores densidades nas maiores profundidades.

A média da densidade aparente do solo da área de cultivo, sobre Cambissolos, indicaram valores entre 1.39 g/cm<sup>3</sup> (menor valor) a 1.47 g/cm<sup>3</sup> (maior valor). A maior densidade média foi observada na camada entre 10-20cm. Esses valores foram semelhantes àqueles encontrados por Pereira et al. (2010, p. 43) em Cambissolos (rasos, adensados e siltosos) no município de Curvelo-MG, onde a maior densidade foi encontrada na camada de 10-20cm (1.60g/cm<sup>3</sup>). Essa densidade apresenta a relação do uso e ocupação enquanto fator de alteração por meio do sistema de manejo do solo, como destaca Aguiar (2008, p. 109).

Spera et al. (2009, p. 54) chegaram a considerações que a cultura de milho, produzindo significativa soma de biomassa seca deixada na superfície, nos dois sistemas (florestal e cultura), foi um dos causadores de menor densidade no solo.

Em uma pesquisa em Dourados (MS) em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico, com textura muito argilosa, os autores encontraram valores de densidade próximos dos encontrados na presente pesquisa, em área de cultivo de soja com o “sistema de plantio direto valores de 1.68, 1.66, 1.67, 1.69 kg m<sup>-3</sup> nas camadas de 0-20 cm e 1.64, 1.62, 1.63, 1.65 kg m<sup>-3</sup>” (ALVES SOBRINO et al., 2003, p. 191).

Sanchez et al. (2014, p. 24) compararam os valores de densidade em um solo sem cultivo 1,0, 0,9, 0,9, 0,9, 0,9 e densidade no solo após a instalação do cultivo de soja e milho sobre o sistema de plantio direto 1,12, 1,11, 1,10, 1,12, demonstrando assim a influência da agricultura sobre a densidade do solo.

Tabela 4- Densidade da área Cultivo

Profundidade (cm)	Densidade aparente Cultivo (g/cm <sup>3</sup> )			
	TR1*	TR 2	TR 3	Média profundidade
0-5	1.33	1.47	1.41	1.40
5-10	1.42	1.47	1.37	1.42
10-20	1.46	1.60	1.37	1.48
20-30	1.35	1.34	1.29	1.33
Densidade média	1.39	1.47	1.36	1.41

\*TR: Trincheira de coleta.

Org.: Santos, 2016.

Sobre a variação da densidade na classe de cultivo foi possível perceber que os menores valores observados foram nas profundidades de 0-10cm, e isso está

relacionado à escarificação das camadas superficiais do solo. Nas camadas de 10-20cm em que não ocorre remobilização do solo com equipamento de maior profundidade, a densidade foi menor. A escarificação biológica foi eficiente no aumento da macroporosidade do solo, na diminuição da resistência do solo à penetração e melhorou a infiltração de água em um Latossolo, o autor atribuiu este resultado a escarificação (NICOLOSO et al., 2008, p. 198).

Em um estudo realizado em experimento de longa duração (21 anos), no Campo Experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA, Colônia de Entre Rios, Guarapuava (PR), os autores constataram que o solo em plantio direto apresentou melhores condições estruturais, evidenciadas principalmente pela redução da densidade do solo em subsuperfície e pelo aumento da estabilidade de agregados na camada superficial do solo (COSTA et al., 2003, p. 98).

A densidade média da Área Urbanizada, sobre Cambissolo, esteve entre  $1.06\text{g/cm}^3$  e  $1.11\text{g/cm}^3$  (Tabela 5), considerada baixa e não apresentou variação ao longo do perfil (30 cm). Embora se espere uma densidade mais elevada para esse tipo de ambiente, a influência da ação antrópica nesta área, como a terraplanagem, afeta e altera as propriedades do solo.

Tabela 5- Densidade da área urbanizada

Profundidade (cm)	Densidade aparente Urbano ( $\text{g/cm}^3$ )			
	TR1	TR 2	TR 3	Media profundidade
0-5	1.10	1.02	1.06	1.06
5-10	0.99	1.22	1.05	1.09
10-20	1.13	1.10	0.93	1.06
20-30	1.21	1.12	1.01	1.11
Densidade média	1.11	1.12	1.01	1.08

\*TR: Trincheira de coleta.  
Org.: Santos, 2016.

A densidade média na Pastagem, sobre Cambissolos, foi relativamente alta, pois esteve entre  $1.26\text{ g/cm}^3$  e  $1.30\text{ g/cm}^3$  (Tabela 6). Nesse caso destacamos a influência do pisoteio dos animais, pois a literatura sugere que o pisoteio aumenta a densidade do solo e reduz a macroporosidade e a taxa de infiltração (KLEIN e KLEIN, 2014, p. 104). Esse fato é justificado no estudo de Antoneli et al. (2011, p. 183), que

encontraram valores de densidade aparente do solo em área de Faxinal Prudentópolis- PR de  $1,21 \text{ g/cm}^3$ . Mesmo que a fisionomia da pastagem seja diferente da área pesquisada pelos autores o que existe em comum é a pressão exercida pelos animais, em áreas de pastagem de forma extensiva.

Tabela 6 – Densidade - Área Pastagem

Profundidade (cm)	Densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ )			
	TR1	TR 2	TR 3	Media profundidade
0-5	1.32	1.24	1.16	1.24
5-10	1.37	1.35	1.19	1.30
10-20	1.32	1.34	1.09	1.25
20-30	1.29	1.35	1.13	1.26
Densidade média	1.32	1.32	1.14	1.26

\*TR: Trincheira de coleta.

Org.: Santos, 2016.

As camadas superficiais são menos densas na classe Pastagem pois as raízes ocupam espaços no solo e quanto maior o volume delas, menor é a densidade do solo (Figura 17). Em uma pesquisa sobre Latossolo Vermelho Distroférrico, localizado no município de Rio Branco, região sudoeste do Estado do Mato Grosso, no bioma Pantanal, a densidade se apresentou na profundidade 0-10  $1,383 \text{ (kg dm}^{-3}\text{)}$ , profundidade 10-20,  $1,437 \text{ (kg dm}^{-3}\text{)}$ , profundidade 20-30  $1,454 \text{ (kg dm}^{-3}\text{)}$ , para Carvalho et al., os menores valores de compactação ocorrem nas camadas superficiais com a presença de raízes no solo.

Os valores encontrados para os pontos amostrados na bacia Rio Bonito correspondem com as médias encontradas na literatura para densidade dos solos arenosos que variam de 1,2 a  $1,9 \text{ g cm}^{-3}$ , e para solos argilosos valores mais baixos, de 0,9 a  $1,7 \text{ g cm}^{-3}$  (CARVALHO et al., 2012, p. 189).

Os valores de densidade do solo estão associados ao comportamento de compactação com elevada probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular, encontram-se em torno de  $1,65 \text{ g cm}^{-3}$  nos solos arenosos e de  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$  em solos argilosos (REINERT; REICHERT, 2006, p. 97).

Foi possível avaliar, com base na Figura 17, que a menor densidade do solo foi na classe Floresta. As menores densidades ocorreram nas primeiras e nas

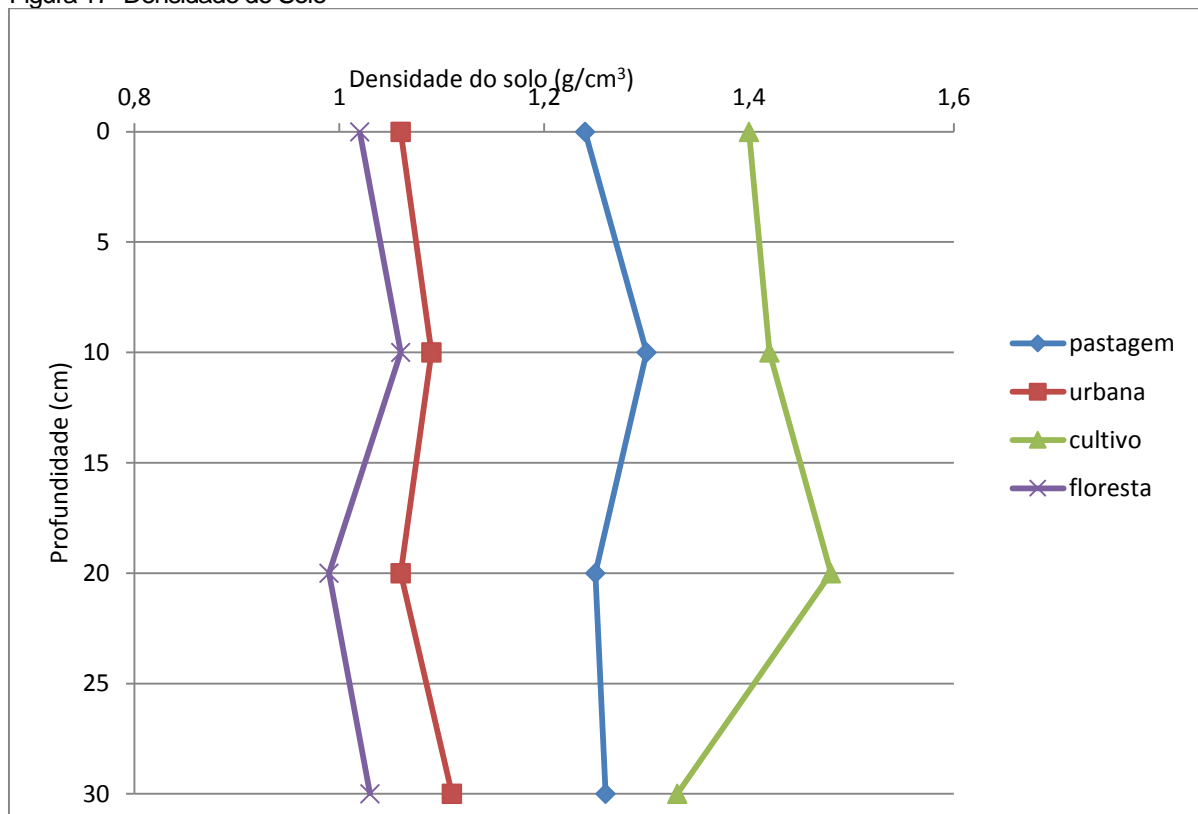
segundas camadas do solo (0-10 e 10-20 cm), esse fato pode estar relacionado à quantidade maior de matéria orgânica nessas camadas.

A classe urbana apresentou a maior densidade, este valor pode estar associado à suas atividades, principalmente nas camadas superiores (0-10cm) ponto em que observamos as maiores densidades, e nas camadas inferiores (20-30cm) devido a maior pressão exercida nesta profundidade.

A classe Urbana apresentou uma densidade do solo baixa nas primeiras camadas (0-10cm), este valor pode ser em decorrência das atividades de terraplanagem desenvolvidas na área no mesmo período da pesquisa, que muitas vezes alocam solos e materiais de outras áreas e interferem nos atributos físicos do solo, como a densidade, o que pode leva a um aumento da densidade nas camadas inferiores do solo dessa área.

A Pastagem apresentou valores de densidade maiores nas camadas de 0-10cm, e menores nas camadas inferiores, isso pode estar relacionado ao pisoteio dos animais na superfície do solo.

Figura 17- Densidade do Solo



Org.: Santos, 2016.



### 3.2.2 Porosidade do Solo

A porosidade do solo indicou variação média nos tipos de uso estudados entre 45.8% na área de agricultura (menor valor) a 60.2% na área de floresta (maior valor), ou seja, aumento de 31.4%.

A classe Florestal apresentou os maiores valores de porosidade, estando entre 65,4% (TR1) nas profundidades de 0-5cm, e 55,4 % (TR3) nas profundidades 20-30cm (Tabela 7). A porosidade média foi de 60,2%. Para Barreto et al. (2006, p. 54) apresentaram correlação significativa direta, numa área de floresta com composição de campo, ponto de murcha permanente e porosidade total e os valores de porosidade para esses elementos foram superiores aos das classes de Cultura e Pastagem. Spera et al. (2004, p. 45) encontraram em áreas florestais, menores valores de densidade e maiores de porosidade total e de macroporosidade.

Tabela 7 – Porosidade da área Florestal

Profundidade (cm)	Porosidade Florestal			
	TR1	TR 2	TR 3	Média Profundidade
0-5	65.4	60.2	58.7	61.4
5-10	58.8	56.1	60.3	58.4
10-20	60.9	61.9	60.5	61.1
20-30	64.1	61.1	55.4	60.2
Porosidade Média	62.2	59.8	58.7	60.2

Org.: Santos, 2015.

Na classe Cultivo o valor mais elevado de porosidade nas primeiras camadas do solo se deve a alteração de suas propriedades, devido ao manejo. Os elevados valores nas camadas de 20-30cm estão relacionados com a pressão e o peso que é exercido nas camadas inferiores do solo (Tabela 8).

Stone e Silveira (2000, p. 102) constataram que em uso do solo com agricultura utilizando as técnicas de plantio direto, ocasionou maior compactação nas camadas superficiais, maior densidade e menores valores de porosidade do solo. Klein e Libardi (2002) apontam que o uso e o manejo do solo alteraram consideravelmente o traçado das curvas de retenção de água no solo com a redução na porosidade e alteração na distribuição do diâmetro dos poros, sendo para eles as mais expressivas nas áreas irrigadas.

Tabela 8 – Porosidade da área de Cultivo

Profundidade (cm)	Porosidade Cultivo (%)			
	TR1	TR 2	TR 3	Média Profundidade
0-5	44.4	39.5	41.3	41.7
5-10	49.5	40,3	45.3	45.0
10-20	48.0	39.5	40.2	42.6
20-30	49.0	45.2	40.9	45.0
Porosidade Média	47.7	47,7	41.9	45,8

Org.: Santos, 2016.

No espaço urbano observamos valores mais elevados de porosidade na trincheira 2, na profundidade de 0-5cm (Tabela 9), e as menores na trincheira 1 nas profundidades de 20-30cm. De uma forma geral nessa classe não ocorreu muita variação nos valores de porosidade, sendo o valor médio 54,2%. Barbosa et al. (2007, p. 209) em uma área urbana sobre Latossolo Vermelho eutrófico, demonstraram resultados em que a resistência do solo à penetração e a densidade do solo, aumentaram a porosidade total do solo, apresentando valores próximos (49% a 52%) dos encontrados no presente trabalho.

Tabela 9 – Porosidade da Área Urbanizada

Profundidade (cm)	Porosidade Urbano (%)			
	TR1	TR 2	TR 3	Média Profundidade
0-5	54.2	60.1	52.3	55.5
5-10	57.9	45.1	57.3	53.4
10-20	50.1	55.1	62.2	55.8
20-30	41.9	55.2	58.8	52.0
Porosidade Média	51.0	53.9	57.6	54.2

Org.: Santos, 2016.

A porosidade na área urbana é parecida entre as camadas devido as características do solo urbano, por haver terraplanagem ou preenchimento de solo influenciados pelas construções e ações das atividades antrópicas.

Na classe de Pastagem observamos valores mais baixos de porosidade entre as profundidades (Tabela 10). A variação mais significativa dentre os valores médios

em profundidade foi nas camadas 0-5cm - 48.2%, 20-30cm - 49.2%, não apresentando grande variação na porosidade do solo ao longo do seu perfil.

Segundo Magalhães et al. (2010, p. 114) em um trabalho realizado Latossolo Vermelho Distroférrico, localizado no município de Rio Branco, região sudoeste do Estado do Mato Grosso, no bioma Pantanal a densidade teve correlação negativa com a porosidade do solo ( $< 0,01$ ) segundo o teste de correlação de Pearson, ou seja, quanto maior a densidade menor é a porosidade do solo para as três profundidades estudadas. “A classe de pastagem deste estudo apresentou maiores densidades e menores valores de porosidade do solo para a mesma classe”. (MAGALHÃES et al., 2010, p.349).

Esse valor está relacionado à maior resistência à penetração devido à presença de equinos no local. Flores et al. (2007, p. 54) observaram em pastagem sob os solos Latossolo Vermelho ocorreram a maior densidade e uma redução na porosidade. Mion et al (2012, p. 34) em uma área de pastejo de ovinos, em um Argissolo Amarelo, de textura arenosa, encontraram valores de 37,74 a 35,40 nas profundidades de 01 a 0-3cm, relacionando a baixa densidade ao pisoteio dos ovinos no local. Nos EUA, Daniel et al. (2002, p. 201) relataram maior densidade em solos de pradaria, em função da carga animal utilizada na pastagem.

Tabela 10 – Porosidade área de Pastagem

Profundidade (cm)	Porosidade Pastagem			
	TR1	TR 2	TR 3	Média Profundidade
0-5	44.1	52.6	47.8	48.2
05-10	42.3	42.0	49.6	44.6
10-20	47.2	42.0	54.6	47.9
20-30	50.7	42.9	54.1	49.2
Porosidade Média	46.1	44.3	44.3	44.9

Org.: Santos, 2016.

A porosidade total do solo não apresentou uma grande variação para as profundidades de 0-30 cm (Figura 18), no entanto a variação que ocorreu foi nos diferentes usos, por exemplo, a floresta apresentou valor de porosidade superior a classe de pastagem e cultivo.

O sistema de plantio direto na classe de cultivo apresentou a menor porosidade total na camada de 0-5,10-20cm, enquanto os maiores valores de

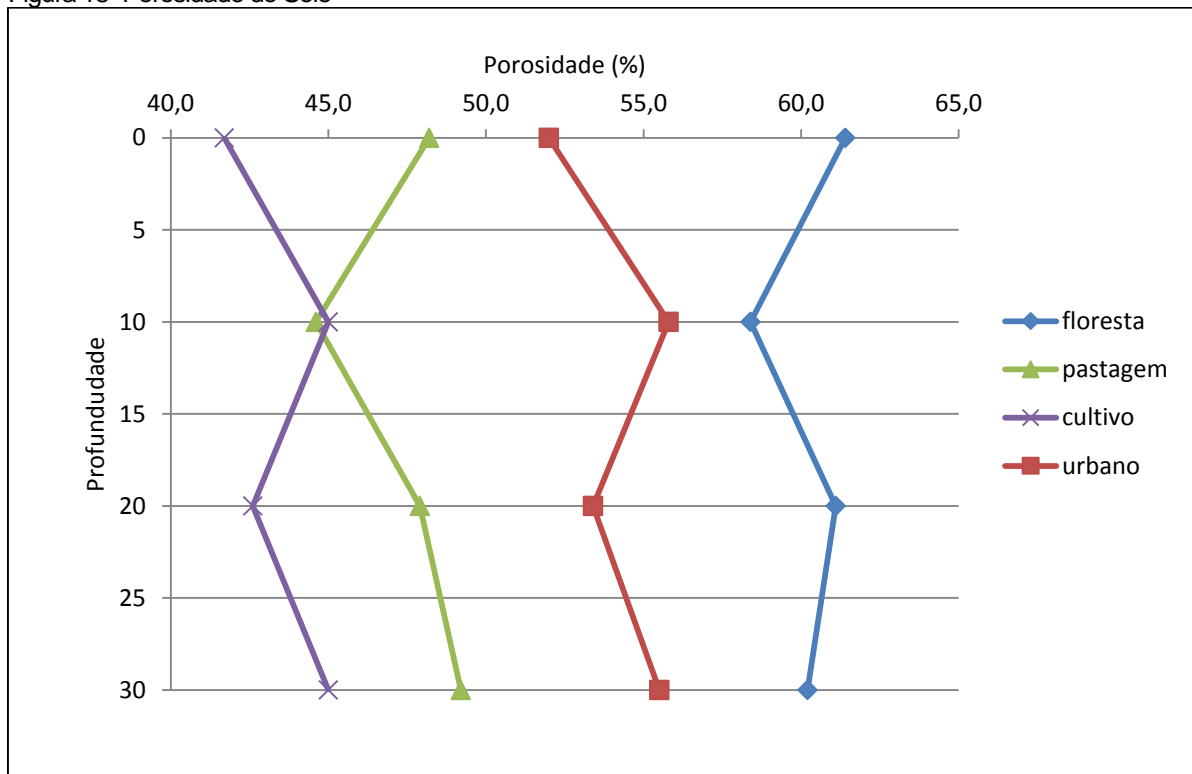
porosidade foram identificados no solo da área com floresta. Tratando-se da diferença na profundidade do solo, observamos que as maiores diferenças foram encontradas somente em cultivo e pastagem, sendo os maiores valores encontrados na profundidade de 0-0,10m (Tabelas 6,7,8 e 9).

Pignataro Netto et al. (2009, p. 94) não observaram diferenças nos valores de porosidade total quanto à profundidade, contudo, o valor mais baixo encontrado pelos autores foi na área de pastagem na região do Cerrado, com a probabilidade de ser influenciado pela decomposição das raízes dos vegetais. Matias et al. (2009, p. 54) em diferente uso de um Latossolo Vermelho mencionaram que a porosidade total teve baixa influência das modificações causadas pelo preparo do solo, tanto em profundidade como entre os usos do solo.

Observando a porosidade do solo constatamos que ela aconteceu inversamente a densidade, porque nas classes de uso em que a densidade foi alta a porosidade foi baixa. Isso se justifica pela maior pressão que o solo sofre quando se encontra com grandes densidades, nesse caso a maior densidade acaba resultando em uma menor porosidade, pois existe pouco espaço para passagem de ar e de água em solos mais densos.

A maior porosidade foi na classe Florestal (Figura18) principalmente nas primeiras camadas (0-10cm), onde a quantidade de matéria orgânica pode ter influenciado neste resultado, facilitando que o solo fique com poros maiores devido sua composição. Uma maior porosidade na primeira camada do solo (10-20cm), na área urbana pode ser justificada pela interferência de fatores externos que podem ter contribuído para este resultado, como a construção civil e atividades de terraplanagem. Os menores valores de porosidade encontrados foram na pastagem em camadas de (0-10cm), e cultivo nas camadas de (0-10cm e 20-130cm) justificando a maior compactação e densidade do solo nessas áreas, por apresentarem maior interferência antrópica devido ao seu uso e ocupação da terra.

Figura 18- Porosidade do Solo



Org.: Santos, 2016.

A variação da porosidade ao longo do perfil do solo se apresenta com maior desagregados nas primeiras camadas na classe florestal e pastagem, isso se deve a presença de vegetação nas duas áreas que pode ter influenciado, mesmo na classe de pastagem onde o solo foi mais compactado, porque a presença de vegetação favorece a maior presença de poros no solo.

### 3.2.3 Granulometria do solo

Os resultados da granulometria do solo que indica os teores de silte, areia e argila podem ajudar na compreensão dos resultados de infiltração para as diferentes classes de uso da terra. Embora os solos que compõem os pontos de coleta sejam Cambissolo e Argissolo as suas características granulométricas apresentam predominância de Argila e Silte, tanto nas camadas de 0-15 e 15-30, conforme demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Composição Granulométrica das áreas estudadas

<b>Uso da Terra</b>	<b>% Arg</b>	<b>M.argila (g/kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>% Areia</b>	<b>M.areia (g/kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>% Silte</b>	<b>M.silte (g/kg<sup>-1</sup>)</b>
<b>Cultivo 0-15</b>	32,0	320,0	3,9	39,2	64,1	640,8
<b>Urbano 0-15</b>	62,0	620,0	2,2	22,0	35,8	358,0
<b>Floresta 0-15</b>	32,0	320,0	13,7	136,6	54,3	543,4
<b>Pastagem 0-15</b>	50,0	500,0	7,1	71,4	42,9	428,6
<b>Cultivo 15-30</b>	48,0	480,0	3,3	33,0	48,7	487,0
<b>Urbano 15-30</b>	40,0	400,0	6,9	68,8	53,1	531,2
<b>Floresta 15-30</b>	38,0	380,0	9,3	92,8	52,7	527,2
<b>Pastagem 15-30</b>	62,0	620,0	1,9	19,0	36,1	361,0

\*média entre dez pontos coletados para cada profundidade.

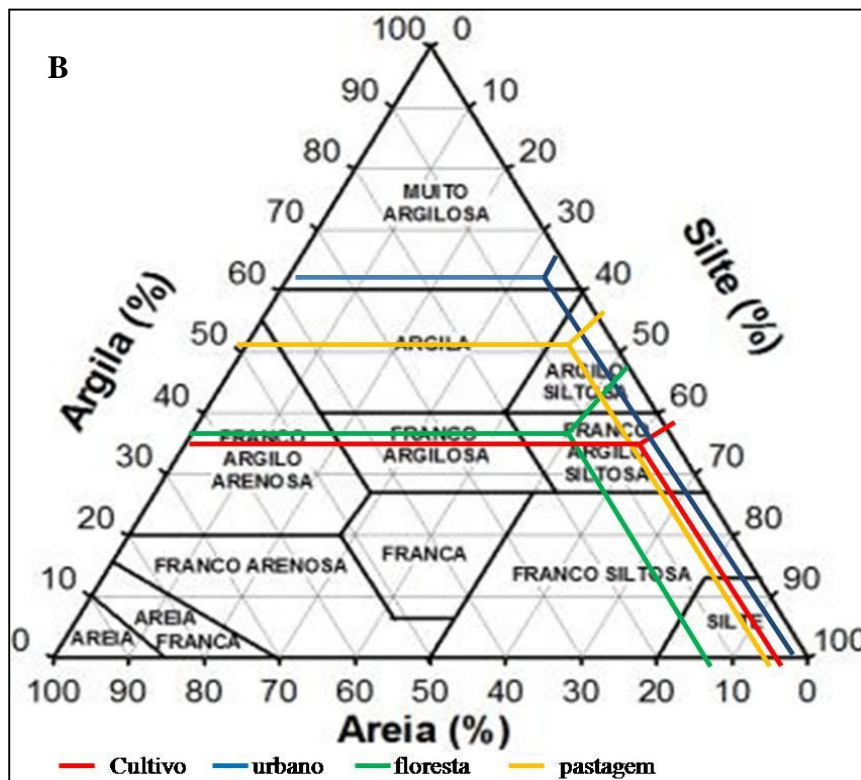
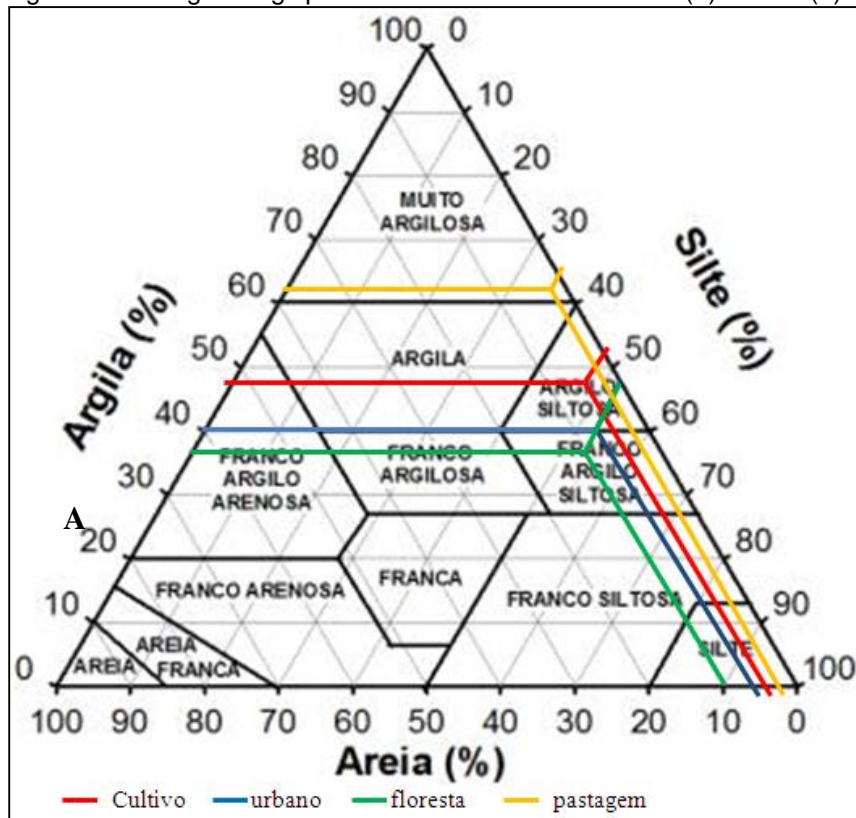
\*% Porcentagem de material encontrado no solo

\*g/kg<sup>-1</sup> massa como g/kg<sup>-1</sup>

Org; Santos, 2015.

Considerando o triângulo textural (Figura 19) e a descrição da EMBRAPA Solos (2006), a classe Área Urbanizada se enquadra na textura muito argilosa, que compreende a classe textural com mais de 60% de argila; a classe Pastagem se enquadra na textura argilosa, tendo na composição granulométrica de 35 a 60% de argila e as classes Cultivo e Florestal correspondem a textura siltosa, por apresentarem menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.

Figura 19 – Triângulo de grupamento textual Profundidade 0-15 (A) e 15-30 (B).



Fonte: Sistema Brasileiro de classificação de solos.

Na classe Cultivo a profundidade de 0-15cm apresenta predominância de silte (64,1%) e apenas 3,9% de areia, o que caracteriza como textura Franco argilo siltosa. Para a profundidade de 15-30cm esse comportamento se modifica, pois, os valores de silte e argila praticamente se igualam e a textura do solo nesta profundidade é argilo siltosa. Essa configuração reflete numa maior impermeabilização do solo, tanto nas camadas superficiais como sub superficiais, pois os elevados teores de silte e argila levam a maior retenção de água no solo.

Na classe área urbanizada a profundidade de 0-15cm registrou a predominância de argila (62%), caracterizando como muito argilosa. Para a profundidade de 15-30cm os valores encontrados foram de 40% de argila, 7,1 % de areia e 53,10 % de silte, recebendo a classificação de franco argilo siltosa. A presença de silte e argila em maiores quantidades revelam que os solos da área de coleta no espaço urbano apresentam texturas muito argilosa e franco argilo siltosa. Os valores de silte e argila presentes no solo dessa área tendem a diminuir a capacidade de infiltração em relação aos elevados valores de argila e silte.

Na classe Florestal os valores encontrados foram de 32,0 % de argila, 13,7% de areia e 54,3% de silte na camada de 0 -15cm e, para as camadas de 15-30cm foram 38,0% de argila, 9,3% de areia e 52,7% de silte, com características que evidenciam textura, nas camadas superiores e inferiores, Franco argilo siltosa, sendo que o solo de floresta apresenta uma maior quantidade de serrapilheira, agregando nutrientes ao solo.

A classe Pastagem registrou valores de 50,0% de argila, 7,1% de areia e 42,9% de silte na camada superficial sendo classificada como argilo siltosa e, para as camadas de 15-30cm foram 62,0% de argila, 1,9% de areia e 36,10% de silte classificada como muito argilosa.

#### 3.2.4 Resistência a penetração do solo.

Na classe Florestal, a compactação média superficial (0-5 cm) indicou maior valor (1,16 MPa), sendo idêntico a de 5 -10cm (Tabela 12). Nas demais camadas, a compactação indicou um padrão decrescente bastante próximo até as profundidades de 30 cm, para depois decrescer até 0,47 MPa na última camada.

A classe Florestal se sobressaiu em relação às demais classes pela menor resistência do solo (Tabela 12), sendo que essa condição reflete a presença da Floresta Ombrófila Mista. A classe Pastagem foi a que apresentou compactação mais



elevada na superfície assim como também a área urbana e de agrícola, que podem estar influenciadas pela dinâmica das suas atividades antrópicas. Drew (1986, p. 187) indica que as ações antrópicas sobre o solo, podem trazer alterações de ordem física, como compactação e erosão.

A classe Florestal apresentou os menores valores de resistência do solo, para todos os meses avaliados com médias em julho 0,7, em setembro 0,9, em dezembro 0,7 e abril 1,1. Em relação os valores das profundidades, observamos que a medida em que aumentou a profundidade a resistência, a penetração diminuiu, sobretudo abaixo de 40cm. Os maiores valores estão nas camadas superficiais até 10cm. Em resumo a variação dos valores de resistência do solo ocorreu mais em profundidade do que sazonalmente. Não ocorreu grande variação na compactação nas camadas superficiais, no entanto a partir de 10cm de profundidade a compactação foi diminuindo.

Menores valores de resistência a penetração em áreas florestais foram encontrados por Carvalho et al., (2004, p. 198) que avaliando os atributos físicos do solo em sistema florestal, atribui a baixa resistência na profundidade 0,00-0,10m, justificando a existência de matéria orgânica existente no local.

Tabela 12 – Resistência a penetração classe florestal.

Profundidade (cm)	Resistência a Penetração (MPa)				
	Junho	Setembro	Dezembro	Abril	Média em Profundidade
5	1,1	1,3	1,1	1,1	1,2
10	1,1	1,3	1,1	1,1	1,2
15	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0
20	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
25	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
30	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8
35	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
40	0,5	0,7	0,7	0,5	0,6
45	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6
50	0,5	2,1	0,6	0,5	0,9
55	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5
60	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5
Média mensal	0,7	1,0	0,8	0,7	0,8

Org.: Santos, 2016.

Os menores valores encontrados na classe florestal estão relacionados às características físicas do solo e à baixa ação antrópica. No trabalho de Santana et al. (2014, p.10) no município de Cachoeira Dourada (GO), os autores relacionaram a condição de menor resistência à penetração na camada mais superficial do solo em mata nativa com a baixa alteração antrópica sobre a área.

Araujo et al. (2014, p. 32) em uma floresta estudada na Fazenda Pau D'arco, localizada no setor oriental da Chapada do Araripe, extremo sul do Estado do Ceará, encontraram valores de resistência a penetração de 1,80, 2,86, 3,86 nas camadas de 0-20cm, sendo muito superiores àquelas na bacia rio Bonito.

Na classe Cultivo, a compactação media superficial (0-5cm) indicou maior valor (3,40 MPa), sendo 5% superior a camada de 5 -10cm (Tabela 13). Nas demais camadas, a compactação indicou um padrão decrescente bastante próximo até as profundidades de 30cm, para depois decrescer até 1,52 MPa na última camada.

A área de cultivo apresenta uma dinâmica agrícola que se caracteriza por ser uma zona com o sistema de plantio direto há aproximadamente 15 anos. Destacamos que no preparo do solo com plantio direto os agricultores utilizam um escarificador para revolver apenas a camada superficial. Sem a aragem, o solo próximo a camada do pé de grade não é revolvido (próximo a 30cm de profundidade). Esta condição possibilita a compactação das camadas inferiores do solo devido a trafegabilidade de máquinas ao longo do cultivo.

A classe Cultivo apresentou a maior resistência do solo à penetração nos primeiros 20cm (Tabela 13), o maior valor médio ocorreu no mês de abril com 2.52 (MPa), nesse mês o solo estava coberto com palhada morta, podendo essa resistência do solo ser reflexo das atividades do cultivo e da recém colheita. A umidade era de 32% e os volumes de precipitação eram de 84.7mm, um valor baixo frente aos outros valores registrados, o que pode ter favorecido também a compactação do solo.

Neste mês o solo estava coberto com o cultivo de trigo e teve maiores valores de precipitação (158mm). Esse resultado de precipitação, assim como os de umidade (27,3%), pode ter contribuído para o menor valor na compactação do solo. Nesse contexto, Santos e Reis, (2001, p. 34) afirmam que as plantas de cobertura do solo entram no processo de rotação proporcionando efeitos positivos, como conservação da umidade do solo, acúmulo de nutrientes na superfície e controle da erosão. Silveira et al. (2010, p. 35) em estudos resistência à penetração do Argissolo Amarelo Distrófico no município do Recôncavo do Estado da Bahia apresentou correlação

negativa com a umidade do solo. Rosim et al. (2012, p. 105) em uma pesquisa realizada em um Latossolo Vermelho Distroférico, observaram que a palha em superfície reduziu a resistência à penetração e aumentou a umidade do solo.

Tabela 13- Resistência a Penetração classe Cultura

Profundidade (cm)	Resistência do solo (MPa)					Média em profundidades
	Junho	Setembro	Dezembro	Abril		
5	2.87	3.30	3.67	3.77		3.40
10	2.73	2.87	3.43	3.33		3.09
15	2.60	2.50	2.93	3.10		2.78
20	2.23	2.27	2.63	3.13		2.57
25	1.80	2.10	2.37	3.30		2.39
30	1.70	2.03	2.27	2.67		2.17
35	1.70	1.80	2.07	2.40		1.99
40	1.67	1.70	1.83	2.10		1.83
45	1.67	1.53	1.67	1.73		1.65
50	1.53	1.53	1.67	1.67		1.60
55	1.57	1.53	1.57	1.57		1.56
60	1.50	1.53	1.57	1.47		1.52
Média mensal	1.96	2.06	2.31	2.52		2.21
Chuva	158	260,2	212,9	84,7		-

Org.: Santos, 2016.

Na área urbana, a compactação media superficial (0-5 cm) indicou maior valor (3.01 MPa), sendo 10.9% superior a camada de 5-10cm (Tabela 14). Nas demais camadas, a compactação indicou um padrão decrescente bastante próximo.

Dentre as quatro campanhas de coletas, o mês de setembro indicou maior valor (1,96 MPa) e o mês com o menor valor foi abril (1,79 MPa). Observamos que não ocorreu grande variação entre os maiores e menores registros de resistência do solo, pois o uso do solo na área urbana pode indicar a mesma característica o ano todo sem variação na intensidade de tráfego de pessoas.

Tabela 14 – Resistência do solo na classe Área Urbanizada

Profundidade (cm)	Resistência do solo (MPa)				
	Junho	Setembro	Dezembro	Abril	Média em profundidade
5	2.93	3.20	2.93	2.97	3.01
10	2.73	2.90	2.43	2.63	2.68
15	2.20	2.53	2.07	2.30	2.28
20	2.00	2.07	1.87	2.00	1.98
25	1.77	1.83	1.80	1.83	1.81
30	1.67	1.70	1.73	1.67	1.69
35	1.57	1.67	1.73	1.47	1.61
40	1.57	1.60	1.63	1.40	1.55
45	1.50	1.57	1.47	1.33	1.47
50	1.47	1.53	1.47	1.30	1.44
55	1.43	1.50	1.30	1.30	1.38
60	1.40	1.40	1.27	1.23	1.33
Média mensal	1.85	1.96	1.81	1.79	1.85
Chuva	158	260.2	212.9	84.7	-

Org.: Santos, 2016.

A classe Pastagem apresentou valores mais elevados de resistência do solo (Tabela 15), o que pode estar relacionado ao pisoteio dos animais que potencializam a compactação do solo.

Constatamos que a superfície do solo indica um aumento em relação a segunda camada, isso é reflexo do não revolvimento do solo e do tráfego dos animais que aumentam a compactação.

Os valores mais elevados de resistência do solo se mantiveram superiores a 2,03 MPa até as camadas de 30cm, tendo um decréscimo a partir dessa profundidade. Os valores mais elevados foram observados nos meses de dezembro e abril e os menos elevados nos meses de junho e setembro. Quando comparamos as médias entre os meses de abril (maior compactação) com o mês de setembro (menor compactação), observamos que o mês de abril foi 21.7% superior. Essa variação pode ser em decorrência da intensificação do pastoreio em determinados períodos.

Em clima subtropical, é comum a ocorrência de geadas e, por conseguinte, o clima ameno pode reduzir o volume da biomassa da pastagem fazendo que os animais

transitem mais pelas áreas de pasto a procura de alimento (TORMENTA et al., 2012, p. 109). Cabe destacar que o trânsito de animais pode influenciar de forma direta na redução da infiltração (DUNNE et al. 2011, p. 38) e exposição do solo (ANTONELI e THOMAZ, 2009, p. 35).

A média encontrada de 2.05 MPa é compatível com dados encontrados na literatura, pois valores semelhantes foram encontrados em um estudo de Pignataro Netto et al. (2009, p. 98), sendo encontrados medições de 2,8 a 3,8 MPa, considerando o pisoteio dos equinos como principal causador desta resistência a penetração. Outros valores semelhantes foram encontrados na literatura em um estudo em Latossolo Vermelho Amarelo, no sudoeste de Goiás, nas proximidades da cidade de Rio Verde, onde a pastagem, com valores em torno de 3,5 MPa, não apresentou diferença significativa de resistência à penetração na profundidade de 25 cm; e abaixo de 30 cm (RALICH, et al., 2008, p. 43).

Tabela 15 – Resistência a Penetração na classe pastagem

Profundidade (cm)	Compactação (MPa)				
	Junho	Setembro	Dezembro	Abril	Compactação Média
5	3.30	3.00	3.67	3.77	3.43
10	3.10	2.43	3.43	3.33	3.08
15	2.70	2.33	2.93	3.10	2.77
20	2.23	2.17	2.63	2.77	2.45
25	1.80	2.00	2.37	2.60	2.19
30	1.70	1.87	2.13	2.43	2.03
35	1.70	1.63	1.80	2.33	1.87
40	1.60	1.47	1.63	1.87	1.64
45	1.27	1.40	1.37	1.60	1.41
50	1.17	1.33	1.23	1.53	1.32
55	1.13	1.27	1.17	1.47	1.26
60	1.10	1.23	1.00	1.43	1.19
Compactação Média mensal	1.90	1.84	2.11	2.35	2.05
Chuva	158	260,2	212,9	84,7	-

Org.: Santos, 2016.

Na Figura 20 são apresentados os valores médios, máximos e mínimos e os desvios padrão da compactação do solo para todas as classes de uso. Os valores

máximos de infiltração foram até 3 MPa. As classes Cultura, Pastagem e Urbano apresentaram valores médios próximos de 2 MPa, com pouca variação entre si. Em contrapartida a Floresta apresentou menor valor médio de compactação.

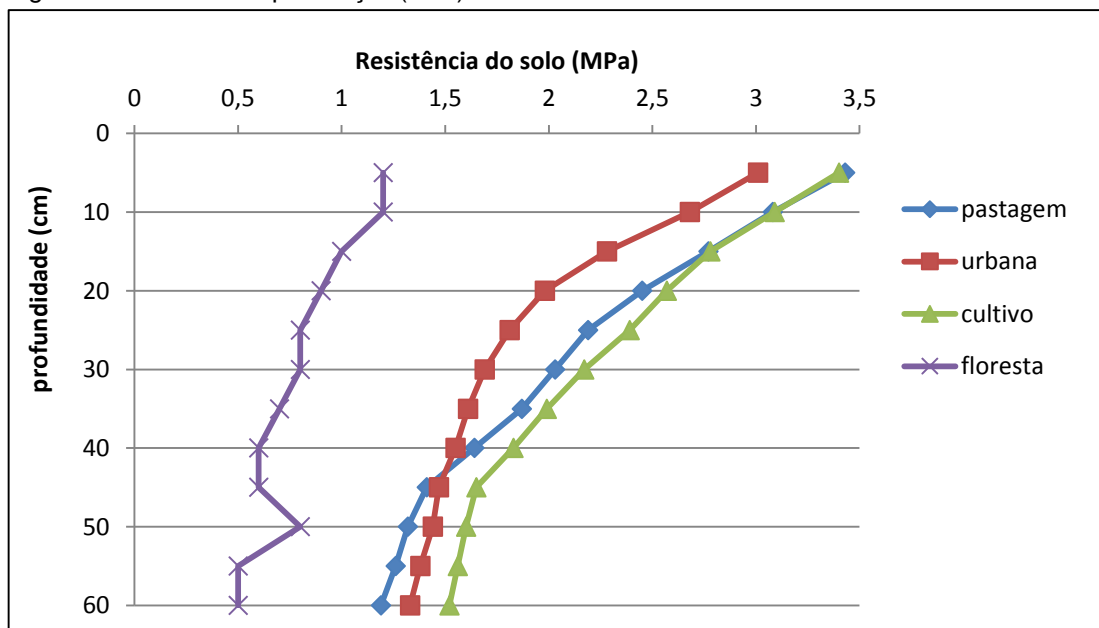
Este gráfico aponta a interferência do uso e ocupação da terra na compactação do solo, porque nas classes de maior interferência antrópica como, por exemplo, a agricultura, pastagem e urbano, foram também as que mais apresentaram compactação, diferente da classe florestal que obteve os menores valores.

A compactação é a ação da modificação da estrutura do solo, na qual, ele perde a porosidade resultando no aumento da resistência à penetração o que prejudica o crescimento e desenvolvimento radicular da planta, diminui a ação capilar, dificulta a infiltração de água e contribui para o aumento da erosão.

Solos com elevados teores de silte e argila tendem à uma maior compactação. A elevada resistência do solo à penetração é mais efetiva em reduzir o crescimento do sistema radicular das plantas, indicando que as plantas podem crescer mais lentamente (TORMENA, 2009, p. 34).

Os menores valores de resistência foram observados respectivamente na área de floresta com uma compactação média de 0.79 (MPa), na área urbana com 1.85 (MPa), na área de pastagem com 2.5 (MPa), e por fim na agricultura com 2.21 (MPa).

Figura 20- Resistência a penetração (MPa)



Org.: Santos, 2016.

Considerando a resistência à penetração foi possível constatar que os menores valores ocorreram na classe Florestal, onde o solo apresentava menor densidade e maior percentual de poros; as maiores resistências à penetração foram encontradas na classe Cultivo e Pastagem, a qual podemos atribuir relação com o uso e ocupação da terra.

### 3.2.5 Exposição dos solos

A exposição do solo é um fator de extrema importância para a avaliação de variáveis como a compactação, a umidade e a infiltração, pois representa o percentual de solo que está exposto a efeitos pluvioerosivos. Em superfícies nas quais a exposição é maior por períodos prolongados de tempo, a compactação tende a ser elevada e a umidade baixa. Isso é um fator que interfere no processo de infiltração, pois, como explica Almeida et al. (2012), a exposição afeta diretamente a infiltração e a erodibilidade – quanto mais compacto o solo, menor a infiltração e, portanto, maior o escoamento superficial.

Dentre as classes avaliadas, a área de cultivo foi a que mais apresentou variação entre maior e menor percentual de exposição. Isso aconteceu devido às diversas características da etapa, como plantio, colheita e entressafra (Tabela 16).

Durante o ano, o agricultor desenvolve várias atividades agrícolas na área, como o plantio de trigo (de maio a julho), o plantio de soja (de setembro a dezembro) e do feijão (de janeiro a abril). Nos intervalos entre uma prática e outra, o solo fica exposto por um determinado espaço de tempo, principalmente quando é realizada a colheita da soja e a do feijão. Nesses períodos, o agricultor revolve a camada superficial do solo.

Os restos de colheita formam uma camada morta na superfície do solo “denominada *mulch*”, que pode se constituir de qualquer resíduo orgânico ou vegetal (esterco, fibras, vegetais, pasta de celulose, restos de madeira, etc.) que tenha se acumulado sobre o solo (VASQUES, 2014), que pode auxiliar na retenção da água e aumento da umidade do solo.

Tabela 16 – Exposição do solo

Meses	Exposição do solo (%)			
	Florestal	Cultura	Pastagem	Área Urbanizada
Jul.	25	55	5	15
Ago	15	30	5	15
Set	15	10	5	15
Out	15	44	5	15
Nov	15	23	5	15
Dez	20	20	5	15
Jan	20	13	5	15
Fev	20	3	5	15
Mar	20	0.0	5	15
Abr	20	100	5	15
Mai	20	30	5	15
Jun	20	53	5	15
Media	19	35	5	15

Org.: Santos, 2015.

Na área de cultivo ocorreu grande variação da exposição do solo que oscilou entre 3 e 100% ao longo do ano. Isso esteve relacionado ao calendário agrícola, pois nos meses de verão ocorreu o plantio de soja e, nos meses de inverno, o de trigo, que correspondem a uma baixa porcentagem de exposição do solo (a exemplo dos meses de fevereiro, com 3%, e março, com 0%). No entanto, nos períodos de entressafra e pós-colheita, essa exposição chegou a 100%, como no mês de abril, em que ocorreu o revolvimento da antiga plantação e o solo ficou exposto até a semeadura de trigo no mês de maio.

A exposição do solo na classe florestal apresentou pouca variação – de 15 a 20% –, pois a cobertura da floresta não teve modificação (como desmatamentos, queimadas) ao longo do ano de 2015. No entanto, a alteração ocorreu em meses que apresentaram maior variação na deposição de serapilheira. A serapilheira exerce inúmeras funções no equilíbrio e na dinâmica dos ecossistemas, compreendendo a camada mais superficial do solo em ambientes florestais (COSTA et al., 2010). Destacamos que não mensuramos a deposição de serapilheira, mas observamos em campo um aumento durante os meses de inverno e primavera (Tabela 16). Esses valores condizem com aqueles apresentados por Antoneli e Francisquini (2015), que



observaram maior produção de serapilheira entre agosto e outubro em uma Floresta Ombrofila Mista no Município de Irati-PR.

As classes “área urbanizada” e “pastagem” não apresentaram variação na exposição, pois são áreas de plantação de gramíneas. A área urbanizada permaneceu estável ao longo do ano, com valores de exposição de 15%, e a pastagem com valor de 5%. O resultado tende a não ser alterado em classes como essas até que ocorram modificações, como construções na área urbanizada ou revolvimento do solo na pastagem.

### 3.2.6 Umidade do solo

De modo geral, observamos que a menor porcentagem de umidade ocorreu na classe “área urbanizada”, com 26,5%, e maior na classe florestal, com 34,7% (Tabela 17). A umidade na área urbanizada dá ênfase às suas características – como, por exemplo, o fato de que o solo apresenta valores de exposição baixos, porém é coberto por construções, calçadas, poucas árvores e tem, em alguns locais, cobertura de gramínea. Essas características perturbam o solo, diminuindo seus nutrientes e possibilitando a baixa umidade. Os processos de urbanização e industrialização são indicadores de progresso e desenvolvimento, entretanto são apontados como causa de deterioração das áreas verdes no meio urbano e da qualidade de vida humana, animal e do solo (SILVA, 2012).

Tabela 17 – Umidade do solo

Meses	Umidade na superfície do solo (%)				Chuva (mm)
	Floresta	Agricultura	Pastagem	Urbano	
Jul.	33.0	27.8	30.4	23.0	37.9
Ago	35.0	32.5	23.0	27.8	42.2
Set	37.5	24.1	27.0	31.5	260.2
Out	39.5	25.4	27.0	26.0	86.4
Nov	32.8	26.7	25.0	27.0	115.5
Dez	38.0	31.4	30.0	32.0	212.9
Jan	33.8	33.0	32.0	23.0	184.6
Fev	35.8	36.3	36.0	28.0	246
Mar	41.0	29.9	28.0	25.0	107.2
Abr	32.0	32.0	25.0	27.3	84.7
Mai	31.3	31.3	27.0	26.5	173.3
Jun	27.3	27.3	23.0	21.5	158
Media	34.7	29.8	27.8	26.5	--

Org.: Santos, 2016.

O comportamento da umidade destaca a importância da cobertura do solo. Como exemplo, temos a classe florestal, que apresentou umidade superior devido às características de seu solo, capaz de incorporar uma gama de nutrientes que fortalecem sua estrutura e elevam sua umidade. A superfície florestal é um habitat que oferece ambiente propício ao desenvolvimento microbiano, e a participação da biota do solo no funcionamento e sustentabilidade dos ecossistemas é vastamente reconhecida (MASON, 1980).

A umidade na classe florestal não apresentou grande variação durante a maioria dos meses. No entanto, no mês de março de 2015 houve a maior umidade (41%) e no mês de junho, a menor (27,3%). Esses dados podem estar associados a valores de precipitação dos dois meses antecedentes (fevereiro, com 246 mm, e março, com 107,2 mm). As granulometrias do solo da área de floresta indicaram elevados teores de argila, fato que possibilita a retenção de umidade no solo, além da cobertura de serapilheira, que pode segurar a umidade no solo elevando, em alguns casos, seus teores.

A dinâmica hídrica em uma área florestada possibilita o aumento na umidade do solo. Algumas variáveis atuam no processo de retenção de água, como, por exemplo, o atravessamento da chuva pela vegetação possibilita que a água chegue ao solo de forma mais lenta. Na superfície, a serapilheira tende a armazenar parte da água pluvial, além de protegê-lo de perdas de água e solo. Observamos que o mês de julho apresentou a menor umidade (33%), o que pode estar relacionado com a menor precipitação (37,9 mm).

A umidade na classe “cultura” variou de 24,1% no mês de setembro de 2014 a 36,3% no mês de fevereiro de 2015, com os valores de precipitação de 260,2 mm em setembro e 246 mm em fevereiro. Portanto, a umidade em setembro não apresentou relação com a precipitação e exposição do solo. A maior umidade observada (em fevereiro) pode estar relacionada com a menor exposição do solo.

A umidade registrada na classe “pastagem” apresentou o menor resultado nos meses de agosto e junho, ambos com 23%. A umidade mais alta foi registrada no mês de fevereiro de 2015, no valor de 36%. A umidade na pastagem pode estar relacionada à intensificação do pastoreio e com à variação na compactação.

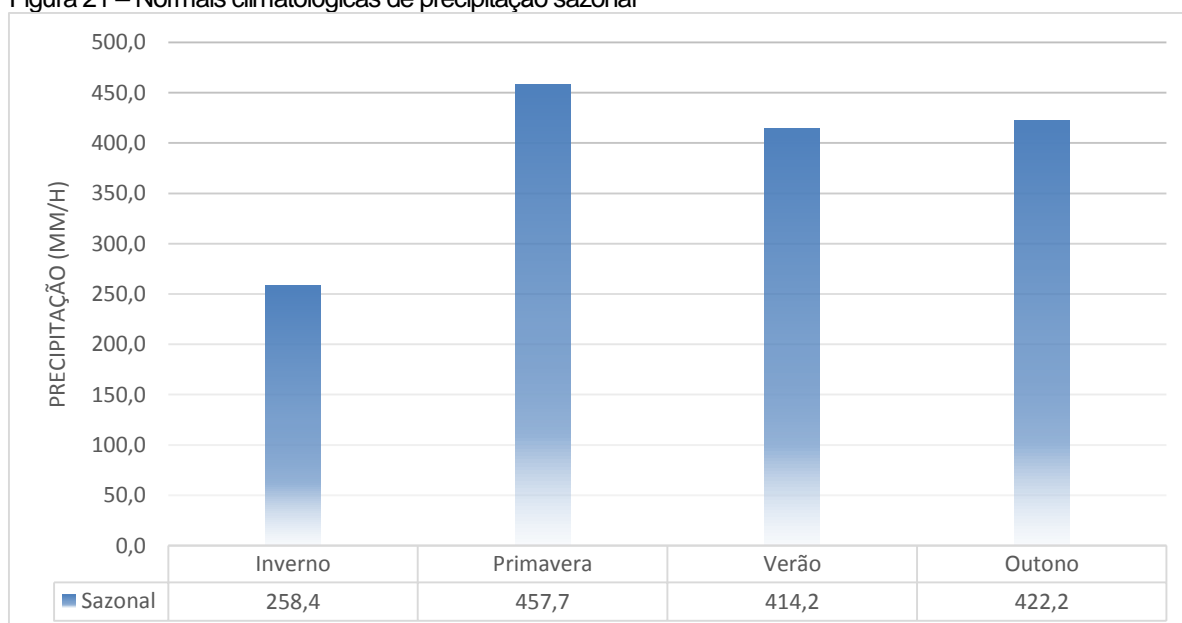
A umidade do espaço urbano foi a menor de todas as classes. O mês de junho indicou menor valor (21%) e o maior valor, de 32%, foi registrado em dezembro.

Esses dados podem estar relacionados à precipitação, pois ela agrega umidade ao solo.

### 3.2.7 Precipitação

O comportamento sazonal da precipitação, representada pelas normais climatológicas expressas na Figura 21, apresenta maior valor na primavera, depois no outono e no verão, respectivamente, e os menores valores no inverno.

Figura 21 – Normais climatológicas de precipitação sazonal

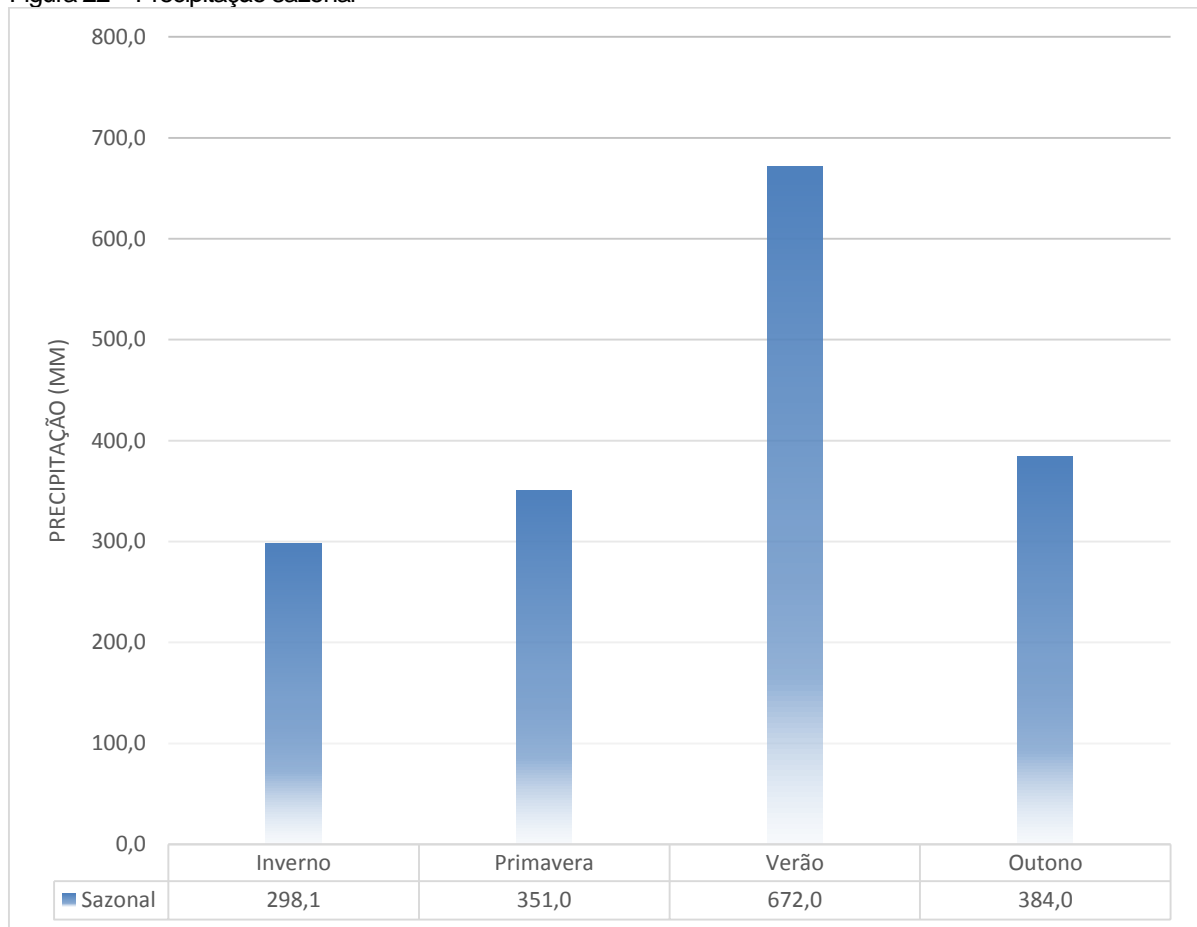


Fonte: INMET, 2016.

Org.: Santos, 2016.

A precipitação mensal (Figura 22) ocorreu em grande parte no verão. O segundo maior valor aconteceu no outono e depois na primavera, enquanto os menores números foram registrados no inverno. Em se tratando das características climáticas, a área de pesquisa apresenta um clima Cfb- Clima temperado, com verão ameno. Essa classificação climática possui característica subtropical úmida, com temperaturas médias anuais entre 17° e 19°C, sendo a temperatura do mês mais quente inferior a 23°C e a do mês mais frio superior a -3°C, apresentando de 5 a 10 geadas no ano (MAACK, 1968).

Figura 22 – Precipitação sazonal



Fonte: INMET, 2016.

Org.: Santos, 2016.

A precipitação pode influenciar os processos de infiltração, uma vez que, quando o solo está saturado, esse processo é menor. Nesse sentido, compreender o seu comportamento é fundamental.

### 3.3 INFILTRAÇÃO DO SOLO

De modo geral, considerando as médias de infiltração em todas as classes, foi possível perceber que a taxa de infiltração na classe florestal foi superior às das demais classes. Isso se justifica pelo uso e pela ocupação da terra, pelas características do solo, pela variação de períodos com e sem vegetação (solo exposto) e pelas estações do ano.

Atribuimos esse resultado também às características existentes no solo da floresta, tendo, como exemplo, a textura do solo, sua resistência, sua densidade, sua porosidade e sua umidade. Além disso, tem-se o aporte de nutrientes, que é consequência do depósito diário de serapilheira, e a conservação das partículas do

solo, em decorrência do amortecimento que as árvores têm em relação ao gotejo da chuva sobre o solo da floresta. A serapilheira favorece a ciclagem e o equilíbrio do ecossistema florestal e desempenha um importante e significativo papel desenvolvido pelas matas ciliares na ciclagem de nutrientes (VITAL et al, 2004).

No decorrer de uma hora de observação, podemos destacar que, na classe florestal, houve, nos primeiros vinte minutos, a maior infiltração de todos os meses de coleta. Em geral, quanto menor a umidade antecedente do solo, maior sua capacidade de infiltração. A taxa de infiltração máxima na classe florestal ocorreu nos meses de junho de 2014 (38.8 mm/h) e junho de 2015 (41.3 mm/h); já os menores valores foram registrados em agosto de 2014 (25.5 mm/h) e janeiro de 2015 (25.2 mm/h) (Tabela 18). À luz da literatura teórica na área estudada, é possível encontrar uma série de pesquisas que comprovam os fatores acima, relacionados à maior capacidade de infiltração.

A proteção das árvores também é de grande relevância para o solo, pois as gotas de chuva não o atingem diretamente/intensamente. Isso porque a chuva cai intensamente da mesma forma, mas a proteção faz com que elas não atinjam o solo com força, evitando o efeito *splash*. As florestas protegem o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e presença dos húmus, produzido pelas plantas e pelos animais, proporciona maior estabilidade dos agregados, preservando as propriedades (GUERRA e MENDONÇA, 2007).

A serapilheira desempenha papel fundamental, ao trazer a reciclagem dos nutrientes, enriquecendo o solo e favorecendo conseqüentemente a infiltração, que ajuda na preservação das propriedades físicas do solo. Ressaltamos que, em geral, um maior conteúdo de matéria orgânica resulta na maior umidade do solo e, como a produção de matéria orgânica se associa à preservação do solo em regiões semiáridas, a adoção de sistemas capazes de manter mais água disponível para as plantas é importante para evitar problemas na sucessão de áreas manejadas e na manutenção e recuperação de vegetação preservada (MENDONÇA et al., 2004).

Tabela 18 – Taxa de infiltração na classe florestal

Tempo (min)	Infiltração (mm/h)												Média
	Ano de 2014						Ano de 2015						
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	
5	7,5	7,7	9,3	9,5	6,1	6,6	6,1	6,3	8,3	7,0	6,5	9,4	7,5
10	5,0	3,9	5,8	7,0	4,6	4,4	3,8	4,4	6,3	5,5	4,5	7,3	5,2
15	4,2	2,8	3,4	4,9	3,5	3,4	3,1	3,5	3,8	4,8	3,9	5,3	3,8
20	3,7	1,8	2,3	3,3	3,0	2,8	2,7	2,9	3,5	3,1	3,4	4,0	3,0
25	3,2	1,9	2,1	2,7	2,5	2,2	2,0	2,3	3,0	2,8	3,2	3,3	2,6
30	2,7	2,1	1,7	2,2	2,0	2,0	1,8	1,9	2,4	2,5	2,6	2,5	2,2
35	2,6	0,8	1,7	1,8	1,4	1,3	1,6	1,6	2,0	2,1	2,2	2,1	1,8
40	2,4	1,4	1,7	0,9	1,0	0,8	1,2	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	1,5
45	2,3	0,8	1,7	0,8	0,6	1,1	0,9	1,3	1,3	1,7	1,7	1,6	1,3
	2,0	0,8	1,5	0,4	0,6	0,9	0,8	1,3	1,2	1,7	1,3	1,5	1,1
55	1,8	0,8	1,0	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,6	1,2	1,5	1,0
60	1,8	0,8	1,0	0,4	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,2	1,1	1,0	0,9
Total	38,8	25,5	32,7	34,0	25,9	26,6	25,3	28,4	35,1	35,4	33,3	41,3	----
Chuva	37,9	42,2	260,2	86,4	115,5	212,9	184,6	246,0	107,2	84,7	173,3	158,0	----

Org.: Santos, 2015.

Em uma pesquisa realizada no setor oriental da Chapada do Araripe, no Ceará, com solos do tipo Vermelho-amarelo de textura argilosa, os autores verificaram que quanto maior o conteúdo de matéria orgânica, maior a capacidade de infiltração. As maiores capacidades de infiltração foram observadas nas áreas de floresta úmida, que mostraram maior conteúdo de matéria orgânica com taxa de infiltração inicial de 695 mm e taxa final de 360 mm. As menores foram observadas nas áreas urbanizadas que apresentaram menor conteúdo de matéria orgânica, com taxa de infiltração inicial de 170 mm e taxa final de 130 mm (MENDONÇA et al., 2009). Para Muschler (1999), a presença de árvores aumenta o aporte de matéria orgânica dos solos, conservando a umidade, aumentando a capacidade de absorção e infiltração de água, reduzindo o risco de erosão e estimulando a atividade biológica.

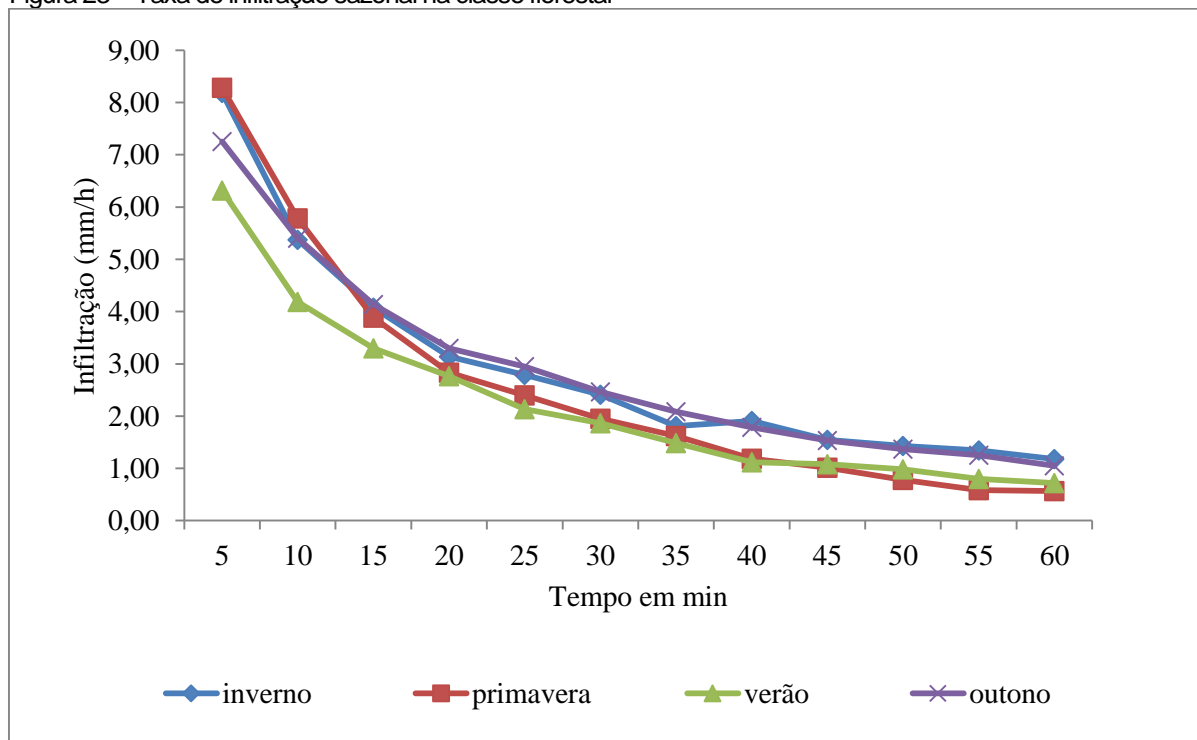
Em uma pesquisa realizada na bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, no Estado do Rio Grande do Sul, sobre Argissolos vermelho-amarelos ou alumínicos em três pontos de uma floresta nativa, os autores observaram que, no Ponto 1, a taxa de infiltração obteve uma média de 0,302 mm/min e sofreu altas e baixas até o trigésimo terceiro minuto, tornando-se então constante; no Ponto 2, a taxa de infiltração teve uma média de 0,191 mm/min e, no início da análise, a infiltração era alta, mas foi

diminuindo gradativamente com o decorrer do tempo e apenas no trigésimo terceiro minuto passou a ser constante. Finalmente, no Ponto 3, houve alta taxa de infiltração no início com média de 0,050 mm/min e, a partir do décimo oitavo minuto, a infiltração no solo passou a ser constante (KEMERICH et al., 2014).

Os valores acima mencionados são bem inferiores aos encontrados na presente pesquisa. Porém, o valor de resistência à penetração da área de estudo dos autores também estava elevado (3.556 kPa), o que influenciou na baixa infiltração.

A taxa de infiltração sazonal na área de floresta apresentou valores semelhantes nos primeiros 15 minutos durante o inverno e a primavera, sendo que a maior infiltração ocorreu nos primeiros 20 minutos em todas as classes, sendo superior a 3 mm (Figura 23). No verão e no outono, os valores iniciais de infiltração foram menores – isso porque todas as classes apresentaram taxas de infiltração iniciais parecidas, pois a umidade do solo apresentou valores respectivamente baixos, favorecendo uma situação de decréscimo em todas as estações. Outro fator que contribuiu para a sazonalidade da infiltração foi a precipitação, já que a primavera e o inverno foram os meses que tiveram maior taxa de infiltração, tanto iniciais como totais, em meses em que o valor precipitado foi menor.

Figura 23 – Taxa de infiltração sazonal na classe florestal



Org.: Santos, 2016.

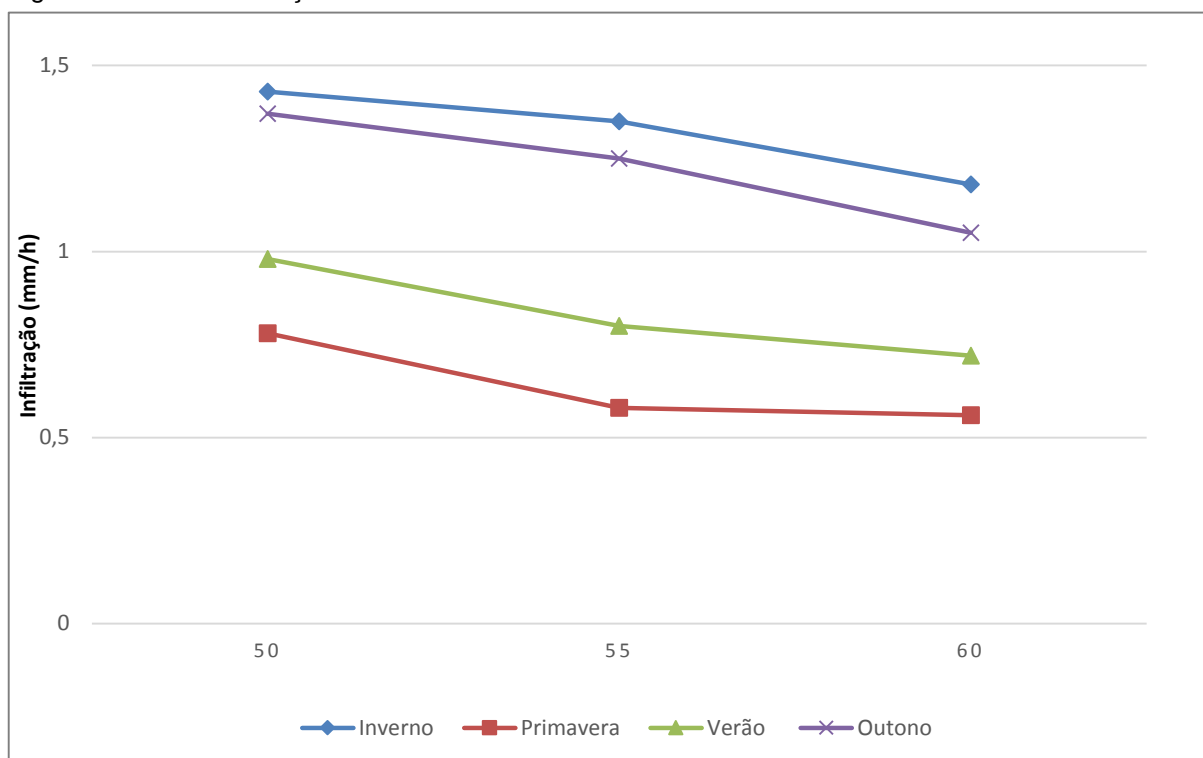
Com relação à taxa de infiltração final da área de floresta (Figura 24), ressaltamos que ela não foi constante, pois uma hora de experimento não foi o suficiente para se estabilizar. Nesse caso, uma hora não foi o bastante para obter a taxa de infiltração básica por conta da dinâmica da floresta, que conta com maior umidade, maior porosidade, menor resistência e menor densidade. “Dados de TIB são imprescindíveis nos modelos utilizados para a descrição da infiltração de água no solo e dependem do selamento superficial provocado pelo impacto das gotas de chuva na superfície do solo”. (OBRINO et al., 2003, p. 191).

A umidade da classe florestal variou de 27,3 a 41%, sendo relativamente alta em relação às demais classes, que tiveram valores muito inferiores. Os valores de porosidade também foram elevados, tendo uma média de 60,2%. Isso facilita a passagem de água no solo, possibilitando que se infiltre mais e por um tempo maior. A densidade foi menor que as demais classes (0,99 a 1,07 g/cm<sup>3</sup>) e a resistência à penetração também apresentou valores baixos, tendo variação média de 0,72 a 0,96 MPa e sendo 3 vezes menor que a pastagem em alguns casos, o que justifica o fato de ela não ter chegado em sua taxa básica em apenas 60 minutos.

Em um experimento conduzido na Universidade Federal do Acre (UFAC, Campus Floresta, Cruzeiro do Sul), em uma floresta nativa sobre solo Argissolo Amarelo, a capacidade do solo de infiltrar também não chegou à taxa constante de infiltração e os autores relacionaram isso à baixa densidade. Foram encontrados valores de 1,06 cm nas profundidades, de 0 a 5 cm; 1,20 cm nas profundidades de 5 a 10 cm; e 1,2cm nas profundidades de 10 a 15 cm, com uma porosidade do solo de 45%. Os autores concluíram que a maior presença de poros na floresta nativa favoreceu a maior taxa de infiltração de água no solo (79,46 cm/ h).



Figura 24 – Taxa de infiltração constante na classe florestal



Org.: Santos, 2016.

As áreas de cultivo adotam como sistema de manejo a técnica de plantio direto, a qual não agride em excesso o solo após a colheita, pois não se costuma arar a terra e são deixados os restos da antiga plantação proveniente da safra anterior, conservando o solo e preservando-o para as próximas semeaduras. Essa forma de manejo na bacia Rio Bonito, Irati-PR influenciou uma maior taxa de infiltração, pois os valores encontrados ficaram muito próximos até da classe florestal, que possui características muito mais preservadas.

Nos estudos de Alves Sobrinho et al. (2003), a taxa de infiltração inicial dos primeiros minutos coletados foi de 147,26; 249,71; e 344,51 mm/h (plantio direto) e 452,60 mm/h (plantio convencional). As taxas de infiltração final foram de 131,51; 245,10; 322,63 mm/h (plantio direto) e 414,50 mm/h (plantio convencional). Os autores constataram que o sistema de plantio direto apresentou valores de taxa de infiltração final de água no solo superiores ao de preparo convencional e, entre os tratamentos estudados, a sucessão soja/aveia apresentou maiores valores de taxa de infiltração básica.

Em uma pesquisa realizada no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, situado no município de Passo Fundo – RS, os autores constataram que o sistema de plantio direto com trigo/soja, ervilhaca/milho e

aveia-branca/soja, após forrageiras perenes de estação quente, apresentou o menor valor de densidade do solo e de microporosidade, maior valor de macroporosidade e ainda maior variação de densidade do solo da camada de 0 a 2 cm para a camada de 10 a 15 cm para esses atributos. Os valores desse sistema de produção se mantiveram relativamente próximos dos valores obtidos na floresta subtropical, porém, nessa avaliação, a floresta subtropical não foi comparada estatisticamente por não haver repetição na amostragem (SPERA. et al., 2009).

Na presente pesquisa, os maiores valores da taxa de infiltração registrados foram em julho, setembro e janeiro, indicando uma relação com o calendário agrícola (Tabela 19). No mês de julho, a recém semeadura do trigo e o revolvimento da camada superficial do solo podem ter influenciado nos valores de infiltração. No mês de setembro, o solo estava coberto com trigo e a umidade do solo era baixa (27%), o que pode ter influenciado na infiltração. No mês de janeiro, o solo estava com o plantio de soja em estágio inicial, apresentava visível revolvimento nas primeiras camadas próximas à cova de plantio e tinha um baixo valor de umidade (27,8%).

A taxa de infiltração de água no solo pode apresentar variação em períodos do ano devido à mudança de estação e à mudanças no tempo (precipitação ou seca). Nesse sentido, agrupar em estações as medidas de infiltração, pois aumenta a possibilidade de compreendê-la.

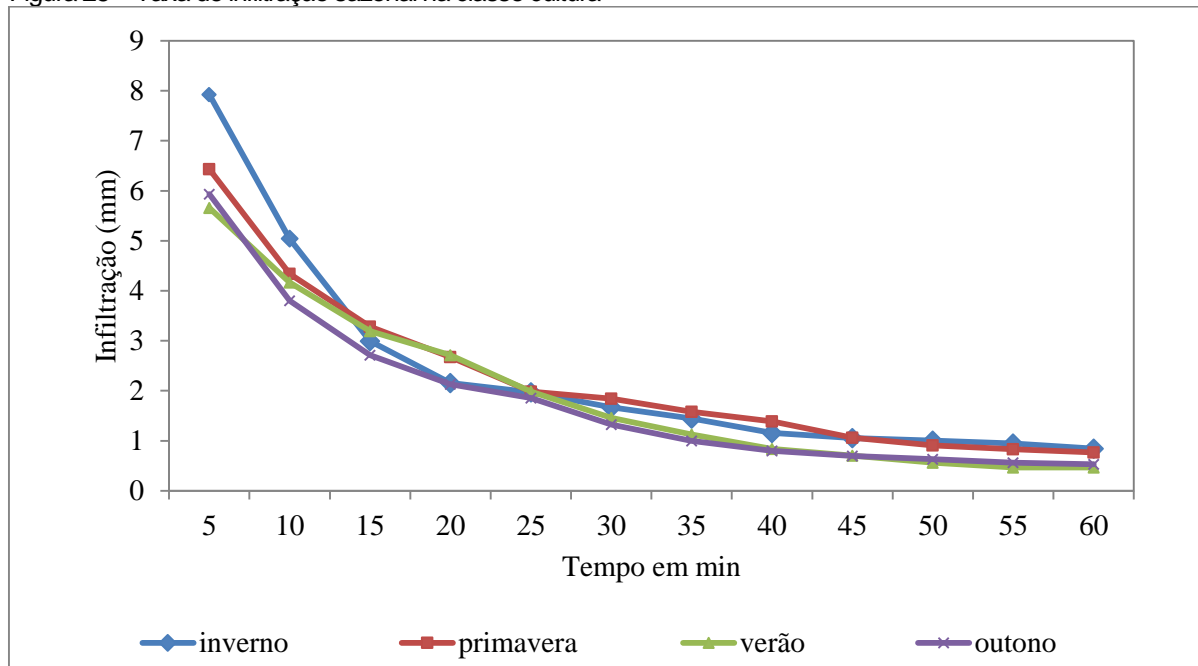
Tabela 19 – Taxa de infiltração na classe cultura

Tempo (min)	Infiltração (mm/h)												Média
	Ano de 2014						Ano de 2015						
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	
5	8,2	7,2	8,6	5,3	5,4	4,9	7,4	4,7	6,9	5,8	5,1	8,4	6,5
10	4,3	5,4	5,4	3,9	3,7	3,8	5,2	3,5	3,8	3,4	4,2	5,4	4,3
15	2,3	2,6	3,8	3,3	2,8	2,7	4,1	2,8	2,4	2,0	3,7	4,1	3,0
20	2,0	2,1	3,4	2,6	2,1	2,1	3,8	2,2	2,1	1,8	2,5	2,4	2,4
25	1,8	2,0	2,1	1,9	2,0	1,6	2,7	1,7	2,0	1,5	2,1	2,1	1,9
30	1,8	1,4	2,0	1,8	1,7	1,2	2,1	1,1	1,2	1,4	1,4	1,8	1,6
35	1,5	1,2	1,8	1,7	1,3	1,0	1,4	1,0	0,8	1,0	1,2	1,6	1,3
40	1,4	0,8	1,7	1,5	1,0	0,5	1,1	0,9	0,4	0,9	1,1	1,3	1,0
45	1,1	0,8	1,7	0,8	0,7	0,5	0,8	0,8	0,4	0,8	0,9	1,3	0,9
50	1,0	0,7	1,5	0,6	0,6	0,4	0,7	0,6	0,4	0,7	0,8	1,3	0,8
55	0,9	0,7	1,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,8	1,2	0,7
60	0,9	0,7	1,2	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,8	0,9	0,7
Total	27	26	35	24	22	19	30	20	21	20	25	32	27
Chuva	37,9	42	260	86	116	213	185	246	107	85	173	158	37,9

Org.: Santos, 2016.

Na classe cultura (Figura 25), em geral a taxa de infiltração nas quatro estações apresentou pouca variação. No entanto, a estação que teve os maiores valores iniciais de infiltração foi o inverno, que apresentava a cobertura do solo com plantio de trigo, registros de precipitação de 37,9 mm (julho e agosto de 2014) e menores valores de resistência 1.96 (MPa). A segunda maior taxa de infiltração inicial sazonal ocorreu na primavera, que apresentava a cobertura do solo de soja, estação durante a qual se observou a segunda menor resistência do solo.

Figura 25 – Taxa de infiltração sazonal na classe cultura



Org.: Santos, 2016.

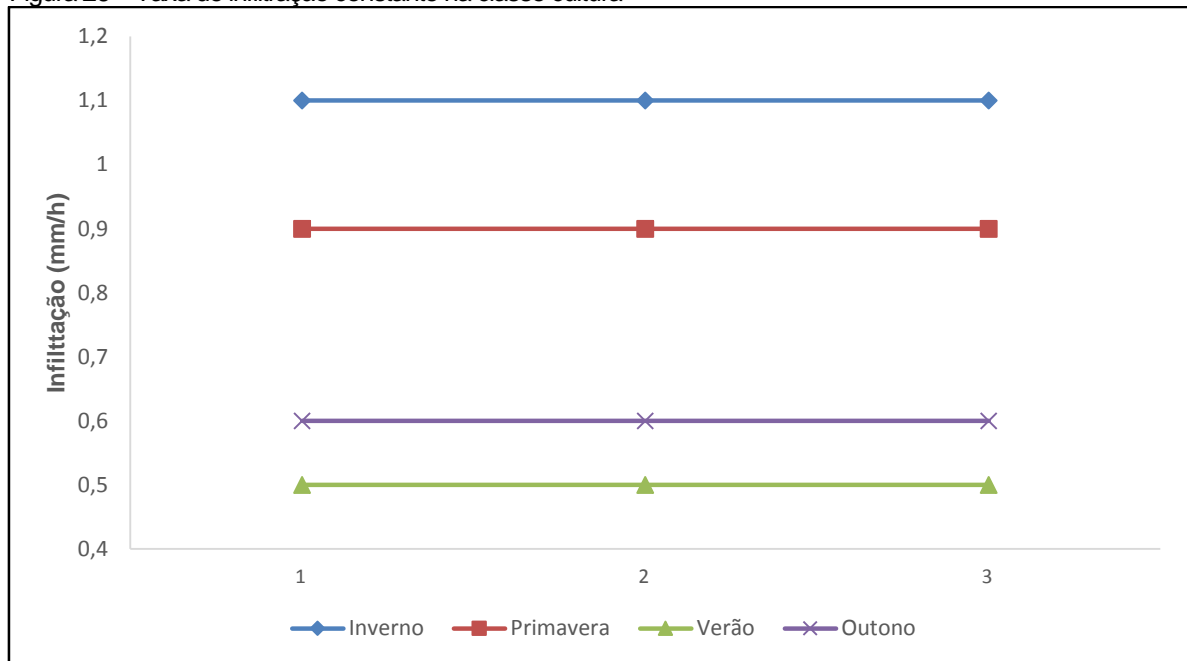
De forma geral, nos primeiros minutos da infiltração, os solos absorvem mais água devido à sua menor umidade inicial. Parte da água no interior do solo se propaga para as camadas mais profundas, porém a sua intensidade é definida pela compactação, pelas características físicas do solo e pela precipitação específica de cada classe de uso. Após alguns minutos de coleta, a taxa de infiltração tende a diminuir e se estabilizar. Segundo Brandão (2004) a taxa de entrada de água no solo decresce com o tempo em função do umedecimento do perfil, assumindo um valor mínimo constante, denominado de velocidade de infiltração básica ou infiltração constante.

No inverno e na primavera, a taxa de infiltração indicou padrão diferente do verão e do outono para a classe cultivo (Figura 26). Esse valor pode estar relacionado no inverno e na primavera com os valores de compactação, pois foram as estações

que apresentaram menores valores de resistência do solo, com 1,96 (MPa) em junho e 2,06 (MPa) em setembro. Os valores obtidos em setembro também podem estar respectivamente ligados a esse resultado, pois os maiores valores de resistência do solo foram observados quando as taxas de infiltração estavam baixas.

A Figura 26 demonstra que a taxa de infiltração constante teve valores similares entre o inverno e a primavera, com maior infiltração (menor precipitação), e o verão e o outono com menor taxa de infiltração (maior precipitação). A maior taxa de infiltração foi registrada no inverno (período mais frio), quando o solo da agricultura estava sob o cultivo de trigo. Já a menor taxa foi registrada do verão.

Figura 26 – Taxa de infiltração constante na classe cultura



Org.: Santos, 2015.

A taxa de infiltração na classe área urbanizada (Tabela 20) apresentou valores mais elevados nos 10 primeiros minutos, diferentemente da classe cultura, por exemplo. Isso acontece pelas características presentes nessa classe, como o adensamento populacional e a presença de casas, estradas e asfalto, que reduzem a infiltração de água no solo.

A maior taxa de infiltração nessa classe foi em julho (16,3 mm/h), mês em que a umidade do solo esteve baixa (23%), a precipitação baixa (37,9 mm) e houve menor resistência do solo (1,79 a 1,96 MPa). Isso contribuiu para a maior taxa de infiltração no período, pois o conjunto desses fatores são fundamentais para uma maior taxa de infiltração, uma vez que, quando o solo, está seco e com baixa umidade, a tendência

é absorver maior quantidade de água – ainda mais quando a resistência à penetração encontra-se baixa.

Nos primeiros 5 minutos houve maior variação entre os meses, variando de 5,48 mm/h no mês de julho (maior valor) a 0,59 mm/h no mês de fevereiro (menor valor).

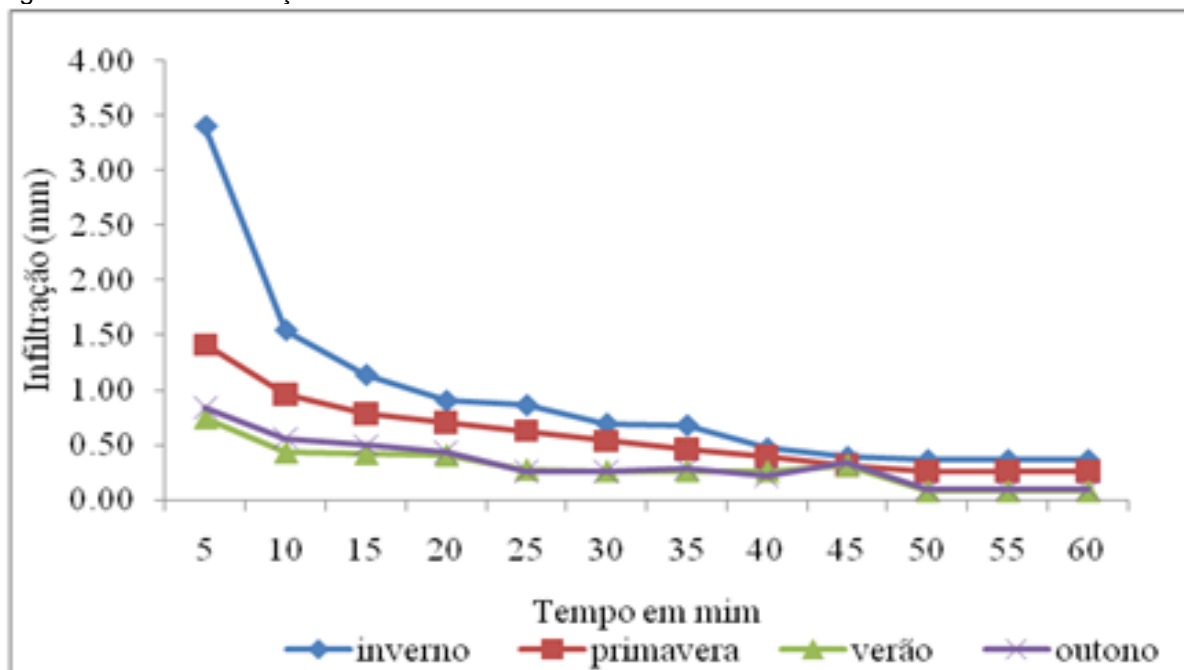
Tabela 20 – Taxa de infiltração na classe área urbanizada

Tempo (min)	Infiltração (mm/h)												
	Ano de 2014						Ano de 2015						Média
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	
5	5,5	2,4	1,4	1,9	1,0	1,0	0,7	0,6	0,8	1,1	0,6	2,4	1,6
10	1,5	1,6	0,7	1,5	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,9	0,4	1,6	0,9
15	1,3	1,0	0,5	1,2	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,7	0,4	1,2	0,7
20	1,1	0,6	0,4	1,1	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	1,0	0,6
25	1,1	0,5	0,4	1,0	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,9	0,5
30	0,9	0,4	0,4	0,9	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,8	0,4
35	0,8	0,5	0,3	0,8	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,8	0,4
40	0,5	0,3	0,3	0,7	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,3
45	0,4	0,3	0,3	0,5	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,5	0,3
50	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2
55	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2
60	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2
Total	16	26	9	17	16	11	15	15	13	14	14	16	15
Chuva	38	42	260	86	116	213	185	246	107	85	173	158	142

Org.: Santos, 2016.

A taxa de infiltração mensal na área urbana (Figura 27) foi maior no inverno, em relação aos valores de precipitação que também apresentaram números baixos nesse período. A resistência do solo apresentou valor de 1,85 MPa, sendo este o valor mais baixo dentre todas as estações. Esses resultados influenciam na taxa de infiltração, principalmente nos primeiros minutos de coleta. A segunda maior taxa de infiltração se deu na primavera. Os menores valores de infiltração ocorreram no outono e verão, estações que têm os maiores índices de precipitação.

Figura 27 – Taxa de infiltração sazonal na classe área urbanizada



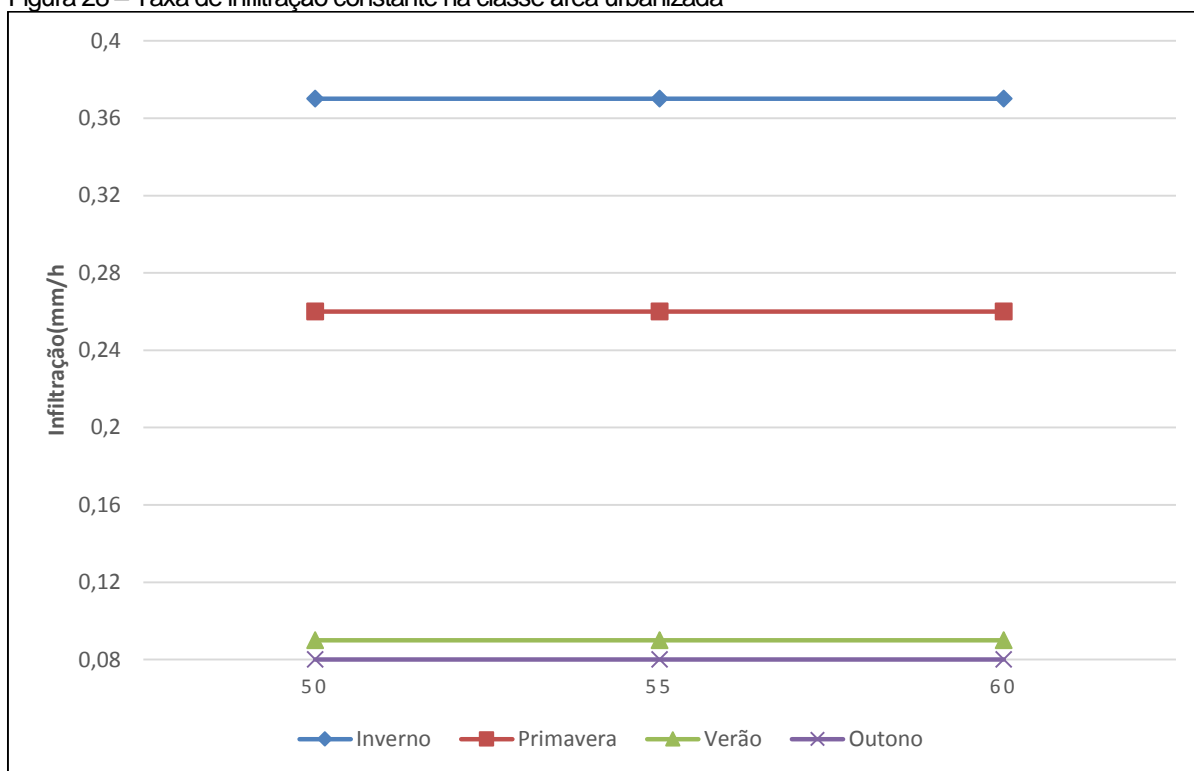
Org.: Santos, 2016.

A taxa de infiltração sazonal para o espaço urbano foi maior no inverno, principalmente nos primeiros 5 minutos de coleta (aumento de 125%). Esses valores podem estar relacionados com os elevados níveis de precipitação nesse período. As taxas de infiltração no verão e no outono se estabilizaram nos últimos 15 minutos (Figura 28).

Em uma pesquisa realizada na bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, no estado do Rio Grande do Sul, sobre Argissolos Vermelho-amarelos ou alumínicos, Kemerich et al. (2014) encontraram valores da taxa de infiltração com uma média de 0,302 mm/min. Ela sofreu altas e baixas até o trigésimo terceiro minuto, depois se tornando depois constante (KEMERICH et al., 2014). Os autores associam este valor às características do solo, que tem grande quantidade de arenito, e por serem solos muito profundos, nos quais a água se infiltra com maior facilidade. Esses valores são muito superiores aos encontrados na presente pesquisa.

Em um estudo na cidade de Frederico Westphalen, ao analisarem a variabilidade das taxas de infiltração, Baum et al. (2014) observaram que houve uma variação de 0,9 a 20 mm/h. Esses resultados foram muito próximos dos valores encontrados na presente pesquisa, podendo estar associados às características do local, que tem adensamento populacional e está sobre solos muito rasos.

Figura 28 – Taxa de infiltração constante na classe área urbanizada



Org.: Santos, 2016.

No verão e no outono, a taxa final de infiltração não apresentou variações, ou seja, a infiltração seguiu o mesmo padrão – fato que se repetiu também para o inverno e a primavera.

A taxa de infiltração na classe pastagem foi inferior à todas as classes, não apresentando maiores valores nem nas primeiras coletas de infiltração, o que pode estar relacionado às condições do solo e às características que essa classe apresenta em seu uso e em sua ocupação da terra. A média da taxa de infiltração na classe pastagem foi de 1,2 cm nos primeiros minutos de coleta e 0,2 mm/h quando a infiltração atinge sua taxa constante. O pisoteio dos animais, por exemplo, contribui para a compactação do solo, o que reflete diretamente na redução da infiltração. Schneider et al. (1981) observaram que a compactação ocorrida na pastagem se refletiu também na infiltração de água, que em todas as parcelas experimentais diminuiu acentuadamente com a continuidade do pastejo.

As maiores taxas de infiltrações ocorreram nos meses de agosto de 2014, (9,07 mm/h) e em junho de 2015 (8,48 mm/h). Isso pode estar relacionado à baixa umidade do solo nos períodos e à baixa precipitação na maioria dos meses de coleta (Tabela 20). Os menores valores de infiltração foram em abril e maio (2,75 mm/h e 2,32 mm/h), respectivamente.

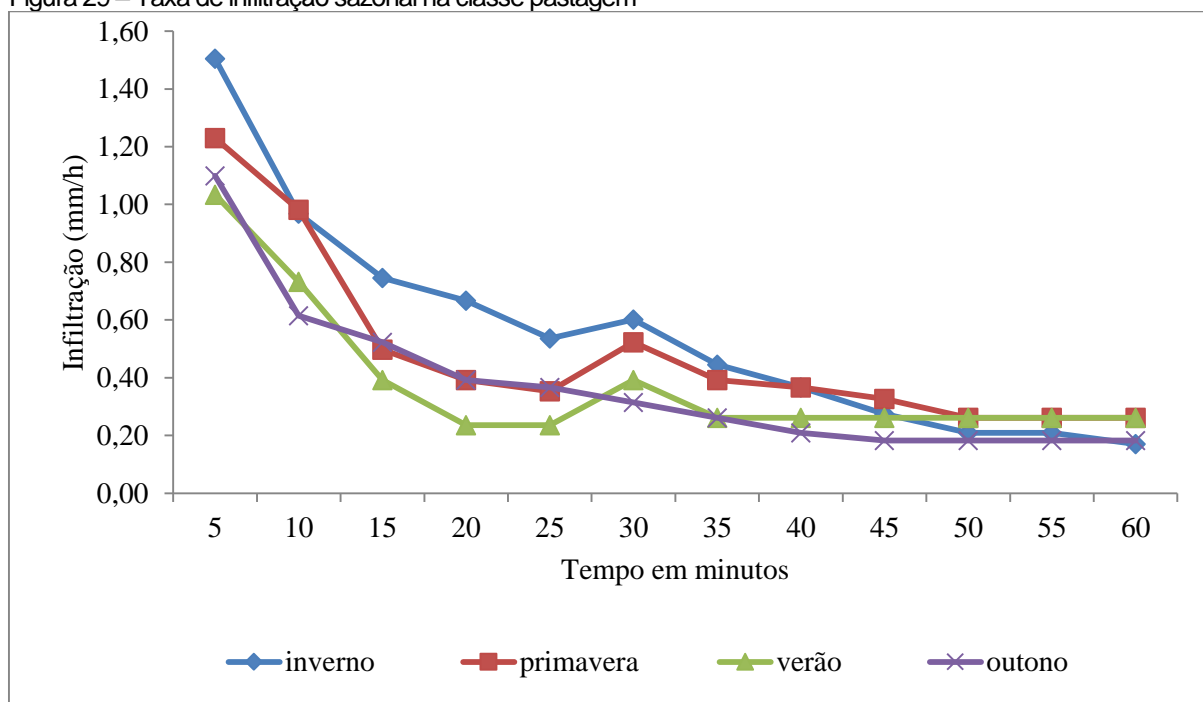
Tabela 21 – Taxa de infiltração na classe pastagem

Tempo (min)	Infiltração (mm/h)												Média
	Jul.	Ago.	Set	Out	Nov.	Dez	Jan	Fev.	Mar	Abr.	Mai	Jun.	
5	1,4	2,2	1,0	1,8	1,0	0,9	1,1	1,1	0,9	1,1	0,6	1,5	1,2
10	1,0	1,3	0,6	1,4	0,8	0,8	0,8	0,6	0,7	0,3	0,4	1,2	0,8
15	0,9	0,8	0,6	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	1,0	0,5
20	0,9	0,7	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,4
25	0,6	0,7	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,4
30	0,5	1,1	0,2	0,5	0,4	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,4
35	0,5	0,7	0,2	0,6	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,6	0,3
40	0,3	0,7	0,1	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	0,3
45	0,3	0,4	0,1	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2
50	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2
55	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2
60	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2
Total	7,1	9,1	3,9	8,0	4,4	5,1	4,4	4,3	3,7	2,8	2,3	8,5	-----
Chuva	37,9	42,2	260,2	86,4	115,5	212,9	184,6	246,0	107,2	84,7	173,3	158,0	-----

Org.: Santos, 2016.

A taxa de infiltração mensal na pastagem (Figura 29) apresentou os maiores valores de infiltração nos primeiros 5 minutos, no inverno e na primavera. Entretanto, até os 30 primeiros minutos de infiltração houve variação entre as coletas. Após esse tempo, a infiltração seguiu o mesmo padrão.

Figura 29 – Taxa de infiltração sazonal na classe pastagem

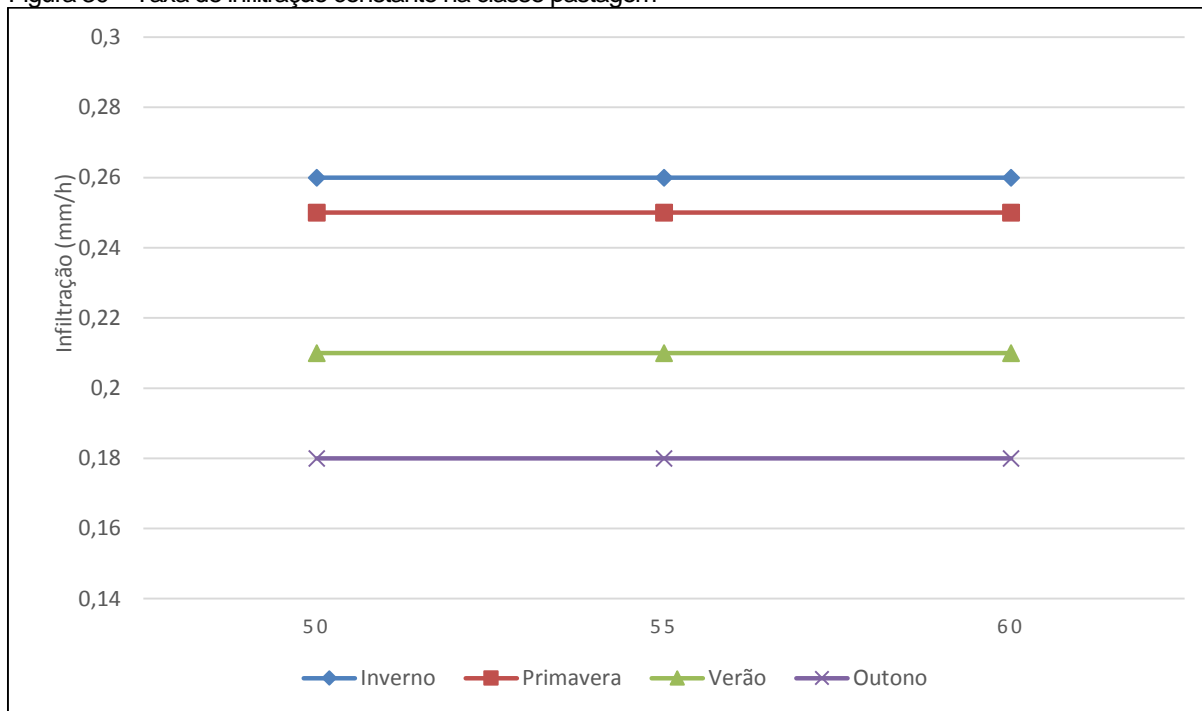


Org.: Santos, 2016.



Quanto aos valores da taxa de infiltração constante, todos se estabilizaram nos últimos 15 minutos de coleta. No inverno e na primavera, os valores constantes foram maiores do que no verão e no outono (Figura 30).

Figura 30 – Taxa de infiltração constante na classe pastagem



Org.: Santos, 2016.

Estes números podem estar associados aos valores precipitados nestes períodos, pois justamente o inverno e a primavera tiveram valores menores de precipitação do que o verão e o outono.

### 3.4 INTEGRAÇÃO DOS DADOS

O uso e a ocupação da terra são dois dos pontos que mais influenciaram na infiltração. Esse fato se expressa pela diferença que alguns usos apresentaram: por exemplo, a classe florestal, que está sobre Franco Argilo Siltosa, com teores elevados de silte e argila em sua composição, apresentou pouca interferência antrópica e registrou a maior taxa de infiltração total. A existência de árvores acrescenta uma contribuição de matéria orgânica nos solos, preservando a umidade, elevando a capacidade de infiltração de água, diminuindo o risco de erosão e estimulando a atividade biológica no solo (MUSCHLER, 2000; BARBERA-CASTILLO, 2001).

Outra classe em destaque é a de cultivo, que se apresenta sobre Cambissolo de textura Argilo Siltosa, e obteve valores elevados de infiltração mesmo com

condições de compactação elevadas. Isso ocorre pela facilidade de absorção da água nessa classe, fato associado à atividade agrícola no solo mesmo em sistema de plantio direto, pois o uso de maquinário não é totalmente nulo e, em períodos de colheita e semeadura, parte do solo ficava revolvido, elevando as taxas de infiltração.

Outros fatores como a umidade desta área, podem ter favorecido a infiltração. Em um estudo realizado no campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-UFMG, em Dourados – MS, em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999), de textura muito argilosa, o sistema de plantio direto apresentou valores de taxa de infiltração final superiores ao preparo convencional e, entre os tratamentos estudados, a sucessão soja/aveia foi a que proporcionou maior valor de Taxa de Infiltração Básica (TIB) (SOBRINHO et al., 2003).

A representação da taxa de infiltração e de seu comportamento sazonal, ao longo do ano de coleta, merece destaque para os 5 minutos iniciais na classe florestal, que registraram valores maiores e decresceram a partir de 20 minutos de coleta. Esse valor se estabiliza em até 45 minutos em todas as classes.

A taxa de infiltração no espaço urbano foi menor. Isso se deve à compactação do solo, em decorrência da atenuada urbanização, e às características de textura do solo, muito argiloso e franco argilo siltoso. Essas características ocasionaram na menor infiltração, devido até mesmo à dificuldade que um solo com elevados teores de argila apresenta para permeabilidade de água. Em um estudo na bacia hidrográfica do Rio Uíma (Portugal), os autores destacam o processo de urbanização como causador da compactação do solo, que diminui sua porosidade e a capacidade de infiltração (FARIA; PEDROSA, 2005).

A classe de pastagem com textura Argilo Siltosa, que é muito argilosa apresentou os menores valores devido às taxas de umidade e compactação do solo, e reflete a ação do pisoteio dos animais e as características de textura do solo.

Já foi mencionada por outros autores a elevada compactação e a baixa capacidade de infiltração devido ao pisoteio de animais. Rodrigues Júnior et al. (2007) encontrou, no município de Taubaté, no Vale do Paraíba – SP, menor infiltração de água (0,316 mm/min) em solos com predomínio de pastagem. Trein et al. (1991) avaliaram a taxa de infiltração e a infiltração acumulada de água antes e depois da realização de um pastejo de curta duração, com alta lotação animal (40 horas e 200 animais ha<sup>-1</sup>). Eles apontaram redução de 68% na taxa de infiltração e de 60,76% na infiltração acumulada depois da instalação do pastoreio.

Em estudos de Kemerich et al (2014), uma pesquisa realizada na bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, no estado do Rio Grande do Sul, sobre Argissolos Vermelho-amarelos ou alumínicos em diferentes usos – como cultivo, pastagem, floresta nativa e espaço urbano –, os autores encontraram valores de infiltração de 0,193 mm/min em área de cultivo de soja. A partir de 20 minutos, a taxa de infiltração no solo passou a ser constante. Em pastagem média, o valor total foi de 0,184 mm/min, tornando-se constante a partir do terceiro minuto. Na área urbana, a infiltração se tornou constante no nono minuto, com média de 0,195 mm/min de água infiltrada no solo. Em mata nativa, tornou-se constante no décimo quinto minuto, com uma média de 0,061 mm/min infiltrados.

Para efeito de comparação das médias da taxa de infiltração, de resistência à penetração, de exposição do solo e de umidade do solo entre as áreas, elaboramos gráficos de *BoxPlot* (Figuras 31, 32, 33 e 34), nos quais é possível observar os valores máximos, médios e mínimos e avaliar a influência de alguns parâmetros entre eles.

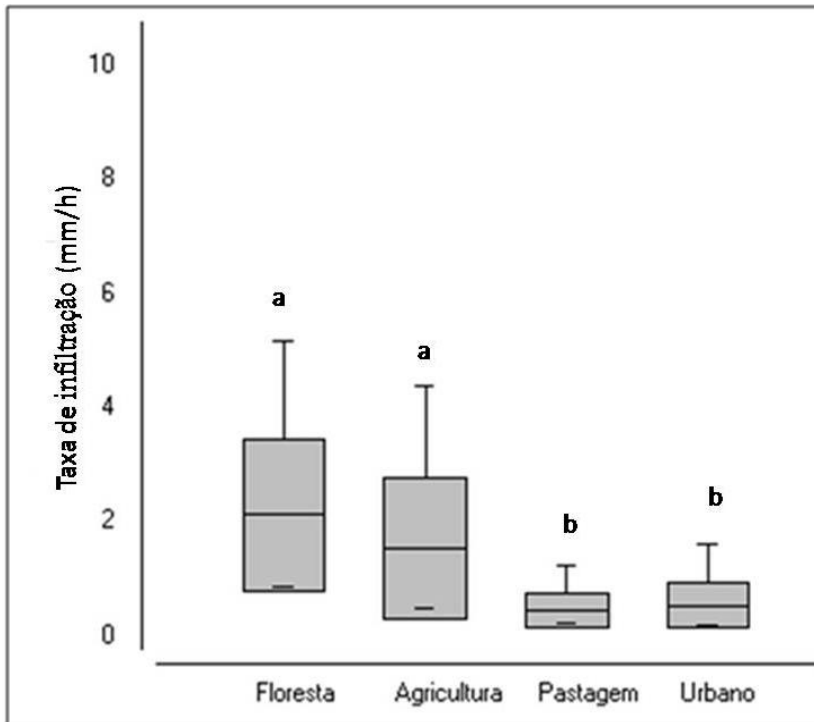
A infiltração maior na classe florestal pode ter ocorrido em decorrência de alguns parâmetros, como a elevada porosidade e a baixa densidade do solo. A atividade orgânica e a baixa exposição do solo também são influentes nesse processo, pois mesmo com uma maior umidade não interferiu na infiltração.

A classe “cultura” não foi influenciada pelos mesmos parâmetros que influenciaram a classe florestal, pois mesmo com a densidade alta e a porosidade baixa, os valores de infiltração foram próximos. Esse valor elevado pode se dar em decorrência do revolvimento do solo nos períodos de colheita e semeadura.

Por outro lado, a pastagem obteve valores elevados de densidade e valores baixos de porosidade. Atribuímos a baixa infiltração à essas características, com a influência direta dos animais no pasto, os quais potencializaram a resistência à penetração do solo. Enquanto isso, a classe “área urbanizada” apresentou estatisticamente valores de infiltração semelhantes à classe “pastagem” e valores de resistência à penetração semelhantes.

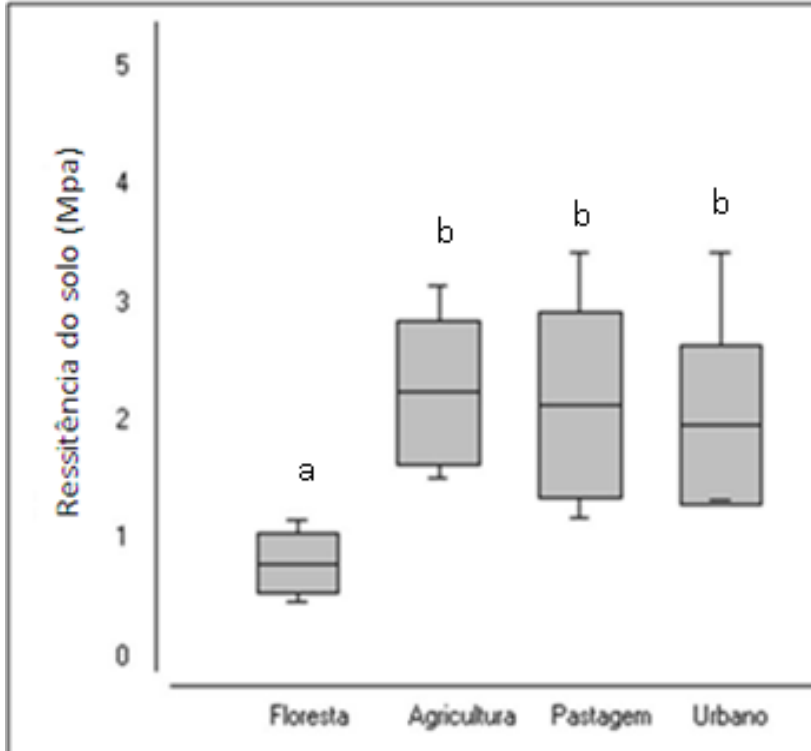
Os presentes dados de compactação do solo reforçam a relação com os valores da densidade pois repetem a mesma sequência, ou seja: onde ocorreram os menores valores de compactação, ocorreram também os menores valores de densidade.

Figura 31 – Boxplot da taxa de infiltração

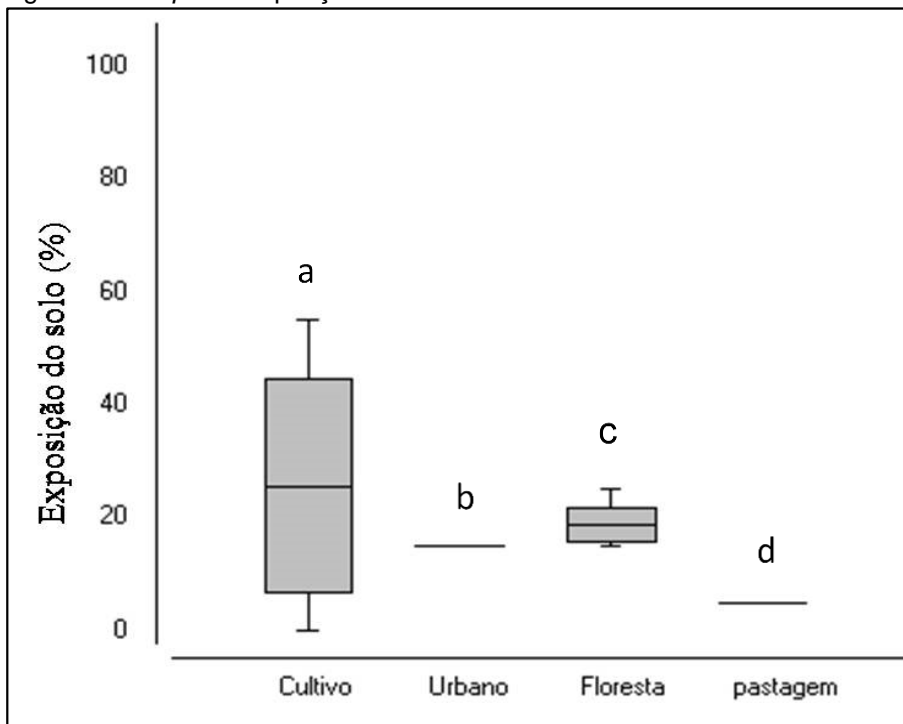


Org.: Santos, 2016.

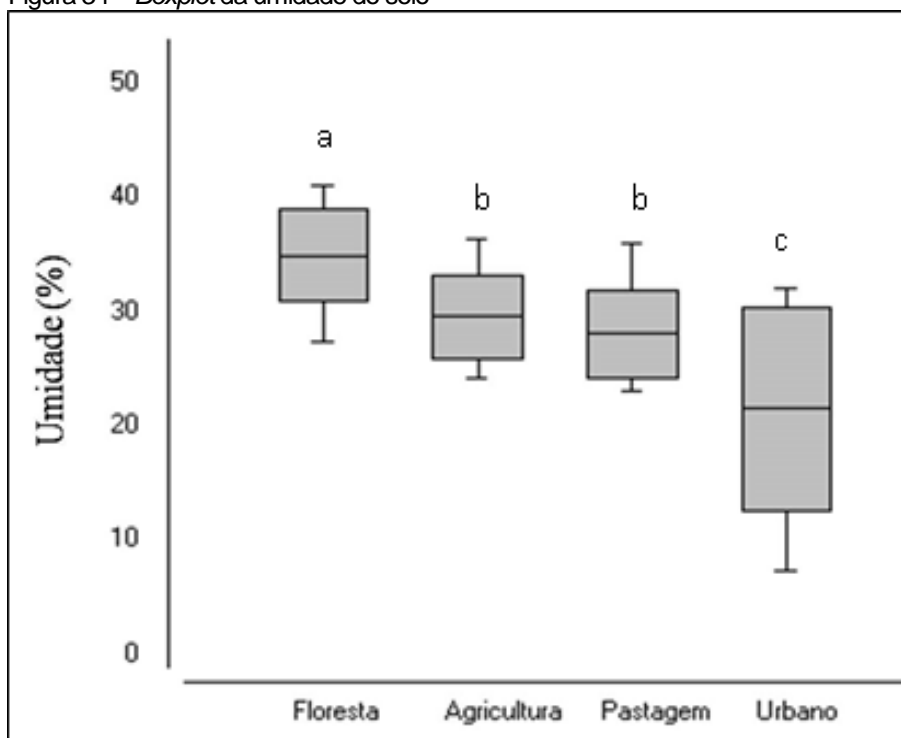
Figura 32 – Boxplot da resistência à penetração



Org.: Santos, 2016.

Figura 33 – *Boxplot* da exposição do solo

Org.: Santos, 2016.

Figura 34 – *Boxplot* da umidade do solo

Org.: Santos, 2016.

A exposição do solo representada pelo gráfico de *boxplot* (Figura 33) aponta maior variação na exposição do solo na classe cultura, devido aos períodos de semeadura e colheita. Na área urbana e na pastagem não houve variações, sendo

que, na área de pastagem, os dados foram inferiores a 5% de exposição. Já na área urbana houve um padrão de exposição do solo constante.

A umidade do solo obteve valores médios próximos na floresta, na agricultura e na pastagem, e menores no espaço urbano, ainda que na área urbana houvesse um padrão constante de baixa exposição do solo (Figura 34).

Ao se fazer apontamentos com relação à qualidade ambiental na bacia do Rio Bonito, em Irati – PR, destacamos alguns pontos que podem ser considerados para melhorar a qualidade ambiental nos usos de floresta, de cultivo, de pastagem e urbano.

As áreas de florestas que apresentam elevado grau de qualidade ambiental são um exemplo de qualidade ambiental em espaços com pouca interferência antrópica. Para essas áreas, a proposta é apenas de preservação.

O uso urbano, em decorrência do adensamento populacional, apresenta poucos lugares para a infiltração de água no solo, fato que pode ser amenizado com a implantação de áreas verdes e de bosques que contemplem ambientes naturais. Além disso, é recomendável evitar situações de moradias irregulares com a conscientização e orientação da população, junto do planejamento urbano, além do levantamento de áreas verdes que, além de embelezar ambientes, trazem mais qualidade de vida para as cidades.

Em áreas destinadas ao uso de pastagem, torna-se necessária a rotatividade em períodos do ano e cuidados pertinentes para a manutenção do solo. Também é importante a renovação, ou seja, o restabelecimento da produção da forragem com a introdução de uma nova espécie ou cultivar, em substituição à que está degradada, ou ainda a reforma da pastagem, com realização de correções ou reparos após o seu estabelecimento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classe “cultura” teve baixa interferência dos parâmetros físicos, pois mesmo com elevados valores de compactação e densidade, obteve valores de infiltração semelhantes à classe florestal. Nesse caso, atribuímos a elevada infiltração às características particulares que essa classe possui: colheita e semeadura, que mesmo com o manejo conservacionista não estiveram isentas do revolvimento do solo.

A classe “área urbanizada” não foi influenciada pelos atributos físicos do solo, pois também apresentou menores valores de densidade e maiores de porosidade. Isso pode ser em decorrência da influência de fatores externos, como as atividades de terraplanagem e de construções civis.

A classe “pastagem” apresentou grande influência dos atributos físicos do solo, uma vez que a resistência à penetração e a densidade do solo apresentaram valores elevados e a porosidade baixa, o que pode ter influenciado na baixa infiltração. Em relação à infiltração inicial, todos os usos da terra apresentaram valores elevados nos primeiros minutos. Isso se deve à umidade antecedente do solo, porém a capacidade do solo de infiltrar é que determinou a maior infiltração em cada uso.

A taxa de infiltração constante foi obtida a partir de 45 minutos, exceto para a classe florestal, que não apresentou valores constantes, por maior capacidade de infiltrar em horizontes mais profundos do solo.

A hipótese inicial do trabalho era de que, em determinados períodos do ano, a taxa de infiltração de água no solo poderia apresentar variações, devido à influência da sazonalidade climática e da característica de cada uso do solo. Isso se confirmou, pois constatamos que o inverno e a primavera apresentaram valores maiores de infiltração e valores menores no verão e outono.

Podemos atribuir esses valores à precipitação e à umidade do solo, já que no inverno e na primavera se deram os menores valores de precipitação, e no verão e outono os maiores. De forma geral, o uso e a ocupação da terra exercem grande influência nos processos de infiltração, pois cada uso apresenta uma taxa de infiltração diferente. No entanto, a classe florestal apresentou os maiores valores de infiltração inicial, assim como a maior taxa de infiltração.

O comportamento dos parâmetros físicos do solo, como densidade, porosidade e resistência, também indicaram valores que nos permitem concluir que a

área de floresta apresenta as melhores condições físicas do solo dentre as demais áreas estudadas.

A melhor qualidade do solo influenciou na maior taxa de infiltração. Vários fatores podem ter contribuído para esses resultados, como a menor densidade, a menor resistência e a umidade do solo de 33% em julho de 2014 e de 27,3% em junho de 2015. Em destaque também está a quantidade de serapilheira nesses períodos, que refletem a baixa exposição do solo (de 15 a 20%), o que pode ter segurado sua umidade em agosto e em junho, fazendo com que a capacidade de infiltração diminuísse.

Em contrapartida, a classe de pastagem indicou menores valores da taxa de infiltração, tanto inicial (5 minutos) quanto total (60 minutos). A situação representada por essa classe de uso foi condizente com a literatura, segundo a qual os baixos índices de infiltração são apresentados como resultado do pisoteio dos animais. No caso da área estudada, a resistência à penetração apresentou os maiores valores, assim como a densidade do solo e por consequência desses valores mais elevados, observamos baixa porosidade.

A classe de área urbanizada apresentou grande diferença nos valores, tanto nas propriedades físicas do solo como na taxa de infiltração. Essa variação pode ser atribuída a depósitos de restos de construção (material tecnogênico), que eram encontrados com frequência no solo, além de solos que podem ter sido trazidos de outros locais para o aplainamento da área.

A classe cultura apresentou valores de infiltração elevados mesmo com valores altos de resistência à penetração. Por ser uma área que consiste em um sistema de plantio direto, os valores esperados seriam outros, em decorrência da análise de solos.



## REFERÊNCIAS

**Agência Embrapa de Informações Tecnológicas.** Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_11\\_2212200611540.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_11_2212200611540.html)> Acesso em: 25 abr. 2015.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 2, p. 717-723, 2001.

ALMEIDA, E. M.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; FINGER, Z. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L. F.) em diferentes idades. **Ciência Florestal.** Santa Maria, v.20, n.4, p. 559–568, 2010.

ANTONELI, V. **Dinâmica do uso da terra e a produção de sedimentos em diferentes áreas fontes na bacia hidrográfica do Arroio Boa Vista – Guamiranga – PR.** 2012, f. 394. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2012.

ANTONELI, V.; FRANCISQUINI, V. Influência de alguns elementos climáticos na produção de serapilheira em um reflorestamento de pinus na FLONA (Floresta Nacional) de Irati – PR. **Caderno de Geografia.** Curitiba, v. 25, n. 44, 2015.

ANTONELI, V.; THOMAZ E. L. Infiltração de água no solo em período seco e úmido, mensurada em diferentes usos de terra na bacia do Arroio Boa Vista – Guamiranga – PR. **Revista Ambiência.** Guarapuava, v.5, p. 1–20, 2009.

ARAÚJO, A. O. et al. Avaliação da resistência à penetração de solos submetidos a manejo florestal de vegetação nativa na Chapada do Araripe. In.: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2010. São Luís. **Anais...** São Luís: Acqua Consultoria, 2010. p. 1-10.

BARBERA-CASTILLO, N. M. **Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica.** 2001, 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 2001.

BARBOSA, G. M. C.; FILHO, J. T.; FONSECA, I. C. B. Efeito do lodo de esgoto em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias.** Londrina, v.28, n.1, p. 65–70, 2007.

BARBOSA, T. R. L. **Atributos físicos do solo sob espécies florestais da Mata Atlântica na região Serrana Fluminense.** 2012, 274 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal.) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2012.

BARRETO, C. E. A. G. **Balanço Hídrico em Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de Monitoramento Hidrogeológico em Bacia Representativa**. 2006, 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – EESC-USP São Carlos, 2006.

BARROS, C. A. P. de et al. Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 38, n. 2, p. 1-14, 2014.

BATISTA, J. L. O.; SANTOS, R. L. Análise da dinâmica do uso e ocupação da terra em pequenos municípios baianos do semi-árido brasileiro: o caso de Teofilândia. **Revista de Geografia**. Norte Grande, v. 49, n. 3, p. 139–155, 2011.

BAUM, C. A.; FLORES, B. A.; MANCUSO, M. A. Análise da Variabilidade das Taxas de Infiltração em Espaço Urbano na Cidade de Frederico Westphalen. In.: X ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS. São Paulo: ABRHidrio, 2014.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.23, n. 3, p. 687–694, 1999.

BECKER, F. G. Aplicações de sistemas de informação geográfica em ecologia e manejo de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Org.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002.

BENINI, L. C. **Estimação da densidade de solos utilizando sistemas de inferência fuzzy**. 2007, 274 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, 2007.

BERRYMAN, J. G.; WANG, H. F. Elastic wave propagation and attenuation in a double-porosity dual-permeability medium. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**. v. 37, 4. ed., p. 63–78, 2000.

BERTOL, I. et al. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. **Revista Soil Tillage**. v. 94, 3. ed, p. 142–150, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. P.; SILVA, D. D. Infiltração da água no solo. **Revista Viçosa**, v. 2, p. 98, 2004.

BRIASSOULIS, H. Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. **Revista Regional Research Institute**. West Virginia University, n. 1, p-150-199, 2000.

BROUSSE, G.; FASSETTA, G. A.; CORDIER, S. **Evolution hydrogéomorphologique de la bande active de l'Ubaye (Alpes françaises du Sud) de 1956 à 2004 : contribution à la gestion des crues**. Géomorphologie: relief, processus, environnement, v. 3, 2011.

CALOURO, F. **Atividades agrícolas e ambiente**. 1. ed. Porto. SPI (Sociedade Portuguesa de Inovação), 2005.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. 3. ed. Piracicaba: ESALQ, 1997.

CARDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. 2. ed. Brasília: PRONI/MA, 1988.

CARVALHO, A. P. V. et al. Resistência mecânica do solo à penetração na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia. **Revista Árvore**. Viçosa, v.36, n.6, p.1091–1097, 2012.

CARVALHO, J. C. de; LEUZINGER, M. D. A infiltração no contexto da Educação Ambiental, da Engenharia e do Direito. In: CARVALHO, J. C. de. et al. (Org.) **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais**. Brasília: Faculdade de Tecnologia, 2012.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CARVALHO, S. M. A contribuição em Bacias Hidrográficas para abordagem ambiental na Geografia. **Espaço e Tempo: Complexidades e Desafios do Pensar e do Fazer Geográfico**. Universidade Federal do Paraná. II Encontro Nacional da ANPEGE, 2009: Curitiba, PR. p. 201–218.

CARVALHO, S. M. **O Diagnóstico Físico-Conservacionista – DFC como subsídio à Gestão Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Quebra-Perna**. 2004, 183 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa. UEPG: Ponta Grossa, 2004.

CECILIO, R. A. **Aplicação da Adequação de Gren-Ampt na modelagem da infiltração de água em Latossolo Vermelho-Amarelo Estratificado**. 2002, 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CHENG, J. D.; LIN, L. L.; LU, H. S. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. **Forest Ecology and Management**. v. 165, p. 11-28, 2002.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B., **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 2. ed. [S.l.]: Bertrand, 1995. Cap.2. p. 94-148.

COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 27 n. 3, p. 345-357, 2003.

COSTA, J. L. R. Algumas Reflexões Sobre Cidade Saudável. **Saúde e sociedade**. São Paulo, v.6, n. 2, 54-230, 1997.

DANIEL, J. A., K. POTTER, W. Altom, H. Aljoe, and R. Stevens. 2002. **Long-term grazing density impacts on soil compaction**. Transactions of the ASAE. 45:1911-1915.

DREW, D. **Processos interativos homem-Meio Ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1986.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water in environmental planning**. 3. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1978.

EL BANNA, M. M.; FRIHY, O. E. Human-induced changes in the geomorphology of the northeastern coast of the Nile delta. Egypt. **Geomorphology**, v. 10, p. 772-778, 2009.

EMBRAPA, Solos florestais. **Carta de Solos do Estado do Paraná**. Solos: Atualização do Mapa de Solos - SiBCS, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

FARIA, R.; PEDROSA, A. Impactos da Urbanização na Degradação do solo urbano e sua relação com o incremento de inundações urbanas em Santa Maria da Feira. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN LAND DEGRADATION AND DESERTIFICATION, 2005. Uberlândia. **Anais...** 2005, p. 1-12.

FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo através de pedo funções**. 2008, 97 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

FLORES, J. P. C. et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa: v.1, p. 771-780, 2007.

**GEO CATÁLOGO MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA)**. Imagem *RapidEye*. 2011. Disponível em: <<http://geocatalogo.ibama.gov.br/>> Acesso em: 25 jun. 2014.

GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**. Botucatu: v.17, n.3, p. 337 –345, 2012.

GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. d. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. D. de. (Org). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R, G, M. (Org.) **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Till**. v.2, 1.198-1.206. 2005.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. 3. ed. New York: Academic, 1972.

**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Cidades**, 2010. Disponível em:<<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=411070&se arch=parana|iratij|infograficos:-historico>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual técnico do uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York: McGraw-Hill, 1941.

KEMERICH, P. D. da C. et al. Infiltração e Escoamento Superficial Sob Diferentes Usos e Ocupação em uma Bacia Hidrográfica. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Rio de Janeiro, v. 37, p. 75-88, 2014.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**. Santa Maria, v.13, n.5, p. 3915–3925, 2014.

KLEIN, V. A. et al. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 40, n. 7, p.1550-1556, 2010.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.26, p. 858-868, 2002.

LIMA, C, G. R. et al. Atributos físico-químico de um latossolo do Cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.34, n.1, p. 163–173, 2010.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solo do Estado de São Paulo**. 2ªed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1975.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Org.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002. cap. 2. p. 37-65.

MAGALHÃES, W. A. de. et al. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Agrarian**. Dourado, v.2, n.6, p.21–32, 2009.

MARASCA, I. et al. Propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho em função dos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.17, n.11, p.1160–1166, 2013.

MASON, C. F. Decomposição. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1980. In.: MENDONÇA, F.; KOSEL, S. (Org.). **Elementos epistemológicos da Geografia Contemporânea**. Curitiba: Ed UFPR, 2002. Reimpressão 2004.

MATIAS, S. S. R. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.40, n.3, p. 331–338, 2009.

MENDONÇA, L. A. R. et al. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Engenharia Sanitária Ambiental**. Rio de Janeiro, v.14, n.1, p. 89–98, 2009.

MION, R. L. et al. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.6, p. 2057–2066, 2012.

MORAIS, R. P.; AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M. Controles hidrogeomorfológicos nas unidades vegetacionais da planície aluvial do rio Araguaia, Brasil. **Acta Scientiarum, Biological Sciences**. Maringá, v.30, n.4, p. 411–421, 2008.

MUSCHLER, R. G. **Árboles en cafetales**. 3-ed. Turrialba, Costa Rica: Catie/ GTZ, 2000.

NASH, J.; SINNOTT, E.; LATORRE, A.. **Recursos naturais na América Latina**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2010.

NICOLOSO, R. DA S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, p.1723-1734, 2008.

PAIXÃO, F. J. R. D. et al. Estimativa da Infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de biologia e ciências da terra**. São Cristóvão, v.5, n.1, p.1–11, 2004.

PANACHUKI, E. et al. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.10, n.2, p.261–268, 2006.

PASCHOAL, L. G.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. D. Alterações hidrogeomorfológicas devido à dinâmica de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes (SP). **Revista Brasileira de Geociências**. Pelotas, v. 01, n. 1, p. 95-126, 2012.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.33, n. 1, p. 1441–1448, 2009.

PINHEIRO, T. C. **Mapeamento digital do município de São João da Barra (RJ) com suporte de imagens IKONOS e dados GPS, como requisito para revisão do Plano Diretor Municipal**. Projeto Cartográfico Monografia do Curso de Engenharia Cartográfica, UERJ, 2008, 89p.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Org.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002.

PRADO, H. **Pedologia Fácil: Aplicações**. 3. ed. Piracicaba: ed. Abril, 2011.

**PREFEITURA IRATI, Paraná. Disponível em:**  
<[http://www.irati.pr.gov.br/internas.php?url=mun\\_geografia](http://www.irati.pr.gov.br/internas.php?url=mun_geografia)>. 2015. Acesso em: 29 dez. 2014.

**PREFEITURA IRATI, Paraná. Disponível em:**  
<[http://www.irati.pr.gov.br/internas.php?url=mun\\_geografia](http://www.irati.pr.gov.br/internas.php?url=mun_geografia)>. 2012. Acesso em: 20 mai. 2014.

RALICH, R. et al. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.12, n.4, p.381–384, 2008.

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

REINERT D.J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, n.5, 1805-1816, 2008.

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

RIBEIRO, G. P. **Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaço temporal em ambiente costeiro**. 2005, 224 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2005.

RIQUELME, A. M. Velocidade de infiltração de água em Latossolo Vermelho – Amarelo distrófico sob diferentes cultivos. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**. Manaus, v.1, n.1, p. 187-191, 2012.

ROCHA, A. A. Sociedade e Natureza: a produção do espaço urbano em bacias hidrográficas/Altemar Amaral Rocha. In.: II Seminário Luso-Brasileiro Agricultura Familiar e Desertificação-Vitória da conquista: Edições UESB, 2011. **Anais...** Disponível em: <http://www.geociencias.ufpb.br/leppan/gepat/files/gepat022.pdf>. Acesso em: 29/03/2015.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 5. ed. Uberlândia: Edufu, 2003.

ROSIM, D. C. de et al. Compactação de um Latossolo Vermelho Distroférrico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**. Campinas, v.71, n.4, p.502–508, 2012.

ROSS, J. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 3ªed. São Paulo: Contexto, 1990.

SANCHEZ, E. et al. Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Magistra**. Bahia, v.26, n.3, p. 266–275, 2014.

SANTANA, A. V. de. et al. Resistência à penetração em solo sob sistema integração lavoura-pecuária-floresta, pasto convencional e mata nativa do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v.10, n.18, p. 2675-2680, 2014.



SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. 3- ed. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2004.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Planejamento ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.1, p. 427-436, 2000.

SCHNEIDER, P.; SCOPEL, I.; KLAMT, E. Efeito de pastagem cultivada, submetida a diferentes intensidades de pastejo, em propriedades físicas de um solo laterítico hidromórfico. In: III ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DE SOLO, 1981, Recife. **Anais....** Recife, 1981. P. 247-250.

SILVA, A. da; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. D. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 3-ed. São Carlos: RiMa, 2003.

SILVA, C. A. da. Análise topoclimática da temperatura e umidade relativa do ar sob influência da Massa de ar Polar Atlântica (MPA). **Revista Geonorte, Edição Especial 2**. Manaus, v.2, n.5, p. 150–161, 2012.

SILVA, L. K.; AZEVEDO, V. C. F.; LEITE, E. P. F. Mapeamento e análise do uso e ocupação do solo da bacia do Rio Cuiá a partir de imagem do satélite. In.: V CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2010, Alagoas. **Anais...** Alagoas, 2010. P.187-207.

SILVEIRA, D. C. et al. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.34, 3, p. 659–667, 2010.

SIMÕES, S. J. C., COIADO, E. M. Processos Erosivos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. D. (Org) **Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. 4 - ed. Porto Alegre: ABHR, 2001.

SOBRINHO, T. et al. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Paraíba, v.7, n.2, p.191-196, 2003.

SOUZA, M. **Trincheiras de Infiltração**. Disponível em: <<http://www.aquafluxus.com.br/m-trincheiras-de-infiltracao/>> Acesso em: 24 mai. 2012.

SPERA, S. T. et al. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 1, p. 533-542, 2004.

STOLF, R. Teoria e tese experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.15, n.3, p.229–235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil – STAB**. Piracicaba, v.1, n.3, p. 18–23, 1983.

STONE, L. F. SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 1, p. 395-401, 2001.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: ed.EMATER/RS, 2008.

TORMENA, C. A. BARBOSA, M. C. COSTA, A. C. S. GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**. São Paulo, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TUCCI, C. E. M. 1993. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3ªed. São Paulo. Edusp; UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos-ABRH, 1993.

TUCCI, C. E. M. Vazões em Média. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. D. (Org.) **Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacia Hidrográficas**. 4. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos-ABHR, 2001.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, J. R. B. P. F.; SILVEIRA, A. L. L. Avaliação do impacto da urbanização nas cheias urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 7, n.1, p 77–101, 1989.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. (Org). **Avaliação e Controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

TUCCI, C.E.M., CLARKE, R.T. Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

VASQUEZ, B. A. F. Erosão – Princípios e recomendações de controle. In: POLETO; C. **Bacias hidrográficas e Recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Interciência Ltda., 2014.

XAVIER-DA-SILVA, J.; SOUZA, M. J. L. **Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ, 1988.

ZALUSKI, P.; ANTONELI, V. Variabilidade na Infiltração da Água no Solo em área de Cultivo de Tabaco na Região Centro-Sul do Paraná. **Caderno de Geografia**. Belo Horizonte, v.24, n.41, p. 34-47, 2014.

ZWIRTES, A. L. et al. **Avaliação dos impactos causados por diferentes sistemas de manejo nos atributos físicos do solo**. In.: III Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2012. Bento Gonçalves. Anais... 2012. P. 1-7.