



Universidade de Brasília - UnB
Instituto de Geociências – IG
Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas



**ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DOS DIFERENTES USOS,
POR MEIO DO ESTUDO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL SIMULADO NA BACIA DO
RIBEIRÃO PIPIRIPAU - DF.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 101

GILSON ANTONIO ENEAS

Brasília – DF, 26 de Agosto de 2016.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS**

**ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DOS DIFERENTES USOS,
POR MEIO DO ESTUDO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL SIMULADO NA BACIA DO
RIBEIRÃO PIPIRIPAU - DF.**

Gilson Antonio Eneas.

Orientador: Prof. Dr. Edilson de Souza Bias

Dissertação de Mestrado apresentada à Banca Examinadora do Instituto de Geociências Aplicadas (Geoprocessamento e Análise Ambiental) da Universidade de Brasília, como exigência para obtenção do título de mestre em Geociências.

Brasília – DF, 26 de Agosto de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

EEN56a Eneas, Gilson Antonio
Análise da Contaminação do Solo em Função dos
Diferentes Usos, por Meio do Estudo do Escoamento
Superficial Simulado na Bacia do Ribeirão Pípiripau
DF / Gilson Antonio Eneas; orientador Edilson de
Souza Bias. -- Brasília, 2016.
122 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Geociências
Aplicadas) -- Universidade de Brasília, 2016.

1. Infiltrômetro de Cornell. 2. Qualidade da água
do Escoamento superficial. 3. Poluição Difusa. I.
Bias, Edilson de Souza , orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ENEAS, G.A. (2016). Análise da Contaminação do Solo em Função dos Diferentes Usos, por Meio do Estudo do Escoamento Superficial Simulado na Bacia do Ribeirão Pípiripau - DF. Dissertação de mestrado, Publicação PPG IG. DM – 101/2016, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, DF, 127p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gilson Antonio Eneas

TÍTULO: Análise da Contaminação do Solo em Função dos Diferentes Usos, por Meio do Estudo do Escoamento Superficial Simulado na Bacia do Ribeirão Pípiripau - DF.

GRAU: Mestre

ANO: 2016

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

GILSON ANTONIO ENEAS

**ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DOS DIFERENTES USOS, POR
MEIO DO ESTUDO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL SIMULADO NA BACIA DO RIBEIRÃO
PIPIRIPAU - DF.**

Dissertação de Mestrado apresentada à Banca Examinadora do Instituto de Geociências Aplicadas (Geoprocessamento e Análise Ambiental) da Universidade de Brasília, como exigência para obtenção do título de mestre em Geociências.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edilson Souza Bias
Orientador

Prof. Dr. José Elói G. Campos.
Examinador Interno (UNB)

Prof. Dr. André de Souza Avelar
Examinador Externo (UFRJ)

Brasília – DF, 26 de Agosto de 2016.

Dedico este trabalho aos meus pais, Nicanor (*in memoriam*) e Dalva (*in memoriam*), que me colocaram na estrada da vida com valores imprescindíveis para uma boa caminhada. A Joseane (*in memoriam*) que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida e, nunca, em nenhum momento da sua vida, negou-se a estender a mão para ajudar a me erguer. A minha preciosa noiva, Simone Pozzatti, por sua amizade, cumplicidade, paciência, companheirismo, dedicação e amor. Esta vitória também é sua!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Ti, meu Deus, que me concedeu sabedoria, coragem, oportunidade e nunca deixou que eu desistisse. Em minhas limitações, deste-me auxílio e em meu desânimo, levantaste-me. A Ti senhor toda honra e Glória!

Agradeço aos meus irmãos Gisele, Gilmar, Dalva, Janaina, Kelly; sobrinhos (as) e cunhados (as) pelo apoio e incentivo durante esta jornada.

Ao meu orientador, Dr. Edilson Souza Bias, por acreditar, pelo tempo dedicado, pelas dúvidas sanadas, pelo conhecimento ministrado, sobretudo pela paciência desprendida ao longo desta pesquisa.

Ao Professor Dr. José Eloi Guimarães Campos, pelo auxílio na aquisição e importação do simulador de chuva, empréstimo de sonda, ferramentas de campo, além de aceitar participar da banca examinadora.

Aos professores Dr. Edson Paulo da Silva, Dr. Marco Ianniruberto, Dr. Welitom Rodrigues Borges, Dr. Cláudio Tavares, MSc. Mauro Felizzatto, MSc. Willem Wily, MSc. Fragassi e MSc. Dalmo Rodrigues pela pronta ajuda nos momentos em que foram solicitados.

Aos amigos Willem “*WW*”, Osmair Júnior “*Jonh*”, Wellington “*Kiboa*”, Marcelus “*Negão*”, Erick “*Morcegão*”, Rafael “*Beki*”, Emanuel “*Reyganás*”, Raylton “*Menor*”, Thiago Bezerra “*Flokim*”, Manuel e Rogério “*Roger*” pelos desabafos e auxílio nesse período. Foi muito bom contar com vocês!

À Prof^a. Doutora Cristina Célia Silveira Brandão, Coordenadora do Laboratório da Faculdade de Tecnologia (FT), por autorizar o uso do laboratório para realização das análises de água. Em especial às técnicas Sara Regina e Carla Vizzotto, por auxiliar nas análises de água.

À CAESB, em nome do Diretor de Operação e Manutenção, Walter Lúcio dos Santos Barros, ao Gerente de Qualidade, Ricardo Cosme Arrais Moreira, bem como às Coordenadorias de Planejamento e Amostragem (PGOQA), Paulo Queiroz de Araújo, de Análises Biológicas e Limnologias (PGOQB), Cristine Gobbato B. Cavalcanti e Análises Físico Químico (PGOFQ), Cinthia Mesquita Pinke Cavalcanti pela realização das análises que não estavam disponíveis no laboratório FT. À TERRACAP, em nome da Diretoria Técnica, Carlos Antônio Leal, Gerência de Geoprocessamento e Topografia (GTOP) Renata de Sousa Machado e Núcleo de Geoprocessamento e Topografia (NUGET), Rafael Eduardo Alves de Souza, pela presteza e disponibilidade de base de dados espaciais da Bacia Hidrográfica.

Ao CNPQ pelo apoio financeiro por meio da bolsa de mestrado recebida durante o período desta pesquisa.

RESUMO

Uma das principais fontes de contaminação dos recursos hídricos superficiais é a poluição difusa. O escoamento superficial destaca-se, principalmente, no transporte de substâncias contaminante, acarretando alterações na quantidade e qualidade da água, bem como aumento no custo de tratamento. O presente trabalho tem como o objetivo determinar e analisar os níveis de contaminação do solo em função dos diferentes usos, por meio da quantificação e qualificação do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau/DF a partir de simulações realizadas com o Infiltrômetro de Cornell. Após as simulações e coleta das amostras de escoamento superficial, foram realizadas análises laboratoriais e interpretação dos parâmetros (pH, Condutividade Elétrica, Fósforo Total, Nitrogênio Total, Coliforme Total). A concentração de cada parâmetro foi distribuído na bacia em classes variando de (1 a 5), deste modo quanto maior a classe dentro do parâmetro maior a relevância em torno da bacia hidrográfica, portanto: pH com (53,94 %) referente a classe 3 (5,5 - 6); a Condutividade Elétrica com (1,67%) da classe 5 (91 - 159 $\mu\text{S cm}^{-1}$); o fósforo total com (15,68%) da classe 5 (0,22 – 1,08 mg.L^{-1}); nitrogênio total com (4,29%) da classe 4 (2,5 a 3,0 mg.L^{-1}) e por fim o coliforme total com (81%) da bacia com os valores acima de (1000 - NMP/100 ml). Os resultados com teste de *Kruskal Walls*, aplicados às médias das concentrações de (pH, condutividade elétrica, fósforo total, nitrogênio total e coliforme total) quantificadas na água do escoamento, coletado sobre os diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem), não apresentaram diferenças significativas em nenhuma das variáveis analisadas. Entretanto, quando comparada à média do valor do escoamento superficial da agricultura (100 mm. hr⁻¹) e Cerrado (115 mm. hr⁻¹), com a média de escoamento superficial na pastagem (177 mm. hr⁻¹) percebe-se uma diferença significativa de cerca de (56,5%) e (65%) Assim, pode-se afirmar que a forma inadequada de uso e ocupação aplicada sobre os diferentes tipos de cobertura do solo (agricultura, cerrado e pastagem) em uma Bacia Hidrográfica, como por exemplo, a falta de rotacionar o gado no pasto e pisoteio provoca a compactação do solo, conseqüentemente o aumento do escoamento superficial. Da mesma forma que a remoção da cobertura vegetal “cerrado” e o uso de praticas agrícola conservacionista alteram a qualidade física- química e bacteriológica da água do escoamento superficial simulado.

Palavras-chaves: Infiltrômetro de Cornell, Qualidade da água do Escoamento superficial, Poluição Difusa.

ABSTRACT

One of the main sources of contamination of surface water resources is the diffuse pollution. The runoff stands out, especially in the transport of polluting substances, leading to changes in water quantity and quality, as well as an increase in the cost of treatment. The present work has as objective to determine and analyze the soil contamination levels for different uses, through quantification and qualification of the runoff in the catchment area of the basin Pipiripau/DF from simulations performed with the Infiltrometer of Cornell. After the simulations and collects runoff samples were performed laboratory tests and interpretation of parameters (pH, Electrical Conductivity, Total Phosphorus, Total Nitrogen, Total Coliform Bacterium). The concentration of each parameter has been distributed in the basin in classes ranging from (1 to 5), thus the higher class within the higher the relevance parameter around the watershed, so: pH (53.94%) for class 3 (5.5-6); Electrical Conductivity with (1.67%) of class 5 (91-159 $\mu\text{S cm}^{-1}$); the Total Phosphorus with (15.68%) grade 5 (0.22-1.08 mg. L⁻¹); Total Nitrogen (4.29%) of class 4 (2.5 to 3.0 mg. L⁻¹) and finally the Total Coliform Bacterium (81%) of the basin with the values above (1000-NMP/100 ml). However, when compared to the average value of the runoff of agriculture (100 mm. hr⁻¹) and cerrado vegetation (115 mm. hr⁻¹), with the average runoff in the pasture (177 mm. hr⁻¹) you can see a significant difference about (56.5%) and (65%). Thus, we can affirm that inappropriately use and occupation applied on different types of ground cover (agriculture, cerrado vegetation and grassland) in a river basin, for example, rotate the cattle on the pasture and trampling causes soil compaction consequently increased runoff, removal of the vegetation cover " cerrado vegetation " and the use of agricultural conservation practices alter the physical-chemical and bacteriological quality of the water runoff.

Keywords: Cornell Sprinkle Infiltrometer, Water Quality from Runoff, Diffuse Pollution.

LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
ANA – Água da Agência Nacional de Águas
ANOVA – Análise de Variância
CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CN – *Curve Number*
CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ES – Escoamento Superficial
ESRI – *Environmental Systems Research Institute*
IDW – Inverso do Quadrado da Distância
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
MDT – Modelo Digital de Terreno
NDIR – *Nondispersive Infrared Sensor*
NRCS – *Natural Resources Conservation Service*
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
SGDB – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SICAD – Sistema Cartográfico do Distrito Federal
SIG – Sistemas de Informação Geográfica
SMEWW – *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*
SR – Sensoriamento Remoto
TERRACAP – Agencia de Desenvolvimento do Distrito Federal
TI – Taxa de Infiltração
VMP – Valores Máximos Permitidos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
<i>Objetivo Geral.....</i>	2
<i>Objetivos Específicos.....</i>	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 CICLO HIDROLÓGICO	3
2.2 BACIA HIDROGRÁFICA	4
2.3 MANEJO INTEGRADO DE BACIA HIDROGRÁFICA	5
2.4 USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL	6
2.5 SOLOS	8
2.6 INFILTRAÇÃO	9
2.7 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	12
2.8 CONTAMINAÇÃO	13
2.9 SIMULADORES DE CHUVA	16
2.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA E ESPACIAL.....	17
2.11 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	20
3. ÁREA DE ESTUDO.....	21
<i>Localização</i>	<i>22</i>
<i>Modelo Digital de Terreno - MDT</i>	<i>23</i>
<i>Delimitação da bacia hidrográfica</i>	<i>24</i>
3.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA	25
<i>Clima.....</i>	<i>25</i>
<i>Geologia / Hidrogeologia.....</i>	<i>26</i>
<i>Geomorfologia</i>	<i>28</i>
<i>Declividade.....</i>	<i>30</i>
<i>Solos</i>	<i>31</i>
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
4.1 BASE DE DADOS.....	35
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	38
<i>Reclassificação da declividade.....</i>	<i>38</i>
<i>Reclassificação dos Solos</i>	<i>39</i>
<i>Reclassificação do Uso do solo e cobertura vegetal.....</i>	<i>41</i>
4.3 ÁREA DE AMOSTRAGEM	42
4.4 DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS	43
<i>Malha regular dos pontos.....</i>	<i>43</i>
<i>Malha irregular dos pontos.....</i>	<i>46</i>
4.5 SIMULAÇÃO E COLETA DA AMOSTRA.....	46
<i>Aquisição da Água.....</i>	<i>46</i>
<i>Intensidade da chuva.....</i>	<i>48</i>
<i>Infiltração da água</i>	<i>52</i>
<i>Calibração do Equipamento.....</i>	<i>52</i>
<i>Coleta e preservação das amostras.....</i>	<i>53</i>

4.6	ANÁLISE LABORATORIAL.....	55
	Análise físico-química da água do escoamento superficial	55
	<i>pH/ Condutividade</i>	55
	<i>Fósforo total</i>	56
	<i>Nitrogênio total</i>	57
	Análise bacteriológica da água do escoamento superficial	57
	<i>Coliforme total</i>	57
4.7	TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	58
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA E ESPACIAL.....	60
	<i>Infiltração</i>	60
	<i>Escoamento superficial</i>	65
5.2	PARÂMETRO FÍSICO-QUÍMICO DA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	70
	<i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	70
	<i>Condutividade Elétrica</i>	73
	<i>Fósforo total</i>	76
	<i>Nitrogênio total</i>	79
5.3	PARÂMETRO BACTERIOLÓGICO DA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	82
	<i>Coliforme total</i>	82
6.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	85
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
	ANEXO "A" - Manual do Equipamento emitido pelo Departamento de Cultura e Ciência do Solo da Universidade de Cornell, Ithaca, NY.	99
	ANEXO "B" – Procedimento de Operação Certificado Junto ao Departamento de Pesticidas E de Monitoramento Ambiental da Califórnia, CA – USA.....	107
	ANEXO "C" – Laudo da Qualidade da Água da Indústria Seiva Mineral LTDA.....	117
	APENDÊCE "D" – Relatório Fotográfico dos ensaios de infiltração e escoamento superficial nos diferentes Usos e Cobertura do Solo.....	118
	APENDÊCE "E" – Parâmetros Físicos, Químicos e Bacteriólogos analisados na água do escoamento superficial nos diferentes tipos de Uso do solo e cobertura vegetal do Solo.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela	Conteúdo	Página
Tabela 1:	Valores de assimetria e curtose das variáveis em estudo.....	18
Tabela 2:	Descrição dos aquíferos domínios porosos e fraturado presentes na bacia do Pípiripau e suas principais características.....	26
Tabela 3:	Compartimento Geomorfológico e respectiva área de representação dentro da Bacia.....	29
Tabela 4:	Classes de Declividade (%) e respectiva área de representação dentro da Bacia.	30
Tabela 5:	Distribuição dos solos na bacia hidrográfica do ribeirão Pípiripau.....	33
Tabela 6:	Classificação de uso do solo e cobertura vegetal da bacia do Ribeirão Pípiripau.....	34
Tabela 7:	Dados de entrada utilizados na pesquisa.	36
Tabela 8:	Reclassificação da Declividade da Bacia do Ribeirão Pípiripau.	39
Tabela 9:	Classificação de solos da bacia do ribeirão Pípiripau.	40
Tabela 10:	Classificação hidrológica dos solos da bacia do Ribeirão Pípiripau.....	40
Tabela 11:	Agrupamento das classes de uso do solo.	41
Tabela 12:	Agrupamento das classes reclassificadas do solo, declividade e uso ocupação.	43
Tabela 13:	Agrupamento das classes de declividade, solo e uso do solo e cobertura vegetal.....	45
Tabela 14:	Localização e parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água do poço artesiano (FINATEC).....	47
Tabela 15:	Localização e parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água (SEIVA Ltda).	47
Tabela 16:	Normais Climatológicas da estação INMET em milímetros (1961 a 1990).	48
Tabela 17:	Métodos analíticos utilizados.	54
Tabela 18:	Teste de Mann-Whitney U P - valores para taxas de infiltração nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.	61
Tabela 19:	Capacidade de retenção máxima de água dos solos (mm/ano), adaptado de Gonçalves et al. (2009)	64
Tabela 20:	Teste de Mann-Whitney U P - valores para a taxa de escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.	67
Tabela 21:	Resultados médios anuais do CN e do balanço hídrico simulado na bacia do Pípiripau entre 1989 e 1998. Adaptado de Salles (2012).	70
Tabela 22:	Teste de Mann-Whitney U P - valores de pH no escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.....	71
Tabela 23:	Teste de Mann-Whitney U P - valores de Condutividade Elétrica do escoamento superficial dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.....	75
Tabela 24:	Teste de Mann-Whitney U P – valores (<0,05) de fósforo total no escoamento superficial dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.....	77
Tabela 25:	Teste de Mann-Whitney U P - valores de nitrogênio total no escoamento superficial dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.	80
Tabela 26:	Teste de Mann-Whitney U P - valores de coliforme total no escoamento superficial dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.	83

LISTA DE FIGURAS

Figura	Conteúdo	Página
Figura 1:	Representação do ciclo hidrológico.	3
Figura 2:	Curvas de capacidade de infiltração determinadas pelo simulador de chuvas e pelos anéis concêntricos para LRd – Lavras, 1996.	11
Figura 3:	Comparação da taxa de infiltração de água no solo estimada para área manejada sob sistema de plantio direto (A) e pastagem perene cultivada (B) em Latossolo Vermelho Alumino férrico.	12
Figura 4:	Bacias hidrográficas como “coletoras de eventos” das atividades humanas e naturais.....	14
Figura 5:	Vista esquemática de perfil do infiltrômetro de Cornell. H é a altura de carga medida durante os testes para controle da intensidade da chuva.	16
Figura 6:	Métodos de Interpolação IDW, Krigagem e Spline.	20
Figura 7:	Localização da bacia do Pipiripau- DF.	22
Figura 8:	Modelo Digital do Terreno - MDT.	23
Figura 9:	Fluxograma metodológico para delimitação da Bacia.....	24
Figura 10:	Delimitação da Bacia do Ribeirão Pipiripau - DF.	24
Figura 11:	Mapa Climatológico da Bacia do Ribeirão Pipiripau-DF.....	25
Figura 12:	Mapa Hidrogeológico da Bacia do Ribeirão Pipiripau.	27
Figura 13:	Mapa Geomorfológico da bacia do Ribeirão Pipiripau.	29
Figura 14:	Declividade (%) segundo a classificação EMBRAPA, (1979).	30
Figura 15:	Mapa de Solos.	31
Figura 16:	Mapa de Uso do solo e cobertura vegetal da Bacia do Ribeirão Pipiripau.	35
Figura 17:	Fluxo metodológico descrevendo a etapa de Planejamento da pesquisa.	37
Figura 18:	Fluxo metodológico descrevendo a etapa de coleta e análise de dados da pesquisa.	37
Figura 19:	Reclassificação da declividade em duas Classes <8 e >8 %.	39
Figura 20:	Classificação Hidrológica do solo.....	41
Figura 21:	Mapa Reclassificado de Uso do solo e cobertura vegetal da bacia do Pipiripau.	42
Figura 22:	Distribuição regular dos pontos amostrais.....	44
Figura 23:	Distribuição irregular dos pontos de amostrais.....	46
Figura 24:	Coleta da água do poço artesiano para análise de qualidade.....	47
Figura 25:	Transporte da água	47
Figura 26:	Coleta da água mineral.....	48
Figura 27:	Transporte da água	48
Figura 28:	Gráfico das Normais Climatológicas de Brasília (1961 a 1990).	48
Figura 29:	Distribuição dos pontos de 100 mm que não ocorreram o escoamento superficial.	50
Figura 30:	Fluxograma metodológico para instalação e operação do <i>Infiltrrometer</i> de <i>Cornell</i>	50
Figura 31:	Instalação do cilindro e escavação do solo.	51
Figura 32:	Nivelamento do cilindro.	51
Figura 33:	Desenho esquemático do <i>Infiltrrometer</i> de <i>Cornell</i>	51
Figura 34:	Simulador instalado com uma coluna d’água de 300 mm.	53
Figura 35:	Simulador instalado com uma coluna d’água de 100 mm.	53
Figura 36:	Aferição do pH e da Condutividade da água do escoamento superficial.....	56
Figura 37:	Aferição do fósforo total da água do escoamento superficial.....	56
Figura 38:	Analizador do tipo Multi N / C Modelo 2100.	57
Figura 39:	Equipamento utilizado para Lacrar a cartela contendo o meio de cultura.	58
Figura 40:	Box Plot - Infiltração (mm. h-1).	60
Figura 41:	Espacialização da infiltração da água no solo na Bacia do Ribeirão Pipiripau-DF.....	62
Figura 42:	Box plot - Escoamento Superficial (mm. hr-1.	66
Figura 43:	Espacialização do escoamento superficial simulado na Bacia do Ribeirão Pipiripau-DF....	68
Figura 44:	Box Plot - pH,.....	71

Figura 45: Espacialização do pH aferido no escoamento superficial simulado na Bacia do Ribeirão Pipiripau-DF.....	72
Figura 46: Box Plot - Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$).....	74
Figura 47: Espacialização da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) do escoamento superficial da Bacia do Pipiripau.....	75
Figura 48: Box Plot – Fósforo Total (mg/L).....	76
Figura 49: Espacialização do Fósforo Total (mg.L-1) oriundo do escoamento superficial simulado da Bacia do Pipiripau.....	78
Figura 50: Blox Plot – Nitrogênio Total (mg.L-1).....	79
Figura 51: Espacialização do Nitrogênio Total (mg.L-1) do escoamento superficial simulado na Bacia do Pipiripau.....	81
Figura 52: Blox Plot – Coliforme Total (NMP/100 ml).....	82
Figura 53: Espacialização do Coliforme Total (NMP/100ml) do escoamento superficial simulado da Bacia do Pipiripau.....	84

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação relacionada ao planejamento e gerenciamento dos Recursos Hídricos no Brasil, principalmente em período de escassez de água, há necessidade de buscar alternativas de gestão que sejam eficazes, principalmente no que tange ao monitoramento e controle dos usos múltiplos das bacias hidrográficas, sobretudo quando são analisadas as atividades que utilizam os recursos naturais como matéria prima e que geram degradação ambiental. Com isso, faz-se necessário o uso de tecnologias que auxiliem no processo de monitoramento, visando a uma melhor gestão e controle dos recursos naturais.

Como exemplo do citado anteriormente, a qualidade da água de uma bacia hidrográfica pode ser influenciada por diversos fatores, tais como a cobertura vegetal, a topografia, a geologia, o uso/manejo do solo etc. Esses fatores são responsáveis pelo aporte de sedimento e de nutrientes que serão carreados aos cursos d'água que, conseqüentemente, modificarão as características físicas, químicas e biológicas da água (BASNYAT et al., 2000).

O monitoramento da qualidade das águas no Brasil é baseado na resolução nº 357/2005, a qual não leva em consideração estas peculiaridades das áreas agrícolas e não faz menção à poluição de origem difusa (BRASIL, 2005). As fontes difusas de poluição, especialmente a oriunda da agricultura, têm sido objeto de atenção em muitos países devido à dificuldade de se estabelecerem procedimentos de avaliação de impactos ambientais e de adotar padrões aceitáveis (SIMS et al, 1998; PARRY, 1998).

A quantificação das contribuições difusas de nutrientes a partir de áreas agrícolas possibilita a efetiva aplicação das normas e resoluções nos processos de tomada de decisão em gestão e licenciamento ambiental, e no estabelecimento de políticas públicas em recursos hídricos (MANSOR, 2005).

A Bacia hidrográfica do Ribeirão Pípiripau, localizada na porção nordeste do Distrito Federal, tem sofrido pressões ambientais ao longo dos últimos 50 anos. Isto se deve, principalmente, ao aumento da urbanização e ao crescimento da atividade agropecuária. Esses processos levam, necessariamente, ao aumento do consumo de água e também à produção de resíduos de vários tipos que ameaçam a qualidade e quantidade da água do ribeirão (CBH DO RIO PARANAÍBA, 2012).

Devido à sua vocação agrícola, trata-se de uma bacia extremamente importante para o Distrito Federal, sendo responsável por boa parte da produção hortifrutigranjeira da região (SOUZA, 2005), além de ser o principal manancial que abastece a população de Planaltina/DF. Por esses motivos, a bacia hoje é integrante de programas governamentais, tais como o Produtor de Água da Agência Nacional de Águas (ANA) e o HELP/PHI, da Unesco. Esses visam promover o uso sustentável dos recursos hídricos e a conservação de água e solo (CAESB, 2001).

Uma solução para quantificar parte dos danos e da degradação ambiental advindo dos diferentes usos/manejos do solo em atividades agrícolas é o uso de variáveis ambientais simuladas, tais como: chuvas, infiltração e escoamento superficial. Hoje, com o avanço das tecnologias, estas variáveis são uma opção viável para o monitoramento ambiental, enquanto não existir uma base de estudos que contemple todas as bacias hidrográficas brasileiras. Desta forma, para se criar um banco de informações que disponibilize dados ao planejador para tomada de decisão deve se ter muito cuidado com extrapolação dos resultados (SHARPLEY, 1995).

Atualmente, o uso das ferramentas geotecnológicas permite integrar diversas variáveis ambientais, sejam elas modeladas matematicamente, coletadas *in situ* ou simulada. Com estes resultados, o gestor é capaz de implementar projetos e estudos aprofundados, que objetivem modelar, analisar e gerir as formas de uso dentro de uma bacia hidrográfica. Neste sentido, hoje a geotecnologia representa um dos grandes desafios para os Comitês de Bacia hidrográfica, ou seja, gerenciar as fontes de recursos hídricos, aumentar a quantidade e qualidade da água, reduzir as perdas, reduzir a contaminação pontual e difusa, seja ela orgânica e/ou bacteriológica, e, finalmente, aumentar a qualidade ambiental da unidade hidrográfica.

O uso de geotecnologia aplicada à gestão integrada de bacia hidrográfica no Brasil é pouco utilizado, principalmente quando se trata da gestão de dados de fontes de poluição difusa, ou seja, oriundos de amostra do escoamento superficial simulado, isto quando considerado que, a maior parte das pesquisas desenvolvidas integra principalmente dados provenientes de análise de fertilidade, físico - química do solo e dados pluviométricos na elaboração de mapas de contorno.

Neste sentido, o presente trabalho foi desenvolvido sob a hipótese de que a contaminação de uma bacia hidrográfica está relacionada diretamente com as alterações antrópicas, principalmente em decorrência dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica, o que modificam significativamente a característica físico-química do solo, com aumento do fluxo de sedimentos e alteração da qualidade da água advindo do escoamento superficial. Deste modo, é necessária a contínua aplicação de métodos que permitam a análise da variável difusa, auxiliando na ação efetiva dos órgãos gestores, em especial dos comitês de gerenciamento de bacias hidrográficas.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo geral do projeto de pesquisa é determinar e analisar os níveis de contaminação do solo em função dos diferentes usos e cobertura do solo, por meio da quantificação e qualificação do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau/DF a partir de simulações realizadas com o *Infiltrômetro de Cornell*.

Objetivos Específicos

Para tanto, deve-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Quantificar e analisar a infiltração e o escoamento superficial em diferentes pontos da bacia em função da declividade, tipo de solo e dos diferentes usos e cobertura do solo da bacia;
- Quantificar e analisar as variações físico-químicas e bacteriológicas da água originada do escoamento superficial simulado em função do tipo de solo e dos diferentes usos e cobertura do solo da bacia.

- Comparar estatisticamente as médias das concentrações dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água do escoamento superficial simulado em função dos tipos de solos e diferentes usos e cobertura do solo da bacia.
- Analisar a distribuição espacial dos parâmetros analisados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é um processo dinâmico que representa os diferentes caminhos que a água pode percorrer e se transformar ao longo do tempo. Ele integra três partes do sistema que compõe a Terra: a atmosfera, onde é encontrada principalmente a água no estado gasoso; a hidrosfera, representando a água na fase líquida ou sólida na superfície do planeta; e a litosfera, abrangendo todos os tipos de águas subterrâneas (CHOW, 1964).

O ciclo hidrológico compreende desde a captação natural da água da precipitação, até a convergência dos escoamentos em um único ponto de saída, o exutório. A dinâmica dentro da bacia hidrográfica consiste na interação de elementos naturais e antrópicos, como cobertura vegetal, clima, pedologia, geomorfologia e uso do solo e cobertura vegetal. Esses elementos são fundamentais para a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico (BIAS et al., 2012).

A compreensão relativa dos processos hidrológicos é de fundamental importância em estudos ambientais, principalmente no que tange a gestão dos recursos hídricos e projetos de obras hidráulicas (ZANETTI et al., 2009).

Para Tundisi (2002), o ciclo hidrológico é o modelo pelo qual se representam a interdependência e o movimento contínuo da água nas fases sólida, líquida e gasosa, conforme representa a Figura 1.

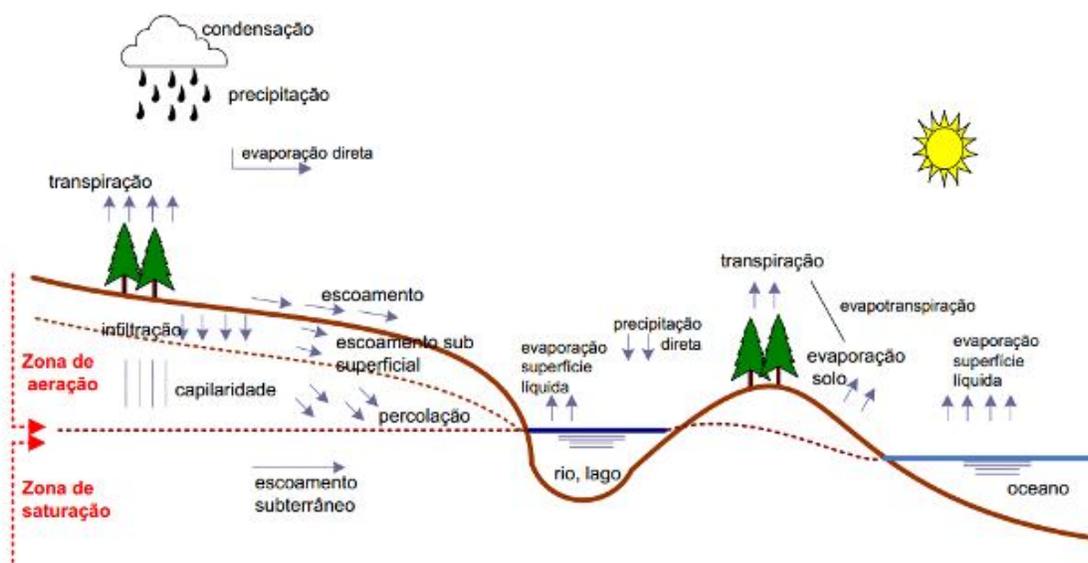


Figura 1: Representação do ciclo hidrológico.
Fonte: Tucci, 2000

Para Tucci e Clarke (1997), a variabilidade hidrológica é um processo estocástico no tempo e no espaço, em decorrência da combinação de fatores, como condições climáticas de precipitação, evapotranspiração, radiação solar, relevo, geologia, geomorfologia e solos, cobertura vegetal e uso do solo, e ações antrópicas sobre o sistema fluvial.

Segundo Andreoli et al. (2000), a água, por sua característica de solvente universal, desempenha um importante papel como elemento de ligação entre os compartimentos ambientais, refletindo na sua qualidade a forma como é usada.

Para Merten & Minella (2002), por meio do ciclo hidrológico, as chuvas precipitadas sobre as vertentes irão formar o deflúvio (escoamento) superficial que irá carrear sedimentos e poluentes para a rede de drenagem, sendo os cursos d'água um integralizador dos fenômenos decorrentes de suas vertentes, que podem ser mensurados pelos parâmetros de qualidade da água.

2.2 BACIA HIDROGRÁFICA

A Lei nº 9.433, de 1997, que trata da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), define a bacia hidrográfica como sendo uma unidade territorial para o planejamento ambiental, além de um instrumento relevante de gestão ambiental. Esta requer manejo adequado para que todos possam usufruí-la, de forma sustentável, e respeitando a naturalidade dos recursos fornecidos ao homem e seu melhor aproveitamento em benefício da sobrevivência dos espécimes e de suas associações biológicas (MACHADO, 2003).

Para Porto & Porto (2008), a bacia hidrográfica pode ser considerada um ente sistemático, onde se realizam balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água pelo exutório, permitindo a subdivisão de bacia em sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos.

Diversas abordagens podem ser consideradas na subdivisão da bacia a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas, sendo objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam em uma única saída (RENNÓ & SOARES, 2000).

Também a bacia hidrográfica pode funcionar como sistema integrado, em que as variações climáticas, a cobertura vegetal e a litologia são fatores que controlam a morfogênese das vertentes e, por sua vez, o tipo de carga detrítica fornecida aos rios. Os rios funcionam como canais de escoamento fazendo parte integrante do ciclo hidrológico e a sua alimentação se processa por meio das águas superficiais e das subterrâneas. O escoamento fluvial compreende, portanto, a quantidade total de água que alcança os cursos de água, incluindo o escoamento pluvial e a parcela das águas precipitadas que, só posteriormente, vai se juntar a eles por meio da infiltração, porém sem descartar as perdas devidas à evapotranspiração e o tamanho da área ocupada pela bacia (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Para Beskow et al. (2009), a estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas é de suma importância para a conservação dos recursos naturais, sendo de grande utilidade para o planejamento e a tomada de decisões no processo de ocupação ambiental.

Torres et al. (2008) propõem uma definição holística, que compreenda a bacia hidrográfica como unidade territorial onde funciona a combinação de um sistema hídrico que produz água, simultaneamente com subsistema econômico e social ativado pelo homem, a saber, o capital, o trabalho, e a tecnologia, que produzem bens e serviços agrícolas, pecuários, florestais e recreativos, principalmente pelas populações instaladas a jusante.

Uma bacia hidrográfica qualquer se constitui como a mais adequada unidade de planejamento para o uso e exploração dos recursos naturais, pois seus limites são considerados dentro do horizonte de planejamento humano, o que facilita o acompanhamento das alterações naturais ou introduzidas pelo homem na área. Assim, o disciplinamento do uso e da ocupação das terras da bacia hidrográfica é o meio mais eficiente de controle dos recursos hídricos que a integram (VAEZA et al., 2008).

Ainda sobre o controle hídrico, Araújo et al. (2009) relatam que, na América do Sul, as bacias hidrográficas têm sido consideravelmente alteradas nos últimos anos em função do desenvolvimento industrial, do crescimento desordenado das cidades e da superpopulação, além de diversas atividades antrópicas potencialmente impactantes que se instalam de forma não planejada, no interior das bacias.

2.3 MANEJO INTEGRADO DE BACIA HIDROGRÁFICA

Desde o início da década de 1990, conforme acentua Silva (1994), o manejo integrado em microbacias hidrográficas está sendo amplamente difundido, em nível internacional, como uma importante opção estratégica para o desenvolvimento rural.

Segundo Rowntree (1990), a bacia hidrográfica oferece excelente estrutura para manejo e planejamento dos recursos hídricos, integrando-se com o desenvolvimento de políticas ambientais, sociais e econômicas. Muitos modelos têm sido utilizados neste manejo integrado, como o desenvolvido por Hollingworth & Mullins (1995) na bacia hidrográfica do Rio Sabie, África do Sul. Por outro lado, Duda & El-Ashry (2000) afirmam que, apesar do termo “manejo integrado de bacias” ter sido idealizado como solução para problemas das bacias hidrográficas, muitos resultados têm sido desapontantes desde que ações de uso do solo e de biodiversidade não são integradas com as atividades dos setores de recursos hídricos.

Segundo Rocha (1997), o manejo de microbacias consiste na elaboração e aplicação de diagnósticos físico-conservacionistas, socioeconômico, ambiental, hídrico, edáfico, botânico e faunístico, a fim de identificar todos os problemas da bacia e propor soluções compatíveis com cada situação. Sobre isso, Rocha & Kurts (2001) explicam que, de acordo com os diagnósticos, são elaborados prognósticos que são indicadores para a melhoria de vida dos habitantes da área em estudo.

O diagnóstico é realizado com o objetivo de se conhecer os problemas que afetam uma população, através de observações, questionamentos, análises e interpretações dos recursos naturais renováveis com relação à qualidade de vida. O prognóstico é a previsão ou a suposição sobre o que deve acontecer em uma comunidade caso essa se submeta às recomendações técnicas de melhoria de vida, as quais são formuladas pela interpretação dos diagnósticos.

O monitoramento de bacias hidrográficas, por sua vez, pode fornecer indicadores de mudanças desejáveis ou indesejáveis que estejam ocorrendo com os recursos hídricos, como consequência de práticas de manejo. Também podem identificar várias práticas que prejudicam a sustentabilidade em uma bacia, podendo estas práticas ocorrer em diferentes escalas. Na escala micro, ou seja, na própria propriedade rural, a compactação, a destruição da matéria orgânica e a destruição da microbiologia do solo são alguns exemplos de consequências de práticas de manejo inadequadas que degradam, a qual influencia diretamente a infiltração de água no solo, sendo esta uma das variáveis mais importantes para a manutenção dos recursos hídricos. Em uma escala meso que é a própria escala da microbacia, podem-se exemplificar o traçado de estradas, que ao não se levar em consideração as características da bacia, constitui um foco permanente de erosão, degradando tanto o potencial produtivo do solo, como a qualidade da água superficial. Finalmente, em uma escala macro ou regional, um indicador de sustentabilidade dos recursos hídricos seria, por exemplo, a própria disponibilidade natural de água, a qual pode ser quantificada pelo balanço hídrico (LIMA, 2000).

2.4 USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL

Para Medeiros & Petta (2005), a preocupação, cada vez mais freqüente, sobre a forma e o tipo de ocupação do seu território tem feito crescer o interesse dos governos por estudos que abordem questões como: análises e interpretações do uso do solo e cobertura vegetal e da dinâmica geoambiental que colaboram, de maneira consistente, com o conhecimento aprofundado de uma região.

De acordo com Silva et al. (2005), o efeito da cobertura do solo sobre as perdas de água e solo pode ser explicado pela ação que a cobertura do solo tem em dissipar a energia cinética do impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação inicial das partículas de solo e, conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada; além disso, a cobertura do solo representa um obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial da água, ocasionando diminuição da velocidade e da capacidade de desagregação e transporte de sedimentos.

O tipo de cobertura superficial do solo é fator determinante no processo de infiltração, destacando a importância da manutenção da cobertura vegetal para a conservação do solo e recursos hídricos. A cobertura vegetal é responsável pelo aumento da macro porosidade da camada superficial, aumentando a condutividade hidráulica do solo. A referida cobertura também protege os agregados do impacto direto das gotas de chuva, reduzindo assim o encrostamento superficial. Desta forma a cobertura vegetal é capaz de manter altas taxas de infiltração e diminuir perdas de água e solo (BRANDÃO et al., 2006). De acordo com Pruski et al. (2003), todos os fatores que influenciam a taxa de infiltração da água no solo interferem, também, no escoamento superficial.

Citando Kemerich et al. (2013), o aumento da população induz uma grande demanda de técnicas que visam suprir as necessidades proporcionadas pela sociedade no meio ambiente. Com isso, a adesão de novas tecnologias de plantio ou de melhoramento genético de plantas e animais torna-se uma alternativa necessária, porém juntamente com esse avanço, os níveis de produtos químicos, orgânicos e indivíduos aumentam por unidade de área, modificando a qualidade ambiental destas áreas.

Técnicas rudimentares de cultivo utilizadas em solo ao longo de muito tempo podem provocar alta taxa de degradação, principalmente de suas propriedades físico-químicas. Nesse contexto, a erosão hídrica é o fator que mais contribui para a degradação dos solos, sendo influenciada por vários fatores, dentre eles destacam-se a topografia, a vegetação, o uso e manejo do solo e, principalmente, a precipitação pluviométrica. Estas condições propiciam o arraste e transporte de nutrientes juntamente com os sedimentos durante o escoamento superficial, além de representarem perda econômica por se tornar uma fonte gradativa de poluição ambiental (KEMERICH et al, 2013).

Em geral, as culturas agrícolas demandam por certa quantidade de fósforo, contudo são aplicadas quantidades muito maiores do que aquelas de que realmente necessitam (Cunha et al., 2010), por aporte externo de insumos, em quantidades cada vez maiores devido à atual e futura demanda de alimentos, fibra e energia (BERTOL et al., 2004; BARBOSA et al., 2009). O excedente desse elemento aplicado ao solo passa a constituir uma das principais formas de contaminação dos recursos hídricos em pequenas bacias hidrográficas, devido a facilidade de transporte de sedimentos advindos do escoamento superficial em atividades agrícolas (SHARPLEY et al., 1994; SANTOS et al., 2010).

O uso e manejo inadequados das terras e a falta de ações conservacionistas implicam em perdas significativas de solo, matéria orgânica, nutrientes, biodiversidade, perdas com enchentes e, em especial, de água, prejudicando o equilíbrio dos sistemas hídricos em bacias hidrográficas (VAEZA et al., 2010).

Merten & Minella (2002) reforçam que a contaminação causada pela agricultura pode ocorrer de forma pontual ou difusa. A poluição pontual refere-se, por exemplo, à contaminação por lançamento de esgoto doméstico em corpos hídricos, onde grande parte dos efluentes gerados pela população é lançada *in natura* no solo e água. Já uma característica dos poluentes difusos é que não há controle sobre eles e que, normalmente, são oriundos principalmente do deflúvio superficial, da lixiviação e do fluxo de macroporos que, por sua vez, estão relacionados diretamente com as propriedades do solo, como a infiltração e a porosidade.

Outra fonte importante de contaminação das águas refere-se à poluição causada pelas atividades de pecuária em sistemas de confinamento, como a suinocultura, a pecuária de leite e a avicultura que, a utilização de dejetos oriundos de atividades de suinocultura, pecuária e avicultura, como fertilizantes orgânicos, também pode contribuir para a contaminação dos recursos hídricos se as quantidades aplicadas forem superiores à capacidade do solo e das plantas absorverem os nutrientes presentes nesses resíduos (POTE et al. (1999).

Já para Tucci (2006), a cobertura vegetal possui uma função reguladora do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica. E ela atua no fluxo do volume de água, demonstrando a importância da interface solo-vegetação-atmosfera. Esse fato favorece a perda de água por evapotranspiração, maior infiltração e interceptação das gotas de chuva, aspectos estes, que reduzem o fenômeno do *splash* e do escoamento superficial. Um solo exposto, normalmente, não é capaz de retardar o escoamento superficial e, comparativamente a um solo coberto, é menos permeável, favorecendo a erosão acelerada (MAGALHÃES, 1989)

Para Netto et al. (2012), as conseqüências negativas do rápido processo de urbanização e adensamento demográfico trazem desequilíbrios significativos nas relações entre sociedade e natureza, tendo como efeito mais marcante a degradação ambiental e a ampliação das desigualdades sociais. Essas, por sua vez, refletem em inúmeros problemas relacionados aos recursos naturais e à má qualidade de vida da população.

A delimitação dos sistemas ambientais, suas potencialidades e limitações, bem como a identificação das principais formas de uso do solo e cobertura vegetal do solo, buscam entender não só como se deu o processo de ocupação mais, principalmente, compreender quais as conseqüências negativas que pode acarretar para o meio ambiente.

2.5 SOLOS

É conceituado como um conjunto de corpos naturais de constituintes minerais e/ou orgânicos inconsolidados na superfície da Terra (CURI, 1993; OLIVEIRA, 2011), formando um sistema complexo responsável por funções ecológicas de sustentação de formações florestais, de oferta de água e nutrientes (SCHAEFER et. al., 2012) e de proliferação de inúmeras populações de organismos vivos de diversos tamanhos (ASSAD, 1997).

As características físicas do solo, como textura, porosidade, estrutura e profundidade, influenciam diretamente na capacidade de infiltração da água da chuva e na velocidade do escoamento superficial, afetando os processos erosivos (BELTRAME, 1994). A textura de um solo compreende o tamanho das partículas que o compõem, ou seja, a facilidade ou não de alguns grãos serem removidos em relação a outros. Esta característica está associada à permeabilidade da água, à resistência à erosão e às condições ao desenvolvimento de raízes das plantas, assim como à porosidade – que é a proporção de espaços ocupados pelos fluídos em relação ao espaço ocupado pela massa do solo (SILVA et. al., 2007).

De acordo com o *Natural Resources Conservation Service* – (NRCS), os componentes de uma mesma unidade de solos com características físicas semelhantes tenderão a se comportar de maneira similar em relação ao escoamento superficial quando expostos à determinada precipitação.

Em estudos realizados por Sartori (2004), no qual utilizou a mesma classificação proposta pela NRCS (1997), ou seja, a divisão dos solos em quatro grupos hidrológicos (A, B, C, D), onde foram determinados conforme a transmissão da água pela camada de solo com a menor condutividade hidráulica saturada e a profundidade de qualquer camada de acordo com profundidade, além de levar em consideração a taxa de percolação de água, textura, quantidade de matéria orgânica e grau de inchamento quando saturados.

Assim, os solos hidrológicamente podem ser classificados como:

Grupo A: Compreende os solos com baixo potencial de escoamento, contendo alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, constituídos principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados. Estes solos têm uma alta taxa de transmissão de água.

Grupo B: Compreende os solos contendo moderada taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa. Estes solos possuem uma moderada taxa de transmissão de água.

Grupo C: Compreende os solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração. Estes solos têm uma baixa taxa de transmissão de água.

Grupo D: Compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão. Pertencem a este grupo, solos com uma grande permanência do lençol freático, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. Estes solos têm uma taxa muito baixa de transmissão de água.

2.6 INFILTRAÇÃO

Cogo et al. (1984) afirmam que a cobertura do solo, associada ao seu manejo, são importantes fatores que influencia a taxa de infiltração e o escoamento superficial da água da chuva, isto ocorre devido a possibilidade de selamento dos poros principalmente na superfície em que os solos estão descobertos ou compactados.

Percebe-se assim que o conhecimento da dinâmica da água no solo está diretamente relacionado com o tipo de produção, tornando-se fundamental para decisões sobre o uso e manejo dos solos (CALHEIROS et al., 2009).

A taxa de infiltração de água no solo (TI) é um importante parâmetro para avaliar a qualidade física do solo, devido à integralização de características como estabilidade de agregados, selamento superficial, distribuição e tamanho de poros (REICHERT et al., 2009).

Segundo Bias et al. (2012), os outros dois fatores que possuem relação direta com o processo de infiltração de águas superficiais são o tipo de solo e a geomorfologia de uma bacia hidrográfica. A declividade do terreno relacionada com o comprimento de rampa pode aumentar ou diminuir o volume de água infiltrada no solo, pois, quanto maior for o declive e o comprimento da rampa, mais volumosas se tornam as águas e, progressivamente, maior será a velocidade de escoamento. Disso resulta em maior energia e se traduz em maior erosão.

À medida que o uso e ocupação na bacia aumentam, verifica-se um expressivo aumento das áreas impermeabilizadas, com isso ocorre redução das áreas de infiltração, aumento do volume e velocidade de escoamento superficial, e esse aumento gera problemas de drenagem, como é o caso de enchentes (VAEZA et al., 2008).

Rawls et al. (1996) acredita que o processo de infiltração de água no solo se torna um fenômeno muito difícil de modelar porque depende das características físico-química do solo, da superfície topográfica e do tipo de manejo a qual o solo está submetido.

Esses fatores exercem forte influência sobre a condutividade hidráulica, que é uma das mais importantes propriedades do meio poroso relacionadas com o movimento de água no solo. Essa relação torna o processo de infiltração diretamente proporcional à magnitude de condutividade hidráulica (NETTO, 2011).

A infiltração de água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical de água da superfície do solo. Durante uma chuva natural, parte da água evapora, outra infiltra no solo e uma terceira parte escoia superficialmente, podendo causar erosão. Portanto, quanto maior a infiltração de água no solo menor é a probabilidade de ocorrência de erosão (LIBARDI, 1995).

Por ser um fenômeno de superfície, a infiltração é influenciada pelo preparo do solo, o qual exerce um efeito temporário ao deixar o solo solto, aumentando a infiltração. Entretanto, as plantas promovem a cobertura permanente do solo, por meio de sua parte aérea (viva) ou de seus resíduos vegetais (cobertura morta ou palha).

As raízes vivas são responsáveis pelos efeitos benéficos e manutenção da qualidade física, química e biológica do solo, por outro lado, a chuva e o vento atuam na superfície do solo, reduzem a taxa de infiltração. O fator mais importante na taxa de infiltração é a cobertura vegetal que está no solo durante a chuva.

As chuvas de elevada intensidade, ocorridas em situações em que o solo não está protegido pela cobertura vegetal ou pela cobertura morta, promovem compressão pelo impacto das gotas de chuva, e a infiltração torna-se reduzida; porém, em condições de adequada cobertura superficial, o efeito é amenizado (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Segundo Pott & de Maria (2003), vários fatores condicionam o movimento de água no solo, os quais têm sido relatados por diversos autores, a saber: Perroux e White (1988) referindo-se à porosidade; Everts & Kanwar (1992), em estudos sobre a densidade do solo; Sales et al. (1999), sobre a cobertura do solo; Roth et al. (1985), Sidiras & Roth (1987), tratando da textura e do grau de agregação do solo; Bertoni & Lombardi Neto (1990), sobre o selamento superficial; Reichert et al. (1992), Chaves et al. (1993), em relação à umidade inicial; Araújo Filho & Ribeiro (1996), falando sobre a matéria orgânica; a estrutura e a variabilidade espacial do terreno, Klar, 1984.

Segundo Libardi (2000), a quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo caracteriza a taxa de infiltração, que pode ser expressa graficamente através da relação entre a taxa de infiltração com o tempo a partir de uma superfície saturada. Normalmente o processo de infiltração é um fenômeno desacelerado, que se inicia com uma velocidade alta e tende a atingir um valor final constante, denominado de capacidade de infiltração. Nessas condições, quando a taxa de infiltração é praticamente constante, Reichardt (1996) utiliza o termo infiltração básica.

Pode-se determinar a taxa de infiltração de água no solo por diferentes métodos, como: infiltrômetro de duplo anéis concêntricos, simulador de chuva (PRUSKI et al., 1997; BERNARDO et al., 2006; BRANDÃO et al., 2006), infiltrômetro de tensão, permeâmetro e/ou infiltrômetro de pressão (POTT et al., 2003).

Estudos revelam que os valores da capacidade de infiltração do solo, quando determinada pelo método de duplos anéis concêntricos, são sempre maiores que os estimados pelo método de simulação de chuvas. Os testes comparativos de infiltração com anéis concêntricos e o simulador de chuvas, realizados por Costa et al. (1999), demonstram que o método dos anéis superestimam os valores de infiltração quando comparado ao método de simulação, conforme pode ser observado nas curvas de capacidade de infiltração determinadas pelos dois métodos na Figura 2.

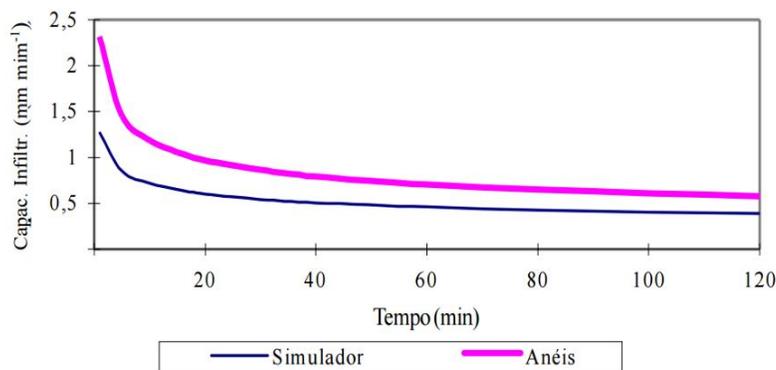


Figura 2: Curvas de capacidade de infiltração determinadas pelo simulador de chuvas e pelos anéis concêntricos para LRd – Lavras, 1996.
Fonte: Costa et al., 1999.

O uso de métodos que não consideram o impacto das gotas de chuva pode ocasionar superestimação dos valores de infiltração de água no solo, gerando problemas no dimensionamento de projetos de irrigação e drenagem, subdimensionamento de projetos conservacionistas, resultando em problemas com a erosão do solo (POTT et al., 2003).

Também avaliando métodos para determinação da infiltração, Zwirter et al. (2013) comparou o método dos anéis concêntricos e método de *Cornell Sprinkle Infiltrometer* em diferentes usos, ou seja, sistema de plantio direto (A) e pastagem perene cultivada (B) em um Latossolo Vermelho Aluminoférrico, os resultados desta comparação estão apresentados na Figura 3.

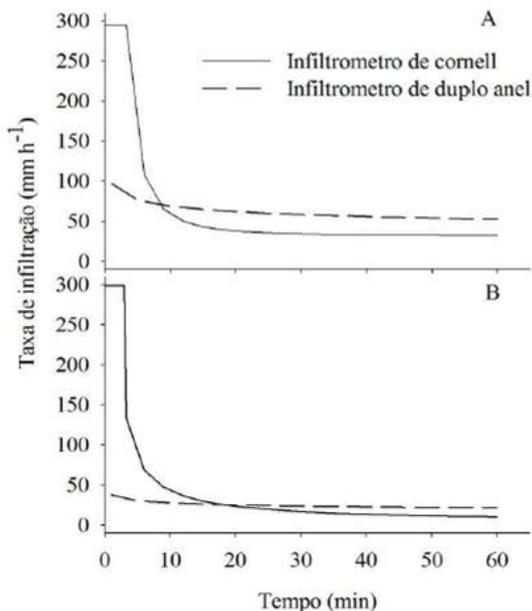


Figura 3: Comparação da taxa de infiltração de água no solo estimada para área manejada sob sistema de plantio direto (A) e pastagem perene cultivada (B) em Latossolo Vermelho Alumino férrico.

Fonte: Zwirtes et al., (2013).

A seleção do método para determinação da Taxa de Infiltração (TI) depende do tipo de resposta que se pretende obter em campo, por exemplo, para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão é recomendado o uso de simuladores de chuva (BOWER, 1986).

2.7 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial é uma das fases do ciclo hidrológico e consiste no deslocamento da água sobre a superfície do solo, ocorrendo quando a água originada de uma chuva intensa escoar livremente sobre a superfície do solo, drenada por forças gravitacionais (PRUSKI et al., 2003). Esse escoamento superficial é influenciado pelas propriedades hidráulicas do solo, material de origem e condições de compactação. Solos com maiores condições de compactação apresentam maiores taxas de escoamento (KEMERICH et al, 2013).

Diversos autores, como Bertol et al., (1989), Silva et al., (2001), Tucci, (2002), descrevem os tipos de fatores que podem influenciar na quantidade do escoamento superficial, tais como, fatores climáticos: intensidade da chuva, duração da chuva e chuva antecedente; e fatores fisiográficos: área da bacia, forma da bacia, permeabilidade do solo e topografia. A vegetação influencia diretamente no escoamento superficial. Quanto menor a cobertura vegetal, maior o escoamento (BRUIJNZEEL, 1996).

Com o aumento da intensidade, duração da precipitação e da área abrangida pela precipitação, o escoamento superficial tende a aumentar (PRUSKI et al., 2003). Os valores máximos de escoamento superficiais estimados em uma bacia hidrográfica são necessários tanto para ocupação agrícola como para ocupação urbana (BONTA & RAO, 1992).

Um dos processos que provocam a erosão hídrica é o escoamento superficial. Este gera o transporte de partículas do solo em suspensão, matéria orgânica, fertilizantes químicos, sementes e agrotóxicos, que provocam prejuízos à produção agrícola e pode causar poluição dos cursos d'água (BRAGA, 2000). Essa perda de água e solo nas bacias, de acordo com Zanetti et al. (2012), pode provocar enchentes nas épocas chuvosas e escassez de água em períodos de estiagem, causando grandes impactos negativos, tanto na zona rural como na urbana.

Por isso, tornam-se importantes os estudos e acompanhamentos de vazões superficiais em bacias hidrográficas no sistema agrícola. O Método Curve Number (CN), permite estimar a lâmina de escoamento superficial (volume de escoamento por unidade de área). O método foi desenvolvido pelo Soil Conservation Service (1972), vinculado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA), estima a lâmina escoada com base no CN, onde cada bacia apresenta características particulares de uso e manejo da terra, condição hidrológica e umidade antecedente que culminam em apresentar um comportamento não linear específico da capacidade máxima de infiltração (PRUSKI et al., 2003).

Kemerich et al (2013) estimaram o escoamento superficial por meio de chuva simulada, bem como analisou a qualidade da água escoada em diversos pontos da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim – RS. Ele concluiu que há alteração nas propriedades físicas e químicas da água escoada nos diferentes usos do solo, o que resulta em prejuízos ao meio ambiente ou ainda aos sistemas de cultivo em uma escala de tempo.

Existe uma demanda por estudos e métodos que permitam estimar o volume e a vazão máxima de escoamento superficial em bacias hidrográficas, que considere os efeitos dos diversos fatores que interferem no processo de produção de escoamento. Outro fator que deve ser considerado é que os métodos desenvolvidos em outros países apresentam limitações quanto a sua aplicação nas condições edafoclimática do Brasil (ZANETTI et al., 2009).

2.8 CONTAMINAÇÃO

A poluição dos cursos d'águas em bacias hidrográficas tem, como origem, diversas fontes, dentre as quais se destacam: efluentes domésticos, efluentes industriais, carga difusa oriunda de áreas urbana e agrícola (CETESB, 2005).

Conforme Braga et al. (2002), o conceito de poluição da água tem-se tornado cada vez mais amplo em função de maiores exigências com relação à conservação e ao uso racional dos recursos hídricos. Isso pode ser observado na Figura 4 que ilustra as mais variadas atividades de usos dentro de uma bacia hidrográfica, sejam de ação natural ou antrópica.

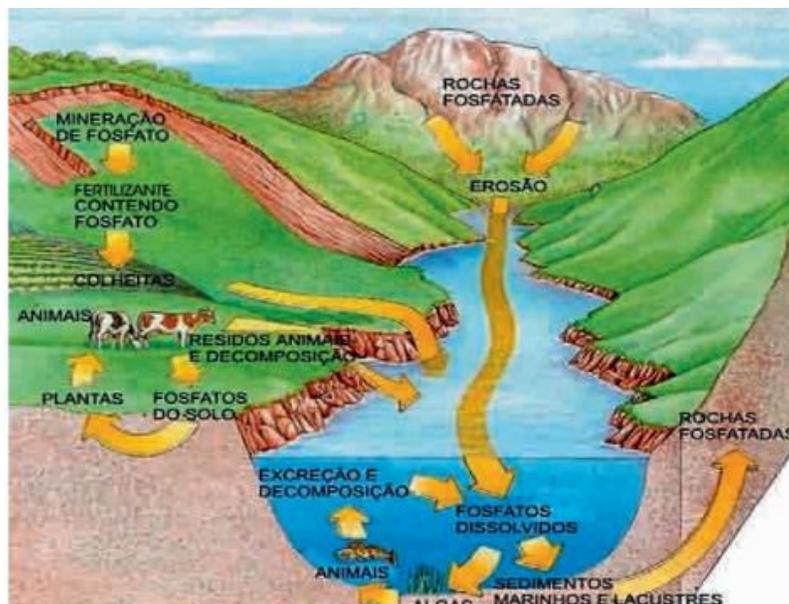


Figura 4: Bacias hidrográficas como “coletoras de eventos” das atividades humanas e naturais
 Fonte: Raven et al. (1998, segundo Tundisi, J. G. & Tundisi, M. T., 2008).

As cargas pontuais de nutrientes estão associadas a qualquer meio perceptível, confinado ou desviado de transporte de poluentes – especialmente de águas residuárias domésticas e industriais – para as águas superficiais. Diferente destas, as cargas difusas de nutrientes são aquelas geradas em áreas extensas e que, associadas às precipitações pluviais, chegam às águas superficiais de forma intermitente, em especial a partir de áreas rurais. A poluição por cargas difusas de nutrientes pode ter natureza urbana, rural ou atmosférica (MANSOR et al., 2006).

Dentre as formas de transporte, o escoamento superficial vem sendo estudado como o meio de transporte massivo e de velocidade, que muitas vezes, com um simples evento de chuva intensa, é suficiente para atingir o nível de dano estabelecido para os recursos hídricos de uma região, principalmente pelo arraste de fósforo (SHARPLEY, 1995 SHIGAKI et al., (2007)).

O transporte de fósforo em superfície é um exemplo de poluição difusa e pode ocorrer através da ação da água da chuva, pela desagregação e dissolução das partículas do solo e dos resíduos vegetais (SHARPLEY, 1985) e com isso há uma interação com uma fina camada da superfície do solo, antes de transformar-se em escoamento superficial. Os solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica são mais facilmente desagregados pelo impacto da gota da chuva (*splash*), que promove o selamento da camada superficial do solo, potencializando o escoamento superficial (REICHERT, 1988).

Nessa etapa, o teor de umidade do solo, no momento da precipitação, é determinante para a desagregação de suas partículas. O transporte de grandes quantidades de sedimentos, matéria orgânica e insumos agrícolas para o leito dos cursos da água no período chuvoso, contribuindo significativamente com o aumento da concentração de sólidos e nutrientes na água dos mananciais. Outro tipo de contaminante que pode ser transportado para os leitos dos mananciais são os coliformes, como já observado por Gonçalves et al. (2005).

Para Merten & Minella (2002), existe sim grande possibilidade de degradação de mananciais e corpos hídricos, proveniente do deflúvio superficial agrícola, isso ocorre, principalmente, devido ao aumento da atividade primária das plantas e algas em decorrência do aporte de nitrogênio e fósforo proveniente das lavouras e da produção animal em regime confinado.

Segundo Gburek & Sharpley (1997), os poluentes resultantes do deflúvio superficial agrícola são constituídos de sedimentos, nutrientes, agroquímicos e dejetos animais. Para as condições brasileiras, não se tem quantificado o quanto esses poluentes contribuem para a degradação dos recursos hídricos. Nos Estados Unidos, no entanto, admite-se que 50% e 60% da carga poluente que contamina os lagos e rios, respectivamente, são provenientes da agricultura (GBUREK & SHARPLEY, 1997).

Neste contexto, destacam-se os modelos empregados na produção de proteína animal em forma de carne, leite e ovos, principalmente, estão na maioria das vezes, focados aos produtos nobres, restando aos produtos classificados como resíduos (dejetos, camas, restos de alimentação ou colheita) a má utilização ou disposição inadequada, acarretando o aumento do impacto ambiental e a diminuição a lucratividade nas unidades produtoras (LUCAS JÚNIOR & AMORIM, 2005).

Dentre os contaminantes orgânicos ressalta-se o fósforo, que nas áreas agrícolas têm sua origem nos dejetos produzidos pelos sistemas que envolvem confinamento de animais e nas áreas de cultivo em que é aplicado fertilizante químico ou orgânico, em doses superiores àquelas que as plantas são capazes de absorver. A maior parte do fósforo removido das áreas agrícolas é transferida para os corpos d'água através do escoamento superficial, na forma particulada e solúvel (DILS & HEATHWAITE, 1996).

Apesar da maior quantidade de fósforo carregado pela erosão hídrica estar presente nos sedimentos, arrastados ou em suspensão no fluxo de água, Gérard-Marchant et al. (2005) & Barbosa et al. (2009) concluem que este rapidamente se deposita no solo, principalmente ao longo de declividades baixas, o que pode reduzir o risco de causar impacto no seu local de origem, contudo contribuindo de forma difusa para degradação da bacia (MC ISAAC et al, 1995). Em áreas agrícolas, devido ao uso de fertilizantes, o fósforo e o nitrogênio são os que mais preocupam, pois, quando aplicados acima da capacidade de absorção da cultura e fora da região de alcance das raízes, podem causar degradação das águas subterrâneas e eutrofização de corpos de águas superficiais (NETTO, 2007).

De acordo com Ceretta et al. (2005), o nitrogênio em suas formas nítricas como fonte de poluição difusa, especialmente o nitrato que, ao contrário de suas formas amoniacais que são transportadas pelos sedimentos, apresenta dificuldades para ser fixado às partículas do solo e permanece dissolvido, podendo ser facilmente lixiviado ou transportado pelo escoamento superficial. As perdas de nitrogênio por escoamento superficial podem ocorrer pelas altas quantidades aplicadas em áreas agrícolas, somada a relevos acidentados, ou mesmo pela ocorrência de precipitação em solos de pouca cobertura e baixa permeabilidade.

2.9 SIMULADORES DE CHUVA

A utilização de chuva simulada para estudo ambiental já vem sendo praticada e difundida há algum tempo principalmente baseado nos trabalhos de Laflen & Tabatabai, (1984); Pote et al. (1999); Bundy et. al. (2001); Engel et al., (2009); Luciano et al., (2009), dentre outros. Vale ressaltar as principais vantagens, que são a possibilidade de controle sobre a repetição da precipitação “simulada” e controle nas variáveis aleatórias, tais como, tipo de solo, inclinação do terreno, exposição solar, dentre outras, que acabam por individualizar os dados e uma determinada bacia hidrográfica em comparação a outra (GEBLER, 2011).

O método de *Cornell Sprinkle Infiltrometer*, descrito por Van Es & Schindelbeck (2003), é um simulador portátil de chuva com volume de 20,6 litros, 69 tubos gotejadores na sua parte inferior, com diâmetros de 0,063 cm e 19 cm de comprimento cada um. Esse simulador é fixado sobre um cilindro de 24 cm de diâmetro e conta com um sistema de regulação de entrada de ar o qual permite simular diferentes intensidades de chuva. Segundo os autores, suas vantagens envolvem o baixo custo de aquisição, praticidade no transporte (Pequeno e Leve), avaliação rápida e determinada por uma única pessoa em campo, facilidade de calibração para diferentes usos e baixo consumo de água. O *Cornell Sprinkle Infiltrometer* permite trabalhar com diferentes intensidades de chuva Figura 5. Neste contexto alterando se a altura do tubo de entrada de ar (parte em contato com a água), em relação ao fundo do recipiente que acondiciona a água, força a entrada maior ou menor de ar ampliando ou diminuindo a velocidade do fluxo, conseqüentemente, a intensidade do gotejamento.

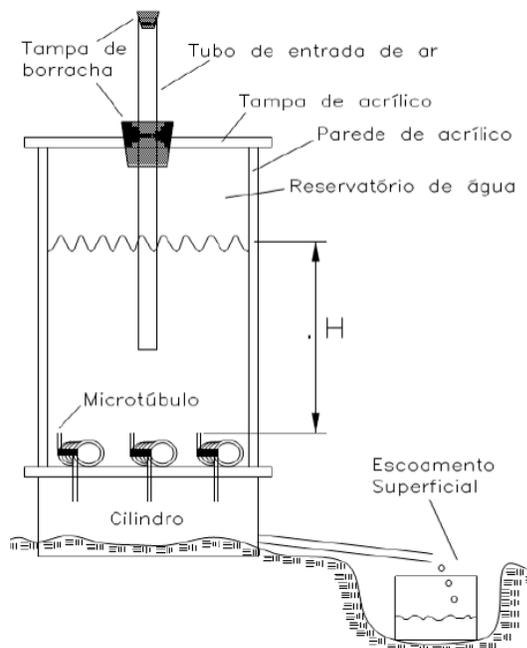


Figura 5: Vista esquemática de perfil do infiltrômetro de Cornell. H é a altura de carga medida durante os testes para controle da intensidade da chuva.

Fonte: Adaptado de Ogden, Van Es e Schindelbeck (1997); Kemerich et al, (2013).

Além da simulação das chuvas, outro fator discutido regulamente é a dimensão das parcelas a serem utilizadas durante as simulações, Hart et al. (2004) apontam que não há consenso entre o melhor ou pior teste quando aplicado em parcelas controladas, isso tanto faz, seja em áreas grandes ou pequenas.

Entretanto, afirmam que há concordância dos autores avaliados em sua pesquisa, de que os efeitos aleatórios do ambiente em macro - áreas tornam os resultados altamente individualizados.

Após a utilização do método de *Cornell Sprinkle Infiltrometer*, Kemerich et al, (2013) observaram que o parâmetro cor sofreu influência significativa no escoamento superficial, sendo que sua concentração apresentou gradativo aumento ao longo do teste, indicando que pode ocorrer grande perda de partículas e nutrientes do solo em função da taxa de escoamento superficial.

Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) citam experiências na África do Sul, onde 25,4 mm h-1 seriam chuvas consideradas com energia erosiva suficiente para provocar transporte de solo e, por extensão, o fósforo reativo nele contido.

Segundo ZWIRTES et, al. (2013), método de *Cornell Sprinkle Infiltrometer* simula uma chuva de alta intensidade e o escoamento superficial de água no solo (ES) sendo determinado a partir da coleta da água canalizada por uma mangueira instalada na parte inferior do anel.

Alternativamente, o método de *Cornell Sprinkle Infiltrometer* pode ser calibrado para um evento de recorrência conhecido para determinada área ou região do estudo (por exemplo, um evento de 1 hora, 50 anos etc.). Isto geralmente não irá assegurar padrão durante todas as medições, principalmente no caso em que em uma determinada localização a medição seja alta. Isso pode criar desafios ao tentar analisar os dados estatisticamente (VAN ES & SCHINDELBECK, 2003).

2.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA E ESPACIAL

É comum encontrar situações em que a aplicação de testes paramétricos não é possível ou torna-se muito complicado, seja pela falta de informações a respeito da forma da distribuição da população, seja pela dificuldade de obtenção de estimativas confiáveis dos parâmetros populacionais. Existem, ainda, casos em que os dados não são quantitativos e, sim, qualitativos, podendo-se apenas estabelecer uma ordem entre eles. Os métodos não paramétricos são relacionados ao desenvolvimento de procedimentos de inferência estatística que não fazem qualquer suposição explícita sobre a forma da distribuição dos dados. Portanto, para se trabalhar com os métodos não paramétricos as exigências são menores. O fato de as pressuposições para a realização dos testes não paramétricos serem fracas não significa que não haja pressuposições para a sua utilização. A estatística não paramétrica é ainda uma ferramenta muito útil na análise de dados quando as pressuposições do modelo não se verificam, ou seja, quando os dados provenientes de um experimento não possuem normalidade ou homogeneidade de variâncias. A estatística não paramétrica não deve ser olhada apenas como um caso especial de análise de dados, mas, sim, em conjunto de técnicas paramétricas visando confrontar ambas, buscando, em cada caso, a melhor maneira de se trabalhar com os dados experimentais (PONTES, 2000).

Conover & Iman (1981) fazem um apanhado geral sobre os procedimentos não paramétricos, tratando-os como procedimentos de transformação de postos de forma que os estudos de testes paramétricos e não paramétricos possam ser realizados de uma forma unificada, tornando possível aos iniciantes na estatística entender as similaridades e diferenças entre os dois tipos de análise.

Negrillo (1997) apresenta um modelo não paramétrico para a análise de experimentos em parcelas subdivididas, determinando testes assintóticos para a significância dos efeitos das parcelas, dos efeitos das subparcelas e das interações de parcelas e subparcelas, baseados na distribuição de qui-quadrado. Apresenta ainda teste para comparações múltiplas, tanto para as parcelas como para as subparcelas, baseados na aproximação do normal.

De acordo com Grego & Vieira (2005), com base em estudos publicados anteriormente, os valores de assimetria e curtose entre 0 e 3 indicam que a distribuição é normal, neste caso a variável pH, Fósforo total e Nitrogênio não atenderiam, como pode ser observado na Tabela 1. Esta determinação é importante uma vez que a normalidade possibilitar melhores resultados quando, no entanto, a normalidade não é impedimento para o uso das técnicas de geoestatística.

Tabela 1: Valores de assimetria e curtose das variáveis em estudo.

	Escoamento (mm/hr)	Infiltração (mm/hr)	Ph	Condutividade (μ S)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Coliforme Total (NMP/100ml)
Curtose	-0,4	-0,4	7,3	1,2	8,1	8,9	-1,9
Assimetria	-0,5	0,3	-2,8	1,5	2,7	2,0	-0,4

Além da assimetria e curtose, há outras formas de analisar a normalidade dos dados, ou seja, Shapiro-Wilk e de Anderson-Darlink, Jarque-Bera e um teste por quiquadrado (*chi-square*). Contudo, deve se ter cuidado com o tamanho amostral, sendo que esse teste aceita até o máximo de $n=5000$, enquanto o tamanho amostral mínimo é 3 (é claro que os testes terão poder muito pequeno para um n tão baixo). Essa análise baseia-se na condição se o p (normal) fornecido for menor do que 0.05, distribuição normal. Dos quatro testes fornecidos, os de Shapiro-Wilk e de Anderson-Darlink são considerados os mais exatos, e os outros dois testes (Jarque-Bera e um teste por quiquadrado (*chi-square*)) são fornecidos como referência (HAMMER, 2001).

Em se tratando dos testes de comparação múltipla, caso seja analisada mais de uma amostra, há uma correção de Bonferroni que pode ser apropriada. Já o teste de Shapiro-Wilk, Shapiro & Wilk (1965) retorna uma estatística de teste W , que é pequena para amostras não-normais, e um valor de p . A implementação é baseada no código padrão "AS R94" Royston (1995), corrigindo uma inacurácia para tamanhos amostrais grandes no algoritmo interior "AS 181".

Já a interpolação utilizando um Sistema de Informação Geográfica - SIG permite realizar uma estimativa dos valores em locais não mensurados em campo. A interpolação de dados espacial tem sido aplicada em diversas variáveis ambiental, tais como: estimativa de precipitação, temperatura, elevações de superfícies e também para estimativas de contornos entre dois locais medidos, (FARIA, 2012).

No presente estudo, a interpolação de dados foi aplicada com o propósito de conhecer a distribuição espacial dos parâmetros oriundo do escoamento superficial simulado, visando analisar a atual situação da qualidade da água do escoamento superficial na bacia do Ribeirão Pipiripau/DF.

Mehrjardi et al. (2008) utilizaram conceitos determinísticos e de geoestatística aplicando os métodos do Inverso do Quadrado da Distância (IDW), Krigagem e Cokrigagem para avaliar a qualidade de águas subterrâneas, no estudo de caso da planície de Yazd-Ardakan, localizada no norte da província de Yazd, no Irã. A seguir é apresentada uma descrição dos métodos de interpolação mais utilizados: IDW, Krigagem e Spline.

Segundo Longley (2005), o IDW é o interpolador espacial, sendo um dos métodos mais utilizados pelos especialistas em SIG. É, geralmente, utilizado quando o conjunto de pontos é denso o suficiente para capturar a extensão da variação de superfície para os locais necessários para a análise. Esse método consiste em uma técnica determinística de interpolação, ou seja, consiste na criação de uma superfície de análise com base em pontos medidos ou fórmulas matemáticas.

O método IDW determina valores de células usando um conjunto de combinações lineares, ponderando os pontos de amostragem e a distância entre eles. O peso atribuído às células é uma função da distância de uma célula de entrada e o local da célula de saída. Quanto maior a distância entre os valores, menor será a influência do valor de saída da célula (CHILDS, 2004). Já Longley (2005) afirma que a Krigagem é um dos métodos mais comuns de interpolação espacial, baseada em convincentes princípios teóricos. É um método estatístico de interpolação utilizado em diferentes áreas de atuação, como em ciências aplicadas à saúde, geoquímica e modelagem de poluição (aplicações em ciência do solo e geologia).

Este método assume que a direção ou a distância entre pontos de amostragem refletem a correlação espacial que pode ser explicado pela sua variação espacial na superfície. Assim, tem-se uma função para um determinado número de pontos ou de todos os pontos dentro de um raio específico a fim de determinar o valor de saída para cada local (CHILDS, 2004).

Entretanto, a Spline utiliza de duas funções matemáticas que auxilia na minimização da curvatura da superfície global, ou seja, existem duas variações para o método Spline: a regularizada e a tensão. Na regularizada tem-se a incorporação da primeira, segunda e terceira derivada nos cálculos realizados pelo método. Já na tensão, usa apenas a primeira e segunda derivada e inclui mais pontos no cálculo, o que normalmente cria superfícies mais lisas (CHILDS, 2004). Desta forma, os resultados obtidos são de uma superfície lisa que passa exatamente através dos pontos de entrada. Na figura 6, são apresentados os três métodos de interpolação descritos.

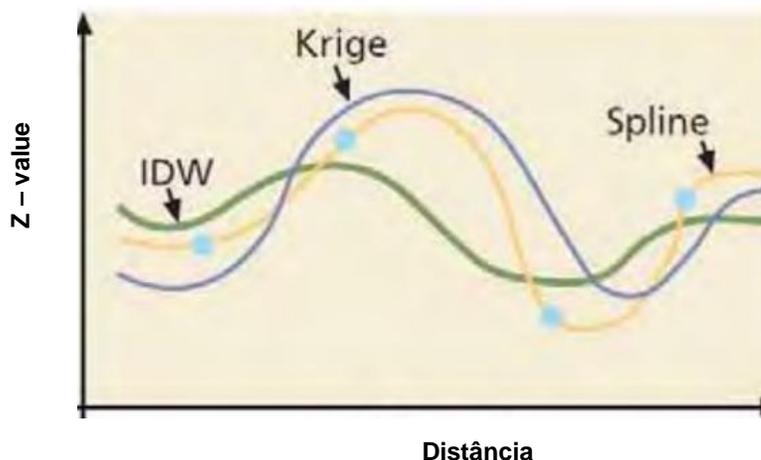


Figura 6: Métodos de Interpolação IDW, Krigagem e Spline.
 Fonte: Childs (2004); Faria, (2012)

2.11 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

O SIG é formado por ferramentas computacionais (programas) e procedimentos para coletar, ou captura, armazenar, manipular, modelar, analisar e visualizar dados, que representam fenômenos do mundo real (da superfície terrestre). Esta base de dados deve estar espacialmente referenciada em determinado sistema de coordenadas geodésicas e ligados a um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGDB), para solução de problemas complexos e multidisciplinares, fornecendo informação para a tomada de decisão em planejamento e gerência (BORROUGH & Mc DONNELL, 1998).

No início da década de 1990, as abordagens de espacialização geográfica, em específico na agricultura, tiveram maior atenção, com estudos que demonstraram que os SIG's e o Sensoriamento Remoto (SR) são ferramentas fundamentais para tomada de decisão, seja na esfera administrativa ou gerencial, tais ferramentas permitem a geração de mapas para avaliação espacial de qualquer tipo de atividade socioeconômica (SANO & ASSAD, 2003).

Segundo Araújo et al. (2005), um SIG deve operar como ferramenta de apoio e complemento aos programas de ação em monitoramento e gerenciamento da qualidade da água e dos recursos de saneamento ambiental.

As geotecnologias existentes utilizam-se de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas, e sua aplicação tem influenciado de maneira crescente na análise de recursos naturais, principalmente por se basear em tecnologias de custo relativamente baixo (CÂMARA E MEDEIROS, 1998).

Os procedimentos metodológicos, ao integrarem dados georreferenciados armazenados em SIG, possibilitaram explicar e visualizar relações espaciais em um mesmo sistema de referência e ofereceram facilidades e rapidez na análise ambiental e cruzamento da informação (ORIGE et al., 2015).

Lopes *et al.*, (2007) aplicaram técnicas de geoprocessamento, para identificação de áreas com potencial fornecimento de fósforo para os corpos de água utilizando a metodologia P-Index, com a finalidade de fornecer subsídios a gestão de mananciais de uma bacia hidrográfica.

O SIG permite o mapeamento da distribuição espacial dos teores de vários nutrientes do solo, além de construção de mapas indicativos das quantidades de nutrientes a se aplicar de forma a se atingir o nível de fertilidade pretendida, diminuindo o risco de carências ou aplicações excessivas (NUNES *et al.*, 2004).

Trabalhos como o de Bernardi *et al.* (2014) tratam da aplicação de ferramentas de SIG para análise da variabilidade espacial de parâmetros físico-químico do solo e biofísicos de superfície em cultivo do sorgo. Neste estudo foram amostrados 20 pontos georreferenciados dentro de uma área de 12 hectares de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico com textura média/argilosa. Em todos os pontos foi aferida a condutividade elétrica do solo antes do plantio do sorgo. Em seguida, com o auxílio da interpolação, os dados das propriedades químicas do solo foram interpolados pelo método do IDW. Após análise dos resultados, concluiu-se que a densidade de amostragem foi insuficiente para uma caracterização adequada da variabilidade espacial de parâmetros do solo.

Já Rodrigues (2002), em sua Dissertação de Mestrado, analisou a variabilidade espacial e correlações entre atributos de solo e produtividade na agricultura de precisão por meio de uma malha de 204 pontos distanciados de 60m entre si, onde foram analisados os seguintes elementos químicos: Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al). Alguns atributos de solo como Matéria Orgânica (MO), Potencial Hidrogeniônico (pH), e Acidez Potencial (H+Al) também foram determinados, e os atributos derivados desses resultados (Saturação por bases (V%), Soma de Bases (SB) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC)). Em seguida os dados foram submetidos à análise espacial com base em técnicas de geoestatística “krigagem”, o que possibilitou a interpolação dos dados e criação de mapas de atributos do solo. Desta forma conclui que dados de produtividade das culturas e de atributos do solo expressaram uma dependência espacial bastante consistente, abrangendo uma faixa de correlação com distâncias entre 30 e 40 metros.

3. ÁREA DE ESTUDO

O Ribeirão Pipiripau vem sofrendo danos ambientais contínuos em virtude dos diversos conflitos pelo uso da água, principalmente atrelado à captação desordenada das águas superficiais, o que pode comprometer o uso futuro de seus mananciais para abastecimento público e irrigação (CBH – Paranaíba, 2012).

Além de suprir a irrigação na bacia, o Ribeirão Pipiripau é o principal manancial de abastecimento público para a população da Cidade de Planaltina/DF, essas características peculiares o fizeram integrar o programa Produtor de Água da ANA, que visa promover o uso sustentável dos recursos hídricos e a conservação de água e solo (CAESB, 2001). Trata-se de uma bacia extremamente importante para o Distrito Federal, responsável por boa parte da produção hortifrutigranjeira do Distrito Federal (SOUZA, 2005).

A bacia do Ribeirão Pipiripau é integrante do Programa Produtor de Água, concebido pela ANA, em 2001, tem como objetivo a revitalização ambiental de bacias hidrográficas. As ações implementadas no âmbito do Programa incluem o reflorestamento de áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal, a adequação de estradas rurais e a conservação de solo e água em áreas produtivas, tais como lavouras e pastagens. Essas ações visam, sobretudo, favorecer a infiltração de água e a consequente alimentação do lençol freático, evitando também que a água de chuva se transforme em escoamento superficial, maior causador de erosão e assoreamento de corpos d'água em ambientes rurais (CAESB, 2001).

Localização

A bacia do Ribeirão Pipiripau localiza-se na parte Nordeste do Distrito Federal, limita-se ao sul e norte pelas coordenadas UTM 213.601 E / 8.264.250 N e 235.913 E / 8.289.742 N, respectivamente. Possui uma área de drenagem de 235 km², desta área aproximadamente 90% encontra-se dentro do DF, o que abarca grande parte da área rural da Cidade Satélite de Planaltina (Brasil, 2000), conforme representada na Figura 7. Destaca-se, que a pesquisa foi desenvolvida somente na porção que compreende o Distrito Federal, tendo em vista que a base de dados cartográfica do estado do Estado de Goiás é incompatível com a base cartográfica do DF, e a utilização dos dados acarretaria uma generalização da informação, o que causaria restrições ao estudo proposto.

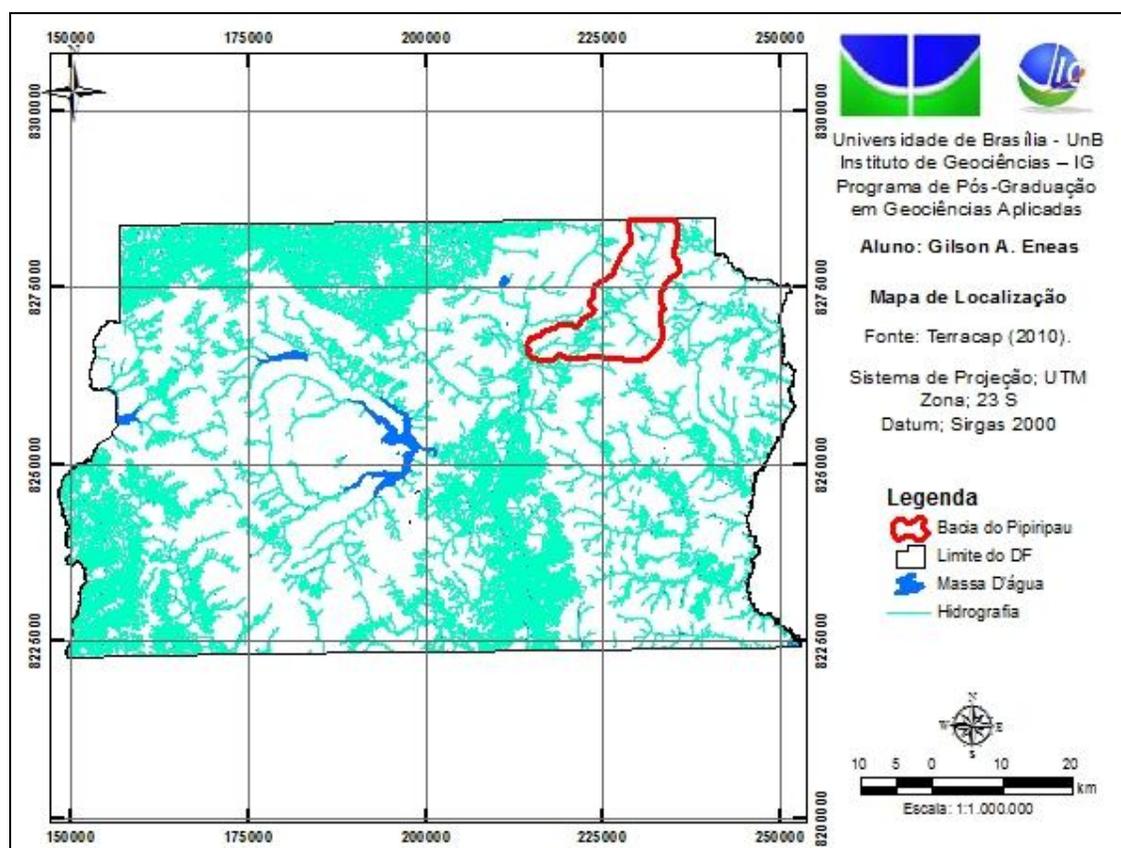


Figura 7: Localização da bacia do Pipiripau- DF.
 Fonte: Terracap, 2010.

Modelo Digital de Terreno - MDT

O Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizado para a representação espacial da variação altimétrica da bacia foi gerado por meio de técnica de interpolação a partir das curvas de nível com distância vertical de 5 metros e pontos cotados, na escala de 1:10.000 disponibilizados pela Agência de Desenvolvimento (TERRACAP, 2010), bem como a da rede de drenagem topologicamente consistida obtida pelo estudo de Soares Neto (2015).

A ferramenta *Topo To Raster*, disponível do ArcGis 10.2, foi utilizada para a geração do MDT com um pixel de 15 cm. Esta ferramenta foi projetada especificamente para a criação de MDT.

O MDT representa a altimetria da área da bacia e arredores, onde a altitude mínima encontrada foi de 893 metros e a altitude máxima chega a 1201 metros, Figura 8.

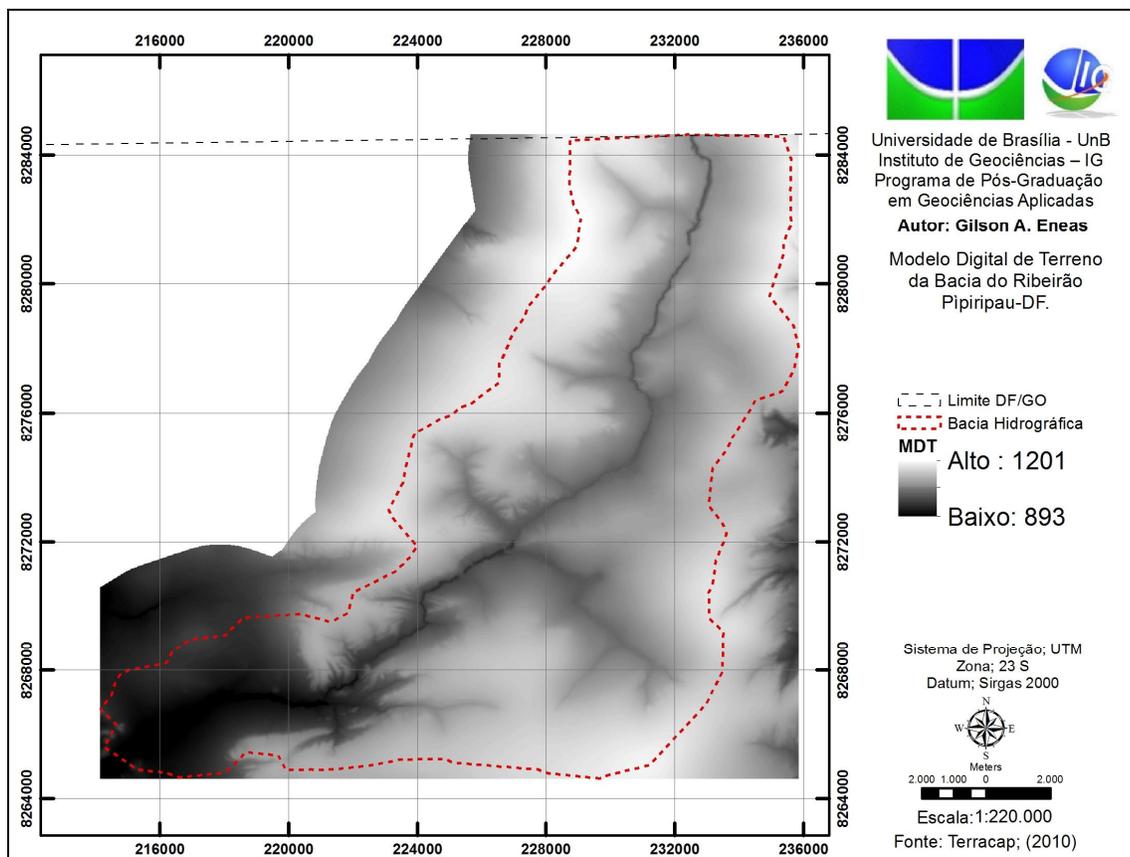


Figura 8: Modelo Digital do Terreno - MDT.
Fonte: Terracap, (2010).

Delimitação da bacia hidrográfica

O processo de delimitação automática da bacia do Ribeirão Pipiripau foi desenvolvido a partir de uma base em SIG com o uso de ferramentas ArcGIS (ESRI), esta última com algumas extensões (*plugins*) para automatizar a delimitação da bacia. Disponíveis no endereço eletrônico da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI): *Spatial Analyst e Hydrology Modeling*.

A metodologia utilizada nesse processo subdividiu-se em quatro etapas, sendo: preenchimento de depressões (“*fill sinks*”), direção de fluxo (“*flow direction*”), fluxo acumulado (“*flow accumulation*”) e delimitação de bacias (“*Watershed*”) Dias et al. (2004), conforme apresentados na Figura 9.



Figura 9: Fluxograma metodológico para delimitação da Bacia.

Após processamento dos dados de entrada apresentado no fluxograma, a delimitação da bacia é realizada de forma automática, conforme pode ser observado a vetorização na Figura 10.

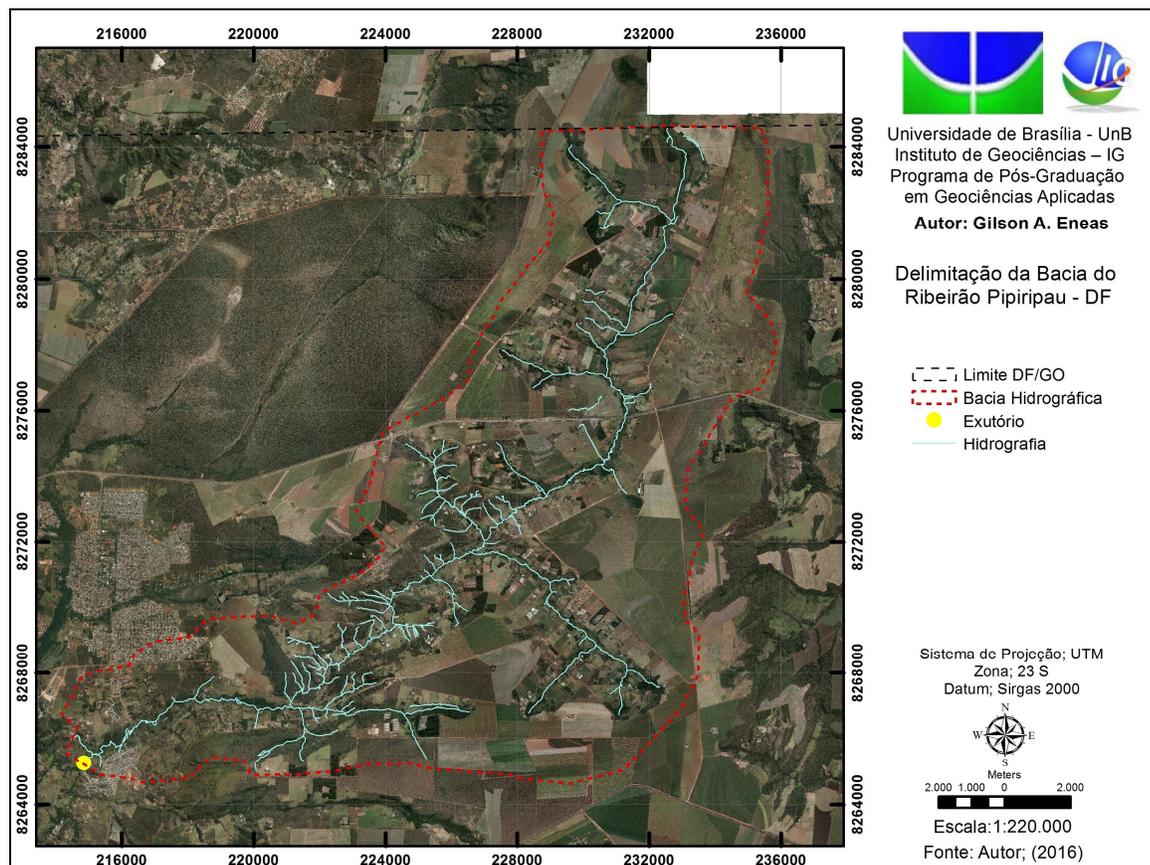


Figura 10: Delimitação da Bacia do Ribeirão Pipiripau - DF.
Fonte: Autor, (2016).

3.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA

Clima

De acordo com a classificação de Koppen CODEPLAN (1984), no Distrito Federal podem ocorrer, em função da altitude e variações de temperaturas médias, os seguintes tipos de clima: Tropical Aw, Tropical de Altitude Cwa e Tropical de Altitude Cwb.

O tipo de clima predominante na bacia do Ribeirão Pipiripau é o de estações Tropical de Altitude, com Temperatura nos meses mais frio (novembro a fevereiro), inferior a 18 °C e dos meses mais quente (maio a setembro), com inverno seco e de temperatura maiores que 22 °C – Cwa, Figura 11. É o mesmo que acomete em toda a região Centro-Oeste do Brasil e grande parte do estado de Goiás, ZEE, (2010).

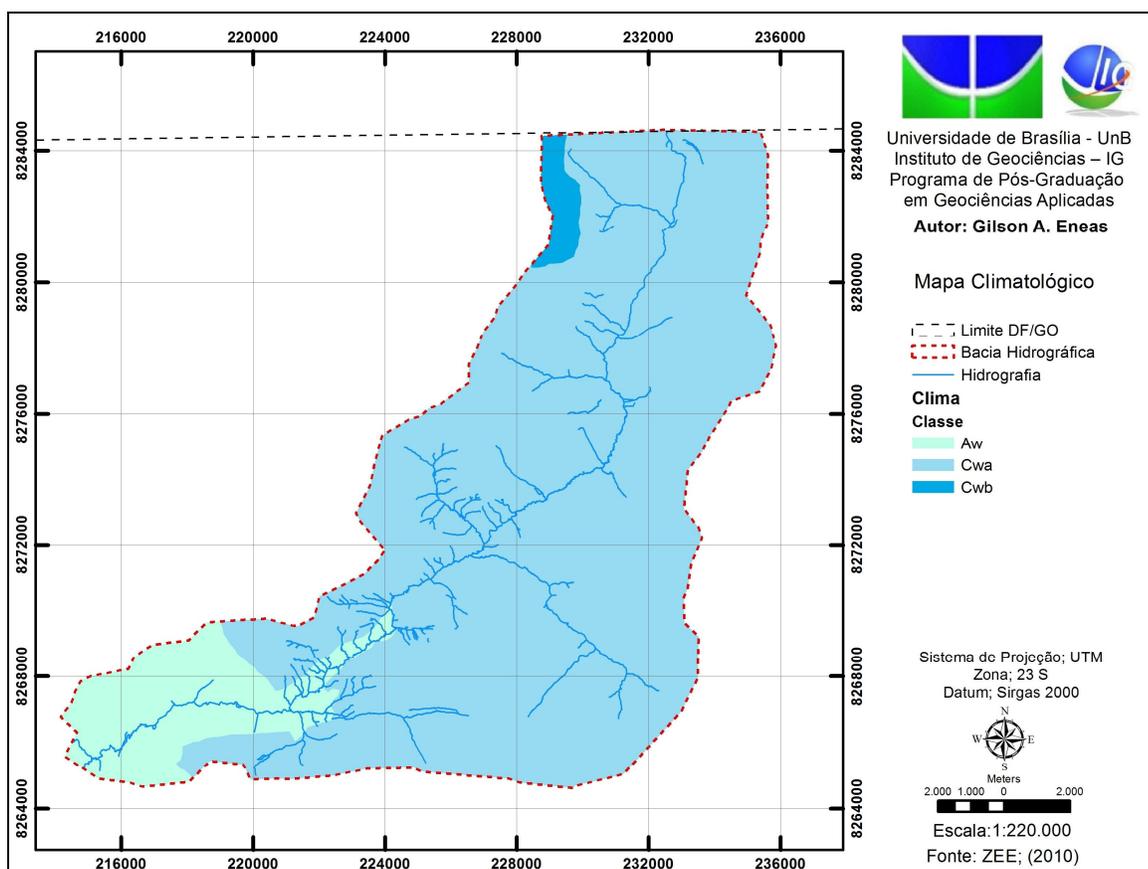


Figura 11: Mapa Climatológico da Bacia do Ribeirão Pipiripau-DF.
Fonte: ZEE, (2010).

A região do Pipiripau apresenta uma estação chuvosa do mês de outubro até abril, podendo ocorrer algumas precipitações na época seca, de maio a setembro. No período entre 1972 e 2004, a série temporal de precipitação na época seca registrada na estação Taquara (código 01547013) localizada dentro da bacia, apresentou o valor de precipitação média anual de 1.306mm, sendo considerada uma série estacionária de acordo com o teste de tendência (CHAVES & PIAU, 2008).

Geologia / Hidrogeologia

No Distrito Federal existem quatro conjuntos litológicos reconhecidos: Grupos Canastra, Paranoá, Araxá e Bambuí. A bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau está situada sobre duas dessas unidades estratigráficas, quais sejam Grupos Paranoá e Canastra, ambas de idade meso/proterozoica.

O Grupo Paranoá é formado por extensas unidades de metarritmitos originados de metassedimentos predominantemente finos e médios, distribuídos de maneira intercalada. O Grupo Canastra é representado por uma unidade constituída principalmente de filitos fortemente intemperizados, com lentes centimétricas e métricas de quartzitos. Estes quartzitos, quando na forma de lentes mais espessas, são responsáveis pela presença de relevo mais elevado (GONÇALVES, 2012).

Segundo Campos & Freitas Silva (1998), os aquíferos da bacia do Ribeirão Pipiripau se dividem em dois Domínios: o Poroso e o Fraturado. As classes dos principais aquíferos de domínio poroso e fraturado estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2: Descrição dos aquíferos domínios porosos e fraturado presentes na bacia do Pipiripau e suas principais características.

Aquífero (Sistema / Subsistema)	Principais Características
Aquíferos de Domínio Poroso	
P1	São associados aos Latossolos espessos (>20m) e alta condutividade hidráulica ($>10^{-6}$). Apresentam as melhores condições de infiltração e recarga.
P2	É representado pelos Nitossolos, Argissolos e Chernossolos de espessuras > que 5 metros. Tem importância local mediana.
P3	Gleissolos e Plintossolos com espessura > que 5 metros, baixa condutividade hidráulica e de pequena importância local
P4	Representado pelo Cambissolos, apresenta as piores condições de recarga, espessura > 2 metros e condutividade hidráulica muito baixa.
Aquíferos de Domínio Fraturado	
<i>Sistema Paranoá</i>	
Subsistema A	Ocupa regiões de vales, podendo ou não apresentar pequena ou alta condutividade hidráulica, a depender da espessura saturada.

Subsistema R3/Q3	Possui as melhores condições hidrodinâmicas e está localizado nas partes altas da região.
Subsistema R4	Encontra se em pequena faixa no próximo ao exutório da bacia, sendo média a importância hidrogeológica.
Aquíferos de Domínio Fraturado <i>Sistema Canastra</i>	
F	Ocupa uma pequena faixa na bacia próximo à área urbana de Planaltina, compõe a maior parte da área de ocorrência do Grupo Canastra no Distrito Federal, sendo litologicamente representado pelos filitos das formações Serra do Landim e Paracatu. A média das vazões é de 7.500 L/h, não sendo rara a incidência de poços com baixas vazões.

A unidade hidrogeológica R3/Q3 corresponde a (77,5%) da área total da bacia e representam o melhor aquíferos da região Figura 12. Poço perfurado nessa unidade apresenta uma média de vazão de 12,7m³/h e profundidade entre 150 a 180 m, segundo ADASA (2010).

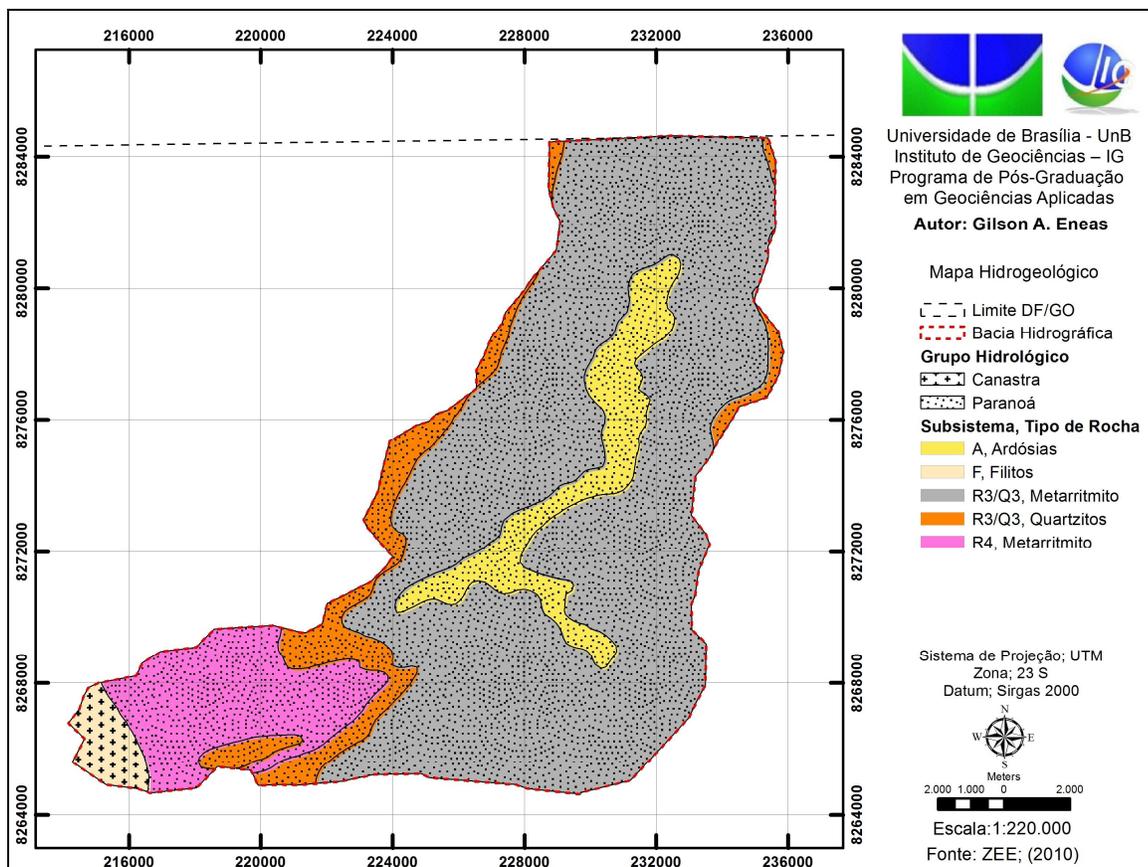


Figura 12: Mapa Hidrogeológico da Bacia do Ribeirão Pipiripau.
Fonte: ZEE, (2010).

Geomorfologia

Conforme Ab'Saber (1977), as características geomorfológicas da paisagem do domínio morfoclimático do cerrado resultam de uma prolongada interação do regime climático tropical semi-úmido com fatores litológicos, edáficos e bióticos.

Novaes Pinto (1994) propôs dividir o DF em três compartimentos geomorfológicos, quais sejam: Região de Chapadas, Áreas de Dissecação Intermediária e Região Dissecada de Vale. Tal compartimentação baseou-se nas características topográficas, altimétricas e de cobertura de solos e de vegetação.

Martins & Baptista (1998) propuseram uma compartimentação geomorfológica para o Distrito Federal tomando por base, além das feições de relevo, as relações entre os processos morfogenéticos atuantes na paisagem: pedogênese, erosão e deposição. Assim, definiram cinco compartimentos: Chapadas Elevadas, Planos Intermediários, Rebordos, Escarpas e Planícies.

Campos (2010, in ZEE, 2011) estabeleceu uma integração e adaptação das duas propostas citadas acima definindo cinco novos compartimentos, a saber: Planos Elevados, Planos Intermediários, Vales Dissecados, Rebordos e Rampas Íngremes. Para a construção desta proposta os critérios de maior relevância considerados foram o padrão de relevo, a declividade, o grau de dissecação e a densidade de drenagem.

Desta forma, as principais características de cada um dos compartimentos são descritos como:

Planos Elevados: apresentam relevo plano a suave ondulado; baixa densidade de drenagem; predominância de Latossolos; declividades inferiores a (10%); cotas altimétricas superiores aos 1100 metros; e pedogênese como o processo morfodinâmico dominante em detrimento da erosão e do transporte.

Planos Intermediários: corresponde às áreas com padrão de relevo plano a suave ondulado, porém, com declividades inferiores a (12%); cotas altimétricas entre 950 e 1050 metros, sendo a pedogênese o processo predominante.

Vales Dissecados: compreende as áreas com relevo ondulado a forte ondulado que apresentam alta densidade de drenagem, declividades superiores a (20%) e cotas inferiores a 800 metros. Têm predominância de Cambissolos e a erosão é o processo morfodinâmico de maior relevância.

Rebordos: correspondem às áreas de relevo ondulado com densidade de drenagem moderada e predominância de Cambissolos; apresentam declividades entre (10%) e (20%) e cotas entre 950 e 1100 metros sendo que a erosão ainda é o processo morfodinâmico dominante.

Rampas Íngremes: apresentam padrão de relevo forte ondulado a escarpado com alta densidade de drenagem, ampla predominância de Latossolos, porém, inclui áreas de declividade superior a (25%) e cota altimétrica entre 800 e 1100 metros. A erosão e o transporte são os processos de maior relevância. Em seguida, a Tabela 3 descreve os cinco compartimentos geomorfológicos identificados dentro da área de estudo e porcentagem, respectivamente.

Tabela 3: Compartimento Geomorfológico e respectiva área de representação dentro da Bacia.

Compartimentos	Área (ha)	%
Chapadas Elevadas	10.662	50,74
Escarpas	1303	6,2
Planos Intermediários	2198	10,42
Rebordos	6775	32,24
Vales Dissecados	81	0,4

A bacia do Ribeirão Pipiripau possui cinco compartimentos: Planos Elevados com (50,74 %) da área da bacia, as áreas de Escarpa com (6,2%), Planos Intermediários com (10,42%), os Vales Dissecados com uma pequena representação, ou seja, (0,4%). Já a segunda maior representação são as áreas de Rebordos que representam (32,24%) da área da bacia, Figura 13.

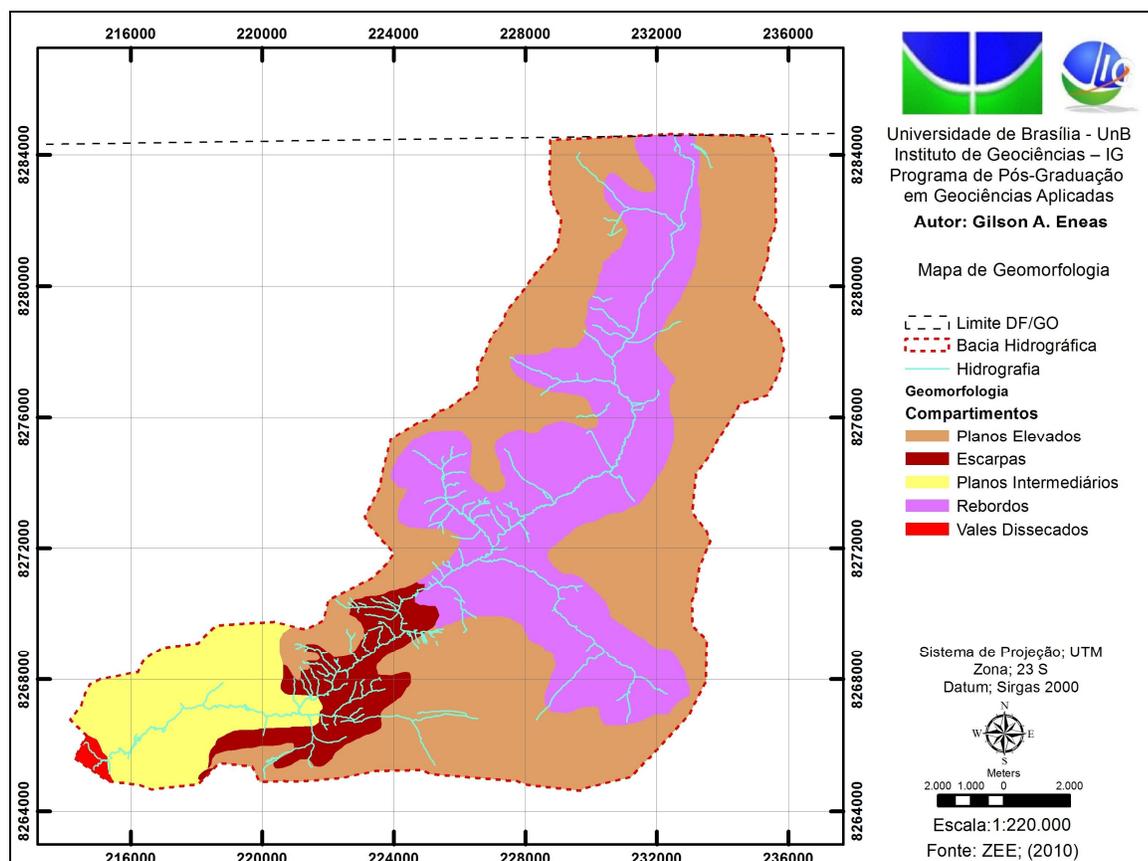


Figura 13: Mapa Geomorfológico da bacia do Ribeirão Pipiripau.
Fonte: ZEE, (2010).

Declividade

A declividade da Bacia foi elaborada com base na classificação da EMPRAPA (1979), Plano, Suave-ondulado, Ondulado, Forte-ondulado e Montanhoso, Figura 14, a Tabela 4 apresenta as classes de declividades e sua respectiva porcentagem.

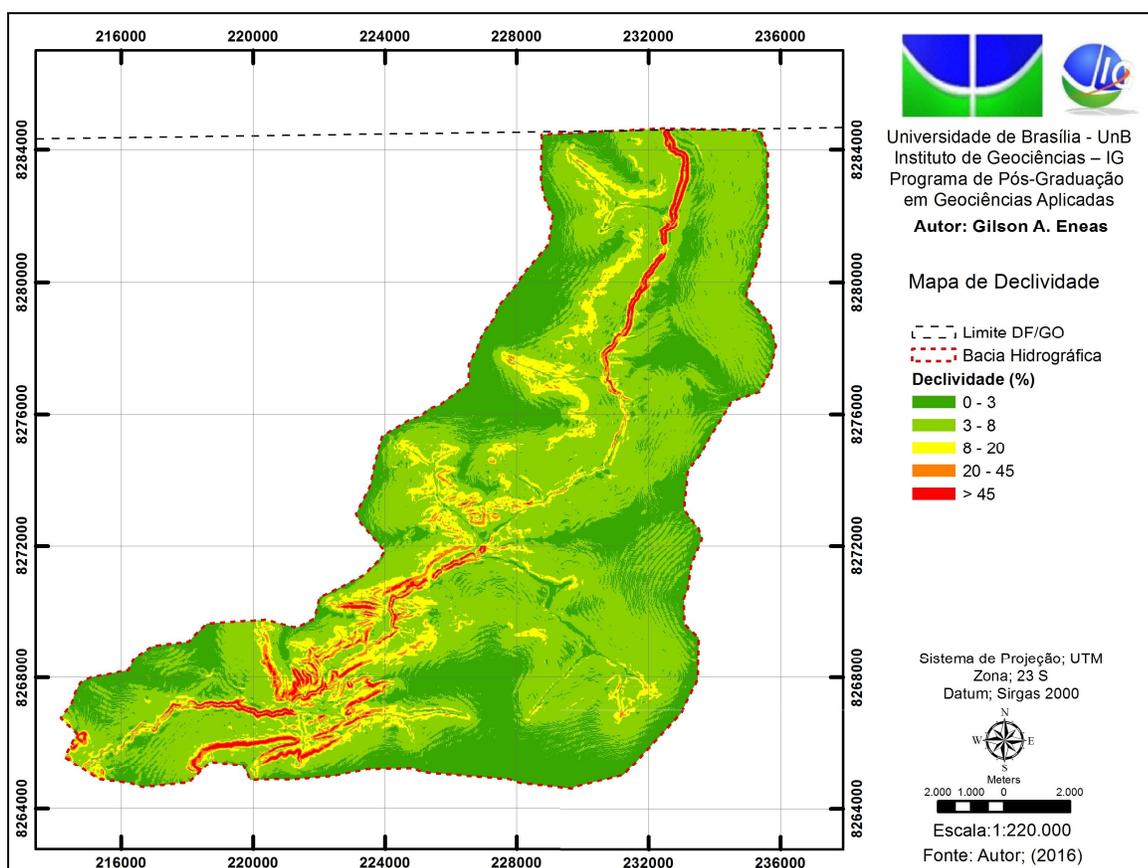


Figura 14: Declividade (%) segundo a classificação EMBPRAPA, (1979).
Fonte: Autor, (2016).

Tabela 4: Classes de Declividade (%) e respectiva área de representação dentro da Bacia.

Classes de declividade (%)	Área (ha)	%
0- 3	6.510	30,97
3- 8	11.431	54,4
8- 20	2147,1	10,2
20 - 45	562,3	2,67
>45	370	1,76

Solos

Os intensos processos de intemperismo químico, corrosão e lixiviação das rochas são responsáveis pela evolução dos solos, os quais são indicadores da relação do homem com a natureza, das atividades antrópica na bacia e da interface entre sua conservação e a conservação dos recursos hídricos (GONÇALVES, 2012).

As classes de solos encontradas na área de estudo foram mapeadas pelo Serviço Nacional de Levantamento de Solo EMBRAPA (1978), na escala de 1:100.000.

Os tipos pedológicos mais abundantes na região são: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico [LVAd] e Latossolo Vermelho Distrófico [LVd] que juntos somam cerca de (82,3%) da área de estudo, em seguida o Cambissolo Háptico Distrófico [Cxd] com (12,3%), depois o Gleissolo Háptico [Hi] com (3,84%), logo em seguida o Neossolo Quartzarenico Órtico [RQo] com (0,92%), Plintossolo Pétrico [FF] com (0,42%) e por fim o Nitossolo Vermelho Eutrófico [NVe] com menos de (0,17%), todos estão representados na Figura 15.

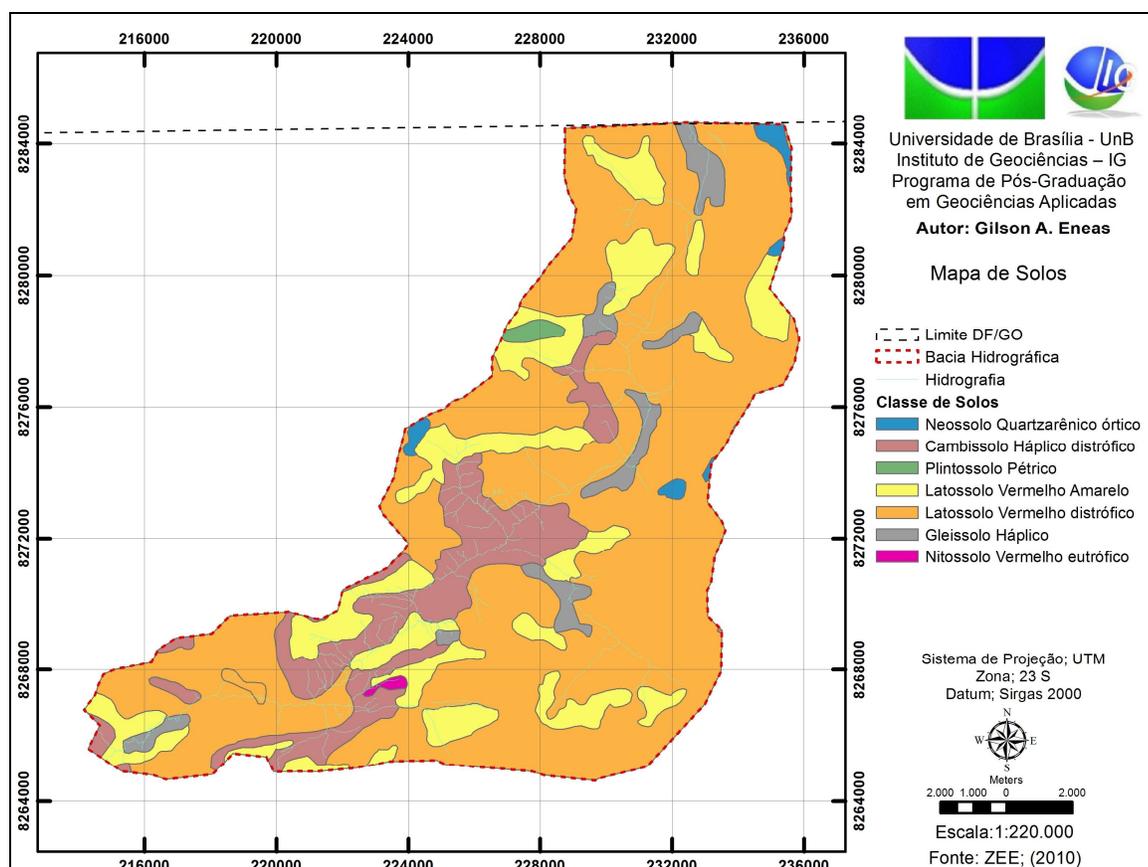


Figura 15: Mapa de Solos.
Fonte: ZEE, (2010).

Os latossolos caracterizam-se por apresentarem perfil espesso, normalmente superior a 2 metros, constituído por argilominerais do tipo 1:1, o que resulta em baixas capacidades de retenção de água e de troca iônica (EMBRAPA, 1978). Entretanto, apresentam alta permeabilidade e são pouco susceptíveis à erosão.

A ocorrência dos Latossolos, na região do Pípiripau, está relacionada a relevos Planos Elevados (ZEE, 2010) em áreas morfodinamicamente mais estáveis, com declividade menor de 5%, em associação com vegetação de campo cerrado e condição erosiva praticamente nula.

Segundo Gonçalves, (2012), apesar desse tipo de solo favorecer o uso de máquinas e implementação agrícolas, devido à baixa fertilidade natural, demanda uma grande adição de insumos e fertilizantes para a correção de sua fertilidade, o que dificulta o uso intensivo por agricultores de baixo poder aquisitivo. Por outro lado, o manejo inadequado dos Latossolos pode causar graves danos ao meio ambiente.

Os cambissolos são solos minerais pouco desenvolvidos, variando de 0,2 a 1,0m que apresentam baixa alteração física e química, sendo comum a presença de minerais primários o que indica baixo grau de intemperização. Esses solos ocupam áreas de pequena extensão na bacia, associados a relevos ondulados a forte ondulados (Vale dissecados e Rebordo) com declividades superiores a 20%.

Apesar de alta susceptibilidade à erosão, em geral, estão associados à vegetação de campo limpo. A baixa fertilidade natural desses solos e a localização em relevo acidentado desfavorecem o seu uso agrícola, (ZEE, 2010).

O Neossolo Quartzarênico localiza-se majoritariamente na parte setentrional e leste, da bacia com, apresentando pequenas mancha espalhadas sem, praticamente, ultrapassar a parte central.

A ocorrência do Gleissolos está associada aos cursos d' água e estão presentes ao longo de toda a bacia, são solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização), ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos; não apresentam textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm da superfície do solo ou até um contato lítico, tampouco horizonte vértico, ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei ou qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei. Horizonte plíntico, se presente, deve estar a uma profundidade superior a 200 cm da superfície do solo.

Dois outros solos compõem a região da bacia, mas com áreas muito pequenas, restringindo-se, nos dois casos, a apenas uma pequena mancha de ocorrência.

O Plintossolo Pétrico que está localizado na parte setentrional são solos minerais, formados sob condições de restrição a percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de um modo geral imperfeitamente a mal drenados, que se caracterizam fundamentalmente por apresentar expressiva plintização com ou sem petroplintita na condição de que não satisfaçam os requisitos estabelecidos para as classes dos Neossolos, Cambissolos, Luvisolos, Argissolos, Latossolos, Planossolos ou Gleissolos (EMBRAPA, 2009).

O Nitossolo Vermelho localiza-se na parte meridional da bacia, de acordo com EMBRAPA (2009). Esses solos podem ser definidos como solos constituídos por material mineral, com horizonte B nítico posicionado sob horizonte A, desde que contido em 1,5 metros a partir da superfície do solo e apresenta textura argilosa ou muito argilosa, desta forma os solos foram quantificados conforme Tabela 5.

Tabela 5: Distribuição dos solos na bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau.

Classe Pedológica	Sigla	Área	%
Latossolo Vermelho Distrófico	LVd	13750,7	65,42
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico	LVAAd	3548,72	16,88
Neossolo Quartzarênico Órtico	RQo	190,7	0,92
Plintossolo Pétrico	FF	98,7	0,42
Nitossolo Vermelho Eutrófico	NVe	35,35	0,17
Cambissolo Háplico Distrófico	Cxd	2596,5	12,35
Gleissolo Háplico	Hi	807,27	3,84

Fonte: ZEE, (2010).

Uso do solo e cobertura vegetal

A bacia do Pipiripau está inserida em sua grande parte na Região Administrativa de Planaltina, sendo que Planaltina representa a maior área do Distrito Federal em extensão e também em práticas agrícolas, responsável pela maior produção agropecuária do DF.

No caso da bacia do Pipiripau, houve uma participação expressiva nas propriedades de terra por parte do poder Estatal. No início da ocupação da área, as propriedades rurais da bacia eram constituídas, em grande parte, por terras arrendadas. São terras públicas que estão sobre o domínio da Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal - TERRACAP e são administradas pela Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAPA/DF. Na parte nordeste da bacia existe um assentamento denominado de Assentamento Oziel Alves II, ocupado por 169 famílias, que se encontra em fase de regularização.

De certa forma, existe uma grande preocupação a respeito da capacidade de suporte de um manancial como o Ribeirão Pipiripau, tendo em vista que este se encontra em um nível de exploração muito alto (PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA, 2010).

Também o acelerado crescimento populacional de diversas áreas, como no Condomínio Arapoanga, no Núcleo Rural do Córrego Taquara e no Vale do Amanhecer, determina o aumento da área impermeabilizada na bacia, diminuindo a infiltração de águas pluviais e favorecendo o escoamento de água superficial e, conseqüentemente, o surgimento de focos erosivos pela ação hídrica (GONÇALVES, 2012).

Os usos antrópicos presente na Bacia do Pipiripau representam aproximadamente (73 %) da área, enquanto a vegetação nativa está presente em apenas (27 %) das áreas (TERRACAP, 2010) Tabela 6.

Tabela 6: Classificação de uso do solo e cobertura vegetal da bacia do Ribeirão Pipiripau.

Classe	Área (ha)	%
Árvore (vegetação exótica)	52,41	0,25
Campo	2175,10	10,35
Cerrado	2596,92	12,36
Cultura	6316,10	30,05
Mata	872,00	4,15
Pastagem	8231,20	39,16
Pomar	14,00	0,07
Reflorestamento	65,60	0,31
Edificações	696,00	3,31
Total	21019,3	100,00

Segundo Silva (2009), há aplicação do método de preparo do solo por meio de plantio direto na Bacia do Pipiripau, contudo bem incipiente, ressalta-se que neste sistema de plantio há um aumento na produtividade da lavoura, o custo com o preparo de solo e o uso de insumos químicos diminui além de reduzir o custo com mão-de-obra. Essa prática também combate a erosão, melhorando a estrutura do solo através do aumento de matéria orgânica presente na camada superior do solo e evita sua compactação.

As principais classes de uso do solo e cobertura vegetal da Bacia correspondem à agricultura extensiva, com predomínio de plantio de soja e milho, seguido pelas pastagens e áreas agrícolas que são destinadas, em sua grande maioria, a pequenos produtores de hortifrutigranjeiros, nas zonas agrícolas podem ser encontrados galpões para a criação de suínos e aves e também para o cultivo de tomate, pimentão, maracujá e outros produtos Figura 16.

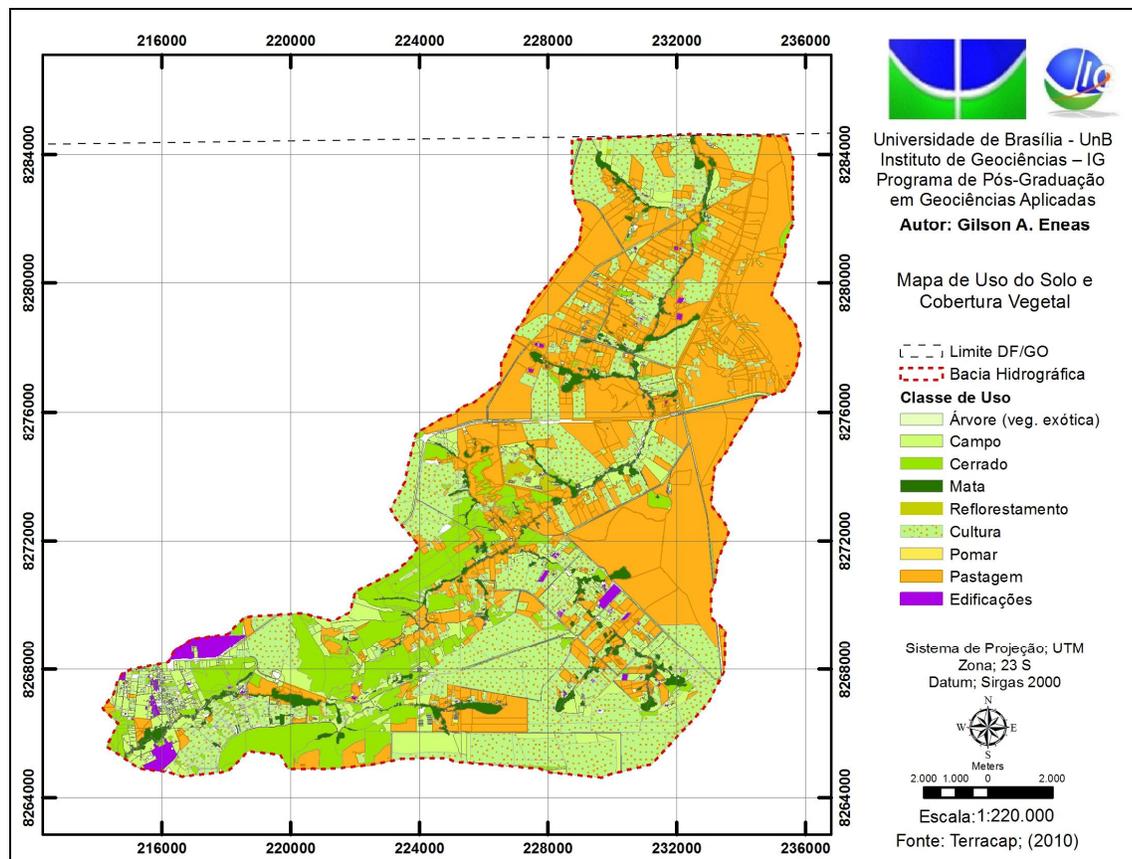


Figura 16: Mapa de Uso do solo e cobertura vegetal da Bacia do Ribeirão Pipiripau.
 Fonte: TERRACAP, (2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 BASE DE DADOS

Neste item são apresentadas as fontes e formas de obtenção dos dados, programas, equipamentos e métodos adotados no desenvolvimento da pesquisa. Foi utilizado o sistema computacional, ArcGIS 10.2 desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute (ESRI), Redlands, CA, EUA* para manipulação e modelagem dos dados.

Em relação às bases *vetorial* e *raster*, foram utilizadas as ortofoto do ano de 2015 e os dados temáticos, no formato shape file (shp ESRI) contendo (estradas, vegetação, hidrografia, malha urbana, pontos contados e curvas de nível), referentes ao levantamento cartográfico do DF TERRACAP, (2010) Tabela 7.

Para a simulação da chuva e coleta das informações de campo, a pesquisa contou com um simulador de chuva portátil desenvolvido pelo Departamento de Cultura e Ciência do Solo, da Universidade de Cornell, USA. O *Infiltrômetro de Cornell* possibilita simular uma chuva controlada de até 300 mm, além de realizar os ensaios de infiltração e escoamento superficial simultaneamente VAN ES, (1997).

Quanto à realização das análises da água coletada do escoamento superficial, a pesquisa contou com o apoio da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb), Laboratório de Saneamento Ambiental da Faculdade de Tecnologia (FT/UnB) e Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências (IG/UnB).

Tabela 7: Dados de entrada utilizados na pesquisa.

Detalhamento da Base de dados	Fonte utilizada no estudo
Curvas de nível (distância vertical de 5m) e pontos cotados na escala 1:10.000.	TERRACAP, (2010)
Rede hidrográfica, escala 1:10.000.	TERRACAP, (2010), adaptada por Soares Neto, (2015).
Uso do solo e cobertura vegetal na Escala 1:10.000.	TERRACAP, (2010)
Mapa de solos na escala 1:100.000.	ZEE, (2010).
Mapa de Geomorfologia Escala 1:100.000	ZEE, (2010).
Mapa Climatológico Escala 1:100.000	ZEE, (2010)
Mapa de Hidrogeologia Escala 1:100.000	ZEE, (2010).
Kit contendo <i>Cornell Sprinkle Infiltrometer</i> e Acessórios.	Van Es, (1997), seguido por Santi (2007)

A base cartográfica utilizada como padrão no Distrito Federal é o Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD), *Datum* de referência horizontal SIRGAS 2000 e meridiano central 45° W (fuso 23). Os produtos da base SICAD, estão na escala 1:10.000, apresentam curvas de nível com equidistância de 5 metros, pontos cotados, hidrografia, vegetação, vias, uso do solo e cobertura vegetal da área de estudo.

Já a base de Solo do Distrito Federal foi elaborada pela Embrapa (1978), atualizado por Reatto *et al.* (2004), Clima, Geologia, Geomorfologia foram utilizados os mapas na escala 1:100.000, extraído do ZEE (2010).

Inicialmente criou-se um *Geodatabase* para armazenamento e normalização das informações nos formatos *Shapefile* e *Raster*, objetivando um melhor gerenciamento dos dados espaciais e, posteriormente, com o auxílio do software ArcGIS 10.2 todas as informações foram integradas.

A execução da pesquisa será baseada em dois fluxos metodológicos, um descrevendo as etapas de planejamento da pesquisa e o outro descrevendo a parte de coleta e análises estatística e espacial, conforme representado na Figura 17 e Figura 18, respectivamente.

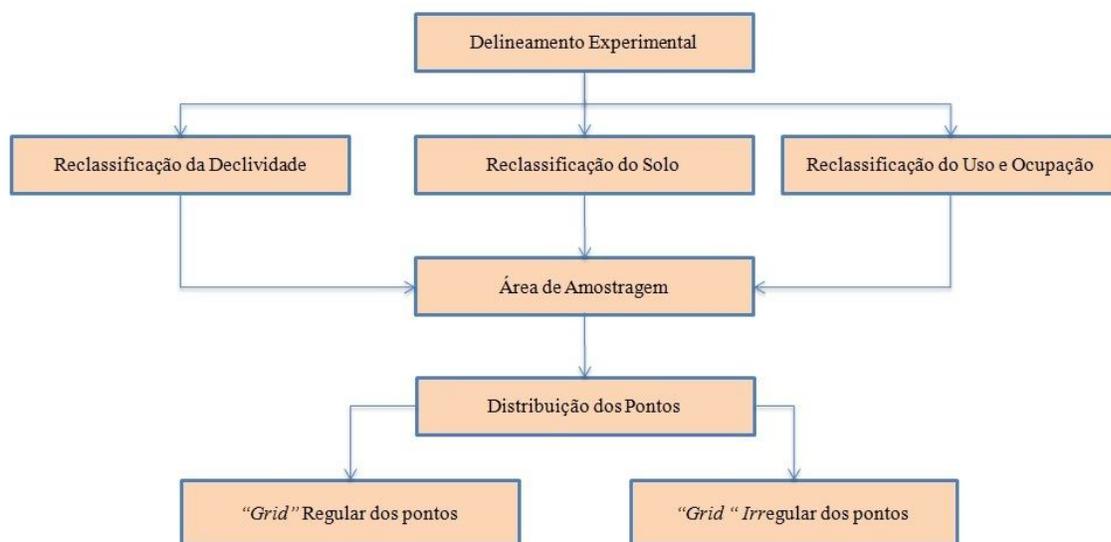


Figura 17: Fluxo metodológico descrevendo a etapa de Planejamento da pesquisa.

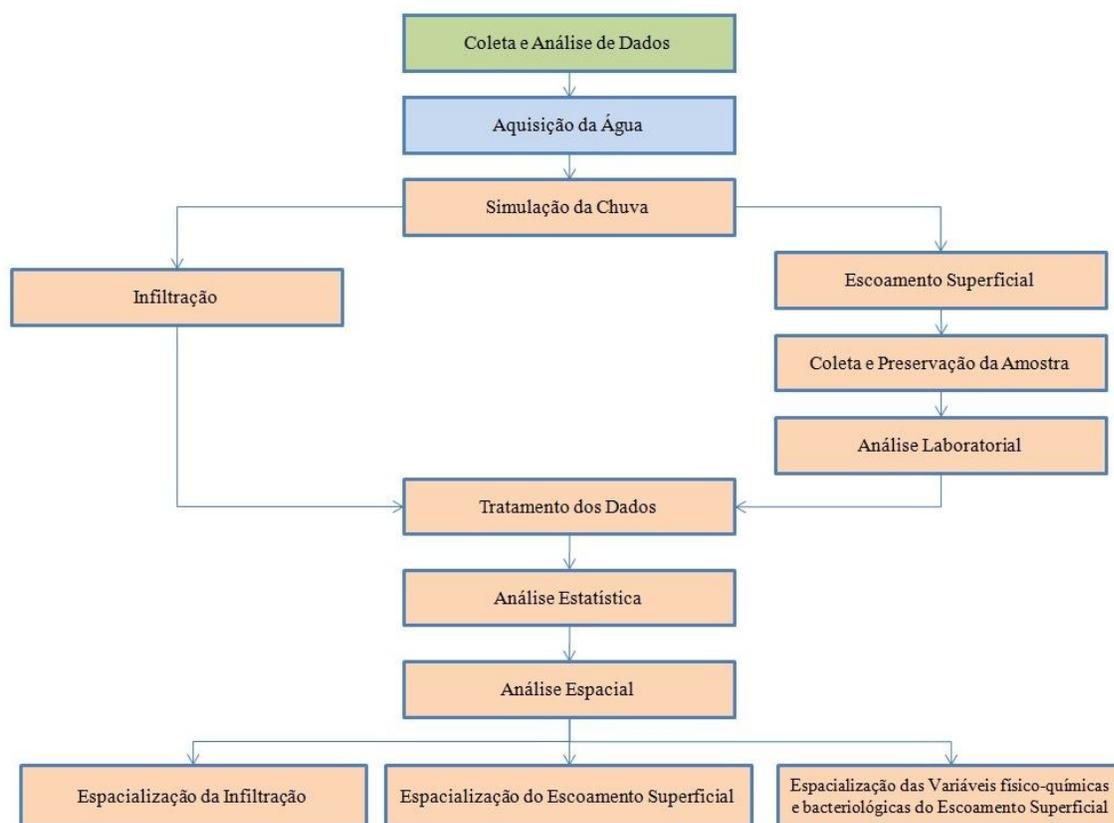


Figura 18: Fluxo metodológico descrevendo a etapa de coleta e análise de dados da pesquisa.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As áreas de amostragem foram definidas a partir do agrupamento das informações reclassificadas. A declividade foi separada em menor que (8%) e maiores que (8%). Os solos conforme classe hidrológica (A, B, C e D) e Uso do solo e cobertura vegetal (Agricultura, Cerrado e Pastagem). A reclassificação foi definida para permitir uma melhor integração dos dados e possibilitar alocar os pontos para realização das diversas análises.

Reclassificação da declividade

De maneira geral, Tricart (1977), define três tipos de ambientes morfodinâmico, que são categorizações a partir dos ambientes ecodinâmicos, sendo os meios estáveis, *intergrades* (em transição) e instáveis. De forma a definir cinco classes: Muito Fraca (Mfa), Fraca (Fa), Moderada (Mo), Forte (Fo) e Muito Forte (Mfo).

Especificamente na área de estudo, segundo EMPRAPA (2009), a maior parte da Bacia do Pipiripau, ou seja, (91%) é constituída por morfodinâmica Fraca (Fa), ou seja, áreas que são caracterizadas geralmente por relevos com declividade entre (3%) e (8%), com densidade de drenagem restrita e fraco aprofundamento da drenagem, com formações superficiais espessas e onde a ação do escoamento subsuperficial provoca a perda de materiais finos em superfície com empobrecimento dos solos e escoamento superficial difuso, favorecendo uma erosão laminar.

Considerando que o início do escoamento superficial e processo de ravinamento ocorrem a partir de declividades superiores a (8%), neste trabalho foram consideradas somente duas classes de declividades, ou seja, menores que (8%), que neste caso são consideradas Fracas (Fa), conforme Tricart (1977) e as classes de declividades maiores que (8%), consideradas como Moderada (Mo), Forte (Fo) e Muito Forte (Mfo) foram agrupadas em uma única classe, conforme Figura 19.

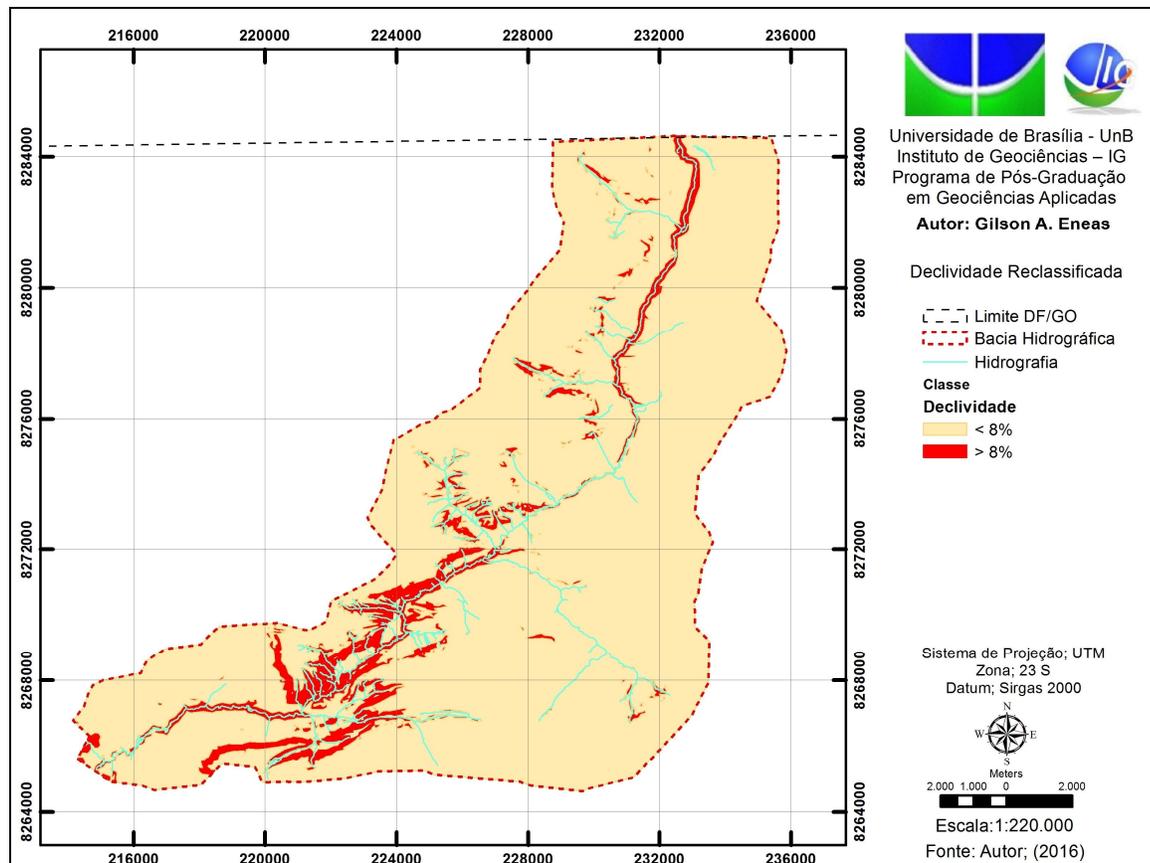


Figura 19: Reclassificação da declividade em duas Classes <8 e >8 %.
Fonte: Autor, (2016).

Os percentuais da área de cada classe de declividade após reclassificação estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Reclassificação da Declividade da Bacia do Ribeirão Pipiripau.

Declividade (%)	Área (ha)	%
<8	19.147	91
>8	1873	9
Total	21019,3	100

Reclassificação dos Solos

As classes de solos presentes na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau foram reclassificadas conforme proposto por Sartori (2004), neste estudo utilizou-se as classes proposta pela NRCS (1997), ou seja, a divisão dos solos em quatro grupos hidrológicos (A, B, C, D). Da mesma forma, outros estudos foram conduzidos com a mesma proposta, segundo Baldissera (2005).

Na presente pesquisa utilizou-se da base de informações cartográficas de solo já reclassificação para o ZEE (2010), nesta já contém os atributos de cada tipo de solo e as suas respectivas classes hidrológicas, Tabela 9.

Tabela 9: Classificação de solos da bacia do ribeirão Pipiripau.

Classe Pedológica	Grupo hidrológico*
Latossolo Vermelho Distrófico	A
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico	A
Neossolo Quartzarênico Órtico	A
Nitossolo Vermelho Eutrófico	B
Cambissolo Háplico Distrófico	C
Gleissolo Háplico	D

Fonte: NRCS (1997), Sartori *et al.* (2004), Baldissera (2005), ZEE, (2010)

Após o agrupamento das classes de acordo com as características hidrológicas de cada tipo de solo, todas foram quantificadas e estão apresentadas na Tabela 10. Em seguida, a Figura 20 apresenta o mapa do solo reclassificado em classes hidrológicas.

Tabela 10: Classificação hidrológica dos solos da bacia do Ribeirão Pipiripau.

Classe	Área (ha)	%
A	17455,0	83,15
B	35,35	0,17
C	2626,91	12,42
D	901,99	4,26
Total	21019,3	100

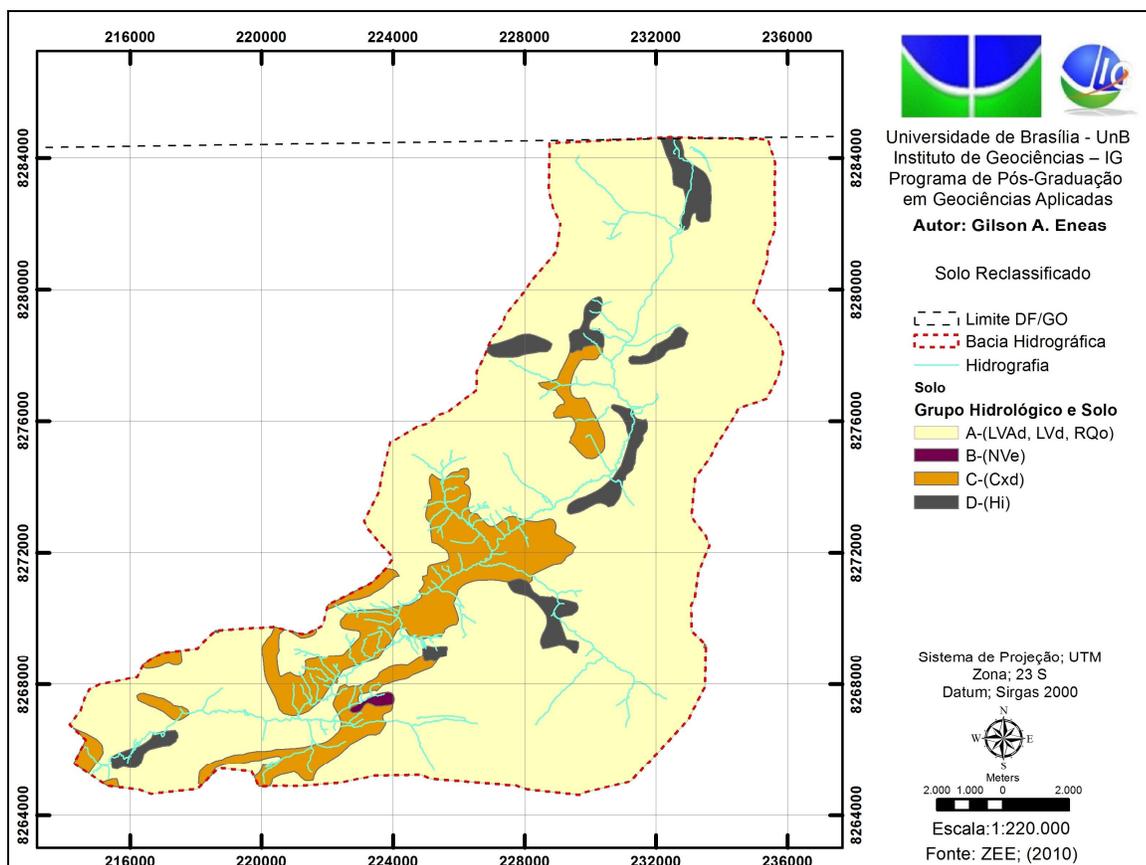


Figura 20: Classificação Hidrológica do solo.
Fonte: Sartori, (2004), ZEE (2010).

Reclassificação do Uso do solo e cobertura vegetal

Para realização dos ensaios de infiltração e escoamento superficial na Bacia, foi necessário primeiramente realizar o agrupamento das classes de uso do solo e cobertura vegetal TERRACAP, (2010). Neste trabalho, as classes de uso do solo e cobertura vegetal Tabela 11, foram agrupadas em quatro grandes classes: i) classe áreas edificadas, ii) agricultura, iii) cerrado e iv) pastagem.

Tabela 11: Agrupamento das classes de uso do solo.

Reclassificação	Classes	Área (ha)	%
Áreas Edificadas	Áreas limpas, Edificações, Tanques, Piscinas, Galpões e Rodovias.	706,2	3,36
Agricultura	Áreas de Cultura, Reflorestamento e Pomar.	6.442,5	30,65
Cerrado	Cerrado, Vegetação alterada, Campo e Mata.	5649,1	26,88
Pastagem	Áreas de pastagem	8221,5	39,11
Total		21019,3	100

Esse agrupamento é baseado nas conclusões de Uttomark et al. (1974), corroborados pelo trabalho desenvolvido por Freitas, (2013). Estes autores concluíram que quando são usadas atividades de uso do solo como base para estimar cargas de poluentes provenientes de fontes não pontuais, há pouca justificativa para se estudar além das quatro grandes categorias: urbanas, agrícolas, florestas (condição natural, em nosso caso, cerrado) e zonas úmidas. Eles indicaram ainda que os dados de exportação de nutrientes disponíveis são demasiadamente fragmentados e variáveis para justificar ainda mais a subdivisão de categorias de uso da terra. Dessa forma, as classes de uso do solo foram agrupadas de acordo com a Figura 21.

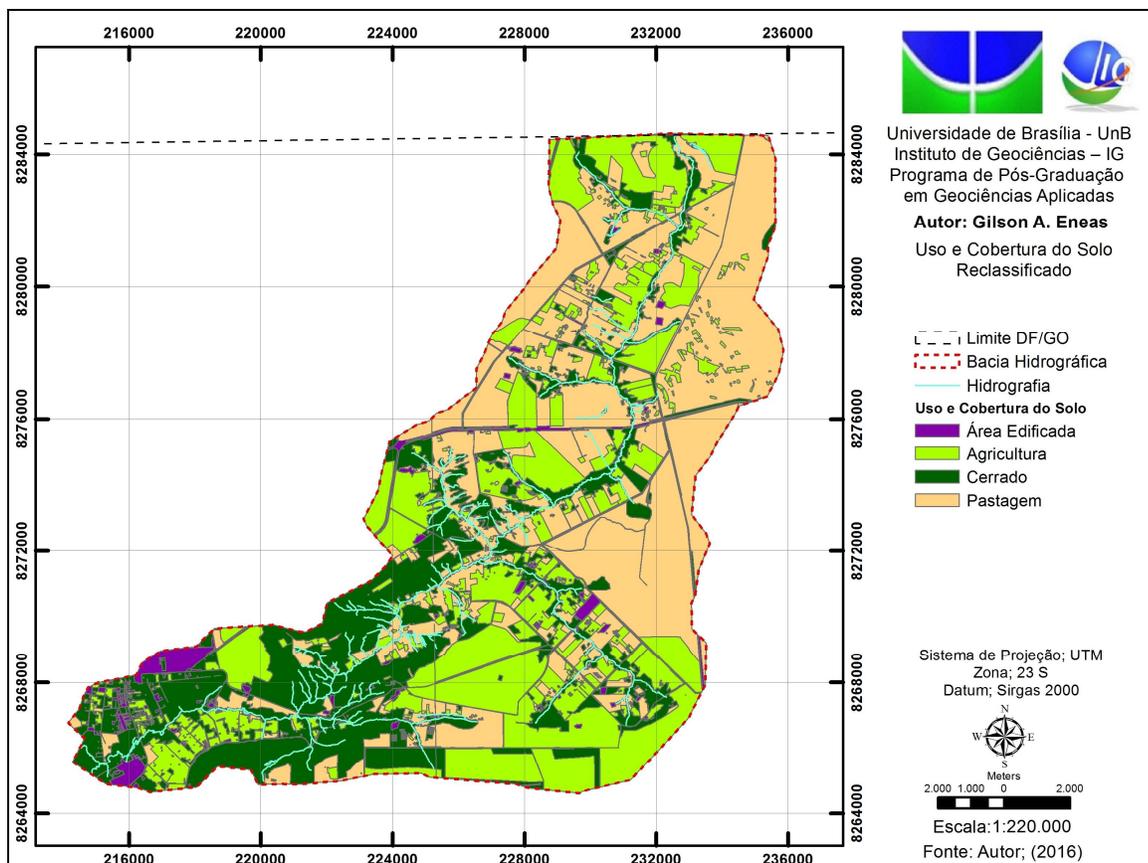


Figura 21: Mapa Reclassificado de Uso do solo e cobertura vegetal da bacia do Pipiripau.
 Fonte: TERRACAP, 2010.

4.3 ÁREA DE AMOSTRAGEM

Após o cruzamento das informações já reclassificadas contendo a declividade, o solo e uso do solo e cobertura vegetal da área de estudo, foram criadas áreas similares passíveis de realizar a simulação e os ensaios. Desta forma a Tabela 12 apresenta o agrupamento das informações.

Tabela 12: Agrupamento das classes reclassificadas do solo, declividade e uso ocupação.

Solo	Declividade	Uso	%	Área (ha)
A	<8	Agricultura	27,73	5828,80
		Cerrado	14,86	3124,18
		Edificação	2,78	583,44
		Pastagem	33,33	7006,17
	>8	Agricultura	0,27	57,23
		Cerrado	3,08	647,86
		Edificação	0,05	11,08
		Pastagem	0,93	196,35
Total			83,04	17455,10
B	<8	Agricultura	0,00	0,69
		Cerrado	0,04	8,80
		Edificação	0,00	0,90
		Pastagem	0,01	2,23
	>8	Agricultura	-	-
		Cerrado	0,08	16,64
		Edificação	0,00	0,63
		Pastagem	0,03	5,47
Total			0,17	35,35
C	<8	Agricultura	1,24	261,04
		Cerrado	4,19	881,00
		Edificação	0,31	65,00
		Pastagem	2,85	598,62
	>8	Agricultura	0,09	17,99
		Cerrado	3,29	692,55
		Edificação	0,02	3,50
		Pastagem	0,51	107,20
Total			12,50	2626,92
D	<8	Agricultura	1,29	272,19
		Cerrado	0,91	191,88
		Edificação	0,18	38,50
		Pastagem	1,35	283,69
	>8	Agricultura	0,02	4,50
		Cerrado	0,37	77,05
		Edificação	0,02	3,19
		Pastagem	0,15	30,90
Total			4,29	901,92
Total Geral			100%	21.019,28

4.4 DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS

Malha regular dos pontos

Inicialmente, o estudo visava uma distribuição regular dos pontos dentro da Bacia de forma a criar uma malha regular de 4 km x 4 km, o que totalizava 27 pontos de amostragem. Contudo, tal tipo de distribuição não permitiu a representação de todos os solos existentes na bacia, ou seja, (87%) dos pontos representaram os solos do Grupo (A) LVA_d, LV_d e RQ_e.

Desta forma esta distribuição não contemplaria na amostragem os solos dos Grupos (B) representados pelos Nitossolos (NVe) e Grupo (D) os Gleisolos (Hi) e Plitossolos Pétrico (FX), ou seja, deixaria de fora da análise ambiental importantes elementos para avaliação do comportamento do escoamento superficial e infiltração, Figura 22.

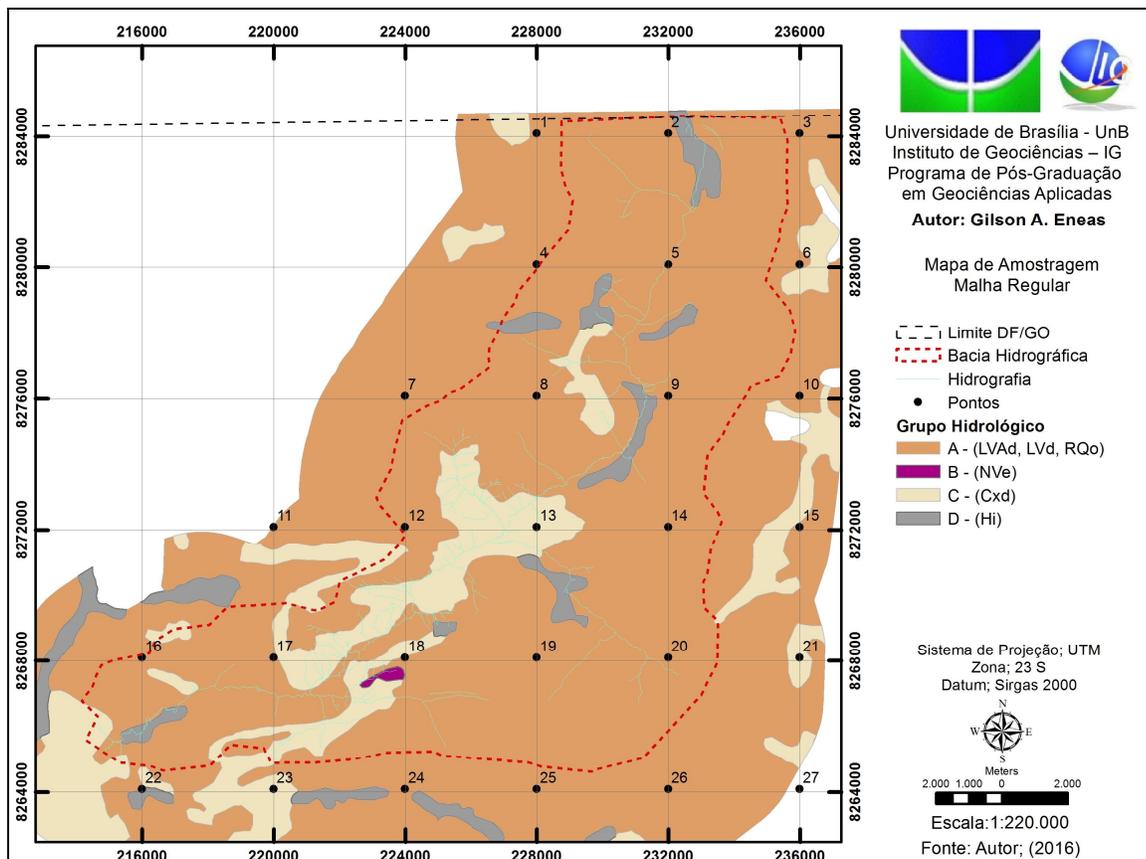


Figura 22: Distribuição regular dos pontos amostrais.
 Fonte: Autor, (2016).

Em seguida, foram distribuídos os pontos de forma a possibilitar uma combinação das três principais classes de uso do solo e cobertura vegetal existente na Bacia: i) classe agricultura, ii) cerrado e iii) de pastagem, sobre o mesmo grupo hidrológico (A, B, C e D) e com a mesma declividade (<8% e >8%). Os pontos da área de estudo para realizar as simulações de infiltração e escoamento superficial foram definidos a partir do cruzamento das informações já reclassificadas, uso do solo e cobertura vegetal e classe hidrológica. Em seguida realizou-se uma distribuição dos pontos na área de estudo, de forma a contemplar áreas planas e de rebordo, ou seja, declividades menores que (8%) e declividades maiores que (8%). Desta forma, visa-se ter uma homogeneidade da área de estudo.

De maneira geral e tendo em vista a extensão da bacia hidrográfica e, principalmente, suas características de uso, foram distribuídos em 24 pontos de amostragem, os quais receberam a nomenclatura variando de P1 a P24, Tabela 13.

Tabela 13: Agrupamento das classes de declividade, solo e uso do solo e cobertura vegetal.

ID	Coordenadas (UTM) SIRGAS 2000 (Fuso 23)		Uso do Solo	Tipo de Solo	Classe Hidrológica do Solo	Declividade (%)
	X	Y				
1	228770	8268649	Pastagem	LVA _d	A	6
2	228562	8268762	Cerrado	LVA _d	A	6
3	228223	8268947	Agricultura	LVA _d	A	6
4	230158	8273127	Pastagem	LV _d	A	6
5	231162	8273490	Cerrado	LV _d	A	6
6	231844	8274545	Agricultura	LV _d	A	2
7	228354	8272258	Pastagem	Cx _d	C	2
8	227385	8272239	Cerrado	Cx _d	C	6
9	228272	8272980	Agricultura	Cx _d	C	6
10	228494	8278208	Pastagem	Hi	D	6
11	229556	8278205	Cerrado	FX	D	6
12	227380	82788116	Agricultura	FX	D	2
13	224041	8269252	Pastagem	LVA	A	45
14	224234	8270927	Cerrado	LVA	A	12
15	227743	8271813	Agricultura	Cx _d	C	6
16	229929	8275650	Pastagem	Cx _d	C	6
17	220255	8268893	Cerrado	Cx _d	C	12
18	225930	8273014	Agricultura	Cx _d	C	12
19	222830	8267192	Pastagem	NVe	B	12
20	223723	8267660	Cerrado	NVe	B	12
21	223992	8267451	Agricultura	NVe	B	6
22	233478	8282618	Pastagem	Hi	D	2
23	232916	8282258	Cerrado	Hi	D	12
24	233110	8282580	Agricultura	Hi	D	6

Nota 1 – Tipos de Solos. Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVA_d); Latossolo Vermelho distrófico (LV_d); Cambissolo Háptico distrófico (Cx_d); Plintossolo Pétricos (FX), Gleissolo Háptico (Hi) e Nitossolo Vermelho eutrófico (NVe);

Malha irregular dos pontos

Os pontos amostrais foram alocados conforme Figura 23 e as suas coordenadas foram transferidas para o um equipamento de posicionamento por satélite (GPS modelo *Garmin*), para facilitar a navegação até o local desejado.

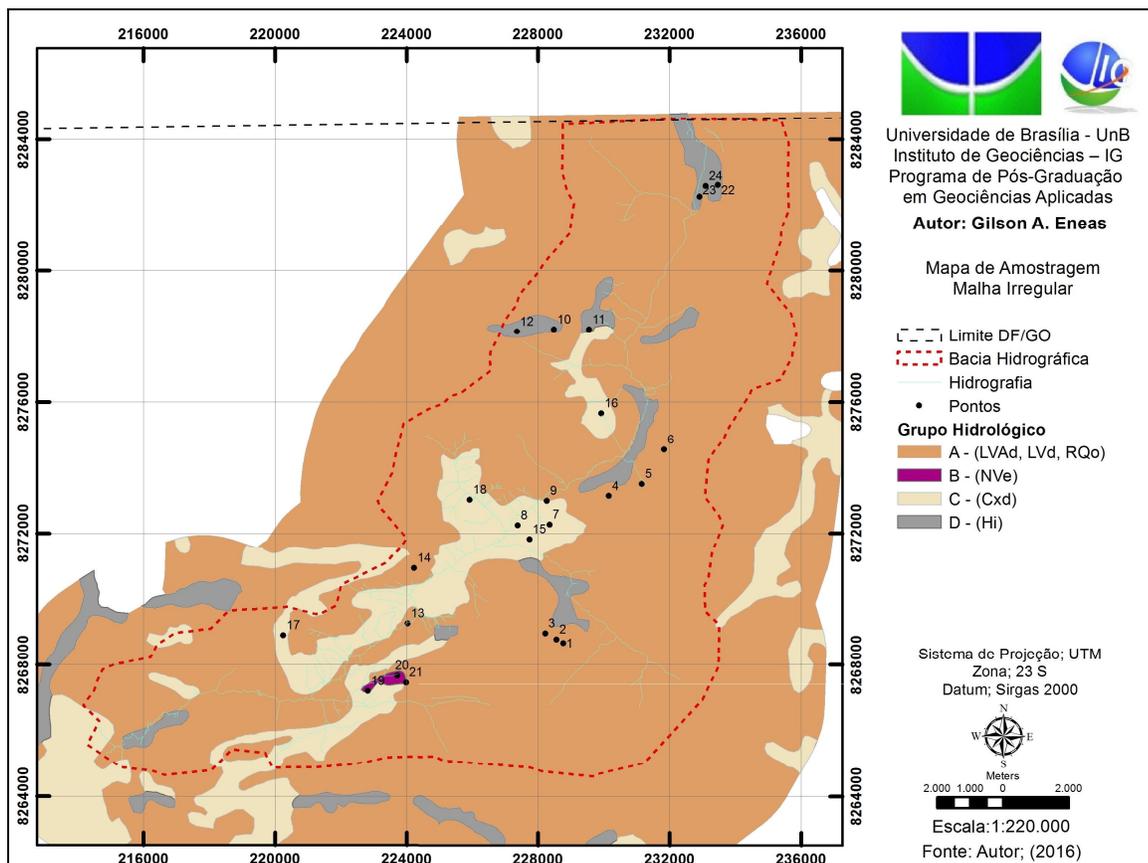


Figura 23: Distribuição irregular dos pontos de amostrais.
 Fonte: Autor, (2016).

4.5 SIMULAÇÃO E COLETA DA AMOSTRA

Aquisição da Água

A água utilizada durante as simulações foram coletas em dois pontos distintos, na primeira campanha (300 mm/h-1) coletou-se direto de um poço tubular profundo (150m) localizado na FINATEC dentro do Campus da UnB, Figura 24. Primeiro foi coletada uma amostra de 1 litro de água do poço, armazenada e encaminhada para análise da qualidade da água, conforme Tabela 14.

Tabela 14: Localização e parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água do poço artesiano (FINATEC).

Local	Físico		Químico		Bacteriológico
	pH	Condutividade (µS/cm)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Coliforme Total (NMP/100 ml)
UNB/ FINATEC	5,8	10,8	0,27	2,09	24,3

Em seguida em um tambor de 70 litros a água foi transportada do poço artesiano e armazenada em tambor de 200 litros para transporte até o local das simulações, conforme Figura 25.

Já para a realização da segunda campanha referente à simulação de chuva de intensidade de (100 mm), utilizou-se 400 litros de água mineral coletada direto da Indústria SEIVA Água Mineral Ltda, localizada em Brazlândia/DF, Figura 26. Em anexo segue a Ficha da Análise da água mineral (ANEXO), em seguida a água foi armazenada e transportada até o local das simulações Figura 27.

Tabela 15: Localização e parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água (SEIVA Ltda).

Local	Físico		Químico		Bacteriológico
	pH	Condutividade (µS/cm)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Coliforme Total (NMP/100 ml)
SEIVA Ltda	6,89	-	-	-	Ausente

O objetivo de se ter uma água de boa qualidade é eliminar qualquer impureza, ou seja, contaminação química ou bacteriológica, que possa comprometer as análises laboratoriais. Portanto, para esse fim específico a água mineral não apresentou todos os parâmetros estudados quando comparada a água do poço artesiano (FINATEC).



Figura 24: Coleta da água do poço artesiano para análise de qualidade.



Figura 25: Transporte da água



Figura 26: Coleta da água mineral



Figura 27: Transporte da água

Intensidade da chuva

Segundo os dados climatológicos do INMET, Figura 28 e na Tabela 16, as médias pluviométricas atingem mais de 200 mm nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro e ficam abaixo de 50 mm de maio a setembro, quando a evaporação supera a precipitação, caracterizando um período bastante seco. Nesta época são constantes as queimadas nas áreas rurais e periurbanas (ZEE, 2010).

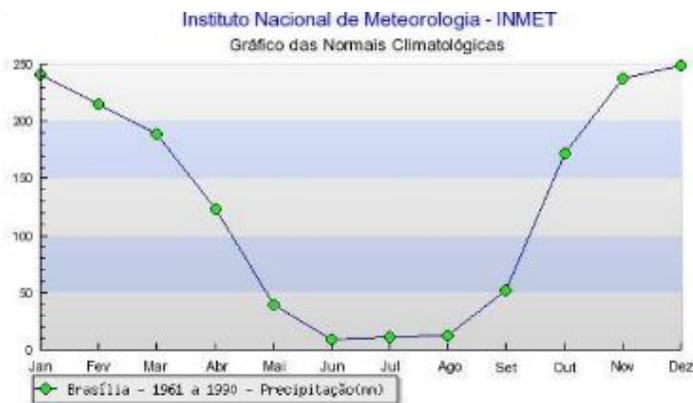


Figura 28: Gráfico das Normais Climatológicas de Brasília (1961 a 1990).

Fonte: ZEE, (2010).

Tabela 16: Normais Climatológicas da estação INMET em milímetros (1961 a 1990).

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Total	241,4	214,7	188,9	123,8	39,3	8,8	11,8	12,8	51,9	172,1	238,0	248,0

Os eventos de precipitação anômalos, que podem superar 100 mm/dia são particularmente importantes na avaliação de aspectos ambientais quanto ao risco erosivo, pois esse tipo de chuva torrencial é responsável pelo desenvolvimento e ampliação de processos erosivos lineares (ZEE, 2010).

Quando considerado a média de 235 mm/mês dos quatros meses mais chuvosos (novembro, dezembro, janeiro e fevereiro) e uma chuva de 100 mm/dia percebe-se a importância de valores desta magnitude para estudos ambientais, portanto a pesquisa realizou duas simulações de chuva de intensidades diferentes, ou seja, a primeira com uma coluna d'água de 100 mm para representar chuvas anômalas e a segunda simulação com a coluna d'água de 300 mm para representar a média dos quatros meses mais chuvosos (novembro, dezembro, janeiro e fevereiro). Portanto, foram levantadas as seguintes variáveis ambientais: infiltração, escoamento superficial, parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água do escoamento superficial obtido durante as simulações.

Essas condições, embora pouco provável de ocorrer na bacia de estudo, objetivou criar uma condição para mensurar e coletar o escoamento superficial, Van Es & Schindelbeck (2003) reforçam que a calibração desse infiltrômetro pode ser ajustado considerando a base de estudos sobre os padrões de chuvas ocorrentes e o tempo de retorno dessas, em cada região.

Como pode ser observado dentre os quatros Grupos hidrológicos analisados da bacia do Pipiripau, os solos do Grupo (A) foram os que menos geraram escoamentos, ou seja, dos 9 pontos simulados com intensidade de 100 mm, somente 3 pontos (P2, P 3 e P13) obteve-se escoamento. Já no Grupo (B) três pontos foram simulados, dos quais um (P20) houve escoamento, em seguida o Grupo (C) com dois pontos (P7 e P15) não ocorreram escoamento. Da mesma forma, ocorreu com o Grupo (D), dos seis pontos simulados, somente um ponto o (P10) houve escoamento.

Portanto, vale destacar que durante as simulações de 100 mm não ocorreu escoamento superficial em cerca (60%) dos pontos amostrados, deste modo os dados simulados de 100 mm não foram considerados na análise e resultados por não representar espacialmente a totalidade da área de estudo, Figura 29.

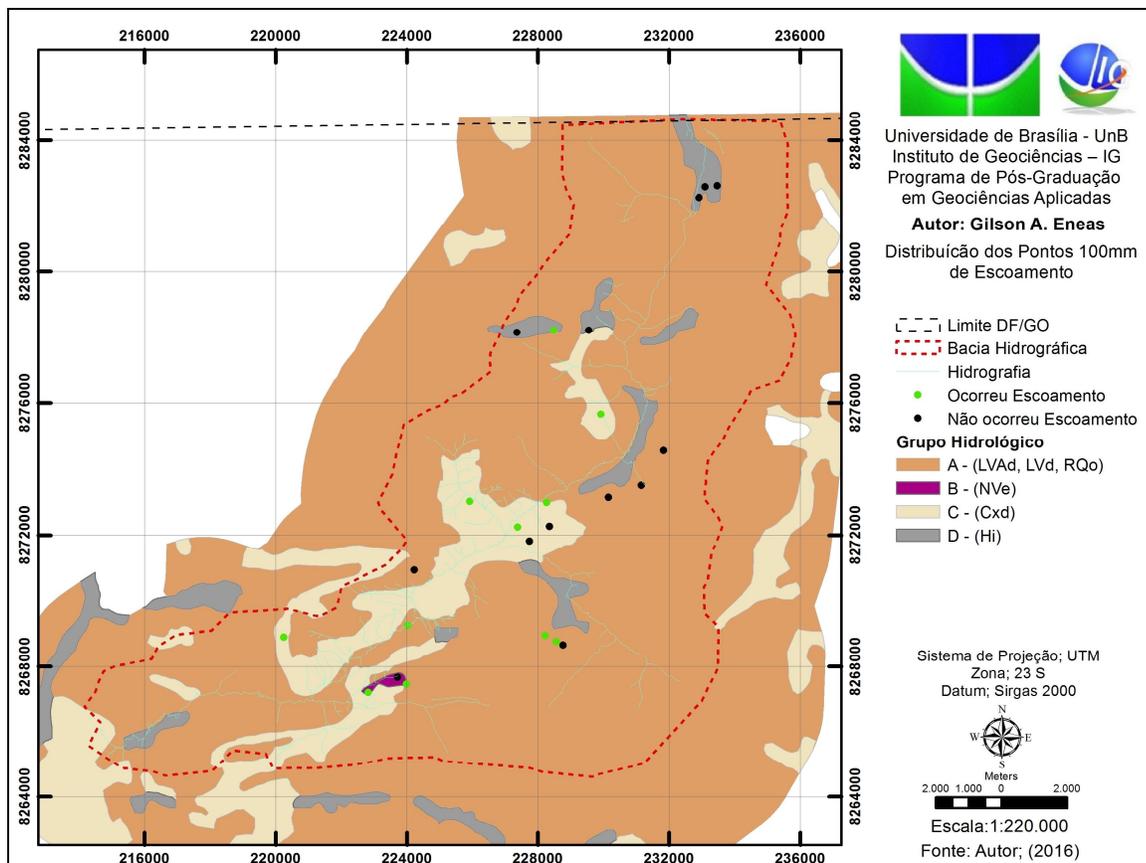


Figura 29: Distribuição dos pontos de 100 mm que não ocorreram o escoamento superficial. Fonte: Autor, (2016).

Desta maneira, os dados considerados no item resultados e discussão serão relativos à simulação de 300 mm que, por sua vez, gerou escoamento em cerca de (90%) dos pontos coletados, corroborando com o objetivo do trabalho, que é analisar e espacializar os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água oriunda do escoamento superficial simulado.

Para a simulação de chuva proposta, a pesquisa contou com um simulador de chuva portátil, de baixo custo e baixo consumo de água. O fluxo metodológico, Figura 30, descreve as etapas de instalação e operação do equipamento.



Figura 30: Fluxograma metodológico para instalação e operação do *Infiltrimeter* de Cornell

Inicialmente crava-se o cilindro “anel” no solo a uma profundidade de 7 cm ou até que o orifício existente no centro do cilindro fique no nível do solo, Figura 31, em seguida nivela-se o cilindro “anel” cravado ao solo Figura 32. Feito isto, escavasse uma canaleta seguida de um buraco do tamanho que comporte um “becker” (200mL), para coleta da água do escoamento superficial que será encaminhada para análise laboratorial.



Figura 31: Instalação do cilindro e escavação do solo.



Figura 32: Nivelamento do cilindro.

Foram realizadas duas simulações de chuva em cada ponto, sendo uma chuva de intensidade de 10 cm.h⁻¹ ou 100 mm.h⁻¹ e outra de intensidade de 30 cm.h⁻¹ ou 300 mm.h⁻¹. O simulador é alocado sobre o cilindro de 24 cm de diâmetro por 15 cm de altura, sendo que 7,5 cm fica cravado ao solo linear ao orifício existente no centro do cilindro, este conecta o cilindro ao “becker” (200mL) por meio da mangueira. O simulador possui um sistema de entrada de ar, que possibilita a calibração de diferentes intensidades de chuva, ou seja, ao mover o tubo de entrada de ar para cima ou para baixo permite simular diferentes intensidades de chuva, variando de 0,5 cm/min a 30 cm.h⁻¹.

O *Infiltrômetro de Cornell* permite simular diferentes intensidades da chuva, o escoamento superficial e a infiltração simultaneamente Figura 33.

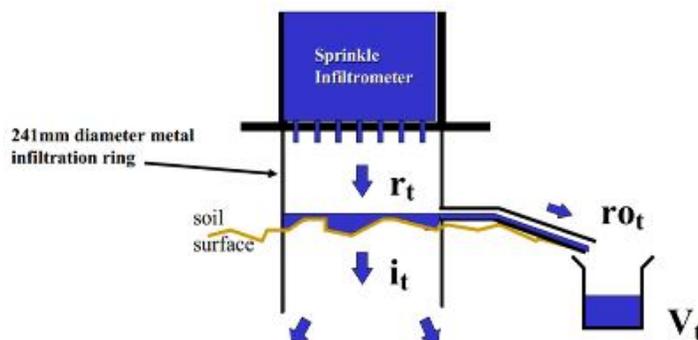


Figura 33: Desenho esquemático do *Infiltrômetro de Cornell*.
Fonte: Van Es e Schindelbeck (2003).

A intensidade da chuva obtida a partir da Equação 1 descrita por Santi (2007):

$$IC = (H1 - H2)Tf$$

Equação 1

Onde: IC = Intensidade da chuva; H1 = leitura inicial do volume de água na régua do infiltrômetro; H2 = leitura final do volume de água na régua do infiltrômetro e Tf = intervalo de tempo entre uma leitura e outra, de três em três minutos.

Escoamento superficial "Runnof"

O escoamento superficial foi determinado conforme a Equação 2.

$$Es = Vt/(457,30 * t)$$

Equação 2

Onde: Es = escoamento superficial; 457,30 = é a área do anel; t = intervalo de tempo entre as coletas da água escoada e V = volume de água coletada.

O início do escoamento superficial é registrado a partir da formação de um filete contínuo de água na saída da mangueira coletora. O método considera que a intensidade da chuva é controlada e, que a cada 3 minutos são realizadas leituras na régua (H1) concomitante é quantificado o volume de escoado armazenado no "becker" (200mL) caso ultrapasse o volume deve-se substituir por um novo "becker" (200mL). A intensidade da chuva e escoamento superficial foi realizada simultaneamente. Já a taxa de infiltração foi calculada pela diferença entre a intensidade de chuva aplicada e o escoamento superficial coletado. Os testes tiveram duração de aproximadamente 60 min, conforme a metodologia descrita por Van Es e Schindelbeck (2003).

Infiltração da água

A infiltração de água foi determinada por diferença de expressa conforme Equação 3

$$Ia = Ic - Es$$

Equação 3

Onde, Ia = infiltração de água; Ic = intensidade da chuva; Es = escoamento superficial

Calibração do Equipamento

Para calibrar o Infiltrômetro de Cornell durante as simulações de chuva com intensidade de 10 cm.h-1 ou 100 mm.h-1 e intensidade de 30 cm.h-1 ou 300 mm.h-1 a pesquisa utilizou os parâmetros recomendados e descritas no manual do equipamento desenvolvido em 1997 pelos pesquisadores Harold van Es e Robert Schindelbeck do Departamento de Cultura e Ciência do Solo da Universidade de Cornell, Ithaca, NY (ANEXO A). Vale ressaltar que todos os Procedimentos de Operação do referido equipamento foram certificados junto ao Departamento de Pesticidas e de Monitoramento Ambiental da Califórnia e são utilizados até os dias hoje. (ANEXO B).

De acordo com manual para se realizar uma simulação de chuva com intensidades de 30 cm.h-1 o equipamento deve estar configurado da seguinte maneira: H1= 42 cm; H2=10 cm; T=1h, Figura 34. Em seguida de posse da configuração recomendada para simulação de chuva de intensidade de 30 cm.h-1 ou 300 mm.h-1, foi calibrada a chuva de intensidade de 10 cm/h ou 100 mm.h-1, ou seja, os valores recomendados para chuva de intensidade de 30 cm.h-1 ou 300 mm.h-1, foi dividido por três, ou seja, o resultado da nova configuração foi à seguinte: H1= 14 cm; H2=3,3cm; T=1h, Figura 35.



Figura 34: Simulador instalado com uma coluna d'água de 300 mm.



Figura 35: Simulador instalado com uma coluna d'água de 100 mm.

Vale ressaltar que a calibração do equipamento foi baseada em estudo desenvolvidos no Brasil por ZWIRTES (2013) que também utilizou o método do *Infiltrrometer* de *Cornell* em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura argilosa e observou o início de escoamento entre 3 e 6 min, para intensidade de chuva próxima aos 300 mm h⁻¹. Enquanto Panachuki et al. (2006), simulou chuva com intensidade de 100 mm h⁻¹, e observaram escoamento superficial aos 1,16 min para área com pastagem contínua e 3,87 min para área manejada com Sistema de Plantio Direto - SPD.

Coleta e preservação das amostras

Os dados utilizados para o estudo são provenientes da simulação da chuva realizada *in loco* em diferentes tipos de Uso do solo e cobertura vegetal da área de estudo, inicialmente o simulador foi calibrado para duas intensidades de chuva uma de 30 cm h⁻¹ ou 300 mm h⁻¹ e 10 cm h⁻¹ ou 100 mm h⁻¹.

Após definida a calibração da intensidade de chuva, o operador inicia as simulações, nesta calibração se estabeleceu o tempo de 03 minutos de intervalo entre leituras, registrou-se a altura da coluna d'água (H1) na régua do simulador e, simultaneamente, inicia-se a marcação do tempo "cronômetro" e abertura do tubo de entrada de ar concomitante. Ao final mede-se a altura da coluna d'água (H2).

As amostras de água do escoamento superficial foram coletadas e preservadas conforme o estabelecido pelo protocolo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW) 21st Edition-2012.

Para determinação dos parâmetros, as amostras de água do escoamento superficial foram coletadas em recipientes estéreis, acondicionadas em caixa térmicas, sob-refrigeração e ao abrigo da luz até a chegada ao laboratório. As análises físicas, químicas e bacteriológicas foram realizadas em cada amostra de água do escoamento superficial coletado. As amostras de água coletadas para análise bacteriológica foram analisadas no prazo máximo de 24 horas.

Em cada amostra de água do escoamento superficial coletada foram realizadas as seguintes análises: potencial hidrogênionico (pH), condutividade elétrica, fósforo total, nitrogênio total e coliformes totais.

Os métodos utilizados em laboratório seguiram os recomendados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW) 21st Edition da American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF).

Considerando que não há norma vigente para água de escoamento superficial e tão pouco Valores Máximos Permitidos (VMP), nesta pesquisa terá como base os valores de concentração obtida da água natural utilizada na simulação "Branco" e a CONAMA 357/05 quando os (VMP) forem ultrapassados, esta estabelece os critérios e normas para águas doces, ou seja, Rios Classe 1, 2 e 3. Na Tabela 17, são apresentados os métodos utilizados, unidades de medida, bem como os Valores Máximos Permitidos (VMP). Para a condutividade elétrica, o valor de referência utilizado foi segundo o Manual de controle da qualidade da água para água bruta (FUNASA, 2014).

Tabela 17: Métodos analíticos utilizados.

Parâmetro	Método	Unidade	VMP
pH	Método 4500H+-B	-	6 - 9
Condutividade		µS/cm	100
Fósforo Total	Método 4500P	mg / L	0,050
Nitrogênio Total	Combustão Catalítica	mg / L	2,18
Coliforme Total	Método 9223B	N.M.P./100 mL	1000

Nota 1 – VMP (Valores Máximos Permitidos).

Nota 2 – Os resultados refletem as características da amostra no momento da análise e foram obtidas segundo a Metodologia Analítica.

Nota 3 – Rio Classe 02 (CONAMA 357/05) Fósforo total (ambiente lótico e tributário de ambientes intermediários);

Nota 4 - Rio Classe 02 (CONAMA 357/05) não deverá ser excedido um limite de 1.000 N.M.P./100 mL em 80% ou mais ou menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

4.6 ANÁLISE LABORATORIAL

Análise físico-química da água do escoamento superficial

Em cada ponto durante a realização da simulação da chuva, foi coletada amostra de água do escoamento superficial em recipiente de 100 ml para análise. Já os valores de pH e Condutividade foram aferidos *in loco* após coleta do escoamento superficial simulado, isso se deu ponto a ponto por meio de uma sonda multiparâmetro devidamente calibrada.

pH/ Condutividade

De acordo com Mendes & Oliveira (2004), o pH da água representa uma medida de acidez, ou alcalinidade e constitui a forma de expressar a atividade do íons de hidrogênio. O pH em água normalmente é influenciado por sua proveniência e pela natureza das rochas que lhe deram origem.

Já condutividade refere-se à capacidade que a água tem de transmitir corrente elétrica devido aos cátions (cargas positivas) e aos ânions (cargas negativas) presentes nela, a partir da dissociação de outras substâncias. A condutividade elétrica foi medida em micro Siemens ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Para águas naturais os valores de teores de condutividade recomendado estão na faixa de 10 a 100 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) já em ambientes poluídos como por ex. esgoto doméstico ou industrial os valores podem chegar a 1.000 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), (FUNASA, 2014).

Para a quantificação dos parâmetros da pesquisa procedeu-se da seguinte forma:

1. Calibração do aparelho segundo as instruções do fabricante;
2. Colocação da solução padrão em um tubo (este funcionará como branco) e após realizou-se à leitura;
3. Introdução do eletrodo na amostra de água, seguida a análise e registro do valor.

O princípio baseia-se na determinação da atividade dos íons de hidrogênio por medição potenciométrica usando um eletrodo padrão de hidrogênio e um eletrodo de referência. Em termos legais, de acordo com a resolução CONAMA 357/05, a água do rio Pípiripau é classificada como Classe 03 e, para tanto, os Valores Máximos de Permissíveis (VMP) para o (pH) é de (6,5 e 9,0). Os valores do (pH) são afetados pela temperatura e pela salinidade. Já para a Condutividade utilizou-se os valores de referência em (micro Siemens/distância), para águas naturais entre (10 e 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (FUNASA, 2014).

Para aferir os parâmetros (pH) e (Condutividade), foi utilizada uma sonda multiparâmetro portátil, devidamente calibrada, conforme aferições *in loco*, Figura 36.



Figura 36: Aferição do pH e da Condutividade da água do escoamento superficial.

Fósforo total

Para determinação do Fósforo Total, utilizou-se o método proposto por Hack, o qual usa a colorimétrica entre o frasco controle e a amostra analisada, este utiliza um espectrofotômetro na faixa de 890 nm para aferição. Para o preparo do reagente controle, foram utilizados em um frasco 2 ml de ácido sulfúrico e um sachê de persulfato de potássio (Power pillow). Em seguida o material foi encaminhado para o Reator e aquecido a 110°C por cerca de 30 minutos. Após o resfriamento, foram adicionados 2 ml de Hidróxido de sódio 1.00N no frasco que foi agitado até ocorrer a mistura completa.

Já de posse do frasco contendo a amostra foi adicionado o reagente PhosVer 3, em seguida é inserido no adaptador do espectrofotômetro, zerado o equipamento (espectrofotômetro) e iniciadas as leituras. Após as leituras das amostras, subtraiu-se o valor aferido na amostra controle. Vale ressaltar que o método tem o alcance para fósforo total no limite de 0 a 3,5 mg/L Figura 37.



Figura 37: Aferição do fósforo total da água do escoamento superficial.

Nitrogênio total

O valor de Nitrogênio Total (N_{total}) detectado na água do escoamento superficial foi quantificado por meio de analisador do tipo Multi N / C Modelo 2100. Este equipamento utiliza o método de combustão catalítica em altas temperaturas, próximas de 950 ° C e realiza leituras por espectroscopia de infravermelho, além de possuir um sensor de infravermelho não dispersivo, *nondispersive infrared sensor* (NDIR) que realiza a leitura do parâmetro sem a necessidade de se utilizar reagentes químicos, Figura 38.



Figura 38: Analisador do tipo Multi N / C Modelo 2100.

Análise bacteriológica da água do escoamento superficial

Coliforme total

Em cada ponto definido foi coletada amostra de água do escoamento superficial simulado e encaminhado para em laboratório realizar análise de coliforme total.

A contagem de coliformes totais procedeu-se de acordo com as recomendações do fabricante do kit Hach (1998). O meio de cultura fornecido foi hidratado em um tubo de 100 ml contendo água de escoamento superficial dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal. Seguidamente, verteu-se o conteúdo dos tubos para uma cartela, espalhou-se uniformemente toda a amostra com movimentos circulares para que os poços “cartela” ficassem totalmente preenchidos e sem bolhas de ar. Por último, durante o lacre da cartela, o excesso de água foi removido e, posteriormente, encaminhar para estufa a 37°C durante 24 a 48 horas. Após o período de incubação, procedeu-se a enumeração dos coliformes totais através da contagem do número em que ocorreu a mudança de cor do meio de cultura. Os coliformes totais foram determinados pelo método do substrato cromogênico utilizando-se o protocolo Colilert, descrito por Hach (1998), podendo ser observado na Figura 39.

Nessas análises, as células que apresentassem coloração amarela seriam consideradas positivas para coliformes totais. Com base em tabela fornecida pelo fabricante, calculou-se o número de coliformes total presentes em cada amostra e os resultados foram expressos em (NMP/100 mL).



Figura 39: Equipamento utilizado para Lacrar a cartela contendo o meio de cultura.

4.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os resultados das análises laboratoriais foram submetidos a tratamento estatístico com o auxílio dos programas Excel versão 2010 e PAST 3.12 versão 2016, Hammer et al, (2001). Os dados foram submetidos à estatística descritiva para obtenção dos valores de tendência central (média aritmética, desvios padrões, curtose, assimetria, mínimo e máximo e nível de confiança), (APÊNDICE “D”) e (APÊNDICE “E”).

O teste de normalidade demonstrou que as variáveis em estudo (infiltração, escoamento superficial, pH, condutividade, fósforo total, nitrogênio total e coliforme total) não apresentam em sua totalidade uma distribuição normal dos dados. Isso só foi possível identificar a partir da análise dos dados por meio de gráfico de Box –plots de Shapiro – Wilk com $p < 0,05$, conforme utilizado por Bitá et al (2016). Portanto, os dados da pesquisa foram analisados e tratados com teste não paramétrico, o qual não requer que os dados sejam normais para a sua aplicação, em especificamente o teste de Kruskal Wallis, Devore (2014). O teste foi realizado a fim de identificar se existem diferenças significativas entre as médias das variáveis em estudo (infiltração, escoamento superficial, parâmetros físico-químico e bacteriológico do escoamento superficial) nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (Agricultura, Cerrado e Pastagem) com o nível de significância ($\alpha=0,05$). Em seguida aplicou-se o teste de Mann-Whitney U Devore (2014) já ajustado de acordo com a correção de Bonferroni para avaliar a diferença significativa entre os tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem) com nível de confiança ($\alpha = 0,05$).

Portanto a Hipótese é:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

H1: pelo menos uma média é \neq

Posteriormente, procedeu à espacialização das variáveis pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW), a fim de interpolar as variáveis (infiltração, escoamento superficial, parâmetros físico-químico e bacteriológico do escoamento superficial). Vale ressaltar que Bernadi et al. (2014), em seu estudo de variabilidade espacial de parâmetros físicos químicos do solo, utilizou o IDW para espacializar as variáveis (pH, Material Orgânica, Fósforo, Potássio, CTC etc.), uma vez que este tipo de interpolado produz melhores mapas de contorno para parâmetros físico-químicos do solo.

Vale ressaltar que, em estudo sobre a espacialização de dados de erosividade realizado em Morrinhos/GO por Cabral et al. (2005), verificaram que o interpolador (IDW) foi considerado dentre os métodos convencionais, o que apresentou resultados mais fidedignos, representando de forma satisfatória a espacialização dos índices. Este método considera a distância entre os pontos amostrados e o ponto estimado para designar o peso ou a influência de cada ponto amostrado para o ponto estimado. Ao passo que quanto mais próximo estão localizados os pontos amostrados do ponto estimado, maior o peso que recebem, de modo que quanto maior a distância entre pontos amostrados e estimados, menor a sua influência nos valores estimados.

Já que com o método de Krigagem os mapas de contorno não representaram realidade dos dados coletados na bacia, provavelmente devido à quantidade de pontos insuficiente para a interpolação. Cabe ressaltar que os mapas de contornos elaborados não foram construídos com o objetivo de avaliar a qualidade da interpolação, portanto os pontos amostrados foram interpolados entre si com um raio fixo de 12 km entre ponto. Já para definição das 5 classes de concentração referente a cada um dos parâmetros apresentada nos mapas de contorno (pH, Condutividade, Fósforo Total, Nitrogênio Total e Coliforme Total).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados neste capítulo referem-se a (22) pontos amostrais, uma vez que, para realização das análises físico-químicas e bacteriológicas da água é necessária a obtenção do escoamento superficial. Portanto os pontos (P11) e (P15) não houve material para análise. Nesse caso somente os dados de infiltração correspondem aos 24 pontos de amostragem.

Os dados coletados e analisados (infiltração, escoamento superficial, pH, condutividade, fósforo total, nitrogênio total e coliforme total) foram tratados estatisticamente e analisados em três etapas: na 1ª Etapa, propõe-se uma estatística descritiva a fim de conhecer os dados; na 2ª Etapa, aplicou-se a estatística inferencial, com o propósito de testar as médias e comparar entre os diferentes tratamentos, para tanto, aplicou-se o teste de Kruskal Wallis e Mann-Whitney entre os tratamentos (agricultura, cerrado e pastagem). Vale ressaltar que nessa etapa, os valores de P-Value são apresentados duas vezes para cada teste. Os níveis de significância dos valores mostrados em negrito foram determinados utilizando $\alpha \frac{1}{4} 0.05$, considerando que os níveis de significância dos valores demonstrados na fonte regular foram determinados utilizando a correção de Bonferroni, $\alpha 0 \frac{1}{4} 0.0055$, onde $\alpha 0$ é calculado dividindo-se α pelo $k - 1$ para comparações múltiplas entre grupos de significância (k), ou seja, em cada tipo de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem), utiliza os critérios da respectiva importância.

Já a 3ª Etapa e última contou com a aplicação do método de interpolação de dados em cada variável a fim de espacializar e estimar locais não amostrados, elaborando-se mapas de contorno para cada variável em estudo. Na pesquisa utilizou o método do Inverso do Quadrado da Distância –(IDW), sendo que para cada variável espacializada foi definida cinco classes de concentração, variando de (1 a 5), para definir cada classe utilizou-se a média geométrica, conforme recomendado pelo próprio software ArcGIS 10.2.

5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA E ESPACIAL

Infiltração

Dentre as variáveis estudadas, a infiltração foi à única que representou a totalidade da amostragem proposta para bacia, ou seja, 24 pontos, distribuídos em 8 pontos para cada um dos três “grupos” ou “tratamentos” (agricultura, cerrado e pastagem), com oito pontos de amostragem cada, ou seja, (n=8). Desta forma, pretende-se analisar o comportamento da infiltração nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal da bacia (agricultura, cerrado e pastagem), sobre quatro grupos de solo: Grupo “A”, Latossolo Vermelho distrófico (LVd), Latossolo Vermelho – amarelo distrófico (LVAd) e Neossolo Quartzarênico órtico (RQo); Grupo “B” Nitossolo Vermelho eutrófico (NVe); Grupo “C” Cambissolo distrófico (Cxd) e Grupo “D” Gleissolo Háptico (Hi).

Foram definidas 3 etapas para apresentar os valores da infiltração simulada e quantificada nos diferentes uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem). A primeira etapa, contou com a análise exploratória dos resultados a qual foi calculado a média, o erro padrão e os valores máximos e mínimos. Neste sentido, os valores apresentados correspondem à média da infiltração simulada nos diferentes tipos de uso cobertura do solo: agricultura (206 mm. h-1), Cerrado (194 mm. h-1) e pastagem (138 mm. h-1), conforme pode ser observado na Figura 40.

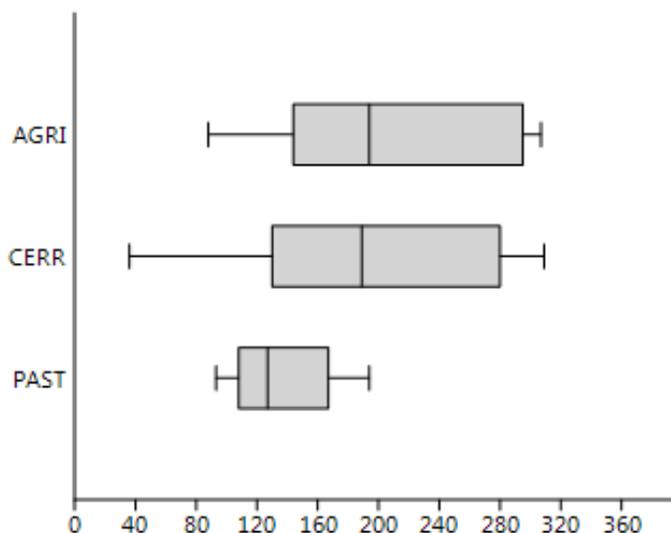


Figura 40: Box Plot - Infiltração (mm. h-1).

A segunda etapa contou com a aplicação do teste estatístico não paramétrico de comparação múltipla entre os valores médios da infiltração nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (Agricultura, Cerrado e Pastagem). O teste de Kruskal Wallis ordena os valores médios de forma crescente em cada tratamento (agricultura, cerrado e pastagem) em seguida comparam os valores médios entre cada tratamento em nível de significativa $\alpha = (0,05\%)$, com probabilidade de (95%) de acerto para P-valor ($< 0,05$).

A Tabela 18 apresenta os valores de P-valor ($> 0,05$), resultado da comparação das médias entre os tratamentos (agricultura, cerrado e pastagem), sendo que valores calculados de P-valor foram ($> 0,05$), portanto rejeita-se a hipótese nula de igualdade ($\mu=0$), ou seja, as médias são diferentes.

Tabela 18: Teste de Mann-Whitney U P - valores para taxas de infiltração nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.

	PAST	CERR	AGRI
PAST	-	0,0661	0,0740
CERR	0,0661	-	0,9581
AGRI	0,0740	0,9581	-

Já a 3ª Etapa da análise contou com espacialização e interpretação do mapa de contorno da infiltração, foram definidas 05 classes de infiltração na área de estudo, sendo que não foram realizados ensaios em (3,36%) da bacia que corresponde às áreas de “edificação”, portanto na análise esta classe de uso do solo e cobertura vegetal foi desconsiderada. Já com relação à porcentagem de área das outras classes de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem) estas representam (30,65%), (26,87%) e (39,11%) respectivamente.

A Figura 41 ilustra a espacialização da infiltração simulada na Bacia do Ribeirão Pipiripau. Na elaboração do mapa de contorno foram definidas cinco classes de infiltração variando de (0 – 70 mm. h-1); (70 – 140 mm. h-1); (140 – 180 mm. h-1); (180 – 220 mm. h-1) e (220 - 308 mm. h-1). Os ensaios de infiltração foram realizados visando analisar o comportamento da infiltração nos quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D) representados por (80,22%), (0,16%), (12,17%) e (4,10%), respectivamente a área da bacia.

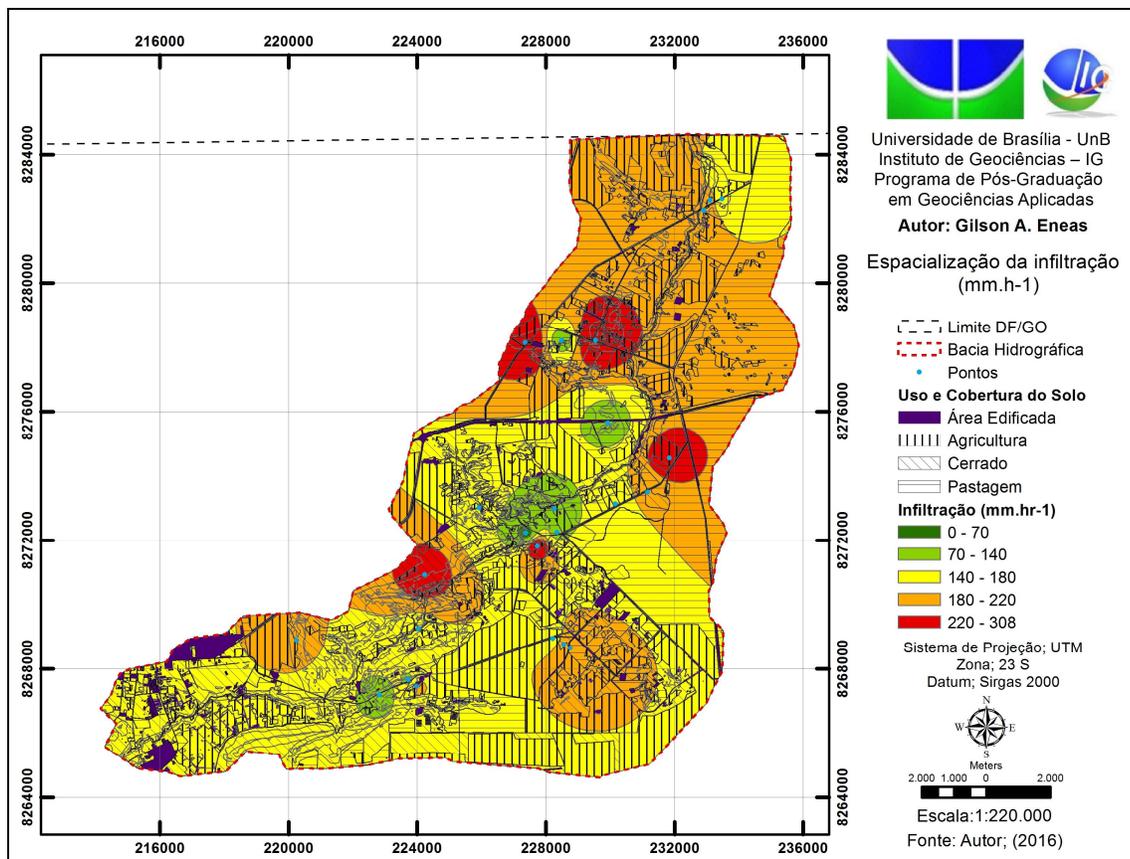


Figura 41: Espacialização da infiltração da água no solo na Bacia do Ribeirão Pipiripau-DF.
Fonte: Autor, (2016).

Na maior parte da bacia do Ribeirão Pipiripau-DF, os solos são caracterizados como profundos e com alta taxa de infiltração. Na região do Pipiripau, esta relacionada ao compartimento de relevo Plano Elevado em áreas morfodinamicamente mais estáveis, com declividades menores que 5%, em associação a vegetação de campo cerrado com condições erosivas praticamente nulas (ZEE, 2011).

Dentre os quatro Grupos de solos, destaca-se o Grupo A - (LVAd, LVd e RQo), representados pelos Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, Latossolo Vermelho distrófico e Neossolo Quartazarênico órtico que, juntos, somam (82%) da área da bacia, já o solo do Grupo B – (NVe) Nitossolo Vermelho estrófico representa (0,16%), sendo a menor parcela de solo estudada, com (33,83 hectares), esses são solos rasos com baixa taxa de infiltração, já o solo do Grupo C – (CX) Cambissolo háplico distrófico e Grupo D – (Hi) Gleissolo háplico, que juntos, somam (17,7 %) da área de estudo. Com relação aos Neossolo Quartazarênico (RQo), este tipo de solo não foi contemplado na pesquisa.

A espacialização da infiltração simulada nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal representam (50,50%) da classe 3 (140 a 180 mm. h-1); seguidas de (37,6%) da classe 4 (180 – 220 mm. h-1), (4,97%) da classe 5 (220 – 308 mm. h-1), (3,54%) da classe 2 (70 – 140 mm. h-1) e (0,06 %) da classe 1 (0 – 70 mm. h-1).

Grupo A - (LVAd, LVd e RQo): de maneira geral, os valores de infiltração encontrados em (80,22%) dos solos estudados do Grupo A, (41,74%) representam áreas da classe 3 (140 a 180 mm. h-1), distribuídos em (16,82%) na agricultura, (11,59%) no cerrado e (13,32%) na pastagem. Já a classe 4 (180 – 220 mm. h-1) representa 33,43% da área de estudo distribuídas em (10,15%) agricultura, (4,18%) de cerrado e (17,81%) de pastagem.

Grupo B – (NVe): representa (0,16%) da área de estudo, sendo a menor parcela de solo estudada, com (33,83 há), são solos profundos com moderada taxa de infiltração. Os valores estimados da infiltração na classe 2 (70 – 140 mm. h-1) representa (0,07%) da bacia distribuídos em (0,06%) no cerrado e (0,01%) na pastagem. Já a espacialização da infiltração na classe 3 (140 – 180 mm. h-1) representada por (0,08%), esta se sobrepõe a cerca de (0,05%) de cerrado e (0,03%) de pastagem. Enquanto a infiltração de água no solo na classe 4 (180 – 220 mm. h-1) foi distribuída em menos de (0,01%) da área de estudo dividida em agricultura, (0,003%) no cerrado e (0,003%) na pastagem (0,004%).

Grupo C - (CX): com (12,17%) dos solos estudados, caracterizados por serem solos poucos profundos com baixa taxa de infiltração. A classe 3 (140 – 180 mm. h-1) representa (6,99%) dos valores estimados da infiltração na da bacia distribuídos em (0,58%) na agricultura, (4,91%) no cerrado e (1,50%) na pastagem. Já a infiltração de água no solo na classe 4 (180 – 220 mm. h-1) representou (2,46%) da área de estudo dividida em (0,43%) agricultura (1,50%) no cerrado e (0,53%) na pastagem.

Grupo D - (Hi): representados (4,09%) da área de estudo, este solos são rasos com baixa taxa de infiltração. Os valores de infiltração observada nas classes 3 (140 – 180 mm. h-1) e classe 4 (180 – 220 mm. h-1) somadas representam cerca de (1,69 %) e (1,68 %) da área da bacia, respectivamente, distribuídas entre a classe 3 (140 – 180 mm. h-1) com (0,46%) de agricultura, (0,74%) cerrado e (0,48%) pastagem. Já a classe 4 (180 – 220 mm. h-1) as áreas representam, (0,73%) na agricultura, (0,48%) no cerrado e (0,47%) na pastagem.

Gonçalves et al. (2009), baseados em Lombardi-Neto et al. (1989) e Sartori (2004), desenvolveram o modelo de capacidade de retenção máxima de água dos solos para o DF a partir da aplicação do método CN. A Tabela 19 apresenta os resultados modelados para as seis classes de uso do solo e cobertura vegetal. Estes valores máximos de capacidade de retenção de água em cada Grupo Hidrológico (A, B, C e D) serão utilizados como parâmetros para comparar os valores de infiltração simulada na bacia em diferentes tipos de usos e cobertura do solo (agricultura, cerrado e pastagem).

Tabela 19: Capacidade de retenção máxima de água dos solos (mm/ano), adaptado de Gonçalves et al. (2009)

Classes de Uso e Cobertura Vegetal	Grupos Hidrológicos de Solos			
	A (LV, LVA e RQ) solos muito profundos com alta taxa de infiltração	B (NV, PVe e MX) solos muito profundos com moderada taxa de infiltração.	C (FF e RU) solos poucos profundos com baixa taxa de infiltração	D (GX e CX) solos rasos com baixa taxa de infiltração
	Capacidade de Retenção Máxima de Água dos Solos (mm/ano)			
Classe 1 - Corpos de água	0	0	0	0
Classe 2 - Campo, capoeira, reflorestamento - combinado de gramas e pomares ou árvores, fazendas e chácaras.	381	162	89	63
Classe 3 - Áreas urbanas com menos de 40% de áreas impermeáveis	298	137	76	56
Classe 4 - Áreas urbanas entre 40% e 70% de áreas impermeáveis	119	67	41	31
Classe 5 - Áreas urbanas com mais de 70% de áreas impermeáveis	31	22	16	13
Classe 6 - Terra arada, plantios em linha, pequenos grãos ou cereais, semeadura densa de leguminosas ou dos pastos em rodízio, pastagem, pastos ou campos de pastagem	149	89	59	45
Classe 7 - Áreas impermeáveis	5	5	5	5

Na presente pesquisa, consideraram-se somente duas das seis classes de uso do solo e cobertura vegetal proposta por Gonçalves et. al. (2009): as classes 2 (campo, capoeira, reflorestamento - combinado de gramas e pomares ou árvores, fazendas e chácaras) e classe 6 (terra arada, plantios em linha, pequenos grãos ou cereais, semeadura densa de leguminosas ou dos pastos em rodízio, pastagem, pastos ou campos de pastagem), estas duas classes possui características similares as classes de uso do solo e cobertura vegetal proposta na pesquisa, ou seja, (agricultura, cerrado e pastagem).

O valor médio da infiltração simulada na agricultura (206 mm. h-1), cerrado (194 mm. h-1) e pastagem (138 mm. h-1), quando comparado com os valores modelados numericamente pelo método CN (Grupo A – Classe 2), os resultados aproximam-se em cerca de (54%), (50%) e (36%) do Grupo A, respectivamente. Já com relação aos valores simulados para o Grupo B, quando comparados com o método CN (Grupo B – Classe 2), os resultados ultrapassam em cerca de (27,16%), (19,75%) e (14,81%). Portanto, quando considerado os resultados de infiltração simulada dos dois grupos (A) e (B) comparado aos valores proposto pelo modelo matemático CN, infere-se que os resultados simulados representam boa parte das classes de uso do solo e cobertura vegetal da bacia hidrográfica.

Quanto à representação espacial da infiltração simulada nos solos dos Grupos C- (Cxd) e Grupo D - (Hi), apresentou valores de infiltração alto quando comparado com os valores modelados pelo método CN, os valores estimados para infiltração em áreas de mata nativa é de (89 mm. h-1) e (63 mm. h-1) respectivamente, já os valores simulados para o Grupo C- (Cxd) e Grupo D - (Hi) em áreas de agricultura (206 mm. h-1), cerrados (194 mm. h-1) e pastagem (138 mm. h-1), os valores ultrapassam no Grupo C- (Cxd) nos diferentes usos em (231%), (218%) e (155%); já no Grupo D - (Hi) em (327%), (308%) e (219%) respectivamente. Portanto a pesquisa corrobora com o estudo realizado por Zwirter et al. (2011), o qual afirma que a infiltração de água no solo sob diferentes usos são diferentes, ou seja, em áreas de mata nativa, a velocidade da infiltração de água é maior, quando comparado com áreas de agricultura ou ainda de pastagens, onde ocorre alteração das propriedades físicas do solo.

Já quando comparado os valores médios de infiltração determinado para a bacia do Pípiripau/DF com os valores médios encontrados por Kemerick et al. (2014) para a bacia hidrográfica de Vacacaí/RS, o qual também utilizou o método de *Cornell Sprinkle Infiltrometer*, observa-se que os valores de infiltração são muito próximos, ou seja, em áreas de agricultura (146 mm.h-1), mata nativa (300 mm. h-1) e em áreas de pastagem (110 mm. h-1), ou seja, (71%), (155%) e (80%) dos valores simulados na bacia do Pípiripau, senda assim a pesquisa corrobora com a aplicação do método de *Cornell Sprinkle Infiltrometer* em análise de escoamento superficial em diferentes uso do solo e cobertura vegetal.

Na mesma linha de pesquisa, Bitá et al. (2016) aplicaram o método de *Cornell Sprinkle Infiltrometer* em um estudo conduzido nas Cidades de Nova York e Philadelphia – USA. Na pesquisa foram estudados 10 diferentes tipos de superfícies permeáveis, com o objetivo de analisar a taxa de infiltração da água nas diferentes superfícies. Os valores médios observados da taxa de infiltração entre as 10 superfícies permeáveis foram diferentes significativamente, ou seja, em superfície vegetada, o valor médio da infiltração foi de 110 (mm. h-1); já em superfície permeável contendo intervenções de engenharias, o valor médio foi 150 (mm. h-1). Portanto quando comparado os valores de infiltração simulada na bacia do Pípiripau/DF sobre os diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal, ou seja, em áreas de agricultura (206 mm. h-1), cerrado (194 mm. h-1) e pastagem (138 mm. h-1), aproxima-se em (53%), (57%) e (80%) dos valores médios simulados por Bitá et al. (2016) para área de mata nativa. Já quando comparada com superfície permeável, os valores sobem para (73%), (77%) e (109%), respectivamente.

Escoamento superficial

Quanto aos ensaios de escoamento superficial foram simulados 24 pontos. Sendo que em dois pontos (P11) no cerrado e (P15) na agricultura não ocorreu o escoamento superficial, ou seja, uma condição de cerrado nativo sobreposto ao Latossolo e a outra, uma agricultura mecanizada com plantio de mandioca, sobre Cambissolo condições estas que favoreceram a uma máxima infiltração (300 mm. h-1) - Apêndice “E”.

Na análise dos dados de escoamento superficial os valores médios determinados na simulação para cada ponto amostrado na bacia, foram comparados entre os diferentes tratamentos (agricultura, cerrado e pastagem), estes foram distribuídos da seguinte forma, (n=7), (n=7) e (n=8) respectivamente, totalizando 22 pontos de amostragem.

Desta forma, os resultados obtidos de escoamento superficial simulado na bacia do Ribeirão Pipiripau, foram obtidos a partir da análise do comportamento em função dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem), sobreposto aos quatro grupos hidrológicos estudados: Grupo "A" Latossolo Vermelho distrófico (LVd), Latossolo Vermelho – amarelo distrófico (LVAd) e Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), Grupo "B" Nitossolo Vermelho eutrófico (NVe), Grupo "C" Cambissolo Háptico distrófico (Cxd) e Grupo "D" os Gleissolo Háptico (Hi).

Da mesma forma que a infiltração, os resultados referente aos valores do escoamento superficial simulado nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem), foram constituídos da média, erro padrão e dos valores máximos e mínimos. Neste sentido os valores médios do escoamento superficial simulado foram: agricultura (100 mm. h-1), Cerrado (115 mm. h-1) e pastagem (177 mm. h-1), conforme apresentado na Figura 42.

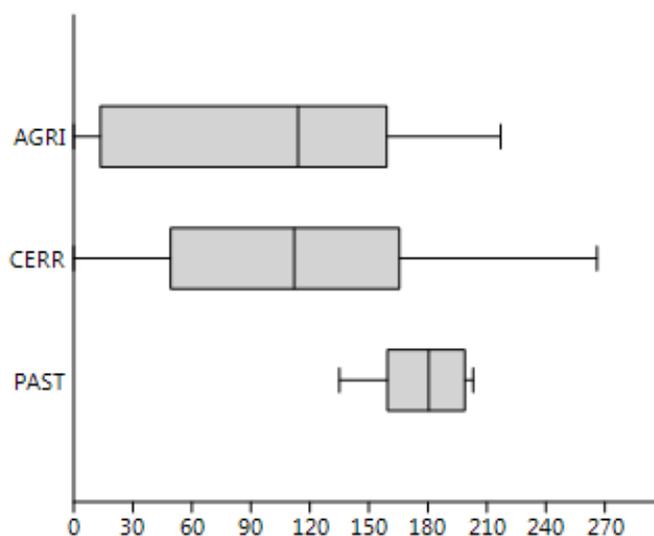


Figura 42: Box plot - Escoamento Superficial (mm. hr-1).

A segunda etapa contou com a aplicação do teste estatístico de comparação múltipla entre as médias do escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal / tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem). O teste de Kruskal Wallis ordena os valores médios de forma crescente em cada tratamento (agricultura, cerrado e pastagem) em seguida comparam os valores médios entre cada tratamento em nível de significativa $\alpha = 0,05\%$, com probabilidade de (95%) de acerto para P-valor ($< 0,05$).

A Tabela 20 apresenta os valores de P-valor ($< 0,05$), resultado da comparação das médias entre os tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem), para valores calculados de P-valor ($< 0,05$), aceita a hipótese nula de igualdade ($\mu=0$), ou seja, as médias de escoamento superficial simulado em dois tratamentos são iguais, ou seja, agricultura (100 mm. h-1) e Cerrado (115 mm. h-1), enquanto a média de escoamento superficial na pastagem (177 mm. h-1) é diferente significativamente das outras. Desta forma, há evidências que, em áreas de pastagem, o impacto da compactação realizada pelo pisoteio dos animais, atrelado à retirada da cobertura vegetal aumenta a taxa de escoamento superficial em (56%) e (65 %) quando comparada com as médias encontradas para a agricultura e cerrado.

Tabela 20: Teste de Mann-Whitney U P - valores para a taxa de escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.

	PAST	CERR	AGRI
PAST	-	0,0313	0,0404
CERR	0,0313	-	0,958
AGRI	0,0404	0,958	-

Já na análise e interpretação do mapa de contorno do escoamento superficial. Foram definidas 5 classes de escoamento superficial para a área da bacia, sendo que não foram realizados ensaios em (3,36%) da bacia que correspondia às áreas de uso do solo e cobertura vegetal “edificação”, portanto, na análise essa classe de uso foi desconsiderada.

A Figura 43 ilustra a espacialização do escoamento superficial simulado na Bacia do Ribeirão Pipiripau-DF. Para a elaboração do mapa de contorno foram definidas cinco classes do escoamento superficial variando de (0 – 60 mm. hr-1); (60 – 120 mm. hr-1); (120 – 160 mm. hr-1); (160 – 200 mm. hr-1) e (200 - 260 mm. hr-1). As simulações realizadas visam analisar o comportamento do escoamento superficial nos quatro Grupos hidrológicos (A, B, C e D), quando sobreposto aos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem) representados por (30,65%); (26,87%) e (39,11%), respectivamente.

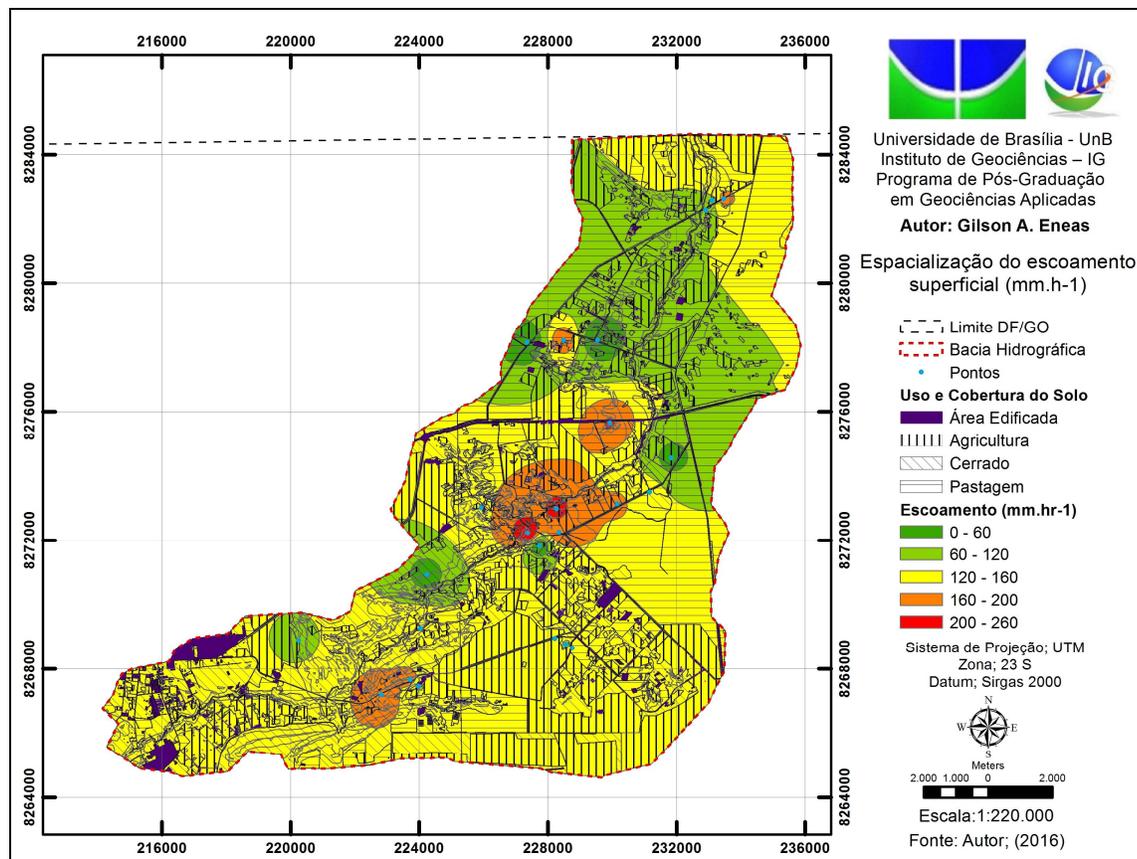


Figura 43: Espacialização do escoamento superficial simulado na Bacia do Ribeirão Pipiripau-DF.
 Fonte: Autor, (2016).

O escoamento superficial simulado nos diferentes uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem) foi representado por (64,55%) da classe 3 (120 a 160 mm. hr-1); seguidas de (23,9 %) da classe 2 (60 – 120 mm. hr-1); (5,95 %) da classe 4 (160 – 200 mm. hr-1); (1,82 % da classe 1 (0 – 60 mm. hr-1) e (0,41%) da classe 5 (200 – 260 mm. hr-1).

Grupo A - (LVAd, LVd e RQo): os valores simulados de escoamento superficial encontrados em (80,22%) dos solos estudados do Grupo A, (54,8%) representam a classe 3 (120 a 160 mm. hr-1), distribuídos em (21,74%) de agricultura, (13,56%) de cerrado e (19,50%) de pastagem, enquanto a classe 2 (60 a 120 mm. hr-1) distribuí-se em (21,15%) da área de estudo sendo, (5,16%) na agricultura; (3,03%) no cerrado e (12,95 %) na pastagem.

Grupo B – (NVe): representa (0,16%) da área de estudo com a menor parcela de solo estudada (33,83 hectares). Os valores estimados do escoamento superficial simulada na classe 3 (120 – 160 mm. hr-1) representam (0,041%) da bacia distribuídos em (0,024%) de cerrado e (0,017%) na pastagem. Já a espacialização do escoamento superficial na classe 4 (160 – 200 mm. hr-1) sobrepõe cerca de (0,11%) do grupo hidrológico em estudo, dividido em (0,096%) de cerrado seguidos de (0,017%) de pastagem, nesta classe não se observou escoamento superficial no uso agricultura.

Grupo C - (CX): representado por (12,17%) dos solos em estudado, os valores estimados do escoamento superficial na classe 3 (120 – 160 mm. hr-1) representa (60,33%) dos valores do escoamento superficial para o grupo, sendo 6% na agricultura, (42,1%) no cerrado, e (12,3%) na pastagem. A classe 4 (160 – 200 mm. hr-1) foi representada por (20,3%) da área de estudo especializado em (1,5%) da agricultura, (8,3%) no cerrado e (10,34 %) na pastagem.

Grupo D - (Hi): representado por (4,09%) da área de estudo, caracterizam por serem solos rasos com baixa taxa de infiltração. Os valores de escoamento superficial observado nas classes 1 (0 – 60 mm. hr-1); classe 2 (60 – 120 mm. hr-1) e classe 3 (120 – 160 mm. hr-1), representam (0,44%), (1,01%) e (2,37%) da área da bacia respectivamente, distribuídas entre a classe 1 com (0,06%) de agricultura, (0,08%) de cerrado e (0,30%) pastagem. Enquanto a classe 2 as áreas representam (0,40%) de agricultura, (0,23%) no cerrado e (0,38%) na pastagem, e por último, a classe 3 com a maior representação dentro do grupo hidrológico estudado, ou seja, (2,37%) distribuídos em (0,77%) na agricultura, (0,95%) no cerrado e (0,65%) na pastagem.

Salles (2012), em sua pesquisa, aplicou o modelo SWAT para estimar a vazão da bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau/DF, neste modelo foi utilizado o método CN para estimativa do balanço hídrico no período entre 1989 a 1998, os resultados são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21: Resultados médios anuais do CN e do balanço hídrico simulado na bacia do Pípiripau entre 1989 e 1998. Adaptado de Salles (2012).

Precipitação (mm)	1372,00
Neve (mm)	0
Neve derretida (mm)	0
Sublimação (mm)	0
Escoamento Superficial (mm)	115,46
Escoamento sub-superficial (mm)	106,62
Escoamento de base (mm)	230,52
Perdas por transmissão do canal (mm)	2,04
Produção de água (mm)	450,57
Recarga do aquífero profundo (mm)	69,85
Recarga do aquífero raso (mm)	395,83
Recarga Total (mm)	465,68
Percolação de água para zona vadosa	466,4
Evapotranspiração potencial	2.132,00
Evapotranspiração real	680,9
Ascensão capilar aquífero raso =>	165,3
CN2 médio anual	62,65
CN 2 médio anual ponderado	64,11

Com base no valor estimado pelo modelo (CN) de (114,5 mm) para o escoamento superficial da bacia do Pípiripau/DF, por Salles (2012), realizou-se uma comparação com os valores simulados pelo o método de *Cornell Sprinkle Infiltrometer*.

Portanto, os valores médio de escoamento superficial simulado nos diferentes uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Ribeirão Pípiripau-DF, são agricultura (100 mm. hr-1), no cerrado (115 mm. hr-1) e pastagem (177 mm. hr-1), no entanto quando utilizado os valores médio simulado para bacia e comparado com os valores obtidos a partir do método CN, estes aproxima-se em (87%) na agricultura e (99%) no cerrado. Já quando comparada com o escoamento superficial simulado na área de pastagem, o valor ultrapassam em (55%) o valor médio. Já quando considerada a média entre os três tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem), ou seja, (130 mm. hr-1), esta se aproxima em (87,6%) do valor médio obtido pelo método CN.

Os resultados da pesquisa de Kemerick et al, (2014), o qual também utiliza o método de *Cornell Sprinkle Infiltrometer* na Bacia de Vacacaí/RS estimados para agricultura (204 mm. hr-1), mata nativa (162 mm. hr-1) e pastagem (234 mm. hr-1), corroboram com os valores de escoamento superficial simulado na presente pesquisa, ou seja, os valores médios estimados para a (agricultura, cerrado e pastagem) aproximam-se em (70,8 %), (76%) e (49%), respectivamente.

5.2 PARÂMETRO FÍSICO-QUÍMICO DA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH compõe uma das variáveis de potabilidade da água, portanto as águas destinadas ao abastecimento público devem apresentar valores de acordo com a Portaria nº 2.914/2011, do Ministério da Saúde (Brasil, 2011), bem como a CONAMA 357/05, enquadramento de acordo com o estabelecido pela legislação federal, os corpos hídricos de água doce em Classes 1, 2, 3 e 4, desta forma todos os critérios legais, além da proteção da vida aquática fixam o pH entre (6 e 9) ANA, (2009).

Para avaliar se houve exportação ou lixiviação da variável estudada, utilizou-se o valor de (5,8) referente ao pH do poço artesiano (Branco), percebe-se que ao comparar com as médias da agricultura (6,1), cerrado (5,7) e pastagem (6,2), não houve diferença significativa, ou seja, no cerrado o valor aproximou-se em (99%), na agricultura e pastagem ultrapassaram cerca de (105%) e (106%) respectivamente.

Portanto, serão apresentados os valores de pH da água do escoamento superficial simulado sobre os diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem), constituída de média, erro padrão e dos valores máximos e mínimos. Deste modo o valor de pH da água do escoamento superficial sobre os diferentes tipos de usos são: agricultura (6,1), cerrado (5,7) e pastagem (6,2), Figura 44.

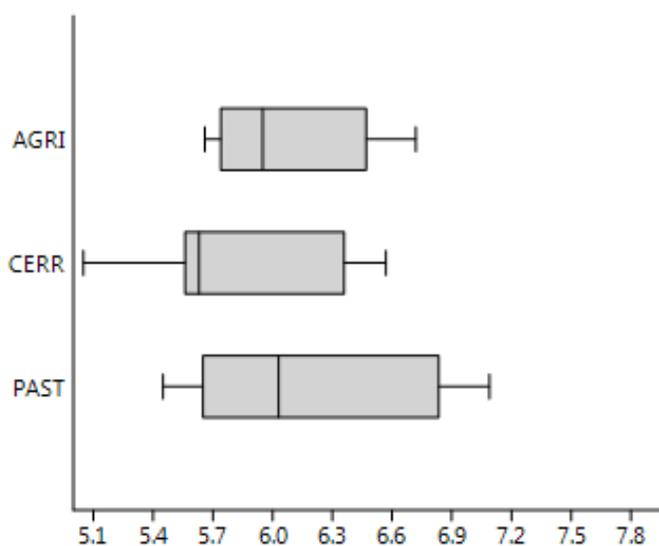


Figura 44: Box Plot - pH,.

Após comparação múltipla entre as médias do pH analisado da água do escoamento superficial sobre os diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal/tratamentos (agricultura, cerrado e pastagem), o resultado da comparação é apresentado na Tabela 22, sendo que os valores calculados de P-valor foram ($> 0,05$), ou seja, rejeita-se a hipótese de igualdade ($\mu=0$), assim sendo pode-se inferir que as médias de pH entre os tratamentos são diferentes, deste modo não há evidência que as médias estimadas na pesquisa sejam de uma mesma população.

Tabela 22: Teste de Mann-Whitney U P - valores de pH no escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.

	PAST	CERR	AGRI
PAST	-	0,2268	0,6365
CERR	0,2268	-	0,3439
AGRI	0,6365	0,3439	-

Na etapa de análise e a interpretação do mapa de contorno do pH, foram definidas 5 classes de concentração de pH, portanto não foram realizados simulações em (3,36%) da bacia a qual correspondia a área de “edificação”, na análise esta classe de uso do solo e cobertura vegetal foi desconsiderada.

A Figura 45 ilustra a espacialização do pH analisado no escoamento superficial simulado na Bacia do Ribeirão Pipiripau, na elaboração do mapa de contorno foram definidas cinco classes de concentração para o pH variando de (0 – 5,0); (5,0 – 5,5); (5,5 – 6,0); (6,0 – 6,5) e (6,5 - 7). A aferição do pH foi realizada diretamente na amostra coletada no escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem) representado por (30,65%); (26,87%) e (39,11%), respectivamente.

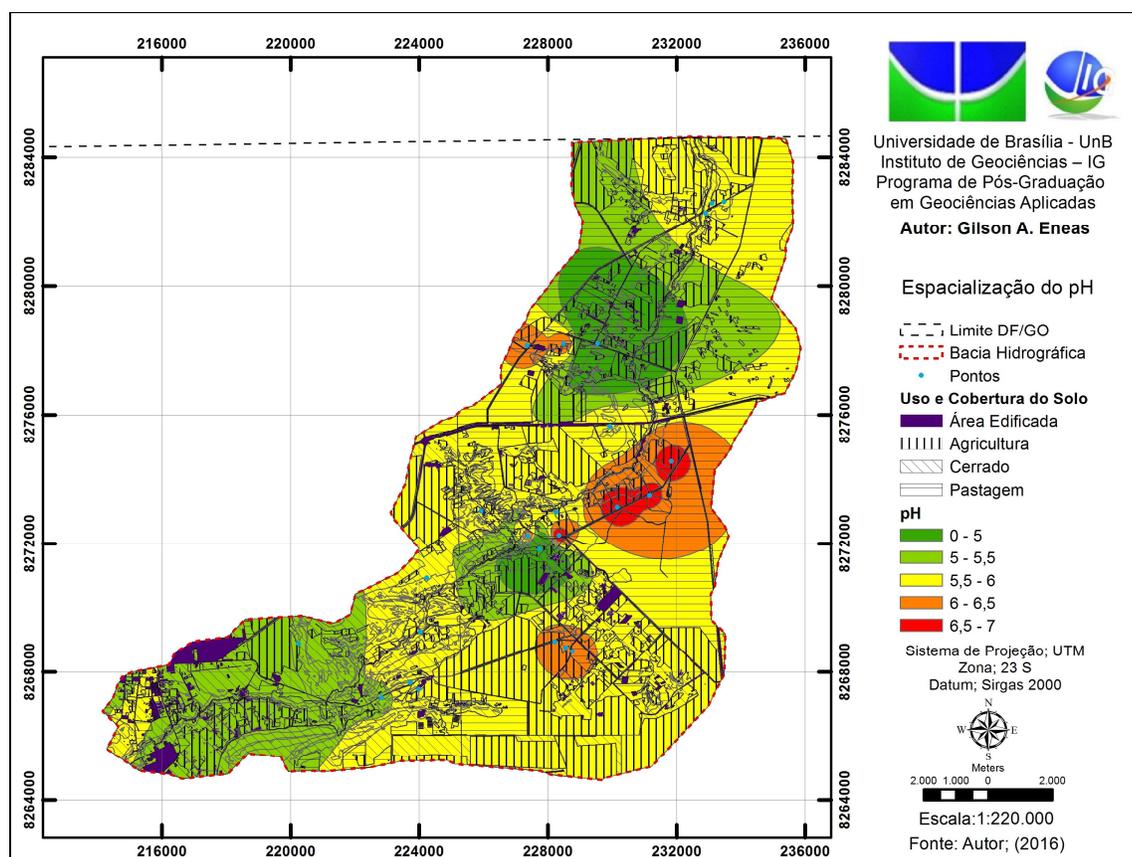


Figura 45: Espacialização do pH aferido no escoamento superficial simulado na Bacia do Ribeirão Pipiripau-DF.
 Fonte: Autor, (2016).

O pH analisado da água do escoamento superficial simulado nos diferentes tipos uso do solo e cobertura vegetal (Agricultura, Cerrado e Pastagem) representam cerca de (53,94 %) da classe 3 (5,5 - 6); seguido de (26,04 %) da classe 2 (5,0 - 5,5); (7,84%) da classe 1 (0 - 5); (7,49 %) da classe 4 (6,0 - 6,5) e (1,31%) da classe 5 (6,5 - 7,0).

Desta forma, considerando somente a classe 3 (5,5 a 6) que obteve a maior representatividade em que os valores médios de pH para os diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrados e pastagem) quando comparados com a CONAMA 357/05, os valores médio aproximam-se em (102%) na agricultura, (97%) no cerrado e (103%) na pastagem.

Quando utilizada as médias do pH (6,1; 5,8; 6,2) obtidas no escoamento superficial simulado nos diferentes tipos uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrados e pastagem) e comparado com um valor de pH (7) considerado um valor ideal “neutro” os valores aproximam-se em (87%), (83%) e (89%), respectivamente. Esta condição neutra possibilita uma maior estabilidade e diversificação dos ecossistemas, permitindo o desenvolvimento de diferentes espécies CETESB (2009).

O pH é diretamente influenciado pelas taxas de fotossíntese do ecossistema, pois este quando se torna ácido, favorecida pelo enriquecimento da água por nitrogênio e fósforo, o pH da água tende a aumentar, ou seja, tornar-se mais alcalino em decorrência da diminuição das concentrações de gás carbônico na água e excesso de matéria orgânica contribui para reduzir o pH na água devido à liberação de gás carbônico decorrente de compostos orgânicos ácidos e da decomposição, a qual origina o ácido carbônico em meio aquoso (Marotta et al., 2008).

Condutividade Elétrica

Inicialmente a análise contou com o valor de 10,8 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) referente ao pH da água do poço artesiano (Branco), este comparado aos pontos amostrados, percebe-se que o (P1) 23,8 ($\mu\text{S cm}^{-1}$); (P5) 35,4($\mu\text{S cm}^{-1}$); (P10) 39,5 ($\mu\text{S cm}^{-1}$); (P12) 30 ($\mu\text{S cm}^{-1}$); (P16) 95,1($\mu\text{S cm}^{-1}$); (P18) 90,1($\mu\text{S cm}^{-1}$) e (P21) 28($\mu\text{S cm}^{-1}$) ultrapassam em (220%), (328%), (366%), (278%), (881%), (834%) e (259%) respectivamente.

Contudo os valores considerados nos resultados são a média da condutividade elétrica aferido em 22 amostras do escoamento superficial simulado nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem), ou seja, 38,6 ($\mu\text{S cm}^{-1}$), 21,11 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) e 37,31 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) respectivamente.

Na comparação estatística utilizou se o valor médio da condutividade elétrica do escoamento superficial medido na agricultura 38,56 ($\mu\text{S cm}^{-1}$), cerrado 21,11($\mu\text{S cm}^{-1}$) e pastagem 37,31($\mu\text{S cm}^{-1}$). Deste modo, quando comparado com valor de 10,8 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) referente à condutividade elétrica da água do poço artesiano (Branco) os valores ultrapassaram em (357%), (195%) e (345%) respectivamente. Contudo ressalta-se que mesmo ultrapassando o valor referente ao poço artesiano (Branco), ainda assim encontra-se abaixo do (VMP) de 100 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) recomendado pela FUNASA (2014).

A Figura 46 ilustra a variação da condutividade elétrica aferida diretamente no escoamento superficial simulado nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (Agricultura, Cerrado e Pastagem) constituída da média, erro padrão e dos valores máximos e mínimos.

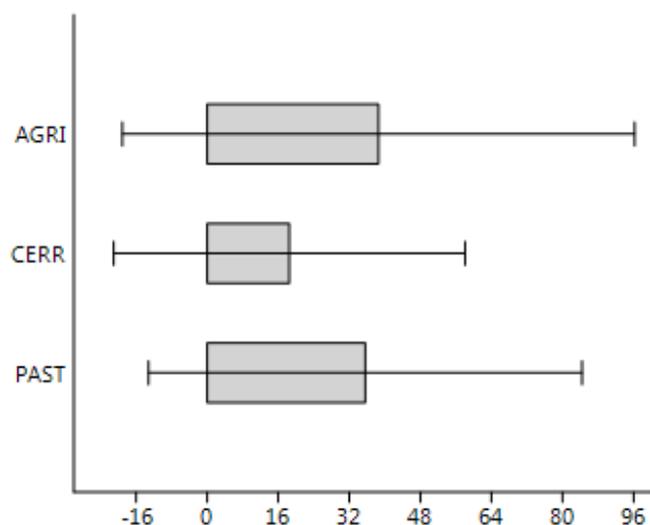


Figura 46: Box Plot - Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$).

Foram coletadas 22 amostras de escoamento superficial e aferida a condutividade elétrica, sendo que destas 19 amostras os valores da condutividade elétrica observada foram abaixo do valor máximo permitido (VMP) de 100 ($\mu\text{S cm}^{-1}$). Somente em 3 pontos os valores ultrapassaram o (VMP) em (159%), (112%) e (125%) respectivamente, ou seja, (P3) com 159,3 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) sobre agricultura, (P14) no cerrado com 111,3 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) e (P13) na pastagem 125,1 ($\mu\text{S cm}^{-1}$). Deste modo, a evidências que nos pontos onde houve aumento da condutividade elétrica, ocorreram algum tipo de alteração antrópica, seja na pastagem, no cerrado ou nos locais onde há atividade agrícola intensa, sendo esta última responsável pelo aumento da concentração dos sais solúveis derivado da adubação química e de fertilizante.

Em seguida aplicou-se o teste de comparação múltipla entre as médias da condutividade elétrica nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal/tratamentos (agricultura, cerrado e pastagem). As médias dos tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem) foram ordenadas, em seguida compara-se entre os tratamentos em nível de significância $\alpha = 0,05\%$, com probabilidade de (95%) de acerto para P-valor ($< 0,05$).

A Tabela 23 apresenta os valores de P-valor ($> 0,05$), quando comparada às médias entre os tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem), os seus valores calculados de P-valor foram ($> 0,05$), ou seja, rejeita-se a hipótese nula de igualdade ($\mu=0$), portanto não há evidência que as médias estimadas sejam de uma mesma população.

Tabela 23: Teste de Mann-Whitney U P - valores de Condutividade Elétrica do escoamento superficial dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.

	PAST	CERR	AGRI
PAST	-	0,4309	0,9581
CERR	0,4309	-	0,4942
AGRI	0,9581	0,4942	-

A Figura 47 ilustra a espacialização da condutividade elétrica analisada no escoamento superficial simulado na Bacia do Pipiripau, para a elaboração do mapa de contorno foram definidas cinco classes de condutividade variando de (0 -159 $\mu\text{S cm}^{-1}$), ou seja, classe 1 (0 – 21 $\mu\text{S cm}^{-1}$); classe 2 (21 – 32 $\mu\text{S cm}^{-1}$); classe 3 (32 – 53 $\mu\text{S cm}^{-1}$); classe 4 (53 – 91 $\mu\text{S cm}^{-1}$) e classe 5 (91 - 159 $\mu\text{S cm}^{-1}$). A aferição da condutividade foi realizada em cada amostra coletada no escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem) da bacia, os quais representam (31,4%), (25,8%) e (39,6%), respectivamente.

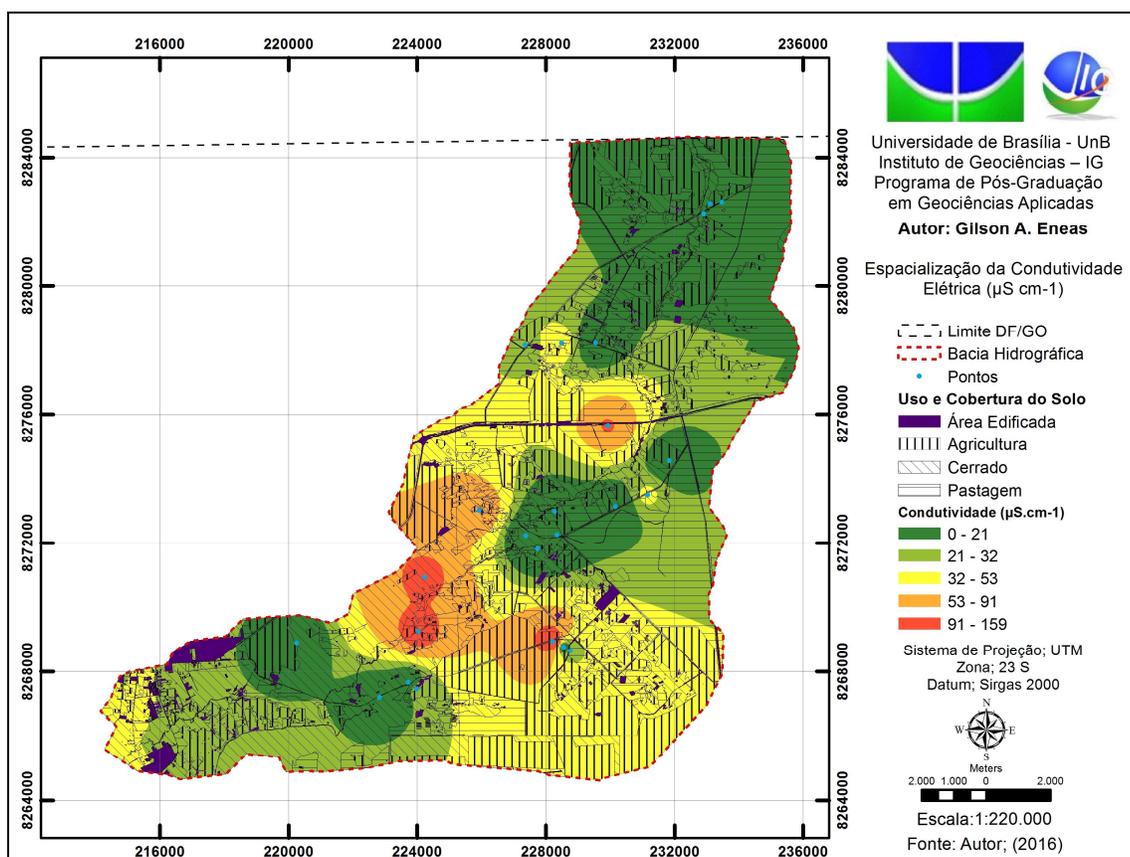


Figura 47: Espacialização da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) do escoamento superficial da Bacia do Pipiripau.

Fonte: Autor, (2016).

Os resultados da condutividade elétrica do escoamento superficial simulado nos diferentes tipo de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem) foram representada por (32 %) da classe 1 (0 – 21 $\mu\text{S cm}^{-1}$); (28,74%) da classe 3 (32 – 53 $\mu\text{S cm}^{-1}$); (27,94 %) da classe 2 (21 – 32 $\mu\text{S cm}^{-1}$), (9,65 %) da classe 4 (53 – 91 $\mu\text{S cm}^{-1}$) e (1,67%) da classe 5 (91 - 159 $\mu\text{S cm}^{-1}$).

Quando considerada somente a classe 5 (91 - 159 $\mu\text{S cm}^{-1}$) de condutividade elétrica a qual ultrapassou os (VMP), esta representa (1,67%) da área de estudo, sendo que os tipos de uso do solo e cobertura vegetal foram distribuídos em (0,41%) agricultura, (0,85%) cerrado e (0,41%) na pastagem. Deste modo, os valores máximos apresentados nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem) quando comparado ao (VMP) de 100 ($\mu\text{S cm}^{-1}$), para ambientes naturais estabelecidos pela FUNASA (2014), estes pontos ultrapassaram em (59%), (25%) e (11%) respectivamente. Deste modo, há evidências que existe possibilidade de alteração da qualidade da água do escoamento superficial durante um período chuvoso.

Fósforo total

O fósforo é uma variável da qualidade da água importante, pois quando carregado aos cursos d'água pode promover a eutrofização. A Figura 48 ilustra a variação do fósforo total constituída da média, erro padrão e dos valores máximos e mínimos. Os valores médios de fósforo total oriundos do escoamento superficial simulado nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem), são 0,15 (mg.L-1), 0,23 (mg.L-1) e 0,14 (mg.L-1) respectivamente.

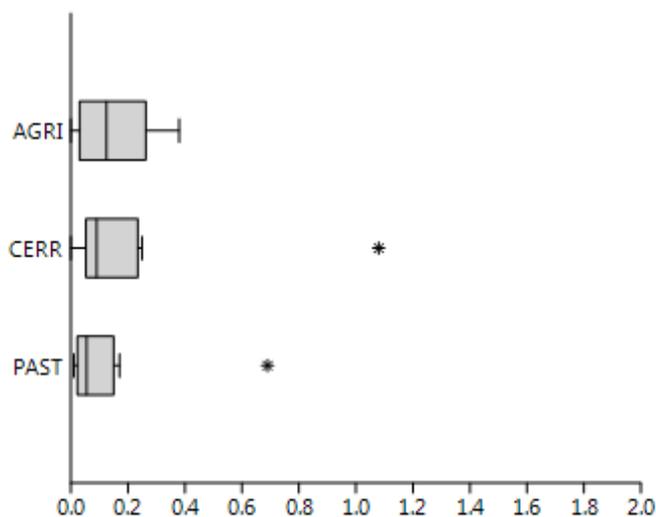


Figura 48: Box Plot – Fósforo Total (mg/L).

Quanto aos dois outlier existentes no Box Plot, um refere-se ao (P5), o qual se encontra sobre (agricultura) - 1,08 (mg.L-1). Este valor pode ser atribuído a dois fatores, o tipo de uso do solo das áreas vizinhas e a declividade plana, ou seja, menor que (6%) estes dois fatores podem favorece o acúmulo de fósforo total nesta área. Já o que se justifica o valor auto de concentração no ponto (P10) sobre a pastagem 0,69 (mg.L-1), foi a proximidade do cocho do gado, deste modo pode-se inferir que as fezes e urina do gado podem ter contribuído para o aumento do valor.

Todavia deve ser considerado que o excesso de fósforo total na área da bacia pode acarretar prejuízo futuro para o uso das águas para irrigação, abastecimento urbano e industrial.

Após a análise descritiva dos dados, foi aplicado o teste de comparação múltipla de Kruskal-Wallis entre os tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem) com nível de significância de (0,05%) para avaliar se há diferença significativa entre as médias 0,15 (mg.L-1), 0,23 (mg.L-1) e 0,14 (mg.L-1). O teste ordena as médias entre os tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem) e em seguida compara entre em nível de significativa $\alpha = (0,05\%)$, com probabilidade de (95%) de acerto para P-valor ($< 0,05$).

A Tabela 24 apresenta os valores de P-valor ($> 0,05$), resultado da comparação das médias entre os tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem), sendo que os valores calculados de P-valor foram ($> 0,05$), ou seja, rejeita-se a hipótese nula de igualdade ($\mu=0$), as médias de fósforo total são diferentes, portanto não há evidência que as médias estimadas na pesquisa sejam de uma mesma população.

Tabela 24: Teste de Mann-Whitney U P – valores ($<0,05$) de fósforo total no escoamento superficial dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.

	PAST	CERR	AGRI
PAST	-	0,3713	0,4942
CERR	0,3713	-	1
AGRI	0,4942	1	-

A Figura 49 ilustra a espacialização do fósforo total no escoamento superficial simulado em 22 pontos da Bacia do Pipiripau, para a elaboração do mapa de contorno foram definidas cinco classes de concentração para o fósforo total variando de (0 – 0,1 mg.L-1); (0,1 – 0,14 mg.L-1); (0,14 – 0,18 mg.L-1); (0,18 – 0,22 mg.L-1) e (0,22 – 1,08 mg.L-1). A análise do fósforo total foi realizada nas amostras coletadas no escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (Agricultura, Cerrado e Pastagem) que representam (31,4%), (25,8%) e (39,6%), respectivamente.

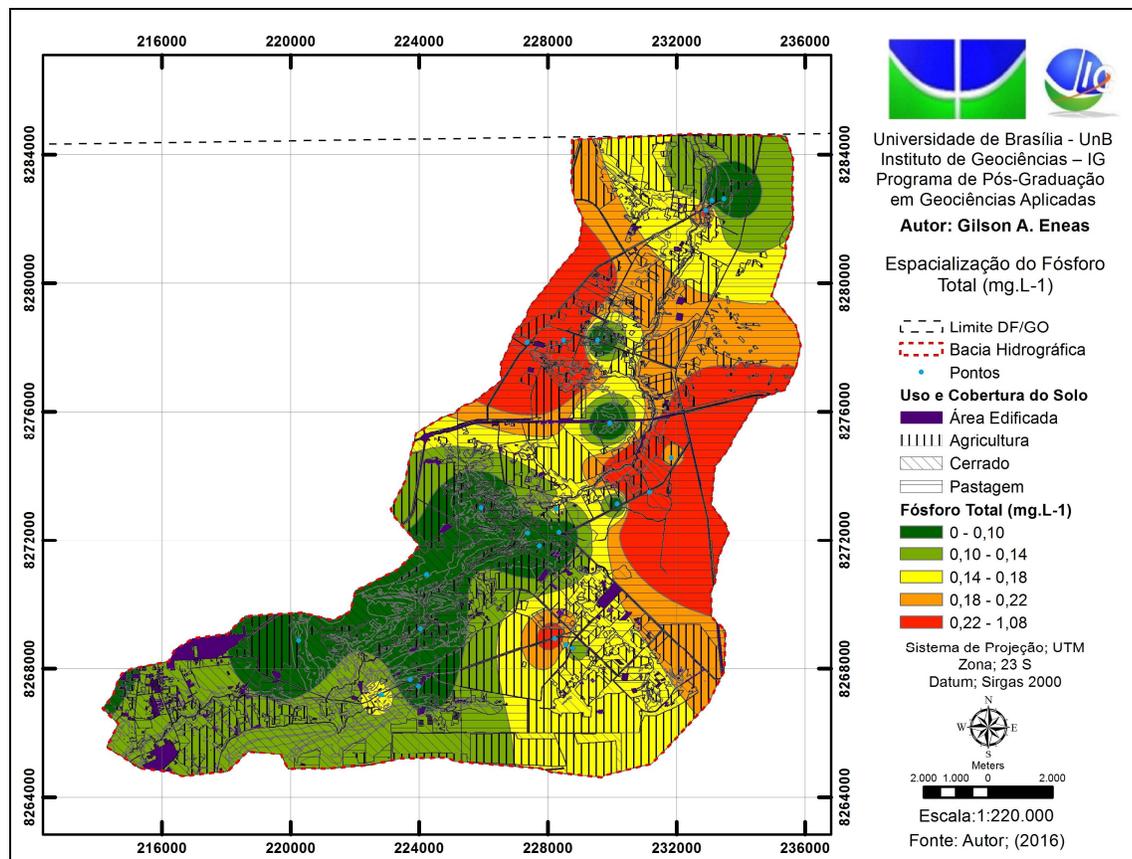


Figura 49: Espacialização do Fósforo Total (mg.L-1) oriundo do escoamento superficial simulado da Bacia do Pipiripau.
 Fonte: Autor, (2016).

Quando analisado os (22) pontos que houve coleta e análise laboratorial do escoamento superficial, infere-se que em (81%) dos pontos a concentração de fósforo total ficaram abaixo do valor de referência (Branco), ao passo que (19%) das amostras ultrapassaram o valor de (0,27 mg.L-1), ou seja, os pontos (P3- 0,29 mg.L-1); (P5 - 1,08 mg.L-1); (P10 - 0,69 mg.L-1) e (P12 - 0,38 mg.L-1), representam cerca de (107%), (400%), (256%) e (141%) respectivamente.

Já quando analisada a classe 5 (0,22 – 1,08 mg.L-1) do mapa de contorno, esta representa cerca de (15,68%) da área da bacia distribuídas em (2,08%) de agricultura, (1,58%) de cerrado e (12,07%) de pastagem respectivamente. Deste modo, pode-se inferir que durante o período de chuvas o fósforo total pode ser carregado no escoamento superficial e provocar a eutrofização do Ribeirão do Pipiripau/DF, particularmente onde há barragens e lagoas, característico de ambientes lênticos.

Segundo Calvin (2008), o aumento da carga de poluentes carregados para os corpos hídricos advindos da diferente forma de uso do solo e cobertura vegetal do solo, contribui significativamente para o aumento dos níveis de fósforo total, seja quando há uma má disposição dos efluentes domésticos, dejetos animais ou fertilizantes, ou de forma indireta por meio do carreamento não só de fósforo total, mas também de outros poluentes tais como: fosfato, organoclorados e pesticidas.

Nitrogênio total

O nitrogênio está presente nos dejetos animais sob o ponto de vista nutricional de plantas é um potente fertilizante. Este quando utilizado em excesso pode proporcionar preocupações com relação ao risco de contaminação do solo e da água. Desta forma, ressalta-se que o uso de dejetos líquidos de suínos utilizados de forma descontrolada sobre áreas de lavoura e pastagem como fonte de nutrientes e ciclagem dos mesmos, quando carregado no escoamento superficial pode comprometer a qualidade do solo e das águas superficiais.

De maneira geral, quando utilizado o valor 2,09 (mg.L-1) referente a concentração do nitrogênio total da água do poço artesiano (Branco), percebeu-se que (68%) dos pontos sendo que os pontos (P3) 3,11 (mg.L-1); (P12) 2,76 (mg.L-1); (P21) 3,46 (mg.L-1) na agricultura, (P2) 2,32 (mg.L-1); (P5) 2,33 (mg.L-1) no cerrado; (P1) 2,37 (mg.L-1); (P10) 6,94 (mg.L-1) pastagem ultrapassam em (147%), (132%), (166%), (111%), (111%), (114%) e (332%) respectivamente, o que pode-se inferir com os resultados obtidos é que durante o período de chuvas o fósforo total pode ser carregado no escoamento superficial e provocar a eutrofização do Ribeirão do Pipiripau/DF, particularmente onde há barragens e lagoas, caracterizada com ambiente lântico.

A Figura 50 apresenta os valores médios da concentração de nitrogênio total analisado na água do escoamento superficial sobre os diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem), seguido do erro padrão e dos valores máximos e mínimos, os resultados são: na agricultura (2,16 mg.L-1), no cerrado (1,83 mg.L-1) e na pastagem (2,63 mg.L-1).

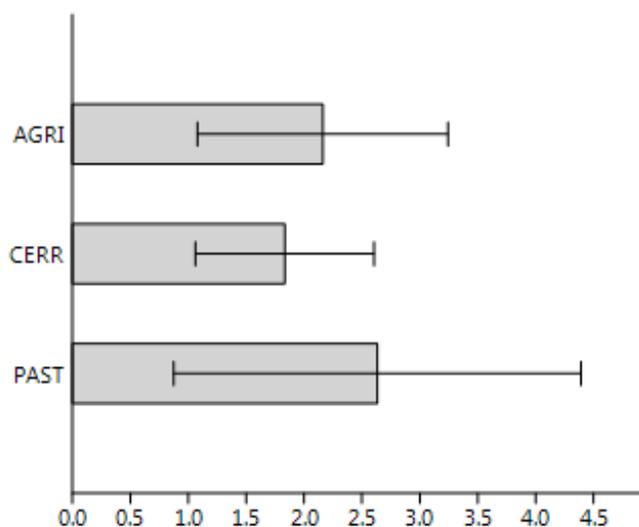


Figura 50: Blox Plot – Nitrogênio Total (mg.L-1).

Após comparação múltipla entre as médias da concentração do nitrogênio total analisado na água do escoamento superficial sobre os diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal/tratamentos (agricultura, cerrado e pastagem), o resultado da comparação é apresentado na Tabela 25, sendo que os valores calculados de P-valor foram ($> 0,05$), ou seja, rejeita-se a hipótese de igualdade ($\mu=0$), assim sendo pode-se inferir que as médias da concentração do nitrogênio total entre os tratamentos são diferentes, deste modo não há evidência que as médias estimadas na pesquisa sejam de uma mesma população

Tabela 25: Teste de Mann-Whitney U P - valores de nitrogênio total no escoamento superficial dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.

	PAST	CERR	AGRI
PAST	-	0,7525	0,7929
CERR	0,7525	-	0,4005
AGRI	0,7929	0,4005	-

Já na etapa da elaboração do mapa de contorno referente às concentrações do nitrogênio total, estas foram definidas em 5 classes. A Figura 51 ilustra a espacialização do nitrogênio total analisada no escoamento superficial simulado na Bacia do Pipiripau, variando de (0 – 1,5 mg.L-1); (1,5 – 2,0 mg.L-1); (2,0 – 2,5 mg.L-1); (2,5 – 3,0 mg.L-1) e (3,0 – 7,0 mg.L-1). Os resultados apresentados referem-se à análise do nitrogênio total realizada nas amostras coletadas no escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (Agricultura, Cerrado e Pastagem), que representam (31,4%), (25,8%) e (39,6%) respectivamente.

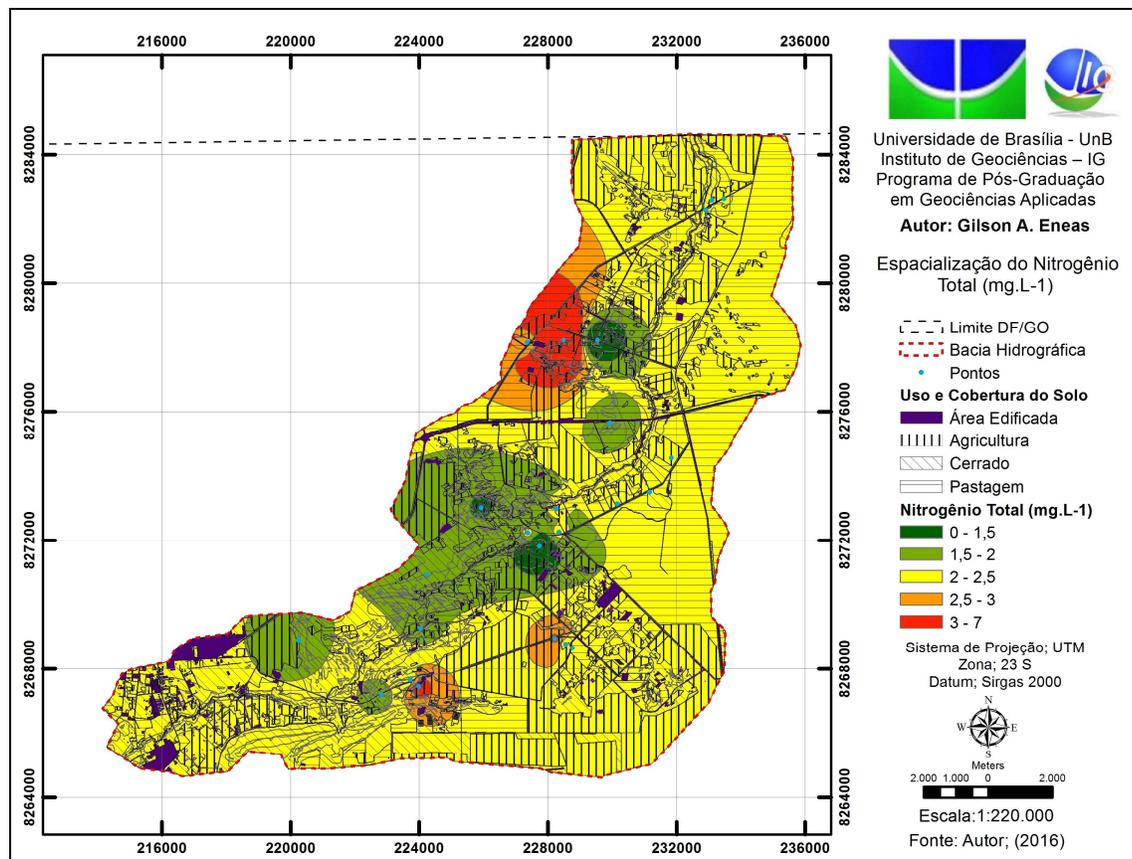


Figura 51: Espacialização do Nitrogênio Total (mg.L-1) do escoamento superficial simulado na Bacia do Pipiripau.
 Fonte: Autor, (2016).

O nitrogênio total analisado na água do escoamento superficial simulado nos diferentes uso do solo e cobertura vegetal (Agricultura, Cerrado e Pastagem) representam (71,53%) da classe 3 (2,0 a 2,5 mg.L-1); seguidas de (16,78%) da classe 2 (1,5 a 2,0 mg.L-1), (4,29%) da classe 4 (2,5 a 3,0 mg.L-1), (2,58%) da classe 5 (3,0 a 7,0 mg.L-1), e (1,44%) da classe 1 (0 a 1,5 mg.L-1).

Na análise do mapa de contorno vale destaque para a classe 4 (2,5 a 3,0 mg.L-1) que representa cerca de (4,29%) da área de estudo, distribuída em cerca de (1,34 %) de agricultura, (0,74 %) de cerrado e (2,21 %) de pastagem. Enquanto a classe 5 (3,0 a 7,0 mg.L-1) representou cerca de (2,58%), distribuídas em (0,70%) de agricultura, (0,30%) de cerrado e (1,58%) de pastagem respectivamente.

5.3 PARÂMETRO BACTERIOLÓGICO DA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Coliforme total

Os coliformes são compostos por um grupo de bactérias com as seguintes características: bacilos, não esporulados, Gram negativos, que fermentam a lactose em presença de agentes surfactantes, com produção de gás e ácido, a $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$, por até 48 horas. Assim, este grupo de microrganismos denominados coliformes inclui várias bactérias encontradas no próprio meio ambiente (solo, vegetação e em certos despejos industriais) e na matéria de origem fecal dos animais de sangue quente (CAESB, 1998).

Portanto, quando analisado o valor 24,3 (NMP/100 ml) referente a concentração do coliforme total presente na água do poço artesiano (Branco), percebeu-se que somente o ponto (P16) 1,0 (NMP/100ml) ficou abaixo do valor, enquanto (99,9%) dos pontos ultrapassaram o valor de referencia (Branco).

Os valores estatísticos da quantidade de coliformes total analisado na água do escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem), foram constituídos de média, erro padrão e dos valores máximos e mínimos. Deste modo segue os valores médio na agricultura (1712 NMP/100 ml), cerrado (1512 NMP/100ml) e pastagem (1128 NMP/100ml), conforme apresentado na Figura 52.

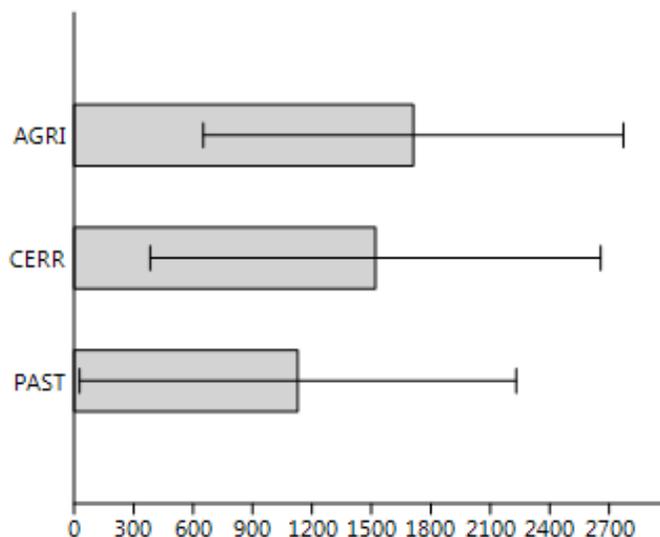


Figura 52: Blox Plot – Coliforme Total (NMP/100 ml).

A segunda etapa contou com a aplicação do teste estatístico de comparação múltipla entre as médias de coliforme total do escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal/tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem). O teste ordena as médias dos tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem) e em seguida compara entre tratamentos em nível de significativa $\alpha = (0,05\%)$, com probabilidade de (95%) de acerto para P-valor ($< 0,05$).

A Tabela 26 apresenta os valores de P-valor ($> 0,05$), resultado da comparação das médias entre os tratamentos (Agricultura, Cerrado e Pastagem), para valores calculados de P-valor ($> 0,05$) rejeita-se a hipótese nula de igualdade ($\mu=0$), ou seja, as médias são todas diferentes.

Tabela 26: Teste de Mann-Whitney U P - valores de coliforme total no escoamento superficial dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal.

NMP/100ml	PAST	CERR	AGRI
PAST	-	0,7840	0,6215
CERR	0,7840	-	1
AGRI	0,6215	1	-

Na etapa de análise e interpretação do mapa de contorno do coliforme total, foram definidas 5 classes, variando de (0 – 500 NMP/100 ml); (500 – 1000 NMP/100 ml); (1000 – 1500 NMP/100 ml); (1500 – 2000 NMP/100 ml) e (2000 – 2500 NMP/100 ml). A análise do coliforme total foi realizada nas amostras coletadas no escoamento superficial nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (Agricultura, Cerrado e Pastagem) da bacia que representam (31,4%), (25,8%) e (39,6%) respectivamente.

A Figura 53 ilustra a espacialização do coliforme total analisado no escoamento superficial simulado na Bacia do Pípiripau, para a elaboração do mapa de contorno foram definidas cinco classes de coliforme total

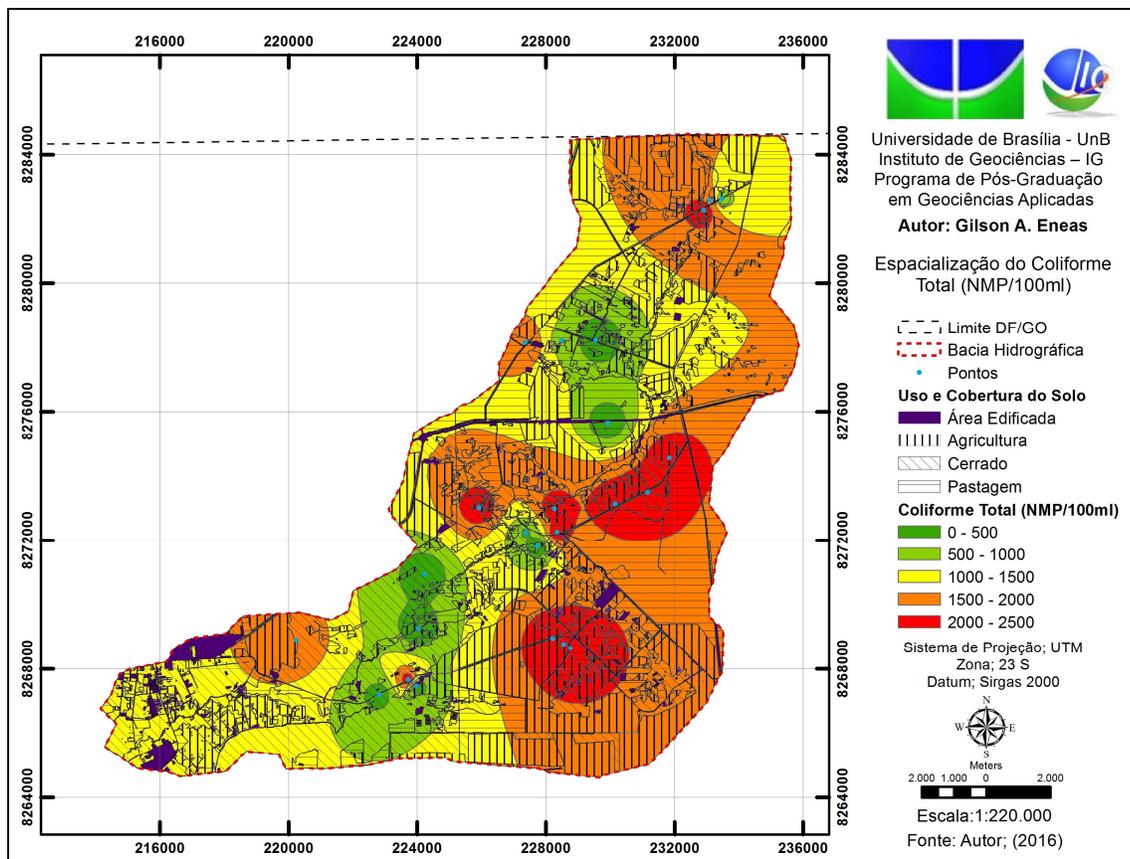


Figura 53: Espacialização do Coliforme Total (NMP/100ml) do escoamento superficial simulado da Bacia do Pipiripau.
 Fonte: Autor, (2016).

O coliforme total analisado na água do escoamento superficial simulado nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (Agricultura, Cerrado e Pastagem) representa a seguinte ordem: (37,68 %) da classe 4 (1500 - 2000 NMP/100 ml); seguidas de (34,83%) da classe 3 (1000 - 1500 NMP/100 ml); depois (11,90%) da classe 2 (500 - 1000 NMP/100 ml); (9,22%) da classe 5 (2000 - 2500 NMP/100 ml) e (2,99%) da classe 1 (0 - 500 NMP/100 ml);.

Na análise do mapa de contorno foram consideradas três classes de concentração de coliforme total que ficaram acima do (VMP), ou seja, as classes (4, 3 e 5) juntas somadas representa (81%) da área total da bacia, distribuídas em (37,68 %) da classe 4 (1500 - 2000 NMP/100 ml); representada por (14,27%) agricultura, (6,82%) cerrado e (16,59%) na pastagem, depois a classe 3 (1000 a 1500) com (28,74%) da área espacializada em (11,01%) agricultura, (11,03%) cerrado e (12,77%) na pastagem e por fim a classe 5 (2000 - 2500 NMP/100 ml) com (9,22%) da área de estudo, representada por (3,02 %) agricultura, (1,77%) cerrado e (4,43%) na pastagem

Já quando analisado a média dos valores definidos entre cada classes (3, 4 e 5), referente a concentração de coliforme total na água do escoamento superficial coletado nos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrados e pastagem) quando comparado ao valor estabelecidos pela CONAMA 357/05 de (1000 NMP/100ml), os valores médio da classe 3 (1250 NMP/100ml), classe 4 (1750 NMP/100ml) e classe 5 (2250 NMP/100ml), ultrapassam em cerca de (125%), (175%) e (225%), respectivamente.

Desta forma, há evidência que na parte central e centro sul da bacia há produtor rural que esta fazendo uso excessivo de fertilizante natural (esterco) nas áreas de agricultura e pastagem, conseqüentemente são carregadas e acumuladas nas áreas de cerrado, conforme constados nos pontos (P3); (P13); (P14) e (P16) os quais contorna a classe 5 (2000 - 2500 NMP/100 ml) representa (9,22%) da área da Bacia do Pípiripau-DF.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

De maneira geral, conclui-se que os valores de infiltração e escoamento superficial simulados para a bacia do Pípiripau-DF apresentaram resultados satisfatórios quando comparados com o método CN. Já quando analisados os valores de concentração dos parâmetros físicos químicos e bacteriológicos (pH, condutividade, fósforo total, nitrogênio total e coliformes totais) sentiu-se falta de uma legislação com valores de referência para a qualidade da água do escoamento superficial.

Com base nos resultados conclui-se que o método de *Infiltrmetro de Cornell* demonstrou-se eficiente para a quantificação da infiltração e do escoamento superficial na Bacia do Pípiripau-DF. Apesar do *Infiltrmetro de Cornell* permitir a aplicação de intensidades menores que 300 (mm h⁻¹), ao simular chuvas inferiores ao recomendando pelo manual observou-se uma dificuldade em manter a taxa de aplicação constante, isto causa uma variação indesejável nos valores de taxa de infiltração, além do que com intensidades menores que (300 mm h⁻¹) não se obtém uma regularidade na coleta do escoamento superficial para análise laboratorial.

Os resultados da comparação estatística entre as médias do escoamento superficial simulado em função dos diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal da bacia demonstraram diferença significativa, ou seja, em áreas de agricultura e cerrado apresentaram similaridade nos resultados, ao passo que na pastagem o escoamento superficial foi diferente significativamente, deste modo comprova-se que a compactação do solo advindo do pisoteio do gado altera a qualidade física e química do solo.

Com o desenvolvimento da presente pesquisa, conclui-se também que os diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (agricultura, cerrado e pastagem) modificam as propriedades (físicas e químicas) do solo e contribuem para alteração da qualidade da água do escoamento superficial, uma vez que os parâmetros (nitrogênio total, fósforo total e coliforme total) quando espacializado apresentaram em algumas regiões da bacia valores muito acima dos níveis recomendados.

Os métodos de Geoprocessamento empregados demonstraram-se eficiente quando adotado no procedimento de análise espacial de cada parâmetro de maneira que atendeu satisfatoriamente as necessidades da presente pesquisa. Deste modo, o método pode ser utilizado de forma adequada em práticas de gestão e monitoramento ambiental em bacias hidrográficas, principalmente quando se tratar de poluição difusa de águas de escoamento superficial.

Os resultados obtidos na espacialização das variáveis pelo método (IDW) apresentaram-se satisfatórios para interpolação da infiltração, escoamento superficial, das variáveis de físico-química e bacteriológica da água do escoamento superficial na construção dos mapas de contorno.

Portanto, para novas pesquisas que se pretende estudar a poluição difusa em uma bacia hidrográfica com vista à simulação do escoamento, aconselho-se que tenha cuidado com água

utilizada para simular o escoado, uma vez que comprovou que a utilização da água de poço artesiano não atende a proposta, portanto recomenda-se que se utilize na simulação da chuva com o objetivo de estudar o escoamento superficial água deionizada. Desta forma, elimina-se (99%) das impurezas, tais como: sais, minerais e micro organismos.

Recomenda-se para novos estudos que vise o conhecimento da infiltração e escoamento superficial, que sejam realizados em áreas menores de preferência sobre o mesmo tipo de solo (Grupo Hidrológico) variando somente a cobertura vegetal, com isso espera-se aumentar o numero de simulações e o adensamento da nuvem de pontos, consequentemente melhora-se a espacialização da variável em estudo, eliminando assim o efeito “olho de boi”.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLI, C. V.; DALARMI, O.; LARA, A. I.; ANDREOLI, F. N.; **Os mananciais de abastecimento de Sistema Integrado da Região Metropolitana de Curitiba**. RMC – 9º SILUBESA – Simpósio Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Porto Seguro: Abr. 2000. p. 196-205.
- ARAÚJO FILHO, J.C.; RIBEIRO, M.R. **Infiltração de água em Cambissolos do Baixo Irecê (Ba)**. Rev. Bras. Cienc. Solo, Campinas: v. 20, p. 263-370, 1996.
- ARAÚJO, L.E; SOUZA, F. de A. S. de; NETO, J. M. de M; SOUTO, J. S.; REINALDO, L. R. L. R.: **Bacias hidrográficas e impactos ambientais**. Qualit@s, Paraíba: v. 8, n.1,p. 1-18, 2009.
- ASSAD, M. L. L. **Fauna do solo**. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds.). Biologia dos solos dos Cerrados. Planaltina: Embrapa, 1997. p. 361-444.
- BALDISSERA, G. C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá – MT. Dissertação de Mestrado. 114 p. 2005.
- BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; LUCIANO, R. V.; GONZALES, A. P. **Phosphorous losses in water and sediments in runoff of the water erosion in oat and vetch crops seed in contour and downhill**. Soil and Tillage Research, v. 106, p. 22-28, 2009.
- BASNYAT, P. TEETER, B. G. LOCKABY, K. M: **The use of remote sensing and GIS in the watershed level analyses of non-point source pollution problems**. Forest Ecology and Management. Alburn, v. 128, p. 65-73, 2000.
- BAVER. L. B. **Soil physics**. 4 ed. New York: J Willey, 1972. 498p.
- BELTRAME, A. DA V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 112 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BERLING. F. A.; **Análise do desempenho do modelo SWMM5 acoplado ao calibrador PEST na bacia do arroio Cancela/RS**. UFSM, RS. Dissertação de Mestrado, 2013. 154 p.
- BERNARDI, A. C. De C; RABELLO, L. M; INAMASU, R. Y; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G: **Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicas do solo e biofísicos de superfície em cultivo do sorgo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 6, p.623-630, 2014.
- BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. **Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptissol sob chuva natural**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, 2004. p. 485-494.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LIEVEN, T. **Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica e solo com crosta superficial**. Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 13, p.373-379, 1989.
- BERTONI; J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1990.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; COELHO, G.; SILVA, A. M.; VIOLA, M. R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, n. 1, p. 169-178, 2009.
- BIAS, E. S. **Técnicas de geoprocessamento: sua aplicação como suporte a análise, planejamento e implantação de redes elétricas**. UNESP, SP. Dissertação Mestrado, 161 p. 1998.
- BIAS, E. S.; PIVEL L.; GUEDES, S. C.; ROCHA, K. C. **Análise da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial: uma aplicação na Bacia hidrográfica do Rio Bartolomeu, DF**. UNESP, SP. Geociências, v. 31, n. 3, p. 411-429, 2012.

BITA ALIZADEHTAZI, S.M.ASCE; KIMBERLY D.; ROMANO F.; TATIANA M.; NANDAN H. S.; FRANCO A. M., A.M.ASCE; PATRICK L. G.: **Comparison of Observed Infiltration Rates of Different Permeable Urban Surfaces Using a Cornell Sprinkle Infiltrometer**. Journal Hydrol. Eng, 2016: ISSN 06016003.

BONTA, J.V.; RAO, A.R. **Estimating peak flows from small agricultural watersheds**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.118, n.1, p.122-137, 1992.

BOWER, H. Intake rate: cylinder infiltrometer. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 1 – physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: SSSA, p. 825-844, 1986.

BRAGA, J. C. **Modelo hidrológico de parâmetros distribuídos para obtenção do hidrograma de escoamento superficial**. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 76p, 2000.

BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, E. M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. Cap.19, p. 635-649.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. 3. Ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Boletim de Monitoramento de Ribeirão Pípiripau**. Brasília, v. 4 n. 5, p. 1-14, set. 2009. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/saladesituacao/BoletinsMensais/Pipiripau/Boletim_Monitoramento_Pipiripau_2009_09.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Índice de qualidades das águas. Portal da qualidade das águas**. Brasil, 2009. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914**. Brasília: 2011. 34 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas, ANA; The Nature Conservancy, TNC; Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal, EMATER; Secretaria de Agricultura Pecuária e Abastecimento, SEAPA. **Programa Produtor de Água: Relatório de diagnóstico socioambiental da bacia do ribeirão Pípiripau**, 2010. 59 p.

BRASIL. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, CAESB. **Plano de proteção ambiental da bacia hidrográfica do rio Pípiripau: diagnóstico ambiental**. Brasília, 2000. 89 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde**. – Brasília: FUNASA, 2014. 112 p.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 8 de janeiro de 1997.

BROWN, R. A., AND BORST, M.: **Evaluation of surface infiltration testing procedures in permeable pavement systems**. Journal of Environmental Engineering, 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000808, 04014001., (2014).

BRUIJNZEEL, L.A. **Predicting the hydrological impacts of tropical Forest conversion: The need for integrated research**. Capítulo 2 de “Amazonian Deforestation and Climate” Eds: Gash J H C, Nobre C A, Roberts J M e Victoria R L John Wiley & Co: Chichester, Inglaterra. 1996.

- BUNDY, L. G. ANDRASK, T. W.; POWELL, J. M. Management practice effects on phosphorus losses in runoff in corn production Systems. **Journal of Environmental Quality**, v. 30, 2001. p. 1822-1828.
- BURROUGH, P. A. & McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford University Press, Oxford, England. p. 333, 1998.
- CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Plano de proteção ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Pípiripau**. Brasília: 2001. 20 p.
- CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Avaliação da Qualidade da Água (Relatório Final – Atividade Nº 4)**. In: Jardim Botânico de Brasília – Plano de Gestão da APA do Gama/ Cabeça De Veado. GDF
- CALHEIROS, C. B. M.; TENÓRIO, F. J. C.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, E. T.; SILVA, D. F.; SILVA, J. A. C. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, 2009. p. 665-670.
- CALVIN, A.B. **Relationship between Land Use and Surface Water Quality in a Rapidly Developing Watershed in Southeast Louisiana**. Universidade de New Orleans, New Orleans, Tese de Doutorado em engenharia e ciência aplicada, 171, p. 2008.
- CAMPBELL, G.; SKILLINGS, J.H. **Nonparametric stepwise multiple comparison procedures**. Journal of the American Statistical Association, v.80, n.392, p.998-1003, 1985.
- CAMPOS, J.E.G & FREITAS-SILVA F. H: Hidrogeologia do Distrito Federal. In Freitas-Silva F.H & Campos J. E. G (eds.) **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. 1998. Parte IV, p. 1-85.
- CAMPOS, J.E.G. **Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo: Vol. 34, 2004. Disponível em: <http://http://rbg.sbgeo.org.br/index.php/rbg/article/viewFile/A-1372/782>. Acessado em: 05 de ago. 2013.
- CAMPOS, J.E.G. 2010. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal**. Disponível em: <http://www.zee-df.com.br>. Acessado em: 05 de nov. 2014.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: **Sistemas de Informações Geográficas. Aplicada na Agricultura**. Editado por Eduardo Delgado Assad; Edson Eyii Sano, 2. Ed. Brasília: Embrapa - SPI/ Embrapa - CPAC, 1998. Xxviii, 434 p. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/viewFile/485/384> >. Acessado em: 9 jan. 2015.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Orgs.). **Introdução à ciência da Geoinformação**. 2001. p. 5. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>>. Acessado em: 11 jan. 2015.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 26. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/análise/>>. Acessado em: 21 de fevereiro de 2015.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2004**. SP, CETESB, p. 297, 2005.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Variáveis de qualidade de água**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#transparencia>>. Acesso em: 19 Jan. 2014.
- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; BEBER, F. C. HERBES, V. M. G.; MOREIRA, I. C. L.;
- BERWANGER, A. L; **Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo sob plantio direto**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1296-1304, nov./dez. 2005. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cr/v35n6/a11v35n6.pdf>>

CODEPLAN; Companhia de Desenvolvimento do Planalto. **Atlas do Distrito Federal. Brasília, GDF.** p. 78, 1984.

COGO, N. P.; PORTELA, J. C.; AMARAL, A. J.; TREIN, C. R.; GILLES, L.; BAGATINI, T. & CHAGAS, J. P. **Erosão e escoamento superficial em semeadura direta efetuada com máquinas provida de hastes sulcadoras, influenciados pela direção da operação de semeadura e pela cobertura superficial do solo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. Resumos Gramado, 2007.

CONAMA, “**Resolução no 357/2005**”. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 2005.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA. **Características físicas da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau.** Disponível em: <[http://www.paranaiba.cbh.gov.br/BaciasTributarias/Legislacao/CaracteristicasFisicas BH Pipiripau.pdf](http://www.paranaiba.cbh.gov.br/BaciasTributarias/Legislacao/CaracteristicasFisicas%20BH%20Pipiripau.pdf)>. Acesso em: 8 out. 2014.

CONOVER, W.J.; IMAN, R.L. **Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics.** The American Statistician, v.35, n.3, p.124-129, 1981.

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

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. **Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. Informações Agrônomicas,** v. 130, 2010. p.1-11.

CURI, N. (Coord.). **Vocabulário de ciência do solo.** Com colaboração de J. O. I. Larrach, N. Kämpf, A. C. Moniz e L. E. F. Fontes. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas: 1993. 90 p.

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

CHAVES, H.M.L. et al. **Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial.** Rev. Bras. Cienc. Solo. Campinas: v. 17, p. 141-147, 1993.

CHAVES, H. M. L. **Incertezas na predição da erosão com a USLE: impactos e mitigação.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 34, p. 2021 – 2029, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. **A geomorfologia fluvial.** São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CHOW, V. T. Hydrology and it's development. 1964. In: Chow, V. T. **Hand book of applied hydrology: a Compendium of Water-resources Technology.** New York: McGraw-hill Book, 1964. 1400 p.

DALLA SANTA, C. **Perdas de água por escoamento superficial de um solo com diferentes níveis de resíduos vegetais e declividades do terreno.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria: 2010.

DIAS, L.S.O.; ROCHA, G.A.; BARROS, E.U.A.; MAIA, P.H.P. **Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas.** Bahia Análise & Dados, Salvador, v. 4, n.2, p.265-271, 2004.

DILS, R. M.; HEATHWAITE, A. L. Phosphorus fraction in hillslope hydrological pathways contributing to agricultural runoff. In: Anderson, M.G.; Brooks, S. M. **Advances in hillslope processes.** Chichester: John Wiley & Sons, cap.10, 1996. p. 229-251.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. de. **Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil.** Engenharia Agrícola, v. 25, n.1, 2005. p.115-125.

DUDA, A.M.; EL-ASHRY, M.T. **Addressing the global water and environmental crisis through integrated management of land, water and ecological resources.** Water International, Washington, v.25, n.1, 2000. p.115-126.

- DUNN, O.J. **Multiple comparisons using rank sums.** *Technometrics*, v.6, n.3, p. 241-252, 1964.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª ed. Rio de Janeiro: p. 412, 2009.
- IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia.** (In **Manual Técnico em Geociências** ISSN 0103-9598; n. 5), 2ª ed. Rio de Janeiro: p 182, 2009.
- ENGEL F. L.; BERTOL, I.; RITTER, S. R.; GONZÁLEZ, A. P. ; FERREIRO, J. P.; VÁZQUEZ, E. V. **Soil erosion under simulated rainfall in relation to phenological stages of soybeans and tillage methods in Lages, SC/Brasil.** *Soil e Tillage Research*, n. 103, 2009. p. 216-221.
- EVERTS, C.J.; KANWAR, R.S. **Interpreting tensioninfiltrometer data for quantifying soil macropores:some practical considerations.** *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, v. 36, 1992. p. 423-428.
- FARIA, D. A: **Influência do uso do solo e cobertura vegetalna qualidade da água da bacia hidrográfica do Ribeirão Guaratinguetá (SP).** 2012. 119 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/98296>>.
- FREITAS, S. C.de; **Estimativa da pegada hídrica cinza relativa ao fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau.** Dissertação de mestrado, Publicação PPG EFL. DM – 208/2013, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. DF. 54p, 2013.
- GDF – GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2010. **Zoneamento Ecológico Econômico – ZEE/DF**, subproduto 3.1 – Relatório do meio físico e biótico. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.zee-df.com.br/produtos.html>>. Acessado em: 10 jan. 2015.
- GBLER, L.: **Avaliação do arraste superficial de duas formas de fósforo reativo sob diferentes tipos de cobertura vegetal e manejo em dois solos agrícolas.** Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porta Alegre (RS): UFRGS, 2011.
- GÉRARD-MARCHANT, P.; WALTER, M. T.; STEENHUIS, T. S. **Simple models for phosphorous loss from manure during rainfall.** *Journal of Environmental Quality*, v. 34, 2005. p. 872-876.
- GBUREK, W.J.; SHARPLEY, A.N. **Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds.** *Journal of Environmental Quality*, n. 27, 1997. p. 267-277.
- GONÇALVES, J. L. DE M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J. L. DE M.; STAPE, J. L. (Eds.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais.** Piracicaba: IPEF, 2002. p. 47-129.
- GONÇALVES, C. S.; RHEINHEIMER, D. dos S.; PELLEGRINI, J. B.R.; KIST, S. L. **Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo.** *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, v.9, n.3, p.391-399, 2005.
- GONÇALVES, T. D; **Recursos Hídricos no Distrito Federal: Modelagem Hidrológica para subsidiar a gestão sustentável na bacia do Ribeirão Pipiripau.** Tese (doutorado), Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Programa de Pós Graduação em Geociências Aplicada. p. 148. 2012.
- GONÇALVES, T. D. ROIG, H. L; CAMPOS, J. E; **Sistema de Informação geográfica como ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal,** *Revista Brasileira de Geociências* 39(1), pag. 169-180. 2009.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 169-177, 2005.
- HAMMER, O; HARPER, D.A.T.; P. D. RYAN. PAST: **Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis.** *Palaeontologia Eletrônica*. p.9. 2001.
- HOLLINGWORT, B.; MULLINS, D. **Economic analysis of water resource development proposals in the Sabir River Basin.** *Water Science and Technology*, London, v. 32, n. 5-6, p.71-78, 1995.

KEMERICH, P. D. DA C.; MARTINS, S. R.; KOBAYAMA, M.; SANTI, A. L.; FLORES, C. E. B.; BORBA, W. F.; FERNANDES, G. DA. A.; CHERUBIN R. M.; **Qualidade da água oriunda do escoamento superficial simulado em bacia hidrográfica**. Revista Ciência e Natureza, Santa Maria, RS, v. 35 n. 2, p. 136-151, 2013.

KEMERICH, P. D. DA C.; MARTINS, S. R.; KOBAYAMA, M.; SANTI, A. L.; FLORES, C. E. B.; BORBA, W. F.; FERNANDES, G. DA. A.; CHERUBIN R. M. **Infiltração e Escoamento Superficial sob Diferentes Uso do solo e cobertura vegetal em Bacia Hidrográfica**. Anuário do Instituto de Geociências- UFRJ/RJ, v. 37 n. 2, p. 75-88, 2014.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984.

JULIÃO, R.P. **Tecnologias de Informação Geográfica e Ciência Regional: Contributos Metodológicos para a definição de modelos de apoio à decisão em desenvolvimento regional**. Dissertação de doutoramento no ramo de geografia e planeamento regional. Universidade Nova de Lisboa-UNL. Disponível em: <<http://www.fcsh.unl.pt/docentes/rpj/tese/TIGDR.pdf>>. Acessado em: 21. mai. 2015.

LAFLEN, J. M.; TABATABAI, J. M. **Nitrogen and phosphorous losses from corn – soybean rotations as affected by tillage practices**. Soil and Water, p. 58-63, 1984.

LANG, S.&BLASCHKE, S. L. **Análise da Paisagem com SIG**. Ed. Oficina de textos. São Paulo: 2009, p.42

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Departamento de Física e Meteorologia. ESALQ/USP. Piracicaba, SP: 497 p; 2000.

LIMA, J. E. F. W. **Modelagem Numérica do Fluxo da água no solo e do escoamento de base em uma Bacia Experimental em área agrícola no cerrado**. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, p. 75, 2010.

LIMA, J. E. F. W. **Determinação e simulação da evapotranspiração de uma bacia hidrográfica do Cerrado**. Dissertação de Mestrado. Brasília: UnB. 75p.

LIMA, W. P. **Importância das Florestas para a produção de água**. In: **III Simpósio sobre Recuperação da Cobertura Florestal da Bacia do Corumbataí, 2000, Piracicaba**. III Simpósio sobre Recuperação da Cobertura Florestal da Bacia do rio Corumbataí. Piracicaba: IPEF, p. 1-5, 2000.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUSER, W. C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP)**. Bragantina, v.51, p189-96, 1992.

LONGLEY, P. A. GOODCHILD, M. F. MAGUIRE, D.J. RHIND, D. W. **Geographic information systems and science**. 2 nd. New York: John Wiley & Sons Ltd, 2005

LOPES, F.; MERTEN, H. G.; FRANZEN, M. GLASSON, E.; HELFER, F. & CYBIS L. F. A. **Utilização de P-Index em uma bacia hidrográfica através de técnicas de geoprocessamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB. V.11, n.3 p.312-317, 2007.

LUBITZ, E.: **Avaliação da aplicação do modelo hidrológico SWAT à bacia do ribeirão concórdia – LONTRAS**, SC: 2009.

LUCAS JUNIOR, J.; AMORIM, A.C. **Manejo de dejetos: fundamentos para a integração e agregação de valor**. In: Zootec, 2005.

LUCIANO, R. V; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; VÁZQUEZ, E. V.; FABIAN, E. L.: **Perdas de água no solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca**. Revista Brasileira de Solo, n. 33, p. 669-676, 2009.

MACHADO, C. J. S. **Recursos hídricos e cidadania no Brasil: limites, alternativas e desafio**. Revista Ambiente & Sociedade, v.6, p.121-136, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v6n2/a08v06n2.pdf>>. Acessado em: 21 de mai. 2014.

- MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão do Pinhal, Limeira –SP.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - UNICAMP-Campinas, 2005.
- MANSOR, M. T. C.; FILHO, J. T.; ROSTON, D. M. **Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do rio Jaguari, SP.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.3, p. 715-723, 2006.
- MAROTTA, H.; SANTOS, R. O.; ENRICH-PRAST, A. **Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais.** Ambiente & Sociedade, Campinas, v. 11, n. 1, p. 67-79, 2008.
- MC ISAAC, G. F.; MITCHEL, J. K.; HIRSCHI, M. C. **Dissolved phosphorous concentrations in runoff from simulated rainfall on corn and soybean tillage systems.** Journal of Soil and Water Conservation, v.50, p.383-387, 1995.
- MEDEIROS CNE, PETTA RA. **Exploração de imagens de satélite de alta resolução visando o mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal do solo.** In: Anais do Simpósio Brasileiro Sobre Sensoriamento Remoto - SBSR, Goiânia; 2005. INPE; 2005. p. 2709-2716
- MEHRJARDI, R.T.; JAHROMI, M. Z.; MAHMODI, Sh.; HEIDARI, A. **Spatial Distribution of Groundwater Quality with Geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan Plain).** World Applied Sciences Journal. p. 09-17, 2008.
- MERTEN, G. H & MINELLA, J. P.: **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura.** Revista Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent. Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002. Disponível em: <http://www.emater.tche.br/docs/agroeco/revista/ano3_n4/artigo2.pdf>. Acessado em: 21 mai. 2014.
- MENDES, B, OLIVEIRA J. F. S. **Qualidade da água para o consumo humano.** Lidel edições técnicas, Ltda, 2004. ISBN:9789727572748.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas,** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425p.
- NEGRILLO, B.G. **Testes de hipóteses não - paramétricos para experimentos em parcelas subdivididas (Split Plot).** Revista de Matemática e Estatística, v.15, p.145-156, 1997.
- NETTO, G. J. S. **Desempenho de modelos de infiltração na sub-bacia do Ribeirão Marcela - Região do Alto Rio Grande – MG.** Dissertação de Mestrado, UFL, 2011.
- NETTO, A. A. **Estimativa da retenção de água no solo a partir do uso de equipamentos não convencionais, redes neurais artificiais e funções de pedotransferência.** 2007. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- NETTO, L. G.; SANT'ANA, L. C. F.; PASSOS, M. M.; **Um diagnóstico preliminar da análise integrada da paisagem na bacia hidrográfica do ribeirão Maringá.** Revista Geonorte, Ed. Especial, V.3, n.4, p. 1292-1305, 2012.
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS): **Hydrology. National Engineering Handbooks.** National Resources Conservation Service. USDA, Washington, USA. 762p. 1997.
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS): **Soil Quality Test Kit Guide.** Handbooks. National Resources Conservation Service. USDA, Washington, USA. 88p. 1999.
- NUNES, J. M; COELHO, J. P; LÓPEZ –PINEIRO, A.; DIAS, S.; RASQUILHA, M. P. **Utilização dos Sistemas de Informação Geográfica como auxílio para uma fertilização mais racional.** 1º Congresso Luso-Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Agropecuária. Escola Superior Agrária de Elvas, Lisboa, (Portugal), 2004.

- OGDEN, C. B.; VAN ES, H. M.; SCHINDELBECK, R. R. **Miniature rain simulator for field measurement of soil infiltration**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.61, n.4, p. 1041-1043, 1997.
- OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia aplicada**. 4. ed. Piracicaba: FEALQ, 592 p, 2011.
- ORIGE, M.; OLIVEIRA, T. de S; JULIÃO, R. P.; **Integração de informações Geoespaciais para analisar a ocupação do solo na área de preservação permanente da Bacia Hidrográfica do rio Criciúma/SC/Brasil**. UNESP, Geociências, v. 34, n. 1, p.145-152, 2015.
- PANHOTA, R. S.; BIANCHINI JR, I. **Potential cycling of organic matter in a eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP – Brazil)**. Acta Limnologica Brasiliensia, Botucatu, v. 15, n. 2, p. 1 – 11, 2003.
- PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. **Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil**. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 28, n. 1, p. 129-137, 2006
- PARRY, R. **Agriculture phosphorus and water quality: a U.S. Environmental Protection Agency perspective**. Journal of Environmental Quality, v.27, p.258-261, 1998.
- PEREIRA, R. S.; **Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos**. Revista Eletrônica de Recursos Hídricos. IPH – UFRGS. v. 1, n. 1. P. 20-36. 2004. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/informacoes/rrh.pdf>>. Acessado em: 24 de Set. 2013.
- PONTES. A. C. F.: **Obtenção dos níveis de significância para os testes de Kruskal-Wallis, Friedman e comparações múltiplas não paramétricas**. Dissertação de Mestrado, ESALQ-Piracicaba-SP, P. 140, 2000.
- POTE, D. H.; DANIEL, T. C.; NICHOLS, D. J.; SHARPLEY, A. N.; MOORE JR., P. A.; MILLER, D. M.; EDWARDS, D. R. **Relationship between phosphorus levels in three ultisols and phosphorous concentrations in runoff**. Journal of Environmental Quality, v.28, p.170-175, 1999.
- POTT, C. A.; DE MARIA, I.C. **Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica**. Rev. Bras. Cienc. Solo, Viçosa, v. 27, p. 19-27, 2003.
- PORTO, M. F. A & PORTO, R. LA L. **Gestão de Bacias Hidrograficas**. Estudos Avançados, vol. 22, n.º. 63, 2008. 18p.
- PERROUX, K. M.; WHITE, I. **Designs for disc permeameters**. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v. 52, p. 1205-1215, 1988.
- PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S., SILVA, D.D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2003, 88 p.
- PRUSKI, F. F.; VENDRADE, V.; OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L. **Infiltração da água num Latossolo Roxo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 32, n. 1, p. 77-84, 1997.
- PRUSKI, F. F.; VENDRADE, V.; OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L T.de. **Velocidade de Infiltração da água em um Latossolo Roxo, determinadas com simulador de chuvas e infiltrômetro de anel, em ensaios sucessivos**. In Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 23, 1994, Resumos. Campinas UNICAMP, 1994. P.189.
- RAVEN, P. H.; BERG, L. R.; JOHNSON, G. B. **Environment**. Saunders College Publishing, 1998.
- REATTO, A.; MARTINS, E. de. S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V. da; CARVALHO Jr, O. A.; **Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1: 100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo**. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2004.
- REICHERT, J. M. **Formação de selo superficial e infiltração de água sob chuva simulada em solos do Rio Grande do Sul**.1988. 165f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M. da & CABEDA, M. S. V.: **Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul**. Rev. Bras. Cienc. Solo, Campinas, v. 16, p. 289-298, 1992. Disponível em: <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Artigos/63.pdf>. Acesso em: Jan. de 2015.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. **Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils**. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: USP/ESALQ. Departamento de Física e Meteorologia. 2.ed. 1996. 505p.

RENNÓ, C. D, SOARES, J. V; **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**. INPE: Relatório Técnico Parcial, 2000. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf>. Acesso em: fev. de 2015.

ROCHA, J.S.M. da. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: UFSM, 1997. 446p. Embrapa Hortaliças; Embrapa Semiárido. Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: mar. de 2015.

RODRIGUES, J.B.T: **Variabilidade espacial e correlações entre atributos de solo e produtividade na agricultura de precisão**. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP. 116p, 2002.

RODGHER, S. ESPÍNDOLA, E. L. G.; ROCHA, O.; FRACÁCIO, R.; PEREIRA, R. H. G. RODRIGUES; M. H. S. **Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê river (São Paulo, Brazil)**. Brazilian Journal of Biology, v. 65, n. 4, p. 697-710, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bjb/v65n4/a17v65n4>>. Acesso em: 15 de jan. 2016.

ROSTIROLLA, S. P. **Alguns aspectos da avaliação de favorabilidade em geologia exploratória**. Revista Brasileira de Geociências, vol. 27, N04, p.327-338.

ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, H. G.: **A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration e soil loss**. Catena, Issue 1, v. 12, p. 79-85, 1985.

ROYSTON, P. 1995. **A remark on AS 181: The W-test for normality**. *Applied Statistics* 44:547-551.

ROWNTREE, K. **Political and administrative constraints on integrated river basin development: an evaluation of the Tana and Athi Rivers**. Issue 1, Chicago, v.10. n.1, p.21-41, 1990.

SALES, L.E.O. FERREIRA, M. M; DE OLIVEIRA, M. S & CURI, N.. **Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo**. Pesq. Agropecu. Bras., Brasília, v. 34, n. 11, p. 2091-2095, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v34n11/7516.pdf>>. Acesso em: mar. de 2015.

SALLES, L. A. **Calibração e validação do modelo SWAT para a predição de vazões na bacia do ribeirão Pipiripau**. Dissertação de Mestrado, Publicação PPG EFL. DM-172/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114p. Disponível em: <<http://www.sifloresta.ufv.br/handle/123456789/9461?show=full.pdf>>. Acesso em: jan. de 2015.

SANTI, A. L. **Relações Entre Indicadores de Qualidade do Solo e Produtividade das Culturas em Áreas Com Agricultura de Precisão**. 175f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; SILVA, V. R.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, L P.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T. **Infiltração de água no solo, determinada por diferentes métodos, como indicador do potencial produtivo em dois Latossolos manejados com agricultura de precisão**. *Interciencia*, Caracas, v. 37, n. 3, p. 2004-2008, 2012.

- SARTORI, A. **Avaliação da classificação hidrológica do solo para determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos**. Campinas, 2004. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. 159p.
- SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. **Chuvas intensas relacionadas com a erosão hídrica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.115-123, 2010.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, B. A. F.; FERREIRA JR., W. G.; VALENTE, E. L.; CORRÊA, G. R. **Relações solo-vegetação em alguns ambientes brasileiros: Fatores edáficos e florística**. In: MARTINS, S. V. **Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil**. 2.ed. Viçosa: UFV, p. 252-293, 2012
- SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. **Infiltration measurements with Double-ring infiltrometers and a simulator under different surface conditions on an Oxisol**. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v.9, p.161-168, 1987.
- SIMS, J.T.; SIMARD, R.R.; JOERN, B.C. **Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research**. Journal of Environmental Quality, v.27, p.277- 293, 1998.
- SILVA, D.D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S. **Escoamento superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de cobertura num Podzólico Vermelho Amarelo com preparo e cultivo em contornos**. Engenharia Agrícola, v. 21, n.1, p. 12-22, 2001.
- SHAPIRO, S. S. & WILK, M. B.. **An analysis of variance test for normality (complete samples)**. *Biometrika* 52:591-611, 1965.
- SHARPLEY, A. N.; CHAPRA, S. C.; WEDEPHOL, R.; SIMS, J. T.; DANIEL,T. C.; REDDY, K. R. **Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issues and options**. Journal of Environmental Quality, v.23, p.437-451, 1994.
- SHARPLEY, A. N.: **Identifying sites vulnerable to phosphorous loss in agricultural runoff**. Journal of Environmental Quality, v.24, p.947-951, 1995.
- SHARPLEY, A. N. **Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils**. Soil Science Society of American Journal, Madison, v. 49, p. 905-911, 1985.
- SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. **Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays**. Science of Total Environment. v.373, p.334-343, 2007.
- SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. **Infiltration measurements with double ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an Oxisol**. Soil Tillage Res., Amsterdam, v. 9, n. 2, p. 161-168, 1987.
- SILVA, A.M.; SCHULTZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RIMa, 159 p., 2007
- SILVA, C. A. da: **Manejo integrado em microbacias hidrográficas**. Estudos Sociedade e Agricultura, 1994. P. 182-188.
- SILVA, C. L. & OLIVEIRA, C. A. S. **"Runoff measurement and prediction for a watershed under natural vegetation in central Brazil"** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 23 (3), 695-701.
- SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. **Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva**. Engenharia Agrícola, v.25, n.2, p.409-419, 2005
- SILVA, L.C.; KATO, E. **Avaliação de modelos para a previsão da infiltração de água em solos sob cerrado**. Pesq. Agropecu. Bras., Brasília, v. 33, n. 7, p. 1149-1158, 1998.

SILVA, P. M. De. O. **Modelagem do Escoamento Superficial e da Erosão Hídrica na Sub- Bacia Hidrográfica do Ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, MG.** 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Lavras. 2006.

SILVA, M. G. **Avaliação de sistemas de produção e aplicação superficial de corretivos em plantio direto.** 2009 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. São Paulo.

SOARES NETO, G.B. **Método de classificação semiautomático das unidades básicas de relevo em regiões tropicais.** 2015. 103f. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) – (Instituto de Geociências), Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SOUZA, MARCOS A. de. **Qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau - DF, com ênfase na determinação de agrotóxicos.** Brasília: UnB\Unitau, 2005.

STEEL, R.G.D. **A rank sum test for comparing all pairs of treatments.** Technometrics, v.3, n.2, p.197-207, 1960.

STEFFEN, J. L.; ALMEIDA, I. K.; COSTA NETO, J. F. da.; ALVES SOBRINHO, T.: **Simulação do escoamento superficial em Bacia Hidrográfica.** UNESP-SP, Geociências, v. 33, n1. P. 147-156, 2014.

TERRACAP, **Mapeamento Cartográfico do Distrito Federal.** 2010. Disponível em: <<http://www.sedhab.df.gov.br/desenvolvimento-urbano/gestao-da-informacao-urbanas/mapas.html>>. Acesso em: setembro de 2014.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; SILVA, A. L.; PESSOA, E. J.; SILVA, E.C.; RESENDE, E. F. **Diagnostico ambiental e análise morfométrica da microbacia do córrego Lanhoso em Uberaba, MG.** Revista Caminhos de Geografia, v.9, p.1-11,2008.

TUCCI, C. E. M. (Org.); **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2ed; 1reimp. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS/ABRH, 2000 (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4). 943p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. **Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento:** Revista brasileira de Recursos Hídricos, 2: 135-152. 1997.

TUCCI, C. E. M.; **Modelos Hidrológicos.** Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS/ABRH, 1998. 669p.

TUCCI, C.E.M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos.** Agência Nacional de Águas: Câmara Temática sobre Recursos Hídricos - Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2002. 150 p.

TUCCI, C. E. M. **Processos hidrológicos naturais e antrópicos.** In: TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A (Eds.). Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Brasília: MMA, 2006. p. 15 – 99.

TUNDISI, J. G. & TUNDISI, M. T. **Ciência, tecnologia, inovação e recursos hídricos: oportunidades para o futuro.** Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, SP. Centro Universitário FEEVALE, Novo Hamburgo, RS. Cap. 11 pag. 192, 2008. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-817.pdf>>. Acessado em: 21 de mai. 2014.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, 97 p. 1977.

VAEZA, R. F.; FILHO, P. C. de, O; MARIA, A. G.; DISPERATI, A. A. **Uso do solo e cobertura vegetalem Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução.** Revista Floresta e Ambiente, 2010. ISSN 1415-0980.

VAN ES. H. & SCHINDELBECK, R. **Field procedures and data analysis for the cornell Sprinkle Infiltrometer.** Cornell University, Department of Crop and Soil Sciences. Extension publication R 03-01. 8 pages. 2003.

VIEIRA, SONIA, 1942- **Introdução à bioestatística** [recurso eletrônico]/ Sonia V:leira. - Rio de Janeiro : Elsevier, 2011. 345 p., recurso digital : il.

UTTOMARK, P.D. et al. **Estimating nutrient loading of lakes from non-point sources.** n. 660. Ecological Research Series, Oregon. 1974.

ZANETTI, S. S.; SILVA, J. M. A.; SOUSA, E. F.; OLIVEIRA, V. P. S.; ALMEIDA, F. T. **Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica Parte I: Aprimoramento do modelo HidroBacia.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13,p.429-434, 2009.

ZANETTI, S.S; SILVA, J. M. A.; SOUSA, E. F.; OLIVEIRA, V. P. S.; ALMEIDA, F. T. **Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica – Parte I: Aprimoramento do modelo HidroBacia.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 429-434, 2009.

ZANETTI, S.S., AGRIZZI, D. V., SCÁRDUA, M. D., FUKUNAGA, D., OLIVEIRA, K. D. **Estimativas do escoamento superficial em uma sub bacia hidrográfica no município de Rio Novo do Sul, ES.** In: Santos, A. R., Peluzio, j. B. E., Peluzio, T. M. O., Santos, G. M. A. D. A. (Orgs). Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais. Alegre-es, CCA-UFES, 2012.p. 139-157.

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGOL, D. R.; DA ROSA, G. M.; MORAES, M. T. De; **Utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3489-3500, 2013.

ZWIRTES, A. L.; et al. **Caracterização físico-hídrica de solos submetidos a diferentes manejos.** Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, v. 4, p. 51-66, 2011.

ANEXO "A" - Manual do Equipamento emitido pelo Departamento de Cultura e Ciência do Solo da Universidade de Cornell, Ithaca, NY.



Cornell University
College of Agriculture and Life Sciences
Department of Crop and Soil Sciences

Department of Crop and Soil Sciences Research Series R03-01.

Field Procedures and Data Analysis for the Cornell Sprinkle Infiltrometer



[For questions and purchase inquiries, contact:](#)

Harold van Es, Professor: (607) 255-5459, hmv1@cornell.edu, or

Robert Schindelbeck, Extension Associate: (607) 255-1706, rrs3@cornell.edu

Department of Crop and Soil Science, Cornell University, Ithaca, NY 14853-1901

The Cornell Sprinkle Infiltrometer

Soil infiltrability is an important soil quality indicator, as it has important agricultural and environmental implications and is strongly affected by land management practices. Measurement of soil infiltrability is generally done through ponded ring infiltration or simulated rainfall, each having specific advantages and disadvantages. The Cornell Sprinkle Infiltrometer (Ogden et al., 1997) was designed to combine the advantages of both. It also allows for easy and rapid measurement of soil infiltration, as this is essential to adequately estimate spatially and temporally-variable infiltration behavior (van Es, 1993).

The Cornell Sprinkle Infiltrometer system consists of a portable rainfall simulator that is placed onto a single 241-mm (9 1/2") inner diameter infiltration ring (Fig. 1) and allows for application of simulated rainfall at a wide range of predetermined rates. The apparatus permits the determination of several important soil hydrological properties: Time-to-runoff, sorptivity, and field-saturated infiltrability.

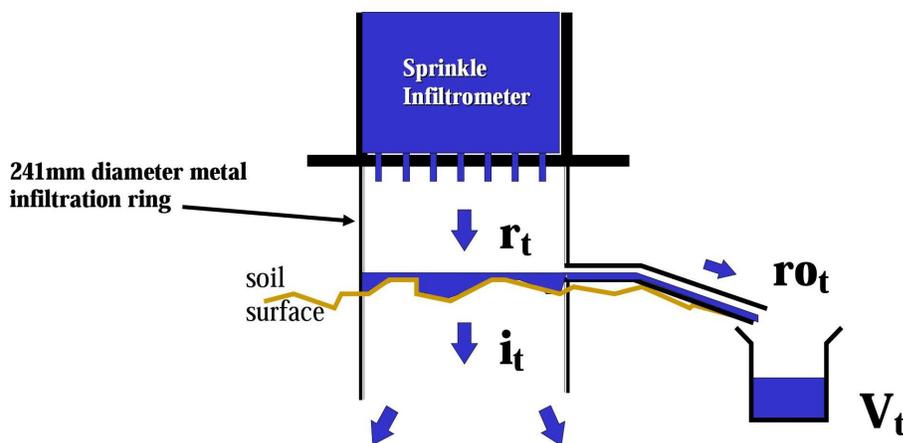


Fig. 1: Infiltrometer setup

In contrast to most other ponded infiltration measurements, this approach:

- Wets the soil in a more natural manner and eliminates soil slaking as a result of instantaneous ponding
- Reduces unnaturally high contributions of macropore flow under ponded conditions
- Provides a realistic surface boundary condition, including the effects of soil surface roughness which can greatly influence infiltration behavior
- Is conservative with water

Compared to most other rainfall simulators, the Cornell Sprinkle Infiltrometer measures infiltrability for a relatively small soil surface area. However, its main advantages are:

- Low cost
- High portability
- Allows for rapid measurements by a single person
- Easy calibration for a wide range of simulated rainfall rates
- Conservative water use

The Cornell Sprinkle Infiltrometer employs a single, rather than a double infiltration ring, and makes adjustments for three-dimensional flow at the bottom of the ring based on research by Reynolds and Elrick (1990).

Field Procedures

Sprinkler Preparation

Although the sprinklers are robustly built for use under field conditions, the user should be aware that the capillary tubes at the bottom of the unit are the most sensitive part of the equipment. Efforts should be made to minimize contact of the tubes with soil or debris. Use of water with high sediment content should be avoided as it may increase the potential for clogging of the capillaries. Since natural rainfall is low in soluble salts, it is recommended (but not always logistically feasible) to use water of low ionic strength. This may be especially critical for sodic and other soils that are subject to slaking.

Fill the sprinkler when positioned on a stable flat surface. Remove the large rubber stopper and air-entry tube, and pour water into the vessel. Then re-insert the stopper/tube, and place it firmly to insure that the stopper is air-tight. (This is important as air should only enter the vessel through the air-entry tube.) The interface between the large stopper and the air-entry tube should also be air-tight. Some vacuum grease may be used to insure this, while still allowing for easy adjustment of the tube.

Once the sprinkler vessel has been filled and the stopper/tube firmly reinstalled, blow gently into the air-entry tube for a few seconds to apply some additional air pressure to remove possible bubbles from the capillaries. This only needs to be done at the beginning of a set of measurements, and does not need to be repeated with refills on the same day. Then, put the small stopper on the top of the air-entry tube. This will air seal the vessel and the capillaries will cease dripping after a few seconds. The sprinkler is now on stand-by and ready for use without losing any water in the meantime.

Sprinkler calibration

The sprinklers are designed to apply water at a wide range of simulated rainfall rates. The rate can be changed by moving the air-entry tube up (for higher rates) or down (for lower rates). It is recommended to calibrate the sprinkler for a rainfall rate of 25 to 30 cm/hr. This generally insures that ponding will occur for every measurement, and still allows for a measurement period of one hour without requiring refills.

Note: Alternatively, the sprinklers may be calibrated for an event of known recurrence period for the region of the study (e.g., a 50-year, 1 hour event). This will generally not insure ponding for all measurements, in which case one might interpret the measurement location as having "sufficiently high" infiltrability. This may create challenges when trying to analyze the data statistically, as it will not provide quantitative data for those sites.

The actual sprinkling rate in the field may vary slightly from the calibrated rate as a result of temperature variations in the water. This is not a problem, as the actual application rate is directly measured in the procedure.

To calibrate the sprinkler, perform the following:

1. Set the air-entry tube to the desired level. The 30 cm/hr or 0.5 cm/min sprinkle rate is generally achieved when the bottom of the air-entry tube is located at 10 cm above the bottom of the container. This is therefore a good starting point for the calibration effort.
2. Measure the height of water level in the sprinkler vessel (**H1**). It is easiest to measure and record it in cm with one decimal value (e.g. 41.2 cm).
3. Remove the small stopper from the air-entry tube, while simultaneously starting a stopwatch
4. Allow for 3 minutes of sprinkling and read the water level exactly at this time (**H2**)
5. Calculate the rainfall rate (cm/min) as

$$[\mathbf{H1-H2}]/3$$

6. If the actual rainfall rate is below the desired rate, move the air-entry tube upwards. Move it down if it is above the desired rate.
7. Repeat the procedure until the desired rate is achieved. Note that the calibrated rainfall rate does not need to be very exact, as the actual rate is determined for each field measurement, and variations are accounted for in the data analysis.

Once the sprinkler has been calibrated for the desired rate, refill the vessel and reinstall all stoppers. It is now ready for actual field measurements. Note that calibration generally does not have to be repeated. It can also easily be checked with each subsequent field measurement.

Ring Insertion

The infiltration ring should be inserted without causing significant disturbance to the soil. This is best performed with the use of a hydraulic device that pushes the ring into the soil with a steady and constant force. Pounding rings into the soil using a hammer tends to cause some soil disturbance, especially in dense soils, and is therefore less preferred. In all cases, it is recommended to lay a piece of 4" by 4" wood of about 30 cm length horizontally on top of the ring and apply the driving force to it. Before inserting the ring, carefully remove pieces of debris, crop residue and small rocks that are immediately below the edge of the ring, as they would cause soil disturbance when the ring is pushed in. In rocky soils, multiple attempts may be required to insure that ring insertion occurred without excessive disturbance.

The ring should be inserted to a depth where the lower edge of the round overflow hole is flush with the soil surface. Depending on which end is used, the rings can be inserted to a depth of 7 cm or 15 cm. The deeper insertion is preferable, but may not be feasible in many field situations, especially with dense or rocky soils, and when the rings are hammered into the soil. In soils with a rough surface, the rings should be inserted with the hole located at the level where overflow of microrelief would occur under natural rainfall conditions. This allows the infiltration measurement to account for the effect of surface storage capacity, which greatly affects infiltrability under those conditions.

Once the ring has been installed, insert the overflow tube assembly (stopper and tubing) into the ring (**Fig. 1**). At the end of the tube, dig a small hole to place the beaker. The hole for the beaker should be sufficiently distant (30 cm or more) from the infiltration ring to not interfere with water flow patterns. The tubing should slope away from the ring to insure that overflowing water does not back up and readily empties into the beaker. The beaker itself should therefore also be positioned sufficiently low.

The sprinkler may now be placed on top of the ring in preparation for the measurements (as in **Fig. 1**). Alternatively, the sprinklers may be suspended above the ring (e.g., off a tripod). This will allow the simulated raindrops to gain velocity and more closely reproduce the energy of natural rains.

Measurements

The following steps outline the measurement procedure:

1. Measure the height of the water level in the sprinkler vessel (**H₁**)
2. Remove the small stopper from the air-entry tube, while simultaneously starting a stopwatch. Monitor the outflow tube to determine whether water is being discharged into the beaker. During this period, it is advised to slightly rotate the sprinkler every minute or so (more often when the sprinkler is suspended) to prevent raindrops impacting the soil surface in the same location.
4. When water starts flowing out of the tube, record the time (**T_{RO}**, time to runoff in minutes). The runoff water should now be flowing into the beaker.
5. After three (or so) minutes, pour the water from the beaker into the graduated cylinder. This should be done while not spilling water that continues to come from the outflow tube (e.g., by quickly replacing the full beaker with another empty one, or temporarily blocking the outflow tube).
6. Measure the runoff volume (**V_t**) in the graduated cylinder (in ml). Record both **V_t** and the **t**ime at which water was collected.

7. Repeat steps 5 and 6 for as long as desired (generally up to one hour), or until the water level in the vessel has reached the bottom of the air-entry tube. Do not continue beyond this point as the sprinkle rate will gradually decrease. In most cases, steady-state conditions will have occurred within an hour. It may take longer with extremely dry soils and those that have shrinkage cracks that close very gradually during extended wetting.

8. At the end of the measurement period, determine the water level in the vessel (**H2**) and the time at which it is taken (**T_f**).

Data Analysis

The simulated rainfall rate (**r**, constant throughout the experiment) is determined by

$$r = [H1 - H2] / T_f$$

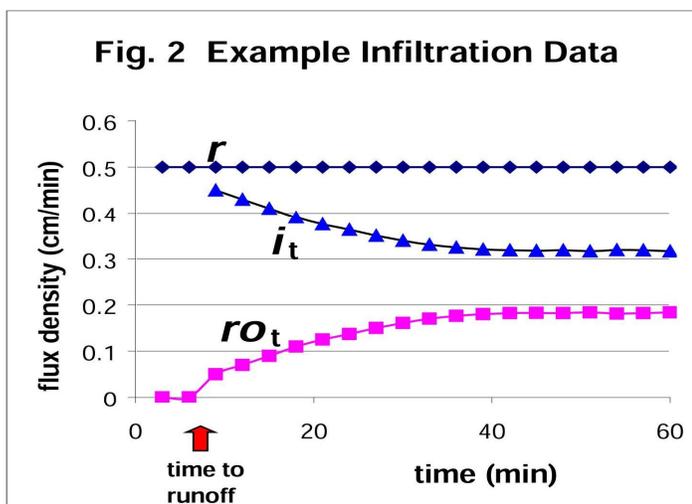
The runoff rates (**ro_t**, cm/min) are determined by

$$ro_t = V_t / (457.30 * t)$$

where 457.30 is the area of the ring, and **t** is the time interval for which runoff water was collected (3 minutes in our case). Infiltration rates (**i_t**) are determined by the difference between the rainfall rate and runoff rate:

$$i_t = r - ro_t$$

Figure 2: Rainfall, runoff and infiltration rates for a typical measurement.



Estimation of Sorptivity

Time-to-runoff (T_{RO}) is an important soil hydrological parameter that is dependent on the rainfall rate (r) as well as the initial soil water conditions. Runoff will occur earlier if r is higher and the soil is wetter. Sorptivity (S) is a more universal soil hydraulic property that describes early infiltration independent of rainfall rate. It is estimated by (Kutilek, 1980):

$$S = (2T_{RO})^{0.5} * r$$

Sorptivity also accounts for variable sprinkle rates which are difficult to avoid under field conditions, and provides an integrated assessment of early infiltration, including the effect of surface water storage with rough soil surfaces.

Estimation of Field-Saturated Infiltrability

Field-saturated infiltrability (i_{fs}) reflects the steady-state infiltration capacity of the soil, after wet-up. It should be based on the data collected at the end of the measurement period, or whenever steady-state conditions occur. Since the apparatus has a single ring, the measured infiltration rate needs to be adjusted for three-dimensional flow at the bottom of the ring. The required adjustment is generally greater when the ring insertion depth is shallower and the soil type is finer-textured. The adjustment factors suggested below are based on Reynolds and Elrick (1990) who used numerical modeling to estimate the effects of three-dimensional flow at the bottom of the ring. For the 7 cm and 15 cm ring insertion depth, multiply the measured infiltration rate by the constants listed in Table 1 to obtain the field-saturated infiltrability:

For example, for a ring insertion depth of 7 cm on a loam soil, the field-saturated infiltration rate is estimated as

$$i_{fs} = i_t * 0.80$$

Table 1. Conversion factors for field-saturated infiltrability to account for three-dimensional flow at the bottom of the ring (based on Reynolds and Elrick, 1990)

<u>Soil Type</u>	<u>Ring Insertion Depth</u>	
	<u>7 cm</u>	<u>15 cm</u>
sands and gravels	0.95	0.99
loams	0.80	0.94
clays and heavy clay loams	0.60	0.88

Other Uses

The Cornell Sprinkle Infiltrometer can be employed for other measurements of soil physical behavior. In a manner similar to the infiltration measurements, the sprinkler system may be employed to measure soil hydraulic conductivity in the field with rings inserted in different soil horizons in-situ. This can also be done in the laboratory using soil cores, in which case no correction for three-dimensional flow would be required.

The uniform droplet size allows the rainfall simulator to be used for measurement of soil aggregate stability under predetermined rainfall energy levels (van Es et al., forthcoming). This provides relevant information on slaking potential, which is a soil quality indicator that relates to soil settling, surface sealing, runoff and erosion.

The sprinkle system may also be employed when natural soil wetting is required in the laboratory or field.

References

- Kutilek, M. 1980. Constant rainfall infiltration. *J. Hydrol.* 45:289-303.
- Ogden, C.B., H.M. van Es, and R.R. Schindelbeck. 1997. Miniature rain simulator for measurement of infiltration and runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1041-1043.
- Reynolds, W.D. and D.E. Elrick. 1990. Pondered infiltration from a single ring: I. Analysis of steady flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1233-1241.
- van Es, H.M. 1993. Evaluation of temporal, spatial, and tillage-induced variability for parameterization of soil infiltration. *Geoderma.* 60:187-199.

ANEXO "B" – Procedimento de Operação Certificado Junto ao Departamento de Pesticidas E de Monitoramento Ambiental da Califórnia, CA - USA.

California Department of Pesticide Regulation
Environmental Monitoring Branch
1001 I Street, Sacramento CA 95814-2828
P.O. Box 4015, Sacramento CA 95812-4015

SOP Number: FSS0004.00
Previous SOP: NONE
Page 1 of 10

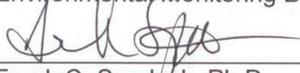
STANDARD OPERATING PROCEDURE
Measuring Infiltration Rate with a Cornell Sprinkle Infiltrometer

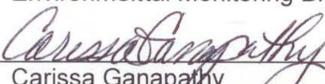
KEY WORDS

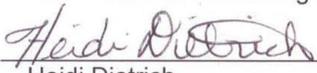
Infiltrability, rainfall simulator, ring infiltrometer, sorptivity

APPROVALS

APPROVED BY:  DATE: 10/28/05
Kean S. Goh, Ph.D.
Environmental Monitoring Branch Management

APPROVED BY:  DATE: 10/26/05
Frank C. Spurlock, Ph.D.
Environmental Monitoring Branch Senior Scientist

APPROVED BY:  DATE: Oct 5, 2005
Carissa Ganapathy
Environmental Monitoring Branch Quality Assurance Officer

PREPARED BY:  DATE: Oct 20, 2005
Heidi Dietrich
Environmental Monitoring Branch Student Assistant

Environmental Monitoring Branch organization and personnel, such as management, senior scientist, quality assurance officer, project leader, etc., are defined and discussed in SOP ADMN002.

California Department of Pesticide Regulation
Environmental Monitoring Branch
1001 I Street, Sacramento CA 95814-2828
P.O. Box 4015, Sacramento CA 95812-4015

SOP Number: FSS0004.00
Previous SOP: NONE
Page 2 of 10

STANDARD OPERATING PROCEDURE

Measuring Infiltration Rate with a Cornell Sprinkle Infiltrometer

1.0 INTRODUCTION

Infiltration is the process of water moving into the soil. Infiltrability is the rate at which water enters the soil surface. Ring infiltrimeters and rainfall simulators have been used for many years to investigate soil infiltrability and the processes of runoff and erosion. The Cornell Sprinkle Infiltrometer (Figure 1) combines the benefits of both ponding ring infiltrimeters as well as rainfall simulators while remaining portable and water efficient enough to allow taking multiple samples at each site (Ogden et al., 1997). This method is a relatively easy, quick and repeatable way to measure initial and steady-state infiltrability for a variety of soils.

1.1 Purpose

This Standard Operating Procedure (SOP) details the calibration and use of the Cornell Sprinkle Infiltrometer. The method is adapted from *Field Procedures and Data Analysis for the Cornell Sprinkle Rainfall Simulator* (van Es and Schindelbeck, undated).

2.0 MATERIALS

2.1 Rainfall simulator Unit

- 2.1.1 Rainfall Simulator
- 2.1.2 Metal infiltration ring
- 2.1.3 Bubble tube with clamp
- 2.1.4 Large rubber stopper
- 2.1.5 Outflow tube

2.2 For Each Infiltration Unit

- 2.2.1 1 1000 mL plastic graduated cylinder
- 2.2.2 2 1000 mL plastic beakers
- 2.2.3 Stop watch
- 2.2.4 Field scale (battery operated)
- 2.2.5 5 gal tap water for each test
- 2.2.6 Data sheet
- 2.2.7 Storage bin w/ lid

California Department of Pesticide Regulation
Environmental Monitoring Branch
1001 I Street, Sacramento CA 95814-2828
P.O. Box 4015, Sacramento CA 95812-4015

SOP Number: FSSO004.00
Previous SOP: NONE
Page 3 of 10

STANDARD OPERATING PROCEDURE

Measuring Infiltration Rate with a Cornell Sprinkle Infiltrometer

2.3 Additional Tools

- 2.3.1 Plywood sheet
- 2.3.2 Dead-blow hammer (rubber mallet)
- 2.3.3 Grass shears
- 2.3.4 Turkey baster
- 2.3.5 Waterproof tarp
- 2.3.6 Large funnel
- 2.3.7 Silicone vacuum grease
- 2.3.8 Shade structure
- 2.3.9 5 gallon bucket
- 2.3.10 Shovel
- 2.3.11 Hand trowel
- 2.3.12 Sturdy work gloves
- 2.3.13 Level
- 2.3.14 Soil auger

3.0 PROCEDURES

3.1 Field Preparation

- 3.1.1 At the desired location, clear the soil surface of rocks, grass and other debris. It is important to remove anything that may clog the overflow stopper and tubing or cause soil disturbance while driving in the ring.
- 3.1.2 Be sure to avoid large cracks when working with dry or heavy clay soils. The presence of animal burrows can also interfere with accurate measurements. Multiple attempts may be necessary to find a suitable soil surface.
- 3.1.3 Position the infiltration ring so the hole and outflow tubing are in the natural downward slope of the site's micro-topography.
- 3.1.4 Once the ring is in place, set a piece of plywood flat across the top of the ring. Use a mallet to drive the ring into the ground by pounding on the plywood and then check for plum with a level. The ring should be inserted until the bottom of the outlet hole is flush with ground level.
- 3.1.5 Insert the outflow tubing and stopper to use as a guide for distance (30cm or more) to where a 1000 ml beaker should be placed. Dig a hole deep enough and wide enough to position the beaker so it sits

California Department of Pesticide Regulation
Environmental Monitoring Branch
1001 I Street, Sacramento CA 95814-2828
P.O. Box 4015, Sacramento CA 95812-4015

SOP Number: FSSO004.00
Previous SOP: NONE
Page 4 of 10

STANDARD OPERATING PROCEDURE

Measuring Infiltration Rate with a Cornell Sprinkle Infiltrometer

slightly below ground level. A soil auger can help start the hole for the beaker. Dig a shallow trench with the hand trowel to accommodate the tubing and provide a downward slope to the beaker.

3.2 Filling the Rainfall Simulator

- 3.2.1 Place the rainfall simulator on a clean flat surface taking care to protect the drip tubes. Remove the large stopper. Pour water from carboys into the top until almost full but not above the last mark on the ruler (approximately 5 gallons). A large funnel with a mesh screen makes pouring easier and helps screen out debris that could clog the drip tubes. Replace stoppers firmly for an airtight fit using vacuum grease on both the large stopper and the interface of the bubble tube and the rainfall simulator. Air should only enter from the bubble tube.
- 3.2.2 A waterproof tarp on the ground can help keep equipment and staff clean and dry.
- 3.2.3 If needed, blow gently into the bubble tube for a few seconds to remove air bubbles from capillary tubes. This should be done before the first measurement but not subsequently. Seal the bubble tube with clamp. The rainfall simulator will not lose water when the bubble tube is sealed and the stopper is in place.

3.3 Final Assembly and Measurements

- 3.3.1 Carefully place full rainfall simulator onto the ring so that the bottom of the unit is flush with the top of the ring. Avoid bumping the ends of the capillary tubes with the ring. The tubes are fragile and can break.
- 3.3.2 Measure and record the initial height of the water (H1) in the infiltrometer by reading the height next to the ruler. Remove clamp from the bubble tube and start the stopwatch.
- 3.3.3 Watch the tubing for first sign of runoff into the beaker and record the time (T_{RO}) and water level. Take additional readings at regular intervals. 3 to 5 minute intervals are suggested but will depend on amount of runoff.

California Department of Pesticide Regulation
Environmental Monitoring Branch
1001 I Street, Sacramento CA 95814-2828
P.O. Box 4015, Sacramento CA 95812-4015

SOP Number: FSS0004.00
Previous SOP: NONE
Page 5 of 10

STANDARD OPERATING PROCEDURE

Measuring Infiltration Rate with a Cornell Sprinkle Infiltrometer

- 3.3.4 To take a reading, temporarily block outflow from the tubing and quickly switch beakers. At the same time, read water level from the ruler on the side of the infiltrometer. Record water level and time measurement was taken (t).
 - 3.3.4.1 If bubbling from bubble tube interferes with taking a reading, put finger over tip of the bubble tube momentarily to stop the turbulence, then take reading.
- 3.3.5 Tare the graduated cylinder on the field balance and pour the water from the collection beaker into the cylinder being careful not to spill. Record weight (V_i) on data sheet. Discard water and store both cylinder and beaker tilted or upside down to drain residual water. Re-tare cylinder before every measurement.
- 3.3.6 For each interval, follow steps 3.3.4 through 3.3.5 for as long as desired or until water level reaches the bottom of the bubble tube. Do not allow water to drop below bottom of bubble tube
- 3.3.7 With the last readings (H_2), (T_f), remove rainfall simulator from ring and place on a clean, flat surface. Allow water in ring to continue to flow out of tubing until it stops filling the beaker. Measure this amount. With the turkey baster, suck up any water puddled in ring then weigh, and record amount.

3.4 Clean Up

- 3.4.1 Empty leftover water from rainfall simulator. Remove infiltration ring and refill holes with displaced soil.
- 3.4.2 In lab, rinse rainfall simulator with a 10% solution of household bleach after each day of use. This will prevent microbial growth in capillary tubes.

California Department of Pesticide Regulation
 Environmental Monitoring Branch
 1001 I Street, Sacramento CA 95814-2828
 P.O. Box 4015, Sacramento CA 95812-4015

SOP Number: FSS0004.00
 Previous SOP: NONE
 Page 6 of 10

STANDARD OPERATING PROCEDURE

Measuring Infiltration Rate with a Cornell Sprinkle Infiltrometer

4.0 CALCULATIONS

4.1 Simulated rainfall rate

- 4.1.1 The simulated rainfall rate (r , cm min^{-1} , constant throughout the experiment) is determined by

$$r = [H1 - H2] / T_f$$

Where

H1= initial water height in unit, cm

H2= final water height in unit. cm

T_f= last time measurement, min

4.2 Runoff rate

- 4.2.1 The runoff rate (ro_t , cm/min) is determined by

$$ro_t = V_t / (457.30 * t)$$

Where

457.30 = area of the ring, cm^2

t = time interval of runoff collection, min

V_t = runoff volume in graduated cylinder converted from grams water to cm^3 water

4.3 Infiltration rate

- 4.3.1 Infiltration rate (i_t , cm min^{-1}) is determined by the difference between the rainfall rate and runoff rate

$$i_t = r - ro_t$$

Where

r = rainfall rate

ro_t = runoff rate

4.4 Estimation of Sorptivity

- 4.4.1 Sorptivity (S) is a soil hydraulic property that describes early infiltration independent of rainfall rate.

$$S = (2T_{RO})^{0.5} * r$$

Where

T_{RO} = time to initial runoff (min)

r = rate of runoff (cm/min)

California Department of Pesticide Regulation
Environmental Monitoring Branch
1001 I Street, Sacramento CA 95814-2828
P.O. Box 4015, Sacramento CA 95812-4015

SOP Number: FSSO004.00
Previous SOP: NONE
Page 7 of 10

STANDARD OPERATING PROCEDURE

Measuring Infiltration Rate with a Cornell Sprinkle Infiltrometer

5.0 TROUBLE SHOOTING AND MAINTANANCE

5.1 Field Trouble Shooting

- 5.1.1 If excessive time elapses while waiting for first discharge, a large crack in the soil or animal burrow may be present in the ring area. Remove rainfall simulator and ring and follow steps 3.1.1 to 3.1.5 again. Refill rainfall simulator and start measurements again.
- 5.1.2 Operation in direct sunlight may cause air bubbles to form and block capillary tubes, which will cause drip rate to slow or stop. Use shade structure or lid of container to shade rainfall simulator from the sun.
- 5.1.3 Additionally, filling carboys 24 hours before use will help allow for air to leave the water.

5.2 Special Maintenance

- 5.2.1 If a capillary tube is broken or becomes clogged, it can be replaced.
 - 5.2.1.1 Grab defective coil using pliers and pull upwards. If it breaks, pull from underneath.
 - 5.2.1.2 Clean old glue from hole with a scraper or putty knife. Do not use solvents to remove glue, as it will discolor acrylic.
 - 5.2.1.3 Apply large dab of "Marine Goop" to empty hole and place new capillary tube into hole. Move tube up and down to form a good seal.
 - 5.2.1.4 Allow to dry for 24 to 48 hours in a fume hood. Residual moisture will cause glue to fail.
 - 5.2.1.5 Trim bottom of tubes to 1-2 cm in length or same length of other tubes.
 - 5.2.1.6 Replacement parts can be ordered from Cornell.

California Department of Pesticide Regulation
 Environmental Monitoring Branch
 1001 I Street, Sacramento CA 95814-2828
 P.O. Box 4015, Sacramento CA 95812-4015

SOP Number: FSSO004.00
 Previous SOP: NONE
 Page 8 of 10

STANDARD OPERATING PROCEDURE

Measuring Infiltration Rate with a Cornell Sprinkle Infiltrometer

6.0 STUDY-SPECIFIC DECISIONS

6.1 Rainfall Rate

Rainfall rates can be altered by changing the height of the air entry tube. It is desirable to have drip rates that ensure ponding and to achieve steady-state infiltration without requiring refilling the rainfall simulator. For most soil, a drip rate of 20 to 30 cm/h will achieve this. The rainfall simulator can be calibrated to drip at the desired rate. The drip rate may vary slightly in the field due to changes in water temperature.

6.2 Calibration Steps

- 6.2.1 Set the bubble tube to the desired level. The 30 cm/hr sprinkle rate is generally achieved when the bottom of the bubble tube is located at 10 cm above the bottom of the container.
- 6.2.2 Measure the height of water level in the rainfall simulator (H1).
- 6.2.3 Remove the clamp from the bubble tube, and start a stopwatch.
- 6.2.4 Allow for 3 minutes of sprinkling and read the water level exactly at this time (H2).
- 6.2.5 Calculate the rainfall rate (cm/min) as

$$[H1-H2] / t$$
 Where
 t = time (min)
- 6.2.6 If the actual rainfall rate is below the desired rate, move the bubble tube up. Move it down if it is above the desired rate.
- 6.2.7 Repeat the procedure until the desired rate is achieved. Note that the calibrated rainfall rate does not need to be very exact. The actual rate is determined for each field measurement.

6.3 Soil Property Data Collection

Depending on study objective, collection of soil property samples may be useful. Soil moisture, bulk density and texture measurements can provide valuable information about field conditions. Collection methods for these samples are detailed in SOP #s METH001.00, METH004.00, FSSO002.00 and FSSO001.00.

California Department of Pesticide Regulation
Environmental Monitoring Branch
1001 I Street, Sacramento CA 95814-2828
P.O. Box 4015, Sacramento CA 95812-4015

SOP Number: FSSO004.00
Previous SOP: NONE
Page 9 of 10

STANDARD OPERATING PROCEDURE

Measuring Infiltration Rate with a Cornell Sprinkle Infiltrometer

7.0 REFERENCES

Dietrich, H. (2005) Procedure for Determining Soil Particle Size Using the Hydrometer Method. SOP METH004.00. Environmental Monitoring Branch, DPR. Available on-line:

<http://www.cdpr.ca.gov/docs/empm/pubs/sop.htm>.

Garretson, C. (1999a). Soil Water Content Determination. SOP METH001.00. Environmental Monitoring Branch, DPR. Available on-line:

<http://www.cdpr.ca.gov/docs/empm/pubs/sop.htm>.

Garretson, C. (1999c). Soil Bulk Density Determination. SOP FSSO001.00. Environmental Monitoring Branch, DPR. Available on-line:

<http://www.cdpr.ca.gov/docs/empm/pubs/sop.htm>.

Garretson, C. (1999b). Soil Sampling, Including Auger and Surface Soil Procedures. SOP FSSO002.00. Environmental Monitoring Branch, DPR. Available on-line:

<http://www.cdpr.ca.gov/docs/empm/pubs/sop.htm>.

Van Es, H.M. and R.R. Schindelbeck (undated). Field Procedures and Data Analysis for the Cornell Sprinkle Rainfall Simulator. Instructions For Use and Instructions for Replacing Infiltrometer Tubes from the Cornell Precision Agriculture Website, available online at

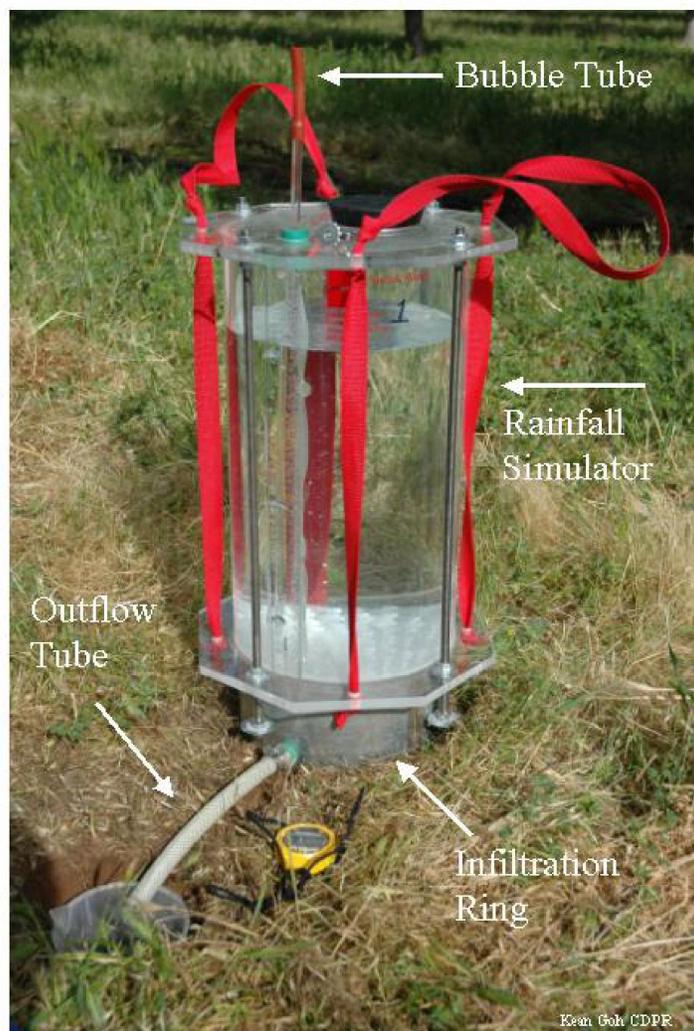
<http://www.css.cornell.edu/research/precisionag/infiltrometer.htm>.

California Department of Pesticide Regulation
Environmental Monitoring Branch
1001 I Street, Sacramento CA 95814-2828
P.O. Box 4015, Sacramento CA 95812-4015

SOP Number: FSS0004.00
Previous SOP: NONE
Page 10 of 10

STANDARD OPERATING PROCEDURE
Measuring Infiltration Rate with a Cornell Sprinkle Infiltrometer

Figure 1. Sprinkle Infiltrometer in the field



ANEXO "C" – Laudo da Qualidade da Água da Indústria Seiva Mineral LTDA.

**QUINOSAN - Laboratório Químico Ltda.****FICHA DE ANÁLISE**Secretaria de Estado de Saúde
MS SIS 00003-07PRODUTO: Água Mineral Seiva - Quarta
DATA DA COLETA DA AMOSTRA: 17/06/2015
PERÍODO DA ANÁLISE: INÍCIO: 24/06/2015SOLICITADO POR: ÁGUA MINERAL SEIVA
LAUDO: 03
TÉRMINO: 01/07/2015

ODOR: Característico	SABOR: Característico
ALCALINIDADE: 7,59 mg/L	CÓR: <1 EBC
COLORO: 0,0 mg/L	DUREZA: 12,24 mg/L
ÓLEOS E GRAXAS: Ausente	CO ₂ dissolvido: ---
PH: 6,89	TURBIDEZ: 0,02 EBC
ASPECTO: Límpido	FERRO: ND
CLORETO: 1,23 mg/L	

* ND - Não Detectado.

BACTERIAS	INCUBAÇÃO		RESULTADOS	PADRÃO MÁXIMO
	TEMP	INCUBAÇÃO		
Contagem P. Placas	37°C	48 h	8,0/ml	BRASIL 500/ml
ENTEROBACTÉRIAS				
-NMP Coliformes totais	37°C	48 h	Ausente	Ausência
-NMP Coliformes fecais	44,5°C	24 h	Ausente	Ausência
Enterococos fecais	37,0°C	72 h	Ausente	Ausência
Aeromonas sp.	37,0°C	24 h	Ausente	Ausência
Pseudomonas Aeruginosas	37,0°C	24 h	Ausente	Ausência
E.coli	37°C	24 h	Ausente	Ausência
Clostridium	45°C	24 h	Ausente	Ausência
Salmonella ssp	37°C	5 d	Ausente	Ausência

AVALIAÇÃO: **Satisfatório!**CONCLUSÃO: Produto em condições higiênico-sanitárias. Satisfatório!
Metodologia empregada: Resolução RDC 274 de 4 de Novembro de 2004 e RDC 275, de 22 de setembro de 2005!

QUINOSAN Laboratório Químico Ltda.

DATA: 01/07/2015

RESPONSÁVEL:

Elías Divino Saba
Reg. nº 12100007 CRQ X

ELIAS DIVINO SABA
CRQ-XII Nº12100007

CNPJ
01.784.926/0001-88

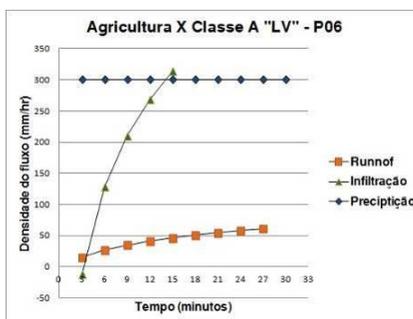
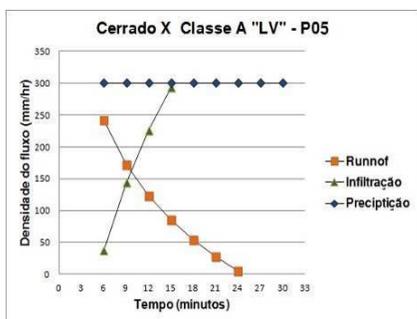
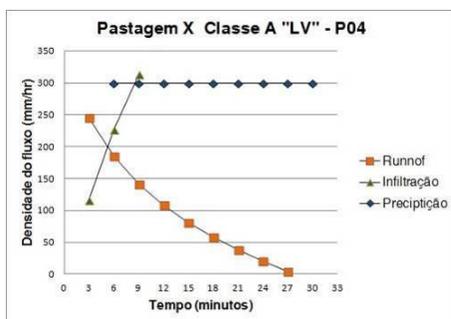
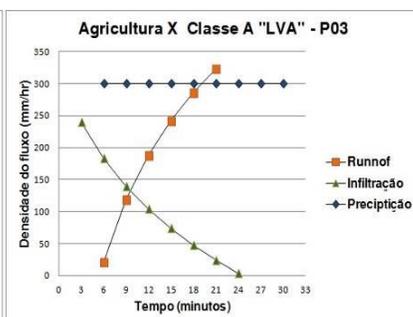
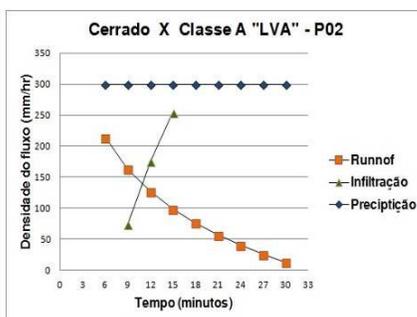
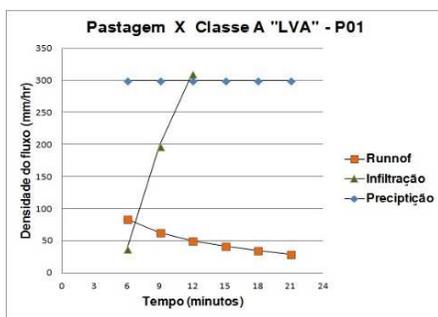
QUINOSAN LABORATÓRIO QUÍMICO LTDA
CHSW, BLOCO 3/4/5, SALA 122

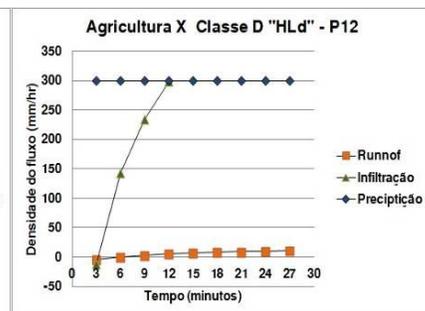
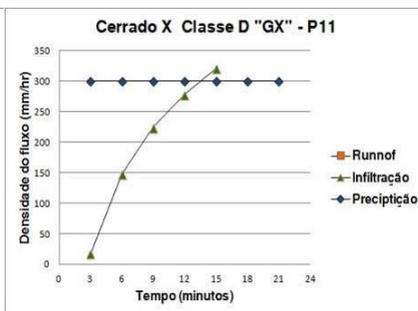
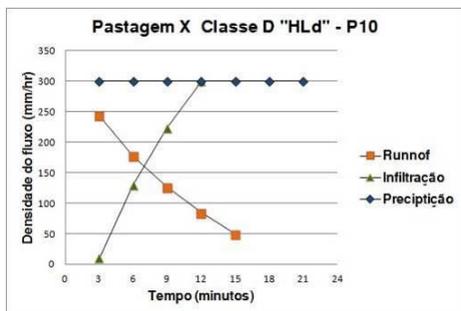
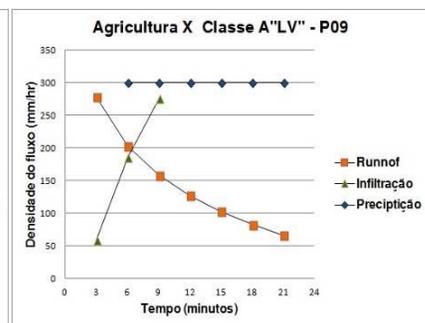
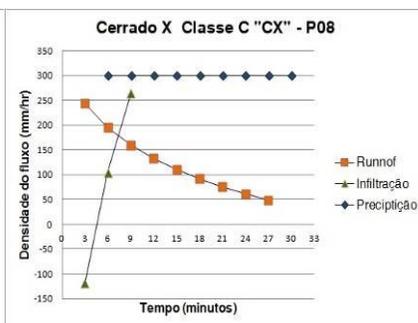
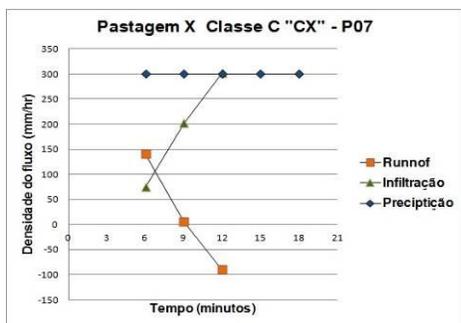
Sudoeste

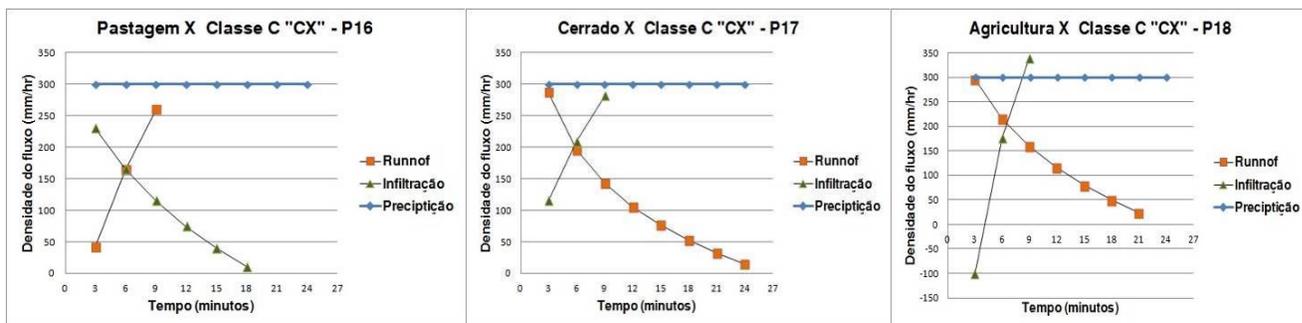
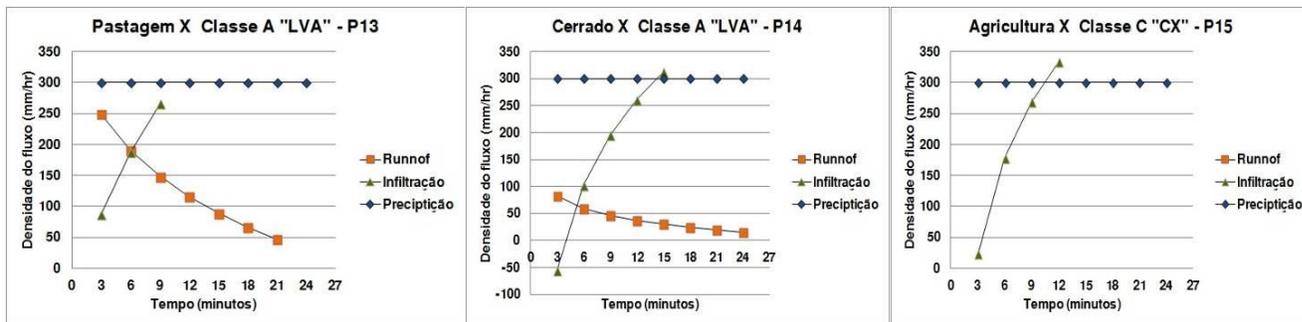
CEP: 70610-200 - BRASÍLIA - DF

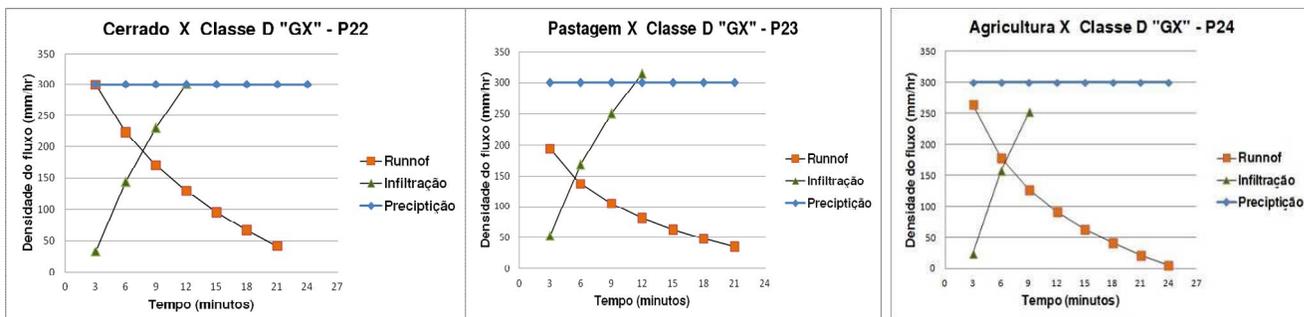
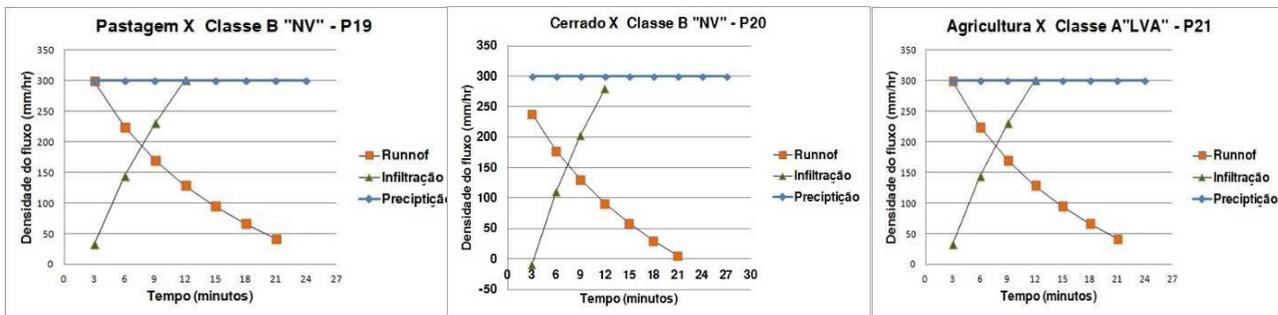
End. Centro Clínico Sudoeste - CHSW - lotes 03, 04, 05, sala 122 - Brasília - DF
Fone: (061) 3361-2318 Fone/fax: 3361-7005 CGC -01.784.926/0001 - 88Quinosan@hotmail.com
www.quinosan.com.br

APENDÊCE "D" – Relatório Fotográfico dos ensaios de infiltração e escoamento superficial nos diferentes Usos e Cobertura do Solo.









APENDÍCE “E” – Parâmetros Físicos, Químicos e Bacteriologistas analisados na água do escoamento superficial nos diferentes tipos de Uso do solo e cobertura vegetal do Solo.

Ponto	Tipo de Uso	Classe Hidrológica	Declividade	X	Y	Chuva (mm.h-1)	Escoamento (mm.h-1)	Infiltração (mm.h-1)	pH	Condutividade µS cm-1	Fosforo (mg.L-1)	Nitrogênio (mg.L-1)	Coliforme Total N.M.P./100mL
3	AGRICULTURA	A	6	228223	8268947	303	159	144	6,19	159,3	0,29	3,11	2419,6
6	AGRICULTURA	A	2	231844	8274545	311	36	275	6,72	0,71	0,18	2,26	2419,6
9	AGRICULTURA	C	6	228272	8272980	305	217	88	5,95	0,22	0,15	2,08	2419,6
12	AGRICULTURA	D	2	227361	8278141	313	6	307	6,47	30	0,38	2,76	1986,3
15	AGRICULTURA	C	6	227743	8271813	295	0	295	0	0	0	0	0
18	AGRICULTURA	C	12	225930	8273014	311	159	152	5,89	90,1	0,02	1,42	2419,6
21	AGRICULTURA	A	6	223992	8267451	309	115	194	5,74	28	0,1	3,46	43,7
24	AGRICULTURA	D	6	233110	8282580	309	113	196	5,66	0,17	0,06	2,20	1986,3
2	CERRADO	A	6	228562	8268762	330	111	219	6,14	0,37	0,19	2,32	2419,6
5	CERRADO	A	6	231162	8273490	319	131	188	6,57	35,4	1,08	2,33	2419,6
8	CERRADO	C	2	227385	8272239	302	266	36	6,36	0,18	0,1	2,11	435,2
11	CERRADO	D	6	229556	8278205	309	0	309	0	0	0	0	0
14	CERRADO	A	12	224234	8270927	314	34	280	5,63	111,6	0,08	1,70	68,2
17	CERRADO	C	12	220255	8268893	302	113	189	5,05	0,23	0,06	1,88	1986,3
20	CERRADO	B	12	223723	8267660	307	177	130	5,56	0,19	0,05	2,17	2419,6
23	CERRADO	D	12	232916	8282258	297	95	202	5,56	0,17	0,25	2,16	2419,6
1	PASTAGEM	A	6	228770	8268649	329	135	194	6,09	23,8	0,09	2,37	2419,6
4	PASTAGEM	A	6	230158	8273127	329	167	162	6,97	0,16	0,06	2,16	2419,6
7	PASTAGEM	C	2	228354	8272258	325	198	127	7,09	0,97	0,05	2,14	2419,6
10	PASTAGEM	D	6	228494	8278208	307	199	108	6,43	39,5	0,69	6,94	866,4
13	PASTAGEM	A	45	224041	8269252	324	157	167	5,6	125,1	0,02	1,80	105,4
16	PASTAGEM	C	6	229929	8275650	296	203	93	5,8	95,1	0,01	1,66	1
19	PASTAGEM	B	12	222830	8267192	302	182	120	5,45	0,21	0,17	1,76	248,1
22	PASTAGEM	D	2	233478	8282618	319	179	140	5,97	0,1	0,03	2,24	547,5
Média						311,1	131,3	179,8	5,5	30,9	0,2	2,2	1453,8
Desvio padrão						2,2	72,7	73,1	1,8	47,9	0,2	1,3	1080,1
Variância da amostra						112,1	5281,4	5341,4	3,2	2295,4	0,1	1,6	1166650,4
Curtose						-0,8	-0,4	-0,4	7,3	1,2	8,1	8,9	-1,9
Assimetria						0,4	-0,5	0,3	-2,8	1,5	2,7	2,0	-0,4
Mínimo						295,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo						330,0	266,0	309,0	7,1	159,3	1,1	6,9	2419,6
nº						24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
Nível de						4,5	30,7	30,9	0,7	20,2	0,1	0,5	456,1