

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**PAPEL HIDROLÓGICO DAS PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO NO TERÇO
SUPERIOR DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Douglas Leite Figueira

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

PAPEL HIDROLÓGICO DAS PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO NO TERÇO
SUPERIOR DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

DOUGLAS LEITE FIGUEIRA

Sob a Orientação do Professor Dr.

Ricardo Valcarcel

Dissertação submetida como requisito parcial
obtenção do grau de **Mestre em Ciências**
Ambientais e Florestais, no Curso de Pós-
Graduação em Ciências Ambientais e
Florestais, Área de Concentração em
Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2018

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

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

F475p Figueira, Douglas Leite, 1988-
Papel hidrológico das planícies de inundação no terço superior das bacias hidrográficas / Douglas Leite Figueira. - 2018.
115 f.: il.
Orientador: Ricardo Valcarcel.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, 2018.
1. Planícies de Inundação. 2. Bacias Hidrográficas. 3. Manejo. 4. Terço Superior. 5. Mata Atlântica. I. Valcarcel, Ricardo, 1953-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

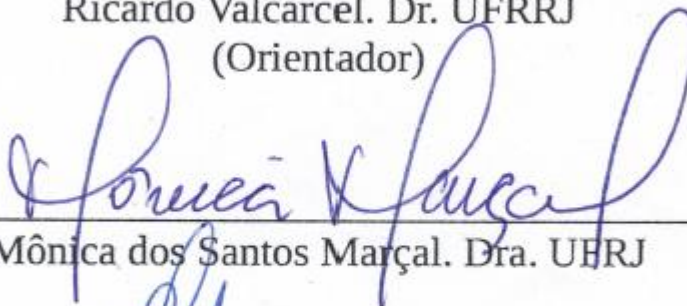
DOUGLAS LEITE FIGUEIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, no curso de pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2018



Ricardo Valcarcel. Dr. UFRRJ
(Orientador)



Mônica dos Santos Marçal. Dra. UFRJ



Érika Cortines. Dra. UFRRJ/ITR

Ao povo brasileiro, que através de seus impostos, financiou este estudo.

À família e aos amigos.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de execução da pesquisa e por possibilitar o encontro com pessoas que levam a educação e a pesquisa a sério.

Ao meu orientador, Ricardo Valcarcel, pelo tempo dedicado, pelo conhecimento transmitido e por mostrar a importância do trabalho sério e honesto para o desenvolvimento socioambiental do Brasil.

Ao Professor Dr. Marcos Gervasio Pereira, pela possibilidade de acesso ao LGCS, pelos esclarecimentos e pelo exemplo de dedicação à educação e a pesquisa.

À amiga e professora Helena Pinheiro, pela disponibilidade e pelas dicas para elaboração deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais – PPGCAF, por me abrir as portas para a pesquisa e a CAPES pela Bolsa de Pesquisa.

À minha família, aos meus amigos e à Deus.

RESUMO

FIGUEIRA, Douglas Leite. **Papel hidrológico das planícies de inundação no terço superior das bacias hidrográficas**. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

Bacias hidrográficas são áreas captam e conduzem as precipitações para um exutório principal. O seu modelado do terreno é resultado da interação entre componentes ativos (clima e seres vivos) e passivos (geologia). Os fluxos hidrológicos estão condicionados ao modelado do terreno e processos pedogenéticos tornam vertentes e planícies de inundações funcionalmente distintas. O objetivo deste trabalho foi levantar as habilidades hidrológica de retenção hídrica nas planícies de inundação em setores de alta pluviosidade da bacia do rio Paraíba do Sul (55.400 km²), vertente direita, onde se encontra o Rio Dois Rios/R2R (3.159 km²), região cujas as características ambientais são típicas de zonas abrigadas (sotavento) na Serra do Mar. A cabeceira (13,1%) tem precipitação variando entre 1.500 a 2.800 mm/ano e drenagem condicionada pelas fraturas geológicas. Foram encontradas 42 microbacias cujas vertentes escarpadas têm orientação predominante para NE – N – NO (44,3%), plano de curvatura predominantemente convexo (50,4%) e solos pouco espessos. As 1.056 planícies de inundação, principal setor que promove regulação hídrica, têm 498 com especial interesse para adequação de práticas de manejo conservacionista e regulação hídrica. A planície de inundação do Parque Natural Municipal Juarez Frotté (6.310,51 m²), perímetro (315,92 m), índice de circularidade (0,79) e altitude (1.043 m) é uma das classificadas entre as 498 prioritárias. Ela teve sua hidrologia caracterizada nos primeiros 0,45 m de profundidade do solo por meios dos parâmetros: condutividade hidráulica, textura, densidade do solo, densidade das partículas, porosidade e concentração de carbono orgânico. O solo Cambissolo Flúvico Tb Distrófico apresenta baixa potencial de infiltração e armazenamento de água. O setor (0 a 30 metros da calha) é mais úmido, com menor capacidade de infiltração e maior contribuição para calha. O setor mais afastado (a partir de 30 metros) é menos úmido, com maior capacidade de infiltração e armazenamento estratégico de água. Ambos os setores operam de forma complementar, interagindo nos períodos de seca e estiagens. Se observou que a presença de depósito de tálus a mais de um metro de profundidade, pode estar condicionando mais a dinâmica hídrica na superfície do solo, dificultando a formação de indicadores nítidos de setorização hidrológica.

Palavras chaves: Serviços ecossistêmicos; água, abastecimento, reserva hídrica; bacia Paraíba do Sul; Mata Atlântica.

ABSTRACT

FIGUEIRA, Douglas Leite. **Hydrological role of floodplains in the upper third of basins.** 103p. Dissertation (Master's Degree Environmental Sciences and Forests). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

Watersheds are areas where precipitation is collected and conducted to a main exudate. Its terrain modeling is the result of the interaction between active components (climate and living beings) and passive (geology). Hydrological flows are conditioned by the modeling of the terrain and pedogenetic processes make slopes and flood plains functionally distinct. The objective of this work was to raise the hydrological abilities of water retention in the flood plains in high rainfall areas of the Paraíba do Sul river basin (55,400 km²), right side, where the Rio Dois Rios / R2R (3.159 km²) a region whose environmental characteristics are typical of sheltered areas (leeward) in the Serra do Mar. The headland (13.1%) has precipitation ranging from 1,500 to 2,800 mm / year and drainage conditioned by geological fractures. There were 42 microbasins whose steep slopes have a predominant orientation for NE - N - NO (44.3%), a predominantly convex curvature plane (50.4%) and low soils. The 1,056 flood plains, the main sector that promotes water regulation, have 498 with special interest for the adequacy of conservation management practices and water regulation. The floodplain of the Juarez Frotté Municipal Natural Park (6,310.51 m²), perimeter (315.92 m), circularity index (0.79) and altitude (1,043 m) is one of the 498 priority areas. It had its hydrology characterized in the first in the first 0.45 m of soil depth by means of the parameters: hydraulic conductivity, texture, soil density, particle density, porosity and organic carbon concentration. The Tb Dystrophic Cambrian Fluvial Soil (Distrudept) has low potential for infiltration and water storage. The sector (0 to 30 meters of the gutter) is more humid, with less capacity of infiltration and greater contribution to gutter. The sector (0 to 30 meters of the gutter) is more humid, with less capacity of infiltration and greater contribution to gutter. The furthest sector (from 30 meters) is less humid, with greater capacity of infiltration and strategic storage of water. Both sectors operate in a complementary way, interacting during periods of drought and drought. It was observed that the presence of a talus deposit at a depth of more than one meter may be conditioning the water dynamics on the soil surface, making it difficult to form clear indicators of hydrological sectorization.

Keywords: Ecosystem services; water, water supply, water reserve; Paraíba do Sul basin; Atlantic forest.

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

- AGEVAP – Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
- ANA – Agência Nacional de Águas
- CEDAE – Companhia Estadual de Água e Esgoto do Rio de Janeiro
- CEIVAP – Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil
- DRM- Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro – Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro
- ENE – Leste - Nordeste
- ET EDGV v2.1.3 - Especificações Técnicas para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais na versão 2.1.3
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- MDE HC - Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
- NA – Nível d'água
- PLAMSAB – NF – Plano Municipal de Saneamento Básico de Nova Friburgo
- RH – Regiões Hidrográficas
- SCN - Sistema Cartográfico Nacional
- SEA – RJ Secretaria de Estado do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
- TWI – *Topographic Wetness Index* (Índice Topográfico de Umidade)

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1: Equação para obtenção do Índice de Circularidade	Erro! Indicador não definido.
Equação 2: Equação para obtenção da Condutividade Hidráulica.....	55
Equação 3: Equação para obtenção Valor C que será usado para determinação da Condutividade Hidráulica	55
Equação 4: Equação para obtenção da densidade do solo	56
Equação 5: Equação para obtenção da densidade das partículas	56
Equação 6: Equação para obtenção da porosidade do solo.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Unidades hipotéticas da vertente no modelo que contempla os processos geomorfológicos e pedogenéticos contemporâneos. Fonte: Dalrymple et al. (1968) modificado.....	5
Figura 2: Localização da bacia Rio Dois Rios, seus principais rios e posição em relação a bacia do Paraíba do Sul.....	9
Figura 3: Mapa da bacia R2R com separação das áreas através da isoietas de 1.500 mm/ano.....	10
Figura 4: Fluxograma dos procedimentos utilizados na obtenção Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDE-HC).....	19
Figura 5: Perfil longitudinal do Rio Negro (vermelho) e Grande (laranja) nos trechos superiores, médio e inferior da bacia Dois Rios, RJ.....	24
Figura 6: Setorização em terços superior, médio e inferior da Bacia Hidrográfica Dois Rios, RJ.....	25
Figura 7: Destaque para as planícies de inundação com precipitação acima de 1.500 mm (em amarelo) e planícies com precipitação menor que 1.500 mm (em vermelho), na cabeceira do rio Dois Rios, RJ.....	28
Figura 8: Mapa da distribuição da precipitação na Bacia R2R com destaque para a região com mais de 1.500 mm/ano e estratificação entre 1.500 mm/ano até 2.800 mm/ano.....	28
Figura 9: Espacialização do grupo de planícies de inundação selecionado através de parâmetros geoespaciais como os de melhores atributos hidrológicos para manejo conservacionista pelo potencial de oferta de serviços ecossistêmicos de retenção hídrica.	40
Figura 10: Mapa da bacia do Rio Cascatinha, com destaque para a planície de inundação selecionada (amarelo) para análise.	48
Figura 11: Controle Estrutural a montante da planície de inundação no rio Cascatinha, onde se inicia hidrológicamente a planície	49
Figura 12: Rio Cascatinha encaixado em leito rochoso	49
Figura 13: Pontos de abertura de trincheiras para classificação do solo em planície de inundação (em vermelho), sendo o ponto 1 o mais próximo da calha do rio, o ponto 2 em distância intermediária e o ponto 3 o ponto mais afastado.....	50
Figuras 14: a) Localização do ponto 1 (mais próximo a calha) e b) trincheira de perfil do solo do ponto 1	51
Figuras 15: a) Localização do ponto 2 (intermediário) e b) trincheira de perfil do solo	51
Figura 16: a) Localização do ponto 3 (mais afastado) e b) trincheira do perfil de solo.....	52
Figura 17: Esquema da planície de inundação, com pontos de coleta de solo (vermelho), via de acesso (marrom), árvores (bordas verdes) e áreas não possíveis de coleta (cinza)	53
Figura 18: Esquema da topografia da Planície de Inundação segundo corte AA'	53
Figura 19: Bulbo de saturação formado em volta do orifício feito no solo para medição da condutividade hidráulica do solo saturado com permeametro tipo Guelph. Fonte: Aguiar	

(2001). Onde S= Bulbo de saturação de água no solo pós início da introdução da água pelo permeâmetro	55
Figura 20: Medição da condutividade hidráulica do solo com permeâmetro de Guelph.....	55
Figura 21: Análise Multivariada dos Componentes Principais das variáveis do solo, em profundidade de 0,00 a 0,15 metros.	62
Figura 22: Análise Multivariada dos Componentes Principais das variáveis do solo, em profundidade de 0,15 a 0,30 metros.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Uso e Cobertura do Solo da Bacia Dois Rios, RJ (2017).....	11
Tabela 2: Abastecimento municipal na bacia Dois Rios (R2R).....	12
Tabela 3: Qualidade da água no triênio 2014 – 2015 - 2016.....	13
Tabela 4: Análise morfométrica de área, perímetro e índice de circularidade das microbacias localizadas em área com pluviosidade acima de 1.500 mm/ano	27
Tabela 5: Análise morfométrica da orientação das vertentes das microbacias localizadas em área com pluviosidade superior a 1.500 mm/ano (continua).....	29
Tabela 6: Análise morfométrica do plano de Curvatura das vertentes das microbacias localizadas em área com pluviosidade maior que 1.500 mm/ano	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Planícies de Inundação da Bacia Rio Dois Rios	26
Quadro 2: Planícies de inundação da bacia Dois Rios a partir da setorização por precipitação.....	26
Quadro 3: Estatística Descritiva da morfometria das planícies de inundação	31
Quadro 4: Uso e Cobertura do Solo das planícies de inundação	31
Quadro 5: Grupos de Planície de Inundação.....	33
Quadro 6: Parâmetros de ajuste A e B, para o cálculo do fator C. Fonte: Elrick <i>et al.</i> (1989)	56
Quadro 7: Comparação de média das variáveis por afastamento da calha e profundidade	59
Quadro 8: Matriz de Correlação das variáveis em profundidade de 0,00 a 0,15 metros	61
Quadro 9: Matriz de Correlação das variáveis em profundidade de 0,15 a 0,30 metros	63

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
BACIA DOIS RIOS	7
CAPÍTULO 1 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE RETENÇÃO HÍDRICA	14
1 INTRODUÇÃO	17
2 MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1 Base Cartográfica	18
2.2 Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente	19
2.3 Classificação dos trechos da bacia	19
2.4 Delimitação das planícies de inundação	19
2.5 Estratificação da precipitação	20
2.6 Atributos geospaciais atribuídos aos serviços ecossistêmicos	20
2.7 Análise morfométrica das microbacias	20
2.8 Identificação das bacias de contribuição com melhores atributos hidrológicos	22
2.9 Morfometria das planícies de inundação das bacias selecionadas	22
2.10 Uso e Cobertura do Solo nas planícies de inundação	22
2.11 Altitude das planícies de inundação	22
2.12 Agrupamento das planícies de inundação	23
3 RESULTADOS	23
3.1 Classificação dos trechos da bacia	23
3.2 Delimitação das planícies de inundação	23
3.3 Características Morfométricas das planícies de inundação	26
3.4 Planícies e precipitação anual	26
3.5 Análise morfométrica das microbacias	27
3.6 Vertentes das bacias com precipitação anual elevada	29
3.7 Análise morfométrica das planícies de inundação	31
3.7 Uso e Cobertura do Solo	31
3.8 Altitude	32
3.9 Agrupamento das microbacias	32
3.10 Agrupamento e caracterização das planícies de inundação	33
4 DISCUSSÃO	34
5 CONCLUSÃO	41
CAPÍTULO 2: SETORIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	42
1 INTRODUÇÃO	45
2 MATERIAIS E MÉTODOS	47
2.1 Área de Estudo	47
2.2 Classificação dos solos	50
2.3 Delimitação experimental	52
2.3.1 Índice Topográfico de Umidade	54
2.3.2 Condutividade Hidráulica	54
2.3.3 Textura do solo	56
2.3.4 Densidade do solo	56
2.3.5 Densidade das partículas	56
2.3.6 Porosidade do solo	56
2.3.7 Teor de Carbono Orgânico do Solo	57
2.4 Análise Estatística	57
3 RESULTADOS	57
4 DISCUSSÃO	64
5 CONCLUSÃO	69

CONCLUSÃO FINAL	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS	72
ANEXOS	80
Anexo 1 – Perfil do Solo – PS1	81
Anexo 2 – Perfil do Solo – PS2	83
Anexo 3 - Perfil do Solo – PS3	85
Anexo 4 - Estatística Descritiva do Índice Topográfico de Umidade	87
Anexo 5 - Análise da Condutividade Hidráulica por afastamento do rio	88
Anexo 6 – Análise granulométrica por afastamento do rio	91
Anexo 7 - Densidade do solo, partículas e porosidade total	94
Anexo 8 - Análise de concentração de carbono orgânico por afastamento do rio	97
Anexo 9 - Estatísticas Descritivas	100

INTRODUÇÃO GERAL

O provimento de água em estiagens nas bacias hidrográficas advém dos serviços ecossistêmicos prestados pelos seus setores, sendo este entendê-los e quantificá-los constituem um dos principais desafios acadêmicos da engenharia moderna, pois se eles não são identificados e espacializados não podem ser reconhecidos e muito menos manejados, em benefício do próprio homem.

Estes desafios se revestem de especial relevância quando os adventos climáticos extremos ocorrem pelos efeitos das mudanças climáticas, afetando as atividades econômicas e abastecimento humano (UNESCO, 2009).

No Brasil a dinâmica da água é a principal responsável pelos desastres naturais – enchentes, inundações, movimentos de massa, estiagens, secas e vendavais (TOMINAGA *et al.*, 2009) – o que faz o país figurar entre os dez com maior número de mortes (1,8 milhões de pessoas foram afetadas em 2008) (OFDA/CRED, 2009).

O crescimento desordenado das cidades, sem considerar os aspectos geológicos, geomorfológicos e ambientais está intimamente relacionado com o aumento dos casos de desastres naturais. Modificações no terreno, desmatamentos, terraplanagens, aterros, alterações nas drenagens e construção de moradia sem infraestrutura adequada são exemplos de ações potencializadoras dos desastres naturais (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Para fins de mitigação dos desastres, o interesse por práticas de manejo consonantes com as características naturais intrínsecas a cada bacia hidrográfica, se torna foco de atenção crescente, uma vez que os processos naturais ocorrentes nas bacias hidrográficas geram benefícios ambientais – serviços ecossistêmicos (ANDRADE, 2009), que garantem provimento e regulação de água (LIMA, 2008).

Serviços ecossistêmicos são processos naturais que geram benefícios ambientais permitindo a sobrevivência dos ecossistemas, nos quais os seres humanos são parte integral e indissociável” (ANDRADE, 2009) e são diretamente favorecidos (FISHER *et al.*, 2009).

As bacias hidrográficas constituem unidades hidrológicas consideradas como unidades de planejamento ambiental, elas captam e gerenciam a água precipitada no território e são compostas por vertentes e imbricadas redes de drenagens, que conduzem os recursos hídricos até seu exutório, por onde todos os excedentes hídricos do somatório de fluxos dos sub-sistemas confluem em volumes e tempos distintos para a calha principal (NOVO, 2008), formando o escoamento direto.

Florestas tropicais montanas de nevoeiros se caracterizam pela persistente cobertura de nuvens ou nevoeiros na vegetação, que garante permanente umidade nestes ecossistemas. Estas florestas são ecossistemas tropicais que ocorrem entre 800 e 3.500 metros, nas montanhas dos continentes da África, América, Ásia e na Oceania equatorial e apresenta balanço hídrico positivo em suas partes altas com implicações para as partes baixas (MEIR *et al.*, 2015).

As cabeceiras de bacia hidrográfica que têm florestas tropicais montanas colaboram no abastecimento estável de água das comunidades pela condensação dos nevoeiros, contribuindo não só em qualidade de água, como em quantidade para irrigação, geração de energia elétrica (BRUIJNZEEL *et al.*, 2011).

Martínez *et al.* (2009) afirmam que os serviços ecossistêmicos de provimento de água oriundos das áreas de cabeceira não se restringem a sua qualidade, como também a sua quantidade e ao potencial de controle de erosão e diminuição de descarga de sedimento nas calhas dos rios. Os autores compararam os diferentes usos do solo destas regiões no México e concluíram que o valor econômico da conservação das florestas destas áreas (728 USD/ha/ano) é maior que o valor do uso destas áreas para agricultura (384 USD/ha/ano).

Com o objetivo de descrever o papel hidrológico de planícies de inundação de cabeceira das bacias hidrográficas, este trabalho foi dividido em dois capítulos que tem os seguintes objetivos: (i) Caracterizar e agrupar as planícies de inundação da cabeceira da bacia Dois Rios, RJ, em função do seu potencial de manejo (Capítulo I) e, (ii) Identificar setores hidrológicos de planície de inundação, com alto potencial de manejo hidrológico, a partir dos atributos físicos do solo (Capítulo II).

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A bacia hidrográfica é um sistema geomorfológico aberto que recebe, administra e perde energia, qualquer distúrbio que aconteça na bacia hidrográfica ocorrerá uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico (LEOPOLD *et al.*, 1964; GREGORY & WALLING, 1985).

Moldan e Cerny (1994) caracterizam a microbacia como a menor unidade espacial capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, vegetação cultivada, solos, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem circundante. Mosca (2003) acrescenta a concepção da resposta das microbacias a qualquer alteração natural ou antrópica e seus impactos em toda unidade hidrológica, o que evidencia a sensibilidade hidrológica das microbacias e as torna unidades

básicas de planejamento para a compatibilização da preservação dos recursos naturais e produção agropecuária (ATTANASIO, 2004).

Em contrapartida Santana (2003) explicita que, embora seja difundido em nível nacional, o conceito de microbacia é uma denominação empírica, e sugere a modificação do termo para sub-bacia, uma vez que estão relacionados a ordens hierárquicas dentro de uma determinada malha hídrica.

Do ponto de vista da hidrologia a classificação de bacias hidrográficas considera os efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio, o que indica que as microbacias têm como características distintas uma grande sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade (curta duração), como também ao uso do solo (cobertura vegetal), fatores que altera a qualidade e quantidade de água do deflúvio (TEODORO *et al.*, 2007).

Planícies de inundação correspondem a superfícies pouco elevadas acima do nível médio do rio, sendo frequentemente inundada por ocasião de cheias. É unidade geomorfológica de acumulação, cuja largura é proporcional à descarga (MARÇAL, 2013).

As planícies de inundação são o produto do equilíbrio entre o poder de fluxo hidrológico do canal (arraste e transporte dos sedimentos) e a resistência do limite do canal à erosão (NANSON e CROKE, 1992).

A forma dos canais fluviais e das planícies de inundação é influenciada por oito variáveis: (i) largura, (ii) profundidade, (iii) velocidade, (iv) declividade, (v) carga sedimentar, (vi) tamanho dos sedimentos, (vii) rugosidade hidráulica e (viii) descarga (ROCHA, 2013). Neste sentido, o mesmo autor expõe três relacionamentos hidráulicos são importantes nas mudanças que ocorrem ao longo do rio: (a) continuamente, a descarga será o produto da área da seção pela velocidade; (b) a velocidade é função da profundidade, declividade e rugosidade do canal; (c) o transporte de sedimentos é uma função da energia do rio.

O perfil longitudinal de um rio expressa o seu gradiente e reflete o ajuste do rio a diversos fatores: volume e carga da corrente, tamanho e peso dos sedimentos transportados, declividade, geologia do terreno, regime de chuvas, entre outros (SELBY, 1985). Isso reflete na tendência de o tamanho das planícies de inundação ser menor conforme a maior declividade observada no perfil longitudinal do rio (HEWLETT, 1969).

A formação das planícies de inundação em cabeceiras acontece em vales estreitos, onde ocorrem processos erosivos acentuados com transporte de sedimentos grosseiros, produto do alto gradiente hidráulico do terreno e de seu poder de cisalhamento devido a intensidade da energia do rio na sua respectiva calha (NAIM e CROKE, 1992). A energia do rio combinada

com a relação entre o tamanho dos sedimentos e rugosidade do canal faz com que a concentração de sedimentos seja uma função da velocidade, profundidade, declividade e rugosidade do canal (LEOPOLD *et al.*, 1964; CHRISTOFOLETTI, 1981). Neste estilo de planície a duração da inundação é muito pequena, assim como a periodicidade da inundação é irregular (ROCHA, 2013).

Os sedimentos grosseiros são estabilizados por controles litológicos e estruturais que diminuem a declividade do terreno a montante (GARBOSSA, 2003) e posteriormente cobertos por depósito aluvial de menor granulometria a partir de acréscimo lateral e vertical, formando assim bancos de deposição onde os solos serão formados.

A dinâmica hidrológica está relacionada com características geológicas, geomorfológicas e biogeográficas da paisagem (VIDAL-TORRADO, 2005). O autor destaca que os tipos de solos dependem das interações dos processos hidrológicos nas vertentes.

A pedogênese está relacionada com os fluxos hidrológicos das vertentes (DALRYMPLE *et al.*, 1968) e suas subdivisões (Figura 1) nas zonas hidrogenéticas influenciadas pelos processos geomorfológicos contemporâneos, que levam em consideração as nove unidades hipotéticas de paisagem e seus aspectos geológicos e geomorfológicos, que determinam inclinações do terreno na vertente, intimamente relacionadas com a velocidade, intensidade e direção dos fluxos superficiais e sub superficiais da água.

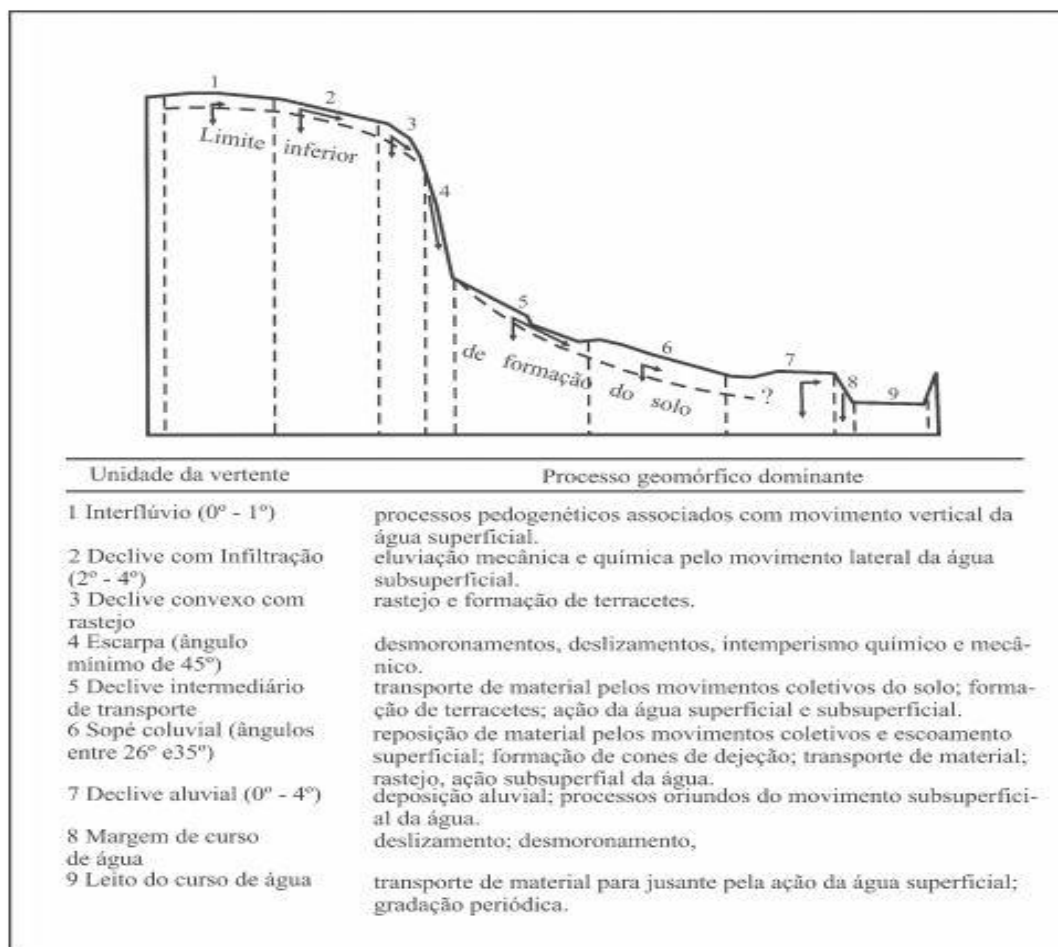


Figura 1: Unidades hipotéticas da vertente no modelo que contempla os processos geomorfológicos e pedogenéticos contemporâneos. Fonte: Dalrymple *et al.* (1968) modificado.

As zonas hidrogenéticas consideradas como estratégia para estratificar terrenos para fins de gestão, foram divididas por Valcarcel (1987), para espacializar os processos geomorfológicos contemporâneos nas vertentes e suas interações hídricas nas bacias hidrográficas, dividindo as vertentes em: *i)* Zonas de Captação da água atmosférica; *ii)* Zonas de Transmissão da área de captação para jusante; e *iii)* Zonas de Afloramento de água na bacia de drenagem onde interagem as forças de retenção hídrica das bacias.

Bueno (2017) correlaciona as nove unidades hipotéticas de uma vertente de Dalrymple (1968) com as zonas hidrogenéticas de Valcarcel (1987) para fins práticos de análises da dinâmica hidrológica de uma vertente. Nesta correlação pode-se perceber que as zonas hidrogenéticas são divididas em:

- (i) Zona de captação: relacionada ao divisor de água com inclinação de 0° a 1° , declive com infiltração e inclinação de 2° a 4° e o declive convexo com rastejo de inclinação variável;

- (ii) Zona de transmissão: relacionada às escarpas com no mínimo 45° de inclinação, que normalmente é maior que 65°, declive intermediário com inclinação variável e o sopé coluvial com inclinação de 26° a 35°;
- (iii) Zona de afloramento: declive aluvial de 0° a 4° de inclinação, margem do canal e leito do canal, ambas com inclinações variáveis.

Vidal-Torrado (2005) acrescenta que além das unidades de vertentes propostas por Dalrymple (1968) a curvatura do terreno também determina os tipos e as intensidades dos fluxos superficiais e subsuperficiais que ocorrem nos solos, o que, segundo Hugget (1975) permite o estabelecimento de modelos ideais de fluxos de água em conformidade com as feições das vertentes e obtêm-se diferenciações espaciais de vários atributos do solo, que condicionam os fluxos hidrológicos.

Marçal e Lima (2016) sintetizam as interações de processos geomorfológicos e hidrológicos a partir de quatro dimensões fluviais: (i) A dimensão longitudinal, que compreende as relações montante-jusante e tributário-tronco (*continuum* fluvial); (ii) a dimensão lateral, que contém relações encosta-canal e canal-planície; (iii) a dimensão vertical, que inclui níveis de inundação e interações superfície-subsuperfície (corredores hiporrêicos); e (iv) a dimensão temporal que compreende magnitude, frequência e sincronismo do movimento da água e sedimentos, regimes de perturbação e padrões decorrentes de perturbações.

Primeiros pontos de saturação do solo após precipitação (HEWLETT, 1961; HEWLETT e HIBBERT, 1967), as planícies de inundação são principais responsáveis pelo fluxo básico em momento de estiagem e o fluxo rápido da precipitação, o que confere a estas unidades geomorfológicas a atribuição de regulação hídrica.

No terço superior, o padrão de drenagem tende a ser único e retilíneo, com pequena contribuição hídrica de montante (VANNOTE, 1980) pela pouca área de contribuição e pela alta declividade da posição em que se encontra, o que gera rápido fluxo de direção montante-jusante e resulta em pequena conexão lateral entre o canal e a planície de inundação (WARD e STANDFORD, 1995). Como consequência as planícies tendem a ser pouco desenvolvidas com composição sedimentar que favorece o escoamento sub superficial.

Neste estilo de planície de inundação a água subterrânea (oriunda do armazenamento profundo) aflora dos aquíferos de grandes altitudes através das paredes dos vales em afloramentos rochosos ou paredes de *canyons* (*knickpoints*) (WARD e STANDFORD, 1995).

Segundo Lima (2008) o deflúvio de um sistema fluvial é caracterizado por quatro componentes: i) a precipitação direta nos canais, que pode corresponder de 0,1% a 0,8% da chuva precipitada; ii) escoamento superficial (fluxo rápido), que é a fração que não infiltra no

solo e escoar de forma laminar até o canal mais próximo; *iii*) escoamento sub superficial, correspondente à água que infiltra no solo e escoar lateralmente através dos horizontes superficiais do solo seguindo a declividade e *iv*) escoamento de base (fluxo lento), ocorre a partir da zona de saturação (água subterrânea) e depois que todo o escoamento direto já tenha deixado sendo o único componente do deflúvio que em regiões montanhosas pode ser originado do movimento lento da zona de aeração, isto é, pela movimentação da água do solo.

No estudo em bacia de cabeceira, Oswald *et al.* (2011) observaram que, para a maioria dos eventos pluviométricos, menos de 20% dos insumos de precipitação foram traduzidos em fluxo rápido e destacam que, para a maioria dos eventos, menos de 20% da área de captação contribui para o fluxo básico, concluindo que as áreas de inclinação média e de depressões são as maiores responsáveis pelo armazenamento de água na bacia.

De Martino *et al.* (2012) validaram, através de análise experimental, a hipótese de armazenamento uniforme de água em planície de inundação, e ressaltam a influência da existência de vegetação e irregularidades no terreno.

A capacidade de armazenamento de água de planícies de inundação em vales de “bacias retardadoras” a montante reduz a descarga hídrica de rios de cabeceira, o potencial de inundação e garante maior retenção da água. Isso nos permite inferir que medidas descentralizadas de manejo de bacias hidrográficas ao longo dos rios podem ser elementos eficientes para estratégias contra inundações e retenção de água (REINHARDT *et al.*, 2011).

Na Polônia, Grygoruk (2013) afirmou que a capacidade de reserva hídrica das planícies de inundação é mais rentável economicamente que obras da engenharia para mesmo fim.

Neste sentido, o conhecimento das características naturais intrínsecas de cada bacia hidrográfica e das planícies de inundação que as compõe se faz necessário para que se possa inferir sobre a capacidade de reserva de água e suas consequências na bacia.

BACIA DOIS RIOS

A bacia hidrográfica do rio Dois Rios (R2R) (3.159 km²) (Figura 2), situa-se no Estado do Rio de Janeiro (7,2% da área), em 5,7% do rio Paraíba do Sul (55.400 km²), no trecho da vertente direita (22,3% da área). Ele recebe influências ambientais típicas de regiões a sotavento da serra do Mar (Figura 2). Sua orientação tem direção predominante no sentido ENE, acompanha as estruturas do Escudo Atlântico e suas cristas das escarpas são intensamente festonadas, com estruturas menores e falhas, além de obedecer a influência de corpos rochosos resistentes à erosão. A direção do traçado das redes de drenagem é influenciada por rochas das

falhas reativadas na separação mesozoica e consequente subdivisão do supercontinente Gondwana (TUPINAMBA *et al.*, 2007).

Os principais tributários do rio Dois Rios são: rio Grande e Negro apresentam variação altimétrica entre 12 e 2.360 metros, e têm cabeceiras que apresentam altas declividades, relevo dissecado, solo raso com grande área de afloramentos rochosos (AGEVAP, 2015).

A posição geográfica da bacia condiciona seu balanço hídrico, já que a barreira orográfica induz a descarga dos ventos úmidos na vertente de Cachoeiras de Macacu, RJ e confina a passagem dos ventos menos úmidos ao se deslocar lateralmente na vertente a sotavento. Esta condição realça a oferta de chuvas situadas a barlavento das encostas, quando comparado com a situação atmosférica da região do Vale do Paraíba (ANDRÉ *et al.*, 2008).

Ao ultrapassar a barreira orográfica, os vales encaixados e a rugosidade do relevo escarpado do maciço rochoso da Serra do Mar ocasionam passagem turbulenta da massa de ar úmida para sotavento, direcionada para as pequenas zonas de estrangulamento, que têm linhas de cumeada de menores altitudes se comparados com o seu redor, conceituadas por gargantas do interflúvio (BARBOZA, 2007). O ar úmido direcionado pelas gargantas é interceptado horizontalmente pelas encostas íngremes subsequentes à grande barreira orográfica da Serra do Mar.

Dantas *et al.* (2005) afirmam que enquanto nas escarpas serranas da bacia ocorre o padrão de acúmulo de umidade, com média pluviométrica anual de 2.700 mm decorrente da orografia, no planalto reverso da Serra do Mar a umidade tende a ser bastante inferior, média de 1.100 mm anuais (Figura 3) (CPRM, 2001).

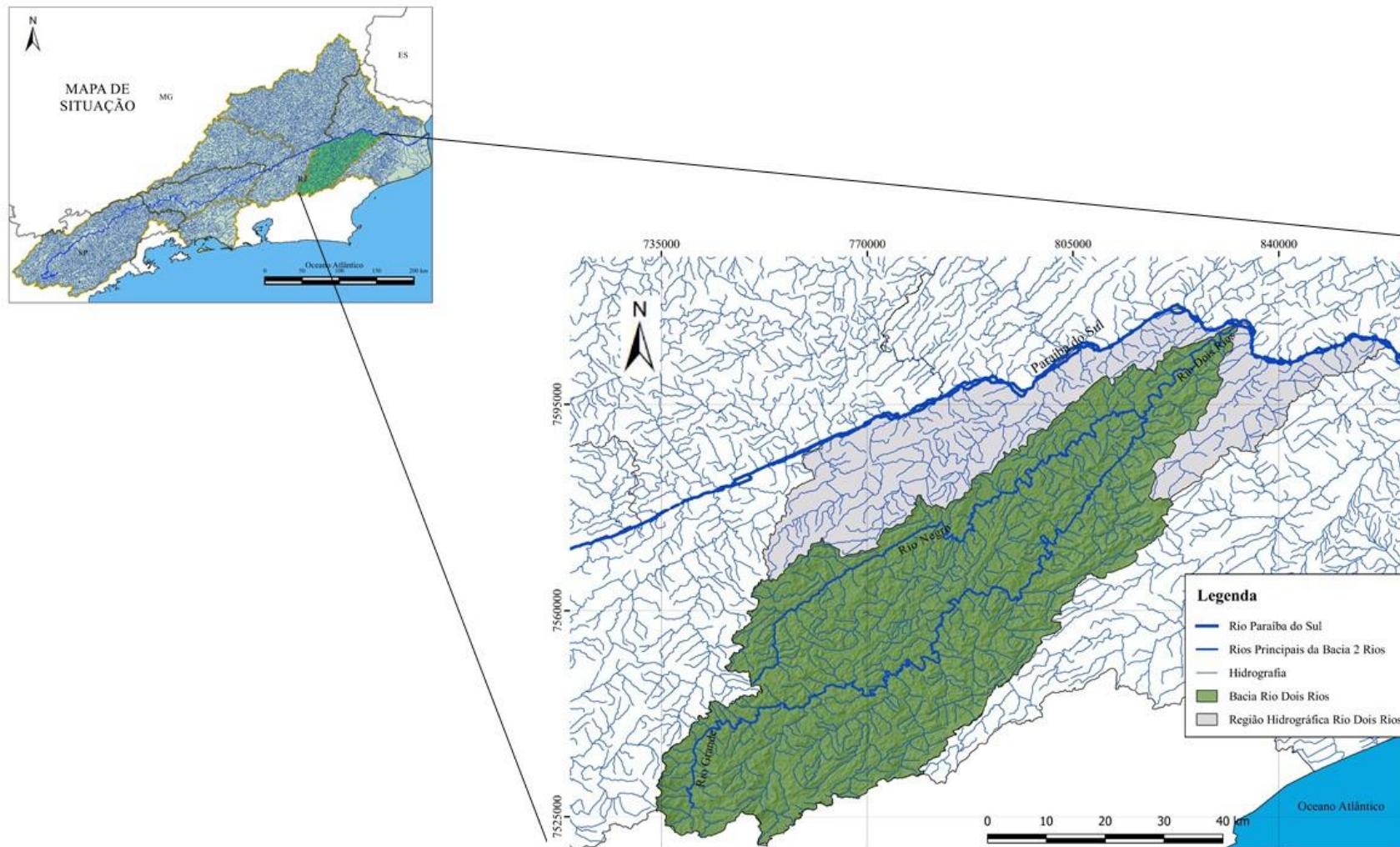


Figura 2: Localização da bacia Rio Dois Rios, seus principais rios e posição em relação a bacia do Paraíba do Sul

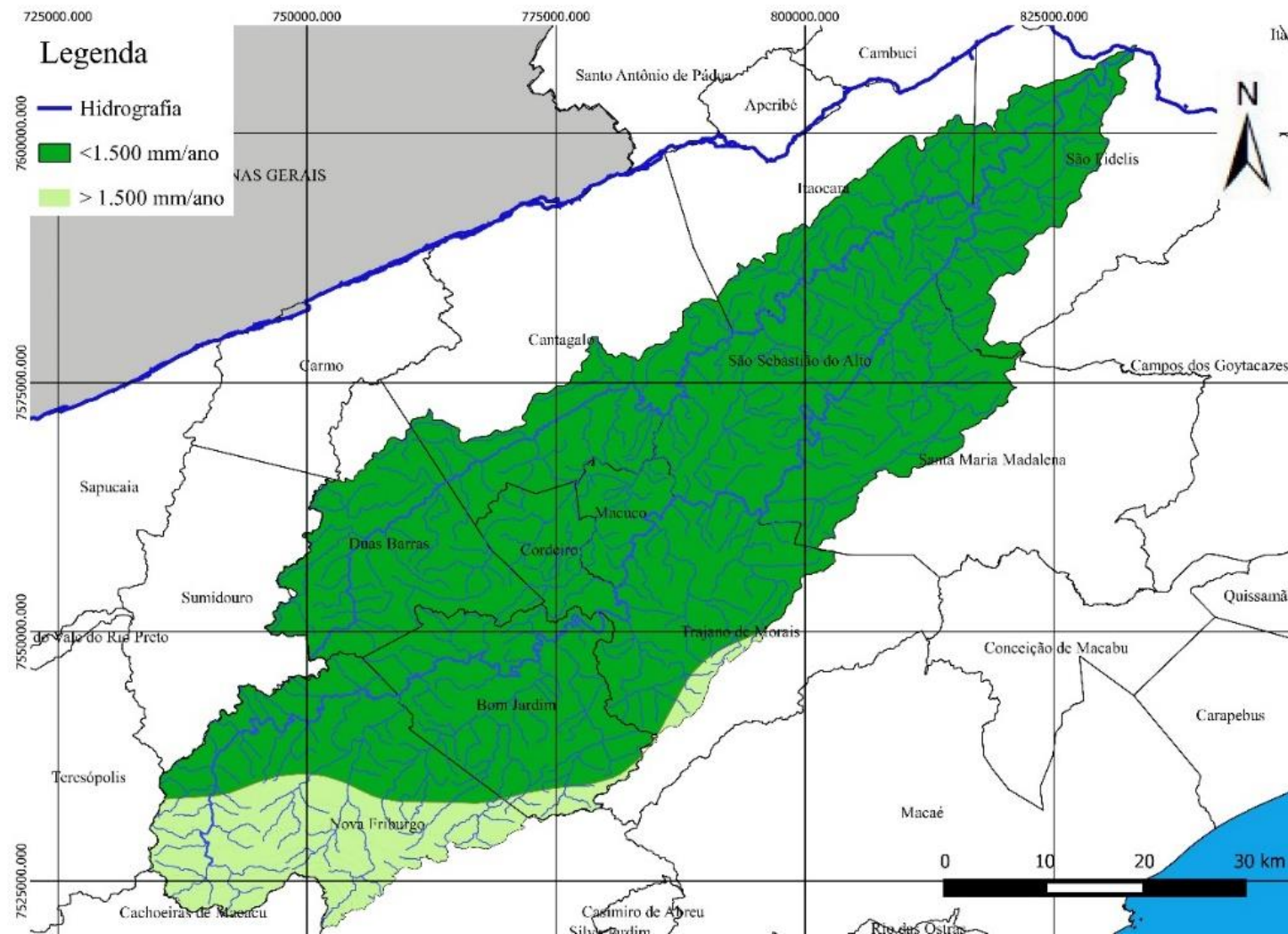


Figura 3: Mapa da bacia R2R com separação das áreas através da isoietta de 1.500 mm/ano.

O clima tropical de altitude (Cf) e subtropical (Cw), segundo Köppen, apresenta precipitação média anual (1.500 mm) e temperatura média anual de 17,8°C (média no inverno de 9° C; média no verão de 28°C), apresenta duas estações bem definidas, com verões quentes e chuvosos – outubro a março - e invernos frios e secos – abril a setembro (CARDOSO *et al.*, 2006), configuram uma situação de vulnerabilidade crítica ao meio físico (AGEVAP, 2015), pois apresenta abundância de água (enchentes frequentes) e falta de água no inverno (desabastecimento), notadamente para as regiões de maior altitude, que menos área de captação dispõe.

A vegetação da bacia é originalmente composta por Floresta Ombrófila Densa Montana e Submontana e Floresta Estacional Semidecidual do bioma Mata Atlântica, com grande percentual de alteração da vegetação original de acordo com o IBGE (2016). A vegetação cobre cerca de 32,2 % da área e a bacia apresenta predominância de ocupação de campos (agricultura e pastagem), com cerca de 55 % da área e as edificações (área urbana), representam 1,4 % da área da bacia (Tabela 1).

Tabela 1: Uso e Cobertura do Solo da Bacia Dois Rios, RJ (2017)

Uso e Cobertura do Solo	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Campo (agricultura e pastagem)	1.741	55,1
Floresta	1.017,4	32,2
Edificações (área urbana)	45,9	1,4
Trecho de rio	8,9	0,3
Afloramento Rochoso	48,6	1,5
Terreno Desnudo	1,7	0,06
Vegetação Plantada	104,4	3,3
Vegetação em regeneração	190,2	6
Outros*	0,5	0,02
Área Total	3.159	100

* Massas d'água, brejos e alterações fisiográficas do terreno (Corte de terreno) Fonte: IBGE, INEA-SEA

Como a região da cabeceira se encontra cultivada, sendo a irrigação um fator diferencial de competição no setor horti-fruti-granjeiros, o uso consuntivo de água remonta a 75% da vazão, restando pequeno volume para os demais segmentos da sociedade, isto sem considerar aspectos de qualidade vinculados ao uso de defensivos agrícolas.

A bacia irriga 11 municípios - Nova Friburgo, Cantagalo, Cordeiro, Duas Barras, Macuco, Bom Jardim, São Sebastião do Alto, Santa Maria Madalena e Trajano de Morais, Itaocara e São Fidelis, oferecendo condições ambientais para abrigar 345.311 habitantes (AGEVAP, 2015).

Os municípios são abastecidos por 29 represas dentro da bacia (tabela 2). 4 deles (Bom Jardim, Duas Barras, Nova Friburgo e Santa Maria Madalena) apresentam demanda reprimida de água para abastecimento com investimento previsto de R\$ 23 milhões. Apenas 4 municípios são atendidos em sua totalidade pelos sistemas autóctone de abastecimento de água (água captada no seu interior) (Bom Jardim, Cordeiro, Macuco e Nova Friburgo), sendo o restante abastecido pela integridade da bacia (ANA, 2017).

Tabela 2: Abastecimento municipal na bacia Dois Rios (R2R)

Município	Mananciais n°	Prestadora do Serviço	Demanda Urbana (2015) l/s	Situação (2015)	Participação no abastecimento do município
Bom Jardim	2	CEDAE	46	Requer Ampliação	100%
Cantagalo	1	CEDAE	33	Satisfatório	75%
Cordeiro	2	CEDAE	48	Satisfatório	100%
Duas Barras	2	CEDAE	20	Requer ampliação	56%
Itaocara	1	CEDAE	42	Satisfatório	75%
Macuco	1	CEDAE	10	Satisfatório	100%
Nova Friburgo	14	Águas de Nova Friburgo	485	Requer Ampliação	100%
São Fidelis	1	CEDAE	79	Satisfatório	91%
Santa Maria Madalena	2	CEDAE	15 l/s	Requer Ampliação	81%
São Sebastião do Alto	2	CEDAE	12 l/s	Satisfatório	47%
Trajano de Moraes	1	CEDAE	25 l/s	Satisfatório	49%

Fontes: Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) e Plano Municipal de Saneamento Básico de Nova Friburgo (PLAMSAB – NF 2015)

A demanda hídrica total dos recursos hídricos da bacia R2R é dividida em: (i) 33,7% para abastecimento humano; (ii) 39% para a indústria; (iii) 0,01% para mineração; (iv) 14,6% para a agricultura; (v) 12,4% para criação animal, o que demonstra que o abastecimento humano e a indústria somam 75,3% da demanda total, e geram um Produto Interno Bruto anual de cerca de seis bilhões e quinhentos nas arrecadações da indústria, serviços e administração pública (FUNDAÇÃO CEPERJ, 2017). Esta informação contrasta com a da ANA e de outras bacias, que apontam para o dado médio de gasto com irrigação constituir aproximadamente 75% do volume total.

A qualidade da água nos rios Bengalas, Grande/Nova Friburgo e Dois Rios/ São Fidelis, evidenciam tendência de piora da qualidade, durante os últimos três anos, concentrando-se nas classificações média e ruim (Tabela 3).

Tabela 3: Qualidade da água no triênio 2014 – 2015 - 2016

Classificação	Anos		
	2014	2015	2016
Excelente	0,00%	0,00%	0,00%
Boa	36,36%	12,50%	0,00%
Média	36,36%	50,00%	75,00%
Ruim	27,27%	35,50%	25,00%
Muito Ruim	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Instituto de Ambiente do estado do Rio de Janeiro (INEA/RJ, 2016)

No ano de 2014 do total de 357.987 habitantes da bacia, 271.126 foi atendida pelo abastecimento de água (cerca de 75,7%), o consumo per capita de 183,86 l/hab.dia, 212.756 habitantes são atendidos com esgotamento sanitário (cerca de 59,43%) e o índice de esgoto tratado referido à água consumida foi de 34,27% (SNIS, 2016).

De acordo com a Defesa Civil do estado do Rio de Janeiro os principais eventos críticos ocorrentes na bacia são: deslizamentos, enchentes, enxurradas, estiagens, incêndios florestais, quedas, tombamentos ou rolamentos de rochas, alagamentos vendavais, tempestades, erosão fluvial, sendo que a vulnerabilidade ao alagamento é mais destacada na cabeceira do Rio Grande (AGEVAP, 2006).

Segundo a Agência Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul/AGEVAP, a estiagem registrada a partir de 2014 foi considerada a maior registrada na história na bacia hidrográfica do Paraíba do Sul durante 84 anos, o que estabeleceu a necessidade urgente de diminuição das vazões defluentes dos reservatórios de água para aumentar a reserva hídrica da bacia para o período de estiagem. No caso da bacia do Rio Dois Rios os municípios de São Fidelis e São João da Barra foram identificados com necessidade de obras emergenciais nas suas captações (AGEVAP, 2015).

CAPÍTULO 1 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE RETENÇÃO HÍDRICA

RESUMO

A bacia do rio Dois Rios (R2R) (3.159 km²), afluenta na margem direita (14.165km²) do Paraíba do Sul (55.400 km²) recolhe os efeitos climáticos e ambientais de regiões abrigadas situadas a sotavento da serra do Mar. Ela tem balanço hídrico predominantemente com déficit, havendo poucos locais úmidos, sendo as bacias aéreas determinante na formação da arquitetura destes locais, que precisam ser estudados para fins de aprimoramento do manejo conservacionista. A identificação dos locais com maior precipitação e dentre eles, os que têm maior habilidade para constituir reserva hídrica, constitui a melhor opção para perenização de mananciais. As planícies de inundação armazenam, controlam água e mitigam processos erosivos, além de proverem habitat a biota regional, formando corredores ecológicos. Este estudo objetivou identificar, espacializar, caracterizar e agrupar planícies de inundação com habilidades similares em produzir serviços ecossistêmicos relacionados perenização de recursos hídricos na bacia R2R. Foram estudados 42 bacias contribuintes com precipitação superior a 1.500 mm/ano, onde os seus dados morfométricos de área, plano de curvatura côncavo médio (40,4%), orientação média (34,4% para barlavento) e índice de circularidade médio (0,5) foram agrupados para avaliar as habilidades do meio físico em conferir diferencial de produção hídrica. Nesta área foram trabalhadas 1.056 planícies de inundação, agrupadas em função do seu potencial de regularização hídrica em quatro grupos distintos, sendo o Grupo IV (com maior habilidade de regularização hídrica). Ele reúne 498 planícies, com dados médios de altimetria (1.112 m), área (4.440 m), índice de circularidade (0,60) e uso atual (1,9%). Este grupo tem alto potencial de regulação hídrica caso se opere agricolamente de forma correta suas planícies de inundação, respeitando cada um dos seus setores intervenientes na formação dos fluxos que abastecem a calha das suas drenagens principais ao longo dos períodos de chuva e estiagens anuais. Esta estratégia implicaria em formar condicionantes e adequações de uso naturalizantes em 0,0006% da bacia, trazendo relevantes benefícios para toda a bacia, mesmo fora da área do estudo, como nos trechos situados próximo ao seu exutorio, pois estes efeitos se propagam por toda a bacia.

Palavras chaves: Abastecimento hídrico; análise morfométrica; planejamento; regulação hídrica; Serra do Mar

ABSTRACT

The Dois Rios River Basin (R2R) (3,159 km²), a tributary on the right bank (14,165km²) of Paraíba do Sul (55,400 km²) collects the climatic and environmental effects of sheltered regions located in the lee of the Serra do Mar. It has a predominantly deficit water balance, with few humid sites, and the aerial basins are a determining factor in the architecture of these sites, which need to be studied for the purpose of improving conservation management. The identification of the sites with the highest precipitation and among them, those with greater ability to constitute a water reserve, is the best option for perennialization of water sources. Flood plains store, control water and mitigate erosive processes, as well as provide habitat for the regional biota, forming ecological corridors. This study aimed to identify, spatialize, characterize and group flood plains with similar abilities to produce ecosystem services related to perennial water resources in the R2R basin. A total of 42 contributing basins with precipitation of more than 1,500 mm / year were studied, where the morphometric data of area, mean concave curvature plane (40.4%), medium orientation (34.4% for windward) and average circularity index (0.5) were grouped to evaluate the physical environment's ability to confer differential water production. In this area, 1,056 flood plains were worked, grouped according to their potential of water regularization in four distinct groups, Group IV (with greater ability to regulate water). This group has a high potential for water regulation if its flood plains are operated agronomically, respecting each one of its intervening sectors in the formation of flows that supply the main drainage channel during the rainy season and annual drought. This strategy would imply the formation of natural conditioning factors and adaptations in 0.0006 of the basin, bringing important benefits to the entire basin, even outside the study area, as in the areas near its exutorium, because these effects propagate throughout the basin.

Keywords: Water supply; morphometric analysis; planning; water regulation; Serra do Mar.

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é um recorte espacial considerado como sistema aberto onde variáveis ativas (clima, biota e seres humanos) interagem como variáveis passíveis (geologia e geomorfologia) resultam na constante dinâmica de modelagem das formas de relevo inseridas neste espaço geográfico (LEOPOLD *et al.*, 1964; GREGORY & WALLING, 1985).

Inseridos nas bacias, diferentes pontos da paisagem das vertentes interagem de maneira diversa com a dinâmica hídrica ocorrente, sendo modelada pela água e interferindo na dinâmica hidrológica. Pontos da paisagem têm maior capacidade de captação de precipitação, enquanto outros pontos têm maior capacidade de transmissão de água e outros podem armazenar a água por mais tempo (DALRYMPLE *et al.*, 1968; VALCARCEL, 1987).

Estas características naturais dos diferentes pontos da paisagem podem ser classificadas como serviços ecossistêmicos, pois se caracterizam como dinâmicas e processos naturais contínuos que geram benefícios ambientais permitindo a sobrevivência dos ecossistemas, nos quais os seres humanos são parte integral e indissociável (ANDRADE, 2009).

As planícies de inundação promovem funções ecossistêmicas de grande valor no que diz respeito a estocagem de água (FRAPPART, 2005), a mitigação dos processos erosivos nos canais, melhora a qualidade da água, diminui o assoreamento dos canais, e prove habitat para os ecossistemas (JUNK *et al.*, 1989).

A característica geomorfológica aplainada das planícies de inundação junto as características físicas do solo constituinte destas áreas permite o armazenamento de água no subsolo, a partir da diminuição da velocidade de escoamento da água em uma região onde o solo comumente tem maior porosidade, pela gênese sedimentar que lhe é conferida (LIMA, 2008). O volume de água armazenado durante a propagação do escoamento tem lentas trocas de água entre uma parte da planície e outra (CUNGE, 1980) e entre a planície e o canal fluvial (WARD e STANDFORD, 1995).

A conservação das zonas úmidas das planícies de inundação é mais rentável do ponto de vista hidrológico e econômico que barragens artificiais para estocagem de água (GHERMANDI *et al.*, 2010; GRIGOURIK, 2013).

As características morfométricas dos compartimentos das vertentes contíguas às planícies de inundação podem aumentar a quantidade de água que conflui para as planícies de inundação. As variáveis das mesmas, como: declividade, hipsometria (SILVEIRA *et al.*, 2013), plano de curvatura (VALERIANO, 2003), concavidade e convexidade (BLOOM, 1970) são indicadores destas dinâmicas, assim como análises da direção de fluxos (BUARQUE, 2009),

hierarquia fluvial, análise areal e linear (OLIVEIRA, 2007) das bacias hidrográficas e suas redes de drenagem.

A caracterização morfométrica das bacias hidrográficas possibilita aferir os serviços ecossistêmicos das planícies de inundação, já que é o primeiro e mais comum procedimento para estudo hidrológico (TEODORO *et al.*, 2007), e permite identificar dinâmicas hidrológicas em locais ainda não analisados (VILLELA e MATTOS, 1975) e auxilia na elaboração de planejamento territorial dos recursos hídricos (TEODORO *et al.*, 2007; CASTRO *et al.*, 2009).

As características morfométricas das vertentes determinam o comportamento do fluxo hidrológico em superfície e subsuperfície (HUGGET, 1975) A identificação e descrição das superfícies geomórficas (RUHE, 1975), as compartimentações dessas superfícies em segmentos de vertentes (DARLYMPLE *et al.*, 1968) e equações adaptadas a mapas altimétricos (TROEH, 1965) são exemplos de análises que visam identificar os fluxos hídricos na relação hidrologia – relevo.

O uso de Modelo Digital de Elevação (MDE) permite a aquisição de valores confiáveis para o delineamento de variáveis morfométricas em bacias hidrográficas (VALERIANO, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2007) e o custo-benefício desta ferramenta a torna eficiente.

A delimitação das planícies de inundação através de MDE, com auxílio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) contribui de maneira substancial na análise hidrológica de uma bacia hidrográfica.

Este capítulo objetiva levantar, caracterizar e agrupar planícies de inundação de microbacias com vertentes com relevantes serviços ecossistêmicos na cabeceira da bacia R2R com vocação similar para produção de serviços ecossistêmicos relacionados a perenização de recursos hídricos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Base Cartográfica

Foi utilizada base cartográfica vetorial contínua do estado do Rio de Janeiro, escala 1:25.000 produzida a partir do projeto RJ25, gerada a partir de interpretação de fotografias aéreas, na escala aproximada de 1:30.000, levantamentos em campo e por informações de órgãos setoriais parceiros, elaborado pela IBGE e o governo do estado do Rio de Janeiro através da Secretaria de Estado do Ambiente – SEA – RJ, compatível com os requisitos de precisão do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) e adequada aos padrões e normas da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) e sua modelagem está implementada conforme as

Especificações Técnicas para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais na versão 2.1.3 (ET-EDGV v2.1.3).

2.2 Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente

O Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente foi gerado a partir da base cartográfica digital, do IBGE, do ano de 2016 com curvas de nível com equidistância de 10 metros, da hidrografia e dos pontos cotados. A partir desta base de dados, obteve-se o processamento digital através do Software ArcGis 10.2, segundo o fluxograma (figura 4).

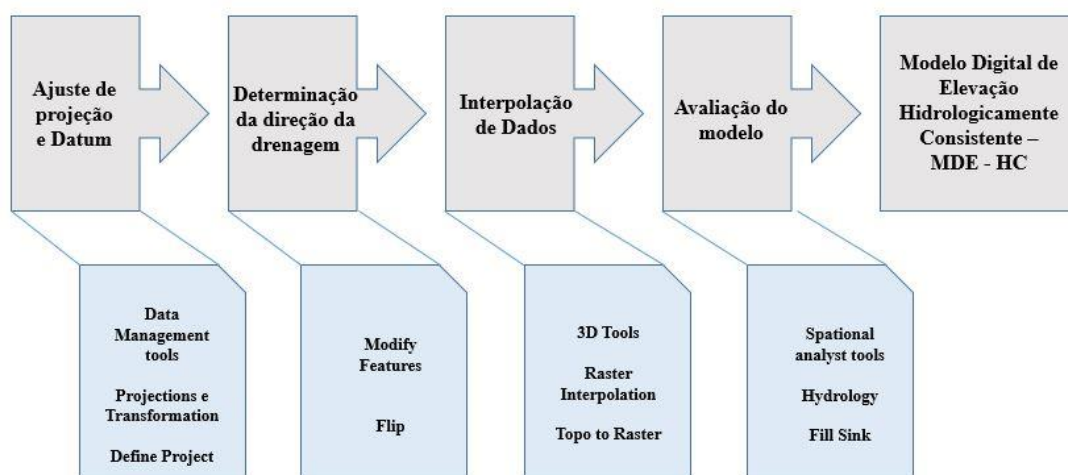


Figura 4: Fluxograma dos procedimentos utilizados na obtenção Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDE-HC).

2.3 Classificação dos trechos da bacia

A delimitação dos trechos da bacia hidrográfica R2R foi elaborada a partir a relação entre a declividade média do curso hídrico principal e a hierarquia fluvial dos afluentes do curso principal, uma vez que estes dois fatores estão relacionados com o tamanho das planícies de inundação (NANSON e CROKE; 1992; ZANCOPÉ e FILHO; 2006). A partir desses critérios os trechos foram classificados em superior, médio e inferior da R2R.

A hierarquização fluvial foi obtida a partir do *software* SAGA GIS 2.0.8 a partir dos comandos *Module > Terrain Analysis > Channels > Stralher Order*.

2.4 Delimitação das planícies de inundação

A partir do MDE-HC foi gerada a modelagem hidrológica de identificação de áreas saturadas por água – “*Topographic Wetness Index (TWI)*” (BEVEN e KIRKBY, 1979), elaborada no *software* SAGA GIS 2.0.8 (OLAYA e CONRAD, 2009), através da ferramenta *Terrain Analysis > Hydrology > Topographic Indices*.

A delimitação foi ratificada através de vistoria em imagem de satélite *Landsat*, com resolução de 15 metros.

2.5 Estratificação da precipitação

Foram consideradas as áreas com precipitação anual superior a 1.500 mm/ano de acordo com a base do Departamento de Recursos Minerais – Serviço Geológico do estado do Rio de Janeiro – DRM, depois espacializadas as planícies de inundação com os seguintes intervalos de classes: a) $1.500 < P < 1.700$ mm/ano; b) $1.700 < P < 1.900$ mm/ano; c) $1.900 < P < 2.100$ mm/ano; d) $2.100 < P < 2.200$ mm/ano; e) $2.200 < P < 2.300$ mm/ano; f) $2.300 < P < 2.400$ mm/ano; g) $2.400 < P < 2.500$ mm/ano; h) $2.500 < P < 2.600$ mm/ano; i) $2.600 < P < 2.700$ mm/ano; j) $P > 2.700$ mm/ano.

2.6 Atributos geospaciais atribuídos aos serviços ecossistêmicos

Como forma de avaliação geoespacial dos atributos que ofertam melhores serviços ecossistêmicos, de acordo com as características intrínsecas da região analisada foram levantados: para as microbacias – *i*) área e perímetro; *ii*) índice de circularidade; *iii*) orientação das vertentes inseridas nas microbacias; *iv*) plano de curvatura das vertentes inseridas nas microbacias. Para as planícies de inundação – *i*) área das planícies de inundação; *ii*) índice de circularidade das planícies de inundação; *iii*) uso e cobertura do solo atual das planícies de inundação e *iv*) altitude em que as planícies de inundação se encontram.

2.7 Análise morfométrica das microbacias

Com a intenção de identificar os melhores atributos morfométricos que contribuem para a captação e transmissão hídrica (atributos hidrológicos) a análise foi realizada a partir das variáveis da bacia: *i*) demarcação das microbacias; *ii*) área de contribuição da bacia; *iii*) orientação das vertentes das bacias; *iv*) plano de curvatura das vertentes da bacia e para as variáveis das planícies: *i*) área da planície de inundação; *ii*) perímetro; *iii*) índice de circularidade.

2.7.1 Delimitação das microbacias

As microbacias inseridas no trecho hidrológico com precipitação maior ou igual a 1.500 mm/ano foram demarcadas a partir da ferramenta *Basin*, disponível em *Spacial Analyst Tools* → *Hydrology*, com sua ordem, segundo STHRALER (1952) classificadas a partir da obtenção

de bacias de no máximo 3º ordem da ordem de seus rios pela ferramenta *Stream Order* em *Spacial Analyst Tools* → *Hydrology*.

2.7.2 Área e Perímetro

A área das microbacias está diretamente relacionada com o volume de água precipitado em seu interior, quanto maior a área maior volume de chuva será captado por suas vertentes com potencial de retenção pelas planícies de inundação

A área e o perímetro das planícies de inundação foi obtida a partir da função *Calculate Geometry* e propriedade *área* e *perimeter*, com o software *ArcGis 10*.

2.7.3 Índice de Circularidade

O índice de circularidade (IC), que demonstra quanto a forma aproxima-se de uma circunferência, e tende para unidade à medida que a planície de inundação aproxima-se a forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada. O IC será obtido a partir da equação 1 (CARDOSO *et al.*, 2006):

$$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2} \quad (01)$$

Em que:

IC = Índice de circularidade (adimensional);

A = Área de drenagem (m²); e

P = Perímetro (m)

O índice de circularidade da bacia está relacionado com o tempo de concentração da água precipitada dentro da bacia. Schumm (1956) afirma que valores maiores de 0,51 mostram que a bacia tende a ser mais circular favorecendo os processos de inundação (picos de cheias); já os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada contribuindo para o processo de escoamento.

2.7.4 Orientação das vertentes

Foram calculadas as áreas das vertentes de acordo com sua orientação, a partir do comando *Aspect* em *Spacial Analyst Tools* → *Surface* e posterior vetorização do resultado a partir do comando *from Raster to polygon* em *Conversion Tools*. Com o resultado da vetorização foi calculado a área de cada trecho da vertente de acordo com sua orientação através da função *Calculate Geometry* → propriedade *Area*.

2.7.5 Plano de Curvatura das Vertentes

O plano de curvatura foi obtido a partir do comando *Curvatura* em *Spacial Analyst Tools* → *Surface* e posterior vetorização do resultado a partir do comando *from Raster to polygon* em *Conversion Tools*. Com o resultado da vetorização foi calculado a área de cada trecho da vertente de acordo com sua orientação através da função *Calculate Geometry* → propriedade *Area*.

2.8 Identificação das bacias de contribuição com melhores atributos hidrológicos

Foi elaborada análise de *cluster* para agrupar as bacias de contribuição direta com ofertas similares de serviços ecossistêmicos, utilizando o *software* SPSS 23.0. Este algoritmo agrupou bacias com similaridade relacionadas às seguintes variáveis: (i) área da bacia contribuinte; (ii) índice de circularidade da bacia; (iii) orientação das vertentes; (iv) plano de curvatura das vertentes.

2.9 Morfometria das planícies de inundação das bacias selecionadas

As planícies de inundação foram estratificadas de acordo com as suas características morfométricas, sendo estas: (i) índice de circularidade; (ii) área da planície de inundação; (iii) perímetro.

2.10 Uso e Cobertura do Solo nas planícies de inundação

O uso e cobertura do Solo nas planícies de inundação foi obtido a partir do recorte da base vetorial disponibilizada pelo IBGE, na escala de 1:25.000, e que foram sobrepostas às áreas das planícies de inundação, para a identificação do uso solo das planícies de inundação, a cobertura vegetal e existência de afloramento rochoso nas áreas contíguas as mesmas.

2.11 Altitude das planícies de inundação

A partir do MDE-HC foi obtida a altitude em que se encontram as planícies de inundação através do complemento *Elevation – Obtain Elevation*, no *software* QGIS 2.14 clicando no ponto onde a planície de inundação termina.

2.12 Agrupamento das planícies de inundação

Foram selecionadas as planícies de inundação, através de uma nova análise de *cluster*. Buscou-se agrupar as planícies de inundações com ofertas similares de serviços ecossistêmicos. Utilizou-se o *software* SPSS 23.0 e as variáveis independentes das planícies de inundação: i) área - que junto com a profundidade do solo está diretamente relacionada com o volume de água que as planícies são capazes de reter; ii) Índice de circularidade médio – que indica o tempo de concentração de água na planície de inundação, iii) altitude média– relacionada com a precipitação e posição na bacia e iv) porcentagem da área ocupada por urbanização, agricultura ou pastagem.

3 RESULTADOS

3.1 Classificação dos trechos da bacia

A classificação do trecho superior da bacia foi feita separadamente. Na bacia do Rio Negro se estabeleceram de 1.434 metros até 399 metros de altitude, na confluência do Córrego Três Barras com o Rio Negro. Na bacia do rio Grande se estabeleceu de 2.360 metros até 609 metros de altitude em relação ao nível do mar, na confluência do Rio Grande com o rio Bengalas (Figura 5).

O trecho médio se estabeleceu a partir das cotas mínimas do trecho superior aos 47 metros de altitude, onde se forma o rio Dois Rios e o trecho inferior se foi delimitado a partir da formação do rio Dois Rios até sua foz a 12 metros de altitude em relação ao nível do mar (Figura 6).

3.2 Delimitação das planícies de inundação

Foi estabelecido o valor de 5,85 encontrado no Índice Topográfico de Umidade, por ser um valor que visivelmente, junto à imagem de satélite e base vetorial das curvas de nível permitiu a separação das planícies de inundação em relação às vertentes. Junte-se a isso a imagem de satélite permitiu a ratificação das planícies de inundação e foram encontradas 7.467 planícies de inundação, cuja soma da área é de 241,91 km² e representa 6,58% da área total da Bacia Hidrográfica Dois Rios.

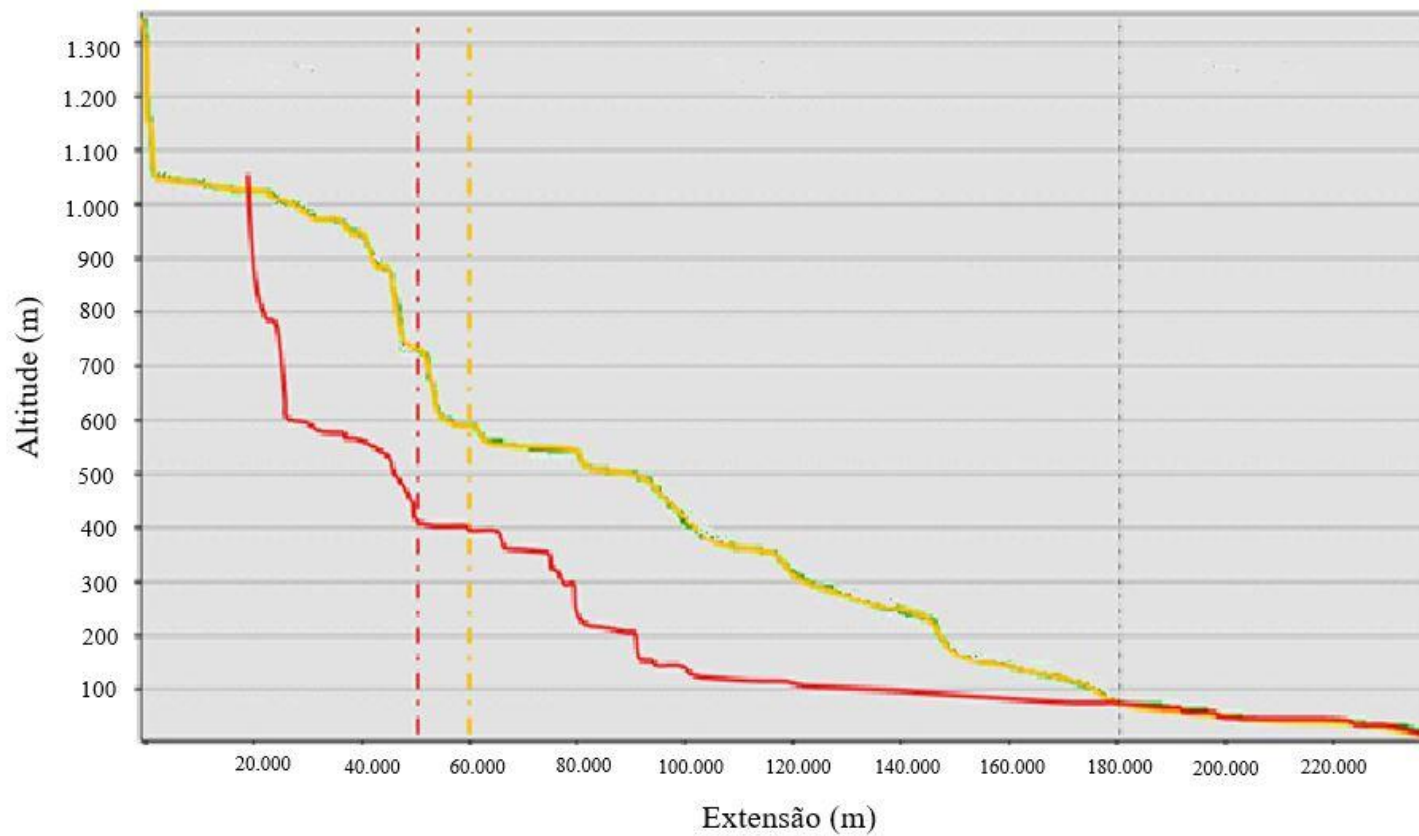


Figura 5: Perfil longitudinal do Rio Negro (vermelho) e Grande (laranja) nos trechos superiores, médio e inferior da bacia Dois Rios, RJ

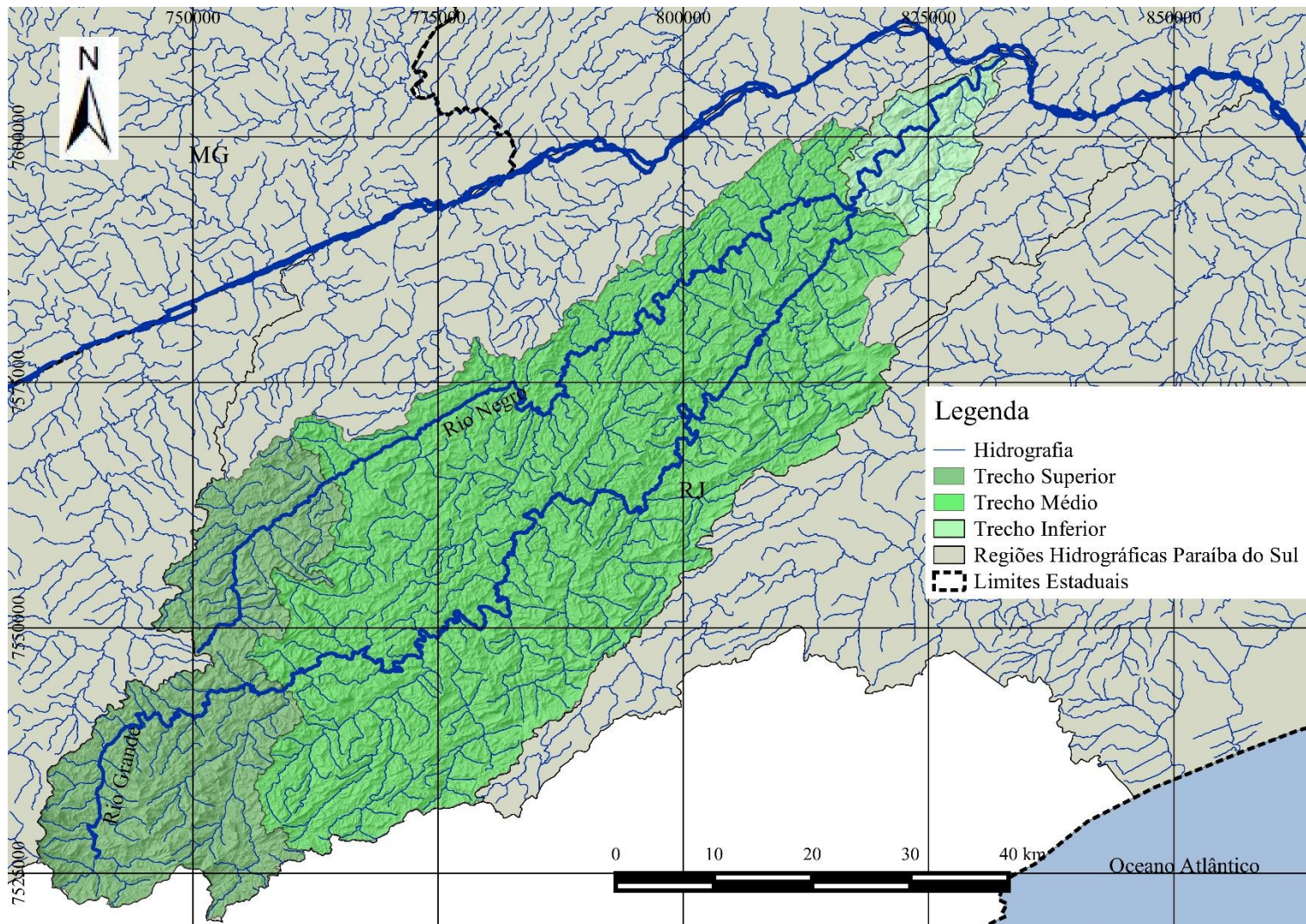


Figura 6: Setorização em terços superior, médio e inferior da Bacia Hidrográfica Dois Rios, RJ

3.3 Características Morfométricas das planícies de inundação

As áreas das planícies de inundação variaram entre 31,24 m² a 434,40 ha, sendo que no trecho superior entre 34,93 metros a 249,78 ha. No trecho médio entre 31,24 metros a 434,40 hectares e inferior de 153,40 metros a 237,45 hectares, podendo-se notar relação direta entre tamanho da planície e trecho da bacia (Quadro 1).

Quadro 1: Planícies de Inundação nos trechos superior médio e inferior da Bacia Rio Dois Rios, RJ

Trecho	Área (km ²)	n	Área Total (km ²)	Área Média (ha)	Relação (%)
Superior	725,0	1.956	52,8	2,7	7,3
Médio	2.262,5	5.272	170,2	3,2	7,5
Inferior	160,3	239	18,8	7,9	4,9

n – Número de planícies de inundação

O perímetro das planícies variou de 24.42 metros a 73.830,88 metros, com média de 715,69 metros e o Índice de Circularidade variou de 0,008 a 0.96, com média de 0,55.

3.4 Planícies e precipitação anual

Foram encontradas 1.071 planícies de inundação nas áreas onde ocorre precipitação maior que 1.500 mm/ano, correspondendo a 20,37 km², ou, 8,42% da área de todas as planícies de inundação da bacia. O restante (91,57%) se encontra em áreas com precipitação menor que 1.500 m/ano, constituindo área de 221,9 km² (Quadro 2 e Figura 7).

Quadro 2: Tamanho e ocupação das planícies de inundação da bacia Dois Rios a partir da setorização por precipitação anual abaixo e acima de 1.500 mm.

Trecho	Área (km ²)	n	Área Total das planícies de inundação (km ²)	Área Média (ha)	Relação (%)
Pluviosidade superior a 1.500 mm/ano	414,1	1.071	20,37	1,7	4,9
Pluviosidade inferior a 1.500 mm/ano)	2.744,9	6.396	218,37	3,43	0,7

n – Número de planícies de inundação

A área da bacia que recebe mais de 1.500mm/ ano de precipitação corresponde a 414,1 km², enquanto 22.347 hectares recebem mais de 1.700 mm/ano de chuva, 14.709 hectares mais de 1.900 mm/ano, 8.738 hectares recebem mais de 2.100 mm/ano, 6.182 hectares mais de 2.200 mm/ano, 3.509 hectares mais de 2.300 mm/ano, 1.814 hectares mais de 2.400 mm/ano, 1.202 hectares recebem mais de 2.500 mm/ano, 721 hectares recebem mais de 2.600 mm/ano, 405

hectares recebem mais de 2.70 mm/ano e 121 hectares recebem mais de 2.800mm/ano de precipitação, figura 8.

3.5 Análise morfométrica das microbacias

Foram delimitadas 42 microbacias para as planícies de inundação localizadas na região onde a precipitação é maior que 1.500 mm/ano.

A média das áreas das bacias foi de 832,36 hectares, sendo a maior bacia com 2.154,13 hectares e a menor com 102,6 hectares. A média dos perímetros da bacia foi de 14.280,4 metros, sendo o maior perímetro 22.546,28 metros e o menor de 5.031,65 metros (tabela 4).

Tabela 4: Análise morfométrica de área, perímetro e índice de circularidade das microbacias localizadas em área com pluviosidade acima de 1.500 mm/ano

Bacia	Área (ha)	Perímetro (m)	IC	Bacia	Área (ha)	Perímetro (m)	IC
1	754	14.436,1	0,45	22	1.183,59	18.044	0,46
2	987,43	17.808,7	0,39	23	632,85	13180	0,46
3	535,00	10.514,5	0,61	24	1.690,08	22.106,5	0,43
4	374,22	9.811,53	0,49	25	403,45	10.252,6	0,48
5	594,06	11.527,4	0,56	26	957,33	14.971,2	0,54
6	835,28	14.526,1	0,50	27	1.035,82	20.414	0,31
7	280,21	11.536,2	0,26	28	588,10	12.540,2	0,47
8	1.635,78	18.427,2	0,61	29	922,98	17.287,3	0,39
9	1.130,37	16.084,9	0,55	30	669,83	14.043,1	0,43
10	305,75	10.074,6	0,38	31	567,54	11.901,8	0,50
11	1.052,86	18.162,9	0,40	32	762,14	12.971,6	0,57
12	967,40	14.079,8	0,61	33	1.046,37	17.638,3	0,42
13	2.154,14	20.353,8	0,65	34	455,04	10.683,9	0,50
14	599,06	14.347,8	0,37	35	582,95	10.322,4	0,69
15	533,90	10.094	0,66	36	656,52	11.700,7	0,60
16	568,46	11.011,1	0,59	37	697,18	16.307,7	0,33
17	1.217,00	15.108	0,67	38	1.091,40	16.932,5	0,48
18	1.147,15	17.218,2	0,49	39	400,65	12.345	0,33
19	1.975,16	21.656,3	0,53	40	239,50	8.595,5	0,41
20	1.721,29	22.546,3	0,43	41	102,59	5.031,6	0,51
21	319,17	8799,2	0,52	42	585,92	14.380,4	0,36

IC –Índice de Circularidade

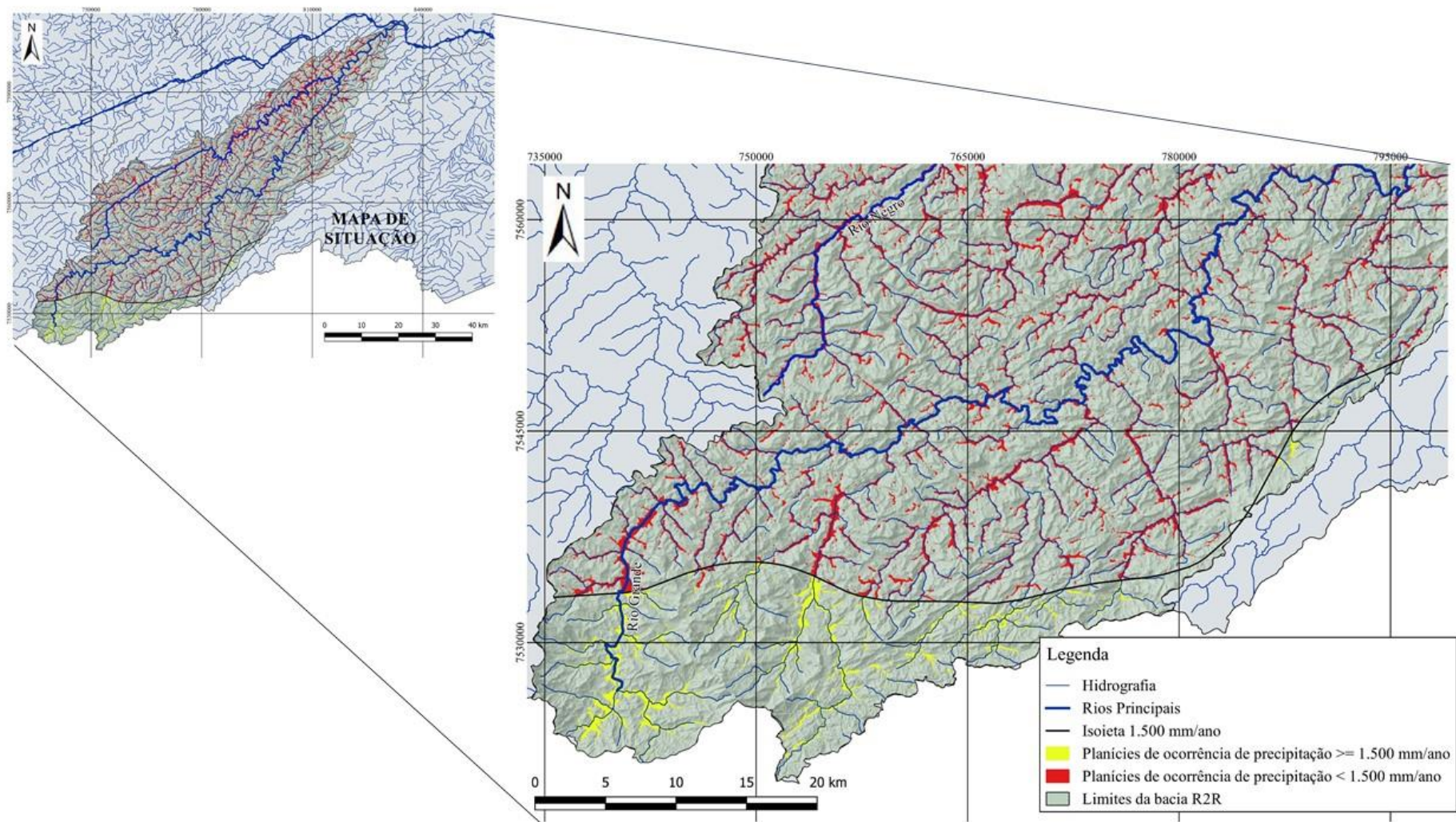


Figura 7: Destaque para as planícies de inundação com precipitação acima de 1.500 mm (em amarelo) e planícies com precipitação menor que 1.500 mm (em vermelho), na cabeceira do rio Dois Rios, RJ.

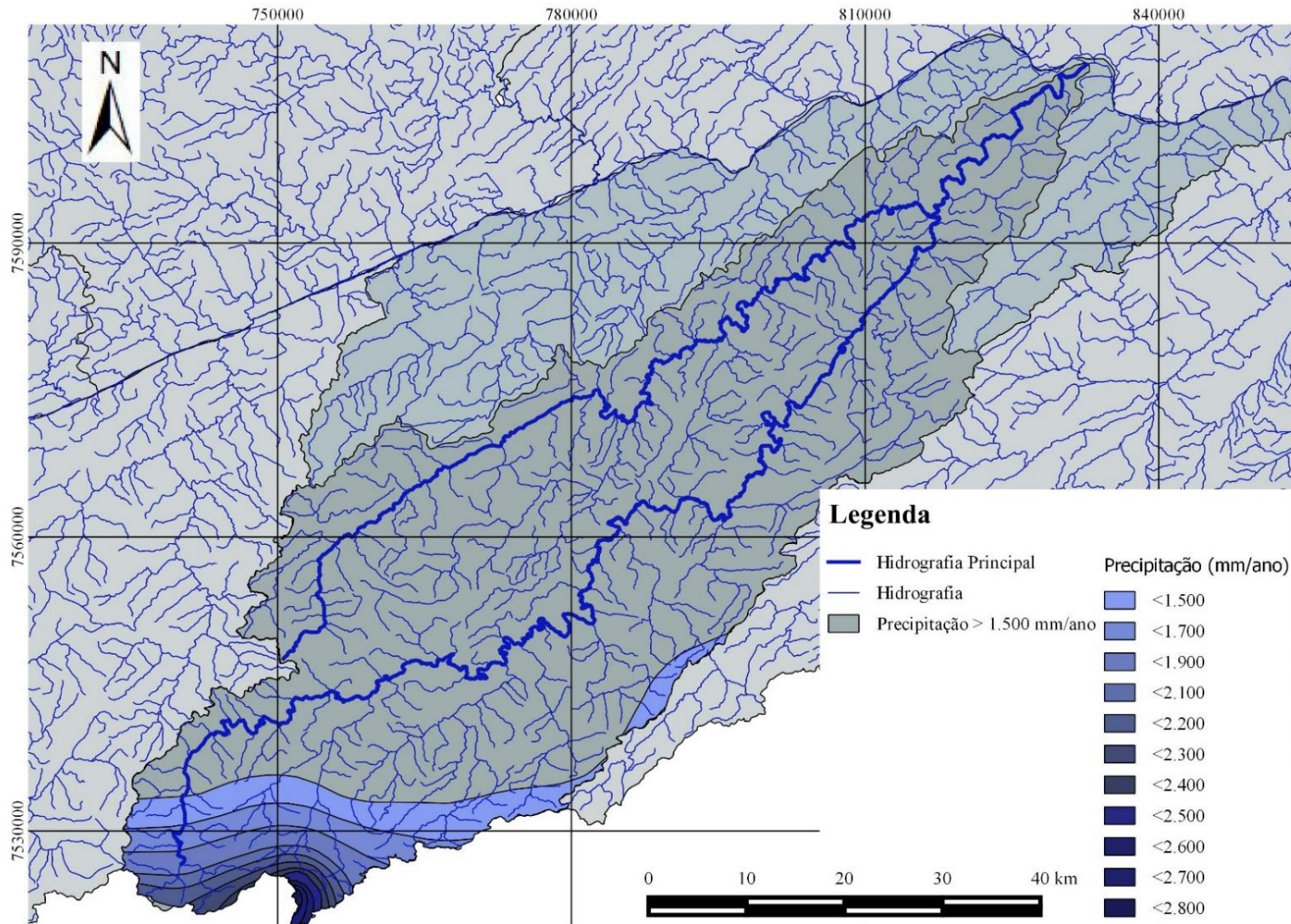


Figura 8: Mapa da distribuição da precipitação na Bacia R2R com destaque para a região com mais de 1.500 mm/ano e estratificação entre 1.500 mm/ano até 2.800 mm/ano

3.6 Vertentes das bacias com precipitação anual elevada

Foi obtida a tendência média da orientação das vertentes das microbacias, onde 17,45% estão orientadas para norte, 14,28% para noroeste, 12,46% para nordeste, 11,8% para leste, 11,14% para sudeste, 10,86% para sul, 10,72% para oeste e 9,3% para sudoeste, enquanto 1,45% foi classificado como plano (tabela 5).

Tabela 5: Análise morfométrica da orientação das vertentes das microbacias localizadas em área com pluviosidade superior a 1.500 mm/ano (continua)

Orientação das Vertentes (%)									
Bacia	Plano	Norte	NE	Leste	SE	Sul	SO	Oeste	NO
1	2,0	18,5	10,2	12,8	18,4	10,3	6,0	9,0	12,9
2	3,5	12,6	14,8	15,8	17,0	16,6	8,0	5,4	6,2
3	0,0	20,5	18,7	20,6	18,3	7,8	1,7	2,0	10,5
4	1,6	16,2	16,9	16,4	2,4	7,4	12,7	12,6	13,8
5	0,0	23,4	25,4	15,3	10,3	11,5	3,7	2,5	7,9
6	3,0	12,3	18,7	13,6	11,4	12,2	8,9	10,0	9,9
7	2,4	18,9	11,9	5,6	5,8	12,4	15,5	15,1	12,4
8	1,4	16,5	10,2	5,0	6,1	14,7	14,9	15,0	16,4
9	4,2	12,3	6,9	6,9	12,5	17,7	13,5	13,4	12,7
10	5,1	20,3	17,2	14,2	7,1	7,3	7,9	9,6	11,2
11	0,0	20,3	10,4	5,8	5,8	13,3	14,1	14,5	15,7
12	0,0	9,0	4,0	3,6	8,5	19,8	16,6	19,4	19,1
13	0,6	17,2	14,1	14,8	14,0	7,3	5,6	9,2	17,2
14	0,4	21,1	8,7	16,8	19,9	10,5	4,7	6,2	11,7
15	0,1	16,6	9,3	1,5	2,1	8,5	21,9	22,9	17,1
16	0,4	15,2	19,0	25,4	12,3	5,2	5,3	7,0	10,2
17	0,0	24,2	24,6	15,2	10,6	6,3	1,8	4,2	13,0
18	0,0	18,2	16,3	11,8	12,5	10,9	8,6	9,9	11,8
19	3,1	12,3	13,9	13,2	11,9	11,6	9,8	11,5	12,4
20	0,2	17,0	12,2	11,3	13,7	10,8	10,7	10,8	13,3
21	0,7	7,0	11,7	20,9	25,5	12,3	8,2	7,7	5,9
22	1,1	11,2	11,6	13,9	12,4	9,8	8,8	14,7	16,5
23	0,5	18,2	11,8	12,5	9,8	6,3	10,0	14,5	16,3
24	0,9	19,8	11,4	6,4	9,4	15,6	11,1	11,2	14,1
25	0,0	25,2	15,1	7,2	4,0	9,9	11,7	11,9	14,9
26	0,4	24,5	15,3	7,9	9,0	9,1	10,0	10,2	13,5
27	0,2	12,4	8,2	12,5	25,6	11,9	5,1	8,1	15,8
28	0,0	23,6	9,1	12,3	10,2	8,3	7,1	8,0	21,4
29	1,0	14,2	11,6	14,0	14,5	11,2	7,5	10,6	15,5
30	0,4	24,0	9,7	6,3	9,5	14,5	11,6	8,5	15,4
31	0,6	24,2	9,3	10,2	6,2	8,7	7,9	10,1	22,8
32	0,5	20,5	15,7	10,0	8,1	8,9	8,9	10,9	16,5
33	0,0	19,0	12,0	10,8	11,1	9,9	10,0	10,5	16,7

Tabela 5: Continuação

34	0,3	17,8	10,0	8,9	5,7	8,4	12,4	16,6	19,8
35	0,1	35,2	10,8	5,6	3,7	1,8	5,5	9,2	27,9
36	1,8	8,8	5,7	8,8	9,8	8,8	9,4	22,6	24,3
37	0,3	21,4	6,0	7,9	12,2	14,3	10,1	10,4	17,4
38	0,8	8,9	19,9	21,3	13,2	21,1	9,4	2,1	3,2
39	5,9	15,6	12,3	11,4	11,4	12,5	8,1	8,8	14,0
40	5,0	9,8	14,6	25,7	15,4	6,8	6,5	7,5	8,7
41	6,7	9,6	1,1	3,1	7,7	11,6	17,0	24,6	18,5
42	7,0	11,6	14,8	8,6	14,5	15,6	10,1	8,9	8,9

As vertentes das microbacias apresentaram a tendência de plano de curvatura convexo, com média de 50,24%, seguido pelo plano de curvatura côncavo, de média de 39,75% e por último o plano de curvatura retilíneo de 9,9% de ocorrência (tabela 6).

Tabela 6: Análise morfométrica do plano de Curvatura das vertentes das microbacias localizadas em área com pluviosidade maior que 1.500 mm/ano

Plano de Curvatura das Vertentes (%)							
Bacia	Retilíneo	Côncavo	Convexo	Bacia	Retilíneo	Côncavo	Convexo
1	11,8	36,7	51,5	22	8,5	38,4	53,2
2	13,2	35,9	51,0	23	10,4	39,0	50,3
3	5,8	42,5	52,0	24	8,3	37,2	53,8
4	9,8	41,4	48,8	25	5,4	40,3	54,2
5	7,8	42,8	49,2	26	8,9	38,1	52,9
6	12,7	39,3	47,9	27	10,7	39,9	49,3
7	11,4	41,0	48,0	28	8,1	42,9	48,9
8	10,4	41,7	48,1	29	10,1	39,3	50,5
9	14,6	39,6	45,8	30	8,5	40,6	50,8
10	13,3	38,3	48,5	31	8,6	41,8	49,5
11	6,4	41,1	52,3	32	8,2	38,9	52,7
12	5,3	44,4	50,4	33	6,2	41,3	52,3
13	7,7	41,7	50,5	34	7,0	39,9	52,7
14	8,5	42,7	48,8	35	9,4	40,1	50,3
15	8,1	42,5	49,4	36	12,3	35,8	51,8
16	9,9	41,9	48,2	37	11,5	37,1	51,2
17	6,0	42,8	51,3	38	10,6	40,7	48,7
18	5,6	44,3	50,0	39	17,5	36,5	46,0
19	6,2	41,7	52,1	40	16,5	36,2	47,3
20	6,7	39,0	54,2	41	14,8	37,3	47,9
21	7,1	35,1	57,8	42	18,4	35,1	46,6

3.7 Análise morfométrica das planícies de inundação

Foram identificadas 729 planícies de inundação nas microbacias de melhores atributos morfométricos para captação e transmissão de umidade. A morfometria destas planícies é heterogênea como se pode analisar no Quadro 3. A heterogeneidade da análise morfométrica das planícies pode ser explicada pelo relevo acidentado da região.

Quadro 3: Estatística descritiva das variáveis morfométricas das planícies de inundação delimitadas através da modelagem do Índice Topográfico de Umidade

	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Área (m ²)	83,2	1.196.713,5	15.791,3	77622,7	6.025.87.113,9
Perímetro (m)	41,3	11.239,7	409,9	972	944.740,9
IC	0,07	0,98	0,6	0,22	0,05

3.7 Uso e Cobertura do Solo

O uso e cobertura do solo das planícies de inundação estão distribuídos, segundo quadro 4:

Quadro 4: Uso e Cobertura do Solo das planícies de inundação

Uso e Cobertura do Solo	Área (hectares)	Porcentagem (%)
Pastagem	396,6	21,7
Floresta	706,9	38,6
Agricultura	387,1	21,1
Vegetação Secundária	51,6	2,8
Reflorestamento	13,4	0,7
Ocupação Urbana Média	164,1	9
Ocupação Urbana Baixa	107,5	5,8
Afloramento Rochoso	0,05	0,002
Total	1.829,3	100

Observa-se que 42.1% das planícies estão cobertas por vegetação florestada (floresta, reflorestamento e vegetação secundária), sendo a grande maioria coberta por florestas em estágio avançado. A agricultura e a pastagem conferem 42,8% da cobertura, dada a vocação econômica da região. De modo geral, as planícies são pouco ocupadas pelo meio urbano representam 14,8% da cobertura.

3.8 Altitude

A análise da altitude onde se encontram as planícies mostrou que a planície de menor altitude está a 700 metros, enquanto a de maior altitude, com média de 1.081 metros de altitude.

3.9 Agrupamento das microbacias

O primeiro grupo apresenta 16 microbacias, com área média de 635.17 hectares, variando de 533,9 hectares a 835,27 hectares, apresenta menor porcentagem média de vertentes com orientação para Sul em comparação com os demais grupos (28,9%) e segunda menor porcentagem média de vertentes de plano de curvatura côncavo (40%), índice de circularidade médio de 0,5 e precipitação média variando de 1.500 mm/ano a 2.100 mm/ ano, com média de 1.603,12 mm/ano, quadro 5.

Quadro 5: Agrupamento das microbacias, unidades de microbacias por grupo e valores médios das variáveis morfométricas

Grupo de bacias	n	Área média (hectares)	Orientação Sul (SO/SE/S) ¹ (%)	Plano de Curvatura Côncavo (%)	IC ²
I	16	635,1	28,9	40	0,5
II	9	320	30,4	38,4	0,43
III	12	1.061,6	35,3	40,5	0,47
IV	5	1.835,3	33,4	40,2	0,53

n – Número de bacias

¹ - Orientações Sudoeste, Sudeste e Sul

² - Índice de Circularidade

O segundo grupo, com 9 microbacias, apresenta a menor média de área (320.06 ha) variando de 102,59 hectares a 455,03 hectares, com a segunda menor porcentagem média de vertentes orientadas para sul (30,40%) e a menor porcentagem média de vertentes com plano de curvatura côncavo (38,44%), índice de circularidade médio de 0,43 e precipitação média variando de 1.500 mm/ano a 2.250 mm/ ano, com média de 1.927,77 mm/ ano (ver quadro 5).

O terceiro grupo, com 12 microbacias, apresenta a segunda maior média de área com 1.061,64 hectares, variando entre 922,98 hectares a 1.217 hectares, com a maior porcentagem média de vertentes orientadas para sul (35,33%) e a maior média de porcentagem de vertentes com plano de curvatura côncavo com 40,5%, índice de circularidade médio de 0,47 e precipitação média variando de 1.500 mm/ano a 2.350 mm/ ano, com média de 1.876,25 mm/ ano (ver quadro 5).

O quarto grupo, com 5 microbacias, apresenta a maior média de área (1835,29 hectares), variando entre 1.635,77 hectares a 2.154,13 hectares, com a segunda maior porcentagem média de vertentes orientadas para sul (33,42%) e a segunda maior média de porcentagem de vertentes

com plano de curvatura côncavo com 40,24%, índice de circularidade médio de 0,53 com precipitação média variando de 1.600 mm/ano a 2.550 mm/ano, com média de 1.925 mm/ano (ver quadro 5).

A média de precipitação dos grupos não apresenta grande variação, já que a comparação das menores médias variou apenas 100 mm/ano (diferença entre 1.600 mm/ano do quarto grupo e 1.500 mm/ano dos demais) e das maiores médias variou apenas 317 mm/ano (2.550 mm/ano do quarto grupo e 2.233 mm/ano do primeiro grupo) e a diferença entre as médias de precipitação dos grupos foi de 324 mm/ano (1927,77 mm/ano do segundo grupo e 1.603,12 mm/ano do primeiro grupo), assim como o índice de circularidade médio variou muito pouco (0,43 a 0,53).

De modo geral as microbacias têm maior porcentagem de plano de curvatura convexo, o que faz com que se torne importante a identificação dos grupos de bacias que tenham maior percentual de plano de curvatura côncavo (maior retenção hídrica) em comparação com os demais, mesmo que a variação das porcentagens médias seja pequena (diferença de 2,05 % entre a maior e a menor média entre os grupos).

Além disso, as vertentes das microbacias apresentam predominância de orientação para sotavento, e este fato faz com que os grupos de bacias que apresentam maior porcentagem de vertentes a barlavento das massas de ar úmidas em comparação com os demais sejam considerados melhores na prestação de serviços ecossistêmicos de captação de água.

Observa-se que o terceiro grupo e o quarto grupo são os grupos que oferecem melhores serviços ecossistêmicos, pois apresentam as maiores médias de área (1.061,63 hectares e 1.835,29 hectares, respectivamente) e de vertentes orientadas para sul (35,33% e 33,42%, respectivamente). A partir destes resultados agruparam-se as planícies de inundação inseridas no terceiro e no quarto grupos de microbacias.

3.10 Agrupamento e caracterização das planícies de inundação

A análise de agrupamento a partir das variáveis: área média da planície de inundação (AM), índice de circularidade, porcentagem da área ocupada por urbanização, agricultura ou pastagem (UAP), índice de circularidade médio (IC médio) e altitude média (Am) da planície de inundação em relação ao nível do mar e permitiu a obtenção de 4 grupos de planícies de inundação com características similares (Quadro 6).

Quadro 6: Grupos de Planície de Inundação, unidades por grupo e média das variáveis analisadas

N	AM (ha)	IC médio	UAP (%)	Am (m)
---	---------	----------	---------	--------

Grupo I	213	0,9	0,63	92,2	1.014,9
Grupo II	3	91,2	0,12	86,5	981,6
Grupo III	15	30,9	0,21	49	984,1
Grupo IV	498	0,4	0,60	1,9	1.112,1

N – Número de planícies de inundação;

AM – Área média em m²;

IC médio – Índice de circularidade médio;

UAP - porcentagem da área ocupada por urbanização, agricultura ou pastagem;

Am – Altitude média em metros

O grupo I de planícies de inundação contem 213 unidades, com área média de 0,9 hectares, índice de circularidade médio de 0,63, porcentagem média da área ocupada por urbanização, agricultura ou pastagem de 92,2% e altitude média de 1.014 metros (ver quadro 6).

O grupo II de planícies de inundação totalizou 3 unidades, apresenta as maiores com área média de 91,2 hectares, índice de circularidade médio de 0,12, áreas ocupadas por urbanização, agricultura e pastagem com média de 86,52% e altitude média de 981,66 metros (ver quadro 6).

O grupo III contabiliza 15 planícies de inundação, com área média de 30,9 hectares, índice de circularidade de 0,2, porcentagem média de área ocupada por urbanização, agricultura ou pastagem de 49% e altitude média de 984 metros (ver quadro 6).

O grupo IV, com o total de 498 planícies de inundação apresentou área média de 0,4 hectares, índice de circularidade de 0,6, porcentagem média da área ocupada por urbanização, agricultura ou pastagem de 1,9% e altitude média de 1.112 metros (ver quadro 6).

4 DISCUSSÃO

Bacias hidrográficas constituem formas e processos que sintetizam os fatores que interagem no modelado do terreno, divididos em fatores ativos (clima, vegetação e antropização) e passivos (geologia, geomorfologia). Como resultado destes processos se formam solos, vegetação e comunidades bióticas que desempenham suas funções em permanente estado de equilíbrio dinâmico (CHRISTOFOLETTI, 1981; TUCCI, 1995 e VALCARCEL, 1997).

As encostas e calhas pertencentes à bacia Paraíba do Sul tem direção e forma condicionada pelos controles geológicos, no caso as Serras da Mantiqueira (esquerda) e do Mar (direita). A partir da cidade de Guararema - SP a declividade diminui, passando de 4,9 m/km para 0,19 m/km, condicionando na calha o padrão de drenagem e a formação das planícies de inundação (MARENGO & ALVES, 2005).

O clima é caracterizado pela condição do relevo, que se apresenta com encostas encaixadas entre cordilheiras com vertentes de rugosidade diferentes, mas com sentido predominante de

fluxo de ventos correndo para leste, resultante dos ventos alísios, materializadas na baixa troposfera, que resulta na elevação da temperatura e diminuição da umidade nas áreas a sotavento, resultado do efeito adiabático (NETO, 2005).

Os afluentes da margem esquerda têm encostas menos abruptas, que associadas com divisores topográficos mais distantes da calha do Paraíba do Sul conformam relevo semelhantes aos “mares de morros”. Os rios de maiores extensões, encaixados em vales rápidos que intermediam os morros e o planalto sul mineiro recebem influência climática do efeito dos ventos oceânicos que condicionam as encostas a barlavento em interposição à Serra do Mar e tem como bacias principais as dos rios Jaguari (2.080 metros de altitude) Paraibuna (1.180 metros), Pirapetinga (600 metros), Pomba (1.100 metros) e Muriaé (900 metros), correspondendo a 52,8% da área da bacia.

A margem direita está mais próxima à calha do Paraíba do Sul e apresenta relevo abrupto, com escarpas acentuadas em relação ao baixo relevo e planícies, sendo composta pelas bacias dos rios Bananal (2.088 metros de altitude), Pirai (1.212 metros), Piabanha (2.366 metros) e Dois Rios (2.366 metros). Correspondendo a 12,4 % da área total da bacia.

Neste trecho, os processos erosivos constituem manifestação inequívoca de sua fragilidade e/ou incremento dos agentes ativos no modelado do terreno, onde 50% da área apresenta alta a muita alta vulnerabilidade à erosão (AGEVAP, 2006).

No contexto da margem direita a bacia R2R tem sua dinâmica hídrica influenciada pela barreira orográfica, já que está a sotavento das cadeias de montanha da Serra do Mar (ANDRÉ *et al.*, 2008). A entrada de ar úmida é condicionada pela disposição dos divisores topográficos na cabeceira da bacia, que direcionam as massas de ar através de caminhos prioritários e influenciam a diversidade ecológica e oferta de atributos ambientais (formação de nuvens, aumento da umidade relativa e precipitação) (BARBOZA, 2007).

Como consequência dos condicionamentos orográficos, 13,1% da área apresenta precipitação média anual acima de 1.500 mm/ano, atingindo a 2.800 mm/ano, em porção de 0,0004% da bacia. No trecho inferior, a precipitação anual atinge 1.100 mm/ano com períodos secos e déficits hídricos pronunciados (CPRM, 2001). A conjugação entre chuvas (entrada de água) e armazenamento nas planícies de inundações apresenta variações nos 3.159 km² da bacia, que precisa ser observada nos projetos de abastecimento hídrico sustentável. O atual desabastecimento dos municípios do trecho inferior (COSTA *et. al.*, 2015), torna inexorável a repetição desta situação nos trechos superiores, caso não haja planejamento dos usos do

território voltado a sustentabilidade. Estas observações foram também registradas na literatura (PELLEGATTI e GALVANI, 2010; MILANESI e GALVANI, 2011).

O volume de precipitação anual permite identificar setores com maior entrada de água, fato este que conjugado com a maior habilidade para regulação hídrica é determinante para a definição de estratégias de manejo conservacionistas do volume de água por setores distintos, fato este não recolhido quando se usa apenas o critério tamanho das áreas como elemento discriminante.

Feita a setorização envolvendo os índices pluviométricos superiores a 1.500 mm, se encontrou menor número de planícies de inundação (1.071) comparada com a setorização por parâmetros físicos do terço superior da bacia do R2R (1.956). Consonante a isto a área também foi menor, passando de 7,3 para 4,9% da área total, o que permite maior eficácia em projetos de regulação hídrica.

O trecho de maior pluviosidade apresenta relevo escarpado, com 42 microbacias, sendo que 9 microbacias têm áreas menores que 500 hectares, 16 microbacias têm áreas entre 500 e 900 hectares e 17 microbacias têm área superior a 900 hectares. Dentro do agrupamento realizado, as 17 microbacias percebidas com melhores atributos hidrológicos apresentam áreas superiores à 900 hectares, o que está relacionado diretamente com a quantidade de água inserida no sistema (LIMA, 2008).

A conexão hidrológica lateral entre as vertentes e as planícies de inundação em áreas escarpadas tende a ser forte, como foi observado por Gúzman *et al.* (2016) na bacia do rio Tarqui, na região Andina, em que encontraram que mais de 92% da recarga nos depósitos aluviais são originadas a partir do fluxo lateral das vertentes contíguas.

As microbacias no trecho de maior precipitação têm vertentes orientadas predominantemente para sotavento (44,3% média), sendo apenas 7 microbacias com vertentes com predominância de orientação para barlavento. Dentro do agrupamento realizado, as 17 microbacias com melhores atributos hidrológicos apresentam melhores média de vertentes para barlavento de 34,37%, em comparação à média das outras 25 microbacias (29,65%).

Em função do relevo escarpado encontra-se diferença de recebimento de precipitação entre encostas de barlavento e sotavento em relação às massas de ar úmidas. Sob a influência da orografia, Milanesi e Galvani (2011) encontraram resultados significativos desta diferença em Ilha Bella –SP, em que 60,1% da precipitação total de um evento foram captadas por encostas a barlavento, enquanto encostas a sotavento captaram 39,9%.

As microbacias do trecho de maior precipitação têm vertentes com predominância de plano de curvatura convexo (média de 50,9%), enquanto a média de plano de curvatura côncavo (39,8%), o que evidencia o caráter dispersor de água das mesmas. Neste sentido, as 17 microbacias com melhores atributos hidrológicos apresentam média superior de vertentes com plano de curvatura côncavo (40,4%) que as demais (39,2%).

O plano de curvatura côncavo está relacionado com a concentração de água nas vertentes, o que eleva o potencial de movimentos de massa (fluxos de detritos e escorregamentos) (SILVEIRA *et al.*, 2013), além de ser um fator associado aos processos erosivos (SARTORI *et al.*, 2008). A concentração de água indica retardamento do escoamento da água nas microbacias.

A média do índice de circularidade (IC) das 42 microbacias é de 0,48, as 17 microbacias com melhores atributos têm 0,5 de IC, as demais microbacias têm média de 0,47. Cardoso *et al* (2006) afirma que conforme maior a circularidade da bacia maior a tendência de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda sua extensão, o que concentra grande volume de água no tributário principal e Tornello *et al* (2006) acrescenta que a forma mais alongada da bacia - afirmada pelo número mais distante da unidade – apresenta menor concentração do deflúvio e menor risco de inundação.

Apesar de a média das variáveis terem pequena diferença, o fato de as microbacias terem características que dificultem a captação e direcionamento da água precipitada (IC baixo e predominância de vertentes sotavento e convexas) a seleção das microbacias valorizou cada aspecto que potencializasse os atributos hidrológicos de captação e direcionamento da água da chuva para as planícies de inundação.

No interior das 17 microbacias com melhores atributos hidrológicos as planícies de inundação apresentam características distintas no que se refere ao nível de capacidade de retenção de água, que podem ser utilizadas como variáveis para seus agrupamentos.

Observa-se a existência de um número elevado de planícies de inundação em microbacias íngremes, o que permite inferir que as pequenas planícies de inundação encontradas nesta região podem também ter um papel importante na manutenção da água nesta área.

As 729 planícies de inundação das microbacias selecionadas tem alta variabilidade de área (0,008 a 119,6 hectares), com média de 1,5 hectares, assim como existe variabilidade do índice de circularidade (0,07 a 0,98). Observa-se a tendência de as planícies de inundação com

maiores áreas têm índices de circularidade baixos, o que permite concluir que estas bacias não têm capacidade de retardamento da água.

Em média 29,7% das planícies de inundação estão ocupadas por atividades com potencial de limitar a infiltração de água (pastagem, agricultura e edificação urbana), sendo que 446 planícies não têm tais ocupações, 19 planícies de 0,6% a 10% de suas áreas ocupadas, 47 planícies têm de 10,1% a 49,9% ocupadas, 47 têm de 52,6% a 89,7% ocupada e 170 planícies têm mais de 90 % de suas áreas ocupadas, sendo que 150 têm a totalidade ocupada, o que explicita que, de maneira geral, mais da metade das planícies de inundação do trecho analisado estão em situação de alto potencial de conservação. Estas planícies se distribuem a partir de 700 metros de altitude chegando à 1.471 metros, não foi possível estabelecer relação muito clara entre a altitude e a áreas das planícies desta região.

Destas, 16 planícies encontram em altitude entre 700 a 799 metros, 65 estão em altitude entre 800 e 899 metros, 119 estão entre 900 e 999 metros, 240 estão entre 1.000 e 1.099 metros, 130 estão entre 1.100 e 1.199 metros, 101 estão entre 1.200 e 1.299 metros, 44 estão entre 1.300 e 1.399 metros e 14 estão entre 1.400 e 1.471 metros de altitude. Conforme maior a altitude pode-se aferir menores temperaturas, maiores taxas de condensação da água e mais precipitação (CARDOSO *et al.*, 2006).

Nas planícies de 700 a 799 metros ocorre média de ocupação de 75%, nas planícies de 800 a 899 metros ocorre 56% de ocupação média, nas planícies entre 900 e 999 metros ocorre 39,8% de ocupação, nas planícies entre 1.000 e 1.099 metros ocorre 26,8% de ocupação, nas planícies entre 1.100 e 1.199 metros ocorre 30,3% de ocupação, nas planícies de 1.200 a 1.299 metros ocorre 8,8% de ocupação, nas planícies de 1.300 a 1399 metros ocorre 12% de ocupação enquanto que nas planícies acima de 1.400 metros ocorre média de 21,6% de ocupação, esta última média se explica pelo fato de 3 planícies estarem 100% ocupadas sendo que o restante tem média de 0,3% de ocupação.

O grupo 1 com 213 unidades está em altitudes maiores de 1.000 metros com índice de circularidade elevado (0,63) e alta taxa de ocupação (92%). Apesar de a altitude permitir que ocorra excedente hídrico e o índice de circularidade alto potencializar a retenção de água (CARDOSO *et al.*, 2006) a alta taxa de ocupação por agricultura, pastagem e urbanização dificulta a infiltração e o armazenamento da água no solo (VANZELA *et al.*, 2009). Tais fatores indicam que estas planícies são suscetíveis à inundação e possibilidade de eventos que podem acarretar perdas materiais ou até mesmo tragédias.

O grupo 2 com 3 unidades tem área média superior as demais (912.003,3 m²) o que aumenta o volume de água com potencial a ser armazenado (SOUZA, 2005), baixo índice de circularidade (0,12) que colabora para a saída da água deste grupo de planície (TONELLO *et al.*, 2006). A baixa altitude média (981,6 metros), em comparação com as demais, evidencia menor precipitação e maior perda por evapotranspiração da água contida (CARDOSO *et al.*, 2006). O alto índice de ocupação (86,5%) impede a infiltração e o armazenamento de água nestas planícies (VANZELA *et al.*, 2009). Nestas áreas o ciclo hidrológico acaba sofrendo interferência com a retirada de água por poços, tem menor infiltração e tendência à inundação, o que significaria projetos específicos, de maior custo, para recuperação dos atributos ambientais, indicando baixa aptidão para medidas de reabilitação de funções hídricas.

O grupo 3 com 15 unidades tem grandes áreas (309.562,1 m²), baixo índice de circularidade (0,20), e a ocupação de cerca de metade destas áreas (49%). Apesar de neste grupo termos variáveis de melhores condições de retenção hídrica que os anteriores (grandes áreas, e menor ocupação do solo) a facilidade de escoamento (IC baixo) e a média ocupação dificultam a função ecossistêmica de retenção hídrica das planícies.

O grupo 4 com 498 unidades tem a menor área média (4.439,8 m²), alto índice de circularidade (0,60) que evidencia menor capacidade de escoamento superficial, e conseqüentemente aumenta a retenção de água e maior média de altitude (1.112,1 metros). Cardoso *et al.* (2006) destaca que nessas regiões, a precipitação normalmente excede a evapotranspiração, ocasionando um suprimento de água que mantém o abastecimento regular dos aquíferos responsáveis pelas nascentes dos cursos d'água. A baixa taxa de ocupação (1,9%) aumenta a capacidade de infiltração e armazenamento de água (VANZELA *et al.*, 2009) e é mais um fator que contribui para manejo de baixo impacto financeiro.

O grupo com 498 planícies de inundação, localizadas nas microbacias de maior potencial de captação de água estão localizadas em regiões onde ocorrem precipitações elevadas e têm forma que contribui para menor velocidade de fluxo superficial, se junta a estes fatores a pequena ocupação destas áreas. Tais evidências permitem selecioná-las como as melhores áreas da bacia com potencial de oferta de serviço ecossistêmico de retenção de água, figura 9.

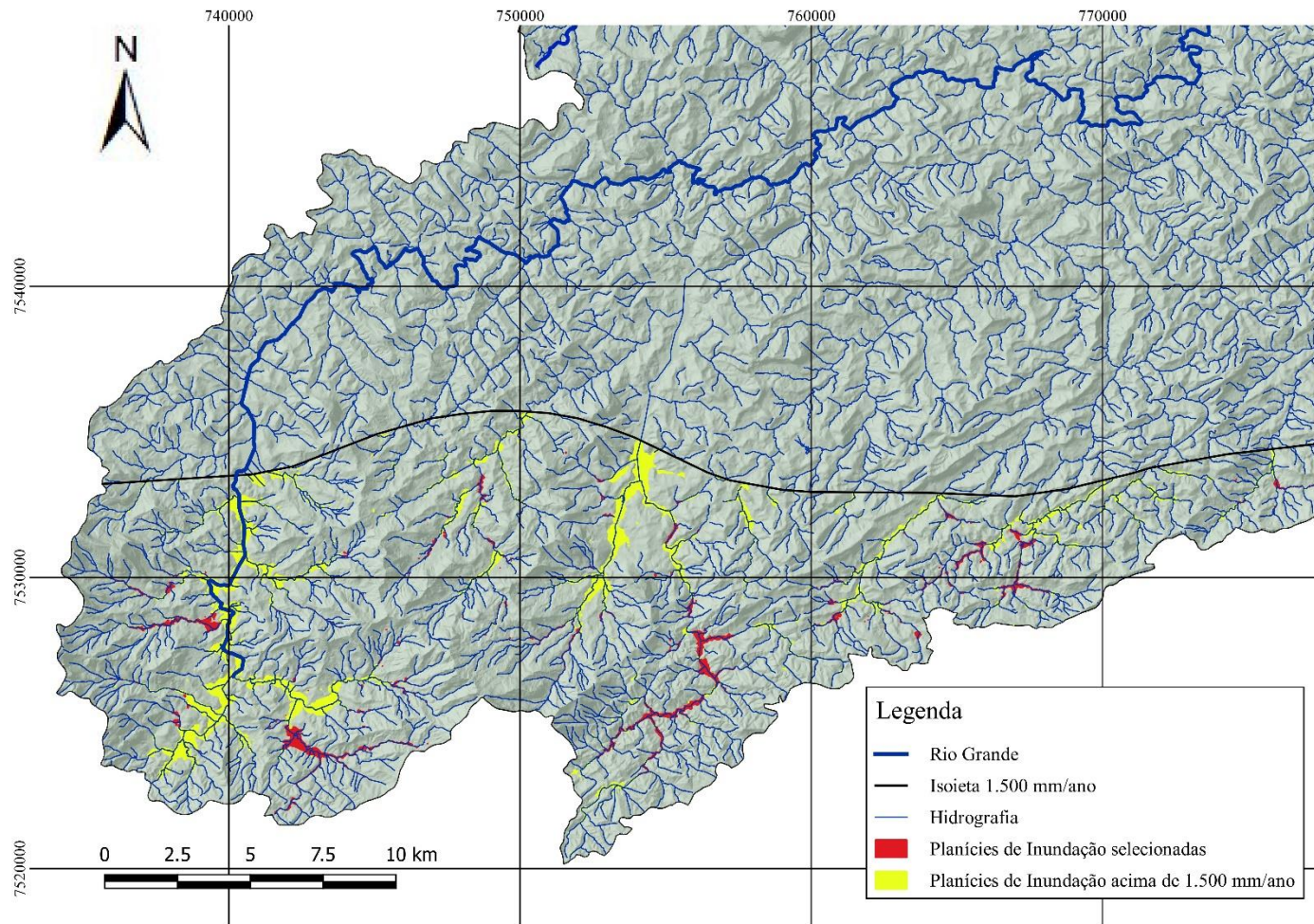


Figura 9: Espacialização do grupo de planícies de inundação selecionado através de parâmetros geoespaciais como os de melhores atributos hidrológicos para manejo conservacionista pelo potencial de oferta de serviços ecossistêmicos de retenção hídrica.

Apesar das planícies de inundação serem composta por sedimentos de diferentes origens, nem sempre vinculadas as calhas e aos processos geomorfológicos contemporâneos, as cabeceiras apresentam grande potencial de contribuição para a bacia dada a elevada precipitação nestas regiões e o maior potencial de administração de água, garantindo assim a sustentabilidade e a redução de cheias se elas forem bem manejadas.

5 CONCLUSÃO

A alta variabilidade pluviométrica da bacia R2R pode ser um importante elemento de manejo conservacionista para garantia mais acesso e melhor regulação hídrica nas bacias.

Das 7.467 planícies de inundação da bacia R2R, 498 planícies (0,0006% da área da bacia) têm atributos hidrológicos que potencializam a capacidade de retenção de água no seu interior, o que facilita a identificação dos melhores locais para armazenamento de água, sendo uma valiosa ferramenta para tomadas de decisão de auto-suficiência hídrica para a bacia.

O grupo com 17 planícies de inundação apresentam tendência hidrológica que priorizam o escoamento superficial, dado seus baixos índices de circularidade (0,12 e 0,20) combinados com o alto índice de ocupação (86,5% e 49% respectivamente).

O grupo com 213 unidades se destaca pela alta probabilidade de ocorrência de inundações, pois apresenta alto índice de circularidade (0,63) combinado com o alto índice de ocupação (92%).

A área e o índice de circularidade das microbacias, a orientação e o plano de curvatura das vertentes, o índice de circularidade, a altitude e o índice de ocupação são condicionantes naturais com maior ascendência sobre os processos hidrológicos, e permitiram a percepção de que 498 planícies de inundação têm alto potencial de manejo conservacionista.

CAPÍTULO 2: SETORIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

RESUMO

Das 7.467 planícies de inundação da bacia R2R, 498 (0,0006% da área total da bacia) reúnem condicionantes ambientais de alto potencial de perenização dos recursos hídricos, identificados a partir de análises morfométricas. Neste capítulo objetivou-se identificar processos hidrológicos que ocorrem dentro destas planícies por meio de análises indiretas (influência do percurso da água no solo entre a parte alta e a parte baixa da planície de inundação – calha). Como área experimental, foi utilizada a planície de inundação localizada no Parque Natural Municipal Juarez Frotté (6.310,51 m²), situada no terço superior da bacia do rio Bengalas (1.043 metros de altitude em relação ao nível médio do mar). Classificou-se o solo desta planície de inundação e empregou-se para análise os parâmetros: Índice Topográfico de Umidade, Condutividade Hidráulica, Textura, Densidade, Densidade das partículas, Porosidade e Carbono Orgânico Total. Os dados foram coletados nos meses de estiagem (Abril, Julho e Agosto) em delineamento experimental de intervalos de 0 - 15 metros da calha; 15 – 30 metros e > 30 metros, totalizando 30 pontos de coleta. O solo encontrado foi o Cambissolo Flúvico Distrófico Tb. A Análise dos Componentes Principais permitiu identificar agrupamento de propriedades hídricas distintas do solo, onde de 0 a 30 metros da calha foi mais úmida, com menor capacidade de infiltração e armazenamento. O setor de afastamento maior que 30 metros é menos úmido, com maior capacidade de infiltração e armazenamento. Eles provavelmente operam hidrológicamente de forma conjugada, onde o setor mais afastado capta as chuvas nos períodos chuvosos e libera para o setor mais próximo da calha, que também interage com as variações dos níveis de água da calha, garantindo assim a perenidade nos períodos de estiagens.

Palavras chaves: Terço superior; alta montanha; hidrologia do solo; serra do Mar.

ABSTRACT

Of the 7,467 flood plains of the R2R basin, 498 (0.0006% of the total area of the basin) meet environmental constraints of high potential for water resources perennialisation, identified from morphometric analyzes. The objective of this chapter was to identify hydrological processes that occur within these plains by means of indirect analysis (influence of the water path in the soil between the upper and lower part of the floodplain). As an experimental area, the floodplain was located in the Juarez Frotté Municipal Natural Park (6,310.51 m²), located in the upper third of the Bengalas basin (1,043 meters above sea level). The soil was classified in this floodplain and the following parameters were used: Topographic Index of Humidity, Hydraulic Conductivity, Texture, Density, Particle Density, Porosity and Total Organic Carbon. The data were collected in the months of drought (April, July and August) in experimental design of intervals of 0 - 15 meters of the gutter; 15 - 30 meters and > 30 meters, totaling 30 collection points. The soil found was the Tb Diffuse Flufus Cambisol (Distrudept). The analysis of the Principal Components allowed to identify grouping of water properties distinct from the soil, where from 0 to 30 meters of the channel was more humid, with less capacity of infiltration and storage. The sector of spacing greater than 30 meters is less humid, with greater capacity of infiltration and storage. They probably operate in conjunction with hydrologically, where the furthest sector captures rainfall during rainy periods and releases to the sector closest to the gutter, which also interacts with changes in water levels in the gutter, thus ensuring durability during dry periods.

Keywords: Geomorphology; high mountain; soil hydrology; Serra do Mar.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente as planícies de inundação sofrem pressões de ocupação imobiliária que modificam suas vocações hídricas originais para a retenção hídrica, laminação de cheias e perenidade de água na bacia. Como consequência, aumentam a frequência de períodos de falta de água nas estiagens e de inundação no período chuvoso, visto que o escoamento superficial passa a ser o fluxo de maior intensidade.

Como visto no capítulo 1, as microbacias da margem direita do rio Paraíba do Sul, entre elas a bacia do rio Dois Rios (R2R), sofrem com movimentos de massa e inundações em períodos de chuva e desabastecimento hídrico nos seus trechos inferiores em momentos de estiagem (referência), o que torna importante o manejo do trecho superior, onde ocorre precipitação maior que 1.500 mm/ano.

Este trecho da bacia se encontra, majoritariamente, no município de Nova Friburgo, onde foram observadas mais de 2.500 cicatrizes de movimento de massa no desastre de 2011 (PMNF, 2017). Nesta área existem 1.056 planícies de inundação e foram identificadas 498 planícies de inundação com alto potencial de manejo para fins de perenidade hídrica.

As planícies de inundação do terço superior apresentam áreas menores, porém em maior frequência quando comparado com os trechos a jusante. Nos locais cujas planícies apresentam declividade mais acentuada, a velocidade de escoamento da água é mais alta e a conexão entre trechos retardadores do escoamento, pode ser estratégia importante de manejo, que combine diminuição da velocidade e aumento do tempo de permanência dentro da planície.

As planícies de inundação do terço superior se formam em ambientes de declividade acentuada, em locais com controles lito-estruturais, que constituem barreiras físicas reguladoras do transporte de sedimentos na calha e, um dos principais procedimentos geomorfológicos de formação de planícies, permitindo deposição de detritos rochosos e formação de solos. Estes solos submetidos aos processos de pedogênese se diferenciam em função da interação calha /planície de inundação e seus fluxos hídricos (WARD e STANDFORD, 1995).

Os sedimentos originários de montante da bacia e da topossequência da vertente contígua a planície de inundação, apresentam granulometria distinta, devido aos processos originários, tanto de eventos de alta magnitude, que mobilizam matacões, blocos de rocha e tálus, quanto em função dos processos erosivos naturais, ocasionados pelos fluxos hídricos que transportam sedimentos finos nelas depositados, assim como parâmetros físicos, que podem permitir a leitura reversa de modo a se poder fazer inferência dos processos que nele ocorreram e/ou estão ocorrendo.

A existência de pequenas planícies de inundação nas cabeceiras está diretamente relacionada com o padrão de drenagem retilíneo, comum nestas regiões íngremes (ROCHA, 2013). Este padrão de drenagem também está relacionado com a conectividade ecológica dos rios com planícies de inundação (WARD e STANDFORD, 1995), já que a velocidade do rio limita a conectividade lateral e torna predominantes as interações longitudinais.

A interação lateral do sistema rio-planície é responsável por modificar atributos do solo, como a cor, o nível de mosqueamento, a estrutura, a textura, densidade das partículas, densidade do solo, a porosidade, a condutividade hidráulica e a concentração de carbono orgânico.

A retenção e o movimento da água no solo estão condicionados por transferências energéticas, explicadas pelas forças capilares e de adsorção, a tensão - ou potencial matricial – exercida na água pelo solo impede a livre circulação da água e retarda o escoamento da água (LESPCH, 2016).

O funcionamento hidrológico do solo é compreendido a partir das propriedades do solo como a sua qualidade estrutural – porosidade, densidade, estabilidade dos agregados (HILLEL, 1980), assim como a textura (distribuição das partículas no solo) (KLEIN *et al.*, 2010), o teor de carbono orgânico (MACHADO *et al.*, 2008) estão diretamente relacionados com a disponibilidade da água e tais atributos físicos são afetados pelo uso e manejo do solo (FIDALSKI *et al.*, 2008). Palm *et al* (2013) destaca a retenção da água no solo como um dos seus principais serviços ecossistêmicos, assim como a regulação climática, ciclagem de nutrientes, manutenção da biodiversidade.

De maneira geral solos contidos em cabeceira de bacia hidrográfica tendem a apresentar pequenas espessuras, uma vez que estas regiões da bacia hidrográfica são áreas fornecedores de sedimentos para o restante da bacia, resultado dos processos erosivos que ocorrem em maior magnitude, visto o constante rejuvenescimento dos seus solos (SCHUMM, 1977).

Como resultado de solos de menor espessura e maior granulometria, nestas regiões o escoamento superficial tem rápida resposta à precipitação (BEUTLER *et al.*, 2002) e evidencia pouca capacidade de retenção de água (OSWALD *et.al.*, 2011).

O objetivo deste capítulo foi identificar de forma indireta, por meio dos parâmetros físicos dos solos, setores da planície de inundação de trecho superior da bacia com alta probabilidade servir para regulação hídrica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A planície de inundação estudada está localizada na microbacia do rio Cascatinha (531,63 ha) está localizada entre as coordenadas UTM 23 K 7528738 m S, 7525119 m S e 748609 m E, 752611 m E, na cabeceira da bacia do Rio Bengalas, afluente do Rio Grande. Classificada como bacia de 3º ordem, segundo STHRALER (1952), a) microbacia tem perímetro (16,18 km) apresenta Coeficiente de Compacidade (1,96); b) Índice de Circularidade (0,26); c) Densidade de Drenagem (3,2 km/km²); d) Fator de Forma (0,372); e) Índice de Sinuosidade de 1,35. Esta bacia está no grupo de microbacias que ofertam melhores serviços ecossistêmicos de captação de água.

As 28 planícies de inundação na microbacia do rio Cascatinha, com áreas somadas de 5,61 ha correspondem a 1,05% da área total da bacia, com média da área de 0,27 hectares, média de índice de circularidade de 0,54 (Figura 8).

Seguindo tipologia de vale, sugerida por Brierley e Fryirs (2005) o rio Cascatinha se enquadra nos vales estreitos com planícies de inundação ocasionais (*Confined Valley With Occasional floodplain*), encaixado em leito rochoso (Figuras 9 e 10). As planícies de inundação que ocorrem a partir da formação de alvéolos fluviais decorrente do distanciamento das vertentes do vale, em ambientes montanhosos. Nestes trechos ocorre a movimentação de sedimentos arenosos através do transporte de fundo, afloramentos rochosos localizados podem ocasionar soleiras e depressões. Ilhas podem se desenvolver onde existe abertura do vale e maior disponibilidade de sedimentos (LIMA e MARÇAL, 2013).

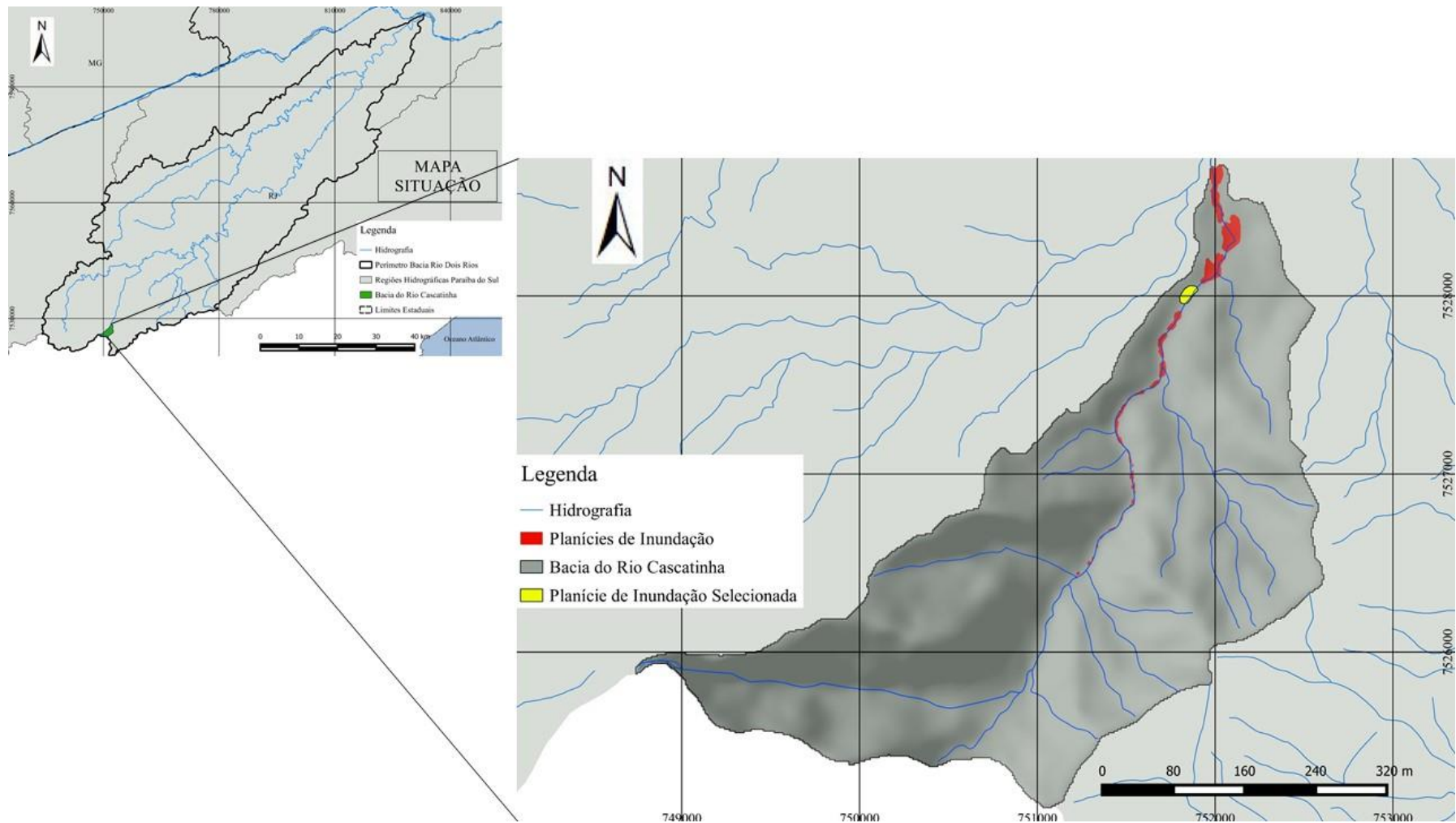


Figura 10: Mapa da bacia do Rio Cascatinha, com destaque para a planície de inundação selecionada (amarelo) para análise.



Figura 11: Controle Estrutural a montante da planície de inundação no rio Cascatinha, onde se inicia hidrologicamente a planície

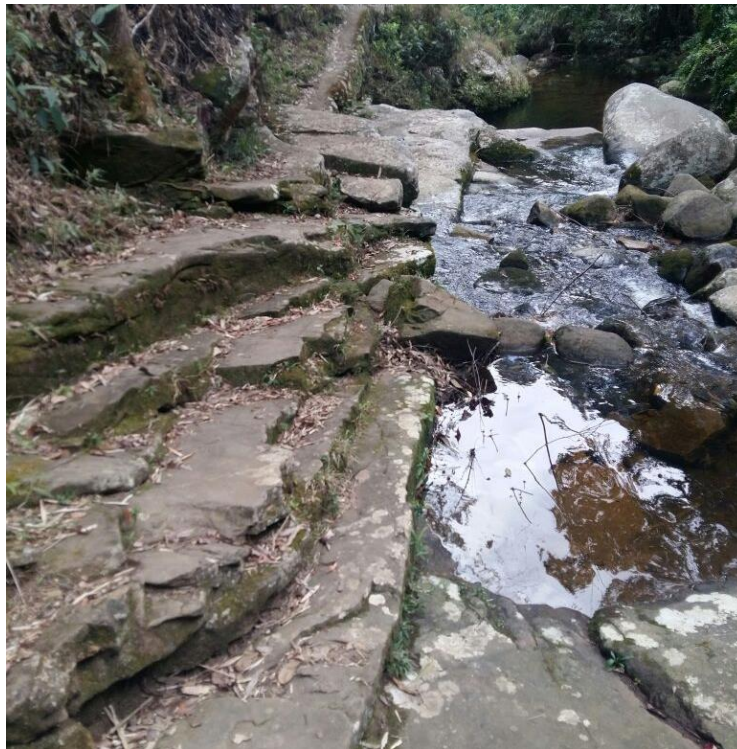


Figura 12: Rio Cascatinha encaixado em leito rochoso

A planície de inundação objeto do presente estudo está contida no grupo das 498 planícies com melhores atributos para manejo. Ela se apresenta assimétrica no tocante às relações de área das suas vertentes, onde 85% está contida na margem esquerda. Localiza-se nas coordenadas UTM 751787 m E – 7527923 m S, com altitude média de 1.043 metros, tem área de 6.310,51 m², perímetro de 315,92 metros e índice de circularidade de 0,79.

O clima temperado marítimo/ tropical de altitude, Cwb, segundo classificação de Koppen, apresenta inverno seco e verão temperado, com temperatura anual média (18° C) e precipitação anual média (1.279,8 mm/ano) (INMET, 2016).

A vegetação é constituída de Florestas Ombrófilas Densas Montana e Alto Montana (IBGE, 2012), com elevada riqueza de espécies, presença de epífitas, principalmente bromélias. O sub-bosque é denso, e as árvores atingem porte alto (aproximadamente 30m), considerando a altitude superior a 1.500 m e a alta declividade regional. A vegetação nas partes baixas da planície é composta por espécies introduzidas pelo homem e de floresta secundária alternando espécies nativas pioneiras: camboatá (*Cupania oblogifolia*), tapiá (*Alchornea triplinervia*); pinha-da-mata (*Rollinia laurifolia*), pau-lagarto (*Casearia sylvestris*) e ingá (*Inga sessilis*), além da ocorrência de palmito (*Euterpe edulis*), bambus e lianas nas áreas de borda. Existem árvores de *Araucaria angustifolia* (ocorrência natural) e *Eucalyptus* sp., plantadas em talhões nas vertentes que emolduram as várzeas.

2.2 Classificação dos solos

Foram realizadas as classificações das trincheiras de solos abertas em três pontos (Figura 11), de acordo com distanciamento do rio, com possibilidade de abertura de trincheira (profundidade suficiente, não existência de raízes grossas, não existência de vias ou edificações), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). Para isto, foram realizados dois dias de trabalho de campo (21 e 22 abril de 2017) para abertura das trincheiras e análise de campo para a classificação.

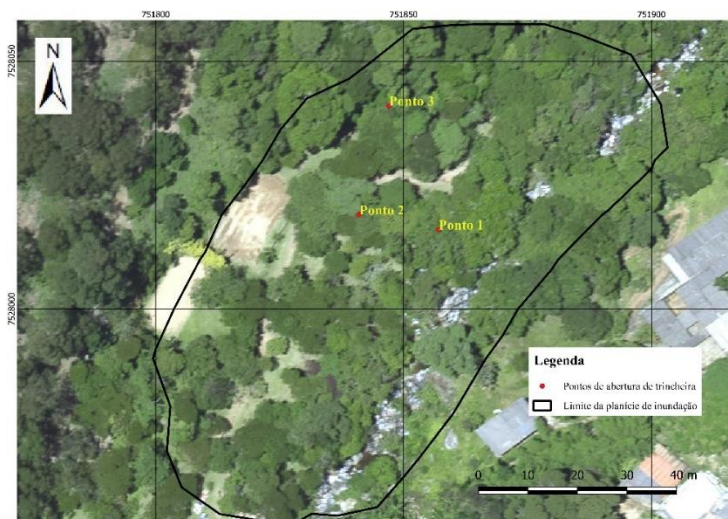


Figura 13: Pontos de abertura de trincheiras para classificação do solo em planície de inundação (em vermelho), sendo o ponto 1 o mais próximo da calha do rio, o ponto 2 em distância intermediária e o ponto 3 o ponto mais afastado.

Os pontos foram escolhidos a partir do distanciamento da calha atual:

- Ponto 1: Ponto mais próximo à calha do rio com possibilidade de abertura de trincheira (Figura 12);



Figuras 14: a) Localização do ponto 1 (mais próximo a calha) e b) trincheira de perfil do solo do ponto 1

- Ponto 2: Ponto que se encontra em aproximada equidistância do ponto 1 e do ponto 3 com possibilidade de abertura de trincheira, (Figura 13);



Figuras 15: a) Localização do ponto 2 (intermediário) e b) trincheira de perfil do solo

- Ponto 3: Ponto com maior distância da atual calha do rio e maior proximidade da vertente e possibilidade de abertura de trincheira (Figura 14).



Figura 16: a) Localização do ponto 3 (mais afastado) e b) trincheira do perfil de solo

A classificação do solo foi realizada para identificação de características que demonstrem capacidade de retenção de água e presença da água no solo como: granulometria, as cores do matiz, ocorrência de mosqueamento, pH, o complexo sortivo, concentração de carbono orgânico.

2.3 Delimitação experimental

Foram realizados dois dias de trabalho de campo para obtenção de amostras para granulometria no mês de junho e nove dias de trabalho de campo para a obtenção da condutividade hidráulica e amostras para densidade do solo, das partículas e porosidade, nos meses de julho e agosto de 2017.

Foram estabelecidos trinta pontos da planície de inundação a partir do método de delineamento em blocos casualizados em três intervalos módulos de afastamento de distância longitudinal do rio (0 – 15 metros – módulo próximo; 15 – 30 metros – módulo intermediário e maior que 30 metros – módulo afastado), figuras 17 e 18.

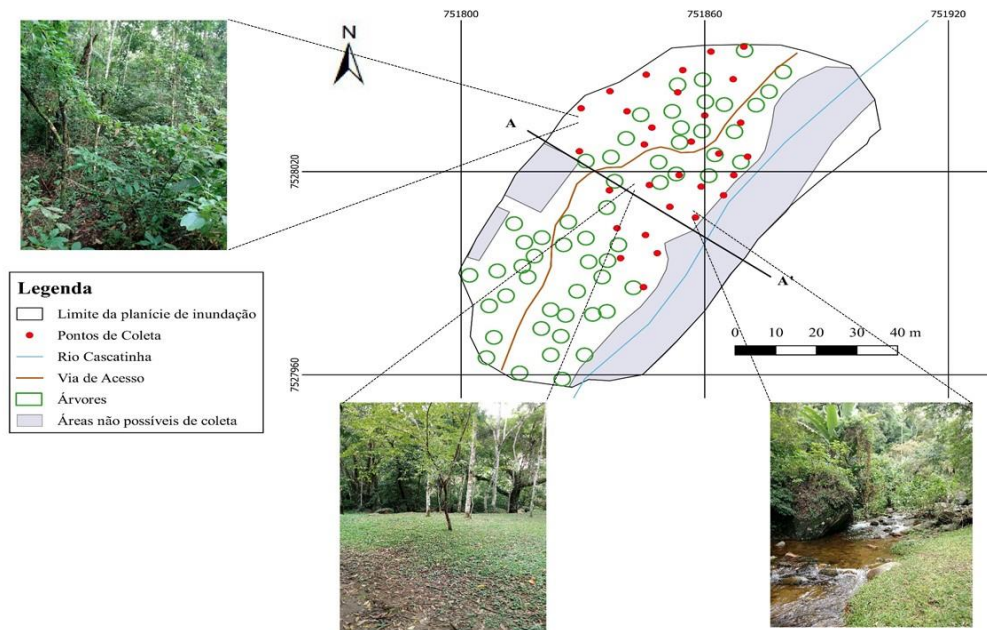


Figura 17: Esquema da planície de inundação, com pontos de coleta de solo (vermelho), via de acesso (marrom), árvores (bordas verdes) e áreas não possíveis de coleta (cinza)

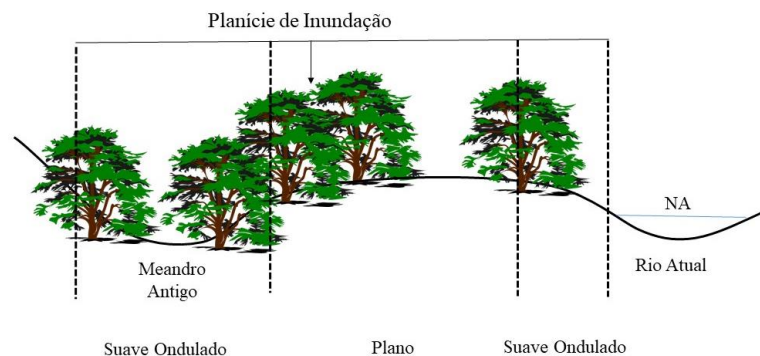


Figura 18: Esquema da topografia da Planície de Inundação segundo corte AA'

Para a escolha dos pontos de amostragem foram descartados os pontos onde se encontram: arbustos e árvores, raízes grandes, solos com profundidade menor que trinta centímetros, pontos onde existem vias de acesso e construções.

Foram realizadas coletas de amostras de solo em profundidades de 0,00 – 0,15 metros; 0,15 – 0,30 metros, além de no módulo entre 15 e 30 metros de distância da calha também ser analisada a profundidade 0,30 – 0,45 metros, para análise da textura do solo, análise química do carbono orgânico, segundo Donagema (2011).

2.3.1 Índice Topográfico de Umidade

O Índice Topográfico de Umidade foi utilizado para obtenção da umidade de cada ponto, elaborada no *software* SAGA GIS 2.0.8 (OLAYA e CONRAD, 2009), através da ferramenta *Terrain Analysis > Hydrology > Topographic Indices*.

2.3.2 Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica foi obtida através da medição da velocidade que a água se movimenta no solo, com a utilização do permeâmetro de *Gelph* com carga constante, e obtida a medida quantitativa da condutividade hidráulica através da aplicação da equação de Darcy após 7 - 8 horas, ou quando os valores atingem a estabilidade, de acordo com Donagema (2011).

Para realizar a medição com o permeâmetro inicialmente foi feito um furo no solo, com auxílio de um trado manual, de acordo com a profundidade desejada. O permeâmetro foi então colocado sobre o furo ajustando as pernas do tripé para que o aparelho fique nivelado. Depois o tubo de acrílico foi preenchido por água e começou-se a fazer as leituras (por meio da régua graduada do tubo de acrílico) em intervalos constantes de tempo. Após um período, que dependeu dentre outros fatores, da umidade antecedente do solo e de sua textura, uma pequena área em torno do furo ficou saturada (Figura 17) e, então, verificou-se o estabelecimento de um fluxo constante de água no solo (AGUIAR, 2001). A partir da determinação deste fluxo e do conhecimento de alguns parâmetros ligados ao equipamento, determinou-se a Condutividade Hidráulica Saturada (K_{sat}) em condições de campo (Figura 18). No presente estudo as leituras foram efetuadas a cada 2 minutos e se estenderam até o momento em que a diferença de pelo menos quatro leituras consecutivas se tornou constantes. Posteriormente foi calculado o fluxo constante em mm/h.. Utilizou-se carga hidráulica constante de 5 cm.

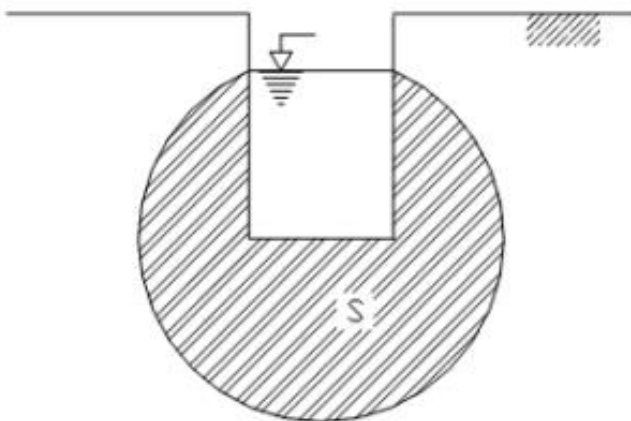


Figura 19: Bulbo de saturação formado em volta do orifício feito no solo para medição da condutividade hidráulica do solo saturado com permeâmetro tipo *Guelph*. Fonte: Aguiar (2001). Onde S= Bulbo de saturação de água no solo pós início da introdução da água pelo permeâmetro



Figura 20: Medição da condutividade hidráulica do solo com permeâmetro de *Guelph*

2.3.2.1 Determinação da Condutividade Hidráulica Saturada (K_{sat})

A K_{sat} foi calculada usando a equação básica para a condição de fluxo sob carga constante, da seguinte forma, equação 1:

$$k_{sat} = \frac{Q - \left(\frac{2\pi H}{C}\right) \phi_m}{\left(\frac{2\pi H^2}{C} + \pi a^2\right)} \quad (2)$$

Onde:

K_{sat} = condutividade hidráulica do solo saturado (mm/h);

H = carga hidráulica (cm);

ϕ_m = potencial matricial, obtido conforme Elrick *et al.* (1989);

a = raio do orifício (cm);

Q = fluxo constante (ml.min⁻¹);

C = fator que considera a geometria das medições, determinado graficamente, de acordo com a textura do solo.

O valor de C pode ser calculado usando equações ajustadas aos gráficos originais, na forma (equação 2):

$$C = A \left(\frac{H}{a}\right)^B \quad (3)$$

Onde:

H = carga hidráulica (cm);
 a = raio do orifício (cm);
 A e B = parâmetros de ajuste segundo o quadro 6

Tabela 7: Parâmetros de ajuste A e B , para o cálculo do fator C . Fonte: Elrick *et al.* (1989)

Textura do Solo	A	B
1 – Arenoso	0,59822327899	0,647467571
2 – Argiloso ou franco estruturad	0,59399456566	0,6365011232
3 - Sem estrutura	0,5697527087	0,6237229652

2.3.3 Textura do solo

Foi realizada com a utilização de dispersante hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio, de agitação mecânica por 15 minutos, e do método da pipeta para determinação das frações granulométricas (DONAGEMA, 2011)).

2.3.4 Densidade do solo

A análise de densidade de solo foi feita a partir do método do anel volumétrico (de Koppecky) Donagema (2011), a partir da equação 3:

$$D_s = \frac{m \text{ de sólidos}}{V \text{ do solo no anel}} \quad (4)$$

Em que:

D_s = Densidade do solo ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$);

m = massa de sólidos contida no solo seca a 105°C (kg); e

V = volume total do anel ou cilindro (dm^3)

2.3.5 Densidade das partículas

A densidade das partículas foi feita a partir da determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa (DONAGEMA, 2011), a partir da equação 4:

$$D_p = \frac{m_s}{V_s} \quad (5)$$

Em que:

D_p = Densidade das partículas ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$);

m_s = Massa de sólidos (kg);

V_s = Volume de sólidos (dm^{-3})

2.3.6 Porosidade do solo

A porosidade do solo foi feita a partir de amostras indeformadas coletadas e guardadas para fins de traslado sendo processados em laboratório, obtendo-se peso da amostra saturada,

em posterior a amostra foi seca e pesada novamente, obtendo-se a porosidade, segundo metodologia proposta por Donagema (2011), a partir da equação 5:

$$PT = \left(\frac{a - b}{a} \right) \times 100 \quad (6)$$

Em que:

PT = Porosidade Total

a = densidade de partícula (kg.dm⁻³)

b = densidade de solo (kg.dm⁻³)

2.3.7 Teor de Carbono Orgânico do Solo

O teor de carbono orgânico foi feito a partir da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor despreendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr) (DONAGEMA, 2011).

2.4 Análise Estatística

Para comparação dos atributos dos módulos de afastamento da planície de inundação foi realizada análise estatística univariada a partir do teste de comparação de média de Tukey, no *software* SPSS 23.0, e posteriormente foi realizada a análise estatística multivariada de componentes principais (ACP), com o complemento *XLstat* do *software Windows Excel* 2013, ao fim comparou-se os resultados.

A análise de Componentes principais é um componente que utiliza uma transformação ortogonal para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas. Foi feita análise dos dados das profundidades de 0,00 a 0,15 metros e 0,15 a 0,30 metros, obtidos de cada módulo de distanciamento.

3 RESULTADOS

Os solos predominantes na planície de inundação foram os Cambissolo Flúvico Tb Distrófico nos três pontos de amostragem de acordo com o distanciamento da calha do rio (Anexos 1, 2 e 3).

Conforme o maior contato com a água a área mais próxima à calha tem a tendência de a condutividade hidráulica saturada ser maior, assim como a composição granulométrica ter maior concentração de areia, maior densidade do solo e das partículas, menor porosidade e menor concentração de carbono orgânico.

O afastamento em relação à calha tende a diminuir a condutividade hidráulica saturada, assim como a composição granulométrica ter maior concentração de argila e silte, menor densidade do solo e das partículas, maior porosidade e maior concentração de carbono orgânico.

Comparação de médias – Estatística Univariada

Por se tratar de uma modelagem hidrológica, cujo algoritmo aplicado tem como parâmetros o Modelo Digital de Elevação, a área de contribuição do rio e a declividade (BEVEN e KIRKBY, 1979), o índice topográfico de umidade não apresentou diferenciação nas diferentes profundidades. Os resultados evidenciam que o índice topográfico de umidade na área de 0 a 15 metros de distância da calha não teve diferença estatística do trecho de 15 a 30 metros, porém observou-se que de 0 a 30 metros de distância da calha o índice foi maior que a área mais afastada da calha (mais de 30 m) (Quadro 7).

A condutividade hidráulica saturada de um solo depende da forma, quantidade, distribuição e continuidade dos poros (MESQUITA e MOARES, 2004). A área de 0 a 15 metros de distância da calha do rio apresentou maior condutividade hidráulica saturada. A partir de 15 metros de distância do rio até o ponto de inflexão com a vertente a condutividade hidráulica não teve variação (ver Quadro 7).

Quadro 5: Comparação de média das variáveis por afastamento da calha e profundidade

Variáveis	Profundidade (m)	Módulos		
		Próximo	Intermediário	Afastado
Índice Topográfico de Umidade	0,00 – 0,15			
	0,15 – 0,30	6,10 A	5,55 A	2,20 B
	0,30 – 0,45			
	Média			
Condutividade Hidráulica (log)	0,00 – 0,15	1,51 A a	1,07 A a	1,38 A a
	0,15 – 0,30	1,34 A a	0,97 AB a	0,70 B b
	0,30 – 0,45	-	0,85 a	-
	Média	1,43 A	0,97 B	1,04 B
Argila	0,00 – 0,15	13,63 B a	13,60 B a	20,11 Aa
	0,15 – 0,30	12,23 B a	15,72 B a	22,95 Aa
	0,30 – 0,45		14,44 a	
	Média	12,93 B	14,59 B	21,53 A
Silte	0,00 – 0,15	28,19 A a	28,78 A a	34,74 Aa
	0,15 – 0,30	25,09 A a	27,73 A a	28,25 A a
	0,30 – 0,45		23,31 a	
	Média	26,64 A	26,72 A	31,49 A
Areia	0,00 – 0,15	58,18 A a	57,62 A a	45,15 Aa
	0,15 – 0,30	62,68 A a	56,55 AB a	48,80 Ba
	0,30 – 0,45		62,24 a	
	Média	60,43 A	58,68 A	46,97 B
Densidade do solo	0,00 – 0,15	1,15 A a	1,06 AB a	0,87 B a
	0,15 – 0,30	1,17 A a	1,14 A a	1,0 A a
	0,30 – 0,45		1,10 a	
	Média	1,16 A	1,10 A	0,94 B
Densidade das partículas	0,00 – 0,15	2,43 A a	2,37 AB a	2,29 B a
	0,15 – 0,30	2,39 A a	2,4 A a	2,33 A a
	0,30 – 0,45		2,42 a	
	Média	2,41 A	2,39 A	2,31 B
Porosidade	0,00 – 0,15	52,63 B a	54,94 AB a	61,93 A a
	0,15 – 0,30	51,22 A a	52,47 A a	56,82 A a
	0,30 – 0,45		6,83 a	
	Média	51,93 B	53,95 B	59,38 A
Carbono Orgânico Total	0,00 – 0,15	30,06 AB a	28,75 B a	35,79 A a
	0,15 – 0,30	28,86 A a	25,82 A a	34,04 A a
	0,30 – 0,45		24,8 a	
	Média	29,46 B	26,51 B	34,91 A

Linhas: Letras maiúsculas – comparação entre blocos (na mesma linha); Colunas: Letras minúsculas – comparação entre profundidades no mesmo bloco (na mesma coluna).

A variação granulométrica das áreas de várzea dependem da direção dos fluxos predominantes que podem ser de montante para jusante dentro da várzea ou da calha para o interior da várzea e uma relação biunívoca. Existe maior concentração de argila na área com mais de 30 metros de distância da calha do rio. Não existe diferença significativa de concentração de argila na área com até 30 metros de distância da calha.

A concentração de silte não apresentou diferença significativa em toda a planície. Observa-se que a área com distância de até 30 metros da calha apresenta maior concentração de areia que o resto da planície (ver Quadro 7).

As médias de densidade do solo apresentam padrão compatível com a textura encontrada, ao se perceber que onde se encontrou maiores concentrações de areia foram evidenciadas maiores densidades do solo, assim como também foram encontradas maiores médias de densidade das partículas, nas áreas mais próximas da calha do rio (até 30 metros de distância) (ver Quadro 7).

A porosidade total da planície também está vinculada com a textura do solo, e percebe-se que na área onde se encontrou maiores concentrações de argila também foram encontradas maiores médias de porosidade, na área com mais de 30 metros de distância da calha do rio (ver Quadro 7).

A concentração de carbono orgânico é controlada por diversos fatores como o clima, a textura e a estrutura do solo, além da forma de manejo e uso do solo (SCHLESINGER, 2000). Na planície de inundação foram encontradas maiores concentrações na área mais afastada da calha, área de maior cobertura vegetal (mais de 30 metros de distância). Os resultados das áreas mais próximas (0 a 15 metros e 15 a 30 metros) foram menores (ver Quadro 7).

Além da conectividade hidrológica lateral que ocorre no sistema rio – planície de inundação, ocorre a conectividade vertical da água no solo que pode ser expressa nas diferentes profundidades do solo. A análise exploratória em campo evidenciou que se tratam de solos rasos que não ultrapassam a profundidade de 1 metro, sobrepostos aos blocos de rocha entulhados, além de blocos de rocha e matriz rochosa expostos.

A análise dos resultados levando em conta o afastamento da calha do rio e as profundidades detalhadas mostrou que a condutividade hidráulica saturada apresentou diferença na profundidade de 0,15 a 0,30 metros, em que a da área com até 15 metros de distância é maior que a da área mais distante e não apresenta diferença com a da área com a distância entre 15 e 30 metros, enquanto que a área de 15 a 30 metros de distância não apresenta diferença com as áreas vizinhas (ver Quadro 7).

A concentração de argila e silte apresentou tendência semelhante na comparação por profundidades ao observado na comparação da média. A concentração de areia apresentou igualdade de resultados em profundidade de 0,00 a 0,15 metros. Na profundidade de 0,15 a 0,30 metros os resultados apresentam comparação idêntica à feita sobre a condutividade hidráulica, sugerindo assim correlação entre a condutividade hidráulica e a concentração de areia (ver Quadro 7).

A densidade do solo e a das partículas apresentaram diferenças na comparação de médias da profundidade de 0,00 a 0,15 metros, sendo maior na área mais próxima à calha (até

15 metros), menor na área mais afastada (mais de 30 metros). Na área intermediária não houve diferença de média com as áreas vizinhas (ver Quadro 7).

A porosidade do solo em profundidade de 0,00 a 0,15 metros apresentou resultados inversamente proporcionais às densidades, tendo a área mais afastada maior porosidade, a área mais próxima com menor porosidade. A área intermediária não apresentou diferença de média com as áreas vizinhas (ver Quadro 7).

A concentração de carbono orgânico na profundidade de 0,00 a 0,15 metros apresentou similaridade da área com até 15 metros de distância e da área com mais de 30 metros de distância, sendo maiores que a área entre 15 e 30 metros de distância. Em profundidade de 0,15 a 0,30 metros não houve diferença da concentração de carbono orgânico em toda a planície (ver Quadro 7).

Ao se comparar as profundidades por bloco observa-se que apenas na área com mais de 30 metros de distância houve diferença na comparação de média das variáveis, está se dá na condutividade hidráulica saturada em que a profundidade entre 0,00 e 0,15 metros é maior que a da profundidade entre 0,15 e 0,30 metros (ver Quadro 7).

Análise de Componentes Principais – profundidade 0,00 a 0,15 metros

Inicialmente foi realizada uma matriz de correlação dos dados, que apontou que a condutividade hidráulica saturada não teve correlação com nenhuma outra variação, motivo pelo qual foi descartada da análise dos componentes principais, para que o resultado da análise tenha maior eficiência (Quadro 8).

Quadro 6: Matriz de Correlação das variáveis do solo em profundidade de 0,00 a 0,15 metros

	Ds	Dp	PT	AT(%)	S (%)	ArgT (%)	COT%	ksat	TWI
Ds		0,672	-0,983	0,411	-0,264	-0,397	-0,214	0,083	0,511
Dp			-0,530	0,223	0,026	-0,517	-0,125	0,088	0,485
PT				-0,401	0,293	0,325	0,209	-0,046	-0,47
AT (%)					-0,882	-0,539	-0,148	0,239	0,496
S (%)						0,078	0,075	-0,324	-0,29
ArT (%)							0,179	0,073	-0,54
COT%								0,036	-0,42
ksat									-0,02
TWI									

Em negrito, valores significativos (fora diagonal) à margem de alfa=0.050 (prova bilateral)

Legenda: Ds – Densidade do Solo; Dp – Densidade das Partículas; PT – Porosidade Total; AT – Areia Total; S – Silte; ArT – Argila Total; COT – Carbono Orgânico Total; ksat – Condutividade Hidráulica Saturada; TWI – Índice Topográfico de Umidade

A Análise dos Componentes Principais (ACP) em profundidade 0,00 a 0,15 metros explicita 66,61% das variações dos dados e demonstra nítida separação da área com distância superior a 30 metros da calha do rio. Enquanto este setor apresenta maiores valores relacionados à porosidade total, argila total, carbono orgânico total e silte, apresenta menores valores de areia total, densidade do solo e da partícula e de índice topográfico de umidade (Figura 20).

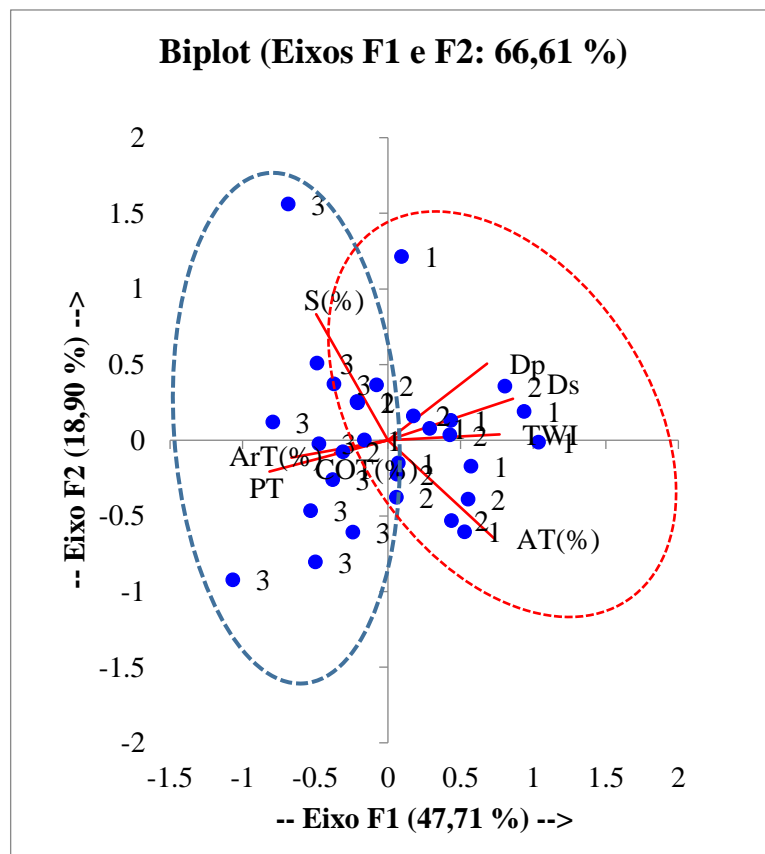


Figura 21: Análise Multivariada dos Componentes Principais das variáveis do solo, em profundidade de 0,00 a 0,15 metros.

Legenda: 1 – Próximo; 2 – Intermediário; 3 – Afastado; Ds – Densidade do Solo; Dp – Densidade das Partículas; PT – Porosidade Total; AT – Areia Total; S – Silte; ArT – Argila Total; COT – Carbono Orgânico Total; TWI – Índice Topográfico de Umidade.

Análise dos Componentes Principais – profundidade 0,15 a 0,30 metros

Assim como na profundidade superficial foi realizado a matriz de correlação entre as variáveis, que mostrou que o carbono orgânico total não teve correlação com outra variável, o que fez com que fosse retirada da análise estatística (Quadro 9).

Quadro 7: Matriz de Correlação das variáveis do solo analisadas em profundidade de 0,15 a 0,30 metros.

	Ds	Dp	PT	COT (%)	ArT (%)	AT (%)	S (%)	ksat	TWI
Ds		0,376	-0,98	-0,151	-0,342	0,494	-0,447	0,267	0,242
Dp			-0,20	-0,272	-0,343	0,369	-0,265	-0,03	0,251
PT				0,109	0,298	-0,445	0,411	-0,30	-0,213
COT%					0,145	-0,284	0,297	-0,18	-0,150
ArT(%)							0,307	-0,40	-0,729
AT (%)							-0,856	0,349	0,445
S (%)								-0,19	-0,071
ksat									0,291
TWI									

Em negrito, valores significativos (fora diagonal) à margem de alfa=0,05 (prova bilateral)

Legenda: Ds – Densidade do Solo; Dp – Densidade das Partículas; PT – Porosidade Total; AT – Areia Total; S – Silte; ArT – Argila Total; COT – Carbono Orgânico Total; ksat – Condutividade Hidráulica Saturada; TWI – Índice Topográfico de Umidade

A análise dos componentes principais em profundidade 0,15 a 0,30 metros explicita 64,73% das variações dos dados e demonstra que o setor afastado a mais de 30 metros de distância da calha do rio apresenta valores diferentes com a área com distância menor que 30 metros. Enquanto a parte mais próxima ao rio apresenta maiores valores relacionados ao índice topográfico de umidade, condutividade hidráulica saturada, areia total, densidade do solo e das partículas a área mais afastada apresenta valores maiores de porosidade total, silte e argila total (Figura 21).

Observou-se que nas profundidades analisadas foi possível estabelecer diferenciação dos resultados entre os módulos de afastamento. Até a distância de 30 metros foi percebida similaridade, enquanto acima de 30 metros houve diferenciação dos dados.

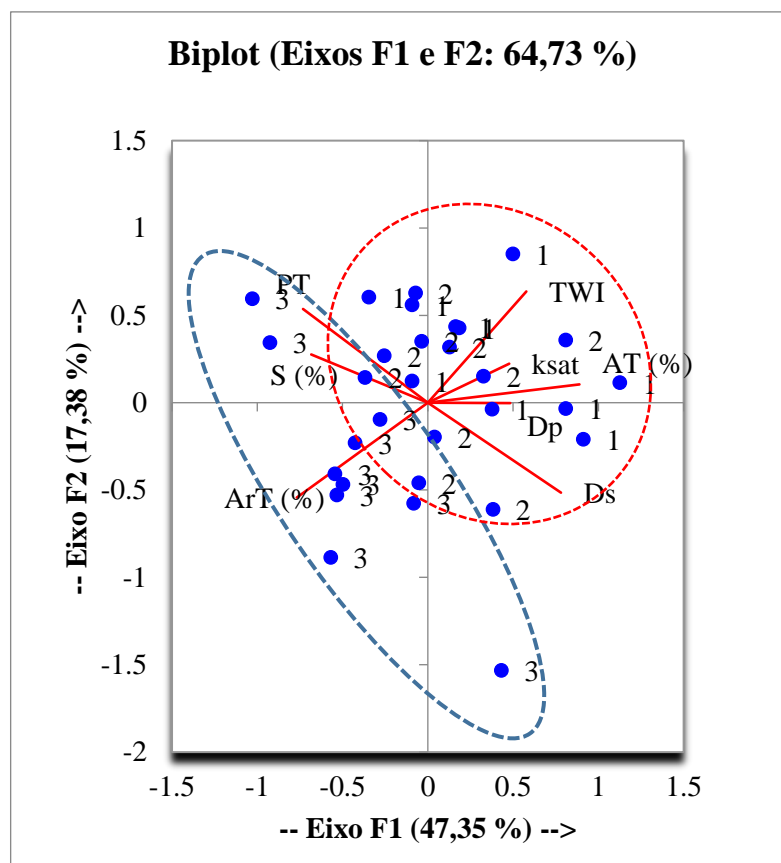


Figura 22: Análise Multivariada dos Componentes Principais das variáveis do solo, em profundidade de 0,15 a 0,30 metros.

Legenda: 1 – Próximo; 2 – Intermediário; 3 - Afastado Ds – Densidade do Solo; Dp – Densidade das Partículas; PT – Porosidade Total; AT – Areia Total; S – Silte; ArT – Argila Total; ksat – Condutividade Hidráulica Saturada; TWI – Índice Topográfico de Umidade

4 DISCUSSÃO

As feições geomorfológicas do terreno são fruto do produto entre o poder de trabalho das forças de modelagem (clima e seres vivos) com a resistência do substrato geológico que estão em contínua dinâmica de ajuste (HACK, 1960).

As planícies de inundação são unidades geomorfológicas dinâmicas de uma bacia hidrográfica e sofrem modificações crônicas (meses a anos) e episódicas (décadas a séculos) (GREGORY *et al.*, 1992). Esta dinamicidade repercute tanto de modo hidrológico, ecológico e geomorfológico (KESEL, 2003).

As planícies de inundação podem ocorrer por toda a extensão dos rios, como resultado da deposição de sedimentos em diferentes períodos (ROCHA, 2013), oriundas da combinação dos fluxos dos rios com sua velocidade, vazão e dinâmica de inundação, ao ponto de apresentarem formas de erosão e deposição de sedimentos ao longo dos canais fluviais (BERTOLDI *et al.*, 2010).

Nanson e Croke (1992) afirmam que em áreas montanhosas com grande poder de descarga, as planícies de inundação estão contidas em vales confinados com leito rochoso em gradiente íngreme, em que os vales confinados experimentam inundações oriundas de eventos com alta magnitude com grande intervalo de recorrência. Fruto desta combinação os sedimentos encontrados são grosseiros (combinação de cascalhos e pedregulhos com areia e solo enterrado). Tais sedimentos se depositam de forma vertical e lateral em diques com crescimento contínuo que retém o fluxo dentro do canal.

A composição geológica da planície de inundação estudada indica que a mesma se formou a partir de depósitos de sedimentos com entulho de detritos grosseiros em sub superfície com posterior deposição de sedimentos de menor granulometria, sem a formação de alveólo sobre o talvegue em vale encaixado nos maciços montanhosos. Estas condicionantes também foram observadas em outro estudo (FREITAS *et al.*, 2017). Em sobreposição, ocorreu acúmulo de sedimentos como calhaus, areia, silte e argila que em conjunto com a matéria orgânica formam o solo da planície.

A composição granítica da região, onde o processo de intemperismo ocorre nos planos de falha e fratura da rocha granítica (de alta resistência) justifica a existência de vales suspensos por nível local de base o que gera grande acúmulo sedimentar no fundo dos mesmos (FREITAS *et al.*, 2017).

A topografia local sugere a existência de um meandro abandonado no limite esquerdo da planície e mudança da direção da drenagem pelo dique central (formado por matacões e sedimentos grosseiros) que barraram o caminho inicial encaixando a calha à direita, dando forma assimétrica à planície de inundação, o que sugere a atuação de uma tectônica recente. A barra central da planície apresenta solos de maior profundidade, chegando a mais de 1,0 metros de profundidade.

A planície de inundação apresenta grande variação de profundidade de solo, sendo possível encontrar matacões depositados a 4 centímetros de profundidade enquanto que em pequenas distâncias observam-se profundidades superiores a 1,0 metro.

Solos de planície de inundação se desenvolveram a partir de sedimentos, oriundos de diversas fontes, cuja grande variabilidade horizontal e vertical influencia marcadamente as camadas e seus horizontes (CURI *et al.*, 1988). Eles podem ter variações de granulometria e distribuição do conteúdo de carbono em profundidade.

Solos destes tipos de regiões teoricamente tendem a permanecer saturados e serem moderadamente a mal drenados, consequência da topografia plana combinada com a

proximidade da calha do rio, camada impeditiva rasa (depósito de tálus) e existência do lençol freático.

O solo formado na área é resultado da interação do material de origem granítica – fruto do plutonismo, deformação e metamorfismo neoproterozóico-paleozóico -, relevo local em altitude superior a 1.000 metros, plano a suave-ondulado circundado por relevo escarpado, clima tropical de altitude e vegetação ombrófila densa montana.

Os Cambissolos Flúvicos encontrados na planície de inundação apresentam-se moderadamente drenado e a água é removida do solo um tanto lentamente, de modo que o perfil permanece molhado por uma pequena, porém significativa, parte do tempo e variação errática da granulometria e distribuição errática do conteúdo de carbono (IBGE, 2015).

Na intenção de classificar hidrologicamente o solo, Sartori (2005) identifica Cambissolos como: solo profundo (100 cm a 200 cm) ou pouco profundo (50 cm a 100 cm), com textura nos horizontes superficial e subsuperficial arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa, com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão. Esta classe de solo apresentou baixo potencial de infiltração e de armazenamento em profundidade nos estudos realizados por Chiaranda (2002), além de acentuada tendência ao encrostamento (impermeabilização superficial), e alta suscetibilidade à erosão hídrica em estudos de Menezes *et al*, (2009).

Vale ressaltar que no mês de julho no intervalo de 01 a 16 de julho de 2017 (datas prévias ao campo) a precipitação registrada foi de 99,4 mm sendo que a partir do dia 04 de julho não houve precipitação superior a 1 mm/dia. No intervalo do dia 17 de julho de 2017 até 05 de agosto de 2017 (datas do trabalho de campo) foram registrados 24,8 mm de precipitação pela Estação Nova Friburgo – Salinas A624 (INMET, 2018).

A modelagem do índice topográfico de umidade, em formato *raster*, apresenta diferentes índices no qual o maior valor representa áreas de maior concentração de umidade, enquanto o seu oposto representa áreas com baixa concentração de umidade. A conectividade lateral da calha com a planície de inundação explica o fato de as áreas mais próximas da calha sejam áreas mais úmidas, mesmo em período de estiagem. Nas áreas mais afastadas, no caso a partir de 30 metros de distância, a umidade é menor, pois apenas em períodos de chuva a água da calha do rio tem capacidade de saturar esta área. Lima e Zakia (2000) esclarecem esta variação da "área variável de afloramento" (A.V.A) contribui na formação do escoamento direto da bacia.

O fato de estar mais próximo da calha faz com que exista uma interação entre a variação do fluxo da calha e a planície nos primeiros 15 metros, e interfere na recarga e descarga da mesma. Como as medições foram feitas em período de estiagem esta área provavelmente está sendo a responsável pela regularização hídrica do rio, motivo pelo qual ela teve maior condutividade hidráulica (GONÇALVES e LIBARDI, 2013). Como as áreas de 15 a 30 e de mais de 30 metros apresentaram menor condutividade hidráulica em período de estiagem, elas provavelmente estão fornecendo água para a zona mais próxima da calha (de 0 a 15 metros). Esta pequena conectividade lateral da planície em área de cabeceira é corroborada pelo que foi observado por Ward e Standford (1995).

A granulometria do solo de áreas próximas à calha é influenciada pelo movimento da água constante que transporta sedimentos de menores granulometrias (argila e silte). Tais sedimentos assumem duas direções - de montante para jusante e direção lateral - se acumulando nos pontos mais afastados da calha, como se observou nos resultados.

Os resultados de densidade e porosidade corroboram com estudos que correlacionam a densidade do solo e a porosidade, uma vez que solos mais densos apresentam menor porosidade onde ocorre diminuição da entrada de água no perfil do solo e no comportamento da sua redistribuição e retenção, o que influencia em alguns segmentos da dinâmica hídrica como, a capacidade de infiltração, percolação da água e escoamento superficial estas propriedades estão diretamente relacionadas com o potencial de infiltração e armazenamento de água no solo, uma vez que áreas com solos menos porosos tendem a apresentar dificuldade de infiltração da água (ALVES *et al.*, 2007; GOMEZ *et al.*, 2012).

Gonçalves e Libardi (2013) atestam a dependência entre os valores de condutividade hidráulica e macroporosidade, o que não foi percebido neste trabalho. Os mesmos autores indicam que a condutividade hidráulica é mais dependente da estrutura do que da textura do solo.

O carbono orgânico do solo tem seus cátions adsorvidos pela argila, logo observa correlação de concentração das duas variáveis. No caso da área estudada a área mais distante (superior à 30 metros da calha) possui maior concentração de argila e de carbono orgânico. Luciano *et al.* (2010) encontraram resultado em que o teor de carbono aumentou linearmente com a diminuição da densidade do solo, relacionando este fator ao efeito integrado dos atributos físicos e químicos do solo, que em conjunto atuam na melhoria da qualidade da estrutura. Os autores indicam que a redução da densidade se dá devido à proteção física do carbono orgânico exercida pelos constituintes minerais, indicando que solos argilosos promovem maior proteção

do teor de carbono orgânico (BAYER *et al.*, 2000; AMADO *et al.*, 2001). Nesse solo, os autores constataram menor proteção do teor de carbono orgânico promovida pela granulometria do solo em relação a um solo mais argiloso.

Tendo em mente o baixo potencial de recarga do solo da planície de inundação, com base nos atributos pedológicos, a fração orgânica do solo junto a vegetação tem a função de gerar cargas e ciclar nutrientes, sendo estes mecanismos de grande importância para controle da qualidade da água, o desenvolvimento das plantas e manutenção do escoamento sub superficial em período de estiagem (MENEZES *et al.*, 2009).

A diferença de concentração de carbono orgânico nas camadas superficiais indica a sua origem atrelada à vegetação presente na área, já que é a área com maior concentração de árvores e arbustos mais desenvolvidos, e à concentração de argila da área. Corazza *et al.* (1999) na comparação de concentração de carbono orgânico em solos com diferentes usos encontram maior diferenças em camadas superficiais e observaram que áreas onde não há perturbação do solo tende a ter maior concentração de carbono orgânico, o que também foi observado por Wendling *et al.* (2005).

Os resultados obtidos a partir da comparação das profundidades sugerem a atuação do lençol freático com maior pronunciamento na área com até 30 metros de distância da calha, uma vez que a obtenção dos dados em campo foi feita em momento de estiagem.

A maior condutividade hidráulica da área próxima à calha indica constância de transporte de sedimentos finos e como resultado maior concentração de areia nestes pontos. Assim como a condutividade hidráulica, a concentração de areia indica a atuação do lençol freático, sendo que neste período hidrológico tem maior pronunciamento na região com até 30 metros de distância do rio, o que conforme Gonçalves e Libardi (2013) ocorre em solos saturados de água.

A classificação dos perfis do solo na planície de inundação indicou que o solo é homogêneo em profundidade, e esta homogeneidade foi corroborada pela comparação dos resultados das variáveis levando em conta as diferentes profundidades.

Os dados integrais de todas as variáveis e o detalhamento entre distâncias longitudinais e entre profundidades sinalizaram que não existe setorização hidrológica nítida na área da planície a partir da calha na análise univariada. A setorização em duas partes, a partir do solo até 45 centímetros de profundidade, não foi bem definida através da leitura dos dados, pela diversidade dos resultados.

A análise de componentes principais indicou incipientemente dois setores hidrológicos, a partir das variáveis estudadas.

O primeiro setor, que varia de 0 a 30 metros de distância da calha do rio apresentou nas duas profundidades estudadas maiores valores relacionados ao índice topográfico de umidade, à densidade do solo e a das partículas, além de maior concentração de areia. Esta condição explicita que apesar de maior umidade na área ocorre menor potencial de armazenamento de água no solo. Além disso, em profundidade de 0,15 a 0,30 metros a condutividade hidráulica maior indica que a água se desloca de maneira mais rápida.

O segundo setor, com distância maior que 30 metros apresenta maior valor de porosidade do solo e maiores concentrações de argila e silte. Esta condição explicita que é a área com maior capacidade de armazenamento de água. Na profundidade de 0,15 a 0,30 metros a o teor de carbono orgânico desta área é maior o que também favorece a capacidade de armazenamento de água no solo. Este resultado é corroborado por outros estudos (FELLER e BEARE, 1997; GOMES *et al.*, 2004).

Apesar do importante papel no escoamento sub superficial dos poros entre os blocos de rocha entulhados nas áreas mais baixas do talvegue onde a planície de inundação está presente foi possível o estabelecimento de setorização hidrológica a partir dos parâmetros estudados, sendo que a planície apresenta diferenciação dos atributos do solo a partir de 30 metros de distância da calha atual do rio.

A setorização hidrológica estabelecida necessita ser incorporada no planejamento e manejo dentro das planícies de inundação com estas características, já que existe uma área de maior conectividade com o rio, responsável pela regularização hídrica do mesmo.

5 CONCLUSÃO

A condição hidrológica da planície não se encontra relacionada à dinâmica hídrica dos solos em âmbito de pequenas profundidades (<0,45 m). Os grandes detritos depositados em sub superfície podem estar modificando o escoamento da água da planície, porém, ainda assim, foi observada setorização hidrológica a partir dos atributos do solo.

Estratégias de manejo que visam retardar o escoamento da água, como as soleiras de admitância, precisam estar sincronizadas com as vulnerabilidades ambientais que podem gerar nesta área, uma vez que há vulnerabilidade a movimentos de massa e inundações.

CONCLUSÃO FINAL

A Bacia R2R tem a dinâmica climática influenciada pelo seu posicionamento a sotavento da cadeia de montanhas da Serra do Mar, que concentra as maiores pluviosidades em cerca de 13,1% da área da bacia, em sua cabeceira.

Esta condição eleva a importância das planícies de inundação de cabeceira, uma vez que são unidades geomorfológicas que desempenham serviços ecossistêmicos hidrológicos relevantes, como a retenção hídrica, sendo que 498 planícies têm características morfométricas (altitude, índice de circularidade e área) e de uso e cobertura do solo que potencializam a capacidade de retenção hídrica.

Estas planícies estão inseridas em microbacias com características morfométricas (área e índice de circularidade) consonantes com a potencialização da capacidade de retenção hídrica. As vertentes inseridas nas microbacias apresentam maiores índices de orientação a barlavento das massas de ar úmidas e de plano de curvatura côncavo, que potencializam a captação e a transmissão da água da chuva, respectivamente.

As planícies de inundação da cabeceira do R2R apresentam a tendência de serem condicionadas por controles geológicos de tectônica recente. Suas formações estão atreladas a depósitos de sedimentos de variada granulometria com origem de montante. A deposição de blocos, oriundos de eventos de alta magnitude, estabilizados por controle estrutural é coberta por sedimentos menores, oriundos de eventos de pequena e média magnitude, e formam assim, o solo da planície de inundação.

Os blocos de rocha depositados em sub superfície condicionam o escoamento sub superficial da água, o que dificulta o levantamento de evidências claras que permitam setorizar hidrologicamente a planície de inundação com esta configuração geológica a partir das condicionantes pedológicas.

Além disso, o padrão de drenagem retilíneo com alto gradiente de declividade dos canais dificulta o estabelecimento da conectividade lateral do sistema rio-planície, o que foi evidenciado pela observação de que uma pequena parte da planície (até 30 metros de distância da calha) mantém a regularização hídrica do rio.

Conclui-se que a bacia R2R é dependente das planícies de inundação de sua cabeceira para a perenidade de oferta de água. Porém a dificuldade de armazenamento de água nestas unidades alerta para que o gerenciamento destas áreas seja criterioso e restritivo, além de estar consonância com as vulnerabilidades ambientais da região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As planícies de inundação de cabeceira da bacia R2R têm importante função hídrica no interior da bacia, uma vez que, se localiza em região onde ocorre maior índice de pluviosidade.

Apesar de suas pequenas áreas, em relação com as planícies a jusante, muitas estão localizadas em áreas de difícil acesso, onde a especulação sobre a terra é pequena, o que favorece práticas de manejo que não desgastem a relação entre os órgãos responsáveis pelo gerenciamento da bacia e os demais setores da sociedade.

A análise geomorfológica das vertentes e das planícies de inundação através de ferramentas de geoprocessamento e do Sistema de Informações Geográficas – SIG's – se torna ferramenta importante pelo custo relativamente menor, acesso a áreas de difícil contato e eficiência dos resultados.

A seleção de planícies de inundação para manejo a partir de atributos geomorfológicos e do uso e cobertura do solo torna o planejamento e o manejo da bacia hidrográfica mais eficiente.

A iniciativa de setorização de uma planície de inundação permite identificar diferenciações na dinâmica da água no solo obtendo-se assim setores que têm maior interação hidrológica com a calha do rio, o que eleva sua importância para conservação.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. B. **O emprego do permeâmetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camada de lixo e sua cobertura.** 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- ALVES, M.; SUZUKI, L.G; SUZUKI, L. E. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, 2007.
- AMADO, T.; BAYER, C.; ELTZ, F.; BRUM, A; Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, 2001.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. **Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano.** Instituto de Economia–Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), SP: Texto para Discussão, v. 155, 2009.
- ANDRÉ, R. G. B.; MARQUES, V. D. S.; PINHEIRO, F. M. A.; & FERRAUDO, A. S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4, p. 501-509, 2008.
- ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - AGEVAP; **Relatório de Situação da Região Hidrográfica do Rio dos Rios**, Resende, RJ, 66p. 2015.
- ATTANASIO, C.M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade.** 2004. 193p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP 2004.
- BAPTISTA, M. N.; VALCARCEL, R; MATEUS F. A.; MEDEIROS, W. Impact of urbanization on the hydrodynamics of a water table in a floodplain with high potential for renaturation. **Water Resource Management**, v. 31, p. 4091 – 4102, oct/2017.
- BARBOZA, R. S. **Caracterização das bacias aéreas e avaliação da chuva oculta nos contrafortes da Serra do Mar.** 2007. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- BAYER, C; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeitos de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.599-607, 2000.
- BERTOLDI, W.; ZANONI, L.; TUBINO, M. Assessment of morphological changes induced by flow and flood pulses in a gravel bed braided river: The Tagliamento River (Italy). **Geomorphology**, v. 114, n. 3, p. 348-360, 2010.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M., ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 829-834, 2002.
- BEVEN, K.; KIRKBY, M. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. **Hydrological Sciences Journal**, v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979.

- BLOOM, A. L. **Superfície da Terra**. São Paulo: Edgard Blücher, [1970]. 184 p.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and river management: applications of the river styles framework**. Ed: John Wiley & Sons, 2005. 416 p.
- BRUIJNZEEL, L. A.; MULLIGAN, Mark; SCATENA, Frederick N. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. **Hydrological Processes**, v. 25, n. 3, p. 465-498, 2011.
- BUARQUE, D. C.; FAN, F. M., PAZ, A. R., & COLLISCHONN, W. Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, p. 91-103, 2009.
- BUENO, M. Serviços ambientais em microbacias antropizadas. 2017. 105p. **Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais)**. Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- CARDOSO, A. C.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, MG v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo-GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia plena**, Goiania – GO; v. 5, n. 2, p. 1 - 7, 2009.
- CHIARANDA, R. **Usos da Terra e Avaliação da Capacidade Potencial de Armazenamento de Água da Bacia do Rio Cuiabá-MT.**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Programa de Pós-Graduação Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. 362p.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo: **Edgard Blücher**, 1981. 297 p.
- CORAZZA, E.; SILVA, J.; RESCK, D.; GOMES, A. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, 1999.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. (2001) **Mapa de isoietas do estado do Rio de Janeiro**. Brasília. 1 mapa. Escala 1:500.000. 1 CD-ROM.
- CUNGE, J.; HOLLY, F.; VERWEY, A. **Practical aspects of computational river hydraulics**. Pitman Publishing, London, 1980. 420 p.
- CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, P. D.. Solos de várzeas de Minas Gerais. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado**. Informativo Agropecuário, Belo Horizonte (ALICE), p. 3-10. 1988.
- DALRYMPLE, J.B.; BLONG, R.J.; CONACHER, A.J. A hypothetical nine unit landsurface model. **Zeitschrift für Geomorphology**, v.12, n. 1 p. 60-76, 1968.
- DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. D. M.; SILVA, C. R. D.; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A. D. **Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro**. Serviço Geológico do Brasil/ CPRM, 2005, 35 p.
- DE MARTINO, G.; DE PAOLA, F.; FONTANA, N.; MARINI, G.; RANUCCI, A. Experimental assessment of level pool routing in preliminary design of floodplain storage. **Science of the Total Environment**, v. 416, p. 142-147, 2012
- DONAGEMA, G. K; DE CAMPOS, D. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. M. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. **Groundwater Monitoring & Remediation**, v. 9, n. 3, p. 184-193, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ) **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA – SNLCS. Micelânea 1).

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 11, p. 1583-1590, nov. 2008.

FRAPPART, F.; SEYLER, F.; MARTINEZ, J.-M.; LEÓN, J. G.; CAZENAVE, A. Floodplain water storage in the Negro River basin estimated from microwave remote sensing of inundation area and water levels. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, n. 4, p. 387– 399, 2005.

FREITAS, M.; SILVA, L.; TUPINAMBÁ, M. Domínios Geomorfológicos no Parque Estadual dos Três Picos–RJ e sua relação com aspectos geológicos. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 1, 2017.

FUNDAÇÃO CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICAS, PESQUISAS E FORMAÇÃO DE SERVIDORES PÚBLICOS DO RIO DE JANEIRO. Disponível <<http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/pib/pib.html>> Acesso em: 22 de novembro de 2017.

GARBOSSA, R. A. **Controle litoestrutural na organização da bacia do rio Tagaçaba (Paraná): uma análise morfométrica da rede de drenagem**. 2003. 136p. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2003.

GHERMANDI, A.; BERGH, J. C. J. M. VAN DEN; BRANDER, L. M.; GROOT, H. L. F. DE; NUNES, P. A. L. D. Values of natural and human-made wetlands: A meta-analysis. **Water Resources Research**, v. 46, n. 12, p. 01-12, 2010.

GOMES, J.; CURI, N.; MOTTA, P.; KER, J.; MARQUES, J.; SCHULZE, D. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 137 – 153, 2004.

GREGORY, K. L.; WALLING, D. E. **Drainage basin from and process: a geomorphological approach**. Londres, Inglaterra: Ed. Edward Arnold, 1985. 458p.

GREGORY, S.V.; F.J. SWANSON; W.A.; MCKEE; K.W. C. An ecosystem perspective of riparian zones. **BioScience**, Oxford, Inglaterra v. 41, n. 8, p.540-551, 1992.

GRYGORUK, M.; MIROSŁAW-ŚWIĄTEK, D.; CHRZANOWSKA, W.; IGNAR, S. How much for water? Economic assessment and mapping of floodplain water storage as a catchment-scale ecosystem service of wetlands. **Water**, v. 5, n. 4, p. 1760-1779, 2013.

GÚZMAN, P.; ANIBAS, C.; BATELAAN, O.; HUYSMANS, M.; WYSEURE, G. Hydrological connectivity of alluvial Andean valleys: a groundwater/surface-water interaction case study in Ecuador. **Hydrogeology Journal**, v. 24, n. 4, p. 955, 2016.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. **American Journal of Science**, Bradley Volume, 258-A, 80-97, 1960.

HEWLETT, J. D. **Soil moisture as a source of base flow from steep mountain watersheds**. US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, 1961. 11 p.

HEWLETT, J. D.; HIBBERT, Alden R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. **Forest hydrology**, v. 1, p. 275-290, 1967.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 413 p.

HUGGETT, R. Soil landscape systems: a model of soil genesis. **Geoderma**, v. 13, n. 1, p. 1-22, 1975.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2014. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=330340&idtema=1&search=rio-de-janeiro|nova-friburgo|censo-demografico-2010:-sinopse->> Acesso em: 17 de agosto de 2016

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de pedologia, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**, 3ª edição, Rio de Janeiro, 2015, 428p.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Parque Estadual dos Três Picos: plano de manejo /resumo executivo./ Instituto Estadual do Ambiente**. - Rio de Janeiro: INEA, 100p., 2013.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2017) **Dados Meteorológicos Estação Nova Friburgo – Salinas (01 de julho de 2017 a 05 de agosto de 2017)**. Disponível em < http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTYyNA==>. Acesso em: 15 de março de 2018.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. (2014) **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 17 de agosto de 2016.

JUNK, W.; BAYLEY, P.; SPARKS, R. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Can. Spec. Publ. Fish. Aquat.** v. 106, p. 110–127, 1989.

KESEL, R. H. Human modifications to the sediment regime of the Lower Mississippi River flood plain. **Geomorphology**, v. 56, n. 3, p. 325-334, 2003.

KIRKBY, M. J.; CHORLEY, R. J. Throughflow, overland flow and erosion. **Hydrological Sciences Journal**, v. 12, n. 3, p. 5-21, 1967.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; DARLI MARCOLIN, C. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, v. 40, n. 7, 2010.

LEOPOLD, A. C; KRIEDEMANN, P.E. **Plant growth and development**. New York: Ed. McGraw-Hill, 1964, 545p.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. Ed. Oficina de Textos, São Paulo 2016. 456p.

LIMA, R. N. S.; MARÇAL, M. S. Avaliação da Condição Geomorfológica da Bacia do rio Macaé–RJ a partir da Metodologia de Classificação dos Estilos Fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, 2014.

- LIMA, R. N. S.; MARÇAL, Mônica S. Avaliação da Condição Geomorfológica da Bacia do rio Macaé–RJ a partir da Metodologia de Classificação dos Estilos Fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, 2014.
- LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP 253 p., 2008.
- LUCIANO, R.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.; KURTZ, C.; FAYAD, J. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 1, p. 9-19, 2014.
- MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, 2008.
- MARÇAL, M. Análise das mudanças morfológicas em seções transversais ao rio macaé-rj. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, 2013.
- MARÇAL, M.; LIMA, R.. Abordagens Conceituais Contemporâneas na Geomorfologia Fluvial. **Espaço Aberto**, v. 6, n. 1, p. 17-34, 2016.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005.
- MARTÍNEZ, M. L.; PÉREZ-MAQUEO, O.; VÁZQUEZ, G.; CASTILLO-CAMPOS, G.; GARCÍA-FRANCO, J.; MEHLTRETER, K.; EQUIHUA, M.; LANDGRAVE, R. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1856-1863, 2009.
- MARTINS, A.; LIBARDI, P. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, 2013.
- MEIR, P.; WOOD, T. E.; GALBRAITH, D. R.; BRANDO, P. M.; DA COSTA, A. C.; ROWLAND, L.; FERREIRA, L. V. Threshold responses to soil moisture deficit by trees and soil in tropical rain forests: insights from field experiments. **Bioscience**, v. 65, n. 9, p. 882-892, 2015.
- MESQUITA, M.; MORAES, S. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 963-969, 2004.
- MILANESI, M. A.; GALVANI, E. Efeito orográfico na ilha de São Sebastião (Ilhabela–SP). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 9, 2011.
- MOLDAN, B.; CERNY, J. **Small Catchments Researchs**. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. Biogeochemistry os small catchments: a tool for environmental research. Chicester: John Wiley, 1994, p. 1 – 29.
- MONTGOMERY, D.R. Process domains and the river continuum. **Journal of the American Water Resources Association**, v.36, 397-410, 1999.
- MOSCA, A.A.O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003. 96p.
- NANSON, G C; CROKE, J.C. A genetic classification of floodplains. **Geomorphology**, v.4, n. 6, p. 459-486, 1992.

- NETO, J. L. S. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.
- NOVO, E. M. L. M.; **Ambientes Fluviais**. In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais, São Paulo, SP Oficina de Textos, pp. 219- 246, 2008.
- OFDA/CRED – The Office of US Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – Université Catholique de Louvain – **Annual Disaster Statistical Review 2008 – The numbers and trends**, Brussels, Belgium, 2009. Disponível em: www.emdat.be/Documents/Publications/ADSR_2008.pdf.
- OLAYA, V.; CONRAD, O. Geomorphometry in SAGA. **Developments in Soil Science**, Amsterdam, Holanda. v. 33, p. 293-308, 2009.
- OLIVEIRA, S.; CARVALHO JÚNIOR, O.; SILVA, T.; GOMES, R.; MARTINS, É., GUIMARÃES, R.; SILVA, N. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p.3-21. 2007.
- OSWALD, C.; RICHARDSON, M.; BRANFIREUN, B. Water storage dynamics and runoff response of a boreal Shield headwater catchment. **Hydrological Processes**, v. 25, n. 19, p. 3042-3060, 2011.
- PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; CLERCKC, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 187, p. 87-105, Apr. 2013.
- PELLEGATTI, C. H. G.; GALVANI, E. Avaliação da precipitação na Serra do Mar–SP em eventos de diferentes intensidade e duração. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 27, p. 147-158, 2010.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA FRIBURGO; **Plano de Saneamento Básico do Município de Nova Friburgo. Diagnóstico Da Situação Do Saneamento Básico** > Acesso em: 22 de novembro de 2017.
- REINHARDT, C.; BÖLSCHER, J.; SCHULTE, A.; WENZEL, R. Decentralised water retention along the river channels in a mesoscale catchment in south-eastern Germany. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 36, n. 7, p. 309-318, 2011.
- ROCHA, P. C. Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 33, p. 50-67, 2013.
- RUHE, Robert V. **Geomorphology: geomorphic processes and surficial geology**. Houghton Mifflin Harcourt (HMH), 1975. 246p.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, n. 2, p. 297-300, 2005.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.
- SCHLESINGER, W.; ANDREWS, J. Soil respiration and the global carbon cycle. **Biogeochemistry**, v. 48, n. 1, p. 7-20, 2000.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597–646, 1956.

SCHUMM, S. A., **The fluvial system**: New York, John Wiley & Sons, 338 p, 1977.

SILVEIRA, C. T.; PIO FIORI, A.; FERREIRA, A. M.; DE GÓIS, J. R.; DE MIO, G.; PINHEIRO SILVEIRA, R. M.; MASSULINI, N. E. B.; HERRIG LEONARDI, T. M. Emprego de atributos topográficos no mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais na bacia do rio Jacareí, Paraná. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 3, 2013.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, **Diagnóstico de Serviço de Água e Esgoto de 2015**. Disponível: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>> Acesso em: 22 de novembro de 2017.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 9, p. 923-938, 1952.

TEODORO, V.L.I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D.J.L.; FULLER, B.B. O Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local; **Revista Uniara**, Araraquara, SP v. 20, p. 137 – 157, 2007.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; DO AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. Instituto geológico, 2009. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. – 196p.

TROEH, F. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, v.263, p.616-627, 1965.

TUCCI, C. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista brasileira de recursos hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

TUNDISI, J.G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, SP v. 55, n. 4, pp. 31-33, 2003.

UNESCO, **The United Nations World Water Development Report 3–Water in a Changing World**. UNESCO Studies and Reports in Hydrology, UNESCO Publishing, Paris, France and Earthscan, London, UK, 2009, 429 p.

VALCARCEL, R. **Diagnóstico ambiental das bacias dos rios Quimbira e Marimbondo**. UFRRJ. Relatório Final, 1997. 63 p.

VALCARCEL, R.; DE MEDEIROS, F. G.; DOS SANTOS GUAPYASSÚ, M.. Diagnóstico Conservacionista do Sistema Light/Cedae. **Itaguaí: UFRRJ. Departamento de Ciências Ambientais, [s/d]**, v. 3, 1987.

VALERIANO, M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 1, p. 130-137, 1980.

VIDAL-TORRADO, Pablo; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos da Ciência do Solo**. 4, p. 145-192, 2005.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, SP: Ed. McGRAWHill do Brasil, 1975. 245p.

WARD, J. V.; STANFORD, J. A. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. **River Research and Applications**, v. 11, n. 1, p. 105-119, 1995.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.; NEVES, J. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

ZANCOPE, M.; PEREZ FILHO, A. Considerações a respeito da distribuição das planícies fluviais do Rio Mogi Guaçu. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 1, 2006.

ANEXOS

Anexo 1 – Perfil do Solo – PS1

PERFIL DO SOLO PRÓXIMO AO RIO – PS1

1. 1 Descrição geral

Nome: Parque Municipal Juarez Frotté – PS-01

Coleta de campo: 22 de abril de 2017

Classificação SiBCS – Cambissolo Flúvico Tb Distrófico

Localização município, estado e coordenadas: Parque Municipal Juarez Frotté, Estrada para o Pico do Caledônia, Cascatinha, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Coordenadas UTM 23 K – 751857 mE – 7528016 mS, Datum WGS84

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Descrito e coletado em planície de inundação com 3% de declive, sob vegetação de gramíneas.

Elevação: 1043 metros

Formação geológica: Aluviões do Holoceno

Período: Quaternário. Holoceno

Material originário: Produto de alteração do material supracitado

Pedregosidade: Pedregoso

Rochosidade: Moderadamente Rochoso

Relevo local: Plano

Relevo regional: Montanhoso

Erosão: Laminar

Drenagem: Moderadamente Drenado

Vegetação primária: Floresta Tropical Higrófila de Várzea

Uso atual: Parque Municipal

Clima: Cwb, da classificação de Koppen

Descrito e coletado por: Douglas Leite Figueira

1. 2 Descrição Morfológica

0 – 17 cm – bruno-acinzentado (7.5YR 4/2, seca) e bruno-escuro (10YR 3/2, úmida) argilosa, moderada média sub-angular; friável, ligeiramente dura; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

17 – 52 cm – preto (10YR 2/1, úmida) argiloarenosa, moderada média subangular; ligeiramente dura; ligeiramente plástica e não pegajosa.

52 cm + - material rochoso

1. 3 Observações

Solo com muitas raízes com diâmetro superior a 5 cm, ponto do transecto mais próximo ao canal de drenagem atual. Apresenta faixa de material mineral não intemperizado entre 17 e 20 cm.

1. 4 Características físicas e químicas – análises de laboratório

Granulometria do perfil de solo – PS1

Horizonte		Frações da amostra total (g.kg ⁻¹)			Granulometria da TF - dispersão com NaOH (g.kg ⁻¹)				Silte / Argila
Símbolo	Profundidade (cm)	Calhau	Cascalho	TF	AG	AF	Silte	Argila	
A	0 – 17	0	0	1000	480	247	149	124	1,21
B	17 - 52	0	0	1000	444	251	187	118	1,59

Legenda: TF - Terra Fina; AG - Areia Grossa; e AF - Areia Fina.

Análise química – PS1.

Horizonte	pH (água)	Complexo sortivo - cmolc.kg ⁻¹							T	V	m	P	COT (g.kg ⁻¹)
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺					
A	4,72	0,30	1,00	0,21	0,11	1,62	0,9	4,89	7,41	21,86	35,71	23,67	20,48
B	4,67	0,20	0,90	0,07	0,03	1,2	1,0	5,13	7,33	16,37	45,45	22,77	20,94

Legenda: SB – Soma de Base; T - Capacidade de Troca Catiônica; V - Percentagem de Saturação de Bases; m - Percentagem de Saturação com Alumínio; e COT – Carbono Orgânico Total.

Anexo 2 – Perfil do Solo – PS2

PERFIL DO SOLO POSIÇÃO INTERMEDIÁRIA – PS2

2. 1 Descrição geral

Nome: Parque Municipal Juarez Frotté – PS-02

Coleta de campo: 22 de abril de 2017

Classificação SiBCS: Cambissolo Flúvico Tb Distrófico

Localização município, estado e coordenadas: Parque Municipal Juarez Frotté, Estrada para o Pico do Caledônia, Cascatinha, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Coordenadas UTM 23 K – 751841 mE – 7528019 mS, Datum WGS84

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Descrito e coletado em planície de inundação com 3% de declive, sob vegetação de gramíneas.

Elevação: 1048 metros

Formação geológica: Aluviões do Holoceno

Período: Quaternário, Holoceno

Material originário: Produto de alteração do material supracitado

Pedregosidade: Pedregoso

Rochosidade: Moderadamente Rochoso

Relevo local: Plano

Relevo regional: Montanhoso

Erosão: Laminar

Drenagem: Moderadamente Drenado

Vegetação primária: Floresta Tropical Higrófila de Várzea

Uso atual: Parque Municipal

Clima: Cwb, da classificação de Koppen

Descrito e coletado por: Douglas Leite Figueira

2. 2 Descrição morfológica

0 – 9 cm – bruno-escuro (10YR 3/2, seca) e bruno-escuro (10YR 2/2, úmida) argilosa; moderada pequena subangular; ligeiramente dura; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara;

9 – 15 cm – bruno-escuro (10YR 2/2, úmida) argilosa; moderada média sub angular; ligeiramente dura; friável; ligeiramente dura; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara;

15 – 30 cm – preto (10YR 2/1, úmida) argilosa; moderada média sub angular; ligeiramente dura; friável; ligeiramente dura; não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara;

30 – 47 cm – bruno-escuro (10 YR 3/2, úmida) argiloarenosa; fraca grande granular; macia; muito friável; ligeiramente dura; não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta;

47 – 95 cm – amarelo-bruno-acizentado (10YR 4/2, úmida) francoargiloarenosa; fraca média granular; solta; muito friável; não plástica e não pegajosa.

2. 3 Observações:

Perfil do Solo no meio do transepto da planície de inundação, com maior acúmulo de sedimentos e maior espessura em comparação com os demais. Encontram-se raízes até a profundidade de 47 cm, faixa de material não intemperizado entre as profundidades de 30 a 47 cm.

2. 4 Características físicas e químicas – análises de laboratório

Granulometria do perfil de solo – PS2

Horizonte		Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Granulometria da TF - dispersão com NaOH (g kg ⁻¹)					Silte / Argila
Símbolo	Profundidade (cm)	Calhau	Cascalho	TF	AG	AF	Silte	Argila		
1	0 - 9	0	0	1000	180	407	227	186	1,2204	
2	9 - 15	0	0	1000	188	408	217	187	1,1604	
3	15 - 30	0	0	1000	192	530	185	93	1,9892	
4	30 - 47	0	0	1000	139	668	98	95	1,0315	
5	47 - 95	0	0	1000	136	724	86	54	1,5925	

Legenda: TF - Terra Fina; AG - Areia Grossa; e AF - Areia Fina.

Análise química – PS2.

Horizonte	pH (agua)	Complexo sortivo - cmolc kg ⁻¹						T	V	m	P	COT (g/kg)	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺						H ⁺
1	4,69	0,50	1,30	0,16	0,07	2,03	1,60	8,87	12,5	16,24	44,07	15,04	31,25
2	4,68	0,40	0,80	0,17	0,03	1,4	1,40	6,73	9,53	14,69	50	8,51	26,33
3	4,55	0,20	0,80	0,04	0,03	1,07	1,20	5,76	8,03	13,32	47,13	7,98	25,25
4	4,87	0,20	0,70	0,04	0,03	0,97	0,70	5,09	6,76	14,34	41,91	38,23	19,71
5	5,33	0,20	0,70	0,06	0,03	0,99	0,60	3,52	5,11	19,37	37,73	77,55	10,32

Legenda: SB – Soma de Base; T - Capacidade de Troca Catiônica; V - Percentagem de Saturação de Bases; m - Percentagem de Saturação com Alumínio; e COT – Carbono Orgânico Total

Anexo 3 - Perfil do Solo – PS3

PERFIL DO SOLO DISTANTE DO RIO - PS3

3.1 Descrição geral

Nome: Parque Municipal Juarez Frotté – PS-03

Coleta de campo: 21 de abril de 2017

Classificação SiBCS: Cambissolo Flúvico Tb Distrófico

Localização: Parque Municipal Juarez Frotté, Estrada para o Pico do Caledônia, Cascatinha, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Coordenadas UTM 23 K – 751847 mE – 7528041 mS, Datum WGS84

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Descrito e coletado em planície de inundação com 3% de declive, sob vegetação de floresta secundária.

Elevação: 1041 metros

Formação geológica: Aluviões do Holoceno

Período: Quaternário, Holoceno

Material originário: Produto de alteração do material supracitado

Pedregosidade: Pedregoso

Rochosidade: Moderadamente Rochoso

Relevo local: Plano

Relevo regional: Montanhoso

Erosão: Moderada

Drenagem: Moderadamente Drenado

Vegetação primária: Floresta Tropical Higrófila de Várzea

Uso atual: Parque Municipal

Clima: Cwb, da classificação de Koppen

Descrito e coletado por: Douglas Leite Figueira

3.2 Descrição Morfológica

0 – 3 cm – bruno-escuro (10YR 2/2, úmida) e bruno-escuro (10YR 3/2, seca) muito argilosa; pequena fraca blocos sub angulares; friável; macia; ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara;

3 – 10 cm – bruno-escuro (10YR 3/2, úmida); muito argilosa; pequeno fraco blocos sub angulares; friável; ligeiramente dura; plástica e pegajosa; transição plana e clara;

10 – 17 cm – bruno-escuro (10YR 3/2, úmida) argilosa; pequena moderada blocos sub angulares; friável; ligeiramente dura; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara;

17 – 29 cm – bruno-escuro (10YR 2/2, úmida) argilosa; pequena moderada blocos sub angulares; friável; ligeiramente dura; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara;

29 – 38 cm – preto (10YR 2/1, úmida) argilosa; pequena moderada blocos sub angulares; friável; ligeiramente dura; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa;

38 cm + - camada de rochas

3.3 Observações

Solo com muitas raízes. Raízes de 1,5 cm de diâmetro até a profundidade de 10 cm. Raízes de diâmetro de 1 cm até a profundidade de 27 cm. Seixos encontrados a partir de profundidade de 28 cm e a camada de material não intemperizado proeminente a partir de 42 cm de profundidade. Observa-se que esta área tem características de meandro antigo.

3.4 Características físicas e químicas – análises de laboratório

Granulometria do perfil de solo – PS3

Horizonte	Profundidade (cm)	Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Granulometria da TF - dispersão com NaOH (g kg ⁻¹)					Silte / Argila
		Calhau	Cascalho	TF	AG	AF	Silte	Argila		
1	0 - 3	0	0	1000	330	128	286	256	1,1171	
2	3 - 10	0	0	1000	295	143	307	255	1,2039	
3	10 - 17	0	0	1000	164	69	492	275	1,7890	
4	17 - 28	0	0	1000	181	106	410	303	1,3531	
5	28 - 36	0	0	1000	312	170	267	251	1,0637	

Legenda: TF - Terra Fina; AG - Areia Grossa; e AF - Areia Fina.

Análise química – PS3

Horizonte	pH (agua)	Complexo sortivo - cmolc kg ⁻¹						T	V	m	P	COT (g/kg)	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺					H +	%
1	5,58	5,2	3,0	0,47	0,04	8,71	0,1	8,03	16,75	52	1,14	19,17	49,58
2	5,11	2,0	2,0	0,13	0,03	4,16	0,5	8,13	12,34	33,7	11,87	12,04	38,03
3	4,89	0,8	1,30	0,08	0,13	2,31	1,3	8,34	11,95	19,33	36,01	4,68	26,64
4	4,64	0,4	0,8	0,02	0,02	1,24	1,5	8,47	10,21	12,14	86,2	3,26	24,63
5	4,66	0,5	1,0	0,01	0,02	1,53	1,7	8,44	10,67	14,33	76,23	4,46	27,51

Legenda: SB – Soma de Base; T - Capacidade de Troca Catiônica; V - Percentagem de Saturação de Bases; m - Percentagem de Saturação com Alumínio; e COT – Carbono Orgânico Total

Anexo 4 - Estatística Descritiva do Índice Topográfico de Umidade
Índice Topográfico de Umidade (TWI)

Bloco	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Próximo	20	5,92542	6,28443	6,1013850	0,10956905	0,012
Intermediário	29	2,89775	6,73964	5,5581110	1,19890431	1,437
Afastado	20	1,69483	4,23356	2,2061580	0,71983505	0,518

Anexo 5 - Análise da Condutividade Hidráulica por afastamento do rio
Condutividade Hidráulica Saturada próxima ao rio

Pontos	Profundidade (m)	Condutividade Hidráulica (mm/h)
1	0,00 - 0,15	14,42
	0,15 - 0,30	7,21
2	0,00 - 0,15	230,74
	0,15 - 0,30	158,63
3	0,00 - 0,15	97,34
	0,15 - 0,30	43,26
4	0,00 - 0,15	43,26
	0,15 - 0,30	10,82
5	0,00 - 0,15	45,07
	0,15 - 0,30	39,66
6	0,00 - 0,15	3,61
	0,15 - 0,30	4,81
7	0,00 - 0,15	7,21
	0,15 - 0,30	7,21
8	0,00 - 0,15	46,87
	0,15 - 0,30	18,03
9	0,00 - 0,15	39,66
	0,15 - 0,30	122,58
10	0,00 - 0,15	50,47
	0,15 - 0,30	18,03

Condutividade Hidráulica Saturada intermediário ao rio

Pontos	Profundidade (m)	Condutividade Hidráulica (mm/h)
11	0,00 - 0,15	28,84
	0,15 - 0,30	12,02
	0,30 - 0,45	12,02
12	0,00 - 0,15	10,82
	0,15 - 0,30	3,61
	0,30 - 0,45	1,20
13	0,00 - 0,15	21,63
	0,15 - 0,30	3,61
	0,30 - 0,45	0,72
14	0,00 - 0,15	7,21
	0,15 - 0,30	14,42
	0,30 - 0,45	10,82
15	0,00 - 0,15	14,42
	0,15 - 0,30	9,01
	0,30 - 0,45	7,21
16	0,00 - 0,15	7,21
	0,15 - 0,30	10,82
	0,30 - 0,45	7,21
17	0,00 - 0,15	3,61
	0,15 - 0,30	14,42
18	0,00 - 0,15	14,42
	0,15 - 0,30	7,21
	0,30 - 0,45	28,84
19	0,00 - 0,15	10,82
	0,15 - 0,30	3,61
	0,30 - 0,45	14,42
20	0,00 - 0,15	21,63
	0,15 - 0,30	75,71
	0,30 - 0,45	21,63

Condutividade Hidráulica Saturada afastado do rio

Pontos	Profundidade (m)	Condutividade Hidráulica (mm/h)
21	0,00 - 0,15	18,03
	0,15 - 0,30	1,44
22	0,00 - 0,15	21,63
	0,15 - 0,30	3,61
23	0,00 - 0,15	7,21
	0,15 - 0,30	5,41
24	0,00 - 0,15	57,68
	0,15 - 0,30	3,61
25	0,00 - 0,15	23,43
	0,15 - 0,30	3,61
26	0,00 - 0,15	18,03
	0,15 - 0,30	4,81
27	0,00 - 0,15	14,42
	0,15 - 0,30	3,61
28	0,00 - 0,15	32,45
	0,15 - 0,30	25,24
29	0,00 - 0,15	216,31
	0,15 - 0,30	3,61
30	0,00 - 0,15	10,82
	0,15 - 0,30	21,63

Anexo 6 – Análise granulométrica por afastamento do rio**Textura do solo próximo ao rio**

Ponto	Profundidade (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Argila Total	Silte
		g/kg			
1	0,00 - 0,15	471	213	70	246
	0,15 - 0,30	540	199	72	189
2	0,00 - 0,15	540	190	112	158
	0,15 - 0,30	556	160	51	233
3	0,00 - 0,15	303	144	241	312
	0,15 - 0,30	313	135	140	412
4	0,00 - 0,15	390	199	152	259
	0,15 - 0,30	410	221	135	234
5	0,00 - 0,15	378	229	67	326
	0,15 - 0,30	459	260	56	225
6	0,00 - 0,15	611	156	76	157
	0,15 - 0,30	635	125	80	160
7	0,00 - 0,15	131	201	149	519
	0,15 - 0,30	335	183	212	270
8	0,00 - 0,15	493	185	107	215
	0,15 - 0,30	433	168	138	261
9	0,00 - 0,15	187	223	233	357
	0,15 - 0,30	299	275	192	234
10	0,00 - 0,15	334	240	156	270
	0,15 - 0,30	338	224	147	291

Textura do solo intermediário ao rio

Ponto	Profundidade (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Argila Total	Silte
		g/kg			
11	0,00 - 0,15	332	213	153	302
	0,15 - 0,30	272	252	133	343
	0,30 - 0,45	248	161	185	406
12	0,00 - 0,15	318	269	122	291
	0,15 - 0,30	359	137	209	295
	0,30 - 0,45	264	222	251	263
13	0,00 - 0,15	291	434	66	209
	0,15 - 0,30	392	171	132	305
	0,30 - 0,45	471	177	98	254
14	0,00 - 0,15	445	241	146	168
	0,15 - 0,30	464	215	139	182
	0,30 - 0,45	480	221	133	166
15	0,00 - 0,15	379	212	116	293
	0,15 - 0,30	251	180	168	401
	0,30 - 0,45	435	241	118	206
16	0,00 - 0,15	309	170	140	381
	0,15 - 0,30	220	174	173	433
	0,30 - 0,45	403	278	113	206
17	0,00 - 0,15	294	178	135	393
	0,15 - 0,30	343	211	218	228
18	0,00 - 0,15	388	205	214	193
	0,15 - 0,30	443	232	151	174
	0,30 - 0,45	450	216	143	191
19	0,00 - 0,15	303	155	197	345
	0,15 - 0,30	356	212	154	278
	0,30 - 0,45	385	181	187	247
20	0,00 - 0,15	436	190	71	303
	0,15 - 0,30	664	107	95	134
	0,30 - 0,45	548	221	72	159

Textura do solo afastado do rio

Ponto	Profundidade (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Argila Total	Silte
		g/kg			
21	0,00 - 0,15	302	192	214	292
	0,15 - 0,30	340	175	243	242
22	0,00 - 0,15	315	129	202	354
	0,15 - 0,30	393	142	205	260
23	0,00 - 0,15	272	214	263	251
	0,15 - 0,30	279	196	252	273
24	0,00 - 0,15	320	173	233	274
	0,15 - 0,30	302	167	207	324
25	0,00 - 0,15	226	141	292	341
	0,15 - 0,30	241	146	293	320
26	0,00 - 0,15	284	142	123	451
	0,15 - 0,30	379	163	206	252
27	0,00 - 0,15	354	255	163	228
	0,15 - 0,30	314	243	222	221
28	0,00 - 0,15	263	125	197	204
	0,15 - 0,30	309	101	237	353
29	0,00 - 0,15	401	198	197	664
	0,15 - 0,30	301	97	207	395
30	0,00 - 0,15	145	64	127	415
	0,15 - 0,30	357	235	223	185

Anexo 7 - Densidade do solo, partículas e porosidade total

Densidade do solo e das partículas e porosidade total próximo ao rio

Ponto	Profundidade (m)	Densidade do Solo (g/cm ³)	Densidade das Partículas (g/cm ³)	Porosidade (m ³ /m ⁻³)
1	0,00 - 0,15	1,36	2,50	45,51
	0,15 - 0,30	1,48	2,44	39,51
2	0,00 - 0,15	1,50	2,56	41,41
	0,15 - 0,30	1,51	2,33	35,03
3	0,00 - 0,15	1,07	2,27	52,86
	0,15 - 0,30	1,00	2,20	54,46
4	0,00 - 0,15	0,91	2,47	63,11
	0,15 - 0,30	1,03	2,44	57,88
5	0,00 - 0,15	1,11	2,38	53,38
	0,15 - 0,30	1,01	2,50	59,71
6	0,00 - 0,15	1,08	2,44	55,74
	0,15 - 0,30	1,34	2,44	45,16
7	0,00 - 0,15	1,21	2,44	50,20
	0,15 - 0,30	1,06	2,44	56,59
8	0,00 - 0,15	1,26	2,44	48,53
	0,15 - 0,30	1,29	2,44	47,30
9	0,00 - 0,15	0,93	2,35	60,48
	0,15 - 0,30	1,02	2,35	56,45
10	0,00 - 0,15	1,11	2,47	55,11
	0,15 - 0,30	0,95	2,38	60,17

Densidade do solo e das partículas e porosidade total intermediário ao rio

Pontos	Profundidade (m)	Densidade do Solo (g/cm ³)	Densidade das Partículas (g/cm ³)	Porosidade (m ³ /m ⁻³)
11	0,00 - 0,15	1.06	2.47	57.19
	0,15 - 0,30	0.99	2.50	60.35
	0,30 - 0,45	1.19	2.47	51.73
12	0,00 - 0,15	1.21	2.33	48.13
	0,15 - 0,30	1.25	2.44	48.94
	0,30 - 0,45	1.06	2.44	56.57
13	0,00 - 0,15	1.06	2.35	54.78
	0,15 - 0,30	1.15	2.38	51.70
	0,30 - 0,45	0.84	2.41	65.20
14	0,00 - 0,15	1.20	2.41	50.09
	0,15 - 0,30	1.13	2.27	50.33
	0,30 - 0,45	1.40	2.44	42.42
15	0,00 - 0,15	0.93	2.33	60.18
	0,15 - 0,30	1.12	2.35	52.30
	0,30 - 0,45	1.13	2.35	52.19
16	0,00 - 0,15	0.93	2.44	62.00
	0,15 - 0,30	1.12	2.41	53.53
	0,30 - 0,45	1.08	2.35	54.20
17	0,00 - 0,15	0.96	2.33	58.67
	0,15 - 0,30	1.16	2.35	50.89
18	0,00 - 0,15	1.11	2.35	52.92
	0,15 - 0,30	1.29	2.41	46.29
	0,30 - 0,45	1.19	2.33	48.64
19	0,00 - 0,15	0.84	2.25	62.53
	0,15 - 0,30	1.02	2.38	57.07
	0,30 - 0,45	0.99	2.56	61.47
20	0,00 - 0,15	1.39	2.44	42.91
	0,15 - 0,30	1.17	2.50	53.29
	0,30 - 0,45	1.05	2.50	58.03

Densidade do solo e das partículas e porosidade total afastado do rio

Pontos	Profundidade (m)	Densidade do Solo (g/cm ³)	Densidade das Partículas (g/cm ³)	Porosidade (m ³ /m ⁻³)
21	0,00 - 0,15	0,94	2,13	55,92
	0,15 - 0,30	0,94	2,20	57,33
22	0,00 - 0,15	0,79	2,30	65,78
	0,15 - 0,30	1,01	2,27	55,51
23	0,00 - 0,15	1,03	2,30	55,08
	0,15 - 0,30	1,00	2,35	57,48
24	0,00 - 0,15	0,50	2,11	76,18
	0,15 - 0,30	0,55	2,20	74,89
25	0,00 - 0,15	1,21	2,35	48,46
	0,15 - 0,30	1,15	2,38	51,50
26	0,00 - 0,15	0,73	2,27	67,99
	0,15 - 0,30	1,16	2,50	53,45
27	0,00 - 0,15	0,93	2,25	58,51
	0,15 - 0,30	0,89	2,33	61,93
28	0,00 - 0,15	0,94	2,44	61,60
	0,15 - 0,30	1,11	2,27	51,13
29	0,00 - 0,15	0,74	2,27	67,42
	0,15 - 0,30	0,71	2,41	70,46
30	0,00 - 0,15	0,93	2,47	62,37
	0,15 - 0,30	1,59	2,43	34,59

Anexo 8 - Análise de concentração de carbono orgânico por afastamento do rio
Carbono Orgânico Total próximo ao rio

Pontos	Profundidade (m)	Carbono Orgânico Total (g/kg)
1	0,00 - 0,15	17,86
	0,15 - 0,30	24,63
2	0,00 - 0,15	32,49
	0,15 - 0,30	27,41
3	0,00 - 0,15	35,87
	0,15 - 0,30	35,72
4	0,00 - 0,15	34,18
	0,15 - 0,30	32,18
5	0,00 - 0,15	22,63
	0,15 - 0,30	19,55
6	0,00 - 0,15	38,64
	0,15 - 0,30	32,02
7	0,00 - 0,15	28,02
	0,15 - 0,30	29,87
8	0,00 - 0,15	38,95
	0,15 - 0,30	33,87
9	0,00 - 0,15	20,94
	0,15 - 0,30	22,63
10	0,00 - 0,15	31,1
	0,15 - 0,30	30,79

Carbono Orgânico Total intermediário ao rio

Pontos	Profundidade (m)	Carbono Orgânico Total (g/kg)
11	0,00 - 0,15	33,72
	0,15 - 0,30	34,18
	0,30 - 0,45	31,41
12	0,00 - 0,15	25,4
	0,15 - 0,30	25,1
	0,30 - 0,45	26,48
13	0,00 - 0,15	38,03
	0,15 - 0,30	30,64
	0,30 - 0,45	24,02
14	0,00 - 0,15	31,25
	0,15 - 0,30	26,33
	0,30 - 0,45	26,64
15	0,00 - 0,15	31,25
	0,15 - 0,30	27,25
	0,30 - 0,45	26,64
16	0,00 - 0,15	26,17
	0,15 - 0,30	21,55
	0,30 - 0,45	24,79
17	0,00 - 0,15	30,02
	0,15 - 0,30	22,63
18	0,00 - 0,15	26,17
	0,15 - 0,30	25,1
	0,30 - 0,45	19,86
19	0,00 - 0,15	24,02
	0,15 - 0,30	26,02
	0,30 - 0,45	24,94
20	0,00 - 0,15	21,55
	0,15 - 0,30	19,4
	0,30 - 0,45	18,48

Carbono Orgânico Total afastado do rio

Pontos	Profundidade (m)	Carbono Orgânico Total (g/kg)
21	0,00 - 0,15	36,8
	0,15 - 0,30	31,56
22	0,00 - 0,15	26,64
	0,15 - 0,30	19,4
23	0,00 - 0,15	36,95
	0,15 - 0,30	35,1
24	0,00 - 0,15	32,79
	0,15 - 0,30	31,56
25	0,00 - 0,15	40,65
	0,15 - 0,30	46,19
26	0,00 - 0,15	45,57
	0,15 - 0,30	46,03
27	0,00 - 0,15	31,56
	0,15 - 0,30	28,48
28	0,00 - 0,15	38,64
	0,15 - 0,30	36,95
29	0,00 - 0,15	30,33
	0,15 - 0,30	32,49
30	0,00 - 0,15	38,03
	0,15 - 0,30	32,64

Anexo 9 - Estatísticas Descritivas

Estatística Descritiva do solo próximo ao rio

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,91	1,51	1,1615	0,19410	0,038
Densidade das partículas		2,20	2,56	2,4140	0,08331	0,007
Porosidade		35,03	63,11	51,9295	7,64902	58,507
Carbono Orgânico Total	20	1,79	3,90	2,9470	0,62965	0,396
Argila		5,1	24,1	12,930	5,8222	33,898
Areia total		33,2	76,7	60,430	12,4644	155,361
Silte		15,7	51,9	26,640	8,8430	78,199
Log Condutividade Hidráulica		0,56	2,36	1,4327	0,51952	0,270

Estatística Descritiva do solo intermediário ao rio

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,84	1,40	1,1041	0,13824	0,019
Densidade das partículas		2,25	2,56	2,3979	0,07282	0,005
Porosidade		42,42	65,20	53,9497	5,74331	32,986
Carbono Orgânico Total	29	1,85	3,80	2,6521	0,45823	0,210
Argila		6,6	25,1	14,593	4,5693	20,879
Areia total		39,4	77,1	58,686	10,6033	112,429
Silte		13,4	43,3	26,721	8,4743	71,814
Log Condutividade Hidráulica		-0,14	1,88	0,9761	0,40967	0,168

Estatística descritiva do solo afastado do rio

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,50	1,59	0,9425	0,24508	0,060
Densidade das partículas		2,11	2,50	2,3115	0,10718	0,011
Porosidade		34,59	76,18	59,379	9,73002	94,673
Carbono Orgânico Total	20	1,94	4,56	3,2615	0,64013	0,410
Argila		12,3	29,3	21,530	4,4384	19,699
Areia total		20,9	60,9	46,975	9,5964	92,091
Silte		18,5	66,4	31,495	10,9175	119,191
Log Condutividade Hidráulica		0,16	2,34	1,0485	0,52001	0,270

Estatística descritiva da profundidade 0,00 a 0,15 metros

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,50	1,50	1,0323	0,21152	0,045
Densidade das partículas		2,11	2,56	2,3637	0,10555	0,011
Porosidade		41,41	76,18	56,5013	7,85616	61,719
Carbono Orgânico Total	30	1,79	4,56	3,1543	0,66437	0,441
Argila		6,6	29,2	15,780	6,1533	37,863
Areia total		20,9	76,7	53,650	12,9965	168,910
Silte		15,7	66,4	30,570	10,9793	120,546
Log Condutividade Hidráulica		0,56	2,36	1,3284	0,44533	0,198

Estatística descritiva da profundidade 0,15 a 0,30 metros

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,55	1,59	1,1067	0,21471	0,046
Densidade das partículas		2,20	2,50	2,3763	0,08830	0,008
Porosidade		34,59	74,89	53,507	8,58686	73,734
Carbono Orgânico Total	30	1,94	3,70	2,8043	0,52068	0,271
Argila		5,1	29,3	16,967	6,0765	36,924
Areia total		38,7	77,1	56,010	11,1831	125,062
Silte		13,4	43,3	27,023	7,7080	59,413
Log Condutividade Hidráulica		0,16	2,20	1,0119	0,49948	0,249

Estatística descritiva da profundidade 0,30 a 0,45 metros

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,84	1,40	1,1033	0,15460	0,024
Densidade das partículas		2,33	2,56	2,4278	0,07645	0,006
Porosidade		42,42	65,20	54,4944	6,82991	46,648
Carbono Orgânico Total	9	1,85	3,14	2,4800	0,38288	0,147
Argila		7,2	25,1	14,444	5,4814	30,045
Areia total		40,9	76,9	62,244	11,3940	129,823
Silte		15,9	40,6	23,311	7,4710	55,816
Log Condutividade Hidráulica		-0,14	1,46	0,8580	0,54388	0,296

Estatística descritiva da profundidade de 0,00 a 0,15 metros do solo próximo ao rio

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,91	1,50	1,1540	0,18338	0,034
Densidade das partículas		2,27	2,56	2,4320	0,08149	0,007
Porosidade		41,41	63,11	52,6330	6,55903	43,021
Carbono Orgânico Total	10	1,79	3,90	3,0070	0,74744	0,559
Argila		6,7	24,1	13,630	6,2709	39,325
Areia total		33,2	76,7	58,180	14,4066	207,551
Silte		15,7	51,9	28,190	10,6505	113,432
Log Condutividade Hidráulica		0,56	2,36	1,5188	0,52916	0,280

Estatística descritiva da profundidade 0,00 a 0,15 metros do solo intermediário ao rio

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,84	1,39	1,0690	0,16495	0,027
Densidade das partículas		2,25	2,47	2,3700	0,06782	0,005
Porosidade		42,91	62,53	54,9400	6,43437	41,401
Carbono Orgânico Total	10	2,16	3,80	2,8770	0,49726	0,247
Argila		6,6	21,4	13,600	4,7060	22,147
Areia total		45,8	72,5	57,620	8,9781	80,606
Silte		16,8	39,3	28,780	7,6771	58,937
Log Condutividade Hidráulica		0,56	1,46	1,0789	0,27151	0,074

Estatística descritiva da profundidade 0,00 a 0,15 metros do solo afastado do rio

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,50	1,21	0,8740	0,19375	0,038
Densidade das partículas		2,11	2,47	2,2890	0,11503	0,013
Porosidade		48,46	76,18	61,9310	7,89677	62,359
Carbono Orgânico Total	10	2,66	4,56	3,5790	0,55350	0,306
Argila		12,3	29,2	20,110	5,4114	29,283
Areia total		20,9	60,9	45,150	11,6412	135,518
Silte		20,4	66,4	34,740	13,6704	186,880
Log Condutividade Hidráulica		0,86	2,34	1,3875	0,41473	0,172

Estatística descritiva da profundidade 0,15 a 0,30 metros do solo próximo ao rio

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,91	1,50	1,1540	,18338	,034
Densidade das partículas		2,27	2,56	2,4320	,08149	,007
Porosidade		41,41	63,11	52,6330	6,55903	43,021
Carbono Orgânico Total	10	1,79	3,90	3,0070	0,74744	0,559
Argila		6,7	24,1	13,630	6,2709	39,325
Areia total		33,2	76,7	58,180	14,4066	207,551
Silte		15,7	51,9	28,190	10,6505	113,432
Log Condutividade Hidráulica		0,56	2,36	1,5188	0,52916	0,280

Estatística descritiva da profundidade 0,15 a 0,30 metros do solo intermediário ao rio

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,99	1,29	1,14	0,09	0,008
Densidade das partículas		2,27	2,50	2,39	0,07	0,005
Porosidade		46,29	60,35	52,46	3,99	15,93
Carbono Orgânico Total	10	1,94	3,42	2,58	0,42	0,18
Argila		9,5	21,8	15,72	3,68	13,57
Areia total		39,4	77,1	56,55	11,60	134,78
Silte		13,4	43,3	27,73	9,86	97,4
Log Condutividade Hidráulica		0,56	1,88	0,98	0,39	0,16

Estatística descritiva da profundidade 0,15 a 0,30 metros do solo afastado do rio

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade do Solo		0,55	1,59	1,0110	0,28	0,08
Densidade das partículas		2,20	2,50	2,3340	0,1	0,01
Porosidade		34,59	74,89	56,8270	11,09	123,03
Carbono Orgânico Total	10	1,94	3,70	2,9440	0,57	0,33
Argila		20,5	29,3	22,950	2,79	7,82
Areia total		38,7	59,2	48,800	7,17	51,49
Silte		18,5	39,5	28,250	6,43	41,34
Log Condutividade Hidráulica		0,16	1,40	0,7096	0,37	0,14