

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE FLORESTAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**Critérios Ambientais para Estabelecimento de  
Ações de Manejo em Planícies de Inundação do Rio  
Paraíba do Sul**

**Marcelle Nardelli Baptista**

**2014**



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

**CRITÉRIOS AMBIENTAIS PARA ESTABELECIMENTO DE**  
**AÇÕES DE MANEJO EM PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO DO RIO**  
**PARAÍBA DO SUL**

**MARCELLE NARDELLI BAPTISTA**

*Sob a Orientação do Professor*

**Ricardo Valcarcel**

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

Seropédica, RJ

Fevereiro, 2014

627.4  
B222c  
T

Baptista, Marcelle Nardelli, 1982-  
Critérios ambientais para  
estabelecimento de ações de manejo  
em planícies de inundação do Rio  
Paraíba do Sul / Marcelle Nardelli  
Baptista. - 2014.  
55 f.: il.

Orientador: Ricardo Valcarcel.  
Dissertação (mestrado) -  
Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro, Curso de Pós-Graduação  
em Ciências Ambientais e  
Florestais, 2014.  
Bibliografia: f. 42-46.

1. Várzeas - Manejo - Teses. 2.  
Paraíba do Sul, Rio - Teses. 3.  
Bacias hidrográficas - Manejo -  
Teses. 4. Gestão ambiental - Teses.  
5. Recursos naturais - Teses. 6.  
Hidrologia - Teses. I. Valcarcel,  
Ricardo, 1953-. II. Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro.  
Curso de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais e Florestais. III.  
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**

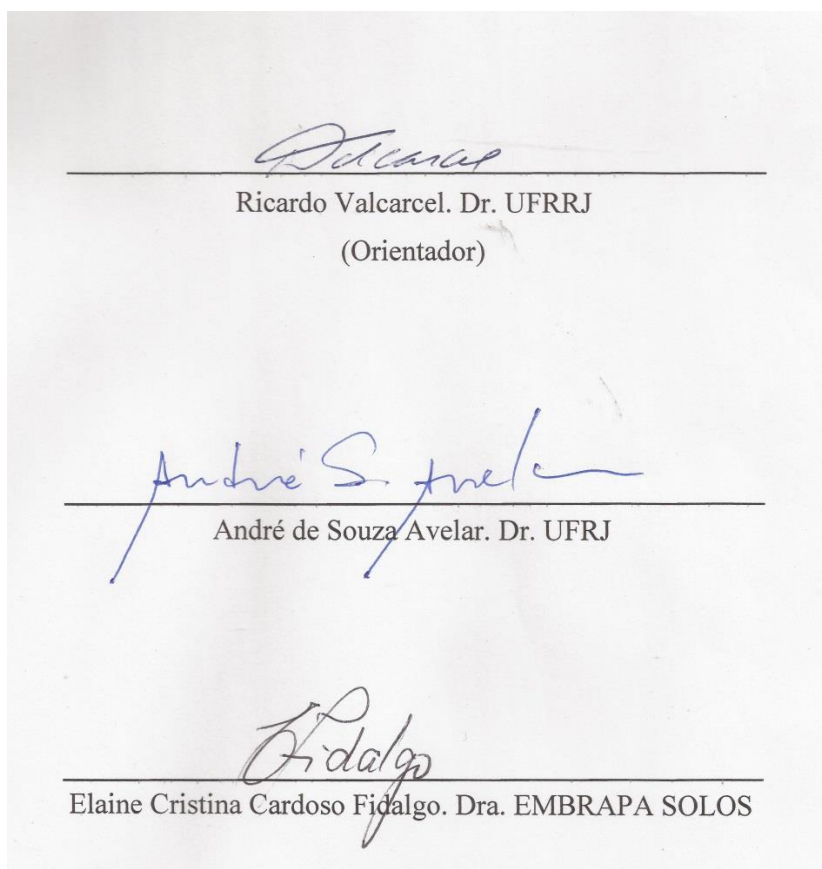
**INSTITUTO DE FLORESTAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**MARCELLE NARDELLI BAPTISTA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 14/02/2014



## DEDICATÓRIA

*A Pedro e Lis, meus amados e esperados filhos,  
Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por permitir que fosse possível;

À meus pais, por me incentivarem, exemplificando e ensinando a importância do estudo;

À meu marido William, que esteve sempre comigo, com paciência e amor;

Ao Professor Ricardo Valcarcel, que soube orientar com sabedoria não só a parte técnica, mas principalmente a psicológica;

À UFRRJ, que foi muito mais que uma escola, com ensinamentos valiosos que carrego para toda a vida;

Aos companheiros do LMBH, por suas sugestões, comentários e atenção;

Ao Fernando Canto, pelo apoio no geoprocessamento;

Ao Vandrê Maya, pelo trabalho em equipe;

À minha querida avó Terezinha, por se preocupar tanto comigo;

Aos moradores de Porto Real, que permitiram que entrasse em suas casas para realizar o monitoramento mensal;

À Secretaria de Meio Ambiente de Porto Real;

À Maria Amélia, pela tradução dos resumos;

Ao Professor Emanuel, pela força na estatística do capítulo II;

Aos amigos e familiares, que tornam nossa vida mais leve trazendo os momentos de descontração;

Meu mais sincero e profundo obrigado!

## RESUMO GERAL

BAPTISTA, Marcelle Nardelli. **Critérios ambientais para estabelecimento de ações de manejo em planícies de inundação do rio Paraíba do Sul.** 2014. 46 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

Planície de inundação é a faixa do terreno adjacente ao vale fluvial inundável, onde se realizam recarga do lençol freático e regularização das vazões, importantes serviços ambientais. Realizou-se o levantamento das planícies de inundação do rio Paraíba do Sul, localizado no sudeste brasileiro, através de técnicas de geoprocessamento, com uso dos softwares *ArcGIS 10* e *ENVI 4.7*, de modo que as planícies de inundação foram individualizadas e caracterizadas morfometricamente. Através da Análise de Cluster, as planícies foram agrupadas em função das suas habilidades para manejo com base na renaturalização das suas funções hidrológicas em: a) *outlier* devido à extensa área (uma unidade); b) baixo potencial de manejo (9 unidades); c) médio potencial de renaturalização (15 unidades); d) alto potencial de manejo (52 unidades). A partir deste agrupamento foram selecionadas planície de inundação com alto potencial de manejo, visando gerar informações que permitam aumentar a capacidade de regularização hídrica, espacializando os usos de áreas como potencial para renaturalização de funções hidrológicas das planícies de inundação e sua consequente geração de serviços ambientais na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Mediu-se a altura do lençol freático através da instalação e/ou medição do nível da água (NA) em áreas urbanizadas (13 medidores de NA), em áreas não urbanizadas (09 medidores de NA) e as margens da calha (03 medidores de NA). Para análise estatística entre as diferentes situações, utilizou-se o método de identidade de modelos. Houve diferença significativa entre os medidores localizados na área urbanizada e na área não urbanizada. Conclui-se que a urbanização inibe as funções hidrológicas e recomenda-se o resguardo das áreas não urbanizadas das planícies de inundação do mesmo grupo da área de estudo através da criação de UCs que direcionem o uso e prezem pelo planejamento ambiental. A soma da área das planícies de inundação (215.660,22 ha) representa 3,87% da área da bacia, demonstrando que ações focais em locais específicos da bacia, que resguardem as funções das planícies de inundação, podem trazer retornos consideráveis na regularização hídrica e na perenidade da vazão. Essas ações conferem maiores respostas com menor investimento. O levantamento e classificação das planícies de inundação de acordo com o potencial de manejo são fundamentais para que ações sejam realizadas em locais com características favoráveis à implantação de estratégias conservacionistas de manejo, visando aumentar a capacidade de armazenamento de água.

**Palavras chaves:** serviços ambientais; planejamento ambiental; manejo de recursos hídricos

## GENERAL ABSTRACT

BAPTISTA, Marcelle Nardelli. **Environmental criteria for establishment of management actions in floodplains of the River Paraíba do Sul**. 2014. 46 p. Dissertation (Master's Degree in Environmental Sciences and Forests). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

Floodplain is the range of the terrain in / effluent to flooded river valley, where they perform groundwater recharge and flows regulation, important environmental services. We conducted a survey of the flood plains of the Paraíba do Sul River, located in southeastern Brazil. Through GIS techniques, using *ArcGIS 10* and *ENVI 4.7* software, the flood plains were isolated and characterized morphometrically. Through cluster analysis, the plains were grouped according to their abilities to management based on the renaturation of its hydrological functions: a) *outlier* due to the extensive area (unit), b) low potential for management (9 units); c) Average potential renaturation (15 units), d) high potential management (52 units). From this group, we selected flood plain with high management potential, in order to generate information that will enhance the ability of water regulation, spatialising uses of areas as potential for renaturation of hydrological functions of floodplains and the consequent generation of environmental services in the basin of the Paraíba do Sul river was measured height of the groundwater table through the installation and / or measurement of piezometers in urban areas (13 piezometers) in non-urbanized areas (09 piezometers) and the margins of the trough (03 piezometers). Statistical analysis between different situations, we used the method of model identity. Significant difference between the piezometers located in the urbanized area and not urbanized area. We conclude that urbanization inhibits hydrological functions and recommended the shield of non-urbanized areas of the floodplains of the same cluster of the study area through the creation of PAs that direct use by prezem and environmental planning. The total area of floodplain (215,660.22 ha) represents 3.87% of the basin area, demonstrating that focal actions in specific areas of the basin, that protect the functions of floodplains, can bring considerable returns on water regulation and continuity of flow. These actions give higher responses with less investment. The survey and classification of floodplains in accordance with management potential are fundamental to what actions are carried out in locations with favorable deployment of conservation management strategies to increase the storage capacity of water features.

**Key words:** environmental services; environmental planning; management of water resources



## SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas  
APP – Área de Proteção Ambiental  
CEIVAP – Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IU – Índice de Urbanização  
IU<sub>total</sub> – Índice de Urbanização Total  
MDE – Modelo Digital de Elevação  
NA – nível de água  
ONS – Operadora Nacional do Sistema Elétrico  
RH – Regiões Hidrográficas  
RMRJ – Região Metropolitana do Rio de Janeiro  
SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos  
SRTM – Shuttle Radar Topography Mission  
UC – Unidade de Conservação  
USGS – United States Geological Survey

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação I-01: Índice de Circularidade .....	14
Equação I-02: Índice de Urbanização.....	16
Equação I-03: Índice de Urbanização Total .....	16

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Bacia do rio Paraíba do Sul (Fonte: ANA, 2012). .....	3
Figura I-01: Bacia do rio Paraíba do Sul. ....	12
Figura I-02: Fluxograma para demarcação e individualização das planícies de inundação da bacia do Rio Paraíba do Sul.....	13
Figura I-03: Planícies de inundação do levantamento de campo feito para elucidação dos critérios de separação dos parâmetros em área piloto na bacia do rio Paraíba do Sul, trecho Porto Real/Barra Mansa. A) Visão da planície de inundação. B) Imagem Google Earth. ....	13
Figura I-04: MDE da bacia do rio Paraíba do Sul com planícies de inundação disposta nos 1.150 km de calha. ....	17
Figura I-05: Distribuição da urbanização na calha do rio Paraíba do Sul. A) região paulista, B) região sul fluminense, C) região centro e norte fluminense. ....	21

Figura II-01: Área de estudo a partir de imagem Google Earth.....	27
Figura II-02: Precipitação mensal registrada na área de estudo.....	28
Figura II-03: Estações a montante e a jusante da Represa do Funil. Imagem Google Earth. ..	29
Figura II-04: Drenos e área de influência da planície de inundação de Porto Real. Imagem Google Earth.....	30
Figura II-05: Localização dos medidores de NA em imagem do Google Earth com redes de drenagem (azul escuro) e área de influência (azul claro). .....	32
Figura II-06: Medição da profundidade do lençol freático.....	33
Figura II-07: Concentração de material em suspensão (ppm) nas estações Queluz e Resende. ....	34
Figura II-08: Volume útil do Reservatório do Funil nos anos de 2000 e 2012. ....	34
Figura II-09: Diferença entre vazão no período chuvoso e de estiagem nas estações Queluz e Resende antes e após a instalação da Usina Hidrelétrica do Funil.....	35
Figura II-10: Variação na altura do lençol freático em medidores de NA instalados na calha e distância dos meses do controle estrutural. ....	36
Figura II-11: Variação na profundidade do lençol freático em medidores de NA instalados na área não urbanizada. ....	37
Figura II-12: Variação mensal na altura do lençol freático em cada medidor de NA instalados na área não urbanizada. ....	38
Figura II-13: Medidor Pz 04 de área não urbanizada no mês de fevereiro, apresentando lâmina de água.....	39
Figura II-14: Variação na profundidade do lençol freático em medidores de NA instalados na área urbanizada.....	39

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01: Unidades de Conservação da bacia do rio Paraíba do Sul.....	4
Tabela I-01: Descrição das bandas utilizadas na área de estudo. ....	15
Tabela I-02: Descrição dos trechos do rio Paraíba do Sul segundo Marengo & Alves (2005) e quantidade de planícies de inundação em cada trecho. ....	17
Tabela I-03: Descrição das represas localizadas em planícies de inundação do rio Paraíba do Sul.....	18
Tabela I-04: Distribuição das planícies de inundação de acordo com a área.....	18
Tabela I-05: Distribuição das planícies de inundação de acordo com o Índice de Urbanização. ....	19
Tabela I-06: Intervalo das variáveis dentro dos grupos.....	21
Tabela II-01: Características dos medidores de NA utilizados na mensuração da altura do lençol freático. ....	31

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	1
BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL .....	3
CAPÍTULO I – POTENCIAL DE MANEJO EM PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO .....	8
Resumo .....	9
Abstract.....	10
1 Introdução.....	11
2 Material e Método .....	11
2.1 Área de Estudo .....	11
2.2 Planícies de Inundação .....	12
2.2.1 Critérios de Delimitação .....	13
2.3 Morfometria.....	14
2.4 Índice de Urbanização .....	14
2.4.1 Imagens.....	14
2.4.2 Classificação das Imagens .....	15
2.4.3 Área Urbanizada .....	15
2.5 Agrupamento Funcional .....	16
3. Resultado e Discussão .....	16
3.1 Características Morfométricas .....	18
3.2 Índice de Urbanização .....	19
3.3 Agrupamento .....	21
4. Conclusões.....	22
CAPÍTULO II – PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO .....	23
Resumo .....	24
Abstract.....	25
1 Introdução.....	26
2 Material e Método .....	27
2.1 Área de Estudo .....	27
2.1.1 Área da Planície de Inundação .....	28
2.2 Precipitação Local .....	28
2.3 Regularização Artificial da Vazão.....	28
2.4 Funcionamento Hidrológico .....	29
2.4.1 Área de Influência .....	30
2.4.2 Lençol Freático .....	31
2.5 Análise Estatística .....	33
3 Resultado e Discussão .....	34
3.1 Influência do Represamento .....	34
3.2 Variação do Nível de Água.....	35
3.3 Lençol Freático .....	36
4 Conclusão .....	40
CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES .....	41
REFERÊNCIAS .....	42

## INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso essencial aos ecossistemas e à vida humana, indispensável aos sistemas de produção industriais, alimentícios, geração de energia, navegação, turismo e lazer, entre outros (CECÍLIO & REIS, 2006; UNESCO, 2009). Com o aumento de demanda de uso, o recurso se torna a cada dia mais escasso em quantidade e qualidade. A demanda pode ser atribuída ao crescimento populacional, industrialização, agricultura de alta produção, práticas inadequadas de manejo dos recursos hídricos e aos fenômenos advindos das mudanças climáticas (VEIGA & MAGRINI, 2013). Este último é caracterizado pela diminuição da pluviosidade nos meses de inverno, com aumento de dias secos (BRAVO & MORAIS, 2013).

O manejo dos recursos hídricos deve ser feito em bacias hidrográficas, considerando-as unidades hidrológicas no tocante aos aspectos quantitativos e unidade de planejamento ambiental (aspectos qualitativos), quando se incorpora os efeitos decorrentes dos aspectos geológicos, geomorfológicos e ambientais no tempo (BRASIL, 1997; VALCARCEL, 1998; RIO DE JANEIRO, 1999; CECÍLIO & REIS, 2006). A bacia hidrográfica compreende a área de captação da água oriunda da precipitação convergida para um ponto de saída, o exutório. É um sistema dinâmico e aberto, cujos fluxos hídricos se decompõem espacialmente em diferentes superfícies, vertentes e rede de drenagem. Para manejá-la, deve-se observar holisticamente o sistema, porém atuar através de ações objetivas nos seus setores, baseado em suas funções primordiais, e não somente nas imediações das calhas (VALCARCEL, 1998).

A planície de inundação é o local da bacia hidrográfica onde hidrológicamente se verifica a laminação de cheias e se processam trocas de água entre calha dos rios e margens das áreas adjacentes, promovendo a regularização hídrica, principalmente nas grandes bacias (CHRISTOFOLETTI, 1980). Sua definição, contemplada pela lei federal 12.651/12, é a de “*áreas marginais a cursos d'água sujeitas a enchentes e inundações periódicas*” (BRASIL, 2012). São consideradas Áreas de Proteção Permanente quando declaradas de interesse social por ato do Chefe do Poder Executivo. A dinâmica hidrológica se inicia nos períodos de cheias, quando há saturação dos solos das planícies, recarga dos lençóis freáticos e retenção de água. Parte desta água é liberada nos períodos de estiagem, contribuindo para regularização hídrica e, conseqüentemente, na perenidade da vazão (FIGUEROA, 1996).

A urbanização nas planícies de inundação prejudica o seu funcionamento hidrológico e os serviços ambientais prestados ao longo dos corpos hídricos (CORREIA et al., 1999; FAULKNER, 2004). Longos trechos são confinados lateralmente por muros de contenção, reduzindo os efeitos na regularização hídrica, além de expor a calha aos efeitos da sazonalidade, aumentando a frequência das cheias (CORREIA et al., 1999), agravada pela compactação dos terrenos urbanizados, reduzindo fluxos horizontais em planícies de inundação e afetando os seus serviços ambientais, onde os fluxos são multidirecionados, em função dos equilíbrios hidráulicos existentes (NARDI et al., 2013). Ocorre inibição da infiltração e recarga superficial das reservas do aquífero e interferência nos fluxos de escoamento direto dos rios, responsáveis pela perenização (GROFFMAN et al., 2003).

A frequência de enchentes em cidades localizadas em planícies de inundação mal administradas tem aumentado, pois, além da impermeabilização do solo, os núcleos urbanos são construídos com base nos eventos meteorológicos médios, desconsiderando eventos máximos, cujo tempo de recorrência é elevado (FAULKNER, 2004). Outro problema

ocasionado pela ocupação desordenada é a falta de água nas épocas de estiagem, visto que devido ao grande escoamento superficial e pouca infiltração das águas pluviais, ocorre diminuição do tempo de concentração da água na bacia (JUNG et al., 2011). Portanto, a água que deveria ser armazenada nas reservas subterrâneas é disponibilizada ainda durante as chuvas, causando aumento do déficit hídrico nos períodos de estiagens e enchentes nos períodos chuvosos. Deste modo, é recomendável que a urbanização se harmonize com os processos geomorfológicos e ecológicos essenciais.

O levantamento das planícies de inundação e o conhecimento das suas funções hidrológicas são fundamentais para mapeamento dos locais com características favoráveis à implantação de estratégias conservacionistas de seu manejo, com objetivos de aumentar capacidade de armazenamento de água (FRAPPART et al., 2011). O uso das planícies de inundações deve contemplar a entrada, condução e liberação das cheias, favorecendo a laminação das cheias e promovendo a perenização das calhas (FIGUEROA, 1996).

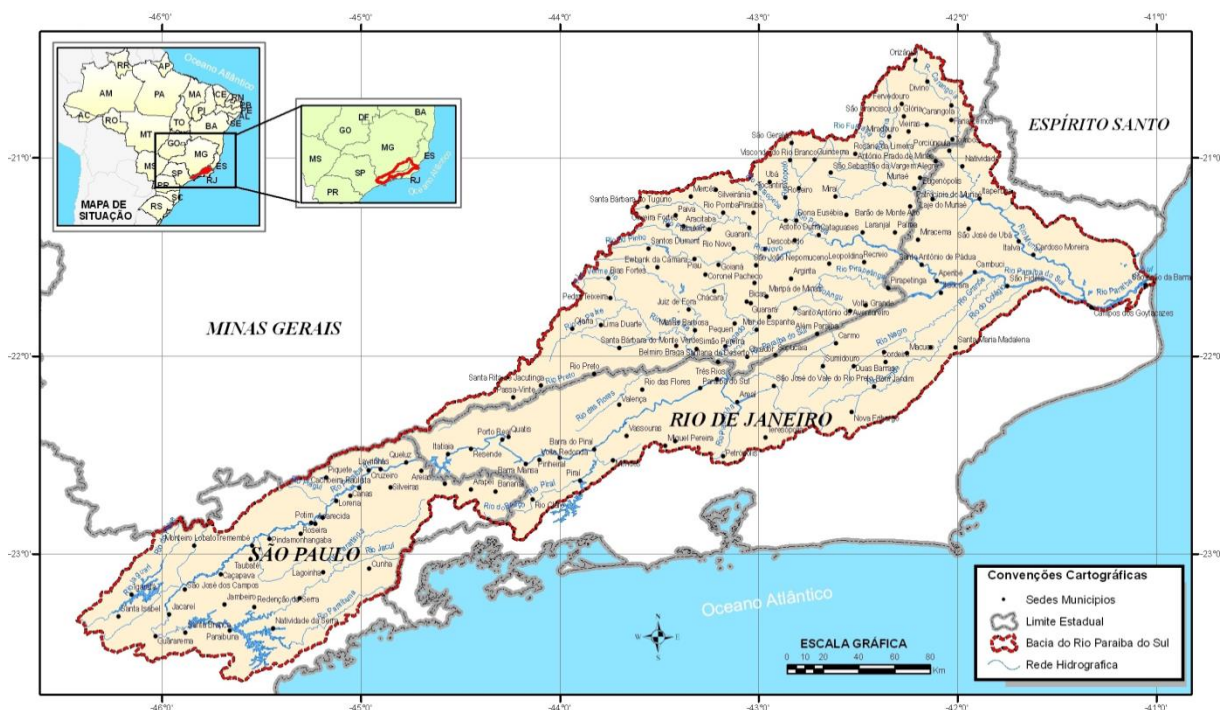
Para resguardar as funções das planícies de inundação, é necessário controle das atividades, restringindo o seu uso particular em função do benefício público. Uma alternativa restritiva de uso que possibilite o manejo conservacionista é a criação de unidades de conservação (UC), instrumentos de planejamento que podem melhorar e/ou garantir oferta de serviços hidro-ambientais, aliando interesses socioeconômicos e conservacionistas.

Este trabalho foi dividido em dois capítulos e tem como objetivo caracterizar e agrupar as planícies de inundação do rio Paraíba do Sul em função do seu potencial de manejo (Capítulo I) e inferir sobre a dinâmica hidrológica em planícies de inundação com alto potencial de manejo (Capítulo II).

## BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

O Brasil possui 8.514.876 km<sup>2</sup> e 190.755.000 habitantes distribuídas em zonas urbanas (84%) e rurais (16%) (IBGE, 2011), ou seja, consumidores e produtores de recursos hídricos. A estruturação hidrológica por manejo de bacias hidrográficas se iniciou em 2003, quando foram definidas 12 Regiões Hidrográficas (RH), compostas por bacias hidrográficas com características naturais, sociais e econômicas similares, independentes da divisão política (VEIGA & MAGRINI, 2013). A RH Atlântico Sudeste, na qual está inserida a área de estudo, possui 212.629 km<sup>2</sup>, vazão média de 3.179 m<sup>3</sup>/s e 3.971m<sup>3</sup>/hab/ano (BRAGA et al., 2008). Devido à proximidade dos centros urbanos, suas bacias apresentam problemas de ocupação territorial desordenada e perdas de qualidade e disponibilidade de água.

A bacia do rio Paraíba do Sul (Figura 01) abrange três dos quatro estados da região Sudeste, 6% de sua área e 0,7% do país. Compreendem 5 % de São Paulo (13.500 km<sup>2</sup>), 4% de Minas Gerais (20.900 km<sup>2</sup>), e 63% do Rio de Janeiro (21.000 km<sup>2</sup>), totalizando 55.400 km<sup>2</sup>. Localiza-se entre os paralelos 20°26' e 23°00' S e os meridianos 41°00' e 46°30' (CEIVAP, 2006; OVALLE et al., 2013). No Estado de São Paulo, o rio percorre 39 municípios (25% da bacia), Minas Gerais 88 municípios (37,3%) e Rio de Janeiro 57 municípios (37,7%) (CEIVAP, 2006).



**Figura 01:** Bacia do rio Paraíba do Sul (Fonte: ANA, 2012).

A bacia situa-se entre as serras do Mar e da Mantiqueira, direção leste-oeste, tendo seu nascedouro no rio Paraitinga, município Areias/SP a mais de 1.800 metros de altitude. Passa a ser denominado Paraíba do Sul no entrocamento com o rio Paraibuna, no estado de São Paulo. O rio percorre 1.150 km, apresenta altitude média de 370 m e longos trechos com pequenas variações altitudinais em seu curso, desaguando em Atafona, município de São João da Barra/RJ, com vazão máxima de 4.384 m<sup>3</sup>/s no período de verão e vazão mínima de 181 m<sup>3</sup>/s no inverno (BIZERRIL, 1999; CALDAS et al., 2007; BALDOTTO et al., 2009). É limitada ao Norte pelas bacias dos rios Grande e Doce, contemplando as serras da Mantiqueira,

Caparaó e Santo Eduardo. A Nordeste confronta com a bacia do rio Itabapoana. Ao Sul, o limite é formado pela serra do Mar. A Oeste, pela bacia do rio Tietê, separado por meio de ramificações dos maciços da serra do Mar e Mantiqueira (CEIVAP, 2006).

A região tem clima tropical quente e úmido, com variações determinadas pelas diferenças de altitude e entradas de ventos marinhos. Predomina o domínio ecológico da Mata Atlântica com apenas 10,8% ocupados com remanescentes florestais (CEIVAP, 2006), encontrados nas regiões elevadas de relevo acidentado e/ou em áreas protegidas. 50% de suas florestas estão em Unidades de Conservação (CEIVAP, 2006) federais, estaduais e municipais, além de Reservas Particular de Patrimônio Natural (Tabela 01).

**Tabela 01:** Unidades de Conservação da bacia do rio Paraíba do Sul.

Nome	Área (ha)	Localização
<i>Estações Ecológicas</i>		
Estação Ecológica de Bananal	884	Trecho Paulista
Ribeirão São João	188	Trecho Mineiro
Água Limpa	71	Trecho Mineiro
<i>Áreas de Proteção Ambiental (APA)</i>		
APA Serra da Mantiqueira		Trecho Paulista, mineiro e fluminense
APA Mananciais do Vale do Paraíba	367000	Trecho Paulista
APA Silveiras	42700	Trecho Paulista
APA Banhado de São José dos Campos		Trecho Paulista
APA Roseira Velha		Trecho Paulista
APA Bananal	33000	Trecho Paulista
APA Mata do Krambeck	1488	Trecho Mineiro
APA Floresta do Jacarandá	2700	Trecho Fluminense
APA Rio das Flores	7500	Trecho Fluminense
APA de Petrópolis	59049	Trecho Fluminense
<i>Áreas de Proteção Ambiental (APA) Municipais</i>		
Fervedouro	10803	Trecho Mineiro
Serra das Pedras	1680	Trecho Mineiro
Montanha Santa	2460	Trecho Mineiro
Serra das Pedras	623	Trecho Mineiro
Água Limpa	394	Trecho Mineiro
Serra das Pedras	1310	Trecho Mineiro
Jacutinga	312	Trecho Mineiro
Santa Helena	162	Trecho Mineiro
Pico Itajuru	2772	Trecho Mineiro
Pedra Dourada	1712	Trecho Mineiro
Serra da Piedade	1052	Trecho Mineiro
<i>Parques Nacionais</i>		
Parque Nacional da Serra da Bocaina	120000	Trecho Paulista
Parque Nacional de Itatiaia	30000	Trecho Fluminense
Parque Nacional da Serra dos Órgãos	11800	Trecho Fluminense

**Tabela 01:** Continua.

<i>Parques Estaduais</i>		
Parque Estadual da Serra do Mar	309938	Trecho Paulista
Parque Estadual do Ibitipoca	1488	Trecho Mineiro
Parque Estadual Serra do Brigadeiro	13218	Trecho Mineiro
Parque Estadual dos Três Picos	46360	Trecho Fluminense
Parque Estadual do Desengano	22400	Trecho Fluminense
<i>Parques Municipais</i>		
Bauhimas Variegatas	14	Trecho Mineiro
Fervedouro	143	Trecho Mineiro
Luiz Viana	7	Trecho Mineiro
Lajinha	118	Trecho Mineiro
Antônio Andrade Ribeiro	32	Trecho Mineiro
Marliérie	19	Trecho Mineiro
Cabeça Branca	113	Trecho Mineiro
Antônio Guimarães Almeida	42	Trecho Mineiro
Antenor Oliveira Brun	39	Trecho Mineiro
<i>Área de Relevante Interesse Ecológico - ARIE</i>		
ARIE da Pedra Branca	635	Trecho Paulista
Floresta da Cicuta		Trecho Fluminense
<i>Área sob Proteção Especial – ASPE</i>		
ASPE de Roseira Velha	84	Trecho Paulista
<i>Reserva</i>		
Reserva da Biosfera		Trecho Fluminense
REBIO Araras		Trecho Fluminense
<i>Reservas Biológicas Municipais</i>		
Santa Cândida	113	Trecho Mineiro
Poço D´Antas	277	Trecho Mineiro
Rio do Peixe	60	Trecho Mineiro
Represa do Grama	263	Trecho Mineiro
Miragaia	100	Trecho Mineiro
Lapinha	368	Trecho Mineiro
<i>Área Tombada</i>		
Área de Tombamento da Mata Atlântica		Trecho Fluminense
Foz do rio Paraíba do Sul e seu Manguezal, Ilha da Convivência, Complexo Mesográfico		Trecho Fluminense

Fonte: CEIVAP, 2006.

Na bacia hidrográfica do Paraíba do Sul se desenvolvem atividades ligadas às indústrias da siderurgia, produtos químicos, alimentícios e papel e celulose (OVALLE et al., 2013), sendo a pecuária o principal uso do solo (67%), embora os campos/pastagens sejam também considerados como terras degradadas e/ou sem uso (CEIVAP, 2006), conforme registrado como elemento justificável do declínio da atividade entre 1985-1995 (IBGE, 2006). O mesmo estudo registrou redução das lavouras em Minas gerais (35%), Rio de Janeiro (46%) e São Paulo (46%).



As principais atividades que consomem as águas do rio Paraíba do Sul são irrigação (30,28 m<sup>3</sup>/s), uso industrial (6,19 m<sup>3</sup>/s), abastecimento público (3,37 m<sup>3</sup>/s), pecuária (1,73 m<sup>3</sup>/s) e a transposição de energia hidrelétrica (aproximadamente 170 m<sup>3</sup>/s) (BRAGA et al., 2008). O rio abastece quatorze milhões de pessoas, incluindo oito milhões da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, situada fora da bacia hidrográfica do rio (CALDAS et al., 2007; BRAGA et al., 2008). A calha do rio possui quarenta e sete reservatórios e usinas hidrelétricas de vários tamanhos (OVALLE et al., 2013). No período entre as décadas de 1930 a 1960 foram construídas as principais barragens ao longo do rio: Paraibuna/Paraitinga, Santa Branca, Funil, Santa Cecília e Ilha dos Pombos. Essas barragens modificaram o comportamento hidráulico-sedimentológico do rio.

Em 1996 foi criado o Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIPAV) a partir de uma articulação interestadual com a União (CALDAS et al., 2007; BRAGA et al., 2008). Existem atualmente sete comitês de bacias de rios afluentes, sendo um no Estado de São Paulo, quatro no Rio de Janeiro e dois em Minas Gerais (CEIVAP, 2006). Apesar dessa integração entre estados e União, os esforços de articulação institucional precisam ser aprimorados para aumentar eficiências das ações (VEIGA & MAGRINI, 2013).

O Estado de São Paulo, no qual se localiza o terço superior do rio Paraíba do Sul, desenvolve pesquisas para equacionar problemas relativos ao manejo de bacias hidrográficas na região do alto Paraíba no Parque Estadual da Serra do Mar/Núcleo Cunha. Atualmente, elabora-se neste Estado o Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, que apresenta necessidade de estruturar programas de gestão e produção de água para suprir a crescente demanda hídrica de abastecimento urbano, industrial e de irrigação (COBRAPE, 2013). Uma das opções apresentadas pelo Plano Diretor é a transposição do rio Paraíba do Sul com transferência de água para o Sistema Produtor Cantareira através de estação elevatória.

O Estado do Rio de Janeiro, situado no terço médio e inferior do rio Paraíba do Sul, não possui programas de produção de água, sem ações claras de manejo conservacionista. Transposição semelhante à planejada pelo Estado de São Paulo foi realizada no Estado do Rio de Janeiro em 1952. A Elevatória de Santa Cecília foi construída no município de Barra do Piraí e possui capacidade de bombeamento de 160 m<sup>3</sup>/seg de água do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu (LAMEIRA et al., 2010). O sistema de captação realizado pela LIGHT Serviços de Eletricidade S/A, gera energia suficiente para abastecer 20% do consumo da Região Metropolitana do Rio de Janeiro - RMRJ e, conseqüentemente, abastece população de oito milhões de pessoas (80% da RMRJ).

A transposição realizada no Estado do Rio de Janeiro trouxe redução da vazão a jusante da elevatória de Santa Cecília em Barra do Piraí e dependência do Estado pelas águas do rio Paraíba do Sul devido às atuais demandas de água por parte da população, das atividades econômicas e, mesmo, para fins de manutenção do equilíbrio ambiental, resultante da disponibilidade hídrica criada pela transposição (MACEDO & PIMENTEL, 2004). A transposição a ser realizada no Estado de São Paulo possui características semelhantes, com redução de vazão, que trará impactos aos municípios fluminenses, tais como aumento de poluentes e do nível de toxicidade, em função de uma menor diluição dos esgotos domiciliar e industrial. Outros fatores que podem ser prejudicados com a diminuição da vazão é o abastecimento de água da capital fluminense e a capacidade de geração de energia das hidrelétricas situadas a jusante da transposição.

A transposição a ser realizada pelo Estado de São Paulo é inexorável, considerando o crescimento populacional e econômico da região. O Estado do Rio de Janeiro precisará encontrar alternativas de produção de água via processos que trabalhem com mecanismos de renaturalização das funções das planícies de inundação, como condição de disponibilizar recursos hídricos para amenizar os impactos negativos do projeto paulista.

## **CAPÍTULO I – POTENCIAL DE MANEJO EM PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO**

## Resumo

Planície de inundação é a faixa do terreno in/efluente ao vale fluvial inundável, onde se realizam recarga do lençol freático e regularização das vazões, importantes serviços ambientais. A urbanização destas áreas impermeabiliza o solo altera estes serviços e pode ser equacionada com políticas públicas. As planícies de inundações nos 1.150 km de extensão do rio Paraíba do Sul (55.400 km<sup>2</sup>) foram individualizadas, determinados suas áreas, fatores morfométricos e índice de urbanização, utilizando softwares de geoprocessamento (*ArcGIS 10* e *ENVI 4.7*), sendo posteriormente feito seu agrupamento por identidade funcional, utilizando Análise de Cluster, para identificar unidades com potencial de manejo a partir de técnicas de renaturalização de suas funções hidrológicas. Foram encontradas 77 planícies de inundação com superfícies variadas (13 a 145.000 ha), perímetros (1,8 - 4.200 km), baixos índices de circularidade (menores que 0,52) e baixo índice de urbanização (IU) médio (18,9%), evidenciando baixo potencial para inundações e elevada disponibilidade de manejo pela baixa urbanização. As planícies foram agrupadas em função das suas habilidades para manejo com base na renaturalização das suas funções hidrológicas em: a) *outlier* devido à extensa área (01 unidade); b) baixo potencial de manejo (09 unidades); c) médio potencial de manejo (15 unidades); d) alto potencial de manejo (52 unidades).

**Palavras chaves:** potencial de manejo; serviços ambientais; planejamento ambiental

## Abstract

Floodplain is the range of the terrain in / effluent to flooded river valley, where they perform groundwater recharge and regulation of flows, important environmental services. The urbanization of these areas the soil impermeable amending these services and can be equated with public policies. The flood plains in the 1150 km long from the Paraíba do Sul (55,400 km<sup>2</sup>) River were individually determined their areas, morphometric factors and urbanization rate, using a software; GIS (*ArcGIS 10* and *ENVI 4.7*), and subsequently made his reunification by functional identity, using cluster analysis to identify units with potential management techniques from renaturation of its hydrological functions. 77 flood plains with varied surfaces (13-145000 ha), girth (1.8 to 4200 km) were found, circularity index < 0.52 and low level of urbanization (UI) medium (18.9%), showing low potential for floods and high availability management by low urbanization. The plains were grouped according to their abilities to management based on the renaturation of its hydrological functions: a) outlier due to the extensive area (unit), b) low potential for management (9 units) c) medium potential management (15 units), d) high potential management (52 units).

**Key words:** management potential; environmental services; environmental planning

## **1 Introdução**

A planície de inundação, também conhecida como várzeas na toponímia popular brasileira, é a faixa do vale fluvial inundável recoberta com materiais depositados durante o transbordamento do rio (CHRISTOFOLETTI, 1980). Ela possui importante papel no balanço hídrico de bacias fluviais, modificando substancialmente o transporte de água e de sedimentos das bacias hidrográficas (FRAPPART et al., 2005). Durante o período das cheias, há transbordamento da seção da calha e inundação das planícies, gerando mudanças biogeoquímicas que alteram todos os seus ecossistemas, afetando desde os nutrientes até componentes da biota (HAMILTON, 2002). A maior parte da matéria orgânica fluvial deriva direta ou indiretamente da planície de inundação (JUNK et al., 1989; BAYLEY, 1995).

Embora as planícies de inundação cubram somente 6% da superfície terrestre (HAMILTON, 2002), elas são fundamentais para a melhora da qualidade da água, retendo substâncias tóxicas, mitigando processos erosivos de margens, reduzindo assoreamento nas calhas, e constituem refúgio de fauna colaborando para sua reprodução e sobrevivência (FIGUEROA, 1996). Elas funcionalmente atuam na composição dos fluxos durante inundações/estiagens, contendo sedimentos das encostas e compondo parte dos fluxos básicos que regulam as estiagens/cheias da calha (HAMILTON, 2002; FRAPPART et al., 2011).

Pequenos movimentos horizontais da água nas planícies e transversais ao leito constituem diferenças hidrométricas pequenas (poucos centímetros), porém formam centenas de quilômetros inundados e/ou secos de superfícies com profundidades variadas (NEIFF, 2003). Planícies de inundação com baixa frequência de saturação costumam ser priorizadas para fins de crescimento urbano, com riscos não menos expressivos (NARDI et al., 2013), alterando funções hidrológicas, volumes de água e o equilíbrio funcional do regime hídrico na bacia (CORREIA et al., 1999), sendo imprescindível incorporar a variável hidrológica destas áreas nos projetos de desenvolvimento regional.

Este capítulo objetiva levantar e caracterizar as planícies de inundação do rio Paraíba do Sul em função das suas habilidades atuais e potencias de produzirem serviços ambientais relacionados a regularização hídrica.

## **2 Material e Método**

### **2.1 Área de Estudo**

A bacia do rio Paraíba do Sul (Figura I-01) com 55.400 km<sup>2</sup> se encontra nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais e apresenta 1.150 km de leito principal, responsáveis pelo abastecimento de oito milhões de pessoas (OVALLE et al., 2013). O clima, segundo a classificação de Köppen, varia entre Cwb (clima temperado úmido com inverno seco e verão chuvoso) a Cfb (clima temperado úmido com verão chuvoso) e Aw (clima tropical com inverno seco). A temperatura média máxima anual é 26 a 28°C com mínimo entre 15 a 17°C e a precipitação média anual é de 2000 mm no terço superior e médio da bacia e de 1200 mm no terço inferior (OVALLE et al., 2013).



**Figura I-01:** Bacia do rio Paraíba do Sul.

## 2.2 Planícies de Inundação

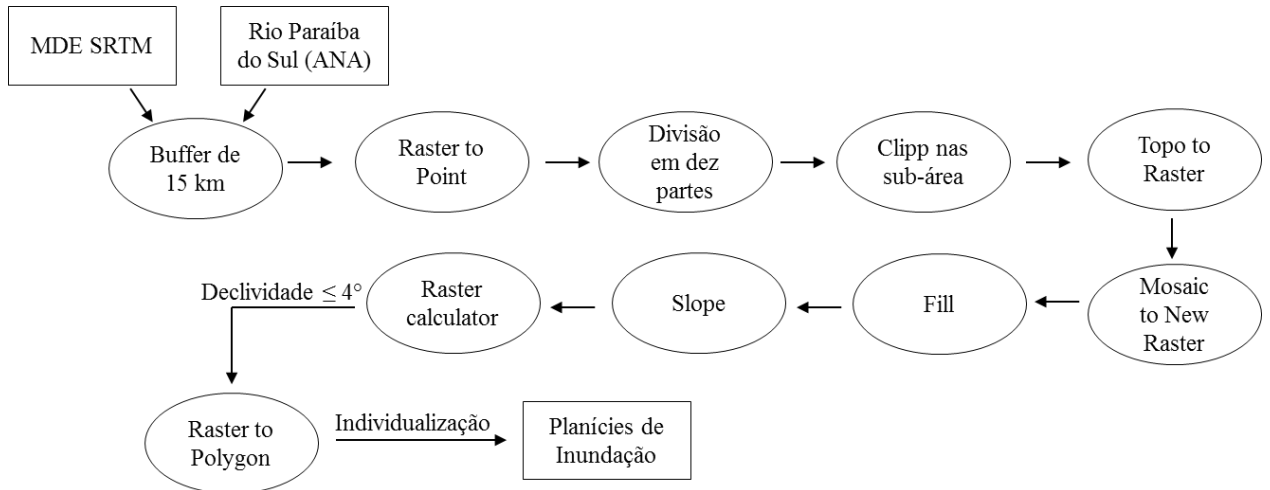
As planícies de inundação foram mapeadas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), realizada em 2000 a bordo da nave Endeavour, recolhendo imagens do planeta dispostas publicamente por intermédio da United States Geological Survey (USGS) (NASA, 2012), em resolução de 90 m e escala 1:250.000. Para a área de estudo, foram utilizadas 11 cenas com datum WGS84 e posteriormente convertidas para SIRGAS2000 através do software *ArcGIS 10*.

O MDE foi ajustado da escala de 1:250.000 para 1:100.000, com resolução espacial de 30 m, através de processo de interpolação (VALERIANO & ROSSETTI, 2012) realizado no software *ArcGIS 10* pela conversão do arquivo raster para shape de ponto (ferramenta *Conversion Tools* → *From raster* → *Raster to point*) e interpolação (*Spatial Analyst Tools* → *Interpolation* → *Topo to raster*). Considerando a extensão da bacia, foi necessária a divisão do MDE em dez partes para a realização do processo. Após o procedimento, as imagens foram novamente unidas para o prosseguimento do trabalho.

Segundo Priestnall et al. (2000), o modelo mais simples para mapear planícies de inundação consiste na interseção de um plano representando a superfície da água com um MDE. O contorno da calha do rio Paraíba do Sul foi obtido no site da Agência Nacional das Águas (ANA) em escala 1:50.000 (ANA, 2012).

Os procedimentos de demarcação e individualização das planícies de inundações (Figura I-02) foram efetuados com o software *ArcGIS 10*, em buffer de 15 km do rio Paraíba do Sul, desconsiderando seus tributários. Primeiramente, os procedimentos foram realizados

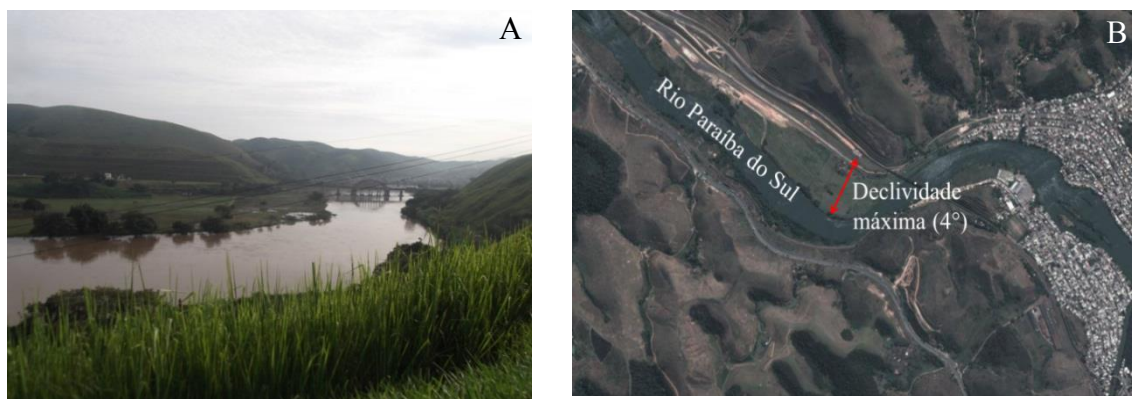
em buffer de 10 km, mas verificou-se ao final do processo que algumas planícies de inundação extrapolavam os 10 km estipulados, possuindo parte de sua área não levantada. Portanto, realizou-se novamente os procedimentos, com buffer de 15 km, visando levantar toda a área das planícies de inundação. O buffer de 15 km atendeu ao objetivo, compreendendo a totalidade das planícies de inundação.



**Figura I-02:** Fluxograma para demarcação e individualização das planícies de inundação da bacia do Rio Paraíba do Sul.

### 2.2.1 Critérios de Delimitação

Realizou-se inspeção visual em área piloto (Figura I-03) localizada no município de Barra Mansa (Km 278 da Rodovia Presidente Dutra) para análise das zonas de recarga em períodos de estiagens, condição mais desfavorável de regularização hídrica das planícies de inundação. Observou-se que estas áreas ocorrem de forma isolada dentro das planícies, mas principalmente em áreas adjacentes ao curso hídrico onde a declividade não excede a 4°. A individualização das planícies ao longo da calha foi feita a partir de controles estruturais das encostas que tocam à calha, sendo utilizadas como unidades funcionais.



**Figura I-03:** Planícies de inundação do levantamento de campo feito para elucidação dos critérios de separação dos parâmetros em área piloto na bacia do rio Paraíba do Sul, trecho Porto Real/Barra Mansa. A) Visão da planície de inundação. B) Imagem Google Earth.



### 2.3 Morfometria

As características morfométricas representam as formas como os fatores geomorfológicos determinantes das planícies de inundação atuaram até a presente data. Elas podem representar significados hidrológicos contemporâneos propiciados por interações pretéritas (GREGORY & WALLING, 1985).

Calculou-se a área e o perímetro através da tabela de atributos das planícies de inundação individualizadas, função *Calculate geometry*, propriedades *área* e *perimeter*, respectivamente. O índice de circularidade demonstra quanto a forma aproxima-se de uma circunferência, tendendo para unidade à medida que a planície de inundação aproxima-se a forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (CARDOSO et al., 2006). Foi calculado a partir da Equação I-01:

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

Em que:

IC = índice de circularidade (adimensional)

P = perímetro da planície de inundação (m)

A = área da planície de inundação (m<sup>2</sup>)

### 2.4 Índice de Urbanização

O termo “urbanização” descreve crescimento na habitação humana ligada com gasto de energia e consumo de recursos, com extensiva modificação da paisagem. A urbanização tem impacto maior do que a silvicultura e a agricultura em planícies de inundação (FAULKNER, 2004). A quantificação da paisagem urbana pode indicar o grau de distúrbio de planícies de inundação (WANG et al., 2008). Dimensão de área construída muito alta significa que essa área perdeu suas funções hidrológicas (GHERMANDI et al., 2010). Portanto, quantificou-se a área urbanizada nas planícies de inundação do rio Paraíba do Sul, a fim de averiguar as áreas que possuem aptidão para ações de renaturalização das funções hidrológicas.

#### 2.4.1- Imagens

O índice de urbanização das planícies de inundação foi obtido a partir de imagens do satélite indiano Resourcesat 1, satélite IRS-46, sensor LISS03, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que possui resolução espacial de 23,5m e quatro bandas espectrais (verde, vermelha, infravermelho próximo e infravermelho médio).

Foram utilizadas seis imagens, recompostas no modo RGB com as bandas 4, 5 e 3, descritas na Tabela I-01, utilizando função *Composition Band* do software *ENVI 4.7*. Posteriormente, as imagens foram georreferenciadas no software *ArcGIS 10*, utilizando-se a rede de drenagem da Agência Nacional das Águas (ANA) e imagens do Google Earth. As imagens geradas foram convertidas para o datum SIRGAS 2000.

**Tabela I-01:** Descrição das bandas utilizadas na área de estudo.

<b>Bandas Espectrais</b>	<b>Resolução Espectral</b>	<b>Resolução Espacial</b>	<b>Resolução Temporal</b>	<b>Área Imageada</b>	<b>Resolução Radiométrica</b>
Verde	0.52-0.59 $\mu\text{m}$				
Vermelho	0.62-0.68 $\mu\text{m}$				
Infravermelho Próximo	0.77-0.86 $\mu\text{m}$	23,5 m	24 dias	141 km	7 bits
Infravermelho Médio	1.55-1.70 $\mu\text{m}$				

Fonte: INPE, 2013.

#### **2.4.2- Classificação das Imagens**

As imagens foram classificadas no software *ENVI 4.7* segundo a metodologia de classificação supervisionada de máxima verossimilhança, método recomendado para tratamento de dados adquiridos por satélites (SULSOFT, 2003). Classificou-se as classes espectrais de urbanização, espelho de água e outros. Esta última classe agrupa áreas de uso agropecuário e florestas. As áreas de pastagem e agricultura, embora antropizadas, possuem infiltração do solo e são passíveis de manejo, com possibilidade de alteração do uso do solo caso seja comprovada sua eficácia na manutenção do regime hídrico da bacia.

Foram levantadas áreas de interesse que correspondem a locais representativos de cada classe. As regiões de interesse foram selecionadas visando à realização de amostras de treinamento. Para esse fim, coletou-se pixels dispersos referentes às três classes, utilizando-se a ferramenta *Overlay*  $\rightarrow$  *Region of Interest*. A classificação supervisionada de máxima verossimilhança foi realizada através da ferramenta *Classification*  $\rightarrow$  *Supervised*  $\rightarrow$  *Maximum Likelihood*. Após este procedimento, realizou-se a amostra de acurácia, com coleta de menor quantidade de pixels, visando o aprimoramento da classificação.

Para a comparação das amostras de acurácia e de treinamento, realizou-se a matriz de confusão (*Classification*  $\rightarrow$  *Post Classification*  $\rightarrow$  *Confusion Matrix*  $\rightarrow$  *Using Ground Truth Roi*). Todas as imagens possuíam Coeficiente Kappa superior a 0,9, indicando alta qualidade da classificação digital. O Coeficiente Kappa é parâmetro utilizado para quantificar a exatidão de levantamentos de uso da terra e é obtido através da adoção de uma referência para comparação dos mapeamentos produzidos (COHEN, 1960). Para a eliminação dos erros restantes, utilizou-se o filtro (*Classification*  $\rightarrow$  *Posto Classification*  $\rightarrow$  *Majority/Minority Analyses*).

Realizou-se corte da área de interesse, utilizando-se o limite das planícies de inundação (*Basic Tools*  $\rightarrow$  *Subset Data Via Rois*). O corte foi transformado em vetor (*Tools*  $\rightarrow$  *Region of Interest*  $\rightarrow$  *Export ROIs to EVF*) e exportado para shapefile (*Avaliable vectors list*  $\rightarrow$  *Export layer to shapefile*) visando sua utilização no *ArcGIS 10*. No *ArcGIS 10* foi realizada nova inspeção com edição manual a partir dos polígonos de classificação e das imagens utilizadas.

#### **2.4.3- Área Urbanizada**

As áreas urbanizadas foram obtidas a partir do software *ArcGIS 10*. Após a individualização das três classes nas planícies de inundação, calculou-se o somatório da área

dos polígonos referentes à classe de urbanização encontradas na tabela de atributos do *layer* de todas as planícies de inundação (*Calculate geometry* → *Area*).

O Índice de Urbanização (IU) foi calculado sobre as planícies individualizadas, sendo a porcentagem da área ocupada pela urbanização em relação à área seca das planícies (área referente à área total da planície deduzida da área ocupada por cursos hídricos) (Equação I-02) (WANG et al., 2008).

$$IU = \frac{\text{Área Urbanizada}}{\text{Área seca da planície}} \times 100 \quad (\text{I-02})$$

O índice de urbanização total ( $IU_{\text{total}}$ ) se refere a quanto das planícies de inundação do rio são urbanizadas, calculado a partir da média ponderada dos índices de urbanização das planícies de inundação individualizadas (Equação I-03).

$$IU_{\text{total}} = \frac{\sum IU \times \text{Área seca da planície}}{\sum \text{Área seca das planícies}} \quad (\text{I-03})$$

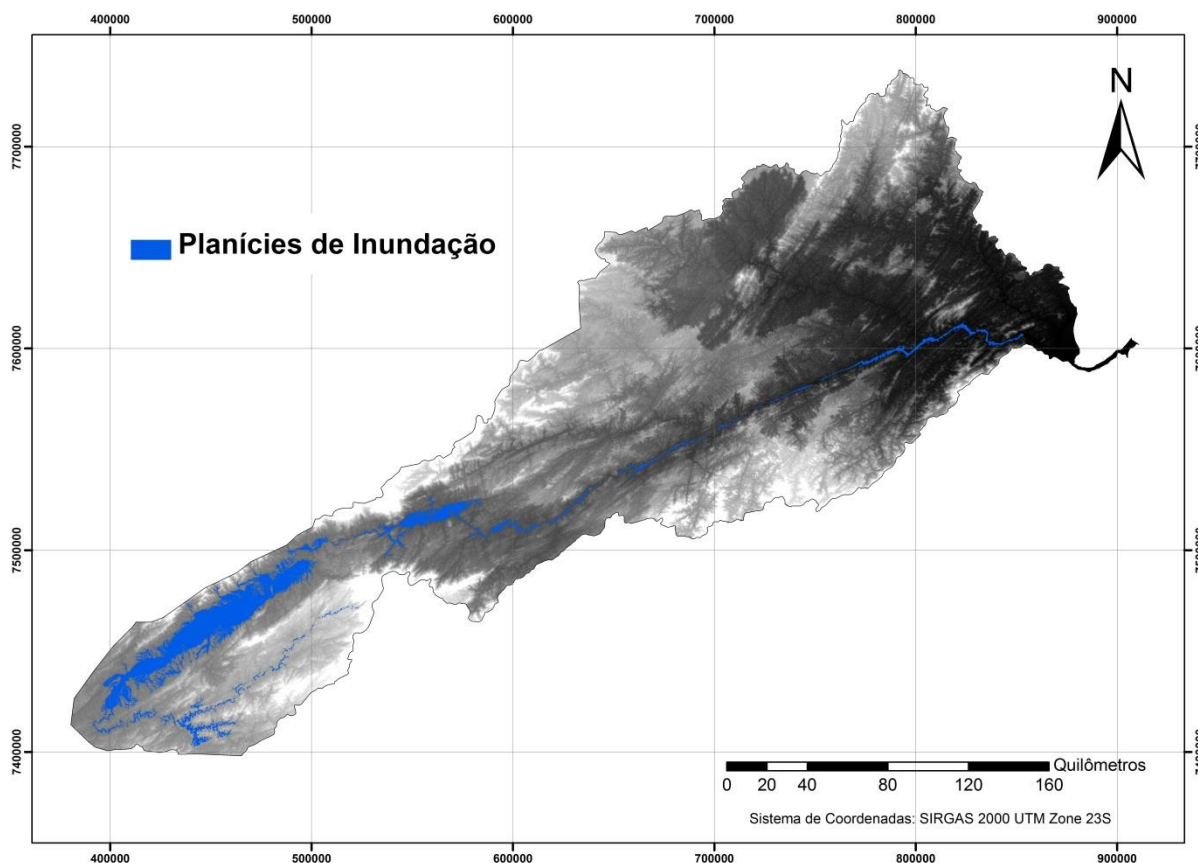
## 2.5 Agrupamento Funcional

Os dados foram agrupados com o propósito de unir planícies de inundações com atributos ambientais próximos formando grupos por similaridade (GOTELLI & ELLISON, 2011), pois se trabalha com a hipótese de que eles desempenhem funções e serviços ambientais específicos.

Utilizou-se análise de cluster, realizada através do Software *SPSS 15*. Este algoritmo fez o agrupamento dos indivíduos com área, índice de circularidade e índice de urbanização similares e representa os grupos na forma de dendrograma. O agrupamento hierárquico reúne dados de modo que se dois exemplos são agrupados em determinado nível, os níveis acima deles continuam fazendo parte do mesmo grupo, construindo uma hierarquia de grupos (GOTELLI & ELLISON, 2011). Para os autores, cada nível do dendrograma descreve um conjunto diferente de agrupamentos. Estabeleceu-se o mapeamento de variáveis físicas e o agrupamento das planícies de inundação para aprofundar os conhecimentos sobre o comportamento desses sistemas.

## 3. Resultado e Discussão

Foram encontradas 148 áreas com declividade igual ou menor a 4° nos 1.150km de calha do rio Paraíba do Sul. Destas 77 configuram-se como planícies de inundação individuais (Figura I-04) distribuídas da seguinte forma: Estado de São Paulo (40), Rio de Janeiro (26), e fronteira Minas Gerais/Rio de Janeiro (11). As demais áreas constituem polígonos de água, ou seja, não possuem área seca.



**Figura I-04:** MDE da bacia do rio Paraíba do Sul com planícies de inundação disposta nos 1.150 km de calha.

Marengo & Alves (2005) classificaram os trechos do rio Paraíba do Sul em função das suas características. As características relevantes e quantidade de planícies de inundação presente em cada trecho encontram-se descritas na Tabela I-02.

**Tabela I-02:** Descrição dos trechos do rio Paraíba do Sul segundo Marengo & Alves (2005) e quantidade de planícies de inundação em cada trecho.

Trecho	Localização	Altitude (m)	Declividade média (m/km)	Extensão (km)	Quantidade de planícies
Curso superior	Da nascente a Guararema/SP	572	4,9	317	34
Curso médio superior	De Guararema/SP a Cachoeira Paulista/SP	515	0,19	208	02
Curso médio inferior	De Cachoeira Paulista/SP a São Fidélis/RJ	200 a 400	1,0	480	40
Curso inferior	São Fidélis/RJ à foz	-	0,22	95	-

O trecho inferior possui apenas uma planície de inundação e essa não foi considerada no presente estudo. Essa planície, caracterizada como planície litorânea, possui influência marítima. As ações de manejo e renaturalização nessa área não resultariam no aumento de disponibilidade de água doce, visto sua proximidade com o mar.

O rio Paraíba do Sul possui três represas hidrelétricas em fase de operação localizadas em planícies de inundação. As características das represas encontram-se na Tabela I-03.

**Tabela I-03:** Descrição das represas localizadas em planícies de inundação do rio Paraíba do Sul.

<b>Represa</b>	<b>Denominação</b>	<b>Localização</b>	<b>Área Inundada (ha)</b>
Paraibuna/Paraitinga	Planície de inundação 26	Curso superior	7.242,8
Santa Branca	Planície de inundação 29	Curso superior	1.016,4
Funil	Planície de inundação 34	Curso Médio Inferior	2.268,4

Estas represas regularizam artificialmente as vazões e descargas sólidas, prejudicando as funções hidrológicas das planícies de inundação a jusante, por falta de cheias naturais, e a montante, pela saturação permanente (KINGSFORD, 2000). As represas controlam cheias nos períodos chuvosos e perenizam vazão nas épocas de estiagem (BRANDT, 2000). Os reservatórios exercem, artificialmente, a função de perenização da vazão e regularização hídrica das planícies de inundação (COELHO, 2008). Com sua instalação, as planícies de inundação a jusante perdem parte de seu potencial devido à diminuição da vazão a montante. Com a desativação desses reservatórios, a planície de inundação retoma sua importância como regulador natural da vazão.

### 3.1 Características Morfométricas

A área é a característica morfométrica que se correlaciona em maior proporção com a descarga máxima de inundações (HORTON, 1945). O tamanho das planícies de inundação do rio Paraíba do Sul variou entre 13,79 ha e 145.039,08 ha, conforme Tabela I-04. Os valores evidenciam que a maior planície de inundação, com 145.039,08 ha pode ser considerada *outlier*, visto que a segunda maior planície possui 11.577,96 ha, equivalente a 8% da primeira.

**Tabela I-04:** Distribuição das planícies de inundação de acordo com a área.

<b>Área</b>	<b>Número de planícies</b>
Menor que 1.000 ha	64
Entre 1.001 ha e 5.000 ha	09
Maior que 5.001 ha	04

Considerando-se que o volume de armazenamento é proporcional à área (SOUZA, 2005), planícies com áreas pequenas possuem baixa capacidade de armazenamento, devendo-se priorizar as ações de manejo em planícies com maiores áreas, restringindo as ações de renaturalização às treze maiores planícies. O perímetro variou de 1.832,02 m a 4.200.143,98 m, com média de 105.918,85.

De acordo com Schumm (1956), valores de IC maiores que 0,51 mostram que a bacia tende a ser circular favorecendo os processos de inundação (picos de cheias); valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser alongada contribuindo para o processo de escoamento em bacias hidrográficas. O IC variou de 0,001 a 0,52, com média de 0,13. Considerando o raciocínio análogo para unidades hidrológicas e planícies de inundações, demonstra-se que as planícies de inundação do rio Paraíba do Sul possuem tendência à dispersão de água, resultado similar encontrado por Oliveira et al., 2010. Quanto mais

alongada a planície de inundação, menor o tempo de concentração e maior a vazão máxima de enchentes (VILLELA & MATTOS, 1975). 40 planícies de inundação possuem IC abaixo de 0,1, evidenciando pequena habilidade em armazenar água (CARDOSO et al., 2006; TONELLO et al., 2006). As planícies que possuem IC acima de 0,25 possuem as menores áreas, variando de 13,8 ha a 97,8 ha. Esse fato se justifica porque as planícies de menores áreas possuem perímetro menos recortado, elevando o IC.

Como podemos observar, as planícies possuem grande variedade nas características morfométricas levantadas. Não houve padrão entre as características e a localização da planície de inundação na bacia hidrográfica. Embora os valores de IC tenham sido baixos, as planícies do rio Paraíba do Sul são consideradas aptas ao manejo devido a grande extensão e a necessidade de planos de ação para aumentar a quantidade e a qualidade da água na região em que a bacia se encontra.

### 3.2 Índice de Urbanização

A urbanização das planícies de inundação não manteve padrão regular na bacia (Figura I-05), evidenciando que há fatores distintos que intercederam na colonização de comunidades. O Índice de urbanização apresentou variação de 0% a 96,4%, distribuído conforme Tabela I-05.

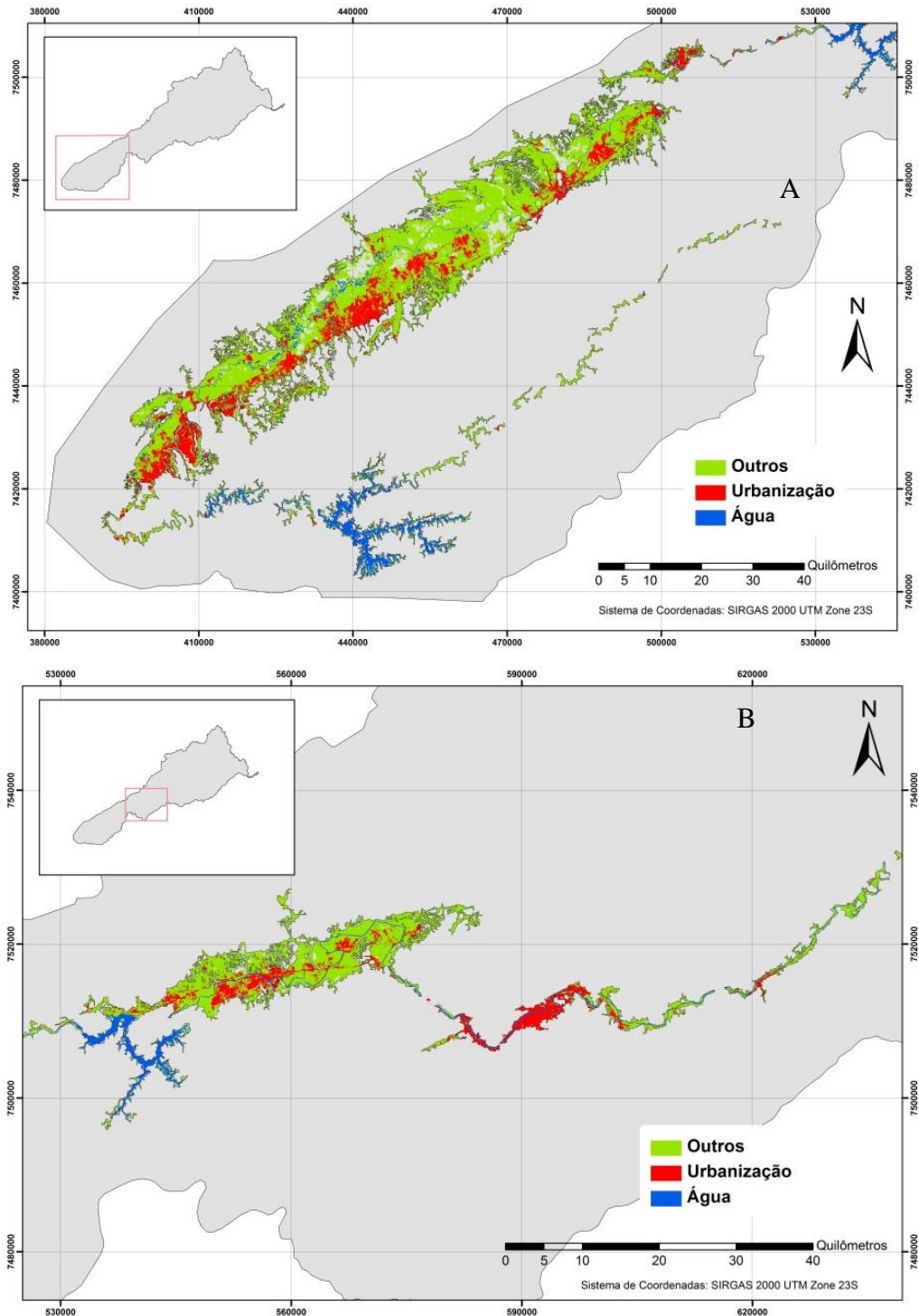
**Tabela I-05:** Distribuição das planícies de inundação de acordo com o Índice de Urbanização.

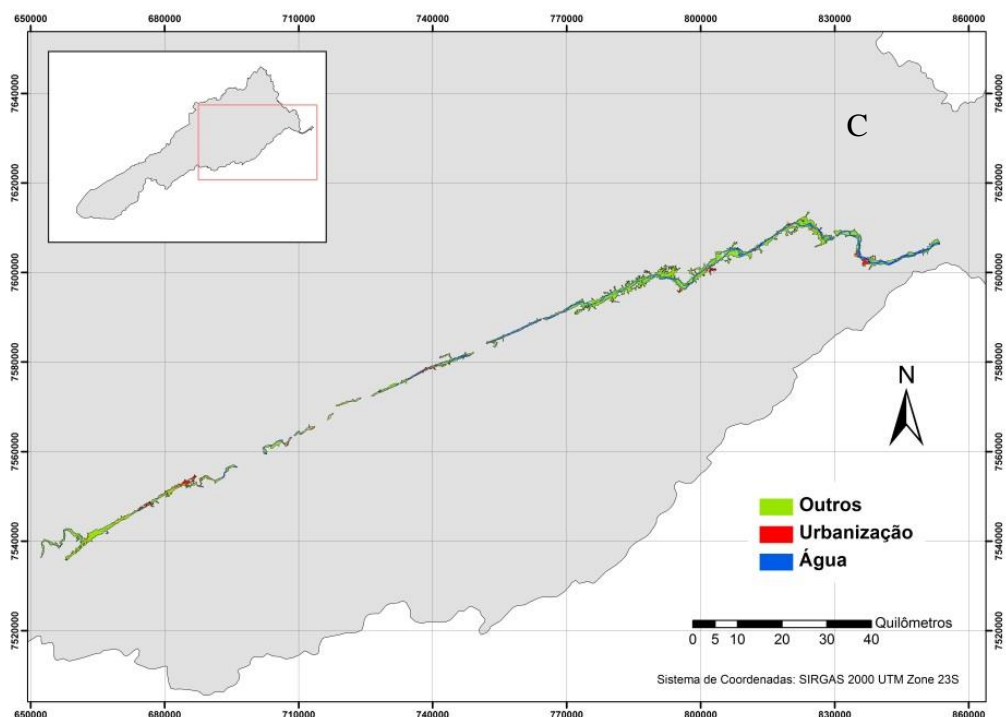
IU	Número de planícies
Igual a 0%	27
Entre 1% e 10%	27
Entre 11% e 25%	12
Entre 26 e 50%	5
Maior que 50%	6

No trecho paulista as áreas a montante da represa de Santa Branca (Figura I-05 A) praticamente não apresentam aglomerados urbanos, o que sob certa medida garante padrão de qualidade de água e enseja a ideia de que planejamento municipal envolvendo pequenas propriedades agrícolas poderia trazer resultados estratégicos, envolvendo geração de renda e serviços ambientais, beneficiando a todos, inclusive a cidade de São Paulo no futuro, haja vista a premência por recursos hídricos para abastecimento. O trecho a jusante da represa Santa Branca apresenta grandes planícies de inundações, porem elevado antropismo, que praticamente inviabiliza iniciativas de renaturalização das suas funções, onde o principal manejo esta focado nas atividades de drenagem para viabilizar a agricultura e a urbanização (CORREIA et al., 1999; FAULKNER, 2004; WANG et al., 2008).

No sul fluminense (Figura I-05 B) se observa a reservação promovida pela represa do Funil, situada a montante da região. A área apresenta menores planícies de inundação e alternância entre intensos e escassos níveis de urbanização, ensejando a ideia que nestas áreas as funções de regulação hídrica se encontram prejudicadas pelos efeitos de regulação artificial e que existem potencialidades a serem exploradas na renaturalização das suas funções hídricas (KINGSFORD, 2000; BRANDT, 2000).

As regiões centro e norte fluminense (Figura I-05 C) não apresentam adensamentos populacionais e nem planícies com área relevante para manejo em termos de suas atividades de regularização de funções, pois são áreas estreitas e com usos pecuário e agricultura de subsistência, que não demandam água. São pequenas e se encontram na parte baixa do terço inferior da bacia, onde os serviços ambientais não atingem partes substanciais, constituindo fator de redução de estímulos governamentais (FAULKNER, 2004).





**Figura I-05:** Distribuição da urbanização na calha do rio Paraíba do Sul. A) região paulista, B) região sul fluminense, C) região centro e norte fluminense.

As planícies de inundação obtiveram um índice de urbanização total ( $IU_{total}$ ) igual a 18,94%. Os resultados mostram que em cenário geral as planícies apresentaram baixa urbanização, possuindo intacta parte de suas funções hidrológicas. Há condições de ordenar os avanços da urbanização nas planícies dentro dos municípios, visando medidas de prevenção e renaturalização das funções hidrológicas.

### 3.3 Agrupamento

As planícies de inundação foram agrupadas conforme a variação das características morfométricas levantadas, reunindo planícies com similaridade de funções e de atributos ambientais. O intervalo das variáveis dentro de cada grupo encontra-se na Tabela I-06.

**Tabela I-06:** Intervalo das variáveis dentro dos grupos.

	Área (ha)	IU (%)	IC	n	Localização
<b>Grupo 01</b>	13,8 a 242	0 a 23,3	0,22 a 0,52	15	Curso superior e curso médio inferior
<b>Grupo 02</b>	154039,1	19	0,001 a 0,003	01	Curso superior e curso médio superior
<b>Grupo 03</b>	27,7 a 11577,9	0 a 30,2	0,19	52	Curso superior e curso médio inferior
<b>Grupo 04</b>	80,1 a 1530,2	37,6 a 96,5	0,03 a 0,16	09	Curso superior, curso médio superior e curso médio inferior



Observa-se que o primeiro grupo é composto por 15 unidades, com área pequena (13,8 ha a 242 ha), baixo IU (0% a 23,3%) e alto IC (0,22 a 0,52). Possui baixa capacidade de armazenamento devido à área (SOUZA, 2005), mas o alto IC permite que retenção de água por mais tempo (CARDOSO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010). Possui médio potencial de manejo. A implantação de pequenas obras viabiliza medidas de baixo investimento financeiro e retorno médio dos serviços ambientais.

O segundo grupo é composto apenas pela unidade 35, que apresenta padrão anormal. Essa planície possui área de 145.039,1 ha, discrepante das demais, IU de 19,02% e IC de 0,001. Essa planície não possui alto IU (19,03%), mas, considerando que abrange 13 diferentes municípios, há dificuldade de realizar manejo integrado de toda a área. A integração de todas as atividades, com coerência na tomada de decisão por todos os atores envolvidos, é essencial para efetuar medidas eficazes (VALCARCEL, 1998).

O terceiro grupo é composto de 52 unidades, que possuem áreas grandes a pequenas (27,7 ha a 11.577,9 ha), baixo IU (0 a 30,2%) e baixo IC (0,03 a 0,19). Embora o IC desfavoreça o tempo de concentração da água (TONELLO et al., 2006), essa perda é compensada devido a grande extensão da área, aumentando a capacidade de armazenamento (SOUZA, 2005). Essas planícies possuem alta aptidão para investimentos em renaturalização das funções hidrológicas, visando aumento da perenidade e regularização hídrica da bacia, sendo considerado um grupo de alto potencial de manejo. Dentre as 52 planícies deste grupo, três são represas e, portanto, não são passíveis de manejo. Das 49 restantes, 08 possuem área maior que 1000 ha, indicando-se priorizá-las nas ações de manejo.

O quarto grupo é composto por 09 unidades que apresentam áreas médias e pequenas, (80,1 ha a 1.530,2 ha), altos IU (37,6% a 96,5%) e médio IC (0,03 a 0,16). Essas planícies possuem baixo potencial para ações de manejo, visto que o IU elevado inviabiliza atividades de renaturalização dos processos hidrológicos. A urbanização promove a impermeabilização e compactação do solo, inibindo a infiltração e recarga superficial das reservas do aquífero e interferindo nos fluxos de escoamento direto dos rios, responsáveis pela perenização (FAULKNER, 2004; WANG et al., 2008). Prejudica os serviços ambientais prestados ao longo dos corpos hídricos, que permanecem confinados lateralmente pela construção de muros de contenção de cheias sendo parcialmente impermeabilizadas, reduzindo seus efeitos na regularização hídrica, além de expor a calha aos efeitos da sazonalidade, aumentando a frequência das cheias (CORREIA et al., 1999).

#### **4. Conclusões**

Na calha do rio Paraíba do Sul existem 52 planícies de inundação que possuem alta aptidão para renaturalização das funções hidrológicas com alta viabilidade de manejo. Destas, 03 são represas, inviabilizadas para ações de manejo e medidas de renaturalização. Das 49 restantes, 08 possuem área maior que 1000 ha. Das demais planícies levantadas, 10 possuem características que inviabilizam ações de manejo, com baixo retorno dos investimentos. 15 possuem potencial médio de renaturalização de funções hidrológicas, devendo-se priorizar pequenas obras com medidas de baixo investimento financeiro.

Portanto, conclui-se que as ações de manejo visando perenização da vazão e regularização hídrica da bacia do rio Paraíba do Sul devem ser priorizadas em 08 planícies de inundação, com área maior que 1000 ha, do grupo com alto potencial de manejo, devido à alta capacidade de armazenamento de água das mesmas. Opcionalmente pode-se atuar estrategicamente em menores planícies, sendo recomendável por questões de pragmatismo dos resultados o primeiro conjunto de estratégias.

## **CAPÍTULO II – PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO**

## Resumo

Interações hídricas entre calha e lençol freático influenciam a estrutura e funcionamento das planícies de inundação, formando sistemas hidrológicos integrados que afetam as vazões dos rios. Processos antropogênicos em planícies de inundação, como terraplanagem e aterros, e a montante, como a construção de represas hidrelétricas, comprometem o funcionamento hidrológico. Selecionou-se como área de estudo planície de inundação com alto potencial de manejo, IC de 0,005, IU de 25,6% e área de 11.578 ha. Levantou-se a influência da Usina Hidrelétrica do Funil a partir de dados disponíveis nos sites do INMET (precipitação local), SNIRH/ANA (vazão e descarga sólida) e ONS (volume útil do reservatório). A altura do lençol freática foi avaliada através da instalação e/ou medição do nível de água (NA) em áreas urbanizadas (13 medidores de NA), em áreas não urbanizadas (09 medidores de NA) e as margens da calha (03 medidores de NA). Para análise estatística entre as diferentes situações, utilizou-se o método de identidade de modelos. A Usina Hidrelétrica do Funil, localizada a montante da área de estudo, afeta a dinâmica hidrológica do rio Paraíba do Sul, realizando regularização artificial da vazão e inibindo as funções hidrológicas da planície de inundação em estudo. Houve diferença significativa entre os medidores localizados na área urbanizada e na área não urbanizada. Com a inibição da regularização artificial através do assoreamento dos reservatórios, as planícies de inundação passam a ter novamente papel fundamental na perenização da vazão e regularização hídrica dos corpos hídricos. Devido ao alto índice de urbanização, essas áreas não estão mais aptas a exercerem suas funções. Portanto, as áreas que ainda não foram ocupadas possuem considerável importância por serem aptas a cumprirem seu papel hidrológico. Existem 52 planícies de inundação que se encontram no mesmo grupo da área de estudo, indicando alta viabilidade de manejo de acordo com as características morfométricas levantadas. Portanto, atividades de manejo visando o planejamento ambiental com direcionamento do crescimento urbano, podem ser replicáveis. Desta forma, haverá regularização da vazão e perenidade do fluxo, resultando em aumento da quantidade e qualidade de água a jusante.

**Palavras chaves:** serviços ambientais; manejo de recursos hídricos; hidrologia

## **Abstract**

Interactions between water trough and groundwater influence the structure and functioning of the floodplain, forming integrated water systems that affect river flows. Anthropogenic processes on flood plains, such as earthworks and embankments, and the amount, as the construction of hydroelectric dams, undertake hydrological functioning. Was selected as study area floodplain with high management potential, CI 0.005, IU 25.6% and area of 11,578 ha. Rose the influence of Usina Hidrelétrica do Funil from data available on the websites INMET (local precipitation), SNIRH / ANA (flow and sediment discharge) and ONS (useful volume of the tank). Height of the groundwater table was evaluated by installation and / or measurement of piezometers in urban areas (13 piezometers) in non-urbanized areas (09 piezometers) and the margins of the trough (03 piezometers). Statistical analysis between the different situations, we used the method identity model. The Usina Hidrelétrica do Funil, located upstream of the study area, affects the hydrological dynamics of the Paraíba do Sul River, performing artificial regularization inhibiting the flow and hydrological functions of the floodplain study. There was a significant difference between the piezometers located in the urbanized area and not urbanized area. With inhibition of artificial regularization through the silting of reservoirs, floodplains shall be again key role in the perpetuation of the water flow and stabilize the water bodies. Due to the high rate of urbanization, these areas are no longer able to perform their duties. Therefore, areas that have not yet been occupied considerable importance for being able to fulfill their hydrological role. There are 52 flood plains that are in the same cluster of the study area, indicating high viability management according to the morphometric characteristics raised. Therefore, management activities aimed at environmental planning with direction of urban growth may be replicable. Thus, there will regularize the flow and continuity of the flow, resulting in increased quantity and quality of water downstream.

**Key words:** environmental services; management of water resources; hydrology

## 1 Introdução

A planície de inundação é a área predominantemente plana, de drenagem heterogênea, contígua a faixa do vale fluvial inundável por cheias em magnitudes e frequências variáveis (CHRISTOFOLETTI, 1980). Ela recebe aporte dos rios, lagos, precipitação direta e lençol freático. Contribui para regularização hídrica, laminação de cheias e perenização, mantendo *habitats* da flora e fauna (JUNK et al., 1989; BAYLEY, 1995; WEBB et al., 2006).

Interações hídricas entre calha e lençol freático influenciam a estrutura e funcionamento das planícies de inundação, formando sistemas hidrológicos integrados que afetam as vazões dos rios (MCCARTHY, 2006). Durante o início da inundação há laminação das cheias, infiltração no solo, recarga do lençol freático e armazenamento, com liberação de água para a calha no período de estiagem (HAMILTON, 2002; FRAPPART et al., 2005; SCHOT & WINTER, 2006; ALSDORF et al., 2010).

Processos antropogênicos em planícies de inundação, como terraplanagem, comprometem o seu funcionamento hidrológico, aumentando a magnitude das inundações a jusante e ameaçando os ecossistemas (JUNG et al., 2011). A interação entre lençol freático e calha é essencial para o manejo dos recursos hídricos, identificando soluções integradas e sustentáveis de desenvolvimento regional (GRAPES et al., 2006; SCHOT & WINTER, 2006; FRAPPART et al., 2011).

Represas regulam artificialmente as vazões e seus efeitos sazonais, reduzem velocidades de escoamento, alteram a hidráulica fluvial e mecanismos de transporte/acumulo de sedimentos dentro e fora da calha (KINGSFORD, 2000; BRANDT, 2000). Porém, reservatórios assoreiam, reduzem sua capacidade de armazenamento e são desativados (CARVALHO et al., 2000), retomando as forças geomorfológicas contemporâneas dos ajustes entre formas e processos da bacia em geral e das planícies de inundação em específico (GREGORY & WALLING, 1985). A nova realidade, proveniente das ações antrópicas, geram necessidades de ajustes em função das perdas substanciais de seus processos hidrológicos.

As 77 planícies de inundações dos 1.150 km de extensão do rio Paraíba do Sul (55.400 km<sup>2</sup>) apresentam variação nas superfícies (13 a 145.000 ha), perímetros (1,8 - 4.200 km), índice de circularidade (0,00 - 0,52) e baixo índice de urbanização médio (18,9%), evidenciando baixo potencial de inundações e disponibilidade de áreas para adoção de técnicas de manejo de renaturalização de funções hidrológicas, que podem garantir o provimento e regulação hídrica da bacia. Dentro desta realidade, as planícies apresentam diferentes habilidades para manejo, que variam em: a) baixo potencial de manejo (09 unidades); b) médio potencial de renaturalização (15 unidades); c) alto potencial de manejo (52 unidades).

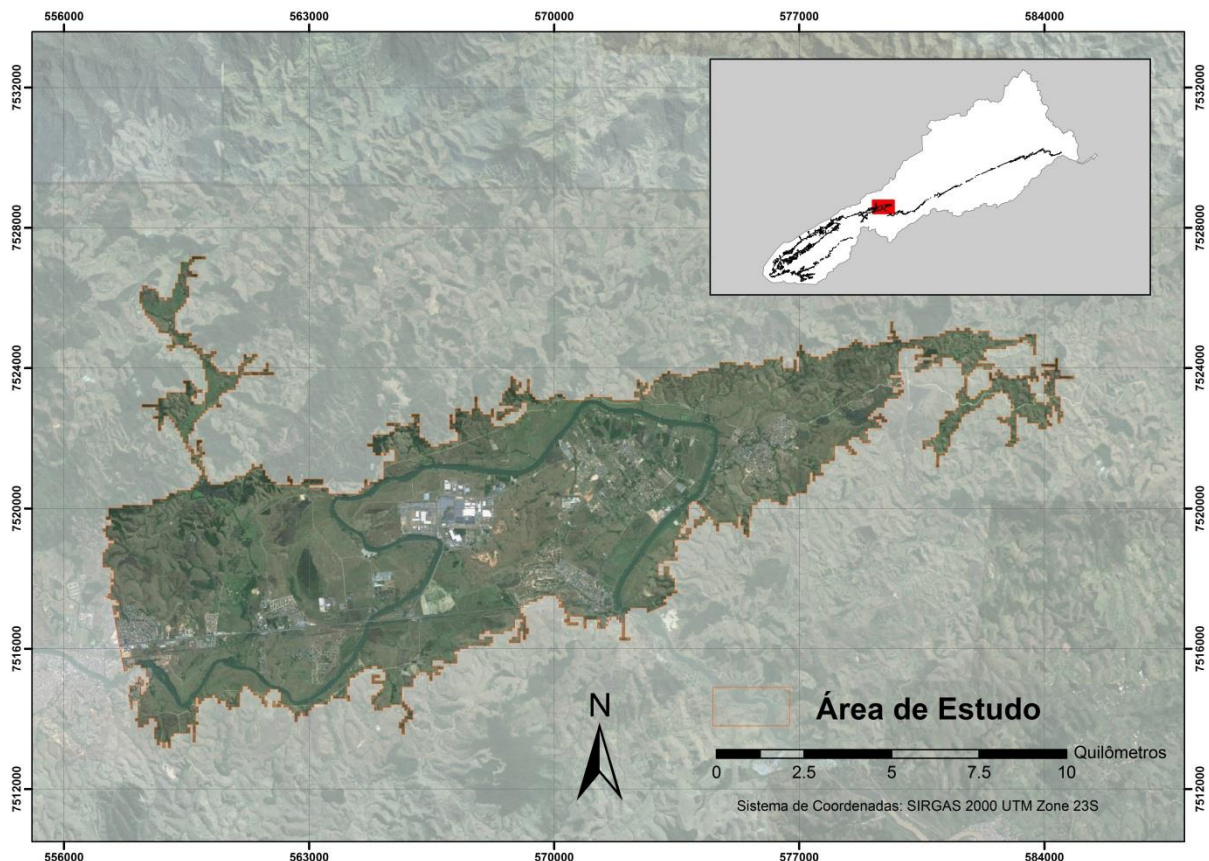
Este estudo levanta dados que permitam conhecer a dinâmica hidrológica de uma planície de inundação do grupo de alto potencial de manejo, para gerar informações que permitam aumentar a oferta dos seus serviços ambientais decorrentes da capacidade de regularização hídrica pela renaturalização de funções hidrológicas na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

## 2 Material e Método

### 2.1 Área de Estudo

Das 77 planícies de inundação localizadas as margens do rio Paraíba do Sul, 52 tem alto potencial para manejo, constituindo 67,5% do total. Destas 52 unidades, uma planície considerada representativa foi selecionada para área de estudo.

A planície selecionada (Figura II-01) possui 11.578 ha, sendo a segunda maior do rio e a maior do grupo. Encontra-se no curso médio inferior, na região fluminense do Vale do Paraíba e possui IC de 0,005 e IU de 25,6%. Sua área é equivalente a 5,4% da área total das planícies de inundação e 0,21% da área total da bacia. O índice de urbanização foi o fator considerado para a análise das condições de exequibilidade de propostas de intervenção conservacionista visando o aumento da capacidade de armazenamento e, conseqüentemente, perenidade da vazão. Áreas densamente povoadas impermeabilizam o solo, não permitindo o cumprimento da função hidrológica.



**Figura II-01:** Área de estudo a partir de imagem Google Earth.

A área localiza-se nos municípios de Porto Real, Resende e Quatis sob as coordenadas 22°25'11"S e 44°17'25"W. Possui relevo com mesetas que evidenciam antigos leitos do rio, onde a calha atual ainda encontra-se em ajustamento, dentro de uma perspectiva temporal em escala geomorfológica de tempo. O clima é subtropical de altitude, com temperatura média anual oscilando entre 18°C e 23°C.

Há predomínio de solos aluviais. Apresentam pequenas depressões, caracterizadas por antigos leitos localizados abaixo do nível da água do leito do rio, onde é comum a presença de espécies adaptadas à umidade, embora o principal uso do solo seja a pastagem de baixa produtividade. Verificam-se níveis de fragilidade a processos erosivos em toda a região.

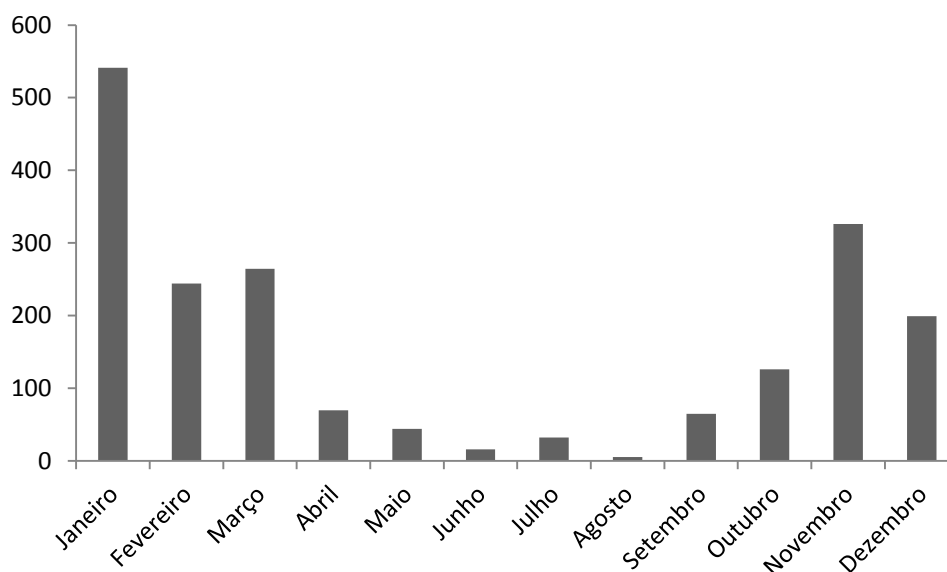
A formação Floresta Ombrófila Densa apresenta poucos e pequenos fragmentos florestais. A vegetação ciliar é recente e encontra-se alterada em função dos ajustamentos da calha.

### 2.1.1 Área da Planície de Inundação

Foi obtida a partir do modelo digital de elevação SRTM utilizando software *ArcGIS 10*, conforme descrito em Material e Método do Capítulo I.

## 2.2 Precipitação Local

Obtida a partir do Posto Meteorológico do Instituto Nacional de Meteorologia, município de Resende (INMET, 2013). Os dados são disponibilizados diariamente na internet, sendo levantados e totalizados mensalmente de janeiro a dezembro de 2013 (Figura II-02).



**Figura II-02:** Precipitação mensal registrada na área de estudo.

## 2.3 Regularização Artificial da Vazão

A Usina Hidrelétrica do Funil/Furnas Centrais Elétricas localiza-se a 20 quilômetros a montante da planície de inundação em estudo e regula artificialmente a vazão, mantendo volume capaz de gerar ininterruptamente energia durante todo o ano. O seu assoreamento atinge 10 cm/ano (CARVALHO et al., 2000) e evidencia sua importância como elemento artificial de regulação hídrica do rio Paraíba do Sul. O reservatório foi planejado na década de 30, como parte da estratégia de eletrificação da estrada de ferro Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte, porém foi iniciado pela Companhia Hidrelétrica do Vale do Paraíba em 1961,



sendo repassado a ELETROBRÁS em 1965, e operado posteriormente por Furnas a partir de 1969, com capacidade nominal de geração de 216 MW (FURNAS, 2013).

A influência contemporânea do represamento na Usina Hidrelétrica do Funil foi obtida a partir dos registros de vazão e sedimentos das estações de Queluz e Resende (Figura II-03), localizadas a montante e a jusante da Usina, respectivamente. Os dados foram coletados no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH/ANA), utilizando série histórica 1935 a 2007 (vazão) e 2000 a 2007 (descarga sólida). O volume armazenado útil da Usina foi obtido do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) nos anos 2000 e 2012.



**Figura II-03:** Estações a montante e a jusante da Represa do Funil. Imagem Google Earth.

#### **2.4 Funcionamento Hidrológico**

O funcionamento dos processos de carga e descarga não ocorre de forma homogênea em toda a área da planície de inundação. A dinâmica das cheias é regida pelo efeito da redução da seção a jusante, exercida pela presença do controle estrutural, que promove o represamento da vazão, formando retenções remontantes. Com a redução da vazão, há represamento e laminação da água na planície de inundação, retomando as antigas calhas do rio Parafba do Sul.

Relatos de antigos moradores evidenciam a magnitude dos problemas que existiam na região antes da entrada em operação da Usina Hidrelétrica do Funil. Com o início da operação da represa, áreas anteriormente alagadas tornaram-se alvo de crescimento urbano inadequado. A falsa segurança ocasionada pela regularização artificial aliado ao crescimento da zona urbana das áreas de risco permitiu que áreas relevantes para o funcionamento hidrológico das planícies de inundação fossem ocupadas pela população (HAMILTON, 2002). A prática de aterramento, visando elevação de cota para usos antrópicos, inibe a dinâmica hídrica e



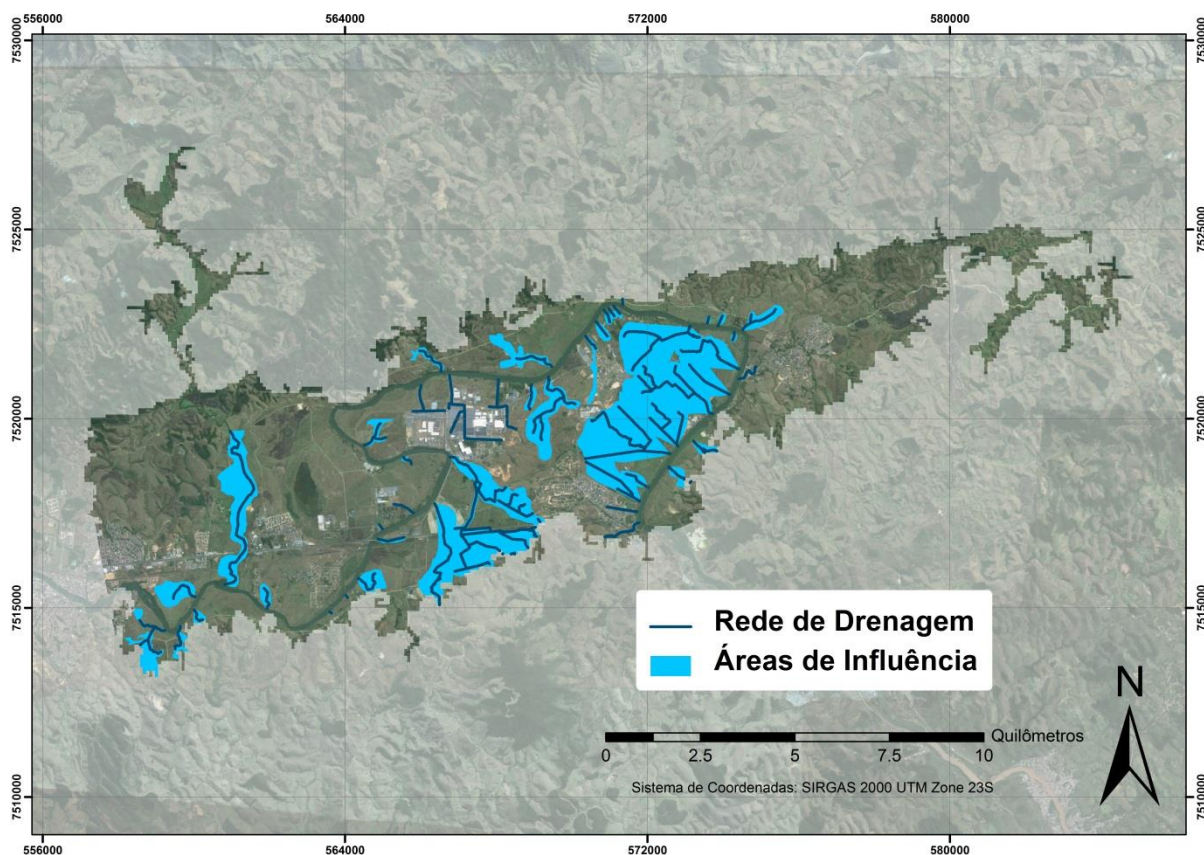
favorece a criação de áreas de empréstimos, que conduzem a processos erosivos, produzindo sedimentos para o rio (WANG et al., 2008).

A metodologia empregada para levantar o funcionamento hidrológico contemplou avaliar as áreas hidrológicas influentes, denominadas áreas de influencia, onde a interação entre os processos da calha e planície de inundações é frequente.

#### 2.4.1 Área de Influência

Os 48 drenos artificiais e naturais presentes na área de estudo têm como função o escoamento das vazões, mas como não possuem válvula de retenção, funcionam como canais de entrada do refluxo das cheias, inundando as áreas e abastecendo seus aquíferos. Os drenos possuem importante influência na recarga do lençol freático ao saturarem o solo, com papel primordial na regularização hídrica. Administram a água das chuvas e da precipitação local e possuem recarga e descarga remontante, sendo mais eficientes quando próximos ao controle estrutural.

A área de influência dos drenos (Figura II-04) constituem novos patamares de trechos produzidos pelas dinâmicas de deposição de sedimentos, com acúmulo de água. São antigos leitos do rio Paraíba do Sul e/ou locais que ficaram abaixo ou em cota similar ao do nível da água do rio. Foram delimitados a partir de locais com retenção de água, no Software ArcGIS 10. A área de influência dos drenos, levantada a partir da função *Calculate geometry*, propriedade *área*, é de 3.138,1 ha, abrangendo 27,1% da planície de inundação.



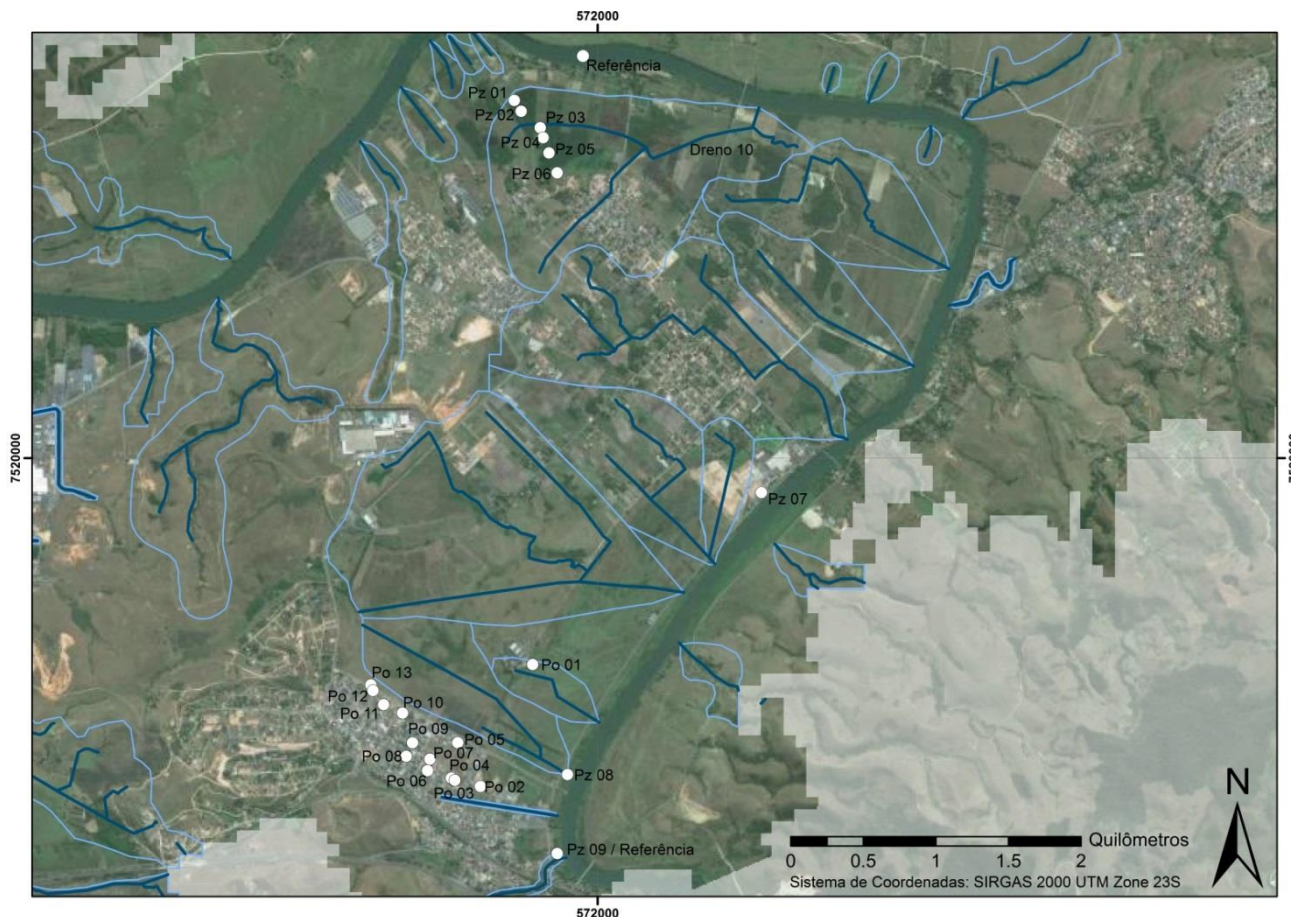
**Figura II-04:** Drenos e área de influência da planície de inundação de Porto Real. Imagem Google Earth.

### 2.4.2 Lençol Freático

A altura do lençol freático foi avaliada ao longo da calha e dentro das áreas de influencia próximo ao ponto de estrangulamento e a 9,43 km a montante. Para esta finalidade, foram instalados com auxílio de trado de caneco 06 medidores de nível de água (NA) de PVC Ø = 50 mm, profundidade 1,2 m, com 20 orifícios (Ø = 1,27 cm) em área não urbanizada. Na área urbanizada, selecionou-se 13 medidores de NA utilizados como poços tubulares por moradores locais. Na área adjacente a calha, foram instalados 03 medidores de NA. As características dos medidores encontram-se na Tabela II-01. A localização consta na Figura II-05.

**Tabela II-01:** Características dos medidores de NA utilizados na mensuração da altura do lençol freático.

Medidores de NA	Sigla	Localização	Coordenada	Altitude	OBS
Medidor de NA 01	Po 01	Área urbanizada	22°26.222'S e 44°18.257'W	398	Inativo
Medidor de NA 02	Po 02	Área urbanizada	22°26.678'S e 44°18.464'W	405	Inativo
Medidor de NA 03	Po 03	Área urbanizada	22°26.655'S e 44°18.568'W	406	Ativo
Medidor de NA 04	Po 04	Área urbanizada	22°26.647'S e 44°18.581'W	405	Ativo
Medidor de NA 05	Po 05	Área urbanizada	22°26.515'S e 44°18.557'W	403	Inativo
Medidor de NA 06	Po 06	Área urbanizada	22°26.620'S e 44°18.677'W	406	Inativo
Medidor de NA 07	Po 07	Área urbanizada	22°26.577'S e 44°18.668'W	405	Inativo
Medidor de NA 08	Po 08	Área urbanizada	22°26.567'S e 44°18.763'W	408	Ativo
Medidor de NA 09	Po 09	Área urbanizada	22°26.516'S e 44°18.738'W	410	Inativo
Medidor de NA 10	Po 10	Área urbanizada	22°26.406'S e 44°18.779'W	403	Inativo
Medidor de NA 11	Po 11	Área urbanizada	22°26.374'S e 44°18.855'W	404	Inativo
Medidor de NA 12	Po 12	Área urbanizada	22°26.322'S e 44°18.898'W	404	Ativo
Medidor de NA 13	Po 13	Área urbanizada	22°26.300'S e 44°18.907'W	403	Inativo
Medidor de NA 14	Pz 01	Área não urbanizada	22°24.091' S e 44°18.36' W	391	Pasto
Medidor de NA 15	Pz 02	Área não urbanizada	22°24.139'S e 44°18.325'W	390	Pasto
Medidor de NA 16	Pz 03	Área não urbanizada	22°24.218'S e 44°18.236'W	391	Fragmento
Medidor de NA 17	Pz 04	Área não urbanizada	22°24.255'S e 44°18.224'W	392	Pasto
Medidor de NA 18	Pz 05	Área não urbanizada	22°24.312'S e 44°18.201'W	390	Pasto
Medidor de NA 19	Pz 06	Área não urbanizada	22°24.386'S e 44°16.700'W	390	Fragmento
Medidor de NA 20	Pz 07	Margem do rio	22°25.622'S e 44°17.292'W	388	
Medidor de NA 21	Pz 08	Margem do rio	22°26.686'S e 44°18.069'W	392	
Medidor de NA 22	Pz 09	Margem do rio	22°26.971'S e 44°18.089'W	391	



**Figura II-05:** Localização dos medidores de NA em imagem do Google Earth com redes de drenagem (azul escuro) e área de influência (azul claro).

Os níveis de água medidos no lençol freático foram acompanhados entre janeiro/2013 a dezembro/2013, utilizando sonda elétrica acoplada a multímetro (Figura II-06) e trena. A localização e altitude dos medidores de NA foi feita com GPS Garmin 76 CSx, calibrado com marco geodésico do IBGE (estação 3046B), distante 35 km da área de estudo. A variação do nível da água foi avaliada mensalmente durante um ano visando analisar a diferença entre o período chuvoso e o período de estiagem.

A área não urbanizada do dreno 10 (194,04ha e 1,68% da área de estudo) recebeu seis medidores de NA. Dois medidores de NA s foram posicionados dentro de fragmentos e os demais em área de pastagem (Tabela II-01). Coletou-se o nível de água do rio, considerado “Referência” (Figura II-05), localizado a 9,43 km do controle estrutural, estimada a partir da ferramenta “régua” do software *Google Earth*.

Na área urbanizada, mensurou-se treze medidores de NA situados próximo a área não urbanizada e ao controle estrutural (Figura II-05). Dos medidores de NA selecionados, quatro estão ativos, havendo a retirada manual de água pelos moradores (Tabela II-01). Mensurou-se a cota do rio através do ponto denominado “Pz 09”, para obter variação mensal da altura da calha. A cota mensurada encontra-se perpendicular aos medidores de NA (Figura II-05).





**Figura II-06:** Medição da profundidade do lençol freático.

Alocaram-se três medidores de NA à margem da calha. Os medidores de NA localizados próximo ao corpo hídrico foram alocados a distâncias de 2725 m (Pz 07), 1015 m (Pz 08) e 810 m (Pz 09) do controle estrutural (Figura II-05 e Tabela II-01).

Os dados coletados foram processados subtraindo-se a cota do medidor de NA da profundidade adquirida através de medida realizada em campo. Esse valor foi posteriormente subtraído da altura da calha do rio, adquirida através do ponto “Referência”. Os dados foram submetidos a teste de normalidade.

A partir dos valores obtidos, foram calculadas equações adequadas ao modelo polinomial de 2º grau. Para áreas não urbanizadas, dividiu-se os medidores de NA em dois grupos distintos para verificar a homogeneidade. O critério de seleção foi vegetação predominante, formando-se um grupo com dois medidores de NA localizados em áreas de fragmento florestal em estágio secundário de sucessão e outro grupo formado pelos quatro medidores de NA localizados em área de pastagem.

Para avaliar a homogeneidade nos medidores de NA localizados em área urbanizada, utilizou-se como critério a retirada de água. Portanto, o grupo denominado de “Medidores de NA Ativos”, com retirada periódica de água, é composto por quatro medidores de NA e o grupo denominado de “Medidores de NA Inativos” é composto por nove medidores de NA. Posteriormente avaliou-se a diferença entre as equações dos medidores de NA localizados em área urbanizada e em área não urbanizada, visando avaliar se a urbanização possui efeito sobre a dinâmica do lençol freático.

## **2.5 Análise Estatística**

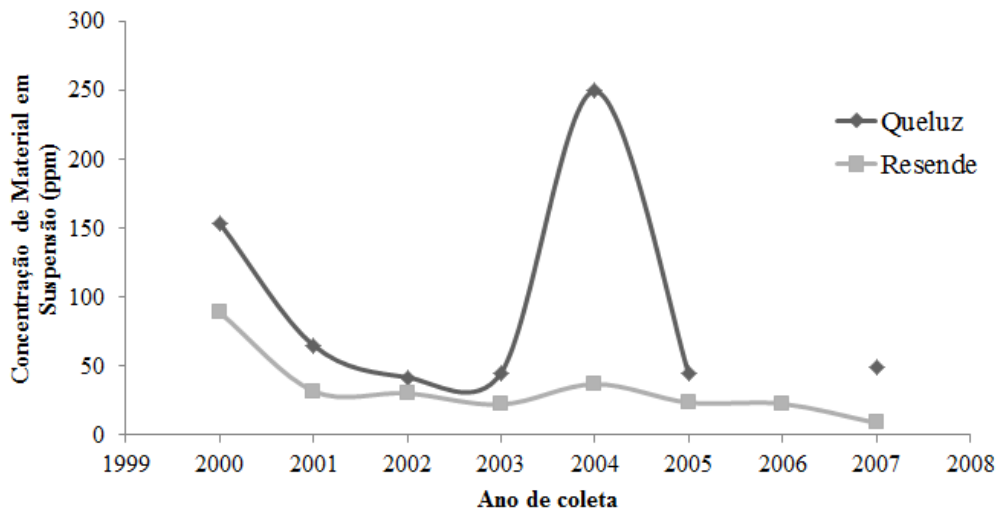
Para comparação das equações geradas a partir do levantamento da profundidade do lençol freático durante o período de estudo, os modelos ajustados foram submetidos à análise de identidade de modelo e igualdade de parâmetros, conforme a metodologia descrita por Regazzi (1996), com nível de significância de 95%. A hipótese nula admitida é que as equações são idênticas, ou seja, uma equação comum pode ser usada como estimativa das equações envolvidas, e a hipótese alternativa versa que as equações não são idênticas, havendo diferenças na profundidade do lençol freático de acordo com as características do local em que o medidor de NA se encontra.

### 3 Resultado e Discussão

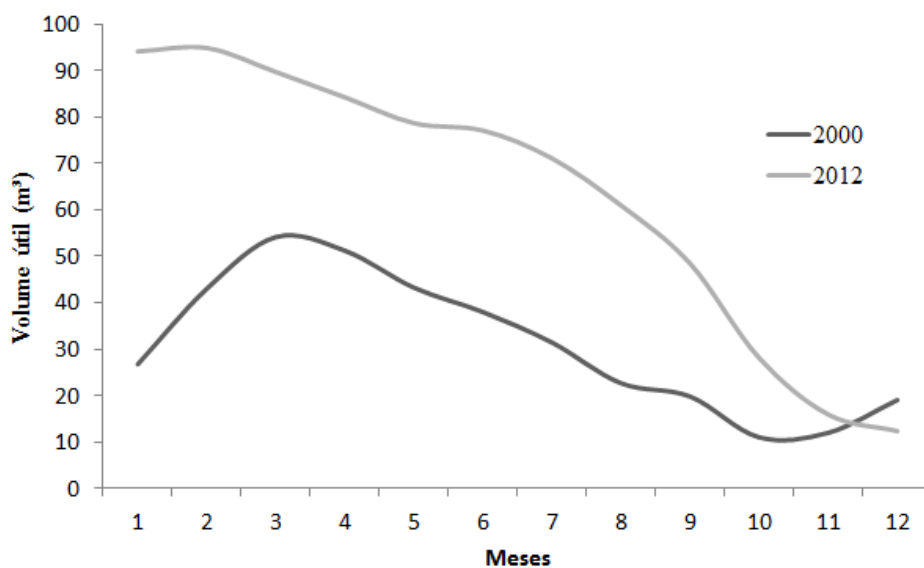
#### 3.1 Influência do Represamento

A descarga sólida do material em suspensão a montante (Queluz) e a jusante (Resende) do Reservatório do Funil (Figura II-07) evidencia o efeito de acumulação do reservatório. Os sedimentos são transportados pela rede de drenagem e manifestam comportamento similar dos demais tipos de processos de rolamento e saltação dentro da calha, onde predominam os sedimentos grosseiros, assoreando o reservatório e afetando o volume útil (Figura II-08).

A redução da capacidade de regulação do reservatório se deve a combinação dos efeitos das chuvas para os meses de máxima (janeiro em 2012 e março em 2000) e de mínimos (dezembro e outubro para 2012 e 2000), onde o assoreamento contribui de forma paulatina na capacidade de reservação

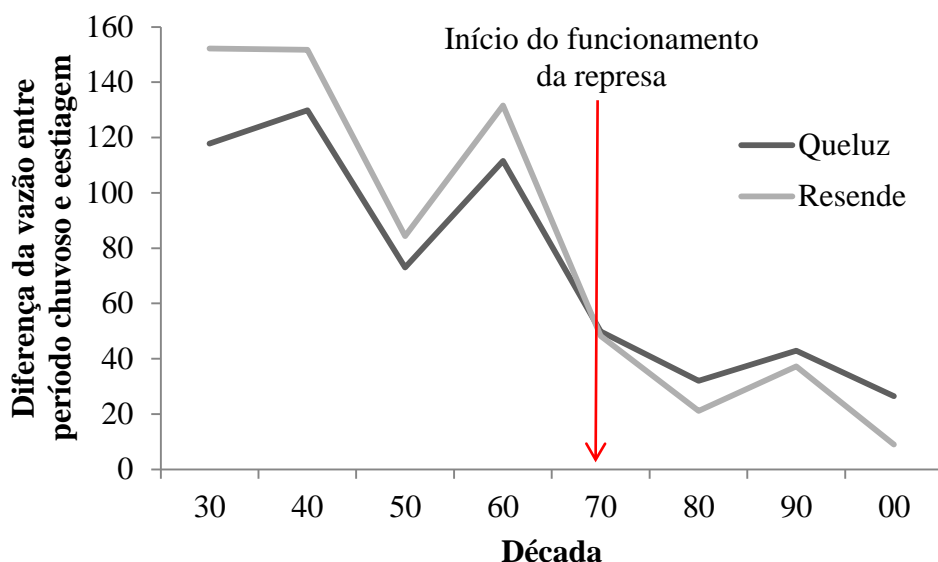


**Figura II-07:** Concentração de material em suspensão (ppm) nas estações Queluz e Resende.



**Figura II-08:** Volume útil do Reservatório do Funil nos anos de 2000 e 2012.

Os dados de picos de cheia e de estiagem nas estações de Resende e Queluz evidenciam os efeitos do represamento do Reservatório do Funil. Anteriormente a construção da represa, a estação de Resende possuía maior vazão no período chuvoso (Figura II-09), característica essa adequada devido ao aumento de volume de água trazido pelos afluentes a jusante da estação Queluz. Esta realidade foi alterada após a instalação do reservatório, chegando a apresentar menor volume de água na estação Resende, em meses chuvosos. Os dados de vazão refletem o comportamento do lençol freático, considerando a estreita ligação entre a calha e o lençol freático (FRAPPART et al., 2005).



**Figura II-09:** Diferença entre vazão no período chuvoso e de estiagem nas estações Queluz e Resende antes e após a instalação da Usina Hidrelétrica do Funil.

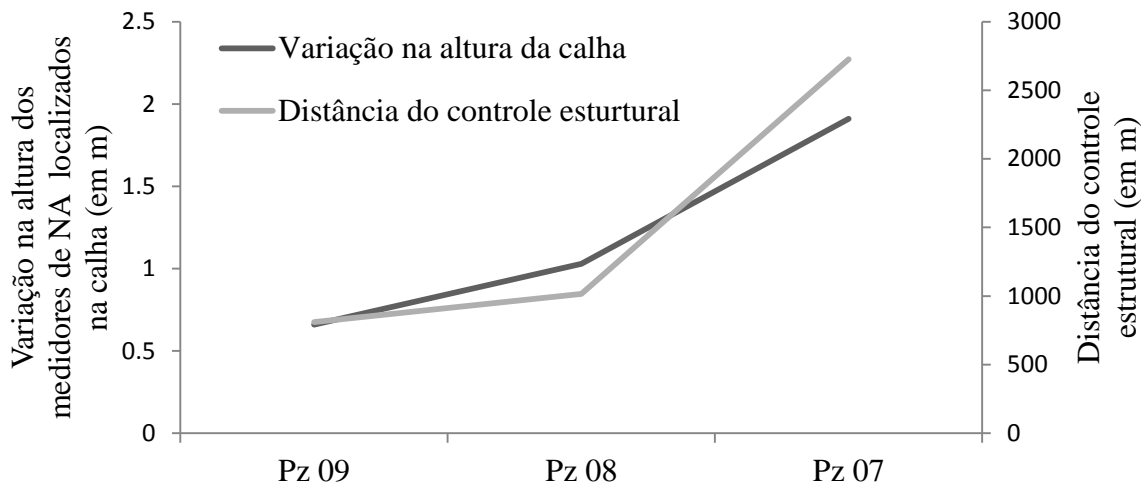
Os dez principais eventos de cheias e estiagem para ambas as estações foram anteriores a construção e instalação do reservatório. As dez maiores diferenças positivas entre as vazões de Resende e as de Queluz também foram anteriores ao reservatório. Em contrapartida, os extremos negativos entre as vazões de Resende e Queluz, significando maior vazão a montante do que a jusante, foram observados após o início de operação do reservatório, demonstrando seu efeito regulatório a jusante.

A represa do Funil afetou a dinâmica hidrológica do rio Paraíba do Sul após o início de sua operação. Com o crescente assoreamento e conseqüente diminuição da sua capacidade de geração de energia, a represa do Funil pode ser desativada como parque gerador de energia hidrelétrica, reduzindo seus efeitos de regularização artificial, havendo alta probabilidade de inundação em locais atualmente resguardados, com retorno das funções hidrológicas dessas áreas nas planícies de inundação.

### 3.2 Variação do Nível de Água

A diferença na variação do Nível de Água (NA) na calha do rio Paraíba do Sul nos meses de maior precipitação e de menor precipitação (Figura II-10), acompanha a distância ao controle estrutural. A menor amplitude de variações ocorreu no medidor de NA Pz 09, o mais próximo ao controle estrutural e de menor cota, devido à dinâmica remontante da cheia. Ele também possui valores mais elevados no mês de fevereiro (devido ao intenso período chuvoso

em janeiro), abril e maio (esvaziamento das planícies). O Pz 07, distante do controle estrutural, apresentou maior variação nos dados. Com o aumento da distância do controle estrutural ao medidor de NA, os efeitos de carga e recarga são amortecidos, verificando-se que a proximidade com o controle estrutural altera a capacidade de armazenamento.



**Figura II-10:** Variação na altura do lençol freático em medidores de NA instalados na calha e distância dos meses do controle estrutural.

O controle estrutural identifica o final da planície de inundação. O estrangulamento característico marca a separação entre planícies de inundação, desvinculando o funcionamento do fluxo hídrico. Em cheias de menores proporções, causadas principalmente pela precipitação local, áreas próximas ao controle estrutural saturam-se primeiro, devido à dinâmica remontante de carga da planície de inundação. Consequentemente, essas áreas são as últimas a liberarem a água no processo de descarga, retendo água por longos períodos de tempo, como pode ser observado na menor variação do medidor de NA localizado próximo ao controle estrutural (Pz 09) com relação aos demais (Pz 08 e Pz 07) (Figura II-09). Com a regularização artificial provocada pelas represas, áreas próximas ao controle estrutural são as que exercem periodicamente as funções de perenidade da vazão, devendo ser resguardadas.

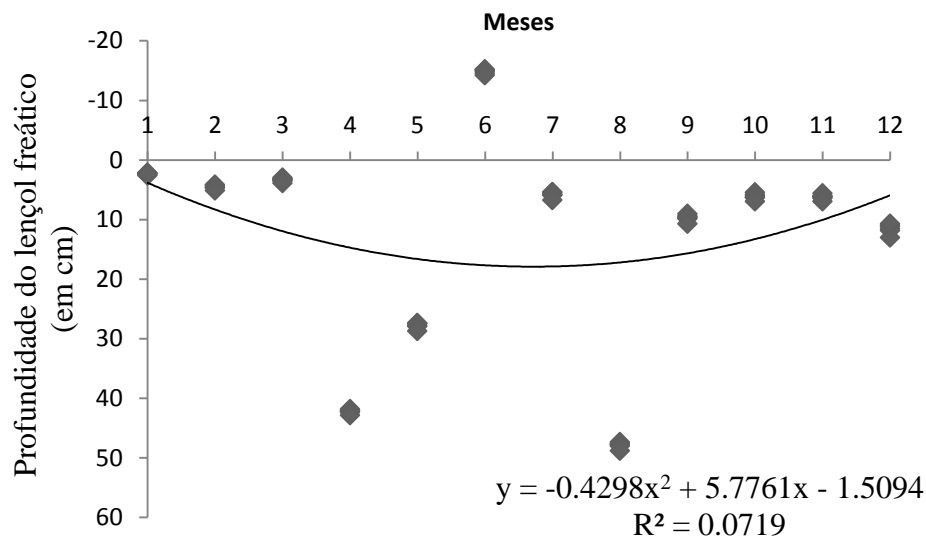
O lençol freático forma com a calha sistemas hidrológicos integrados (MCCARTHY, 2006). Desta forma, o comportamento da vazão é influenciado pelo NA do lençol freático e a profundidade do lençol freático é afetada pela vazão. Considerando que áreas próximas ao controle estrutural laminam água com maior frequência, o NA do lençol freático nessas áreas deve ser mais expressivo mesmo em condições adversas, como em casos de urbanização. Em áreas mais distantes do controle estrutural, o lençol freático tem a sazonalidade do NA menos expressiva.

### 3.3 Lençol Freático

Os medidores de NA localizados nas margens tiveram a menor profundidade de lençol freático registrada no mês de fevereiro e a maior no mês de setembro. Considerando que o mês de janeiro registrou maior precipitação e o mês de agosto menor, conclui-se que há um retardo temporal no enchimento da planície de inundação adjacente a calha. A profundidade

do lençol freático começa a diminuir nos demais meses, de acordo com a diminuição da precipitação, realizando a regularização da vazão.

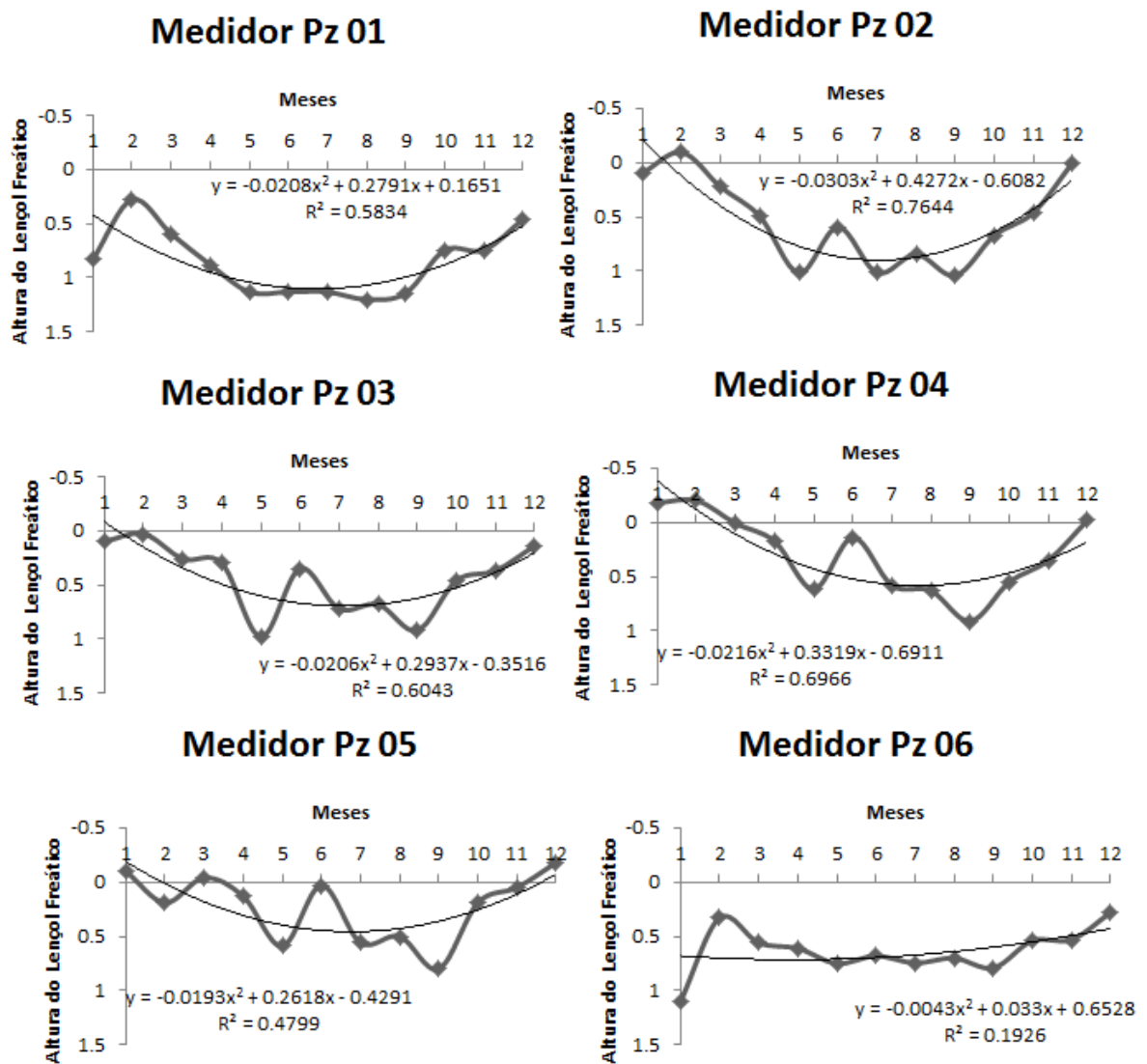
As áreas não urbanizadas não apresentaram diferença significativa entre medidores de NA localizados em área de pastagem e área de fragmento ( $F_{3,60} = 2,75$ ;  $F_{cal} = 0,002$ ). Em contraposição, o ajustamento foi considerado pequeno (Figura II-11). Esse fato pode ser justificado devido ao pequeno tempo de coleta (12 meses), número de medidores de NA e número de medições mensais. Embora junho e julho tenham sido meses com menor precipitação, a elevação do NA se deve ao aumento da vazão, ocasionado devido à regularização artificial oriunda da Usina Hidrelétrica do Funil. Observamos que o lençol freático possui dinâmica semelhante de funcionamento entre os medidores de NA a cada mês (Figura II-11).



**Figura II-11:** Variação na profundidade do lençol freático em medidores de NA instalados na área não urbanizada.

A variação mensal do lençol freático em cada medidor de NA encontra-se na Figura II-12. Os medidores Pz 04 e Pz 05, localizados em área de pastagem, apresentaram o mesmo padrão com maior oscilação, indicando que, embora não tenha havido diferença significativa no teste de identidade de modelos, há tendência que o uso do solo altere a capacidade de armazenamento no período de estiagem. Os medidores localizados em fragmentos (Pz 03 e Pz 06) não apresentaram padrões similares. Observa-se que o Pz 06, localizado em maior cota, possui menor variação do lençol freático, retendo água no período de estiagem. Embora o Pz 01 esteja em menor cota, observa-se que é caracterizado por lençol freático profundo, com padrão semelhante ao Pz 06. Como este medidor encontra-se próximo a estrada, pode-se prever compactação do solo. O Pz 02, localizado em borda de fragmento, possui padrão semelhante ao Pz 03, indicando que os efeitos da vegetação arbórea se estendem além do interior do fragmento. Em todos os casos, obteve-se queda do NA no período de estiagem, demonstrando a liberação da água estocada no período chuvoso.





**Figura II-12:** Variação mensal na altura do lençol freático em cada metrodor de NA instalados na área não urbanizada.

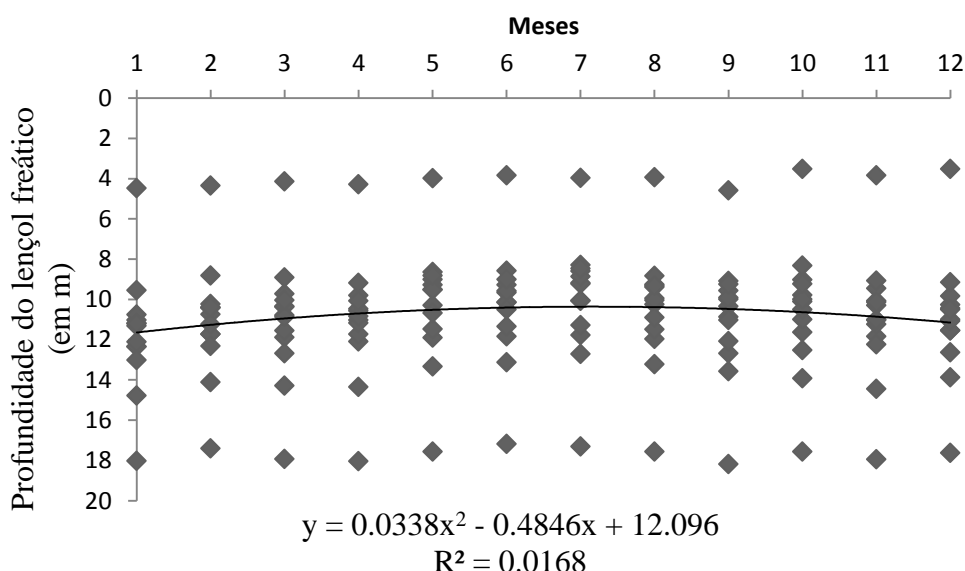
A curva tendência é representada por equação polinomial de segundo grau, com profundidades maiores nos períodos de estiagens. Esse resultado é coerente com os processos de recarga no período da cheia e descarga na estiagem. Observamos que há saturação do solo com formação de lâmina d'água no mês de fevereiro (Figura II-13).



**Figura II-13:** Medidor Pz 04 de área não urbanizada no mês de fevereiro, apresentando lâmina de água.

As áreas urbanizadas possuem maior profundidade de lençol freático, mesmo considerando a proximidade do controle estrutural (Figura II-14). A prática de aterro da área, visando diminuir o efeito das cheias, altera a topografia do local, rebaixando o lençol freático e, conseqüentemente, modificando a dinâmica hidrológica. A água que naturalmente escoaria para o rio no período de estiagem, verte para áreas baixas laterais não aterradas. Desta forma, a água escoia pelos drenos, saindo do sistema através de escoamento superficial e subsuperficial, contribuindo pouco para a perenidade da vazão e a regularização hídrica.

Não houve diferença significativa entre os medidores de NA ativos (com retirada de água) e inativos (sem retirada de água) ( $F_{3,150} = 2,66$ ;  $F_{cal} = 0,564$ ), justificada pela baixa retirada sazonal de água. A curva de tendência é pouco acentuada (Figura II-14), indicando pequena variação dos meses de estiagem com relação ao período chuvoso, demonstrando que a prática de aterramento compromete a capacidade de armazenamento e as funções hídricas da planície de inundação.



**Figura II-14:** Variação na profundidade do lençol freático em medidores de NA instalados na área urbanizada.

Houve diferença significativa entre os medidores de NA localizados na área urbanizada e não urbanizada ( $F_{3,222} = 2,64$ ;  $F_{cal} = 4,97$ ). A urbanização altera a planície de inundação, principalmente devido ao levantamento de cota, via aterramento, para viabilizar a construção urbana e inibir problemas de enchentes, com conseqüente compactação do solo (WANG et al., 2008). O manejo incorreto da área inibe as funções hidrológicas da planície de inundação. A variação do lençol freático na área urbanizada é amortecida devido à sua proximidade ao controle estrutural. Devido à laminação remontante característica de planícies de inundação, a área localizada próxima ao controle estrutural tende a possuir maior volume de água e a esvaziar por último.

A relação entre estoque e área inundada tem sido derivada usando registros de estações de medidas *in-situ* (FRAPPART et al., 2005). Esses estudos estimam a variabilidade espaço-temporal da inundação em planícies de inundação. O uso combinado de observações do nível altimétrico da água e padrões de inundação para determinar variação no volume de água, fornece informações sobre a dinâmica de inundação. A variação da altura do lençol freático foi mensurada apenas no dreno 10 da área de estudo (Figura II-05). Esses valores podem ser extrapolados para toda a planície de inundação, incluindo áreas de influência de todos os drenos.

Existem 52 planícies de inundação que se encontram no mesmo grupo com alta viabilidade de manejo de acordo com as características morfométricas levantadas. Embora as áreas possuam peculiaridades, a dinâmica hidrológica de carga e descarga deve ser próxima, guardando apenas diferenças temporais e volumétricas. Portanto, atividades de manejo visando o planejamento ambiental com direcionamento do crescimento urbano, podem ser replicáveis com pequenos ajustes. Desta forma, haverá regularização da vazão e perenidade do fluxo, resultando em aumento da quantidade e qualidade de água a jusante.

#### 4 Conclusão

Com o efeito regulatório artificial oriundo dos reservatórios, as planícies de inundação perdem parte de suas funções hidrológicas e são paulatinamente urbanizadas. O assoreamento dos reservatórios e sua conseqüente desativação como parque gerador de energia, demandam estratégias preventivas de planejamento ambiental, incorporando a geração de serviços ambientais relacionados à regularização hídrica das bacias hidrográficas.

A urbanização altera significativamente o potencial hidrológico das planícies de inundação, comprometendo sua função hídrica. O aumento da distância do controle estrutural amortece os efeitos de carga e recarga, verificando-se que a proximidade com o controle estrutural altera a capacidade de armazenamento. Essas áreas devem ser resguardadas no planejamento ambiental com direcionamento do crescimento urbano.

Há no rio Paraíba do Sul 52 planícies de inundação com alta viabilidade de manejo, que, embora possuem peculiaridade, guardam dinâmicas hidrológicas próximas, com replicabilidade das atividades de manejo. A partir da seleção de planícies de inundação, com baixo nível de antropização, capacidade de armazenamento considerável e alto potencial para regulação hídrica, pode-se desenvolver projetos de desenvolvimento sustentável, como unidades de conservação vinculadas a geração de serviços ambientais voltadas a suas peculiaridades locais.

## CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

Existe no rio Paraíba do Sul 52 planícies de inundação passíveis de manejo através das técnicas de renaturalização de suas funções hidro-ecológicas, totalizando 64.305,54 ha (1,16% da bacia). O elevado potencial de geração de serviços ambientais destas áreas pode constituir uma estratégia de manejo de recursos hídricos a partir do aperfeiçoamento das funções hidrológicas dos seus ecossistemas. A metodologia desenvolvida pode ser útil como ferramenta para gestores e atores envolvidos no processo de planejamento e desenvolvimento regional.

Considerando as demandas reprimidas de abastecimento de água, os efeitos decorrentes dos processos de devastação das planícies de inundação e a escassez de informações sobre a ecologia destes ambientes, é de suma importância o desenvolvimento de estudos que permitam aprofundar o conhecimento sobre sua biota e suas relações funcionais com o meio físico.

## REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional das Águas. ANA. 2012. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 15/08/2012.
- ALSDORF, D.; HAN, S.; BATES, P.; MELACK, J. Seasonal water storage on the Amazon floodplain measured from satellites. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2448–2456, 2010.
- BALDOTTO, M.; CANELLAS, L.; VELLOSO, A. Propriedades redox da matéria orgânica isolada de material ultrafiltrado das águas do rio Paraíba do sul. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 891–896, 2009.
- BAYLEY, P. Understanding large river: floodplain ecosystems. **BioScience**, v. 45, p. 153–158, 1995.
- BIZERRIL, C. A ictiofauna da bacia do rio Paraíba do Sul. Biodiversidade e padrões biogeográficos. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 42, n. 2, p. 233–250, 1999.
- BRAGA, B.; FLECHA, R.; PENA, D.; KELMAN, J. Pacto federativo e gestão de águas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 17–42, 2008.
- BRANDT, S. A. Classification of geomorphological effects downstream of dams. **Catena**, v. 40, n. 4, p. 375–401, 2000.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.433** de 8 de janeiro de 1997. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.HTM). Acesso em 05/03/2013.
- BRASIL. **Lei Federal nº 12.651** de 25 de maio de 2012. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm). Acesso em 05/03/2013.
- BRAVO, Á. A. S.; MORAIS, D. E.; Adaptação à mudanças climáticas e recursos hídricos: um estudo comparado entre União Européia e Brasil. **Revista Direito e Liberdade**, v. 15, n. 1, p. 9–31, 2013.
- CALDAS, A. DA S.; MELO, A. DE; VALCARCEL, R. Análise da gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul com base nas normas legais. **Floresta e Ambiente**, v. 01, n. 01, p. 1–14, 2007.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 231–239, 2006.
- CARVALHO, N. O., FILIZOLA, N.P. SANTOS, P.M.C., LIMA, J.E.F.W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. ANEEL. Brasília. 106 p. 2000.

CECÍLIO, R.A.C.; REIS, E. **Manejo de bacias hidrográficas**. Alegre: UFES, 2006. 10 p. (Apostila)

CEIVAP. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul: Diagnóstico dos Recursos Hídricos - Relatório Final**. Rio de Janeiro, 2006. 201 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COBRAPE. **Elaboração do Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista: Relatório Final**. São Paulo, 2013. 214 p.

COELHO, A. L. N. Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 26, p. 16–32, 2008.

COHEN, J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, p. 37–46, 1960.

CORREIA, F.; SILVA, F. DA; RAMOS, I. Floodplain management in urban developing areas. Part I. Urban growth scenarios and land-use controls. **Water Resources Management**, v. 13, p. 1–21, 1999.

FAULKNER, S. Urbanization impacts on the structure and function of forested wetlands. **Urban Ecosystems**, v. 7, p. 89–106, 2004.

FIGUEROA, F.E.V. **Avaliação econômica de ambientes naturais - o caso das áreas alagadas - uma proposta para a represa do lobo (Broa)**. 1996. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - UFSCar, São Carlos, 1996.

FRAPPART, F.; PAPA, F.; GÜNTNER, A.; WERTH, S.; SILVA, J.S.; TOMASELLA, J.; SEYLER, F.; PRIGENT, C.; ROSSOW, W.B.; CALMANT, S.; BONNET, M.P.; Satellite-based estimates of groundwater storage variations in large drainage basins with extensive floodplains. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 6, p. 1588–1594, 2011.

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.

FURNAS. Usina Hidrelétrica de Furnas. Disponível em: <[http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/usina\\_hidr\\_furnas.asp](http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/usina_hidr_furnas.asp)>. Acesso em: 05/03/2013.

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.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de Estatística em Ecologia**. 1ª edição. Porto Alegre: Artmed Editora, 2011.

GRAPES, T. R.; BRADLEY, C.; PETTS, G. E. Hydrodynamics of floodplain wetlands in a chalk catchment: The River Lambourn, UK. **Journal of Hydrology**, v. 320, p. 324–341, 2006.

GREGORY, K. L.; WALLING, D. E. **Drainage Basin Form and Process: a geomorphological approach**. 2ª edição. Nova Iorque: Halsted (Wiley), 1985.

GROFFMAN, P. M.; BAIN, D. J.; BAND, L. E.; et al. Down by the Riverside: Urban Riparian Ecology. **The Ecological Society of America**, v. 1, n. 6, p. 315–321, 2003.

HAMILTON, S. Comparison of inundation patterns among major South American floodplains. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, p. 1–14, 2002.

HORTON, R. E. Erosional development of streams their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 275–370, 1945.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Síntese de Indicadores Sociais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. INMET. 2013. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>>. Acesso em: 15/12/2013.

INPE. Característica das Imagens Resourcesat 1.INPE. 2013. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/arqdocs.php>>. Acesso em: 10/07/2013.

JUNG, H. C.; ALSDORF, D.; MORITZ, M.; LEE, H.; VASSOLO, S. Analysis of the relationship between flooding area and water height in the Logone floodplain. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 36, n. 7-8, p. 232–240, 2011.

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.

KINGSFORD, R. T. Review Ecological impacts of dams, water diversions and river management on floodplain wetlands in Australia. **Austral Ecology**, v. 25, p. 109–127, 2000.

LAMEIRA, A.; RENNO, C. **Diagnóstico e alternativas para a recuperação ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu (BHRG)-RJ**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

MACEDO, G.; PIMENTEL, R. Conflito e Integração na Transposição de Águas do Rio Paraíba do Sul para o Guandu. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v. 4, p. 1–21, 2004.

MARENGO, J.; ALVES, L. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n. 2, p. 215–226, 2005.

MCCARTHY, T. S. Groundwater in the wetlands of the Okavango Delta , Botswana , and its contribution to the structure and function of the ecosystem. **Journal of Hydrology**, v. 320, p. 264–282, 2006.

NARDI, F.; BISCARINI, C.; FRANCESCO, S. DI; MANCIOLA, P. On the investigation of the performances of a DEM-based hydrogeomorphic floodplain identification method in a large urbanized river basin: the Tiber river case study in Italy. **EGU General Assembly**, v. 15, p. 12931, 2013.

NASA. Shuttle Radar Topography Mission. NASA. 2013. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 10/07/2013.

NEIFF, J. Planícies de inundação são ecótonos. **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: Rima, p. 29–46, 2003.

OLIVEIRA, P. T. S. DE; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 819–825, 2010.

OVALLE, A. R. C.; SILVA, C. F.; REZENDE, C. E.; GATTS, C.E.N.; SUZUKI, M.S.; FIGUEIREDO, R.O. Long-term trends in hydrochemistry in the Paraíba do Sul River , southeastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 481, p. 191–203, 2013.

PAGE, K.; NANSON, G.; FRAZIER, P. Floodplain formation and sediment stratigraphy resulting from oblique accretion on the Murrumbidgee River, Australia. **Journal of Sedimentary Research**, v. 73, n. 1, p. 5–14, 2003.

PRIESTNALL, G.; JAAFAR, J.; DUNCAN, A. Extracting urban features from LiDAR digital surface models. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 24, n. 2, p. 65–78, 2000.

REGAZZI, A. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 1–17, 1996.

RIO DE JANEIRO. **Lei Estadual nº 3.239** de 02 de agosto de 1999. Disponível em [http://www.inea.rj.gov.br/l\\_estadual/lei3239.asp](http://www.inea.rj.gov.br/l_estadual/lei3239.asp). Acesso em 05/03/2013.

SCHOT, P.; WINTER, T. Groundwater – surface water interactions in wetlands for integrated water resources management. **Journal of Hydrology**, v. 320, p. 261–263, 2006.

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.

SOUZA, C. R. DE G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, p. 45–61, 2005.



SULSOFT, **Guia do ENVI em Português**. Disponível em: <<http://www.envi.com.br>>. Acesso em: 10/08/2013.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. DE; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849–857, 2006.

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

UNESCO. **Water in a changing world**. Paris, 2009. 429p.

VALCARCEL, R. Propostas de ação para o manejo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 68–88, 1998.

VALERIANO, M. DE M.; ROSSETTI, D. DE F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 300–309, 2012.

VEIGA, L. B. E.; MAGRINI, A. The Brazilian Water Resources Management Policy: Fifteen Years of Success and Challenges. **Water Resources Management**, v. 27, n. 7, p. 2287 - 2302, 2013.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. 1ª edição. São Paulo: MC Graw Hill do Brasil, 1975.

WANG, X.; NING, L.; YU, J.; XIAO, R.; LI, T. Changes of urban wetland landscape pattern and impacts of urbanization on wetland in Wuhan City. **Chinese Geographical Science**, v. 18, n. 1, p. 47–53, 2008.

WEBB, R. H.; LEAKE, S. A. Ground-water surface-water interactions and long-term change in riverine riparian vegetation in the southwestern United States. **Journal of Hydrology**, v. 320, p. 302–323, 2006.