

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

**DISSERTAÇÃO**

**Serviços Ambientais Hidrológicos desempenhados por Reservas  
Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) da Mata Atlântica:  
marco teórico para pagamentos por serviços ambientais na bacia  
hidrográfica do rio São João, RJ.**

**Adriano Lopes de Melo**

2007



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

**Serviços Ambientais Hidrológicos desempenhados por Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) da Mata Atlântica: marco teórico para pagamentos por serviços ambientais na bacia hidrográfica do rio São João, RJ.**

**ADRIANO LOPES DE MELO**

*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  
Agosto de 2007

UFRRJ / Biblioteca Central / Divisão de Processamentos Técnicos

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

**ADRIANO LOPES DE MELO**

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 21 /08/2007

---

Ricardo Valcarcel. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Cláudio Belmonte de Athayde Bohrer Prof. Dr. UFF

---

Márcio Rocha Francelino. Prof. Dr. UFRRJ

---

Rodrigo Jesus de Medeiros. Prof. Dr. UFRRJ

## Dedicatória

Ao meu avô Pedro (*in memoriam*) por todos os valores que repassou a minha família e por toda a ajuda moral e financeira. Tenho certeza que está em paz, que a sua missão por aqui foi cumprida e que um dia ainda nos encontraremos.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Talvez esse tópico seja a mais oportuna e clara manifestação expressa de um mestrando em reconhecer as pessoas e instituições que apoiaram de alguma forma a concretização dessa fase de sua vida. A todos abaixo meus sinceros e cordiais agradecimentos e abraço fraterno:

A minha família, em destaque a minha mãe Olga e ao meu avô Pedro (*n memoriam*), por me ajudar nessa formação de cidadão e consolidação de valores, muitos deles ditos atualmente como “foras de moda”, mas que faço questão de trazer comigo e irradiá-los para outros.

A minha grande companheira Monise, pessoa que amo e admiro pela sua beleza interior, obrigado pelo equilíbrio que me conferiu durante toda essa jornada.

A CAPES, ainda que eu acredite que muitos aspectos possam ser aprimorados em seu sistema, reconheço a sua importância e necessidade para o fomento da ciência, tecnologia e desenvolvimento deste país, através de bolsas de estudo, como foi o meu caso. Sem a mesma certamente eu não seria um mestre.

Ao meu orientador Ricardo Valcarcel, pessoa que admiro por se apresentar como educador, sempre respondendo com outras perguntas, sempre cativando reflexões processuais e não estáticas, isso fez toda a diferença em minha qualificação enquanto profissional, na minha percepção de ecossistema e mundo. As idiosincrasias foram notórias, mas penso que foram necessárias para um aprendizado mútuo, é isso que nos engrandece para viver o mundo.

A Deise Moreira Paulo (APN) e Paulo Motta (IBAMA-SUPES-RJ) dois notórios saber em RPPN que me ajudaram de todas as formas que puderam, sem hesitar e com toda presteza.

A equipe do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas (IF-UFRuralRJ), que foi a minha segunda casa e local de muito aprendizado. Agradeço também ao José de Sá, amigo e companheiro de mestrado, muitos debates sobre o setor florestal fizemos e amadurecemos.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais da UFRuralRJ, pelo empenho em aprimorar a cada ano a qualidade do curso e ouvir as sugestões dos discentes para isso, tenho o sentimento exato de que nesses dois anos estive no local certo e, ainda, de que coordenar um programa com estes é tão nobre quanto desafiante, parabéns aos que estiveram a frente, em destaque ao Professor Lelis.

A Alba Simon e Paulo Bidegain, do Instituto Estadual de Florestas do Rio de Janeiro, pelo entendimento que eu precisava terminar esse ciclo de minha vida para que as minhas concepções e ações pudessem ser potencializadas no âmbito do Parque Estadual da Serra da Tiririca, onde hoje tenho a nobre tarefa de administrá-lo. Da mesma forma a equipe do parque, que me cobriram com muita competência em momentos em que estive fora.

Por fim, agradeço aos proprietários de RPPN por serem tão solícitos e, ainda, pela nobre e voluntária iniciativa de salvaguardarem pedaços do tempo e espaço para nossos herdeiros.

Muito Obrigado!

## RESUMO

MELO, Adriano Lopes. **Serviços Ambientais Hidrológicos desempenhados por Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) da Mata Atlântica: marco teórico para pagamentos por serviços ambientais na bacia hidrográfica do rio São João.** RJ. 2007. 116p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

O conceito de serviços ambientais é definido como interações e processos naturais que satisfazem e sustentam a vida humana, sendo de caráter hidrológico aqueles que interferem no suprimento hídrico de qualidade. Em diversos países do mundo e mais destacadamente na América Latina e Caribe, a concepção de Pagamentos por Serviços Ambientais Hidrológicos (PSAH) têm sido discutida e até mesmo já sendo colocada em prática. Essas abordagens tentam estabelecer pactos entre os interesses de proprietários situados a montante (provedores) e a jusante (beneficiários) nas bacias hidrográficas sendo a essência deste processo à manutenção da perenidade dos recursos hídricos. Na bacia hidrográfica do rio São João, existe um dos maiores movimentos de criação de Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) do Brasil, localizadas a montante da captação de água para a Costa do Sol do Rio de Janeiro. Essa proteção, que é voluntária e perpétua, no entanto, não tem sido reconhecida economicamente. Neste estudo é desenvolvida uma análise teórica e indireta sobre a vocação hidrológica dessas unidades de conservação, já que não existem informações precisas sobre isso, como instrumento de subsídio à possíveis programas de pagamentos por serviços ambientais hidrológicos na bacia. Para isso foram feitas análises da oferta de atributos ambientais físicos, biológicos e antrópicos em macro-escala (região e bacia como um todo), identificando áreas homogêneas de desempenho de serviços ambientais (áreas tipo), e em micro-escala (RPPN), neste caso agrupando essas UC's a partir dos atributos ambientais das microbacias que protegem, identificando a similaridade entre as mesmas sob o ponto de vista de unidades de respostas hidrológicas, passíveis de serem escolhidas em possíveis projetos de monitoramento de serviços ambientais. Neste caso, tais microbacias foram caracterizadas a partir de 13 variáveis. Além disso, foram criados 4 índices que estão relacionados as RPPN, as microbacias protegidas pelas mesmas e a bacia do rio São João como um todo, na tentativa de sistematizar e sintetizar informações que sugerem a vocação hidrológica dessas UC's, como subsídio prático aos gestores de PSAH em bacias da Mata Atlântica. Em todas essas etapas do estudo utilizou-se o software ArcView 3.2a. Foram identificadas, descritas e espacializadas 7 áreas tipo distintas em relação ao desempenho de serviços ambientais hidrológicos na bacia do rio São João. Identificou-se que microbacias protegidas pelas RPPN podem ser agrupadas em 3 unidades de respostas hidrológicas e, com isso, os resultados de monitoramentos de seus serviços ambientais podem ser extrapolados para as demais. Os resultados dos quatro índices criados apontam que as RPPN possuem vocação hidrológica distintas. A concepção utilizada, que compila, sistematiza e sintetiza as informações ambientais e antrópicas em macro e micro-escala, conforma-se como um potencial marco teórico para pagamentos por serviços ambientais de prática aplicação pelos seus gestores, podendo ainda ser utilizada por comitês de bacias em ações executivas e empresas direta e indiretamente beneficiárias de unidades de conservação públicas e privadas a montante, como ocorre na bacia hidrográfica do rio São João.

**Palavras chave:** Serviços Ambientais, Reservas Particulares do Patrimônio Natural, Mata Atlântica

## ABSTRACT

Melo, Adriano Lopes. **Hydrological Environmental Services carried out by Heritage Private Natural Reserves (RPPN) of the Atlantic Rain forest: theoretical mark for payments for environmental services in the São João Watershed.** 2007. 95p. 2007. 95p. Dissertation (Master's degree in Environmental and Forest Sciences). Forest Institute, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007

The concept of environmental services is defined as interactions and natural processes that satisfy and sustain the human life, being of hydrological character those that interfere in the hydric quality supply. In several countries of the world and especially in Latin America and Caribbean, the conception of Payments for Hydrological Environmental Services (PES) have been discussed and even already being put in practice. These approaches try to establish pacts among the interests of located proprietors in amount (providers) and in down-stream (beneficiaries) in watersheds. The essence of this process is the maintenance of the hydric resources perennality. In the São João Watershed, one of the largest movements of Heritage Private Natural Reserve (RPPN) creation exists in Brazil, located in amount of the water capture to Costa do Sol of Rio de Janeiro. That protection, that is voluntary and perpetual, however, hasn't been recognized economically. In this study a theoretical and indirect analysis is developed on the hydrological vocation of those conservation units, since specified information doesn't exist on that, as subsidy instrument to possible programs of payments for hydrological environmental services in the watershed. To attend that, analyses to the offer of physical, biological environmental and anthropic attributes were made in macro-scale (area and watershed as a whole), identifying homogeneous areas in environmental services performance (type-areas), and in micro-scale (RPPN), in this case grouping the UC's through environmental attributes of the catchment that protect, identifying the similarity among the same ones in the point of view of hydrological answers units, susceptible to be chosen in possible environmental services monitoring. In this case, such catchments were characterized through 13 variables. Besides that, were created four indexes that are related to RPPN, to the catchments protected for the same ones and to São João Watershed as a whole, in the attempt to systematize and synthesize informations that suggest the hydrological vocation of those UC's, as practical subsidy to the managers of PES in Atlantic Forest Watersheds. In all the stages of the study, the software ArcView 3.2a was used. In the São João Watershed, seven type-areas different about hydrological environmental services performance were identified, described and delimited. It was identified that catchments protected by RPPN can be grouped in 3 hydrological answers units and that, the results of their environmental services monitoring can be extrapolated for the others. The results of the four created indexes point that RPPN posses different hydrological vocation. The used conception, that compiles, systematizes and synthesizes the environmental and anthropical informations in macro and micro-scale, conforms as a potential theoretical mark for payments for environmental services of practice application for their managers, can still be used by watershed committees in executive actions and direct and indirectly companies beneficiaries of public and private conservation units to amount, as it happens in São João Watershed.

**Key words :** Environmental Services, Heritage Private Natural Reserves, Atlantic Rain forest.



## ÍNDICE DE FIGURAS

I-1: Localização aproximada da bacia hidrográfica do rio São João no Estado do Rio de Janeiro. ....	13
I-2: Região Hidrográfica MRA-4 e os municípios inseridos em seus domínios, onde se enquadra a bacia do rio São João, segundo a classificação da SEMADS (2001). Fonte: Consórcio Lagos São João (2006). ....	13
I-3: Relevo da bacia hidrográfica do rio São João, variando entre planícies, colinas e escarpas abruptas. Ao fundo, como divisor norte da bacia, a Serra do Mar. ....	19
I-4: Relevo da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro. Fonte: adaptação do IQM Verde, Fundação CIDE (2001). ....	21
I-5: Modelo de elevação do terreno da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro. ....	22
Figura 6: Regime de precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio São João, apresentado em forma de isoietas. Fonte: Bidegain & Volcker (2003), adaptação.....	23
I-7: Modelo de declividade do terreno da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro. ....	25
I-8: Orientação de encostas da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro. ....	26
I-9: Grandes blocos florestais remanescentes no Estado do Rio de Janeiro, com a localização aproximada (em vermelho) da bacia do rio São João. Fonte: Rocha <i>et al.</i> (2003).....	27
I-10: Orientação de encostas da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro. ....	29
I-11: Gráfico demonstrativo da Resistência x Elasticidade.....	35
I-12: Entrada da maré dentro da calha do rio São João até Represa de Juturnaíba (Benigno <i>et al.</i> , 2003 modificado).....	38
I-13: Esquema ilustrativo demonstrando a concepção de zonas hidrogenéticas em bacias hidrográficas. ....	40
I-14: Áreas Tipo segundo a similaridade de vocação hidrológica dos setores da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João, Rio de Janeiro.....	42
II-1: Localização das Reservas Particulares do Patrimônio Natural na bacia hidrográfica do rio São João, RJ. ....	57
II-2: Localização das microbacias na bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro.....	59
II-3: Classificação de canais segundo Strahler (1964). ....	64
II-4: Agrupamento de microbacias hidrográficas protegidas por RPPN na bacia hidrográfica do rio São João por similaridade de atributos ambientais. ....	73
III-1: Vista da Represa de Juturnaíba em imagem de satélite Landsat (INPE) e <i>in situ</i> a montante da Costa do Sol do Rio de Janeiro. ....	83
III-2: Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) a montante da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro. ....	83
III-3: Cenário ambiental a jusante da bacia hidrográfica do rio São João: foz do rio São João, contígua aos municípios de Cabo Frio (lado direito da foz) e Casimiro de Abreu (lado esquerdo da foz), e sua densidade demográfica (beneficiários de serviços ambientais hidrológicos providos a montante da bacia). Fonte: Gallioto (2002). ....	83

## ÍNDICE DE TABELAS

I-1: Municípios inseridos na bacia do rio São João, suas respectivas áreas e relação com a superfície total da bacia. ....	14
I-2: Áreas tipo da Bacia Hidrográfica do Rio São João, segundo a vocação hidrológica. ....	43
II-1: Caracterização das microbacias através de variáveis morfométricas. ....	71
III-1: Pontuação do Coeficiente de Conservação da Biodiversidade (Cb) de acordo com o estágio de sucessão ecológica das microbacias protegidas pelas RPPN.....	86
III-2: Áreas tipo e suas respectivas pontuações para compor o Índice de Serviços Ambientais Hidrológicos. ....	88

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1: Elasticidade.....	35
Equação 1:2Altitude média (m) .....	61
Equação 2:3Coeficiente de compacidade .....	62
Equação 3:4Comprimento de rampa .....	63

## **Lista de abreviações, siglas ou símbolos**

UC - Unidade de Conservação

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação

PSA - Pagamentos por serviços ambientais

PSAH - Pagamentos por Serviços Ambientais Hidrológicos

PPSA - Programa de Pagamentos por Serviços Ambientais

RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural

MBH - microbacia hidrográfica

APP - Área de Preservação Permanente

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPITULO I - SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO. ....	6
1 INTRODUÇÃO .....	9
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
Localização da área de estudo .....	12
Método.....	14
Base Cartográfica .....	14
Análise das informações .....	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
3.1 Oferta de atributos ambientais em nível regional.....	15
3.2 Oferta de atributos ambientais físicos na bacia do rio São João.....	17
3.3 Oferta de atributos ambientais biológicos na bacia do rio São João .....	27
3.4 Transformações antrópicas na oferta de atributos ambientais .....	30
3.5 Definição de áreas tipo segundo a vocação hidrológica .....	31
4. CONCLUSÃO .....	48
CAPITULO II - SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS DESEMPENHADOS PELAS RESERVAS PARTICULARES DO PATRIMÔNIO NATURAL (RPPN) DA MATA ATLÂNTICA .....	50
1 INTRODUÇÃO .....	53
2 METODOLOGIA .....	56
2.1 Demarcação e localização das RPPN .....	56
2.2. Unidades amostrais: demarcação e caracterização das microbacias .....	58
2.3 Caracterização das microbacias .....	60
2.3.1 Área (A) .....	60
2.3.2 Altimetria .....	60
2.3.3 Declividade .....	61
2.3.4 Ângulo de Orientação .....	61
2.3.5 Posição na Isoieta (PI) .....	62
2.3.6 Coeficiente de compacidade (Kc).....	62
2.3.7 Comprimento de rampa (C) .....	62
2.3.8 Exposição das encostas (E).....	63
2.3.9 Área de captação a montante (Ac).....	63
2.3.10 Comprimento total de drenos ( $Q_t$ ) .....	63
2.3.11 Comprimento total de drenos de primeira ordem ( $Q_{1w}$ ) .....	64
2.3.12 Cobertura Vegetal (Cv) .....	64
2.4 Análise Estatística.....	64
2.5 Programas e equipamentos .....	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4. CONCLUSÃO .....	74
CAPITULO III : MARCO TEÓRICO PARA PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS (PSAH) EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DA MATA ATLÂNTICA.....	75
1 INTRODUÇÃO .....	76

2 MATERIAL E MÉTODOS.....	84
2.1 Índice de Preservação Permanente (IPP).....	84
2.2 Índice de Importância Hidrológica (IIH).....	85
2.3 Índice de Custo de Oportunidade (ICO).....	86
2.4 Índice de Serviços Ambientais (ISA).....	87
3 RESULTADO E DISCUSSÃO .....	88
4. CONCLUSÃO .....	95
CONCLUSÃO GERAL.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
ANEXOS .....	106

## INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um país considerado megadiverso, concorrendo com a Indonésia pelo título de nação biologicamente mais rica do nosso planeta, ainda que apresente infortúnios como desmatamento, conversão de paisagens naturais em reflorestamentos, plantações de soja e pastagens, além da expansão industrial e urbana (MITTERMEIER *et al.*, 2005). Esses fatores de pressão sobre os ecossistemas datam desde o século XVI e estão associados ao conceito de “desenvolvimento”, onde constituem as causas de perda da biodiversidade: superexploração de recursos naturais; degradação e destruição de habitats; poluição; introdução de espécies exóticas; e fragmentação (PRIMARK e RODRIGUES, 2001; TABARELLI *et al.* 2005).

Em uma análise específica sobre o cenário ambiental da Mata Atlântica, os dados por si só apontam a magnitude dos infortúnios supracitados: restam apenas de 7 a 8% de superfície desse ecossistema, dividida entre Brasil, Paraguai e Argentina. A Mata Atlântica é um dos 25 *hotspots* de biodiversidade reconhecidos pelo mundo, áreas assim denominadas por estarem submetidas a um paradoxo: embora apresentem megadiversidade, 60% das espécies de todo o planeta estão neles abrigados, perderam pelo menos 70% de sua cobertura original (RYLANDS & BRANDON, 2005), sendo possível se reportar aos mais de 1,1 bilhão de habitantes que neles vivem para refletir sobre uma relação causa/efeito associada.

Portanto, a conversão de habitats naturais em paisagens agrícolas, industriais e em terra degradada é o impacto principal de humanos no ambiente natural, sendo uma grande ameaça para biodiversidade (DOBSON & BRADSHAW, 1997).

A partir desse histórico processo de desenvolvimento, sócio e biodiversidade ainda estão atualmente submetidas a externalidades negativas, diante de perdas sucessivas de elementos da fauna, flora, paisagem, cultura, tradição de povos e os serviços ambientais associados aos mesmos.

A discussão sobre os serviços ambientais desempenhados pelos ecossistemas então surge como uma expectativa de garantir uma gestão ambientalmente comprometida dos recursos naturais pela sociedade, e por isso a necessidade de identificar, quantificar e valorar os mesmos, bem como seus usos múltiplos (UFRRJ, 1987).

O conceito de serviços ambientais, também chamados de serviços ecossistêmicos, segundo De GROOT (1992), é definido como: interações e processos naturais que satisfazem e

sustentam a vida humana; tais como os citados por TONHASCA Jr. (2004), dentre os quais pode-se destacar: controle de erosão e sedimentação através da retenção solo; regulação do fluxo hidrológico; controle de distúrbios climáticos; valor cultural e estético; proteção de habitats; controle de doenças e pragas; e fonte de material genético. Em outras palavras, são processos ecológicos essenciais a vida, em todos os seus níveis, sendo o desenvolvimento sócio-econômico das sociedades, por exemplo, apenas um dos vieses inerentemente dependente dos mesmos.

Os serviços ambientais de caráter hidrológico envolvem funções dos ecossistemas com significados distintos, variando desde a proteção do solo contra impacto da gota de chuva, redução da suscetibilidade do solo (erodibilidade), infiltração, interceptação vertical (chuva oculta), redução dos riscos de cheias e deslizamentos, todas variáveis que interferem no suprimento hídrico de qualidade (VALCARCEL, 1985; UFRRJ, 1987; ARCOVA *et al.*, 1992; ZAUÍ, 1994; ROSA, 1995; GENZ, 1996;).

Em uma abordagem específica sobre os serviços ambientais de caráter hidrológico, como é o caso deste estudo, destaca-se a contribuição de um determinado setor da paisagem, diante de seus atributos e fenômenos ambientais físicos, biológicos e de uso do solo, em contribuir na promoção da recarga de aquíferos, ou ainda, a capacidade dos ecossistemas, ou parte deles, no âmbito de uma visão integrada e sistêmica sobre bacias hidrográficas, de administrar lenta e gradualmente a precipitação (pluviométrica e por interceptação vertical), de maneira que as demandas humanas e do próprio ecossistema (água em quantidade e qualidade) possam ser atendidas de forma perene.

Em diversos países do mundo (EUA, França, Austrália, Índia, Indonésia, Filipinas) e mais destacadamente na América Latina e Caribe, a concepção de Pagamentos por Serviços Ambientais Hidrológicos (PSAH) têm sido discutida e até mesmo já sendo colocada em prática, destacando-se: Peru (LLERENA, 2003), Colômbia (ESTRADA e QUITERO, 2003), Bolívia (ROBERTSON e WUNDER, 2005), Equador (ECHAVARRÍA, 2002; PSA-CABSA, 2005), Chile e Honduras (MEJÍA e BARRANTES, 2003), Nicarágua e El Salvador (PÉREZ, 2003), Costa Rica (MALAVASI e KELLEMBERG, 2002; BOLAÑOS, 2003; CAMACHO, 2003; CORDERO, 2004; BARRANTES *et al.*, 2005), México (MANSON, 2004), República Dominicana, Guatemala (HERNANDEZ, 2003), Panamá e Brasil (LOUREIRO, 2004; MAY e GELUDA, 2005; GELUDA e YOUNG, 2005; MELO, 2007).

Essas abordagens tentam estabelecer pactos entre os interesses de proprietários situados a montante (provedores) e a jusante (beneficiários) de água nas bacias hidrográficas, sendo a essência deste processo à manutenção da perenidade dos recursos hídricos através da adoção de boas práticas de conservação, sobretudo, por proprietários rurais privados.

A concepção de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) conforma-se como um mecanismo de compensação flexível, direto e promissor, onde os provedores dos serviços são reconhecidos economicamente pelos beneficiários dos mesmos (TOGNETTI, 2003). Mas, para isso, naturalmente, a sociedade precisa entender que está sendo beneficiada para que a definição de “serviço” seja considerada.

Segundo ESTRADA e QUITERO (2003), o PSA é um dos mecanismos mais inovadores para se gerar benefícios sociais e ambientais, pois tem um impacto sobre o uso da terra e o bem estar de produtores mais pobres. No que tange aos serviços ambientais hidrológicos, ainda segundo estes autores, estes são um dos serviços mais importantes devido ao seu impacto direto no bem estar da sociedade, na produção agrícola e elétrica, bem como interfaces com outros serviços como conservação de solos e cobertura florestal.

A relação entre Mata Atlântica, serviços ambientais hidrológicos e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), está no fato de que essas unidades de conservação de caráter privado, que compõem o Sistema de Unidades de Conservação (SNUC) do país (BRASIL, 2000), têm contribuído para a proteção de ecossistemas, sua biodiversidade e serviços ambientais associados (CAGANO e TAKAHASHI, 2005; SILVA, 2005; COSTA, 2006; MELO, 2007). Essa proteção, que é voluntária e perpétua, como reza a Lei 9.985/00 (SNUC), no entanto, não é reconhecida economicamente, ainda que essa seja uma demanda apontada por essa mesma lei (artigos 47 e 48), pela Política Nacional de Biodiversidade (Decreto Federal nº 4.339 /2002) em seu componente 2, e até mesmo pela última Conferência Nacional de Meio Ambiente (tema áreas protegidas).

Segundo YOUNG (2005) existe um grande potencial desse instrumento econômico inovador em viabilizar pelo menos as ações básicas de proteção e manejo das unidades de conservação.

Na bacia hidrográfica do rio São João, existe um dos maiores movimentos de criação de RPPN no Brasil (MELO *et al.*, 2004), ao todo são 12 reservas já estabelecidas, sendo que existem mais 10 em processo de criação (MOTTA, *com. pessoal*). Essas unidades de conservação estão



todas situadas nos trechos médio e alto da referida bacia, a montante do reservatório de Juturnaíba, que por sua vez abastece a Região da Costa do Sol fluminense, tanto os habitantes quanto os milhares de turistas de fins de semana e feriados que visitam a região.

A elucidação da importância hidrológica dessas RPPN no contexto da bacia hidrográfica do rio São João é uma necessidade, pois a sociedade precisa associar a sua qualidade de vida ao movimento voluntário de conservação de florestas que tem acontecido na região fonte desse recurso, isto é, entender a relação causa efeito direta da iniciativa em sua vida cotidiana. Esse seria um dos primeiros passos para implementação de esquemas de PSA em bacia hidrográficas: conhecer para reconhecer (GELUDA e YOUNG, 2005).

Mas antes, é preciso identificar os serviços hidrológicos providos pelas mesmas, e isso sugere uma análise em diferentes escalas, analisando desde os processos biofísicos e antrópicos que ocorrem na bacia como um todo até aqueles de mesmo caráter relacionados a cada RPPN e as microbacias que protegem. Contudo, estabelecer uma relação causa/efeito entre usos da terra e suas respectivas respostas hidrológicas - ou seja, uma determinada área de floresta (setor da paisagem) protegida por uma RPPN, por exemplo, gera que magnitude de serviços ambientais hidrológicos? - é tão importante quanto de difícil mensuração (PORRAS, 2003; PAGIOLA e PLATAIS, 2003; FAURÈS, 2003).

Fatores conjunturais, como aumento da demanda por água nas cidades, seu uso indevido, carência de pesquisa em hidrologia florestal e a precariedade de dados sobre os elementos hidrológicos das bacias hidrográficas, são considerados imprescindíveis para o uso, produção e racionalização dos recursos hídricos (ROSA, 1995; VALCARCEL & SILVA, 1998; PINHEIRO, 2004).

Mas, diante da dificuldade anunciada de estabelecer essas relações, sobretudo, pela complexidade de variáveis exigidas pela Hidrologia Florestal para se chegar a resultados mais precisos, bem como o tempo hábil para isso, e considerando a necessidade de gerar um marco teórico a partir de critérios técnico-científicos que consubstancie esquemas de PSAH na bacia do São João, bem como outras bacias da Mata Atlântica, focados no reconhecimento econômico de proprietários privados e, sobretudo, aqueles que possuem RPPN, optou-se pelo uso de análises teóricas indiretas a partir de variáveis relacionadas à ciência da Hidrologia Florestal, à luz de sua aplicabilidade pelos gestores públicos em possíveis esquemas de pagamentos por serviços ambientais.

A abordagem se deu em nível de macro e micro-escala, e buscou o entendimento não só das características biofísicas e antrópicas mas também dos processos as quais estão submetidas, a fim de identificar áreas de maior e menor vocação hidrológica no âmbito da bacia do rio São João.

Neste contexto, o primeiro capítulo deste estudo desenvolve uma análise teórica sobre os atributos e fenômenos ambientais relacionados a bacia do rio São João como um todo, sem ainda analisar as RPPN, com objetivo de identificar, descrever e espacializar as regiões da bacia com maior vocação para desempenho de serviços ambientais hidrológicos.

No segundo capítulo é realizada uma análise focada nos atributos ambientais das microbacias protegidas pelas RPPN, caracterizando e agrupando-as segundo a similaridade desses atributos para, assim, definir unidades de resposta hidrológica representativas de desempenho de serviços ambientais hidrológicos, passíveis de serem utilizadas experimentalmente em esquemas de PSAH.

Por fim, no terceiro capítulo foi concebido um marco teórico para esquemas de PSA, com o uso de variáveis indiretas ligadas à Hidrologia Florestal, que permitam inferir sobre a maior ou menor vocação hidrológica de setores da paisagem da bacia.

Espera-se que esses conhecimentos, reduzidos no conceito de vocação hidrológica, possam ser aplicados em futuros esquemas de PSAH em bacias hidrográficas da Mata Atlântica, de maneira que o seu gestor, através da concepção de áreas prioritárias para manutenção de serviços ambientais hidrológicos, tenha subsídio para suas decisões de reconhecimento econômico e harmonização da relação provedor-beneficiário.

**CAPITULO I - SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO.**

## RESUMO

O conceito de bacia hidrográfica tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental. Essa abordagem minimiza as conseqüências de uma visão setorializada de um conjunto de elementos que compõe a paisagem e reitera a importância de realizar uma análise dos processos ambientais que ocorrem no contexto de uma bacia. A identificação de unidades homogêneas de oferta de atributos ambientais no contexto de uma bacia hidrográfica, neste estudo denominadas áreas tipo, segundo a sua capacidade de desempenhar serviços ambientais hidrológicos, como produção de água e proteção do solo, perpassa à leitura de seus atributos físicos, biológicos e antrópicos, em macro e micro escala, e pode contribuir para um planejamento estratégico na bacia, inclusive direcionamento de ações prioritárias de pagamentos por serviços ambientais hidrológicos, à luz dos recursos orçamentários atualmente existentes para a conservação da biodiversidade. Foram realizadas análises teóricas sobre as interfaces entre os temas relevo, uso e ocupação do solo, regime de chuvas, orientação de encostas, altitude e declividade com objetivo de identificar e espacializar áreas tipo, segundo a vocação hidrológica associada, cuja hipótese está relacionada ao fato de que ecossistemas mais íntegros potencializam o desempenho de serviços ambientais hidrológicos. Neste contexto, foram identificadas, descritas e espacializadas 7 áreas tipo na bacia do rio São João, como unidades homogêneas com capacidades distintas de desempenho de serviços ambientais hidrológicos, sendo que do litoral para o interior a oferta de atributos ambientais aumenta, gerando conseqüências também na oferta desses serviços. A existência da Serra do Mar como divisor topográfico da bacia do rio São João potencializa a vocação hidrológica de suas microbacias de cabeceira, que estão a montante da área de captação de água para o abastecimento da Costa do Sol do Rio de Janeiro, cujo fluxo de turismo é expressivo e a importância para o desenvolvimento sócio-econômico do Estado é notória. Conclui-se que essas áreas devem ser utilizadas estrategicamente na concepção de programas de manejo de bacias e pagamentos por serviços ambientais hidrológicos, como ocorre em outros países da América Latina e Central, sobretudo.

**Palavras chave:** bacia hidrográfica, rio São João, serviços ambientais hidrológicos.

## ABSTRACT

The concept of watershed has been more and more expanded and used as a management landscape unit in the area of environmental planning. That approach minimizes the consequences of a sectorized vision of a group of elements that composes the landscape and reiterates the importance of accomplishing an analysis of the environmental processes that happen in the context of a watershed. The identification of homogeneous units of environmental attributes offer in the context of a watershed, in this study denominated type-areas, because of the capacity to carry out hydrological environmental services, as production of water and soil protection, is relationated to the reading of their physical, biological and anthropical attributes, in macro and micro scales, and it can contribute to a strategic planning in the watershed, including the definition of priority actions of payments for hydrological environmental services, to the light of the scanty budget resources now existent for the conservation of the biodiversity. Theoretical analyses were accomplished among the themes relief, use and occupation of the soil, regime of rains, orientation of hillsides, altitude and steepness with the objective to identifying and delimitating type-areas, according to the hydrological vocation associated to them, whose hypothesis is related to the fact that more complete ecosystems potentiate the performance of hydrological environmental services. In this context, in the São João Watershed, 7 type-areas were identified, described and delimited about homogeneous units with different capacities from performances of hydrological environmental services, being that, to the coast for the interior the offer of environmental attributes increases, generating consequences also in the offer of those services. The existence of the Serra do Mar as a topographical divisor of the São João watershed potentiates the hydrological vocation of their catchments, that are to amount of the area of reception of water for the provisioning of Costa do Sol of Rio de Janeiro, whose tourism is expressive and the importance for the socioeconomic development of the State is well-known. It is ended that those areas should be used strategically in the conception of programs of watershed management and payments for hydrological environmental services, as it happens, above all, in other countries of Latin America and Central.

**Key Word:** watershed, São João river, hydrological environmental services.

## 1 INTRODUÇÃO

A concepção de que a bacia hidrográfica é a unidade básica de planejamento tem sido abordada por diversos autores, dentre os quais pode-se destacar: LIMA, 1986; VALCARCEL, 1988; CICCIO e ARCOVA, 1998; PIRES *et al.*, 2002.

Ocorre que a precipitação pluviométrica ao chegar à superfície depara-se com limites físicos (sobretudo, solo, geologia e geomorfologia) que apontam, junto à gravidade, o caminho a ser percorrido pela água até que a mesma chegue a um corpo d'água, lençol subterrâneo, aquífero ou mar, de modo que a qualidade e quantidade desse recurso pode ser monitorada e avaliada em um determinado ponto e, ainda, passível de ser associado aos usos que se fazem dentro desses referidos limites. Portanto, a definição de bacia hidrográfica está de forma inerente associada a este processo, sendo descrita como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes a partir de limites físicos, os divisores topográficos.

PIRES *et al.* (2002) afirma que o conceito de bacia hidrográfica tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental, embora possam existir variações no foco principal, conforme a percepção dos técnicos que o utiliza em seus estudos.

Esse mesmo autor analisa que o processo de gerenciamento e planejamento ambiental de bacias hidrográficas foi inicialmente direcionado à solução de problemas relacionados ao recurso água, priorizando o controle de inundações, ou irrigação, ou navegação, ou abastecimento público e industrial. Mas com o aumento da demanda sobre os recursos hídricos e da experiência de técnicos envolvidos na administração dos mesmos, foi verificada a necessidade de incorporar na abordagem inicial os aspectos relacionados aos usos múltiplos da água, na perspectiva de atender uma estrutura do tipo morfo-usuário, que competem pelo mesmo recurso. Essa abordagem, ainda segundo este autor, buscou solucionar conflitos entre usuários e dimensionar a quantidade e qualidade do recurso que cabe a cada um e as suas responsabilidades sobre o mesmo, isso porque as implicações sobre o uso dos recursos hídricos provêm de uma série de fatores naturais, econômicos, sociais e políticos, sendo o recurso “água” tão somente o ponto de convergência de um complexo sistema ambiental.

Essa abordagem minimiza as conseqüências de uma visão setorializada de um conjunto de elementos que compõe a paisagem, muitas vezes a principal causa dos distúrbios ambientais

(GUERRA e CUNHA, 1996) e reitera a importância de realizar uma análise dos processos ambientais que ocorrem no contexto de uma bacia hidrográfica.

No entanto é importante que se transcenda a simples caracterizações ambientais e sim se compreenda, em cada situação particular, em uma visão de processos, o que o atual cenário ambiental do ecossistema aponta (vocações e limitações), usando para isso a leitura de seus atributos ambientais (naturais e antrópicos) e das respostas aos usos nele desenvolvidos.

A identificação de áreas similares (áreas tipo), no contexto de uma bacia hidrográfica, segundo a sua capacidade de desempenhar serviços ambientais hidrológicos, como produção de água e proteção do solo, perpassa à leitura de seus atributos e fenômenos ambientais associados, em escala local e regional, e pode contribuir para um planejamento estratégico na bacia, inclusive direcionamento prioritário de ações para pagamentos por serviços ambientais hidrológicos, sobretudo, diante dos poucos recursos orçamentários atualmente existentes para a conservação da biodiversidade.

Para o caso deste estudo, essa afirmativa deve estar ainda mais presente nas análises teóricas pela grandeza da bacia hidrográfica do rio São João, considerada a maior genuinamente fluminense, ocupando parte ou total área de 8 municípios. Essa informação sugere a também grandiosa diversidade de ambientes físicos, biológicos e antrópicos que, em sinergismo, influenciam, decisivamente, a capacidade dos ecossistemas em desempenhar serviços ambientais hidrológicos.

A geomorfologia, por exemplo, estuda a compartimentação da topografia regional, assim como a caracterização e descrição das formas de relevo de cada um dos compartimentos, sendo que além dessas preocupações topográficas e morfológicas básicas, a geomorfologia moderna procura entender os processos morfoclimáticos atuais em sua plena atuação. Ou seja, procura entender globalmente a fisiologia da paisagem, através da dinâmica climática e observações mais detalhadas (LACERDA e ALVARENGA, 2000). Este tipo de análise torna-se crucial, pois a bacia do rio São João recebe a influência decisiva da cadeia de montanhas que compõe o seu divisor norte, a Serra do Mar.

Em uma outra análise, o uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas permitem entender a capacidade da superfície terrestre em administrar a precipitação pluviométrica, ou seja, captar, armazenar e disponibilizar lenta e gradualmente a água para setores a jusante de

forma perene. Portanto, essa capacidade dependerá do estado de conservação dos ecossistemas presentes nos domínios da bacia em questão.

Por outro lado, o entendimento da distribuição do regime de chuvas em uma bacia hidrográfica, através de isoietas, por exemplo, sugere a magnitude de entrada de água no sistema, sendo necessário, no entanto, atentar para a magnitude dos outros componentes do balanço hídrico, de entrada e saída de água do sistema, para chegar a análises mais precisas.

Através do cruzamento dessas informações, relevo, uso e ocupação do solo e regime de chuvas, sob uma análise hidrológica, pode-se chegar à definição de áreas tipo, que para efeitos desse estudo são descritas como aquelas agrupadas pela oferta de atributos ambientais, ou ainda, vocação hidrológica.

As áreas tipo distinguem áreas com maior ou menor vocação hidrológica, ou seja, capacidade de captar, armazenar e disponibilizar lenta e gradualmente a água precipitada em quantidade e qualidade suficientes para atender as demandas humanas e do próprio ecossistema, seja por corpos d'água superficiais seja pela recarga de aquíferos.

Em um momento onde a escassez do recurso água se faz sentir, as questões relacionadas aos recursos hídricos começam a ser discutidas por diversos segmentos da sociedade, criando mecanismos reguladores para o seu manejo (p. ex. princípios do poluidor-pagador, usuário-pagador e mais recentemente provedor-beneficiário), assegurando o acesso à água e criando espaços institucionais para a solução de conflitos ligados ao seu uso e produção, como é caso dos Comitês de Bacias Hidrográficas e dos Planos de Gestão para as mesmas (COELHO, 2001).

A concepção de Pagamentos por Serviços Ambientais Hidrológicos (PSAH), fundamentado na filosofia do provedor-beneficiário de água, e com o objetivo de harmonizar usos a montante e interesses a jusante em bacias hidrográficas, é um exemplo disso, mas que tem sido aplicado mais presentemente no contexto dos países da América Latina e Caribe, sendo que o Brasil apenas recentemente tem discutido essa abordagem.

A geração de conhecimento sobre as áreas de uma bacia hidrográfica que possuem maior ou menor capacidade de desempenhar serviços ambientais hidrológicos, isto é, que possuem variações quanto a sua vocação hidrológica, tem um grande potencial de subsidiar uma marco teórico para esquemas de PSAH que possam futuramente operar em bacias hidrográficas brasileiras, mais especificamente aquelas situadas na região da Mata Atlântica que estão submetidas à influência da Serra do Mar.



Na medida que não há recursos suficientes para investimentos em todos os setores da bacia, e quando o foco é a perenidade do serviço ambiental água, defende-se que é preciso definir áreas prioritárias segundo a concepção de vocação hidrológica. A noção é que 1 hectare de florestas apresenta vocação hidrológica distinta segundo as condições de oferta de atributos ambientais, que está submetido, e é neste contexto que os poucos recursos financeiros existentes devem ser prioritariamente direcionados, tanto para ações de conservação como para recuperação de ecossistemas, ou até mesmo para boas práticas produtivas de uso do solo.

A espacialização dessas áreas, na Bacia Hidrográfica do rio São João, onde inclusive há uma grande região turística dependente das águas providas pela mesma para seu desenvolvimento sócio-econômico, tem grande potencial para contribuir junto à concepção de ações de manejo focadas na perenidade do provimento de serviços ambientais hidrológicos.

Portanto, este capítulo tem como objetivo geral tipificar as características ambientais de interesse hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio São João, e, em específico, identificar as áreas da bacia hidrográfica do rio São João, a partir da magnitude dos serviços ambientais hidrológicos que desempenham, descrevendo suas características ambientais de interesse hidrológico e espacializando as mesmas como áreas de maior e menor vocação hidrológica.

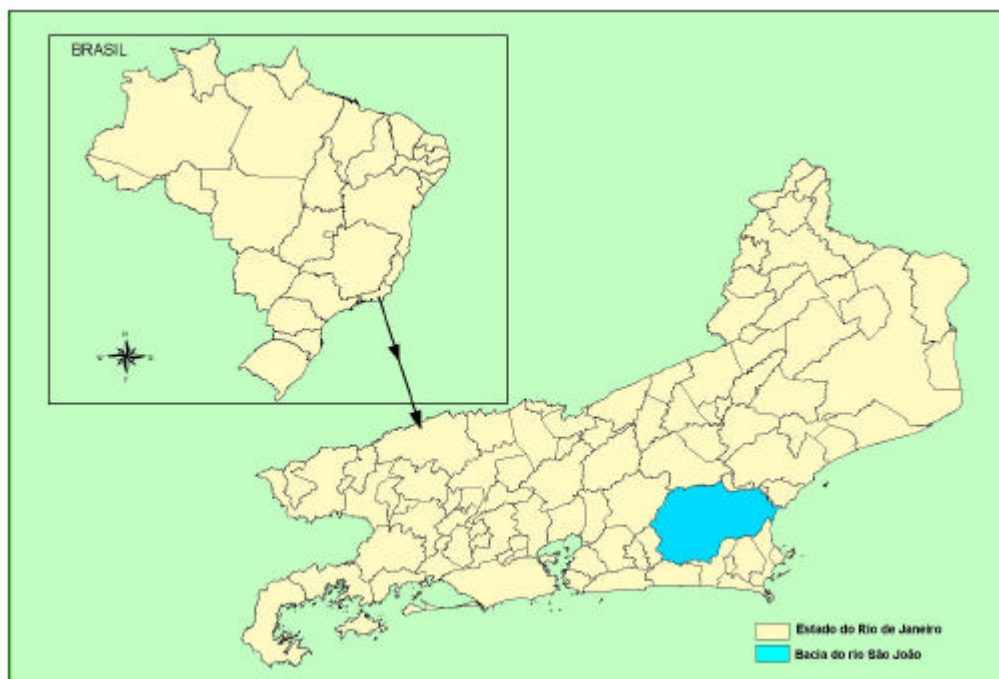
## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **Localização da área de estudo**

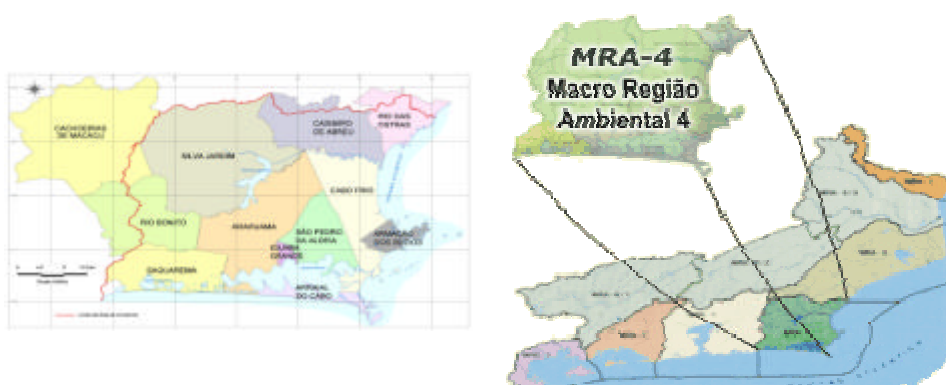
A bacia hidrográfica do rio São João (BHRSJ) está localizada na região centro-norte do Estado do Rio de Janeiro (22°50'S e 42°00'W), compreendendo uma superfície de 2.160 km<sup>2</sup> e perímetro de 266 km, abrangendo parcial ou totalmente 8 municípios (Tabela 1 e Figura 1), o que a torna a maior bacia genuinamente fluminense. A mesma faz limite à oeste com a bacia da Baía da Guanabara, ao norte e nordeste com as bacias dos rios Macaé e das Ostras e ao sul com as bacias do Rio Una e das Lagoas de Araruama, Jacarepiá e Saquarema (Figura 2). A bacia do São João divide-se em três grandes sub-bacias, a do rio Capivari (200 Km<sup>2</sup>), a do rio Bacaxá (521Km<sup>2</sup>) e a do próprio São João (650K m<sup>2</sup>). A mesma está enquadrada no âmbito do Estado do Rio de Janeiro na Macro-Região Ambiental 4 (MRA-4), segundo SEMADS (2001).

O rio São João nasce na Serra do Sambê, nos domínios do municio de Cachoeira de Macacu, a uma altitude de 740m, percorrendo sua área de drenagem no sentido sudoeste/nordeste

por 120 Km, o que lhe confere classificações diferenciadas segundo os trechos que percorre: rio de montanha nos primeiros 5 Km e rio de planície nos demais trechos (SAUNDERS, 2003).



**Figura 1:** Localização aproximada da bacia hidrográfica do rio São João no Estado do Rio de Janeiro.



**Figura 2:** Região Hidrográfica MRA-4 e os municípios inseridos em seus domínios, onde se enquadra a bacia do rio São João, segundo a classificação da SEMADS (2001). Fonte: CONSÓRCIO LAGOS SÃO JOÃO (2006).

**Tabela 1:** Municípios inseridos na bacia do rio São João, suas respectivas áreas e relação com a superfície total da bacia.

Município	Área Km <sup>2</sup>	População(hab.)		Área na Bacia		Abastecimento %
		Urbana	Rural	Km <sup>2</sup>	%	
Araruama	633,8	74.992	7.725	351	16,26	100
Cabo Frio	403,0	106.326	20.568	188	8,7	100
Cachoeiras de Macacu	958,2	41.071	7.389	53	2,46	---
Rio Bonito	462,1	32.319	17.280	258	11,94	100
Rio das Ostras	230,3	34.893	1.876	10	0,44	---
São Pedro da Aldeia	358,0	51.932	11.077	8	0,38	100
Silva Jardim	940,0	14.193	70.46	940	43,52	100
Casimiro de Abreu	462,9	18.248	3.804	352	16,30	100
Totais	4448,3	373.974	69.789,46			

\*Fonte: IBGE – Censo 2000 *apud* BIDEGAIN & VOLCKER (2003);

## Método

### Base Cartográfica

Foram utilizadas as cartas topográficas vetorizadas do IBGE (IBGE, 2005) de escala 1:50.000 (*datum* Córrego Alegre e Soth América 69 – SAD 69) para compor o mosaico da Bacia Hidrográfica do Rio São João, quais sejam: Silva Jardim (2747-1), Nova Friburgo (2716-4), Rio Bonito (2746-2), Morro de São João (2747-2), Araruama (2747-3), Casimiro de Abreu (2717-4).

Posteriormente, foram unidos os temas hipsometria e hidrografia dessas cartas para que pudessem compor o mosaico da área da Bacia Hidrográfica do Rio São João, possibilitando o recorte apenas da área da bacia. Neste processo, as referidas cartas sofrem correções de quilômetros para metros, por meio do ArcMap 9.0.

Inicialmente transformaram-se os referidos temas para *shapefile* no ArcView 3.2a, de maneira a possibilitar a edição e inserção dos valores das cotas nas curvas de nível, que receberam espaçamento de 20 metros entre si. Com esses dados foi possível gerar os seguintes mapas temáticos: i) Modelo digital de elevação (MDE); ii) Declividade; iii) Orientação de encostas. Todo esse processo foi baseado em Caldas (2006).

Além desses mapas, foram utilizados, a partir de adaptações, os mapas de relevo (adaptado de CPRM, 2001) e precipitação pluviométrica (isoietas), adaptado de BIDEGAIN & VOLCKER (2003).

Por fim, a partir dos limites da bacia, foram auferidas do CIDE (2001) as informações de seu uso e ocupação do solo.

### **Análise das informações**

As informações técnico-científicas dos 5 mapas temáticos apresentados acima, que se resumem na abordagem dos atributos físico, biológico e antrópico da bacia hidrográfica do rio São João, foram utilizadas para consubstanciar análises descritivas e teóricas sobre a vocação hidrológica dos diversos setores da paisagem da bacia.

Através do cruzamento dessas informações foram identificadas, descritas e espacializadas “áreas tipo”, que para efeitos desse estudo são consideradas áreas homogêneas segundo a vocação hidrológica que possuem, conceito traduzido na capacidade de desempenhar serviços ambientais hidrológicos.

As características de cada área tipo foram apresentadas na forma de um quadro, e um mapa temático com suas respectivas espacializações foi concebido.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Antes da leitura das reticuladas relações entre os atributos ambientais da bacia do rio São João propriamente dita e a identificação e interpretação da vocação hidrológica dos diferentes setores de sua paisagem, para se chegar a conformação de áreas tipo, é preciso se reportar aos aspectos e fenômenos biofísicos de ordem regional, que estão ligados às particularidades do sudeste brasileiro e, mais especificamente, ao Estado do Rio de Janeiro, como forma de entender o contexto da bacia em termos de macro-escala.

### **3.1 Oferta de atributos ambientais em nível regional**

Segundo CPRM (2001), o Estado do Rio de Janeiro apresenta um relevo bastante acidentado, que se conforma em sentido sudoeste-nordeste em linha paralela ao oceano, sucedendo-se em faixas estreitas em três componentes principais do quadro morfológico, quais sejam: as baixadas, os maciços litorâneos e o planalto. As baixadas litorâneas são planas e entalhadas pelos rios, sendo que mais para o interior cedem lugar aos morros argilosos. Os

maciços litorâneos estendem-se desde o município de Cabo Frio até a porção oriental da Baía de Guanabara, em meio a Baixada Fluminense, um alinhamento que possui entre 200 e 500 metros de altitude. Já o planalto ocupa a maior parte do território e seu rebordo oriental é formado pela Serra do Mar.

A Serra do Mar, segundo ALMEIDA e CARNEIRO (1998), é um conjunto de escarpas festonadas com cerca de 1.000 km de extensão, em que termina o Planalto Atlântico no trecho voltado para a Bacia de Santos. Ela se estende do Rio de Janeiro ao norte de Santa Catarina, onde deixa de existir como unidade orográfica de borda escarpada de planalto, desfeita que se acha em cordões de serras paralelas e montanhas isoladas drenadas diretamente para o mar, sobretudo pela bacia do rio Itajaí. No Paraná configura uma cadeia de montanhas com cimos elevados até a 1.800 m de altitude. Em São Paulo, impõe-se como típica borda de planalto, freqüentemente nivelada pelo topo em altitudes de 800 a 1.200 m. Na região centro-oriental do Rio de Janeiro apresenta-se como uma montanha constituída por bloco de falhas inclinado para nor-noroeste em direção ao rio Paraíba do Sul, com vertentes abruptas voltadas para a Baixada Fluminense, a sul.

O sistema de montanhas representado pela Serra do Mar, bem como da Mantiqueira, constitui a mais destacada feição orográfica da borda atlântica do continente sul-americano (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

Para o caso específico do Rio de Janeiro, esse cenário topográfico alia-se a posição geográfica do estado (fatores estáticos) e as massas de ar incidentes em seu território (fator dinâmico) para determinar o comportamento pluviométrico da região (NIMER, 1989).

Em relação aos fatores estáticos, a região sudeste, por estar localizada na borda do oceano e pela sua latitude, está direta e fortemente exposta à radiação solar e ao fluxo de ar frio oriundo do pólo sul, o que lhe confere maior freqüência de invasões de frentes frias e de linhas de instabilidade tropicais, uma vez que está na trajetória preferencial das correntes perturbadas (CPRM, 2001). Soma-se a isso a influência da topografia escarpada da Serra do Mar, cujas vertentes oceânicas encontram-se voltadas diretamente para sul. Isto determina o impacto direto dos sistemas frontais (“frentes frias”) provenientes do Atlântico Sul/Antártida, na qual as íngremes escarpas e o planalto montanhoso funcionam como barreiras que dificultam a passagem deste fenômeno climático (Fundação SOS Mata Atlântica/Prefeitura Municipal de Parati, 2004). Com isso, a presença da Serra do Mar promove a ascendência orográfica dos ventos úmidos que se deslocam do oceano, e, ainda, uma forte interceptação vertical dessas massas, gerando um

adicional de umidade em seus ecossistemas de sorte que os distinguem quanto a sua vocação hidrológica (BARBOZA, 2004).

Essas massas de ar úmido, consideradas como um fator dinâmico, possuem origem polar e perturbam freqüentemente as condições normais, que atuam com ventos geralmente de NE e dirigem-se as baixadas subpolares. Dessa maneira, a estabilidade é revertida para a instabilidade, aspecto característico de frentes frias (CPRM, 2001).

Ainda segundo a mesma autoria, nenhuma serra de todo o território nacional exerce tanta influência no sentido do acréscimo de precipitações as Serras do Mar e da Mantiqueira, sendo esta primeira, pelo fato de ser na maioria das vezes a ser primariamente atingida pelas correntes perturbadas de origem sub-polar, a mais pluviosa.

Portanto, o sinergismo entre os fatores estáticos e dinâmicos propicia um cenário de distribuição espacial das precipitações pluviométricas único para a região sudeste, se comparadas a outras serras e até mesmo a todo o território brasileiro (CPRM, 2001).

### **3.2 Oferta de atributos ambientais físicos na bacia do rio São João**

Para o caso específico da bacia hidrográfica do rio São João, os fenômenos descritos anteriormente são presentes, já que seus divisores topográficos ao norte estão nos domínios da Serra do Mar, onde recebem outras denominações em seus diversos segmentos, a saber: de SW para NE tem-se as Serras da Botija, de Santana, de São João, do Taquaruçu e da Boa Vista.

A bacia do São João apresenta relevo fragmentado (Quadro 1), distinguindo-se em três domínios morfológicos distintos, mas que se assemelham ao encontrado em quase todo Estado do Rio de Janeiro, quais sejam: a Serra do Mar, o Maciço Litorâneo e a Baixada (BIDEGAIN & VOLCKER, 2003; CUNHA, 1995); Além disso, a bacia pode ser dividida em três regiões fisiográficas: alto curso do São João e dos abastecedores da Lagoa de Juturnaíba; o Médio curso do São João, Lagoa de Juturnaíba e o baixo curso de seus abastecedores; e, por último, o baixo curso do São João e baixada litorânea (SAUNDERS, 2003).

O Alto curso é constituído pela Serra do Mar propriamente dita, com direção geral SW-NE, e pelos Maciços Litorâneos Cristalinos, que constituem escarpas abruptas, apresentando-se como pequenos blocos falhados, de perfil assimétrico, com frente energética voltada para o litoral, e um contraforte mais suave, voltado para o interior (Figura 3 e 4).

O Médio curso representa as baixas colinas cristalinas, profundamente dissecadas pelos vales dos rios e pelos pedimentos possivelmente elaborados no pleistoceno, sob influência da primeira glaciação, quando a região estaria sob influência de um período muito seco (SANT'ANNA, 1975). É nesta região que se encontra as nascentes dos abastecedores da Represa de Juturnaíba e os divisores das águas das bacias do São João e Una. Segundo SAUNDERS (2003), esta região apresenta: devações, morros e colinas, cuja altitude não passa de 210 metros de altitude, o perfil é arredondado, sendo comum a forma de “meia laranja”; baixadas aluvionares, anteriormente encharcáveis na época das chuvas, sendo recortadas por rios e riachos (Figura 3 e 4).

O Baixo curso caracteriza-se por ser uma região com três tipos geomorfológicos distintos: relevo com colinas baixas e arredondadas, esculpidas sobre rochas gnáissicas do Pré-Cambriano, onde as altitudes variam entre 10m e 100m; restingas e planícies aluvionares dos Rios São João e Una, das Ostras e os principais afluentes dos mesmos; e, por fim, tem-se o Morro São João, que tem sua base no nível das restingas e planícies aluvionares, atingindo altitude máxima de 806 m. Trata-se de uma região caracterizada pela presença de terras baixas, mal consolidadas e de drenagem difícil e desorganizada.

A vasta planície costeira, denominada de baixada litorânea, que ocupa cerca de 1/3 de toda a bacia, sofre uma interrupção abrupta dando lugar às escarpas da Serra do Mar (Figura 3 e 4), que neste seu trecho chega a altitudes de 1719m, na Pedra do Faraó, no divisor NW da bacia.

**Quadro 1:** Relevo na bacia hidrográfica do Rio São João

<i>Código</i>	<i>Tipo de relevo</i>	<i>Bacia %</i>
1	Serras	21
2	Planalto	13
3	Colinas	32
4	Baixadas	30
5	Restinga	4
	Total	100

Fonte: BIDEGAIN & VOLCKER (2003)



**Figura 3:** Relevo da bacia hidrográfica do rio São João, variando entre planícies, colinas e escarpas abruptas. Ao fundo, como divisor norte da bacia, a Serra do Mar.

O gradiente abrupto de altitude entre a planície de inundação e a Serra do Mar - a maior parte da área da bacia está abaixo dos 300m a.n.m (Figura 5) - influencia decisivamente o regime de chuvas na região de cabeceira da bacia do rio São João (2000 a 2500mm), diante do efeito orográfico que ocorre na região, conforme descrito anteriormente (Figura 6). Por outro lado, essa isoietas é bem diferente daquela encontrada na foz do rio São João (<1500mm anuais). Próximo de suas foz, está a região de Cabo Frio e Arraial do Cabo, regiões onde outro fenômeno influencia decisivamente índices pluviométricos, desta vez para baixo, a ressurgência marítima<sup>1</sup> (BIDEGAIN e VOLCKER, 2003). Ou seja, em uma mesma região, ainda que não na mesma bacia hidrográfica, mas bem próximo disso, há dois fenômenos que conformam de maneira antagônica a oferta de atributos ambientais.

Dessa forma, as precipitações aumentam na bacia proporcionalmente à altitude e à distância do litoral, contudo há planícies fluviais situadas nas faldas da Serra do Mar (Figura 4) que também recebem essa influência de alta precipitação pluviométrica, e chega a apresentar 2.500mm anuais, o que aponta a importância de um outro fator a ser levado em consideração, conforme destaca CUNHA (1995), a localização do setor na paisagem.

Portanto, os totais anuais de chuva e a sua distribuição variam em função da ação combinada das mudanças das massas de ar que pairam sobre a região, sobretudo, as correntes perturbadas, estando associado às diversificadas características do meio físico, em especial o relevo. Assim, a topografia diferenciada confere a cada compartimento altimétrico e de relevo uma certa especificidade quanto ao regime de precipitações (CUNHA, 1995).

Segundo esta mesma autora a região da bacia apresenta temperaturas médias anuais em torno de 18 a 24°C e elevada umidade relativa, média de 70%, diante da intensa evaporação



marítima. Durante o verão predomina a massa de ar Continental Equatorial, enquanto no resto do ano prevalece a massa de ar tropical Atlântica, sendo as frentes frias (polares atlântica) constantes na região, em especial durante a primavera.

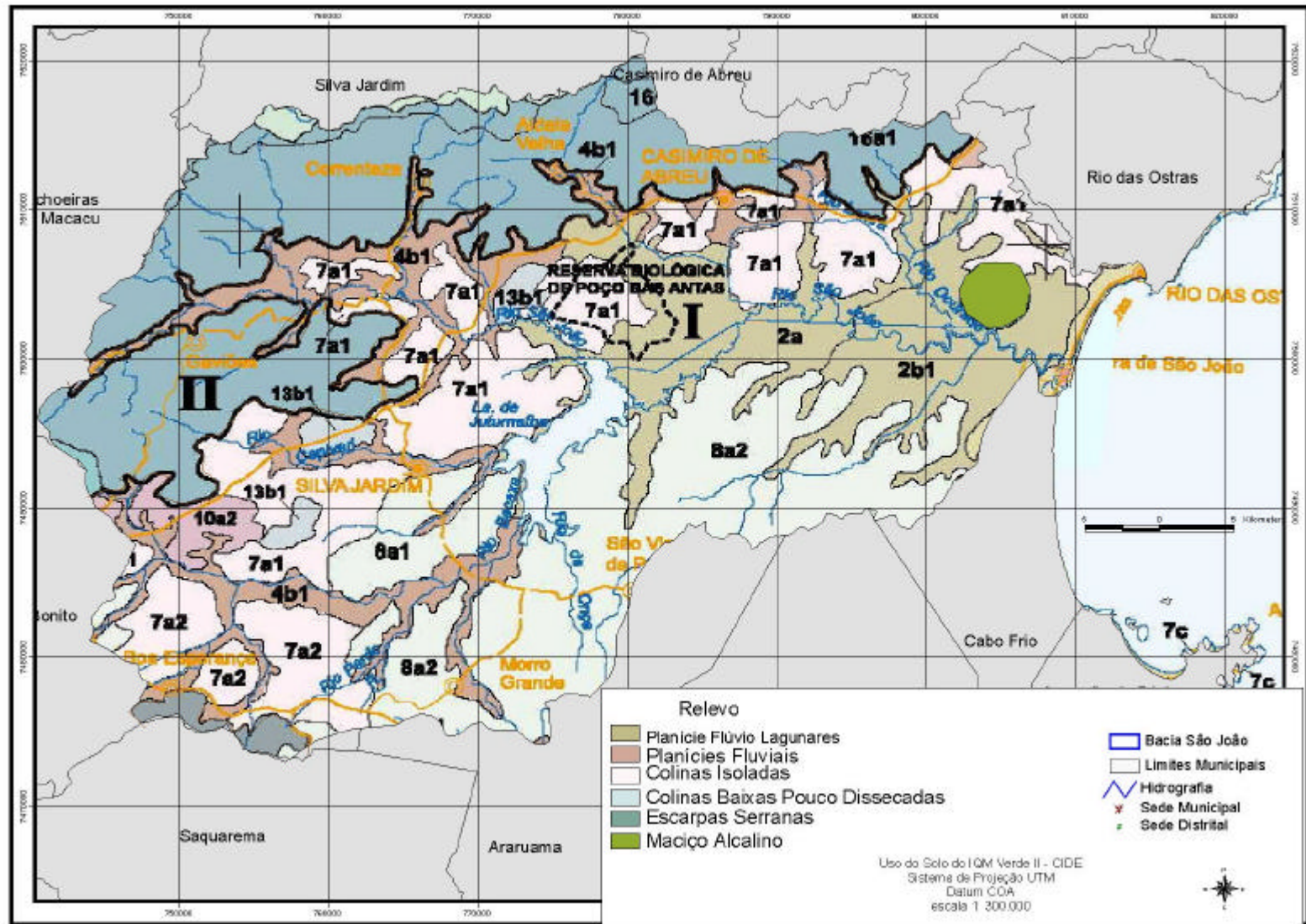
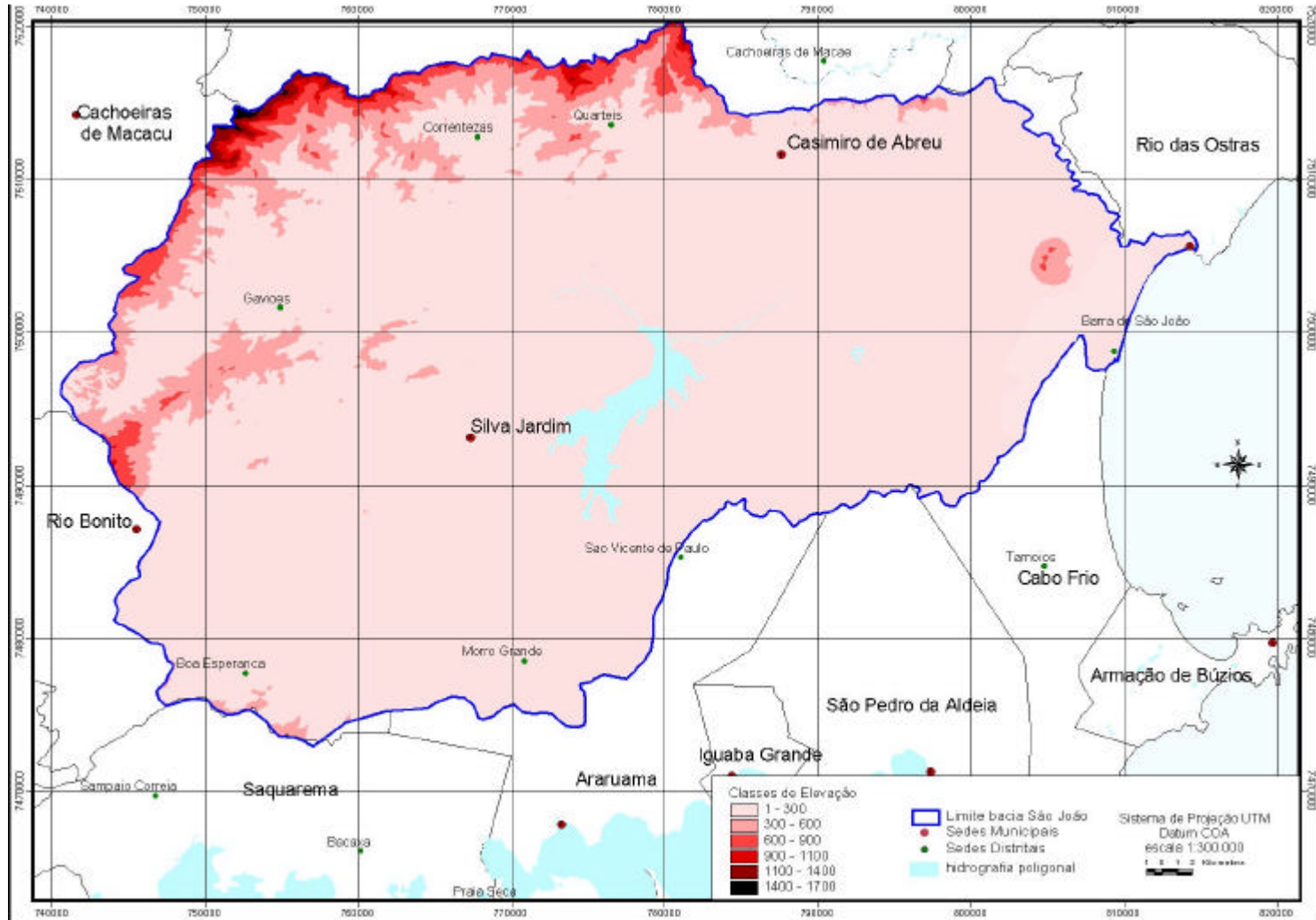
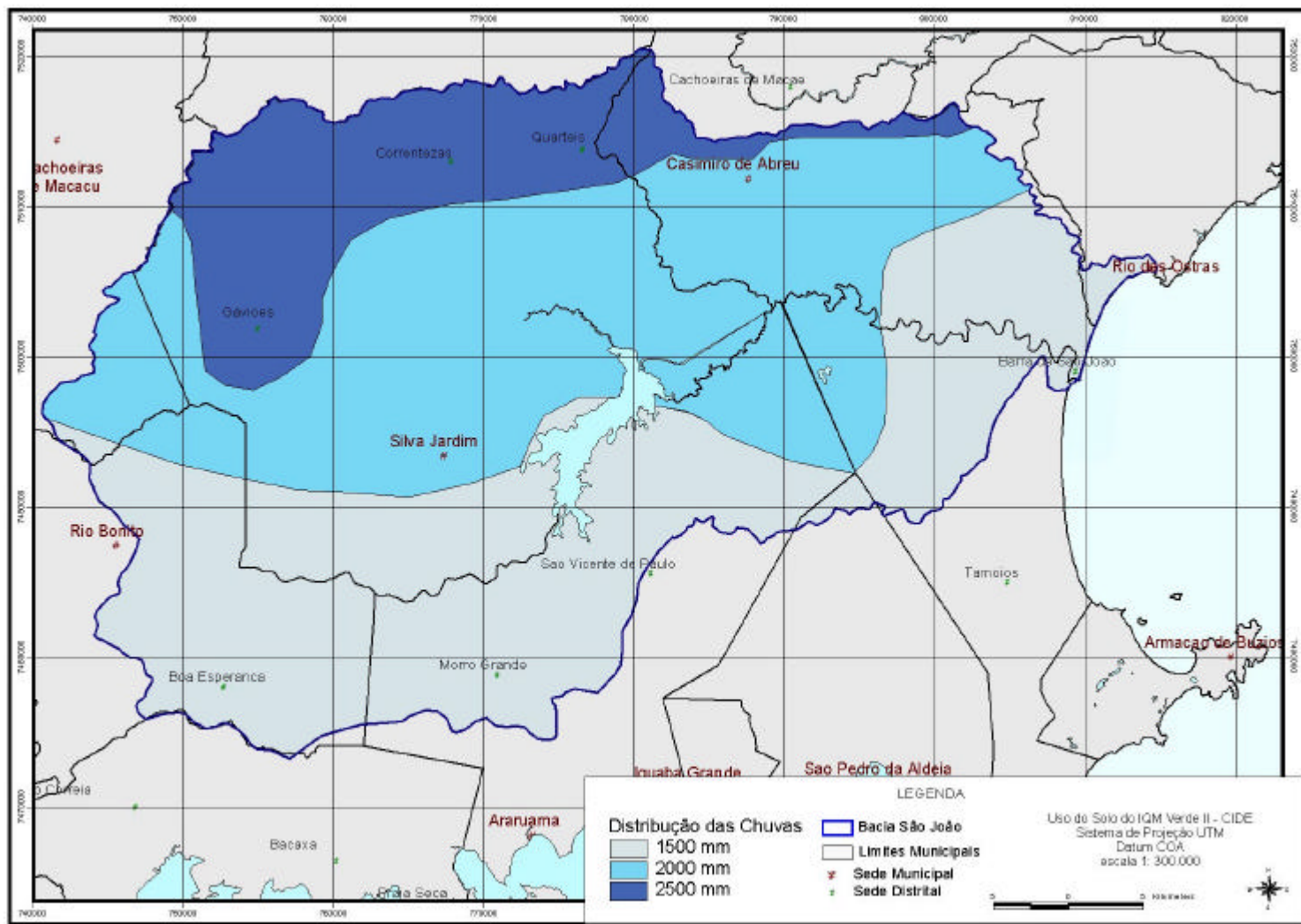


Figura 4: Relevo da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro. Fonte: adaptação do IQM Verde, Fundação CIDE (2001).



**Figura 5:** Modelo de elevação do terreno da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro.



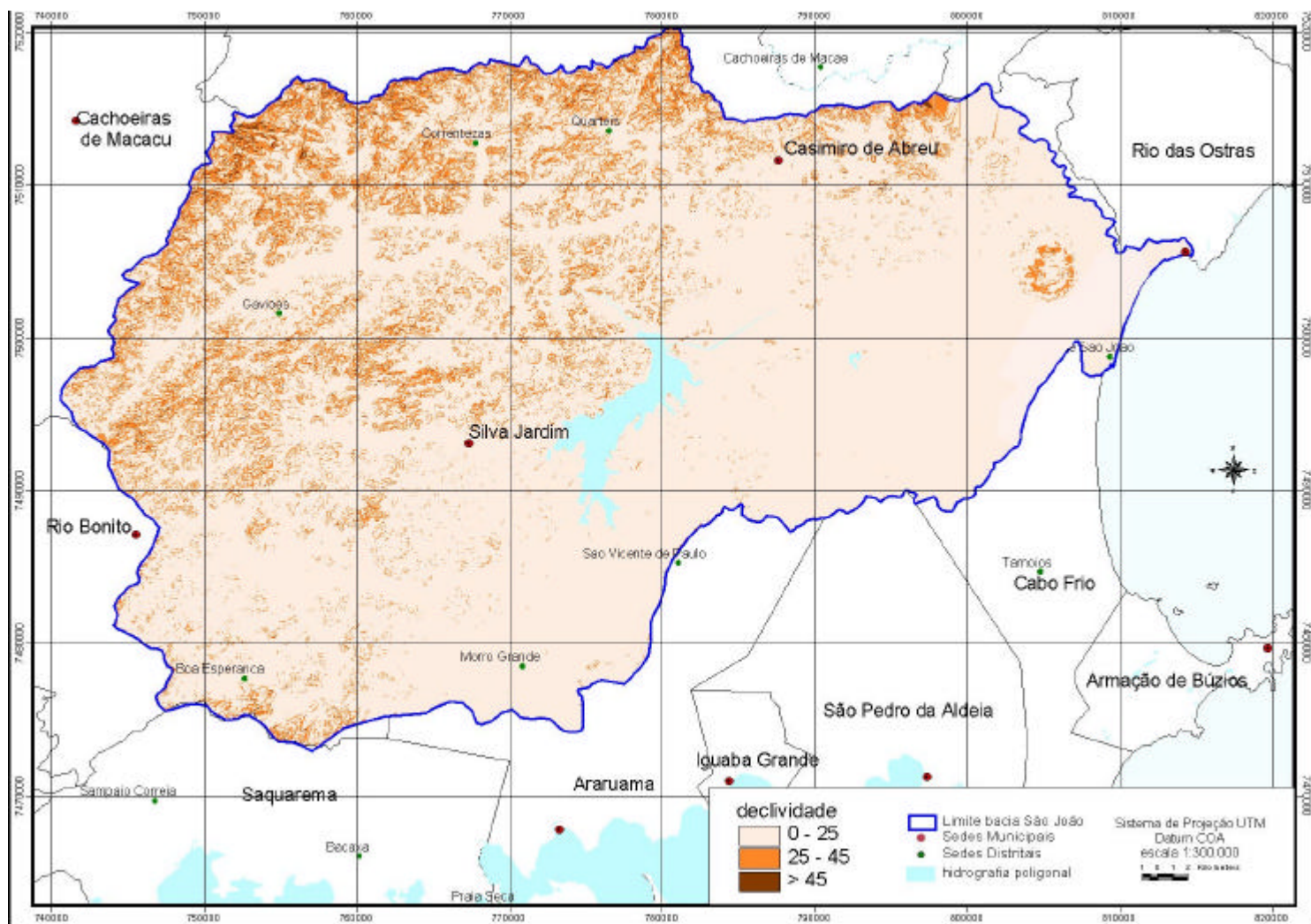
**Figura 6:** Regime de precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio São João, apresentado em forma de isoietas. Fonte: BIDEGAIN & VOLCKER (2003), adaptação.

No que se refere a declividade da bacia, a maior parte de sua área se encontra sob condições de 0 a 25° (Figura 7), sobretudo, pela presença marcante da vasta planície de inundação. Contudo, com o distanciamento do litoral, para o Norte, a presença abrupta da Serra do Mar e outras serras adjacentes confere maiores declividades ao terreno, passando a predominar a condição de 25-45° e áreas com mais de 45° de declividade. A declividade mais acentuada no extremo sudoeste da bacia se deve a presença de uma serra na região, contudo, de altitude menor que aquelas situadas ao Norte da bacia.

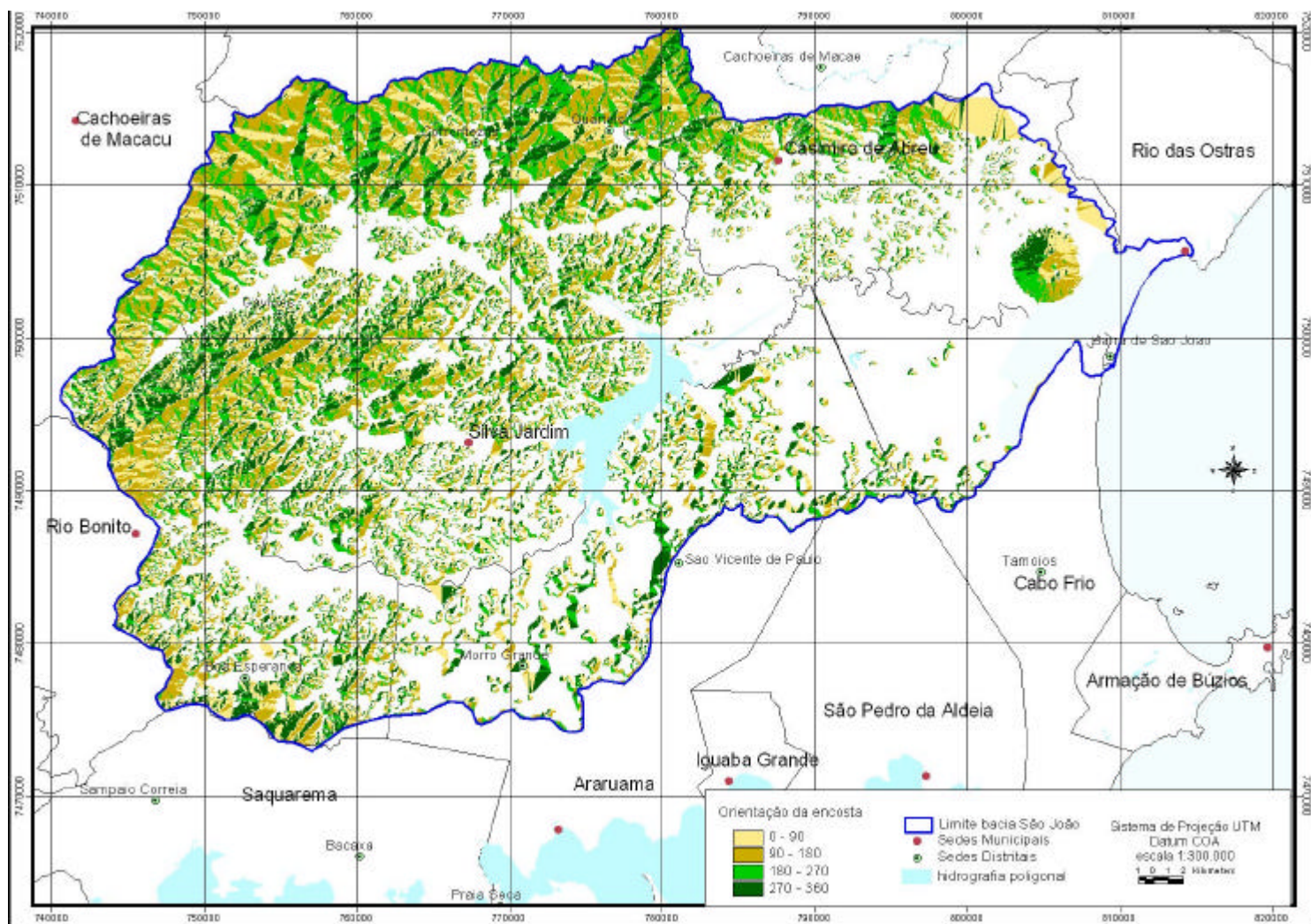
Todavia, CALDAS (2006) destaca que isso pode ser uma subestimação produzida pela escala de trabalho (neste estudo, 1:300.000), pois os trechos com esta declividade podem ser pequenos para sua representação no mapa, ainda que existam em certa quantidade. Em função da projeção horizontal de qualquer mapa, áreas com 45° de declividade ficam reduzidas em 1/3 e aquelas com declividade maior, sofrem maior redução ainda, o que aliado ao fato de não possuírem grande superfície contínua, faz com que não sejam representadas na referida escala.

Em relação a orientação das encostas (Figura 8), é possível perceber que na bacia do São João existe a predominância de dois ângulos: áreas com orientação sudoeste (180-270°), condição ideal para interceptação das massas de ar úmido de frente fria oriundas do Oceano Atlântico; e áreas com orientação Nordeste (90 a 180°). As encostas com orientação SW, diante dos efeitos da orografia, como já abordado anteriormente, contribui para a diferenciação dos ecossistemas quanto a sua vocação hidrológica, se comparado a encostas com outras orientações.





**Figura 7:** Modelo de declividade do terreno da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro.



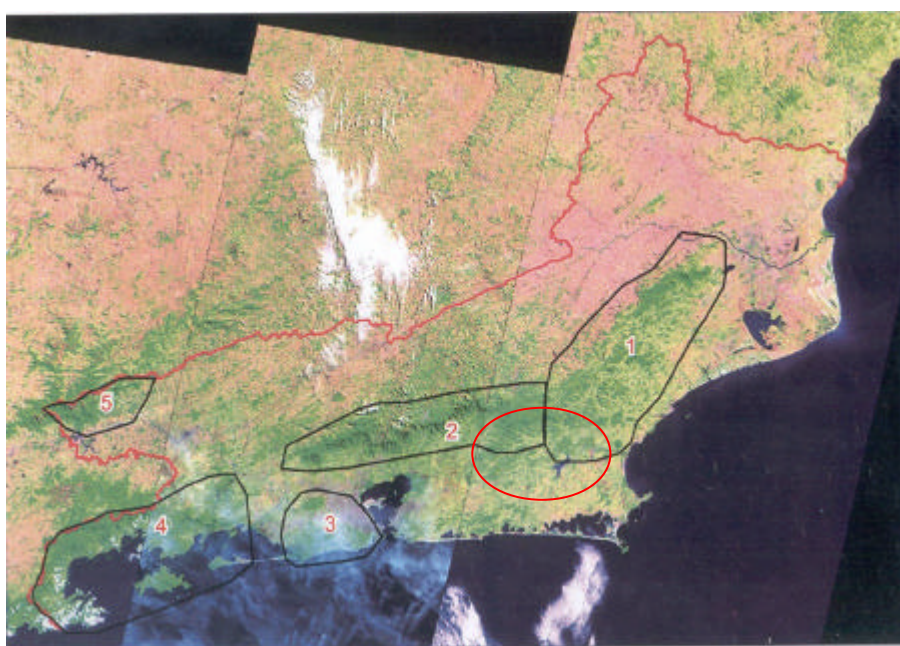
**Figura 8:** Orientação de encostas da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro.



### 3.3 Oferta de atributos ambientais biológicos na bacia do rio São João

A cobertura vegetal da bacia é constituída por. Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (cotas de 5 a 50m de altitude), Floresta Ombrófila Densa Sub-Montana (cotas de 50 a 500 m), Floresta Ombrófila Densa Montana (cotas de 500 a 1200m) e Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (cotas de 1200 a 1400 m). Acima de 1400 metros, na cumeada das montanhas, situam-se os Refúgios Ecológicos. Além disso, existem outras fisionomias, tais como brejos, campos inundados, pastagens e restingas (BIDEGAIN e VOLCKER, 2003).

O terço superior da bacia, segundo a classificação de ROCHA *et al.* (2003), situa-se no limite de dois Grandes Blocos Florestais Remanescentes (Figura 9): Região Serrana Central (Bloco 2), a noroeste, e Região Norte Fluminense (Bloco 1), ao norte. Trata-se de uma região de baixa utilização e de continua remanescente florestal, sobretudo, pela topografia acidentada, o que permitiu a manutenção de um avançado estágio de sucessão ecológica até o momento, propiciando o ajuste evolutivo do ecossistema (Figura 9).

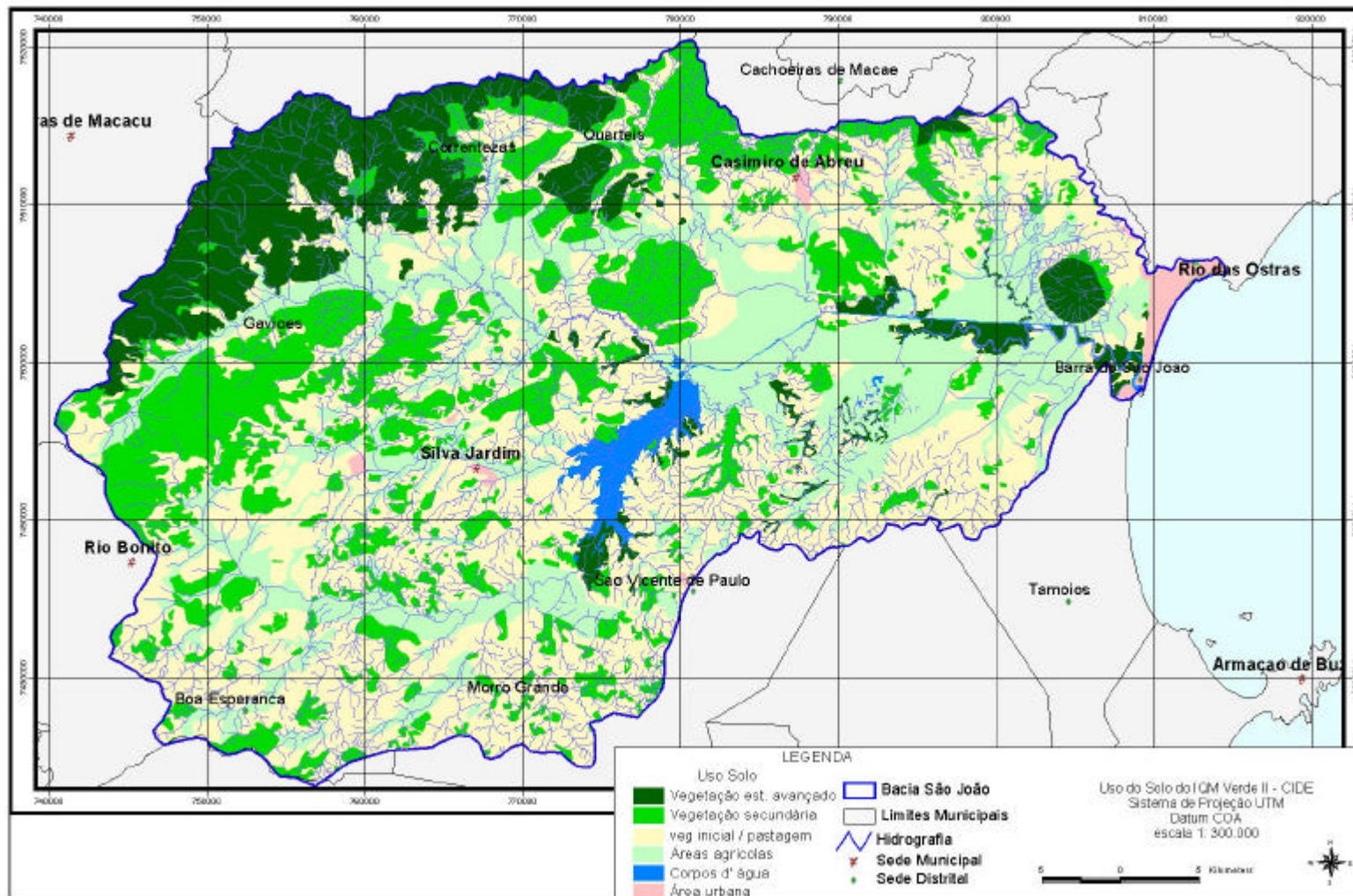


**Figura 9:** Blocos florestais remanescentes no Estado do Rio de Janeiro, com a localização aproximada (em vermelho) da bacia do rio São João. Fonte: ROCHA *et al.* (2003)



No terço inferior e médio da bacia, a cobertura florestal, outrora Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, já sofreu alterações a ponto de atualmente serem classificadas como em estágio secundário de sucessão e até mesmo inicial, ou ainda, pastagem e área agrícola. Notadamente, existe a predominância de áreas sob estas últimas condições, sendo as áreas agrícolas localizadas nas planícies fluviais e flúvio lagunares e a vegetação secundária localizada, sobretudo, em colinas do tipo “meia laranja” e em alguns trechos de serra com altitudes inferiores a Serra do Mar, na margem direita do rio São João, no sudoeste da bacia e ao norte/nordeste da mesma (Figura 10).

Além disso, as sucessivas obras de drenagem e retificação de rios proporcionaram a perda de muitos brejos que contribuía para a manutenção dos processos hidrológicos locais.



**Figura 10:** Orientação de encostas da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro.

### **3.4 Transformações antrópicas na oferta de atributos ambientais**

O uso e ocupação do solo na bacia do Rio São João apontam situações diferenciadas daquelas encontradas nas demais áreas do estado, pois a mesma se encontra fora dos eixos urbano-industrial do Vale do Paraíba do Sul, do canavieiro de campos e do metropolitano do Rio de Janeiro, possuindo uma estrutura fundiária bastante atípica, com propriedades que chegam a até 5.000 hectares (BARROS, 2005). Mas, por outro lado, atualmente a bacia contempla usos que são, em alguns casos, conflitantes, tais como: o abastecimento público para os municípios de Rio Bonito (parcialmente), Silva Jardim, Casimiro de Abreu, Araruama, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio, Armação de Búzios, Iguaba Grande, Arraial do Cabo e Saquarema, através da Represa de Juturnaíba, ou seja, para toda a Costa do Sol do Rio de Janeiro; a irrigação para as lavouras de inhame, cítricos, arroz, cana-de-açúcar a jusante da represa; o uso industrial no terço inferior da bacia; a extração de areia no terço superior, sendo a atividade mais antiga da bacia; a dessedentação de animais domésticos; as pescas profissional, esportiva e de lazer; a maricultura; e a navegação, principalmente no baixo curso do Rio São João (BIDEGAIN, e VOLCKER, 2003).

Entretanto, segundo SEMADS (2001), a principal transformação na bacia se deu a partir de uma série de grandes obras iniciadas na década de 80, quando a mesma foi alvo do Programa Especial para o Norte Fluminense, do Ministério do Interior, através do qual foram realizadas uma série de obras hidráulicas de retificação do rio pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento - DNOS. Nas áreas marginais foram construídas valas de drenagem e grandes canais que secaram as planícies inundadas. Além disso, foi construída a represa de Juturnaíba (30,6 km<sup>2</sup>), sobrepondo uma lagoa homônima (8 km<sup>2</sup>), onde ainda deságuam os três principais rios da bacia: São João, Bacaxá e Capivari. Tal represa foi construída para possibilitar o abastecimento público e a irrigação nas áreas planas que foram drenadas, sendo este último objetivo nunca alcançado.

Os problemas gerados por isso são reconhecidos pela sociedade e as obras/intervenções existentes são evidências de que eles foram priorizados no passado e ainda guardam sintomas no presente: exígua produção agrícola e baixo desenvolvimento regional, mesmo estando muito próximo a cidade do Rio de Janeiro.

Com essas intervenções desajustou-se a planície de inundação das bacias, local onde hidrológicamente se verifica a laminação das cheias e onde se processa os mecanismos de troca de água dos rios, de modo que nos períodos de cheias a água inunda estas planícies, satura os solos, recarga dos lençóis freáticos acumulando água para liberá-la nos períodos de estiagem, onde os mecanismos são invertidos, fazendo com que parte da reposição das vazões sejam de contribuição destas áreas.

### **3.5 Definição de áreas tipo segundo a vocação hidrológica**

A definição de áreas tipo está relacionada as condições ambientais aos quais está submetido um determinado setor da paisagem, tais como estágio de sucessão ecológica do ecossistema (ajuste evolutivo) e nível de fragmentação, regime de chuvas (isoietas), orientação das encostas e topografia. Naturalmente, a espacialização dessas áreas foi concebida à luz da escala em que as informações foram trabalhadas, qual seja, 1:300.000.

As áreas tipo foram interpretadas como micro-regiões teoricamente com vocação hidrológica similar, isto é, capacidade de desempenho de serviços ambientais hidrológicos apresentando similaridade tal que poderia ser agrupados em unidades homogêneas, uma sistematização que tem potencial para contribuir para a tomada de decisão pelos possíveis gestores de programas de pagamentos por serviços ambientais, em ações de reconhecimento econômico por prioridades, principalmente diante dos recursos existentes para ações de conservação da biodiversidade.

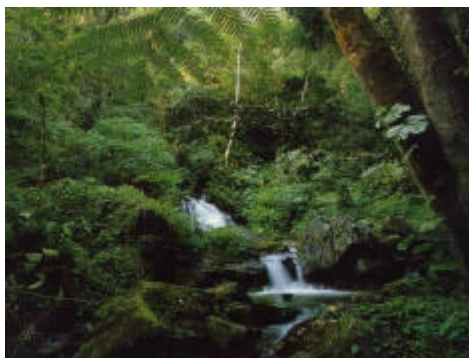
A magnitude do desempenho dos serviços ambientais hidrológicos está intrinsecamente relacionado à integridade dos ecossistemas, sendo então essa leitura a inicial para se chegar a definição das áreas tipo na bacia hidrográfica do rio São João.

Ocorre que os ecossistemas ajustados evolutivamente possuem melhor capacidade para assimilar a oferta de atributos ambientais disponível, como é o caso da precipitação pluviométrica, que na bacia em questão é potencializada pela presença da Serra do Mar. Esse cenário ambiental, notadamente, como já abordado anteriormente, incrementa as vazões dos rios que drenam suas escarpas, haja vista a afirmativa de BIDEGAIN & VOLCHER (2003), que destacam o fato dos rios a margem esquerda do rio São João, que drenam as escarpas da Serra do Mar, serem aqueles de maiores vazões, e os resultados encontrados por BARBOZA (2004), que encontrou resultados que ajudam a esclarecer a entrada de água nos ecossistemas locais por meio

da interceptação vertical de massas de ar úmido, gerando o evento da “chuva oculta” (chove dentro da floresta sem haver precipitação pluviométrica).

Em uma situação antagônica, caso não houvesse a presença da tipologia florestal nessas escarpas, e sim encostas sem vegetação, com solo exposto e compactado pela presença de gado e impacto das gotas das chuvas, não só essa oferta de atributo ambiental seria desperdiçada mas também haveria um grande aporte de sedimentos sendo canalizados para os canais de drenagem através da gravidade. Ou seja, uma condição de ajuste do ecossistema (desempenho de serviços ambientais) seria substituída por uma de desajuste (desserviços ambientais).

Com a presença do ecossistema florestal nas encostas íngremes, a capacidade de administração hidrológica local é potencializada, de forma que a elevada precipitação pluviométrica é disponibilizada lenta e gradualmente para a recarga dos aquíferos, demandas do ecossistema e, ainda, para a sociedade a jusante.



**Fotos 1 e 2:** exemplo de condições ambientais opostas de ajuste (desempenho de serviços ambientais) e desajuste do ecossistema (desserviços ambientais) e suas conseqüência sobre o provimento de serviços ambientais hidrológicos.

Em uma condição de integridade do ecossistema (Foto 1) o elemento água contribui para seu ajuste evolutivo, funcionando como um agente de construção do mesmo, todavia, em uma situação oposta (Foto 2), a água para a depor contra a esse processo, gerando distúrbios variados que prejudicam a resiliência de ecossistemas, tais como sulcos, ravinas, voçorocas, deslizamentos; que são consideradas fontes pontuais de produção de sedimentos, que por sua vez são carreados para a calha dos rios e reservatórios, provocando assoreamento dos mesmos, diminuição da vida útil desses últimos, que, diante do aumento do custo operacional, acabam sendo repassados ao consumidor esses passivos ambientais.

As bacias hidrográficas cobertas por vegetação florestal pouco alterada são consideradas mananciais de água de elevada qualidade para os vários usos, pois a cobertura florestal promove a proteção contra a erosão dos solos, sedimentação, aquecimento excessivo da água e a lixiviação de elementos químicos, além da regularização do regime de vazão dos rios (ARCOVA & CICCIO, 1997).

Com o problema decorrente da deteriorização ambiental, aumento da demanda de água nas cidades, e ao seu mau uso, fica evidente nossa dependência das condições naturais para um grande número de serviços ambientais que, refletindo no funcionamento dos ecossistemas, permitem a sustentabilidade das atividades humanas. Estes serviços, que incluem a proteção de terra, controle de pestes e a provisão de água limpa, entre outros, compõem uma extensão significativa do que os ecossistemas naturais e semi-naturais nos provêm, e que no passado apresentavam pequeno ou nenhum significado econômico. Atualmente esse quadro tem sido mudado para o reconhecimento das implicações importantes para sua conservação (EDWARDS & ABIVARDI, 1998).

A manutenção dos serviços ambientais depende do fortalecimento dos ecossistemas, isto é, de sua integridade ecológica, que é extremamente dependente das reticuladas interações que ocorrem entre seus componentes.

De acordo com ODUM (1972), a aplicação de procedimentos de análise de sistemas em ecologia ficou conhecida como "ecologia de sistemas". A pesquisa de ecossistema trata da interação entre os organismos e o ambiente num nível acima do indivíduo. Por exemplo, os nutrientes e a produtividade de florestas são modelados e medidos em hectares e grupos de espécies são vistos como produtores, consumidores ou decompositores (HUSTON *et. al.*, 1988).

Este enfoque tem como linha principal de estudo o ciclo de nutrientes, as cadeias alimentares e o fluxo de energia entre os organismos, ou seja, o estudo do aspecto funcional do ecossistema.

ODUM (1988) destaca a riqueza das redes de informação dos ecossistemas, que compreendem fluxos de comunicação físicos e químicos interligando todas as partes e governando ou regulando o sistema como um todo. Suas funções de controle são internas ou difusas, ao contrário das funções externas e especificadas dos mecanismos elaborados pelo homem. A redundância – mais de uma espécie ou componente tendo a capacidade de realizar

uma dada função – também aumenta a estabilidade. O grau de estabilidade pode variar, dependendo do rigor do ambiente externo além da eficiência dos controles internos.

O estudo do fluxo de energia dentro de um sistema é a "ecologia energética". Nesta linha, PHILLIPSON (1977) define o estudo da ecologia como o estudo das inter-relações dentro de ecossistemas.

Para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas, necessita-se da fundamentação teórica sobre a teoria dos fluxos energéticos dentro de sistemas, sejam eles naturais ou antrópicos (PHILLIPSON, 1997). ODUM (1988) evidencia a riqueza das redes de informação dos ecossistemas, que compreendem fluxos de comunicação físicos e químicos interligando todas as partes e governando ou regulando o sistema como um todo. Suas funções de controle são internas ou difusas, ao contrário das funções externas e especificadas dos mecanismos elaborados pelo homem. A redundância – mais de uma espécie ou componente tendo a capacidade de realizar uma dada função – também aumenta a estabilidade. O grau de estabilidade pode variar, dependendo do rigor do ambiente externo além da eficiência dos controles internos.

O ecossistema é um sistema não teleológico com regulação sub-sistêmica difusa, que como em qualquer outro sistema, depende da retroalimentação (feedback) (ODUM, 1988). A retroalimentação ocorre quando uma parte da saída volta para o sistema de entrada (Figura 1).

A retroalimentação positiva acelera os desvios, sendo necessária para o crescimento e sobrevivência dos organismos. Contudo, para conseguir o controle, deve haver também a retroalimentação negativa, ou entrada suprimidora de desvios. As inter-relações dos ciclos de materiais e dos fluxos de energia, junto com as retroalimentações dos subsistemas em grande ecossistemas, geram *homeostase* autocorretiva, que não precisa de controle e pontos de ajustes externos (ODUM, 1988). Este mesmo autor define estes mecanismos homeostáticos apresentando limites além dos quais uma retroalimentação positiva irrestrita leva à morte (Figura 11). À medida que aumenta a perturbação, o sistema embora controlado, pode não ser capaz de voltar a exatamente o mesmo nível de antes. Com isso os ecossistemas possuem mais de um estado de equilíbrio e voltam frequentemente a um estado diferente após uma perturbação (Figura 2).



**Figura 11:** Gráfico demonstrativo da Resistência x Elasticidade

Os ecossistemas novos ou recém alterados tendem a oscilar mais violentamente e são mais propensos a um crescimento excessivo, comparados com sistemas maduros nos quais os componentes tiveram a oportunidade de se ajustar um ao outro (ODUM, 1988). O mesmo autor define que dentro de uma perspectiva ecológica, dois tipos de estabilidade podem ser contrastados, a estabilidade de resistência que indica a capacidade de um ecossistema de resistir a perturbações e de manter intacta a sua estrutura e o seu funcionamento, e a estabilidade de elasticidade que indica a capacidade de se recuperar quando o sistema é desequilibrado por uma perturbação. As duas formas podem estar inversamente relacionadas:

$$E = \frac{1}{R} \tag{01}$$

onde:

E = Elasticidade

R = Resistência

Utilizando-se das estabilidades de resistência e de elasticidade defini-se o conceito de resiliência (ODUM, 1988), ou como definida por OTTONI NETTO (1993) inércia ambiental. A resiliência ou inércia ambiental seria a capacidade que o ambiente possui de se recuperar após uma perturbação, voltando a um equilíbrio homeostático, ou seja, ela está em função da



estabilidade adquirida pelo ecossistema. Quanto menos resiliente, mais frágil é o ecossistema e mais sujeito à degradação.

Nesse contexto, é possível afirmar que o oposto, ou seja, quanto mais forte o ecossistema, menos sujeito a processos de degradação e maior a sua resiliência, é baluarte para uma condição de desempenho de serviços ambientais. Essa abordagem aplicada ao cenário ambiental da bacia hidrográfica do rio São João permite realizar leituras ambientais que possibilitem identificar, descrever e espacializar os serviços ambientais desempenhados pela mesma.

No terço superior da bacia do rio São João, onde existe um sinergismo de atributos ambientais físico e biológicos presentes, conforme apresentado pelos mapas temático anteriormente, qual seja, presença de um grande e contínua extensão de remanescente florestal em avançado estágio de sucessão ecológica, uma elevada altitude, elevados índices pluviométricos e a declividade acentuada, aponta para a fortaleza dos ecossistemas locais e conformação de uma área tipo de alta vocação hidrológica.

Na região localizam-se ainda as microbacias de cabeceira da bacia hidrográfica do rio São João como um todo, que são pequenas áreas de terras localizadas em áreas montanhosas que formam nascentes e drenam córregos e riachos, onde a água escoar em grande velocidade e com aspecto cristalino (ALVES, 2000). Essas microbacias são cruciais para a manutenção da perenidade dos recursos hídricos de grandes bacias hidrográficas, e, por isso, devem estar necessariamente na concepção de planos e programas de manejo de bacias (VALCARCEL, 1998), ainda que não existam dados precisos sobre a contribuição efetiva dessas áreas para a recarga de aquíferos (TOGNETTI *et al.*, 2003). Mas segundo CUNHA (1995), essa área apresenta regimes fluviais perenes com vazões altas no verão e baixas no inverno, o que as classifica como de regime tropical.

Desta forma, essa leitura ambiental permite classificar a área como prioritária para ações de pagamento por serviços ambientais hidrológicos, especificamente para fins de conservação legal dos remanescentes florestais da região, à luz da relação entre provedores a montante e beneficiários a jusante, classificando-a em área tipo 1, que abrange toda a margem esquerda do rio São João, a noroeste da bacia, em seu trecho da Serra do Mar, onde estão as microbacias de cabeceira (Tabela 1).

A área tipo 2 foi abrangida as demais serras que também protegem microbacias de cabeceira, contudo com características diferenciadas se comparado a área 1, como altitude e

declividade inferiores, florestas em estágio secundário de sucessão, mais ainda em baixo nível de fragmentação, e índices pluviométricos menores, que sugere uma vocação hidrológica de nível inferior. As áreas contempladas são a aquelas situadas na margem direita do rio São João que também tem sua vertente voltada para o oceano, a montante do rio Capivari, e o trecho da Serra situado ao norte/nordeste da bacia (Tabela 1).

A área tipo 3 contempla as microbacias de cabeceira do rio Bacaxá, no divisor topográfico a sudoeste da bacia, que possui características ambientais como alto índice de fragmentação, com predomínio de áreas em estágio inicial de sucessão ou com pastagens, ainda que apresente altitude expressiva. O regime de chuvas é inferior as áreas tipo 1 e 2.

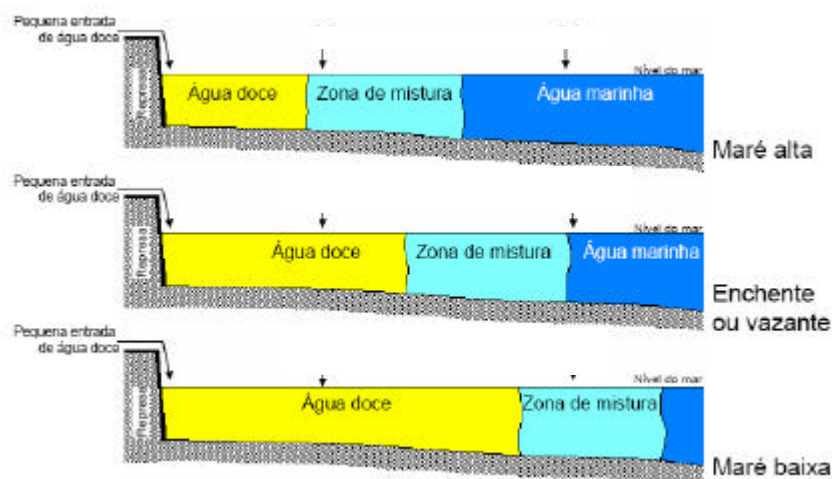
A área tipo 4 abrange as colinas “meia laranja”, tanto a montante quanto a jusante do reservatório de Juturnaíba. De maneira geral são áreas de baixa altitude e declividade acentuada, ora isoladas ora contíguas, em meio a planícies fluviais (a montante do reservatório) e flúvio lagunares (a jusante), em sua maioria recoberta apenas em seu terço superior com vegetação em estágio secundário e inicial de sucessão, mas algumas delas com predomínio de pastagens, sob regime de chuva que varia de 1.500 a 2.000mm anuais. Incluí-se nessa área o Morro de São João, que, embora apresente um mosaico de estádios de sucessão ecológica em suas florestas, está isolado pela planície flúvio lagunar.

A área tipo 5 representa a planície fluvial, situada sobretudo a montante do reservatório de Juturnaíba, acompanhando os principais rios da bacia do rio São João (rio São João, Capivari e Bacaxá). Em alguns casos essas áreas chegam até as faldas da Serra do Mar, e por isso recebem a influencia direta do regime de chuvas dessas áreas escarpadas, chegando até 2.500mm anuais. A cobertura florestal dessas áreas foi amplamente substituídas por atividades agropecuárias, sendo raros os remanescentes de matas ciliares.

A área tipo 6 abrange as planícies flúvio lagunares situadas a jusante do reservatório de Juturnaíba, acompanhando o rio São João até a sua Foz. Essas áreas estão submetidas a um regime de chuvas de 1.500 a 2.000 anuais. A cobertura florestal dessas áreas também foi amplamente substituídas por atividades agropecuárias, contudo, ainda existem alguns remanescentes de matas ciliares, inclusive em avançado estágio de sucessão ecológica.

Essas planícies estão sob a influencia da flutuação da maré e ao processo de salinização dos solos, conforme destaca BENIGNO *et al.* (2003), que analisa a penetração de água salgada no

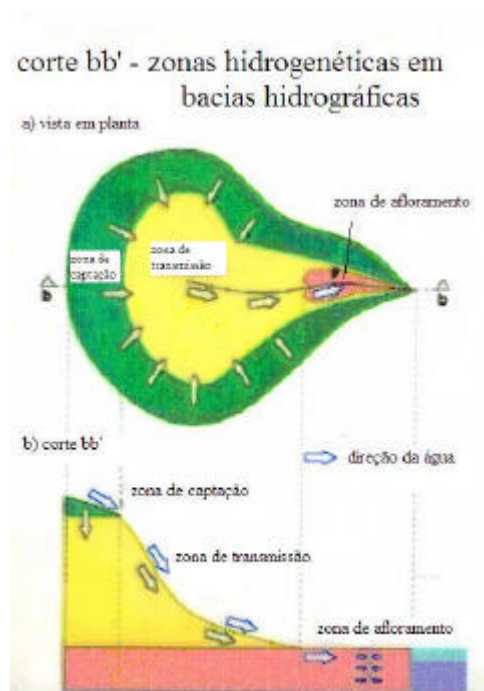
canal retificado como hipótese de principal responsável pela salinização do solo da região. Contudo, a conclusão do estudo aponta para o fato de que a penetração não é tão significativa (Figura 12). Os agentes responsáveis pelo aumento da concentração de sais do solo, segundo esses autores, pode ser devida a outros fatores, particularmente ao processo de dessecação das áreas de brejo, que eram muito freqüentes antes do processo de drenagem das planícies. O dessecação de áreas pantanosas tem causado também uma significativa acidificação do solo, diminuindo assim o potencial agrícola daquela região, sendo que a renaturalização do Rio São João não deve em princípio resolver o problema da salinização do solo, contudo caso as margens do leito renaturalizado voltem a se alagar periodicamente, é provável que esta área volte a apresentar solo mais fértil, rico em matéria orgânica e menos salino, viabilizando o cultivo de algumas espécies comerciais adaptadas àquele sistema.



**Figura 12:** Entrada da maré dentro da calha do rio São João até Represa de Juturnaíba (BENIGNO *et al.*, 2003 modificado).

Em uma análise sobre a função hidrológica de setores da paisagem de bacia hidrográficas, com intuito de elucidar melhor a dinâmica de desempenho de serviços ambientais que neles ocorrem, e assim contribuir para refinar a concepção de áreas prioritárias e dar suporte a esquemas de PSAH, é possível distinguir três zonas hidrogenéticas, segundo a abordagem de VALCARCEL (1988) e ALVES (2000), sobre zoneamento hidrogenético ou hidrodinâmico em bacias hidrográficas (Figura 13):

- i) **Zona de captação (ou recarga)** - apresenta solos profundos e permeáveis, localizados em áreas de relevo suave, onde a relação infiltração/escoamento é favorável a esta primeira variável, diante das condições de topografia, sobretudo; trata-se de áreas fundamentais para recarga de lençóis freáticos e devem ser mantidas sob vegetação nativa, pois caso contrário à função de abastecimento pode ser prejudicada pela impermeabilização decorrente da compactação dos solos pela mecanização agrícola e pisoteio do gado; o uso de agrotóxicos confere contaminação direta do lençol freático. Nas diferentes bacias hidrográficas podem ser constituídas pelos topos de morros e chapadas.
- ii) **Zona de transmissão (ou erosão):** região imediatamente abaixo das áreas de recarga, em vertentes com declividade acentuada e comprimentos de rampa com alta competência erosiva, principalmente se submetidas a usos impróprios. São áreas onde o escoamento superficial tende a predominar sobre o processo de infiltração e, por isso, as principais contribuintes para o carreamento de sedimentos para os cursos d'água e reservatórios, podendo causar assoreamentos e elevação da turbidez das águas superficiais. Nas mesmas é possível desenvolver atividades produtivas, todavia, com a adoção de medidas de conservação que favoreçam o processo de infiltração, como o seccionamento dos comprimentos de rampa através de faixas de vegetação e terraços.
- iii) **Zona de afloramento (ou sedimentação, várzeas):** são as planícies fluviais, de inundação, onde os processos de sedimentação por deposição ocorrem e onde o lençol freático está próximo à superfície, aflorando frequentemente. Essa última característica pode inviabilizar a instalação de infra-estruturas e residências, bem como a utilização agropecuária no período de chuvas, mas via de regra apresenta alta aptidão para o uso agropecuário e agricultura familiar.



**Figura 13:** Esquema ilustrativo demonstrando a concepção de zonas hidrográficas em bacias hidrográficas. FONTE: VALCARCEL (2006).

Reportando este zoneamento para a bacia hidrográfica do rio São João, têm-se os ecossistemas florestais situados nos cumes das Áreas Tipo 1, 2 e 3 como zona de captação, sendo que esta última apresenta escassos fragmentos de florestas, sugerindo desajustes dos ecossistemas locais e baixa capacidade de desempenho de serviços ambientais.

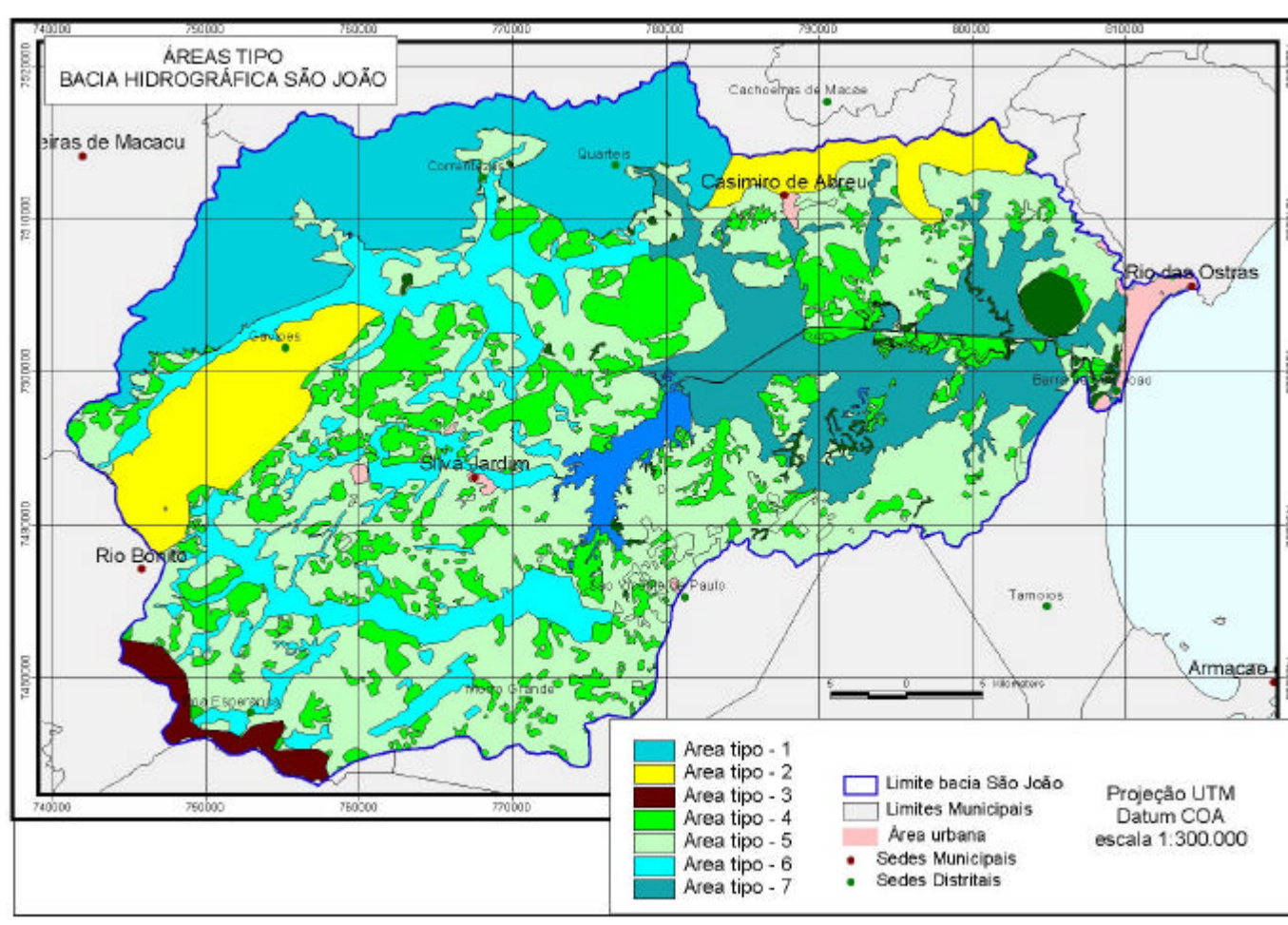
A zona de transmissão na bacia também se encontra nessas áreas, imediatamente abaixo da zona de captação, nas encostas, que em sua maior parte também estão protegidas por ecossistemas florestais em estágio avançado e intermediário de sucessão, novamente exceto a Área Tipo 3.

Na zona de afloramento enquadram-se as Áreas Tipo 5 e 6, amplamente descaracterizadas pelo uso e ocupação da área.

As florestas presentes tanto na zona de captação quanto na zona de transmissão participam decisivamente das primeiras etapas do ciclo hidrológico na bacia, por estarem nos limites da mesma (ALVES, 2000), e assim desempenham função estratégica na administração

hidrológica da precipitação pluviométrica e, ainda, da precipitação promovida por interceptação vertical das massas de ar úmido oriundas do oceano.

Todavia, é preciso salientar também que em uma macrobacia hidrográfica, como é o caso da bacia do São João, onde as planícies de inundação ocupam expressiva área, no caso tem-se 30% da área de baixadas, as quais enquadram-se como zona de afloramento, a vegetação também exerce papel estratégico. A grande extensão dessas planícies, de reduzido declive e sujeita a inundações, confere a mesma alta capacidade natural de armazenamento de água, o que as tornam propícias a inundações periódicas, diante da pequena profundidade do lençol freático (CUNHA, 1995). A manutenção do ajuste hidrológico desse setor da paisagem contribui para a mitigação de impactos causados por chuvas intensas, que podem rapidamente gerar enchentes. Com a retificação do rio São João em alguns trechos da bacia, os rios meandantes outrora presentes deram lugar a canais retilíneos que não mais promovem a quebra da energia cinética da água como promoviam, e com isso, aliado a uso impróprio do solo em setores a montante da bacia e a destruição das Florestas de Terras Baixas (Ombrófila Densa), o efeito regulatório da planície de inundação sobre as cheias foi drasticamente reduzido. Um exemplo prático desta afirmativa foi a recente perda de um trecho da BR 101 que corta tal planície durante um índice pluviométrico, gerando um grande transtorno local e desembolso aos cofres públicos.



**Figura 14:** Áreas Tipo segundo a similaridade de vocação hidrológica dos setores da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João, Rio de Janeiro

**Tabela 2:** Áreas tipo da Bacia Hidrográfica do Rio São João, segundo a vocação hidrológica

Áreas Tipo	Localização	Descrição dos serviços ambientais hidrológicos
<p>1. Relevo escarpado com regime de chuvas de 2.500mm anuais, remanescente florestal contínuo e estágio de sucessão avançado</p>	<p>Encostas com acentuado aclave situadas em microbacias das escarpas da Serra do Mar e que drenam suas águas para a margem esquerda do Rio São João.</p> <p>apresenta solos profundos e permeáveis, localizados em áreas de relevo suave, onde a relação infiltração/escoamento é favorável a esta primeira variável, diante das condições de topografia, sobretudo; trata-se de áreas fundamentais para recarga de lençóis freáticos e devem ser mantidas sob vegetação nativa, pois caso contrário à função de abastecimento pode ser prejudicada pela impermeabilização decorrente da compactação dos solos pela mecanização agrícola e pisoteio do gado; o uso de agrotóxicos confere contaminação direta do lençol freático. Nas diferentes bacias hidrográficas podem ser constituídas pelos topos de morros e chapadas.</p>	<p>A elevada altitude desta Serra e sua exposição no sentido SW gera condições de oferta de atributos ambientais diferenciadas das demais da bacia, pois esse impedimento natural promove a ascensão das massas de ar úmido oriundas do oceano gerando elevadas precipitações (orografia). A presença do componente florestal também exerce influência neste fenômeno local, pois promove a interceptação vertical dessas massas e, por conseqüência, sua condensação sob o dossel florestal, gerando um incremento de umidade no local, através de chuva oculta. Nesta região apresenta-se como de maior vocação para desempenho de serviços ambientais hidrológicos, tanto pela sua produção de água (quantidade – vazões de rios expressivamente superiores aos demais trechos da bacia) como pela contenção de produção de sedimentos (qualidade da água), diante da competência erosiva do relevo local, minimizada pela proteção do solo e pela contínua presença de ecossistemas florestais em avançado estágio de sucessão (ajustados evolutivamente). Essas áreas (zona de captação e transmissão) têm como função hidrológica a captação, armazenamento e distribuição lenta e gradual de suas águas para setores a jusante da bacia, em quantidade e qualidade para os beneficiários (sociedade e</p>



	<p><b>Classificação:</b> extrema vocação hidrológica e prioridade para pagamentos por serviços ambientais</p>	<p>ecossistema), por isso uma alta prioridade de ações efetivas de conservação deve ser direcionada para as mesmas, assim como reconhecimento financeiro aos proprietários rurais que voluntariamente conservam áreas florestadas, sobretudo aqueles que já institucionalizaram suas iniciativas de conservação, através da averbação de Reserva Legal e RPPN. As propriedades com APP conservadas também devem ser reconhecidas.</p>
<p>2. Relevo montanhoso com regime de chuvas de 2.000 a 2.500mm anuais, remanescente florestal contínuo e estágio de sucessão secundário</p>	<p>Serras situadas a noroeste e nordeste da bacia, na margem direita do rio São João (Silva Jardim), que também tem sua vertente voltada para o oceano, a montante do rio Capivari e Bacaxá, e em Casimiro de Abreu, respectivamente.</p> <p><b>Classificação:</b> alta vocação hidrológica e prioridade para pagamentos por serviços ambientais</p>	<p>Os ecossistemas locais protegem as microbacias de cabeceira afluentes da margem direita do rio São João e, ainda, do rio Capivari, estando situados na zona de captação e transmissão, que têm como função hidrológica a captação, armazenamento e distribuição lenta e gradual de suas águas para setores a jusante da bacia, em quantidade e qualidade para os beneficiários (sociedade e ecossistema).</p>
<p>3. Relevo montanhoso com regime de chuvas de 1.500mm e remanescente florestal em estágio predominantemente inicial de sucessão e pastagens, com alto grau de fragmentação florestal</p>	<p>Região do divisor sudeste da bacia, última região montanhosa (zona de captação e transmissão), local onde se situam as microbacias de cabeceira afluentes da margem direita do rio Bacaxá</p> <p><b>Classificação:</b> vocação hidrológica intermediária e prioridade para pagamentos por serviços ambientais</p>	<p>Não recebe influência do fenômeno de orografia pois está a vertente a sotavento, e com isso, aliado a proximidade do litoral tem-se índices pluviométricos inferiores, 1.500mm anuais. O outrora uso impróprio da região, aliado a proximidade atual de duas grandes rodovias (RJ 106 e Via Lagos) e núcleos urbanos, conferem elevado grau de fragmentação ao seu entorno, uma condição que sugere baixo desempenho de serviços ambientais hidrológicos pelos ecossistemas presentes no local.</p>

<p>4. Colinas com regime de chuvas de 2000 a 2500mm, em estágio secundário de sucessão e elevado grau de fragmentação florestal</p>	<p>Distribuídas por toda a bacia, sobretudo, a montante do reservatório de Juturnaíba</p> <p><b>Classificação:</b> vocação hidrológica intermediária e prioridade para pagamentos por serviços ambientais</p>	<p>Áreas de baixa altitude e declividade acentuada, ora isoladas ora contíguas, em meio a planícies fluviais (a montante do reservatório) e flúvio lagunares (a jusante), em sua maioria recoberta apenas em seu terço superior com vegetação em estágio secundário e inicial de sucessão, mas algumas delas com predomínio de pastagens, sob regime de chuva que varia de 1.500 a 2.000mm anuais. Inclui-se nessa área o Morro de São João, que, embora apresente um mosaico de estádios sucessional em suas florestas, está isolado pela planície flúvio lagunar. Nessas colinas surgem muitas nascentes que drenam suas águas para os três rios principais: São João, Capivari e Bacaxá. Contudo, muitas delas estão sob condições de perturbação ou degradação, diante dos sucessivos usos produtivos, sobretudo, pecuária, mas outras ainda possuem seus terços superiores conservados, contribuindo para captação, armazenamento e disponibilização da água precipitada para setores a jusante.</p>
<p>5. Colinas com regime de chuvas de 2000 a 2500mm, em estágio inicial de sucessão e/ou pastagens e elevado grau de fragmentação florestal</p>	<p>Região do divisor sudeste da bacia, última região montanhosa (zona de captação e transmissão), local onde se situam as microbacias de cabeceira afluentes da margem direita do rio Bacaxá</p> <p><b>Classificação:</b> baixa vocação hidrológica e prioridade para pagamentos por serviços ambientais</p>	<p>Mesmas características ambientais da Área Tipo 4, contudo, com ausência de cobertura florestal, que por sua vez deixa os solos expostos, susceptíveis ao desencadeamento de processos erosivos, tais como sulcos, ravinas, voçorocas e reptação (micro-deslizamentos); o pisoteio do gado e a prática do fogo agrava ainda mais as condições desses ecossistemas, tornando a resiliência e desempenho de serviços ambientais muito baixa.</p>

<p>6. Planícies fluviais com escassa cobertura florestal e regime de chuvas de 1.500 a 2500mm anuais</p>	<p>Ao longo dos principais rios: São João, Capivari e Bacaxá, a montante do reservatório de Juturnaíba</p> <p><b>Classificação:</b> baixo desempenho de serviços ambientais e prioridade para pagamentos por serviços ambientais</p>	<p>Local onde hidrológicamente se verifica a laminação das cheias e onde se processa os mecanismos de troca de água dos rios, de modo que nos períodos de cheias a água inunda estas planícies, satura os solos, recarga dos lençóis freáticos de modo a acumular água para liberá-la nos períodos de estiagem, onde os mecanismos são invertidos, fazendo com que parte da reposição das vazões sejam de contribuição destas áreas.</p> <p>Portanto, essas várzeas exercem importante papel hidrológico em bacias hidrográficas, diante de seu efeito regulatório sobre os recursos hídricos oriundos das encostas de captação e transmissão. Contudo, com a substituição da Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas por atividades produtivas, em destaque a pecuária, e, ainda, com as sucessivas obras de drenagens e retificação de rios, o lençol freático foi drasticamente rebaixado gerando reflexos no balanço hídrico local, sendo comum as cheias repentinas causadoras de distúrbios.</p>
<p>7. Planície flúvio lagunar com escassa cobertura florestal e regime de chuvas entre 1500mm e 2.000 anuais</p>	<p>Áreas situadas, sobretudo, a jusante do reservatório de Juturnaíba, até a foz do rio São João</p>	<p>Áreas próximas à foz da bacia, submetidas à influência da flutuação da maré e intrusão salina rio acima (cunha salina), fruto da alteração da dinâmica hidrológica da bacia, em específico o uso impróprio do solo da planície de inundação e obras de retificação realizadas no rio São João. A destruição das florestas de baixada e brejos potencializaram ainda mais esse processo. Nesta região, o regime de chuvas é expressivamente</p>

**Classificação:** baixo desempenho de serviços ambientais e prioridade para pagamentos por serviços ambientais

inferior aos encontrados a montante da bacia. A descaracterização da planície e seu regime hídrico associado conformam um quadro de baixo desempenho de serviços ambientais hidrológicos. Ações que se façam na região não poderão ser sentidas diretamente pela sociedade, pois a captação de água para seu abastecimento, por exemplo, acontece a montante.

#### 4. CONCLUSÃO

A resultados obtidos com a revisão bibliográfica corrobora a hipótese de que o desempenho de serviços ambientais está intrinsecamente associado à integridade dos ecossistemas, isto é, aos seus ajustes evolutivos, gerados pelas reticuladas relações dos elementos que o compõe e conseqüentes propriedades emergentes.

A partir dessa teoria, foram identificadas, descritas e espacializadas ao todo 6 áreas tipo segundo a vocação hidrológica dos diferentes setores da paisagem da bacia hidrográfica do rio São João.

A Área Tipo 1 e 2 foram interpretadas com de extrema e alta vocação hidrológica, isto é, maior capacidade de desempenhar serviços ambientais hidrológicos (recarga de aquíferos), à luz do sinergismo da oferta de atributos ambientais físicos (topografia e eventos climatológicos), biológicos (presença de grande e contínuo remanescente florestal) e antrópicos (baixa utilização) aos quais estão submetidas. Portanto, são áreas como de extrema prioridade para direcionamento de ações de conservação, sobretudo, para com a manutenção dos remanescentes florestais existentes, que por sua vez garantem e potencializam a perenidade do provimento de recursos hídricos para setores a jusante da bacia.

A Área Tipo 3 também poderia ser interpretada como de alta vocação hidrológica caso a cobertura florestal não fosse tão escassa, pois trata-se de uma área de elevada altitude e topografia acidentada, além de nela estarem localizadas algumas microbacias de cabeceira do rio Bacaxá, um dos principais abastecedores do reservatório de Juturnaíba. Apesar dessa interpretação de baixa vocação hidrológica e prioridade para ações no âmbito do pagamento por serviços ambientais, ações de incentivo a recuperação dos ecossistemas florestais locais devem ser colocadas em prática, a fim de potencializar a área como provedora água.

A condição ambiental da Área Tipo 4 foi interpretada com de vocação hidrológica intermediária (uma condição entre as Áreas Tipo anteriores e a subsequente), pois o isolamento das colinas em relação a vasta planície de inundação minimiza o efeito hidrológico dessas áreas em ações de manejo de bacias hidrográficas. Contudo, muitas nascentes surgem das colinas que ainda possuem remanescentes de florestas em seu terço superior, e, por isso, ações de manutenção desses pequenos fragmentos podem pelo menos manter esse provimento de água.

A Área Tipo 5 só não foi considerada semelhante a Área Tipo 4 pela ausência do componente florestal, o que por sua vez é decisivo para gerar reações opostas no desempenho de serviços ambientais, diante do desajuste do ecossistema. Com isso a sua classificação foi de baixa prioridade.

Por fim, as Áreas Tipo 6 e 7 também foram consideradas com de baixa vocação hidrológica, ainda que em grandes bacias sejam essas áreas de planície as principais responsáveis pelo balanço hídrico da bacia. O principal fator para essa interpretação está relacionado ao outrora uso e ocupação da região, que foi baseado em intervenções físicas de drenagem de áreas que naturalmente inundavam e retirada da cobertura vegetal. A reversão desse quadro é praticamente impossível, e, por isso, alocar ações de pagamento por serviços ambientais nessas áreas irá gerar reações de pouca expressão e retorno a sociedade, tamanha a área d bacia.

**CAPITULO II - SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS DESEMPENHADOS  
PELAS RESERVAS PARTICULARES DO PATRIMÔNIO NATURAL (RPPN) DA  
MATA ATLÂNTICA**

## RESUMO

As Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) são áreas privadas, legal, perpetua e voluntariamente gravadas em cartório por manifestação de seus proprietários, que objetivam conservar a diversidade biológica e seus serviços ambientais associados. Contudo, o potencial conservacionista destas Unidades de Conservação, como provedoras e mantenedoras de serviços ambientais ainda não foram institucionalmente identificados, mapeados e reconhecidos, o que dificulta o conhecimento e reconhecimento da sociedade quanto à importância e necessidade existencial dessas áreas. Na bacia hidrográfica do rio São João essas reservas protegem microbacias sob distintas condições e oferta de atributos ambientais, sendo necessário caracterizar as mesmas para entender a capacidade no desempenho de serviços ambientais hidrológicos. Nesse contexto, foram caracterizadas 11 microbacias protegidas, cada uma tendo 1 RPPN como instrumento legal de proteção, a partir de 13 variáveis (morfométricas, meio físico, biológico e antrópico, em macro e, sobretudo, micro-escala) que possibilitam fazer análises indiretas sobre a vocação hidrológica de setores da paisagem. Essas microbacias foram agrupadas, por Análise de Cluster, a partir dessa caracterização. Os resultados apontam que existem 2 grupos similares de microbacias, com o nível de homogeneidade posicionado a 90% (Linha Fenon) da distância euclidiana, onde o fator discriminante foi o tamanho das superfícies das microbacias. A conformação dessas áreas similares demonstra que as microbacias agrupam-se em 3 unidades de resposta hidrológica com capacidade diferenciada de desempenho de serviços ambientais com este caráter. Essa concepção tem potencial de ser utilizada em programas de monitoramento direto desses serviços, no âmbito de esquemas de pagamentos por serviços ambientais, pois os resultados encontrados no monitoramento hidrológico de uma microbacia de cada grupo poderão ser extrapolados para as demais, otimizando assim, tempo e recursos financeiros.

**Palavras chave:** Reservas Particulares do Patrimônio Natural, microbacias, serviços ambientais.



## ABSTRACT

Heritage Private Natural Reserves (RPPN) are deprived areas and are recorded, legally, perpetually and voluntarily at registry office by their proprietors manifestation, that aim at conserve the biological diversity and their services environmental associates. However, the conservationist potential of these Conservation Units, as suppliers and keepers of environmental services were not still identified, mapped and recognized institucionality, what become difficult the knowledge and recognition of the society to the importance and existential need of those areas. In the São João watershed, those reserves protect catchments under different condition and offer of environmental attributes, being necessary characterize the same ones to understand the capacity in the performance of hydrological environmental services. In that context, 11 protected watershed were characterized, each one having 1 RPPN as a legal instrument of protection, through 13 variables (morfometrical, physical, biological and anthropical characteristics, in macro and, above all, in micro scale) that make possible to do indirect analyses on the hydrological vocation of landscape sections. Those catchments were gruppued, for the Cluster Analysis, through that characterization. The results point that 2 similar groups of catchments exist, with the homogeneity level positioned to 90% (Fenon Line) of the Euclidian Distance, where the discriminating factor was the size of the catchments surfaces. The resignation of those similar areas demonstrates that catchments are grouped in 3 hydrological answer units, with differentiated capacity of performance of environmental services with this character. That conception has potential of being used in programs of direct monitoring of those services, in the range of outlines of payments for environmental services, because the results found in the hydrological monitoring of a catchment of each group can be extrapolated for the others, optimizing this way, time and financial resources.

**Key word:** Heritage Private Natural Reserves, catchment, environmental services.

## 1 INTRODUÇÃO

As Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) são áreas privadas, legalmente constituídas e gravada com perpetuidade em cartório, por manifestação voluntária de seus proprietários, que objetivam conservar a diversidade biológica e outros atributos ambientais considerados importantes e carentes de conservação. Nestas unidades de conservação são permitidas pesquisa científica, ecoturismo e atividades de educação ambiental (BRASIL, 2000).

Dentre as áreas particulares protegidas, são as que podem contribuir efetivamente para a conservação da natureza, uma vez que são criadas espontaneamente pelos proprietários das terras (MORSELLO, 2001).

Elas atingem objetivos que variam desde formar zonas de amortecimento de Unidades de Conservação, corredores ecológicos ou simplesmente como manifestações conscientes da sociedade de conservar atributos ambientais regionais (ALDERMAN, 1994; LEES, 1995; LANGHOLZ, 1996; LANGHOLZ, 2002; MESQUITA, 1999; MORSELLO, 2001; THEULEN *et al.* 2003).

Contudo, o potencial conservacionista destas Unidades de Conservação, bem como aquelas sob gestão pública, como provedoras e mantenedoras de serviços ambientais, no moldes daqueles apresentados por TONHASCA JR. (2004), ainda não foram institucionalmente identificados, mapeados e reconhecidos, o que dificulta o conhecimento e reconhecimento da sociedade quanto à importância e necessidade existencial dessas áreas.

Na região centro-norte do Rio de Janeiro encontra-se a bacia hidrográfica do rio São João (2.160 km<sup>2</sup>), onde há um dos maiores focos de Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) do Brasil, 12 ao todo, bem como outras 10 em processo de criação, somando cerca de 1000 ha de florestas ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação.

Essas reservas estão localizadas no terço médio e superior da bacia hidrográfica do rio São João, que tem como divisores topográfico um dos maiores blocos remanescente da Mata Atlântica no Brasil, a Serra do Mar, sob distintas condição e oferta de atributos ambientais. As RPPN em questão protegem mananciais que contribuem para o abastecimento de água destinado à população da região dos Lagos e adjacências, fato este que se bem avaliado, pode viabilizar recursos financeiros capazes de otimizar os processos de gestão ambiental, onde se poderia

desenvolver mecanismos econômicos e instrumentos jurídicos de compensação pelos serviços ambientais, como a produção de água, nos moldes de Programas de Pagamentos por Serviços Ambientais Hidrológicos (PSAH) que operam ou estão em discussão pelo mundo, sobretudo, na América Latina e Caribe, como os descritos por: LLERENA (2003); ESTRADA e QUITERO (2003); ROBERTSON e WUNDER (2005), PSA-CABSA (2005); ECHAVARRÍA (2002), MEJÍA e BARRANTES (2003); PÉREZ (2003); BARRANTES *et al.* (2005); CAMACHO (2003); BOLAÑOS, (2003); CORDERO (2004); MALAVASI e KELLEMBERG (2002); MANSON (2004); HERNANDEZ (2003); e LOUREIRO (2004).

Esse contexto sugere que novos desafios surgem, pois as RPPN no Brasil, de maneira geral, têm enfrentado dificuldades que variam desde: a) falta de planejamento; b) definição de objetivos claros; c) processo de gestão inconsistente; d) falta de apoio técnico; e e) falta de apoio financeiro (MELO, 2004), ameaçando a continuidade destes processos e de seus serviços ambientais associados, além de outras dificuldades que de maneira geral são encontradas em áreas naturais protegidas, como aborda VREUGDENHIL (2004).

Identificar e quantificar as magnitudes dos serviços ambientais de interesse hidrológico prestados por essas áreas pode contribuir para a consolidação dos movimentos de criação de Unidades de Conservação emanados da sociedade, oferecendo formas de otimização dos resultados, condições estas imprescindíveis para garantir sua auto-sustentabilidade, pois se estaria dando uma dimensão profissional ao tratamento das questões ambientais.

Todavia, para se entender o provimento dos serviços ambientais hidrológicos por estas unidades de conservação é necessário compreender as suas características, físico, biológico e antrópicos, além do contexto de oferta de atributos ambientais aos quais estão submetidas, em macro-escala.

Neste contexto, os setores da paisagem - como as RPPN vem a ser - podem ser utilizados como unidades amostrais, onde o tipo de uso e ocupação sofre e acusa as influências dos parâmetros ambientais ligados a administração de água pelo ambiente: declividade, área, altitude, orientação (exposição), provimento de água (captação), proximidade de acesso motorizado, localização no perfil topográfico, direção dos ventos úmidos, comprimento de rampa e forma da encosta (SPOLIDORO, 1998). Esses fatores, entre outros, são denominados variáveis morfométricas, que por sua vez permitem caracterizar quantitativamente as formas, aspectos

físicos, geográficos e topográficos das microbacias. Segundo GREGORY e WALLING (1985), LIMA (1986) e ROSA (1995) essas variáveis contribuem para o conhecimento hidrológico e facilitam a comparação entre estudos.

Segundo OTTONI NETTO (1993) a morfologia das bacias relaciona-se aos esquemas naturais definidores de sua produtividade hídrica e trocas energéticas conseqüentes, sendo as atuações fundamentais de origem geológica somadas ao longo do tempo as ações de agentes naturais que promovem permanentes transformações.

Este autor destaca ainda que a produtividade hídrica e biótica disponível nas bacias é função das características dos deflúvios e dos parâmetros definidores de seu aspecto morfológico, levando à modelagem dos componentes do sistema em relação às massas d'água pluviais a depender essencialmente dos locais e dos componentes referidos (OTTONI, 1996). Como os aspectos morfológicos da bacia variam com o local, conclui-se que tal trabalho de modelagem é muito diferenciado de acordo com as características da região que recebe e transmite os deflúvios pluviais às redes de drenagem (OTTONI NETTO, 1993).

Essas características físicas de uma bacia são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico, na medida que existe uma grande correspondência entre o regime hidrológico e estes elementos, portanto, de grande utilidade prática, haja vista que permitem fazer comparações entre estudos determinar indiretamente os valores hidrológicos em seções ou locais de interesse nos quais faltem dados ou em regiões onde, por causa de fatores de ordem física ou econômica, não seja possível a instalação de estações hidrométricas (VILLELA & MATTOS, 1975).

Esses parâmetros morfométricos relacionados às bacias hidrográficas são definidos historicamente por ZERNITZ (1932), HORTON (1946), FREITAS (1952), STRAHLER (1956), SCHUMM (1956) e CHRISTOFOLETTI (1969).

Portanto, estes elementos físicos constituem a mais conveniente possibilidade de se conhecer a variação no espaço dos elementos do regime hidrológico (VILLELA & MATTOS, 1975).

O Objetivo Geral do estudo deste capítulo é identificar unidades homogêneas de desempenho de serviços ambientais hidrológicos por Reservas Particulares do Patrimônio Natural da Bacia Hidrográfica do Rio São João. Os objetivos específicos são: caracterizar os atributos ambientais das RPPN, agrupar as mesmas por similaridade desses atributos ambientais e

descrever os serviços ambientais hidrológicos desempenhados pelas RPPN com atributos ambientais similares; de modo que os resultados possam ser extrapolados para outras regiões da Mata Atlântica sob condições ambientais similares.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Demarcação e localização das RPPN**

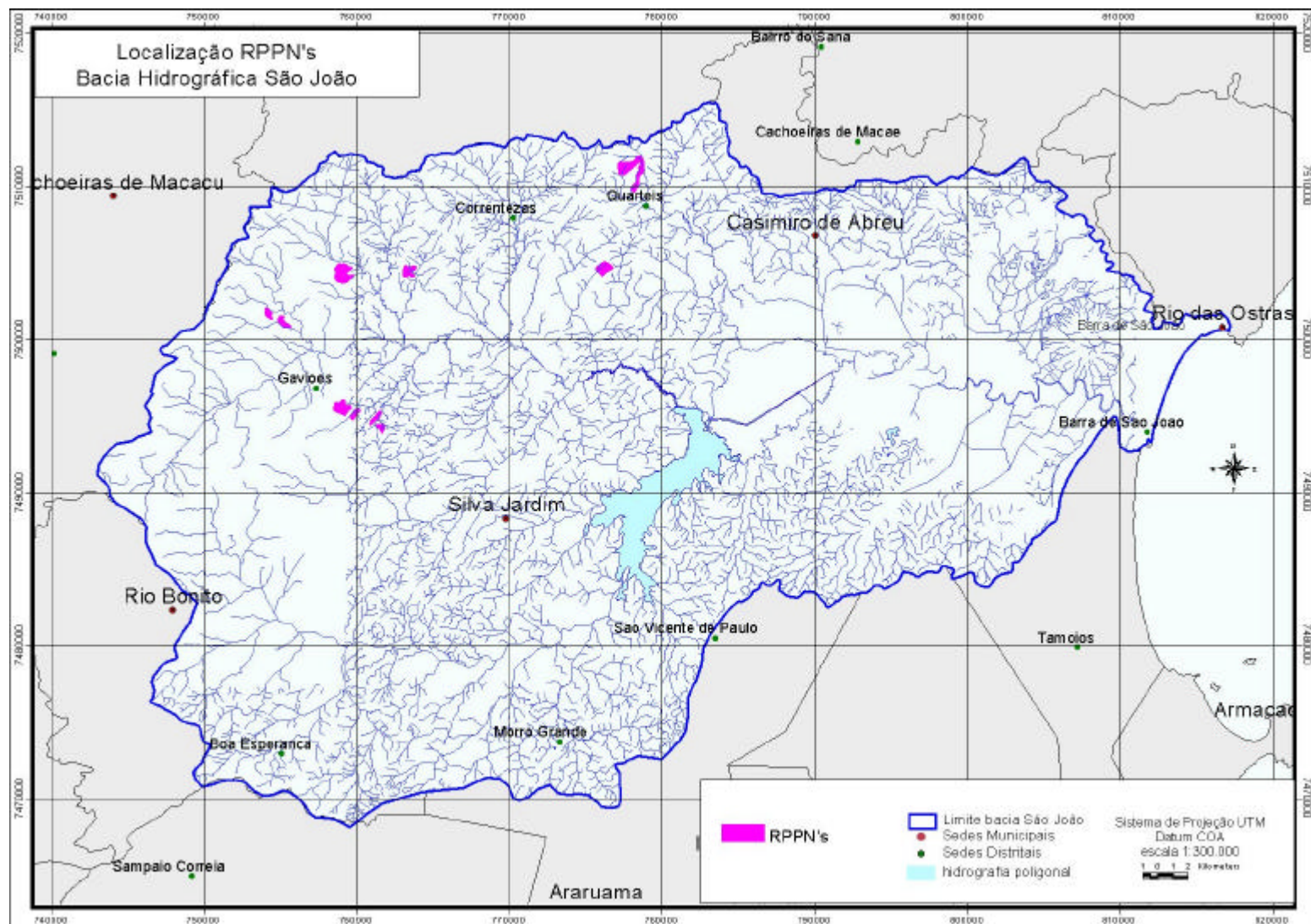
Foram utilizadas no presente estudo 11 RPPN<sup>1</sup>, que estão situadas em totalidade na região do médio e alto rio São João, a montante da Represa de Juturnaíba (Figura 1).

Para obtenção das coordenadas georreferenciadas dos limites das RPPN, foi solicitado ao IBAMA-SUPES-RJ-NUC (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis). Contudo, para duas reservas de um mesmo dono foi preciso se basear em uma imagem aérea da área para desenhar seus limites, já que a mesma não foi criada sob este preceito, pois a exigência de georreferenciamento foi instituída apenas recentemente por instrumento legal<sup>2</sup>, e por isso não havia informações sobre seus limites no IBAMA-SUPES-RJ-NUC. Essa imagem foi disponibilizada pelo próprio proprietário. Além disso, alguns pontos no campo precisaram ser georreferenciados para refinar essa delimitação.

---

<sup>1</sup> São 5 RPPN de fato instituídas (Ibama, 2006) e 6 propriedades rurais que possuem processos de criação de RPPN tramitando junto ao Ibama - (Motta, com. pessoal). Contudo, para efeitos desse estudo serão considerados todas as 11 áreas como RPPN, a fim de facilitar a etapa de apresentação dos resultados e discussão. A escolha de se trabalhar tanto com RPPN criadas como em processo de criação é uma iniciativa de demonstrar que o método utilizado é passível de ser utilizado independentemente da existência de um regime legal de proteção sobre a área.

<sup>2</sup> O georreferenciamento da propriedade e RPPN apenas surgiu como exigência legal na Instrução Normativa do Ibama no. 24/04, revogada pela IN 62/05 que posteriormente foi revogada pelo Decreto Federal no. 5.746/06.



**Figura 1:** Localização das Reservas Particulares do Patrimônio Natural na bacia hidrográfica do rio São João, RJ.

## 2.2. Unidades amostrais: demarcação e caracterização das microbacias

Neste capítulo adotou-se uma abordagem em menor escala, se comparado ao capítulo I, ou seja, foram caracterizados os atributos ambientais específicos das microbacias protegidas pelas 11 RPPN. A escolha de se trabalhar com as microbacias e não com as RPPN em si se deve a fato do estudo estar focado em serviços ambientais de caráter hidrológico, sendo a unidade de planejamento básico a bacia hidrográfica e não um determinado setor da paisagem, como é o caso da área das RPPN.

Segundo VALCARCEL *et al.* (1985), bacias hidrográficas constituem unidades hidrológicas, utilizadas como unidades de planejamento ambiental por serem sensíveis a manifestações de desequilíbrio ambiental.

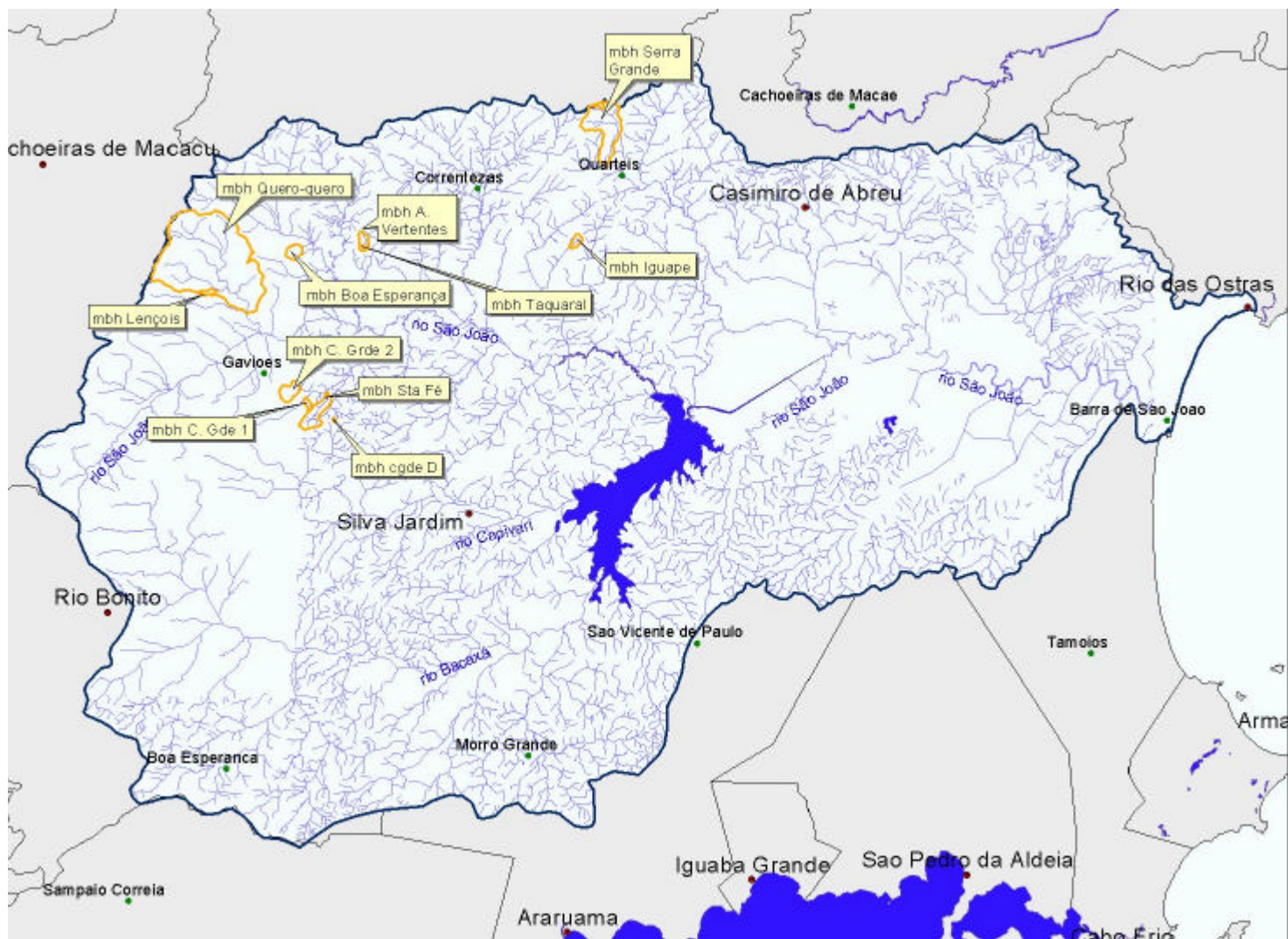
Como uma RPPN pode proteger mais de uma microbacia, optou-se em trabalhar apenas com a maior microbacia protegida pela unidade de conservação, ou seja, com 11 microbacias. Esse critério foi interpretado como representativo e de melhor operacionalização dos dados, pois evita uma caracterização extensa, de mais de uma microbacia por RPPN.

As microbacias hidrográficas foram demarcadas através da criação de polígonos concebidos a partir dos seus divisores topográficos, apontados pelas curvas de nível digitalizadas no ArcView 3.2a (Figura 2).

Cabe destacar que as microbacias que possuíam áreas de planície fluviais tiveram essas áreas retiradas de seus domínios, pois as mesmas estão submetidas aos efeitos de uso e ocupação do solo de outras áreas, como é o caso de projetos de drenagem que rebaixam o lençol freático, ainda que a uma distância considerável. A partir disso, portanto, o exutório da microbacia (seção controle) é demarcado na área limítrofe entre as encostas e a planície, de forma que assim é possível inferir que os efeitos monitorados nesse ponto de fato são oriundos da microbacia que se está estudando, e não de outros setores da paisagem.

Ocorre que na Bacia Hidrográfica do Rio São João existem grandes áreas de planície de inundação que chegam até as faldas das montanhas da Serra do Mar, além de envolver as colinas do tipo “meia laranja”, como apresentado no capítulo I, e com isso muitas microbacias possuem não só áreas de encostas mas também áreas de planícies fluviais em seus domínios.





**Figura 2:** Localização das microbacias na bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro.



## **2.3 Caracterização das microbacias**

A caracterização das 11 microbacias foi realizada através de variáveis morfométricas, que no âmbito da hidrologia florestal, como já anteriormente, permitem fazer análises teóricas indiretas sobre a vocação hidrológica de setores da paisagem, que traduz-se na capacidade de desempenhar serviços ambientais hidrológicos.

Foram utilizadas 12 variáveis para caracterização das microbacias, quais sejam: Área (A); Altimetria (maior, menor, média e amplitude); Declividade (0-25; 25-45; > 45°); Ângulo de Orientação (O); Posição na isoietas (Pi); Coeficiente de compactidade (Kc); Comprimento de rampa (C); Exposição das encostas (E); Área de captação a montante (Ac); Comprimento total de drenos (Qd); Comprimento de drenos de primeira ordem (Q1w); Cobertura Vegetal (estádio inicial/pastagem/área agrícola, secundário e avançado).

### **2.3.1 Área (A)**

É a área plana (projeção horizontal) incluída entre os divisores topográficos. Ela é um elemento básico para o cálculo das características físicas e morfométricas (LIMA, 1986).

### **2.3.2 Altimetria**

Este variável pode abrigar os efeitos orográficos em uma dada vertente (BARBOZA, 2004), de modo que quanto maior a altitude do setor maior a sua vocação hidrológica, haja vista a perda de capacidade das massas de ar úmido ao ascender diante de um anteparo natural, como é o caso da Serra do Mar na região em estudo.

Através do ArcInfo 9.0 e a partir das curvas de nível, cotadas anteriormente no ArcView 3.2a, foram gerados os Modelos Digitais de Elevação (MDE) das 12 áreas objeto de estudo, por meio do módulo *topogrid interpolation* do *gridtools*. Em alguns casos foi necessário realizar a correção da hidrografia, de modo que se traçado ficasse coerente com a forma do relevo e o sentido de fluxo de água associado, através da ferramenta *flip*, a partir do *Edit Tools* do ArcInfo 9.0 (CALDAS, 2006).

A altitude média (Hm) pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$Hm = ((Cm - Cj)/2) + Cj \quad (01)$$

Onde:

Hm - altitude média (m)

Cm – maior cota a montante do limite superior da microbacia

Cj – menor cota a jusante do limite inferior da microbacia

### 2.3.3 Declividade

A declividade influencia os processos de infiltração e administração da água nos setores, afetando o escoamento superficial, subsuperficial, básico e, conseqüente, a umidade do solo (LIMA,1986). Quanto maior a declividade maior a propensão a dispersão de água do setor, e, ainda, ao desencadeamento de processos erosivos. Essa afirmativa se reporta aos espaços territoriais especialmente protegidos como de relevante interesse ambiental, segundo a Lei 4.771/65 (Código Florestal Brasileiro), como é o caso da figura legal da Área de Preservação Permanente (APP), que traz em sua essência a proteção do desempenho de serviços ambientais pelos ecossistemas, tais como contenção de processos erosivos e manutenção do ciclo hidrológico, como é o caso das áreas com declividade maior que 45°, topos de morro e margens de rios, dentre outros.

O mapa de declividades foi concebido através do Modelo Digital de Elevação (MDE), a partir do comando *slope* (em *statistic>surface analysis*) do ArcInfo 9.0. Em seguida, as declividades foram reclassificadas, modificando a unidade de porcentagem para graus. As classes utilizadas foram: < 25°; 25 a 45°, que representa as áreas com possibilidade de manejo florestal; e >45°, as de fato consideradas como APP's.

### 2.3.4 Ângulo de Orientação

Trata-se do ângulo de incidência da microbacia em relação aos ventos úmidos de frente fria (SW) que chegam ao Rio de Janeiro, como forma de analisar entrada de umidade no sistema. Dessa maneira, através do Modelo Digital de Elevação (MDE) foi possível também gerar conhecimento sobre as faces de orientação das microbacias protegidas pelas RPPN, utilizando o comando *aspect* (em *statistic>>surface analysis*) do ArcInfo 9.0., que divide as áreas em: 0-90°

(Norte/Nordeste); 90-180° (Leste/Sudeste); 180-270° (Sul/Sudoeste); e 270-360° (Oeste/Noroeste).

No entanto, essas informações foram ponderadas com a percepção do sentido preferencial do caminho de água dentro dos limites dos polígonos das 11 áreas estudadas, interpretada pela direção da drenagem principal da bacia, para se tirar conclusões sobre a orientação respectiva das mesmas (MARQUES, 2004).

### **2.3.5 Posição na Isoieta (PI)**

Trata-se da localização da microbacia e sua conseqüente submissão ao regime de precipitação pluviométrica, que no caso da bacia hidrográfica do rio São João está padronizado em forma de isoietas, conforme apresentado por BIDEGAIN e VOLCHER (2003): 2500mm, 2000mm e 1500mm. Quanto maior o índice pluviométrico maior a vocação hidrológica das microbacias.

### **2.3.6 Coeficiente de compacidade (Kc)**

É a relação entre o perímetro da microbacia e o perímetro de um círculo de mesma área da microbacia. O Kc é sempre um valor > 1 (se fosse 1 a microbacia seria um círculo perfeito). Quanto menor o Kc mais circular é a microbacia, com isso menor o tempo de concentração de água em seus domínios, ou seja, menor a vocação hidrológica.

**Equação 2:** Coeficiente de compacidade

$$Kc = 0.28 ( \sqrt{P \text{ microbacia} \cdot 1000 / A \text{ microbacia}^2 \cdot 10.000} ) \quad (02)$$

Onde:

P – perímetro da maior microbacia protegida pela RPPN (km)

A – área da maior microbacia protegida pela RPPN (ha)

### **2.3.7 Comprimento de rampa (C)**

Por rampa entende-se ser o trecho hidrológico situado na vertente por onde a água drena. Ele foi localizado nos domínios da microbacia, a partir da base até a parte mais alta da mesma, seguindo o sentido de drenagem da água. Essa variável foi obtida através do cálculo abaixo:

**Equação 3:** Comprimento de rampa

$$C^2 = H^2 + D^2 \quad (03)$$

Onde:

C - comprimento de rampa da microbacia (m)

H - amplitude altimétrica da microbacia (m)

D - distância entre os pontos mais alto e mais baixo da microbacia (m)

### **2.3.8 Exposição das encostas (E)**

Representa o ângulo de incidência da maior microbacia em relação à radiação, uma variável utilizada para analisar indiretamente a saída de água do sistema por evapotranspiração (SPOLIDORO, 1998). A forma como o sol cobre as áreas foi avaliada em função da direção do escoamento prioritário da microbacia.

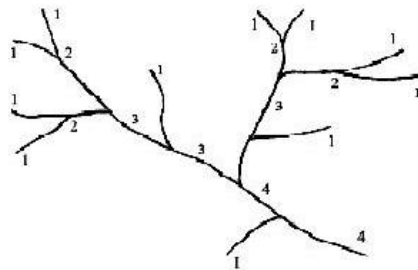
### **2.3.9 Área de captação a montante (Ac)**

Por área de captação considera-se aquela entre o limite superior da RPPN e o divisor da maior bacia hidrográfica protegida pela mesma. Quanto maior a área de captação da RPPN maior a contribuição hídrica recebida em seus domínios, o que lhe confere maior vocação hidrológica. Para o cálculo da área de captação foi desenhado um polígono através do ArcView 3.2a.

### **2.3.10 Comprimento total de drenos (Qt)**

Os comprimentos total dos canais de drenagem das microbacias em estudo foram quantificados e somados de modo a obter um valor total, sem distinção da ordem que pertenciam (1º a 4º ordem). Da mesma maneira foram somados os tamanhos dos canais de primeira ordem existentes no interior das RPPN, diante da importância estratégica dos mesmos para a manutenção do regime hidrológico de bacias hidrográficas. Quanto mais canais de primeira ordem maior a vocação hidrológica da microbacia protegida pela RPPN.

Para essa leitura, utilizou-se a ferramenta *Measure* do software ArcView 3.2a.



**Figura 3:** Classificação de canais segundo STRAHLER (1964).

### 2.3.11 Comprimento total de drenos de primeira ordem ( $Q_{1w}$ )

Foram somados os tamanhos dos canais de primeira ordem existentes no interior das RPPN, diante da importância estratégica dos mesmos para a manutenção do regime hidrológico de bacias hidrográficas. Quanto mais canais de primeira ordem maior a vocação hidrológica da microbacia protegida pela RPPN.

Para essa leitura também utilizou-se a ferramenta *Measure* do software ArcView 3.2a.

### 2.3.12 Cobertura Vegetal ( $C_v$ )

A partir do mapa de uso e ocupação do solo apresentado no capítulo I, gerado através da base da FUNDAÇÃO CIDE (2001), foram calculadas as percentagens de área da microbacia com vegetação em estágio avançado, secundário e inicial/pastagem, com objetivo de desenvolver análises teóricas sobre a integridade dos ecossistemas locais e sua possível vocação hidrológica associada.

## 2.4 Análise Estatística

A análise escolhida para identificar similaridades de atributos ambientais entre as microbacias protegidas pelas RPPN foi a Análise de Agrupamento. Trata-se de um método não-paramétrico que permite agrupar medidas múltiplas de forma integrada (IRMÃO, 2000). Este método permite a simplificação estrutural dos dados, classificação, agrupamento por similaridade, teste de dependência entre variáveis, predição, construção e testes de hipóteses (MAGNUSSON & MOURÃO, 2003).

O objetivo do uso de tal análise nesse tipo de estudo é identificar unidades hidrológicas representativas (microbacias) de desempenho de serviços ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio São João, de modo que as mesmas possam ser futuramente incorporadas a projetos demonstrativos relacionados ao monitoramento de serviços ambientais hidrológicos, pois os resultados obtidos nessas áreas poderão ser extrapolados para outras microbacias da Mata Atlântica sob condições similares de atributos ambientais, em específico aquelas sob influência direta ou indireta do fenômeno da orografia. Para isso, segundo ALVES e CASTRO (2003), pode-se combinar esses fatores para a diferenciação de áreas homogêneas.

O método foi aplicado sobre as 14 variáveis ambientais obtidas para cada uma 11 microbacias, formando grupos similares de variáveis a partir de uma determinada distância euclidiana.

Os dados da caracterização de todas as microbacias protegidas pelas RPPN foram tabulados em planilha do Microsoft Excel 2003, sendo posteriormente salva em wk1(1-2-3), que é um formato compatível para a Análise de Agrupamento. Nas colunas foram colocadas as microbacias (objeto), que receberam os nomes das respectivas RPPN que as protegem, e nas linhas os dados sobre os atributos ambientais descritos anteriormente (descritores).

Para dados de caráter quantitativo, colocou-se o valor diretamente na tabela, e para os casos de dados qualitativos, os valores foram convertidos em códigos, sem a pretensão de gerar pesos entre as variáveis, a saber:

- **Orientação:** 0-90° (Norte/Nordeste) = 1; 90-180° (Leste/Sudeste) = 2; 180-270° (Sul/Sudoeste) = 3; 270-360° (Oeste/Noroeste) = 4.
- **Exposição:** 1-Norte; 2-Oeste; 3-Sul; 4-Leste.
- **Declividade:** foi feita a média ponderada dos resultados obtidos das classes: <25°; 25-45° >45°; de modo que gerasse apenas um único valor para cada microbacia e assim ocupar uma única coluna e não três, na análise de agrupamento.
- **Posição na isoietas:** 1- <500mm; 2- 500-1500mm; 3-1500-1200; 4- >2500mm.

## 2.5 Programas e equipamentos

Para viabilizar todas as operações necessárias a este capítulo (levantamentos, armazenamentos, processamentos e análises) foram utilizados os seguintes softwares:

- ArcView versão 3.2a;
- ArcMap 9.0;
- GPS Garmim Etrex;
- Microsoft Office 2003;
- PcOrd 4.0 (Análise de agrupamento).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As microbacias protegidas por RPPN estão submetidas a condições diferenciadas de oferta de atributos ambientais, físicos, biológicos e antrópicos no âmbito da bacia hidrográfica do rio São João, como abordado no capítulo anterior, contudo, quando sob uma análise específica de seus domínios (Tabela 3), incluindo uma caracterização com variáveis morfométricas, as mesmas não apresentam diferenças que permita inferir condições de desempenho de serviços ambientais hidrológicos diferenciadas, com exceção da microbacia Quero-quero e Serra Grande, cujos valores destoaram das demais pela magnitude de suas áreas.

O tamanho das microbacias varia de 3,72 a 2670 hectares, sendo que apenas 4 microbacias possuem área menor que a RPPN. Isso se deve a localização da área instituída como RPPN em relação a rede hidrográfica, na medida que a RPPN na maioria das vezes ajuda a proteger, ainda que uma área expressiva, apenas um setor da microbacia. Das 11 áreas estudadas, 6 são menores que 50ha, 1 menor que 100ha, 2 entre 100 e 200ha e 2 maiores que 500ha.

Segundo LIMA (1986), os efeitos da área de uma microbacia está relacionado a captação de chuvas e a manutenção da umidade do solo.

No que se refere a altitude constatou-se que a maioria das microbacias, 9 ao todo, apresentam cota superior a 300m, sendo que uma delas chega a cota máxima de 1160m. Ou seja, estão sob condições de relevo montanhoso e de colinas.

A amplitude altimétrica, isto é, a diferença entre as cotas superiores e inferiores da microbacia varia entre 60 a 1060 metros, contudo, 7 das 11 microbacias possuem diferença altitudinal de 230 a 320 metros.

Uma condição de elevada altitude submete essas áreas mais prontamente ao fenômeno de orografia, de modo que os índices pluviométricos são maiores do que em áreas de planície, exceto aquelas situadas nas fadas da Serra do Mar, por exemplo, que também recebem essa influência pela sua localização, como destaca CUNHA (1995).

Segundo VILLELA e MATTOS (1975), o deflúvio médio de microbacias recebe influência da altitude, diante das alterações conseqüentes nas variáveis evaporação, transpiração e precipitação

Das 11 microbacias, 8 delas estão sob condições de precipitação pluviométrica de 2.500mm e 4 sob 1.500mm anual. Esses elevados índices pluviométricos está relacionado diretamente a localização dessas microbacias, próximas a barreira orográfica Serra do Mar.

Quanto ao coeficiente de compacidade, todas as microbacias apresentam valores entre 0,10 a 0,15, valores considerados baixos e que refletem a baixa suscetibilidade das microbacias a processos de concentração rápida de água das chuvas para os canais principais, que por sua vez causam assoreamentos, inundações e outras perturbações ambientais.

Constatou-se que a declividade das microbacias está dividida entre as classes de 0-25° e 25-45°, com pequena diferença para esta primeira, onde os valores percentuais de área nesta classe está acima de 45% em 10 das 11 microbacias. Todas as 11 áreas apresentam menos que 10% de seus domínios sob condições acima de 45° de declividade.

A declividade dos terrenos de uma microbacia controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial, afetando portanto o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias (VILLELA e MATTOS, 1975) e, ainda, a maior ou menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos.

A orientação foi sudeste para 5 das 11 microbacias, 3 para sudoeste, 2 para Nordeste e apenas 1 para Noroeste. Segundo OLIVEIRA *et. al* (1995), as vertentes voltadas para o Norte recebem os primeiros e os últimos raios de sol do dia, e as vertentes ao sul apresentam deposição de orvalho durante um período longo, como conseqüência de uma maior duração do período de sombreamento. A submissão das encostas ao sul também é um fator diferencial, sobretudo, aquelas próximas ao mar, pois as massas de ar úmido oriundas do oceano ocasionam as chamadas chuvas orográficas e os ecossistemas locais promovem interceptação vertical dessa umidade (BARBOZA, 2007).

Mas no que se refere as suas encostas, as mesmas estão de maneira predominante expostas a Oeste, com 6 microbacias. A face leste recebe insolação pela manhã, período em que há mais umidade no ar, sendo, logo após a face sul, também mais fresca e úmida. A face oeste recebe sol pela tarde, estando sujeita à mesma insolação que a face leste; no entanto neste período



do dia a umidade do ar já diminuiu, o que faz com que seja mais quente e menos úmida que a face leste.

A intensidade, duração e frequência de insolação podem interferir nas perdas por transpiração e evaporação. No Município do Rio de Janeiro as vertentes voltadas para leste e sul são mais úmidas e protegidas por vegetação, ao contrário das vertentes voltadas para norte e noroeste (OLIVEIRA *et al.*, 1995).

Quanto ao comprimento das drenagens, 4 microbacias possuíam menos que 1Km, 5 entre 1 e 5km e 2 maior que 5km, essas últimas respectivamente com aproximadamente 8,3 e 28,5Km. Para apenas duas microbacias o tamanho de rios intermitentes predominou sobre os rios perenes.

Esses comprimentos de drenagens estão relacionados, sobretudo, aos canais de primeira ordem, pois 8 microbacias apresentam comprimentos de rios desta ordem superiores as demais, sendo que 6 destas só protegiam rios de cabeceira. Os rios de segunda ordem foram constatados para 5 microbacias, sendo que destas 3 possuem também rios de terceira ordem.

Os rios de primeira ordem são considerados estratégicos para garantir a perenidade do provimento de água, pois nos mesmos estão as nascentes abastecedoras de setores a jusante de bacias hidrográficas.

Os resultados de cobertura vegetal mostram que 4 microbacias possuem percentuais acima de 95% de suas áreas em estágio avançado de sucessão ecológica, 5 com mais de 50% em estágio secundário, sendo que 2 acima dos 90%, e 2 em estágio inicial de sucessão, com valores acima de 80% de área.

A presença do ecossistema florestal potencializa a vocação hidrológica de microbacias na medida que, em sinergismo com fatores físicos, tem-se maior capacidade de administração da água precipitada, pluviométrica ou por interceptação, disponibilizando-a lenta e gradualmente para setores a jusante da bacia e recarga de aquíferos. Em caso contrário, tem-se maior propensão ao desencadeamento de processos erosivos que desajustam o ecossistema e fazem da água precipitada um agente de desconstrução do mesmo. Desta maneira, o estágio de sucessão ecológica sugere o ajuste evolutivo dos ecossistemas e a sua capacidade em desempenhar serviços ambientais a sociedade.

A diferença entre o divisor topográfico da microbacia e o limite superior da RPPN, a área de captação a montante, foi nulo para 4 microbacias, abaixo de 10ha para 2 microbacias, entre 10 e 20 para 2, entre 30 e 40ha para 2 e acima de 300ha para uma microbacia. Ou seja, para 4 casos

a RPPN protege toda a cabeceira da microbacia, fato de grande relevância porque a RPPN está sob condições legais e perpétuas de proteção.

### **3.1 Similaridade entre as microbacias**

Com o nível de homogeneidade posicionado a 90% (Linha Fenon) da distância euclidiana, formaram-se dois grupos de microbacias similares - na verdade 1 unidade homogênea com 9 microbacias e mais duas com 1 microbacias cada -, onde o fator discriminante foi o tamanho das superfícies das microbacias, em destaque para as diferenças entre as microbacias Serra Grande e Quero-quero em relação as demais (Figura 4).

No caso da microbacia Serra Grande, a situação topográfica da RPPN homônima (média de 530m a.n.m.) e ao seu tamanho maior que as outras (108ha) condicionou a demarcação de uma microbacia expressivamente maior que as demais (500ha e média de 630m a.n.m.), o que a distinguiu das demais. Essa microbacia protege desde rios de cabeceira, de primeira ordem (3,5Km), até rios de quarta ordem que drenam as escarpas da Serra do Mar, totalizando 8,4Km de rios em encostas predominantemente de orientação sul, que interceptam as massas de ar úmido oriundas do oceano e recebem 2.500mm anuais de precipitação pluviométrica. Ou seja, trata-se de uma microbacia de alta vocação para desempenho de serviços ambientais hidrológicos.

A microbacia Quero-quero, ainda que destoe das demais em magnitude de sua área (2670ha) e altitude média (430 a.n.m), está em uma situação oposta de desempenho de serviços ambientais hidrológicos, pois a RPPN homônima apresenta pequeno tamanho (16ha) e baixa altitude média (110m a.n.m). Ocorre que a RPPN está localizada em uma pequena colina de formato logilíneo ilhada por planície de inundação, ainda que contígua as encostas da Serra do Mar, e, com isso, foi necessário englobar uma microbacia de expressiva área para que a mesma fosse englobada. Portanto, do ponto de vista hidrológico, essa microbacia possui uma alta vocação hidrológica, pois também drena rios desde primeira (17,5Km) até terceira ordem, totalizando 28,5Km totais de rios, sob condições de precipitação pluviométrica de 2.500mm anuais e orientação sudeste. Todavia, essa vocação está relacionada a microbacia, sendo incompatível com a RPPN que apenas protege uma pequena parte de sua área e que está sob uma condição que gera poucas influências sobre o provimento hídrico local.

Em relação as demais 9 microbacias, os resultados apontam que não há fatores discriminantes que possam diferenciá-las ao ponto de formarem mais de um grupo, todavia, as microbacias Santa Fé e Cachoeira Grande 2 apresentam uma pequena diferença para com as demais (98% na Linha Fenon), e novamente a área é o fator discriminante, 172 e 103ha, respectivamente.

Trata-se então de áreas sob condições de oferta de atributos similares, quais sejam, 2.000 a 2.500mm anuais de precipitação pluviométrica, altitude média entre 2.000 e 2.500m, com média de comprimento de rios de 1,5Km, predominantemente de primeira ordem.

**Tabela 1:** Caracterização das microbacias através de variáveis morfométricas.

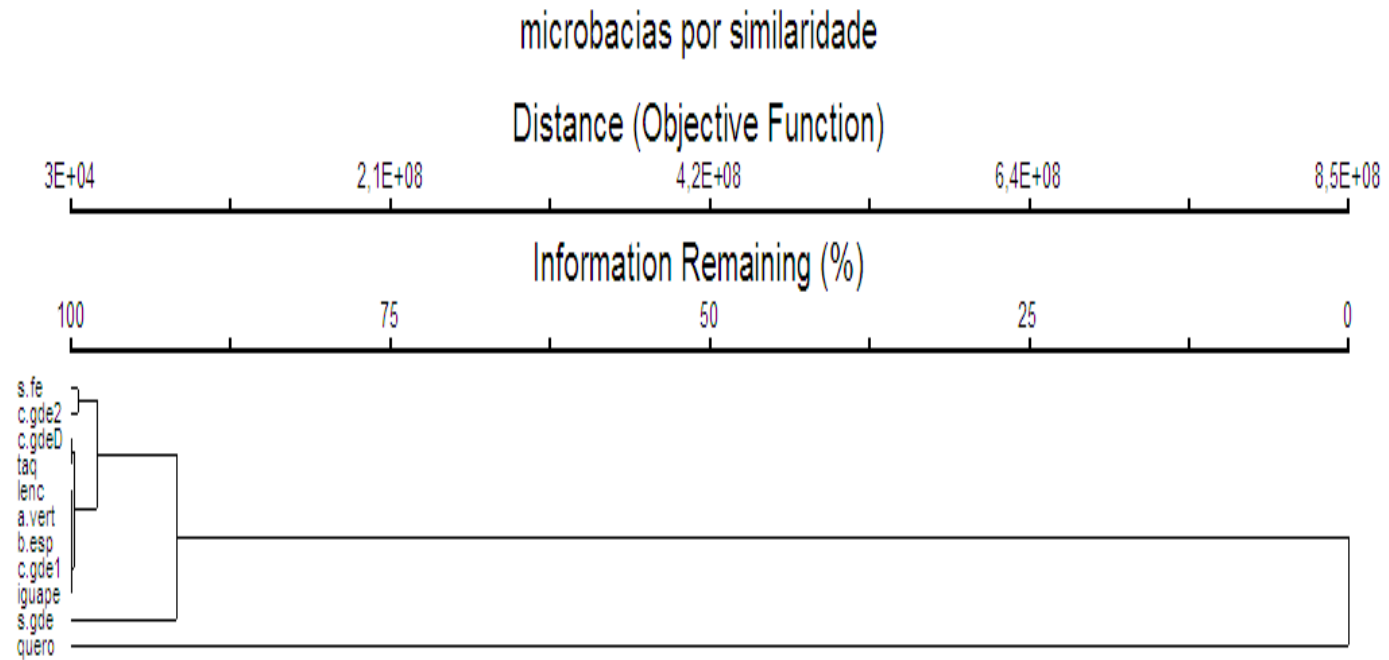
Microbacia	Arppn (ha)	Ambh (ha)	P (Km)	posição na isoieta	Kc	ALTITUDE (m)			H	C (m)	DECLIVIDADE (% de área)			orientação	exposição	comprimento de rios	
						maior	média	menor			0-25	25-45	>45			perene	intermitente
<b>Santa Fé</b>	14,31	172	6,77	2	0,14	380	220	60	320	2783	63,72	33,9	2,38	4	3	4,3	0
<b>Cach. Grande D</b>	14	3,64	0,7	2	0,10	280	200	120	160	320,7	34,06	56,05	9,89	1	3	0,0	0,2
<b>Lençóis</b>	12,82	23,17	2,6	3	0,15	400	240	80	320	1247	58,56	38,9	2,54	2	2	0,0	1,1
<b>Quero-quero</b>	16	2670	22,6	3	0,12	140	110	80	60	7299	49,71	46,95	3,34	2	2	27,4	1,1
<b>Aguas Vertentes</b>	11,5	44,51	2,7	3	0,11	400	230	60	340	1195	49,04	48,51	2,45	2	2	1,1	0
<b>Taquaral</b>	17	10,43	1,3	3	0,11	300	185	70	230	586,5	45,15	53,99	0,86	2	2	0,4	0
<b>Serra Grande</b>	108	500,5	11,3	3	0,14	1160	630	100	1060	4015	54,18	42,03	3,79	3	4	8,4	0
<b>Boa esperança</b>	77,88	66,93	2,9	3	0,10	340	200	60	280	1098	49,86	47,13	3,01	1	2	0,0	0,9
<b>Iguape</b>	49	33,62	2,4	2	0,12	380	240	100	280	967,3	55,13	38,63	6,24	3	4	0,7	0
<b>Cach. Grande 1</b>	10	23,72	2,2	3	0,13	300	180	60	240	1021	69,11	29,21	1,68	3	1	0,8	0,2
<b>Cach. Grande 2</b>	58	103,4	4,14	3	0,11	420	260	100	320	1461	68,84	27,49	3,67	2	2	0,2	2,2

Arppn-área da RPPN; Ambh-área da microbacia; P-perímetro; Kc-coeficiente de compacidade; H-amplitude altimétrica; C-comprimento de rampa.

Continua...

Continuação...

Microbacia	comprimento de total de rios (Km)	Comprimento de rios (Km)				% de área da microbacia com florestas			Área de captação a montante (ha)
		1w	2w	3w	4w	inicial/pastagem	secundária	avançada	
<b>Santa Fé</b>	4,3	2,0	2,3	0,0	0,0	19,29	78,05	0	0
<b>Cach. Grande D</b>	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	35,6	64,4	0	2,1
<b>Lençóis</b>	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0	0	100	11,6
<b>Quero-quero</b>	28,5	17,5	3,4	7,6	0,0	5,25	91,59	2,09	0
<b>Aguas Vertentes</b>	1,1	1,0	0,1	1,1	0,0	0	0	100	32,4
<b>Taquaral</b>	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0	0	100	0
<b>Serra Grande</b>	8,4	3,5	2,0	2,8	0,0	23,22	55,37	21,1	308,8
<b>Boa esperança</b>	0,9	0,9	0,0	0,0	0,0	3,47	0	96,53	0
<b>Iguape</b>	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	98,95	0,17	0,86	6,7
<b>Cach. Grande 1</b>	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0	81,23	17,96	0	18,1
<b>Cach. Grande 2</b>	2,4	2,0	0,4	0,0	0,0	9,68	93,39	0	32,6



**Figura 4:** Agrupamento de microbacias hidrográficas protegidas por RPPN na bacia hidrográfica do rio São João por similaridade de atributos ambientais.

#### 4. CONCLUSÃO

As microbacias protegidas pelas RPPN, de maneira geral, apresentam características similares de atributos ambientais físicos, biológicos e antrópicos. As mesmas podem ser definidas em 3 unidades homogêneas, sendo uma destas mais representativa que as demais, pois 9 das 11 microbacias compõem esta unidade.

As 2 outras microbacias apresentam diferenças expressivas, sobretudo, pela grande área que possuem, por isso foram distinguidas na análise de agrupamento em 2 unidades homogêneas.

Estas unidades homogêneas representam a similaridade de respostas hidrológicas pelos ecossistemas, isto é, desempenho de serviços ambientais hidrológicos pelas microbacias protegidas por RPPN na bacia hidrográfica do rio São João.

Em programas de pagamentos por serviços ambientais que possam vir a operar na Mata Atlântica, sobretudo, aqueles com foco na região a barlavento da Serra do Mar, é possível monitorar o desempenho dos serviços dos ecossistemas a partir de uma amostragem em cada unidade homogênea identificada, de modo que os resultados obtidos poderão ser extrapolados para as demais dentro do grupo.

**CAPITULO III : MARCO TEÓRICO PARA PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS (PSAH) EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DA MATA ATLÂNTICA**



## RESUMO

Os sistemas de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) têm como princípio básico o reconhecimento de que os ecossistemas fornecem gratuitamente uma gama de bens e serviços que direta ou indiretamente beneficiam a sociedade. A possibilidade de esquemas futuros de PSA pode beneficiar unidades de conservação de maneira geral e contribuir para reverter o quadro de enfraquecimento institucional que se encontram. Os serviços ambientais hidrológicos se destacam em relação aos outros tipos de serviços pelo seu impacto direto no bem estar da sociedade, na produção agrícola e elétrica, bem como interfaces com outros serviços como conservação de solos e cobertura florestal. Entretanto, não há informação disponível sobre a relação causa/efeito entre o vasto espectro de uso e ocupação do solo e suas respostas hidrológicas e, ainda, tempo hábil para gerar esses resultados. Com isso, é necessário e possível gerar meios indiretos, práticos e de fácil aplicação para identificar e entender a magnitude dos serviços ambientais desempenhados por essas unidades de conservação, de maneira que possam ser, pelos menos até que se chegue a resultados diretos, utilizados como critérios em um marco teórico para esquemas de PSA. Neste contexto, foram gerados 4 índices que sistematizam e sintetizam informações ambientais e antrópicas, também em macro e micro-escalas, sobre as RPPN, as microbacias protegidas, as propriedades aos quais estão inseridas e a bacia do rio São João, que possibilitam a diferenciação da vocação hidrológica das RPPN. Os índices são: Índice de Preservação Permanente (IPP), Índice de Importância Hidrológica (IIH), Índice de Custo de Oportunidade (ICO) e Índice de Serviços Ambientais (ISA). Nesse sentido, considera-se que os referidos índices compõe um conjunto de ferramentas flexíveis que tem potencial de serem aplicadas como um marco teórico para priorização de recursos financeiros no âmbito de programas de pagamentos por serviços ambientais na bacia hidrográfica do rio São João, e até outras realidades, quando levado em consideração naturalmente às particularidades locais.

**Palavras chave:** pagamento por serviços ambientais, RPPN, Áreas de Preservação Permanente, custo de oportunidade, índices.

## ABSTRACT

Payments for Environmental Services (PSA) systems have as basic beginning the recognition that the ecosystems supply a range of goods and services gratuitously that direct or indirectly benefit the society. The possibility of future outlines of PSA can benefit conservation units in a general way and contribute to revert the picture of institutional weakness that they are found. The hidrological environmental services stand out in relation to the other types of services for their direct impact in the quality of life of the society, in the agricultural and electric production, as well with other services like conservation of soils and forest covering. However, there are no available informations on the relationship cause/effect among the vast spectrum of soil use and occupation and their hidrological answers and, still, skilled time to generate those results. With that, it is necessary and possible to generate indirect, practical and of easy application ways to identify and to understand the magnitude of the environmental services carried out by those conservation units, so that they can be, at least until it gets to direct results, used as criteria in a theoretical mark for outlines of PSA. In this context, 4 indexes that systematize and synthesize environmental and anthropical information were generated, also in macro and micro-scales, on RPPN, protected catchments, properties where they are inserted and São João watershed, that make possible the differentiation of RPPN's hidrological vocation. Indexes are: Permanent Preservation Index (IPP), Hydrological Importance Index (IIH), Cost of Opportunity Index (I HOIST) and Environmental Services Index (ISA). In that approaching, it is considered that referred indexes composes a group of flexible tools that has potential to be applied as a theoretical mark to priority financial resources in the extent of programs of payments for environmental services in the São João watershed, and even other realities, when taken into account naturally to the local particularities.

**Key word:** Payments for Environmental Services, RPPN, Permanent Preservation Area, Cost of Opportunity, Index.

## 1 INTRODUÇÃO

O conceito de serviços ambientais, também chamados de serviços ecossistêmicos, segundo De GROOT (1992), é definido como as interações e processos naturais que satisfazem e sustentam a vida humana.

Os sistemas de PSA têm como princípio básico o reconhecimento de que os ecossistemas fornecem gratuitamente uma gama de bens e serviços que direta ou indiretamente beneficiam a sociedade (GELUDA & YOUNG, 2005).

O pagamento por serviços ambientais (PSA) é um mecanismo de compensação flexível, direto e promissor, onde os provedores desses serviços são reconhecidos economicamente pelos beneficiários (FAO, 2004).

Os PSA em bacias hidrográficas normalmente envolvem a implantação de mecanismos de mercado para a compensação de proprietários de terras a montante da bacia, com o fim de manter ou modificar um uso particular do solo que afeta a disponibilidade e/ou qualidade dos recursos hídrico a jusante da mesma (FAO, 2004).

Em diversos países do mundo (EUA, França, Austrália, Índia, Indonésia, Filipinas - LLERENA, 2003) e mais destacadamente na América Latina e Caribe, a concepção de Pagamentos por Serviços Ambientais Hidrológicos (PSAH) têm sido discutida e até mesmo já sendo colocada em prática, destacando-se: Peru (LLERENA, 2003), Colômbia (Estrada e QUITERO, 2003), Bolívia (ROBERTSON e WUNDER, 2005), Equador (PSA-CABSA, 2005; ECHAVARRÍA, 2002), Chile e Honduras (MEJÍA e BARRANTES, 2003), Nicarágua e El Salvador (PÉREZ, 2003), Costa Rica (BARRANTES *et al.*, 2005; CAMACHO, 2003; BOLAÑOS, 2003; CORDERO, 2004; MALAVASI e KELLEMBERG, 2002), México (MANSON, 2004), República Dominicana, Guatemala (HERNANDEZ, 2003), Panamá e Brasil.

Os serviços ambientais hidrológicos se destacam em relação aos outros tipos de serviços pelo seu impacto direto no bem estar da sociedade, na produção agrícola e elétrica, bem como interfaces com outros serviços como conservação de solos e cobertura florestal (ESTRADA e QUITERO, 2003).

Segundo TOGNETTI *et al.* (2003), existem alguns motivos gerais que tem favorecido o crescente interesse pelas iniciativas de PSAH pelo mundo, sobretudo, na América Latina, quais sejam: i) as crescentes ameaças sobre ecossistemas, que tem aumentado a percepção da sociedade

sobre a importância desses ambientais para sua qualidade de vida; ii) a criação de incentivos econômicos para os usuários de terras localizadas a montante de bacias hidrográficas, para realizar esforços de conservação e assegurar o provimento de serviços ambientais dentro de bacias hidrográficas; iii) a existência de regulamentos inadequados que por si só pretendem assegurar o provimento de serviços ambientais dentro de bacias hidrográficas; iv) contribuir para a redução da pobreza e as desigualdades entre os contextos urbanos e rurais; v) criar fundos seguros para o manejo e proteção de áreas localizadas a montante de bacias hidrográficas.

A possibilidade de esquemas futuros de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) podem beneficiar as unidades de conservação de maneira geral e contribuir para reverter o quadro de enfraquecimento institucional que se encontram. A essência dessa abordagem é apresentada pela Lei Federal 9.985/00, através dos artigos 47 e 48 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que ainda precisam ser regulamentados para iniciar esse processo.

Art. 47 – *“O órgão ou empresa, público ou privado, responsável pelo **abastecimento de água**, ou que faça **uso de recursos hídricos**, **beneficiário da proteção** proporcionada por uma Unidade de Conservação, deve contribuir financeiramente para a proteção e implementação da unidade, de acordo com o disposto em regulamentação específica”*.

Art. 48 – *“O órgão ou empresa, público ou privado, responsável pela geração de **energia elétrica**, **beneficiário da proteção** proporcionada por uma Unidade de Conservação, deve contribuir financeiramente para a proteção e implementação da unidade, de acordo com o disposto em regulamentação específica”*.

Além disso, na Política Nacional de Biodiversidade (Decreto Federal nº 4.339/02 ), nos objetivos específicos do Componente 2 tem-se: *“promover e apoiar o desenvolvimento de mecanismos técnicos e econômicos para a implementação efetiva de UC”*.

Todavia, segundo YOUNG & GELUDA (2005), apesar desse potencial de provimento de serviços ambientais e contrapartida financeira, o que contribuiria para reverter as dificuldades funcionais devido à falta de recursos financeiros, as unidades de conservação não são contempladas por isso.

Os serviços ambientais providos por unidades de conservação em esquemas de PSA estão vinculados a restrição de uso e, por isso, a necessidade de reconhecimento econômico para cobrir os custos de oportunidade e proteção da área e conservação de seus ecossistemas (MAY & GELUDA, 2005).

Na bacia hidrográfica do rio São João encontra-se a Represa de Juturnaíba, que capta água gerada pelos setores a montante e abastece 10 municípios: Rio Bonito (parte), Silva Jardim, Casimiro de Abreu, Araruama, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio, Armação de Búzios, Iguaba Grande, Arraial do Cabo e Saquarema; através das empresas CEDAE, Águas de Juturnaíba, Prólogos e de Serviço Municipal Autônomo (BIDEGAIN e VOLCKER, 2003). Esses municípios compõem a denominação de Região dos Lagos ou Costa do Sol, que em finais de semana e feriados chegam a triplicar o número de habitantes. Ainda que esses serviços prestados pelos ecossistemas a montante sejam essenciais para o desenvolvimento sócio-econômico dessa região, pois todos os setores produtivos nela instalados também se beneficiam, não há instrumentos econômicos em vigência na bacia que destinem recursos para harmonizar a relação entre provedores (por exemplo: Reserva Biológica de Poço das Antas, Parque Estadual dos Três Picos, Área de Proteção Ambiental do Rio São João/Mico-Leão-Dourado e 10 RPPN) e beneficiários, ainda que na mesma já exista Comitê de Bacias, Consórcio Intermunicipal, Plano de Gestão da bacia e cobranças através de outorga de uso da água, além da Política Estadual de Recursos Hídricos.

A despeito da importância das RPPN, que estão localizadas a montante da bacia hidrográfica do rio São João e da Represa de Juturnaíba (ponto de captação de água para distribuição), em gerar externalidades positivas, ou seja, serviços ambientais, essas unidades de conservação não têm sido reconhecidas por isso e, ainda, submetidas aos infortúnios da biodiversidade, dentre os quais se destacam a pressão de caça, a ausência de apoio governamental e a falta de recursos financeiros para as atividades básicas de proteção e manejo (MELO *et al.*, 2004).

Para reconhecer economicamente os serviços ambientais hidrológicos desempenhados por determinadas propriedades, que é apenas um setor da paisagem, vasta literatura aponta que existe um “gargalo” quanto à questão da relação causa/efeito (PORRAS, 2003; PAGIOLA e PLATAIS, 2003; FAURÈS; 2003), isto é, uma determinada ação de manejo, como por exemplo criar uma

RPPN, gera que magnitude de serviços ambientais hidrológicos (quantidade e qualidade de água)?

A complexidade da ciência hidrológica sugere que para se chegar a esse tipo de resultado é preciso desencadear estudos científicos de longa duração com abordagem em bacias hidrográficas, pois a relação causa-efeito está relacionada a uma reticulada relação de atributos ambientais e ações de manejo, sendo necessário inclusive calibrar bacias hidrográficas para se ter dados precisos dessa relação. Além disso, necessariamente esses estudos devem estar focados na unidade básica de planejamento e monitoramento da quantidade e qualidade de água, a bacia hidrográfica (VALCARCEL, 1998).

Por outro lado, defende-se que não há tempo hábil para isso, pois os infortúnios da biodiversidade são cada vez maiores, como mostram (SILVA & PÁDUA, 2005; MIRANDA & ALENCAR, 2005; COHENCA, 2005) e a demanda por pagamentos de serviços ambientais crescentes (TOGNETTI *et al.*, 2003), diante da necessidade de se direcionar recursos financeiros para a efetivação das unidades de conservação.

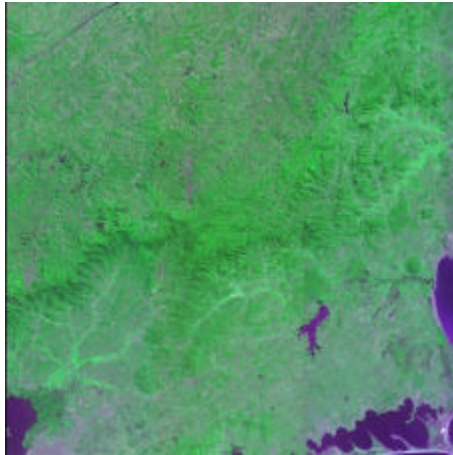
Entretanto, é possível buscar meios indiretos, práticos e de fácil aplicação para identificar esses serviços, de maneira que possam ser, pelos menos até que se chegue a resultados diretos da relação causa/efeito de uso do solo, utilizados como critérios em um marco teórico para esquemas de PSA. No caso específico das RPPN, é preciso conceber um marco teórico para Pagamentos por Serviços Ambientais através de variáveis que apontem, indiretamente, a magnitude dos serviços ambientais desempenhados por essas unidades de conservação, até que se chegue a valores concretos.

A escolha de se trabalhar com índices e com variáveis indiretas está relacionado ao fato de que os tomadores de decisão envolvidos no processo de pagamento por serviços ambientais precisam de ferramentas práticas e aplicáveis, exigências essas que são pouco apresentadas pela academia, como já mencionado, à luz do tempo de monitoramento necessário para se chegar a dados precisos de relação causa/efeito hidrológico de um vasto espectro de tipos de uso e ocupação do solo.

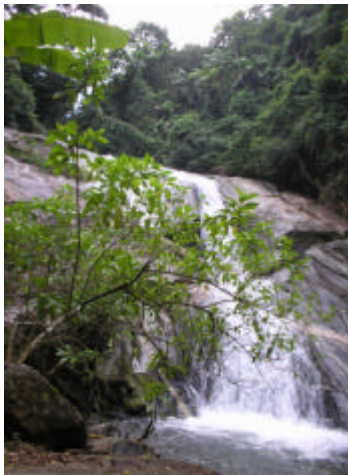
Por fim, segundo MAY & GELUDA (2005), para a implantação de PSA são necessários diversos pré-requisitos, tais como: (i) a disposição a pagar dos beneficiários; (ii) os custos de oportunidade e manutenção dos fornecedores; (iii) os custos de transação; (iv) as evidências científicas que estabelecem um elo contingente entre práticas adotadas e a geração de serviços;

(v) os sistemas de monitoramento bem desenvolvidos; (vi) os direitos de propriedade bem desenvolvidos; e (vii) a existência de apoio; entre outros. Mas esses mesmos autores destacam que é difícil que os esquemas de PSA sejam regradados por todos esses passos, ainda que sejam interessantes.

Este capítulo dá um passo nesse sentido, com objetivo de gerar um marco teórico para pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica.



**Figura 1:** Vista da Represa de Juturnaíba em imagem de satélite Landsat (INPE) e *in situ* a montante da Costa do Sol do Rio de Janeiro.



**Figura 2:** Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) a montante da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro.



**Figura 3:** Cenário ambiental a jusante da bacia hidrográfica do rio São João: foz do rio São João, contígua aos municípios de Cabo Frio (lado direito da foz) e Casimiro de Abreu (lado esquerdo da foz), e sua densidade demográfica (beneficiários de serviços ambientais hidrológicos providos a montante da bacia). Fonte: GALLIOTO (2002).



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A concepção metodológica deste capítulo está relacionada a elaboração de índices a partir das interfaces entre os resultados obtidos no capítulo I, que tem uma abordagem de macro-escala, mas também as microbacias estudadas no capítulo II e, ainda, as RPPN em si, estes últimos sob uma análise mais pontual.

Tais índices foram concebidos na tentativa de expressar, teórico e indiretamente, a magnitude do desempenho de serviços de caráter hidrológico provido pelas RPPN.

Com isso, espera-se sistematizar e sintetizar informações de maneira a facilitar as decisões no âmbito de programas de pagamentos em serviços ambientais em bacias hidrográficas, fundamentando a alocação de recursos financeiros aos provedores de serviços ambientais hidrológicos.

A esse contexto denominou-se marco teórico, pois não foram realizadas análises *in situ*, como aferições hidrológicas, pois ainda que essas informações sejam importantes para uma precisão da magnitude do serviço ambiental desempenhado, são de complexa mensuração e requerem tempo hábil para isso.

### 2.1 Índice de Preservação Permanente (IPP)

Este índice foi concebido para expressar a relação entre as Áreas de Preservação Permanente (ha) e área da maior microbacia protegida pela RPPN (ha), diante da afirmativa de que as APP's são locais essencialmente protegidos por desempenharem serviços ambientais, dentre os quais se destacam aqueles de caráter hidrológico, tais como proteção de encostas acima de 45°, margens de rios, nascentes e topo de morros; ou seja, áreas com vocação para recarga de aquíferos e manutenção de áreas úmidas.

Segundo a Resolução CONAMA nº 369 de 2006, as Áreas de Preservação Permanente são definidas como: *“bens de interesse nacional e espaços territoriais especialmente protegidos, cobertos ou não por vegetação, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”*.

As Áreas de Preservação Permanente foram demarcadas a partir de critérios apresentados pela Resolução Conama nº 369 de 2006, com uso do ArcView 3.2a.. Foram gerados layouts com a espacialização das APP's para cada microbacia.

$$\text{IPP} = \text{Área de APP nos domínios da RPPN} / \text{Área da RPPN}$$

Onde:

App = Área de APP nos domínios da RPPN

Arppn = Área da RPPN

Quanto mais próximo de 1 for o índice maior a vocação da área em prover serviços ambientais hidrológicos e, por isso, maior seu potencial em ser reconhecida economicamente em possíveis esquemas de PSAH que venham a ser implantado em bacias da Mata Atlântica.

## **2.2 Índice de Importância Hidrológica (IIH)**

O Índice de importância hidrológica (IIH) tem como essência a relação entre área de florestas conservadas protegidas legalmente, no caso pela RPPN, e área da microbacia.

O mesmo foi concebido a partir dos seguintes pressupostos: i) as florestas são relevantes para o processo de administração hidrológica em bacias hidrográficas, pois contribuem para a disponibilização lenta e gradual de água em quantidade e qualidade para atendimento das necessidades humanas e dos próprios ecossistemas; ii) as RPPN devem possuir no máximo 30% de sua área a ser recuperada, ou seja, essas UC's devem ter obrigatoriamente 70% de sua área coberta com florestas ou outros ecossistemas associados à Mata Atlântica (Decreto Federal 5.746/06); iii) uma RPPN instituída contribui expressivamente para a proteção de microbacias hidrográficas, pois se trata de uma garantia legal e perpétua para a conservação da cobertura florestal, que por sua vez influencia positivamente a relação infiltração/escoamento e a conseqüente perenização dos recursos hídricos.

Além desses pressupostos levou-se em consideração que a integridade dos ecossistemas é um fator positivo para que uma determinada área tenha potencializada sua capacidade de desempenhar serviços ambientais hidrológicos. Essa abordagem foi materializada na figura do

*Coefficiente de Conservação da Biodiversidade (Cb)*, que expressa a relação entre os estádios de sucessão ecológica existentes nas microbacias protegidas pelas RPPN.

A média ponderada foi feita da seguinte maneira:

$$(\% \text{ estágio inicial/pastagem} \cdot 1) + (\% \text{ estágio secundário} \cdot 2) + (\% \text{ estágio avançado} \cdot 3) / 6$$

**Tabela 1:** Pontuação do Coeficiente de Conservação da Biodiversidade (Cb) de acordo com o estágio de sucessão ecológica das microbacias protegidas pelas RPPN.

<b>Coeficiente de Conservação da Biodiversidade (Cb)</b>	<b>Média ponderada entre o percentual de área com estádios de sucessão ecológica</b>	<b>Predominância de estágio de sucessão ecológica</b>
1	> 40	avançado
0,6	> 25	secundário
0,3	< 25	inicial e/ou pastagem

$$IHH = (\text{Área da RPPN} / \text{Área da maior microbacia protegida pela RPPN}) \cdot Cb$$

Onde:

IHH - índice de importância hidrológica

Cb - coeficiente de conservação da biodiversidade

Quanto maior for o índice maior a vocação da RPPN e microbacia associada em prover serviços ambientais hidrológicos.

### **2.3 Índice de Custo de Oportunidade (ICO)**

No âmbito dos Programas de Pagamentos de Serviços Ambientais (PSA), o conceito de Custo de Oportunidade está relacionado ao fato de que o proprietário assume custos ao conservar uma determinada área florestal e, ainda, os custos de manutenção da mesma, quando talvez fosse possível converter essas atividades para aquelas de caráter produtivo. No âmbito do pagamento por serviços ambientais, o custo de oportunidade deve ser superado pelo pagamento por esses serviços, de modo que haverá uma transferência líquida de renda aos fornecedores dos serviços.

O Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771/65) dispõe que nos domínios da Mata Atlântica os proprietários rurais devem proteger, obrigatoriamente, 20% da área do imóvel com cobertura florestal. Por outro lado, as RPPN são criadas por ato voluntário de privados, cabendo a ele a escolha do tamanho da área a ser averbada com tal, perpetuamente. A relação entre o obrigatório e o voluntário é a essência do ICO, pois há casos de excedentes e há casos de déficit dos proprietários com o que a Lei impõe como obrigação. O proprietário que, além de proteger áreas perpétua, legal e voluntariamente, como é o caso da RPPN, mantém um excedente sobre suas obrigações, em relação as Reservas Legais, deve ser priorizado em esquemas de PSA, diante não só de seu ato nobre, mas também diante dos custos de oportunidade associados ao mesmo.

$$\text{ICO} = (\text{Área da RPPN} / \text{Área de Reserva Legal}) - 1$$

Quanto mais distante de 1 for o índice, positivamente, maior o excedente de área protegida tem o proprietário, maior o potencial de desempenho de serviços ambientais tem a área e maior o custo de oportunidade e manutenção tem o proprietário.

Cabe salientar que não necessariamente uma RPPN e uma Reserva Legal se sobrepõem, ainda que seja possível legalmente, e, com isso, é possível haver um excedente maior de florestas conservadas em uma propriedade caso isso aconteça, mudando o valor do ICO. Como não havia informações sobre as propriedades estudadas, como tamanho, local e existência de Reserva Legal averbada, e sim apenas sobre as RPPN, trabalhou-se com a hipótese de que só havia florestas na propriedade na área averbada como RPPN, ou seja, de que havia sobreposição entre RPPN e Reserva Legal.

## **2.4 Índice de Serviços Ambientais (ISA)**

Este índice foi concebido para sintetizar as informações dos índices descritos acima. Todavia, adicionou-se um coeficiente, qual seja, o *Coeficiente de Vocação Hidrológica*, que tem como essência a inserção as análises de informações em macro-escala, relacionados à bacia hidrográfica em estudo.

O valor do  $C_{vh}$  é obtido a partir da abordagem feita no primeiro Capítulo, que identificou áreas homogêneas (áreas tipo) a partir da oferta de atributos ambientais e capacidade de

desempenho de serviços ambientais hidrológicos na bacia hidrográfica do rio São João. Desta forma, as áreas tipo receberam pontuações gradativas de acordo com essa capacidade associada de desempenho desses serviços (Tabela 2).

**Tabela 2:** Áreas tipo e suas respectivas pontuações para compor o Índice de Serviços Ambientais Hidrológicos.

Área Tipo	Coefficiente de Vocação Hidrológica (Cvh)	Vocação hidrológica
1	1	extrema
2	0,8	alta
3	0,6	intermediária
4	0,5	intermediária
5	0,3	baixa
6	0,2	muito baixa
7	0,2	muito baixa

$$ISA = (IPP + IIH + ICO) \cdot Cvh$$

Onde:

ISA -  ndice de Serviços Ambientais

IPP -  ndice de Preserva o Permanente

ICO -  ndice de Custo de Oportunidade

Cvh = Coeficiente de Voca o Hidrológica

Quanto maior o ISA maior a prioridade tem o proprietário para reconhecimento econômico em programas de pagamentos por serviços ambientais hidrológicos.

### 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

As microbacias protegidas pelas RPPN da bacia hidrográfica do rio São João apresentam tamanho médio de 331 hectares, contudo, este elevado valor se deve ao fato de que 2 microbacias apresentam extensão que destoavam das demais: 2670 e 500 ha; exceto essas microbacias, o tamanho médio encontrado foi de 50,5 ha. A discussão sobre o tamanho dessas duas bacias foi abordada no capítulo II.

As áreas de Preserva o Permanente (APP) existentes nos domínios dessas microbacias têm área média de 88,13 ha, sendo a menor com 2,41 e a maior com 677,99 ha. Em ordem de tamanho de área, tem-se as seguintes tipologias de APP's: topo de morro (média de 20% da área

da microbacia), matas ciliares (média de 9,6%), nascentes (média de 3,7%) e encostas com mais de 45° de declividade (média de 3,6%).

Esses valores, naturalmente, geraram reflexos no Índice de Preservação Permanente (IPP) - Tabela 6, cuja média foi de 0,4, ou seja, pelo menos em média 40% das microbacias eram constituídas por áreas legalmente protegidas (Lei 4.771/65) para manutenção de desempenho de serviços ambientais hidrológicos, pois como já mencionado, essa é a essência da figura legal APP. O IPP variou de 0,18 a 0,66, mostrando que existem condições diversificadas de capacidade de desempenho de serviços ambientais, neste caso, tratando-se de uma abordagem fundamentada, sobretudo, na relação entre tamanho das microbacias e tamanho de APP's, com sugestão de priorização de reconhecimento econômico em esquemas de pagamentos por serviços ambientais na bacia do rio São João.

O Índice de Importância Hidrológica (IIH) apresentou uma grande variação, de 0,003 até 2,3, com média de 0,63. Como o IIH expressa a relação não só pontual entre o tamanho da microbacia e o tamanho das RPPN que a protege, mas também o estágio de conservação das florestas em seus domínios, através do Coeficiente de Biodiversidade (Cb), que na maioria dos casos, 5 deles, recebeu valor de 0,6, tem-se uma ferramenta potencial de ser utilizada como critério na definição de ações prioritárias no âmbito de esquemas de PSA.

Ocorre que o IIH aborda a importância dos ecossistemas florestais na manutenção do regime hidrológico de bacias hidrográficas, e, ainda, a sua integridade, que gera reflexos na sua capacidade de administrar lenta e gradualmente a água de precipitação pluviométrica para a sociedade. Ainda que o IIH represente uma análise indireta, a mesma é fundamentada no papel das florestas neste processo de desempenho de serviços ambientais hidrológicos, como abordam LIMA (1986), CICCIO *et al.* (1995), CICCIO & ARCOVA (1997), VALCARCEL (1998), RANZINI *et. al* (2004).

Cabe salientar que, como o epicentro dessa discussão é o serviço ambiental água, deve-se necessariamente lançar um olhar sobre o contexto das RPPN em relação as microbacias, e não somente nessas primeiras, sob a garantia legal - Decreto Federal 5.746/06 - de que pelo menos 70% da área de RPPN deve ser composta por florestas ou outra forma de vegetação original.

Neste contexto, cabe salientar alguns artigos do referido Decreto Federal:

*Art. 11. A RPPN poderá ser criada abrangendo até trinta por cento de áreas para a recuperação ambiental, com o limite máximo de mil hectares, a critério do órgão ambiental competente, observado o parecer técnico de vistoria.*

*§ 1º A eventual utilização de espécies exóticas preexistentes, quando do ato de criação da RPPN, deverá estar vinculada a projetos específicos de recuperação previstos e aprovados no plano de manejo.*

*§ 2º Os projetos de recuperação somente poderão utilizar espécies nativas dos ecossistemas onde está inserida a RPPN.*

*Art. 12. Não será criada RPPN em área já concedida para lavra mineira, ou onde já incida decreto de utilidade pública ou de interesse social incompatível com os seus objetivos.*

Uma outra abordagem de critério de suporte a esquemas de PSA é o índice de Custo de Oportunidade (ICO), que tem como concepção mostrar a relação entre a área excedente as suas obrigações, no que tange a proteção de 20% da área da propriedade como Reserva Legal (Lei 4.771/65 - Código Florestal Brasileiro), e a que o proprietário privado está protegendo voluntariamente. No âmbito de pagamento por serviços ambientais essa concepção fundamenta indiretamente e de forma sintética a magnitude dos custos financeiros que o proprietário tem para proteger e realizar a manutenção da unidade de conservação.

Nesse sentido, há casos em que as RPPN possuem  $ICO = 4$ , isto é, o valor de área legal e voluntariamente protegida excedente chega a 4 vezes mais às suas obrigações, isso porque não foram analisadas as demais áreas da propriedade que por ventura pudessem cumprir com a finalidade proposta pela Reserva Legal, o que aumentaria ainda mais o ICO. As RPPN que obtiveram valores negativos, como é o caso de uma delas, com  $ICO = -0,03$ , sinalizam déficit em relação as suas obrigações, contudo, de pouca expressão, quase nulos. De maneira geral, a média do ICO é de 1.1.

Neste caso, a interpretação é de que quanto mais excedente de área legalmente protegida existir maior será a prioridade das mesmas em serem reconhecidas economicamente por isso em esquemas de PSA.

O índice concebido para congrega todas as informações apresentadas acima, também sintetizadas em índices, é o Índice de Serviços Ambientais (ISA), que aborda não só questões pontuais da paisagem e domínio das microbacias e RPPN, mas também em macro-escala, através

do Coeficiente de Vocação Hidrológica (Cvh), cuja concepção está fundamentada nos resultados obtidos nas análises do Capítulo I, onde foram identificadas e espacializadas as denominadas Áreas Tipo.

As Áreas Tipo, interpretadas como unidades homogêneas de respostas hidrológicas, a partir dos atributos físicos, biológicos e antrópicos vigentes em cada setor da paisagem da bacia do rio São João, apresentam capacidade diferenciada de desempenho de serviços ambientais hidrológicos e, por isso, distinguem as microbacias protegidas pelas RPPN também nesse sentido. Essa análise em macro-escala deve necessariamente ser levada em consideração, pois há fenômenos ambientais que influenciam decisivamente a oferta de serviços ambientais, tornando determinadas áreas singulares para isso, como constatou-se para a bacia hidrográfica do rio São João Nesse sentido, foram encontrados valores para o ISA que variam de 0,1 a 4,2, com média de 1,3, o que novamente sugere a tomada de decisões prioritárias para PSA.

O uso de índices como maneira indireta para se entender o desempenho de serviços ambientais foi abordada por GOBBI *et al.* (2003) e também considerava informações secundárias e principais usos da terra.

ESTRADA *et al.* (2003) destaca que entre as principais debilidades para implementação de pagamentos por serviços ambientais está a falta de planejamento sistêmico e formulação de uma base teórica, fundamentada na situação ambiental e sócio-econômica atual, para priorização de ações. Então, a partir disso, esses autores conceberam uma metodologia baseada no potencial de geração de externalidades positivas de propriedades.

Notadamente, esse tipo de análise indireta tem como baluartes alguns “mitos” sobre a relação causa/efeito entre florestas e água (PUUSTJARVI, 2004), podendo muitas vezes gerar respostas equivocadas, mas, por outro lado, à luz da complexidade e interdependência e fatores ambientais e sócio-econômicos, a ciência hidrológica não apresentará todas as respostas, ainda que sejam mais precisas (TOGNETII *et al.*, 2003).

Além disso, não há dúvidas sobre o contraste existente entre o provimento de serviços ambientais de uma área coberta com florestas, como recarga de aquíferos, e uma área com pastagens, e, conseqüentemente, a necessidade de reconhecer economicamente quem protege essas primeiras (HOFSTEDE, 2003; TOGNETII *et al.*, 2003; LLERENA, 2003), sobretudo, legalmente.



A existência de um regime legal de proteção sobre uma área de floresta, principalmente quando se trata de uma RPPN, que é uma unidade de conservação de proteção integral, onde são permitidas apenas atividades de uso indireto dos recursos naturais, é um fator determinante para que essas propriedades sejam contempladas em esquemas de PSA, pois garantem de quem é o direito de propriedade da área e, ainda, a tendência de uso da terra para fins conservacionistas, que por sua vez sugere a perenização do provimento dos serviços ambientais hidrológicos.

Os índices apresentados podem ser utilizados em sistemas de monitoramento que consideram a evolução de uso e ocupação do solo da área analisada, utilizando, por exemplo, o Coeficiente de Biodiversidade (Cb), que recebe valores a partir do nível de integridade do ecossistema que gera reflexos no índice de Importância Hidrológica (IIH). O próprio índice de Preservação Permanente (IPP) pode levar em consideração a existência ou não da área conservada e sua integridade, gerando um coeficiente associado a essa informação, quando em análises focadas em propriedades, pois no caso de RPPN essa é uma premissa básica.

Um outro fator que deve se destacar é que tais índices podem ser utilizados não só para microbacias e RPPN, mas também para a área da propriedade, sendo necessário apenas sofrer ajustes, já que os esquemas de PSA em sua maioria têm abordagem relacionada a essa última.

Essas abordagens naturalmente não irão consubstanciar em sua plenitude um marco teórico para pagamento por serviços ambientais hidrológicos, mas podem contribuir para dar mais um passo em direção ao mesmo, à luz das experiências de muitos países da América Latina e Caribe. Trata-se de uma discussão que deve ser internalizada principalmente pelos comitês de bacias hidrográficas, aproveitando inclusive o fato de a cobrança de água já estar operando em muitas delas, como é o caso da própria bacia do São João. Esses recursos podem ser parcialmente destinados a esquemas de PSA, naturalmente de maneira estratégica e criteriosa, tornando o reconhecimento econômico às boas práticas de uso do solo em um instrumento de manejo de bacias.

A bacia do rio São João, a despeito de sua grande área, tem aspectos positivos que podem contribuir para implementação de PSA, como: i) localização estratégica para o desenvolvimento sócio-econômico da Costa do Sol do Estado do RJ, o que pode aumentar a sensação da sociedade a jusante da bacia como beneficiários; ii) empresa de distribuição de água privada operando sob concessão, podendo ser uma agenciadora desse processo ou até mesmo fomentar o mesmo; iii) consórcio intermunicipal instituído, que pode supervisionar todo o processo; iv) comitê de bacias

criado, que pode agir como órgão coordenador; vi) cobrança pelo uso da água através de outorga operando, que pode destinar parte dos recursos para PSA; v) Plano de Gestão da bacia elaborado; e vi) Unidades de Conservação públicas (3) e privadas (10) a montante do reservatório, passíveis de serem utilizadas como projetos piloto, ainda que os artigos 47 e 48 do SNUC não estejam regulamentados.

Por fim, para se chegar a magnitude de recursos financeiros que serão alocados a cada unidade de conservação, os resultados encontrados devem ser analisados sob o ponto de vista econômico. Esses recursos certamente serão uma fonte adicional de renda aos proprietários de RPPN em questão, sendo uma forma de ressarcir os custos gerados pelas necessidades básicas de proteção e manejo da reserva.

**Tabela 3:** Parâmetros e índices das microbacias protegidas pelas RPPN da bacia hidrográfica do rio São João, Rio de Janeiro.

Microbacias	Área da propriedade (ha)	Área RPPN (ha)	Área da mbh (ha)	Área total de APP (ha)	% da RPPN com APP				IPP	IIH	ICO	Cvh	ISA	Cobertura vegetal das microbacias (%)			média ponderada cobertura vegetal	Cb
					ciliar	morro	nasc.	>45						inicial/pastagem	secundária	avançada		
<b>Santa Fé</b>	33,6	14,31	172	58,92	13,26	15,87	2,72	2,38	0,34	0,05	1,13	0,6	0,9	19,29	78,05	0	29,2	0,6
<b>C.GDE D</b>	14	14	3,64	2,41	4,95	29,95	21,43	9,89	0,66	2,3	4,00	0,6	4,2	35,6	64,4	0	27,4	0,6
<b>Lençóis</b>	66,22	12,82	23,17	4,74	0,00	17,91	0,00	2,55	0,20	0,6	-0,03	0,6	0,4	0	0	100	50,0	1
<b>Quero-quero</b>	58,8	16	2670	677,99	6,12	15,63	0,29	3,34	0,25	0,00	0,36	0,20	0,1	5,25	91,59	2,09	32,5	0,60
<b>A. Vertentes</b>	23,77	11,5	44,51	18,72	14,38	23,34	1,75	2,43	0,42	0,3	1,04	0,6	1,0	0	0	100	50,0	1,0
<b>Taquaral</b>	57,8	17	10,43	5,95	21,86	26,85	7,48	0,86	0,57	1,6	0,47	0,6	1,6	0	0	100	50,0	1
<b>Serra Grande</b>	245,5	108	500,53	136,36	10,05	12,62	0,78	3,80	0,27	0,1	1,20	1,0	1,6	23,22	55,37	21,1	32,9	0,6
<b>Boa esperança</b>	144,9	77,88	66,93	19,61	0,00	26,28	0,00	3,02	0,29	1,2	1,69	0,6	1,9	3,47	0	96,53	48,8	1
<b>Iguape</b>	203,3	49	33,62	15,29	12,55	24,36	2,32	6,25	0,45	0,4	0,21	0,6	0,7	98,95	0,17	0,86	17,0	0,3
<b>C. GDE 1</b>	50,23	10	23,72	10,75	21,12	19,22	3,29	1,69	0,45	0,1	0,00	0,6	0,3	81,23	17,96	0	19,5	0,3
<b>C. GDE 2</b>	94,97	58	103,41	18,78	1,44	12,29	0,75	3,67	0,18	0,3	2,05	0,6	1,5	9,68	93,39	0	32,7	0,6
<b>MÉDIA</b>	<b>90,3</b>	<b>35,31</b>	<b>332</b>	<b>88,13</b>	<b>9,6</b>	<b>20,4</b>	<b>3,7</b>	<b>3,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,64</b>	<b>1,1</b>	<b>0,6</b>	<b>1,3</b>	<b>25,15</b>	<b>36,44</b>	<b>38,23</b>	<b>35,45</b>	<b>0,7</b>

IPP- Índice de Preservação Permanente; IIH- Índice de Importância Hidrológica; ICO- índice de Custo de Oportunidade; Cvh- Coeficiente de Vocação Hidrológica; ISA- Índice de Serviços Ambientais; Cb- Coeficiente de Biodiversidade.

#### **4. CONCLUSÃO**

Os índices apresentados foram concebidos levando em consideração as interfaces entre os diversos atributos ambientais, físicos, biológicos, antrópicos e legais, considerando ainda a ocorrência de fenômenos hidrometeorológicos dinâmicos que distinguem a capacidade de desempenho de serviços ambientais na bacia. Foram considerados ainda alguns aspectos que, quando existentes, contribuem para a implementação de esquemas de PSA, como é o caso do direito de propriedade, garantido pelo fato de ter sido escolhido trabalhar com as RPPN, as obrigações legais do proprietário, em relação à percentagem da área a ser conservada como Reserva Legal, e a necessidade de se ter uma ferramenta de monitoramento, que foi materializado na figura de coeficientes.

Nesse sentido, considera-se que os referidos índices compõe um conjunto de ferramentas flexíveis que tem potencial de serem aplicadas como um marco teórico para priorização de recursos financeiros no âmbito de programas de pagamentos por serviços ambientais na bacia hidrográfica do rio São João, e até outras realidades, quando levado em consideração naturalmente às particularidades locais.

## CONCLUSÃO GERAL

Foram identificadas, descritas e espacializadas na bacia hidrográfica do rio São João sete Áreas Tipo, isto é, unidades homogêneas, que, de acordo com a oferta de atributos físicos, biológicos e antrópicos aos quais estão submetidos os diferentes setores da paisagem da bacia, sugerem capacidade diferenciada de desempenho de serviços ambientais hidrológicos. A partir dessa análise em macro-escala foi possível identificar áreas prioritárias para estratégias e ações executivas de pagamentos por serviços ambientais, no âmbito do manejo da bacia hidrográfica.

Os resultados obtidos mostram que na bacia hidrográfica do rio São João a presença da Serra do Mar influencia decisivamente a vocação hidrológica de alguns setores de sua paisagem, diante do fenômeno de orografia. Como essa serra se estende do litoral norte Paranaense até o norte fluminense, sugere-se que a concepção utilizada pode ser extrapolada para as demais áreas a barlavento da mesma.

Sob uma análise específica das RPPN e as microbacias que protege, constatou-se que a partir de suas características físicas, biológicas e antrópicas, tais unidades de conservação podem ser agrupadas por similaridade em 3 grupos, ou seja, 3 tipos de unidades de respostas hidrológicas, onde os resultados do monitoramento de serviços ambientais hidrológicos encontrados em uma microbacia de cada grupo podem ser extrapolados para as demais.

Ainda sob o ponto de vista específico das microbacias protegidas pelas RPPN, a própria RPPN e a propriedade em que está inserida, foram concebidos 4 índices que expressam de maneira relativa e indireta a vocação para o desempenho de serviços ambientais hidrológicos dessas áreas.

A concepção utilizada, que compila, sistematiza e sintetiza as informações ambientais e antrópicas em macro e micro-escala, conforma-se como um potencial marco teórico para pagamentos por serviços ambientais de prática aplicação pelos seus gestores, podendo ainda ser utilizada por comitês de bacias em ações executivas e empresas direta e indiretamente beneficiárias de unidades de conservação públicas e privadas a montante, como é ocorre na bacia hidrográfica do rio São João.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDERMAN, C. L. The economics and the role of privately-owned lands used for nature tourism, education and conservation. In: Munasinghe, M; McNeely, J. eds. Protected areas, economic and policy: linking conservation and sustainable development. World Bank / IUCN, 1994. 1994. p.273-317.

ALMEIDA, F. F. M. de; CARNEIRO, C. R. Origem e evolução da serra do mar. Revista Brasileira de Geociências 28(2):135-150, 1998.

ALVARENGA, M.I.N. & BUENO de PAULA, M. Planejamento conservacionista em microbacias. Informe Agropecuário, Minas Gerais, V.21, n. 207. 2000. p.55 – 64.

ALVES, J.M.P. & CA S T R O, P.T.A.. 2003. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. Revista Brasileira de Geociências 33(2):117-124.

ARCOVA, F.C.S.; CICCÒ, V. de. 1997. Características de deflúvio de duas microbacias hidrográficas no laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha-SP. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, 9(2):153-170.

ARCOVA, F.C.S.; CICCÒ,V.de; 1997. Características do deflúvio de duas microbacias no laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha - SP. Revista Instituto Florestal. São Paulo, 9(2): 153-170.

BARBOZA, R. S. Interceptação Vertical na serra do Mar do Rio de Janeiro, Nova Friburgo-RJ. Seropédica: UFRRJ, 2004. 47p. (Monografia de término de graduação).

BARRANTES, G., JIMÉNEZ, L. Y MALDONADO, T. Disponibilidad del recurso hídrico y sus implicaciones para el desarrollo en Costa Rica. Informe final: Undécimo informe sobre el Estado de la nación en desarrollo Humano sostenible. Consejo Nacional de Rectores y La defensoría de los habitantes. Costa Rica.

BENIGNO, E.; SAUNDERS, C.; WASSERMAN, J. C. 2003. Estudo dos Efeitos da Renaturalização no Regime Hídrico do Baixo Curso do Rio São João (Departamento de Análise Geoambiental e PGCA - UFF). Consórcio Intermunicipal Lagos São João Fundo Mundial para Natureza (WWF).

BIDEGAIN, P.; VOLCKER, C.M. Bacia Hidrográfica do Rio São João e das Ostras: ÁGUAS, Terras e Conservação Ambiental. Rio de Janeiro: Consórcio Intermunicipal para gestão das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos, Rio São João e Zona Costeira. 2003. 177 p.

BOLAÑOS, J. D. 2003. Programa de recuperación y conservación de microcuencas (procuencas) en la provincia de heredia, costa rica. Anais: III Congreso Latinoamericanode Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru.

BRASIL, 2002. Decreto Federal Nº 4.339 de 22 de agosto de 2002. Institui princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade.

BRASIL. Decreto Federal nº 5.746/06, de 5 de abril de 2006. Regulamenta o art. 21 da Lei no. 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

BRASIL. Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. 2 ed. Aum. Brasília: MMA/SBF. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 303 de 13/05/2002 b. Brasília. Define áreas de preservação permanente.

CALDAS, A. J. F. da S. Geoprocessamento e análise ambiental para determinação de corredores de hábitat na Serra da Concórdia, Vale do Paraíba - RJ. 2006. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

CHRISTOFOLETTI A. 1969. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*, 9(18):35-64.

COELHO, G. Considerações sobre o Manejo Hidrológico da Mata Atlântica. 1998.136f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

COSTA, C.M.R. 2006. Potencial para implantação de incentivos às RPPN. Belo Horizonte. Conservação Internacional, Fundação SOS Mata Atlântica, The Nature Conservancy. RPPN Mata Atlântica. N.2. 80p.

CPRM. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro, Caracterização hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.

CUNHA, S.B. Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João, Rio de Janeiro, Brasil. 1995. 415p. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa (Dissertação de Doutorado em Geografia Física).

DIGGELEN, R. Van.; GROOTJANS, Ab. P.; HARRIS, J.A. 2001. Ecological Restoration: state of the art or state of the science? *Restoration Ecology*. Vol. 9, n. 2, pp.115-118.

DE GROOT, R. S. 2005. Function of the Nature. Evaluation of Nature in Environmental planning Management and Decision Making. do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SLNCS, 1980.

DOBSON, A.P.; BRADSHAW, A.J.M.B. 1997. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science*. V.277, p. 515-522.

- ECHAVARRIA, M. y VOGEL, J.H. 2002. Impact Assessment of Watershed Ecodecisión-IIED, Quito, 61pp.
- EDWARDS, P.J. & ABIVARDI, C. The value of biodiversity: where ecology and economy blend. *Biological Conservation*. Elsevier Science Ltd. V.83, N. 33. 1998. p. 239 – 246.
- CHURCHMAN, C. W. The systems approach. A Delta Book. 1979. *Environmental Services: Emerging Lessons from Pimanpiro and Cuenca in Ecuador*,
- ESTRADA, R.D.; QUITERO, M. 2003. Propuesta metodologica para el analise de cuenca: una alternativa para corregir las deficiencias detectadas en la implementacion del pago por servicios ambientales. Anais: III Congreso Latinoamericanode Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. 2003. *Sistemas de pagos por servicios ambientales en cuencas hidrográficas*. Foro Regional, Arequipa, Peru.
- FAURÈS, J. Relaciones Tierra-Agua en Cuencas Hidrográficas – Implicaciones para Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Apresentado no Terceiro Congresso Latinoamericanode Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru, 9-12 Junho 2003.
- FREITAS R.O. 1952. *Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica*. São Paulo, Boletim Paulista de Geografia. 11:53-57.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & PREFEITURA MUNICIPAL DE PARATI. 2004. *Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Cairuçu – MMA/Ibama*.
- GELUDA, L; YONUG, C.E.F. 2005. Pagamentos por serviços ecossistêmicos previstos na Lei do SNUC - Teoria, potencialidades e relevância. Simpósio de Áreas Protegidas no âmbito do Cone Sul, Pelotas, RS. P.572-579.
- GENZ, F. Caracterização hidrológica da mudança do uso do solo em vertentes: mata x cultivo. *In: 4º Simpósio Internacional Sobre Ecossistemas Florestais. Volume de resumos...* 20 – 22, 415 p. 1996.
- GREGORY, K.L.; WALLING, D.E. *Drainage Basin Form and Process: a geomorphological approach*. London, Edward Arnold, 1985. 458p.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. *In: NETTO, A. L. C. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos/organização*. Rio de Janeiro. 1994.
- GUNDERSON, L.H. 2000. Ecological Resilience - In Theory and application. *Ecological System*, 31:425-439.



HERNANDEZ, O., COBOS, C., ORTIZ, A. MENDEZ, J.C. Valoración Económica del servicio ambiental de regulación hídrica del Lado Sur de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, Guatemala. Apresentado no Terceiro Congresso Latinoamericanode Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru, 9-12 Junho 2003.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E & DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, cap.1. 2002.

HOFSTEDE, R. 2003. Gestión de servicios ambientales y manejo de áreas naturales en cuencas andinas. Anais: III Congreso Latinoamericanode Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru.

HORTON R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*. 56(3):275-370.

HUSTON, M.; DE ANGELIS, D.; POST, W. New computer models unify ecological theory. *Bioscience*, 38: 682-691. 1988.

IBGE. Cartas topográficas vetoriais escala 1:50.000. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em out. 2005.

IRMÃO, J.JM. 2000. Análise Multivariada aplicada no estudo da modernização da agricultura alagoana - 1970 a 1985. PRODEMA UFAL. 20p.

JR, C. J.; and HECKMAN, J.R. 1996. RESTORATION ECOLOGY: THE STATE OF AN EMERGING FIELD. *Revista Energy Environmental*. 21:167-89.

JUNIOR, C.O.J; DIAS, H.C.T. 2005. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, V.29, n.1, p.9-15.

KATILA, M.; and PUUSTJARVI. 2004. Mercados para los servicios medioambientales forestales: realidad y potencial. *Unasylva* 219, Vol.55. p. 53-58.

LANGHOLZ, J. 1996. Economics, objectives and success of private nature reserves in Sub-Saharan África and Latin América. *Conservation Biology* 10(1):270-280.

LEES, A. Innovative partners: the value of nongovernment organizations in establishing and managing protected areas. In: McNeely, J. A. ed. *Expanding partnerships in conservation*. USA, IUCN. 1995. p.188-196.

LIMA W. de P. Princípios de Hidrologia Florestal para o Manejo de Bacias Hidrográficas. Piracicaba: Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 242p. 1986.

LLERENA, C.A. 2003. Servicios Ambientales de Las Cuencas y Producción de Agua, Conceptos, Valoración, Experiencias y Sus Posibilidades de Aplicación en el Peru. Anais: III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru.

MAGNUSSON, W.E. & MOURÃO, G.M. 2003. Estatística sem matemática: a ligação entre as questões e as análises. Ed. Planta. Londrina. 126p.

MANSON, R. H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1), 2004:3-20.

MARQUES, O. 2004. Atributos Ambientais definidores de resiliência em microbacias instáveis na região de Guaratiba, Rio de Janeiro. 85p. Monografia (término de curso de graduação em Engenharia Florestal). UFRuralRJ. Seropédica, Rio de Janeiro.

MAY, P.H; GELUDA, L. 2005. Pagamentos para serviços ambientais no âmbito do Projeto "Florestas para a vida". 34p.

MEJIA, M.A.; BARRANTES, G. 2003. Experiência de pago por servicios ambientales (PSA) de la junta municipal de água, Del município de Campamento, Honduras. Programa de agricultura sostenible em laderas de América Central, Corredor Biológico Mesoamericano.

MELO, A. L. 2004. Reservas Particulares do Patrimônio Natural em Silva Jardim, Rio de Janeiro: perfil e características do manejo. 105p. Monografia (término de curso de graduação em Engenharia Florestal). UFRuralRJ. Seropédica, Rio de Janeiro.

MELO, A. L.; VALCARCEL, R.; MESQUITA, C.A.B. 2004. Reservas Particulares do Patrimônio Natural em Silva Jardim, Rio de Janeiro: perfil e características do manejo. Anais... IV CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. Curitiba: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza: Rede Nacional Pró-Unidades de Conservação. p.570-579.

MELO, A. L. 2007. Serviços Ambientais Hidrológicos Desempenhados por Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) da Mata Atlântica: Marco Teórico para Pagamentos por Serviços Ambientais. Anais... V CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. Foz do Iguaçu: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza: Rede Nacional Pró-Unidades de Conservação.

MELO, A.L.; MOTTA, P.C.S. 2006. Biodiversidade, Serviços Ambientais e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) na Mata Atlântica. Simpósio de Áreas Naturais Protegidas e Inclusão Social. Programa Eicos/UFRJ.

MESQUITA, C.A.B. 1999. Caracterización de las reservas naturales privadas em América Latina. 80p. Dissertação (Mestrado em Conservação da Biodiversidade). CATIE. Turrialba, Costa Rica.

MORSELLO, C. 2001. Áreas Protegidas Públicas e Privadas: seleção e manejo. São Paulo: Ed. Annablume: FAPESP. 344p.

NALON, M. A., VELLARDI, A. C. V. Estudo do balanço hídrico nas escarpas da serra do mar, região de Cubatão, SP. Revista do Instituto Florestal, v. 5, n.1, p.39-58, 1993.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: SUPREN: IBGE, 421p. 1979.

ODUM, E.P. Ecologia. Rio de Janeiro. Ed. Guanabara Koogan S.A. 1988. 434p.

OLIVEIRA, R. R.; ZAU, A. S.; LIMA, D. F.; SIVA, M. B. R.; VIANNA, M. C.; SODRÉ, D. O. & SAMPAIO, P. D. Significado ecológico da orientação de encostas no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Oecologia Brasiliensis, [s.l.] v. 1, 1995, p 523-524.

OTTONI NETTO, T. B. – Fundamento de engenharia ambiental com ênfase em recursos hídricos. Perenização e regularização fluvial. 1993. 232p.

OTTONI, A.B. Ações Sanitárias e Ambientais em Bacias Hidrográficas: Preceitos Básicos. 1996. 307p. Dissertação de Mestrado. Escola Nacional de Saúde Pública – ENSP/FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz – Ministério da Saúde. Rio de Janeiro.

PAGIOLA, S. e PLATAIS, G. Pagos por servicios ambientales. Anais: III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru, 9-12 Junho 2003.

PÉREZ, C. Pagos por servicios hidrológicos al nível municipal y su Impacto em el desarrollo rural: la experiencia del PASOLAC - Programa de agricultura sostenible en laderas de America Central. Anais: III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru.

PETERSON, G.; ALLEN, C.R.; and HOLING, C.S. 1998. Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale. Ecosystems 1:6-18.

PHILLIPSON, J. Ecologia energética. São Paulo: Ed. Nacional. 1977.

PINHEIRO, C. A. de A. Dinamismo dos processos erosivos em fontes pontuais de emissão de sedimentos para a baía de Sepetiba (Dissertação de Mestrado). Seropédica. Estado do Rio de Janeiro. UFRRJ. 2004.

PIRES, J. S. R.; PIRES, A. M. Z. C. R. & SANTOS, J. E. Avaliação da integridade ecológica em bacias hidrográficas. In: Faces da Polissemia da Paisagem: ecologia, planejamento e percepção. Org. SANTOS, J. E.; CAVALHEIRO, F.; PIRES, J. S. R.; HENKEOLIVEIRA, C & RODRIGUES-PIRES, A. M. Z. C. São Carlos: RiMa, 2004. p 123-150.

PORRAS, I.T. Valorando los servicios Ambientales de Protección de Cuencas: consideraciones metodológicas. Anais: III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru, 9-12 Junho 2003.

PRIMARK, R.B.; RODRIGUES, E. 2001. Biologia da Conservação. Londrina. 328p.

PSA-CABSA. Experiencias de servicios ambientales en países de Centroamérica y del Cono Sur. Comisión Nacional Forestal, México, 2005.

RANZINI, M.; RIGHETO, A.M.; LIMA, W.P; GUANDIQUE, M.E.G; ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V. 2004. Processos hidrológicos de uma microbacia com Mata Atlântica, na região da Serra do Mar, SP. *Scientia Forestalis*, n. 66, p. 108-119.

RIZZI, N. Avaliação do benefício florestal de proteção à potabilidade natural das águas para abastecimento da região metropolitana de Curitiba. 1981. 127f. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR.

ROCHA, C.F.D.; BERGALLO, H.G. ALVES, M.A.S.; SLUYS, M.V.. 2003. A biodiversidade nos grandes remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro e nas restingas da mata atlântica. São Carlos. Ed. RIMA. 160P.

ROSA, A.R., Critérios para seleção de microbacias experimentais: Bacia da Baía de Sepetiba, RJ. UFRRJ. Rio de Janeiro, 1995. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RYLANDS, A.B.; BRANDON, K. 2005. Brazilian Protected Áreas. *Conservation Biology*. *Conservation Biology*. Vol. 19, n. 3, June. p. 612-618.

SANT'ANNA, E.M. Estudo Geomorfológico da área de Barra de São João e Morro de São João. *Revista Brasileira de Geografia*. v. 6, n. 4. p.-3-15. 1975.

SANTOS, J.E.; NOGUEIRA, F; PIRES, J.S.R.; OBARA,A.T.; and PIRES, A.M.Z.C.R. 2001. The value of the ecological station of Jataí's ecosystem services and natural capital. *Revista Brasileira de Biologia*, 61(2):171-190.

SAUNDERS, C.A.B. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São João-RJ, visando à renaturalização do Canal Aldeia Velha. 2003. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal Fluminense.

SCHUMM S.A. 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. *Geological Society of America Bulletin*. 74(9):1089-1100.

SEMADS - SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. 2001. Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses: Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental. Rio de Janeiro. 73p. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto PLANÁGUA/SEMADS/GTZ.

SILVA, M. The Brazilian Protected Áreas Program. *Conservation Biology*. Vol. 19, n. 3, June. p. 608-611. 2005.

SPOLIDORO, M. L. C. V. Fatores ambientais que afetam a distribuição e frequência de capinzais na Serra de Madureira – Mendanha-RJ. Seropédica: UFRRJ, (Monografia de Especialização), 1998. 59 p.

TABARELLI, M.; PINTO, L.P.; SILVA, J.M.C.; HIROTA, M.; BEDÊ, L. Challenges and Opportunities for Biodiversity Conservation in the Brazilian Atlantic Forest. *Conservation Biology*. Vol. 19, n. 3, June. p. 695-700. 2005.

THEULEN, V.; MILANO, M.; NUNES, M de L. Country reports, Brazil. In: *Legal tools and incentives for private lands conservation in Latin America: building models for success*. Environmental Law Institute. Washington DC. 2003. p.61-77.

TOGNETTI, S.S., MENDOZA, G., SOUTHGATE, D., AYLWARD, B., GARCIA, L. Evaluación de la efectividad de pagos para servicios ambientales en las cuencas hidrológicas. Anais: III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru, 9-12 Junho 2003.

TOGNETTI, S.S., MENDOZA, G., SOUTHGATE, D., AYLWARD, B., GARCIA, L. Guía para el desarrollo de opciones de pago por servicios ambientales (PSA) de las cuencas hidrológicas. Departamento de Ambiente del Banco Mundial.

TONHASCA, A. 2004. Os serviços ecológicos da Mata Atlântica. *Revista Ciência Hoje*, vol. 35, n. 205. p. 64- 65.

UFRRJ. 1987. Diagnóstico Conservacionista do Sistema Light-Cedae. UFRRJ - Seropédica, RJ. 264p.

VALCARCEL, R. 1985. Balanço hídrico no ecossistema florestal e sua importância conservacionista na região ocidental dos Andes venezuelanos. *In: Seminário Sobre Atualidades e Perspectivas Florestais – A influência das Florestas no Manejo de Bacias Hidrográficas.. Anais*. Curitiba.

VALCARCEL, R. Estudios de los procesos erosivos en una microcuenca: Zona central de España-Puebla de Vallés. (Guadalajara). Madrid. ETSI de Montes. 1989. (Tese de Doutorado) em Engenharia de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 302p.

VALCARCEL, R.; NENATARVIS, E.; NENATARVIS, V.; PONTES, P.; ARAUJO DA SILVA, W.; MARQUES, O.; NEVES, L.G. 2000. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas das Eclusas de Tucuruí. 101p.

VALCARCEL, R.; SILVA, Z.S. 1998. Eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica. *Floresta e Ambiente*, V.4, n.1. p 68-80.

VILLELA, S.M. & MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill, 1975.

VIVAS, L.(1975). Significado Hidrológico de las Variables Físico-Geográficas en una Cuenca Representativa con Especial Referencia a Suelos y Formas de Relieve. ULA. Merida, Venezuela. 41 p.

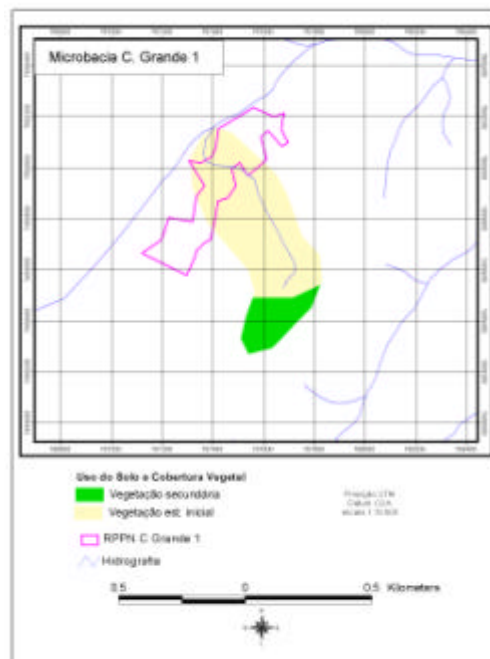
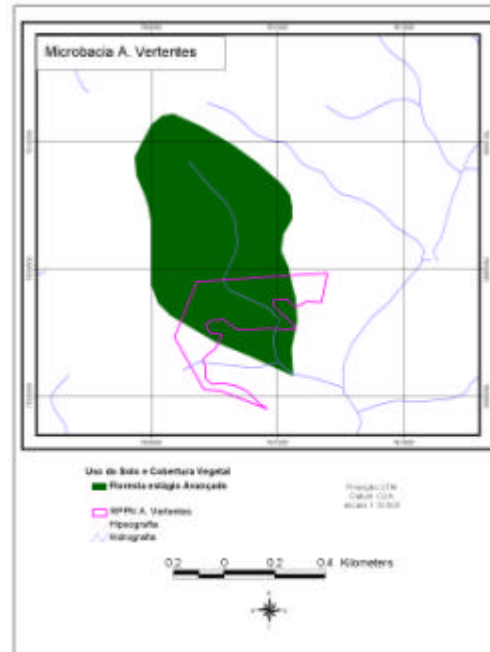
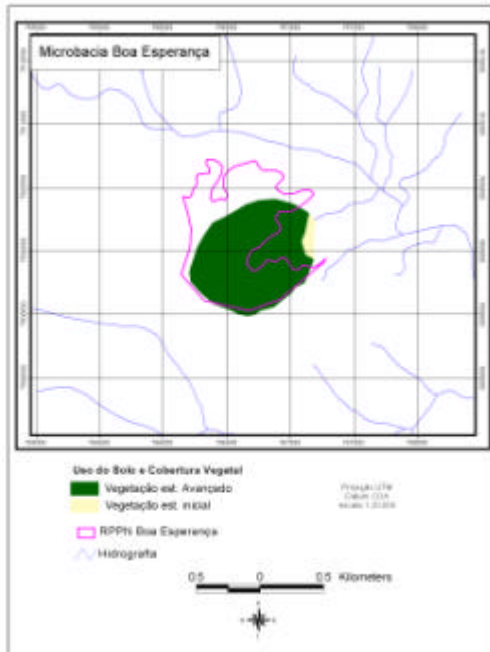
VREUGDENHIL, D. 2004. Manejo de Áreas Naturais Protegidas: necessidades de integração entre a biodiversidade e aspectos sociais. In: Revista Brasileira de Conservação da Natureza. Fundação O Boticário de Proteção à Natureza. 11-18.

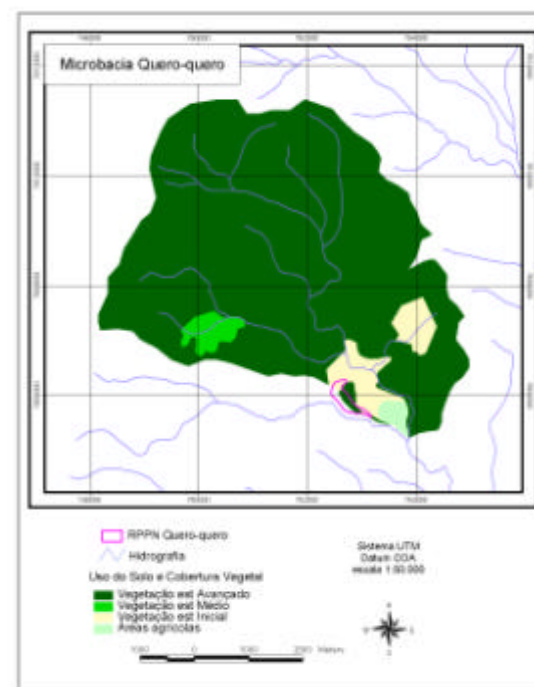
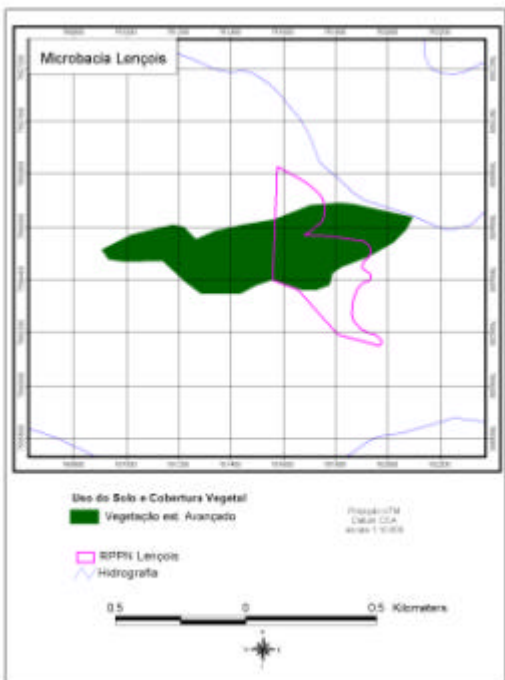
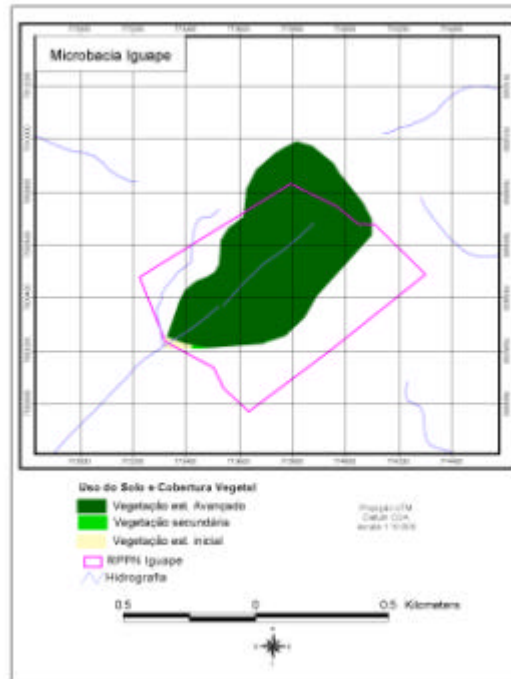
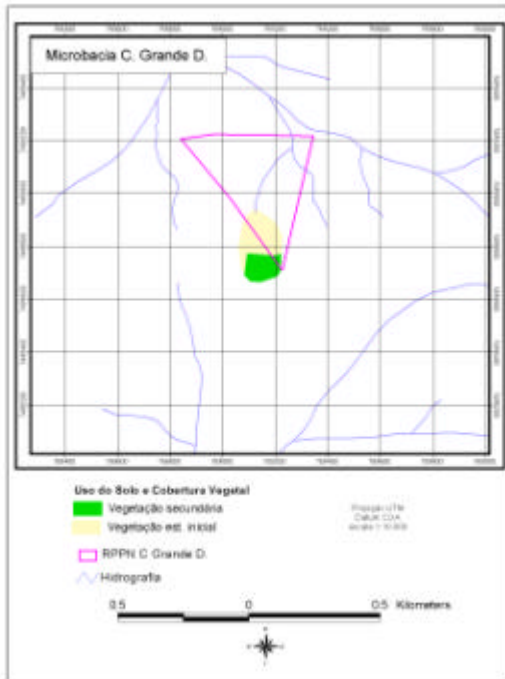
ZAÚ, A.S. 1994. Cobertura Vegetal: transformações e resultantes microclimáticos e hidrológicas superficiais na vertente norte do Morro do Sumaré, Parque Nacional da Tijuca, RJ, (Dissertação). UFRJ/IG.RJ. 179p.

Zernitz E.R. 1932. Drainage patterns and their significance. J. Geology, 40:498-521.

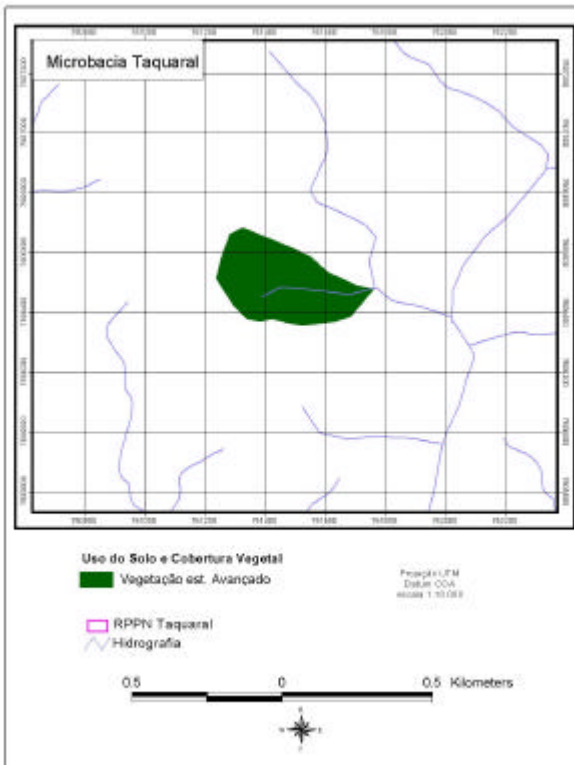
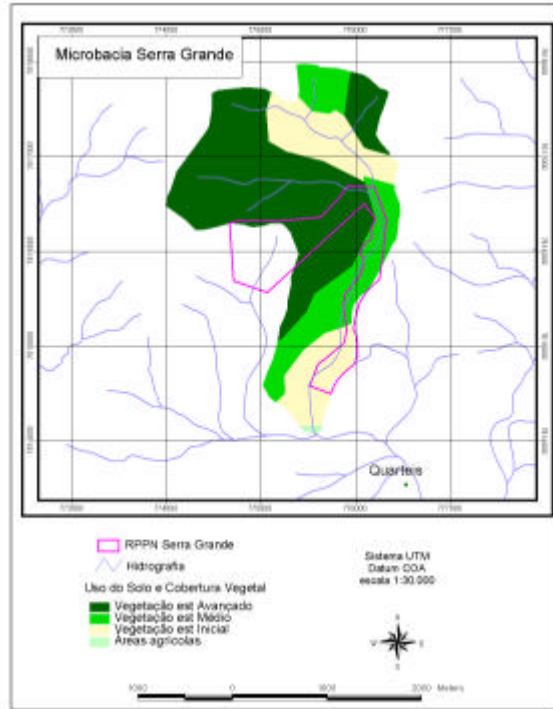
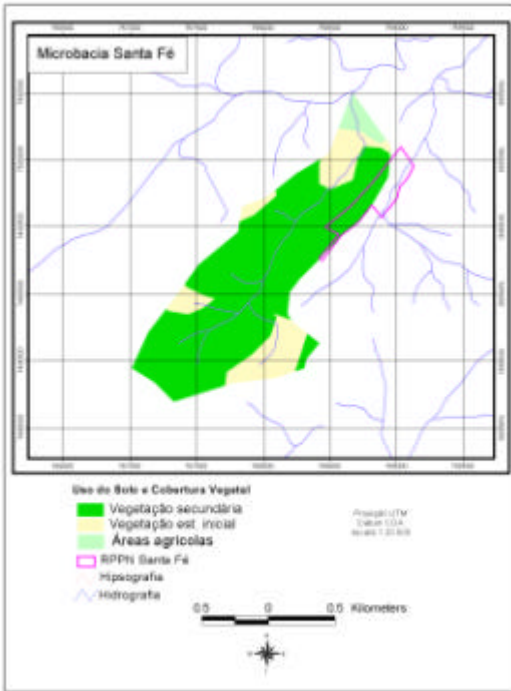
## ANEXOS

Anexo II-1: (limites das microbacias e RPPN sobre mapa de cobertura vegetal)









ANEXO III-1 - Microbacias protegidas por RPPN com suas respectivas APP's

