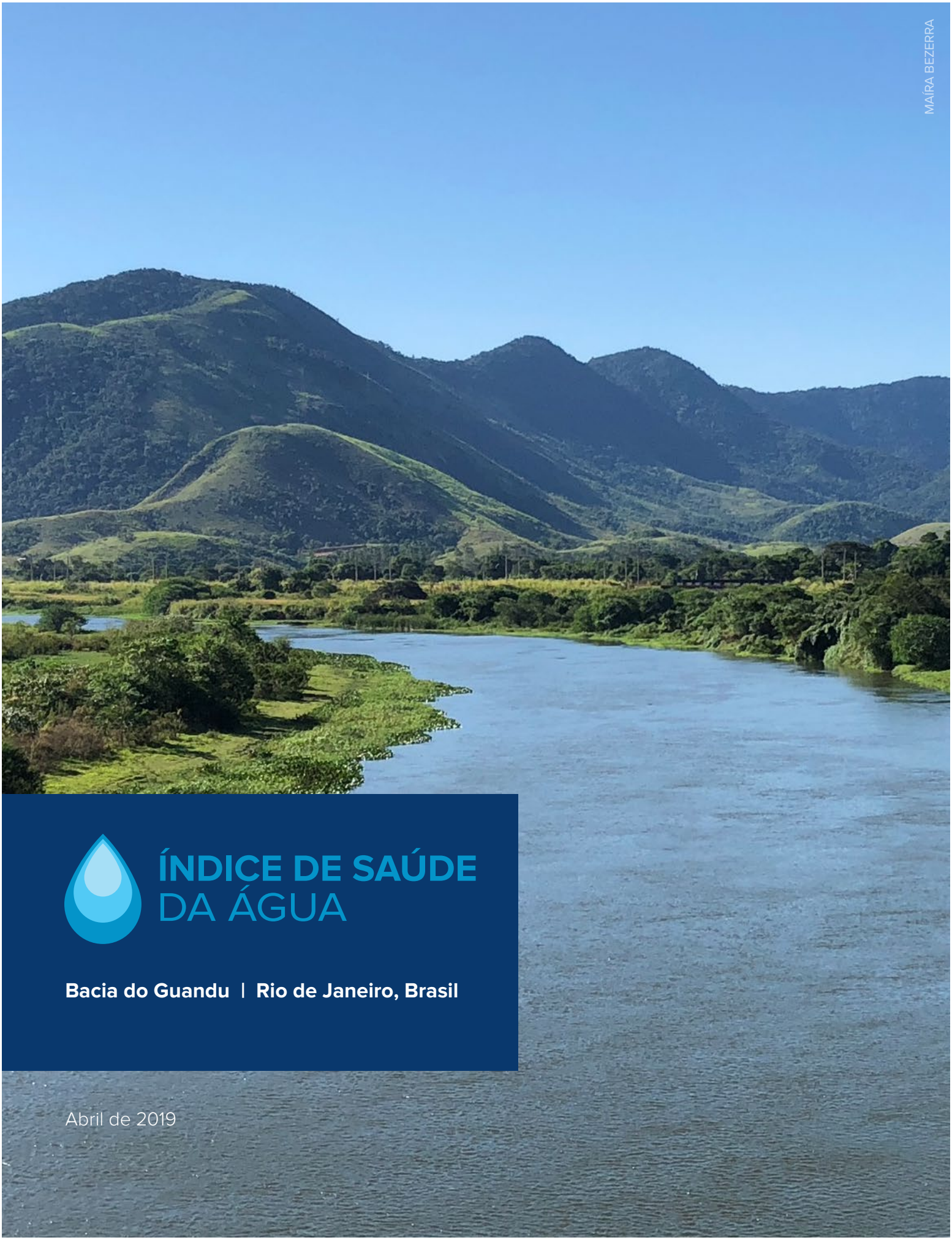


MAÍRA BEZERRA

ÍNDICE DE SAÚDE DA ÁGUA

Bacia do Guandu | Rio de Janeiro, Brasil

Abril de 2019

REALIZAÇÃO:

CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL Brasil

EM COLABORAÇÃO COM:

NED NÚCLEO ESTRATÉGICO DE DECISIONES

FINANCIAMENTO:

Centro del Agua para América Latina y el Caribe

FUNDACIÓN FEMSA

Tecnológico de Monterrey

BID Banco Interamericano de Desarrollo

CO-FINANCIAMENTO:

經綸慈善基金有限公司
VICTOR AND WILLIAM FUNG FOUNDATION LTD

AGRADECIMIENTOS

Esse trabalho foi possível pela criação do Índice de Saúde da Água no âmbito do programa global da Conservação Internacional para Água Doce, pelo financiamento e colaboração do Núcleo Estratégico de Decisões e do Centro de Água para América Latina e Caribe (cujos fundos provém do Banco Interamericano de Desenvolvimento, da Fundação FEMSA e do Tecnológico de Monterrey) e pelo envolvimento das equipes técnicas da Conservação Internacional dos Estados Unidos, Peru, Colômbia e Brasil.

As parcerias institucionais no Brasil com o Comitê Guandu-RJ, AGEVAP, MPRJ e FIRJAN também foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

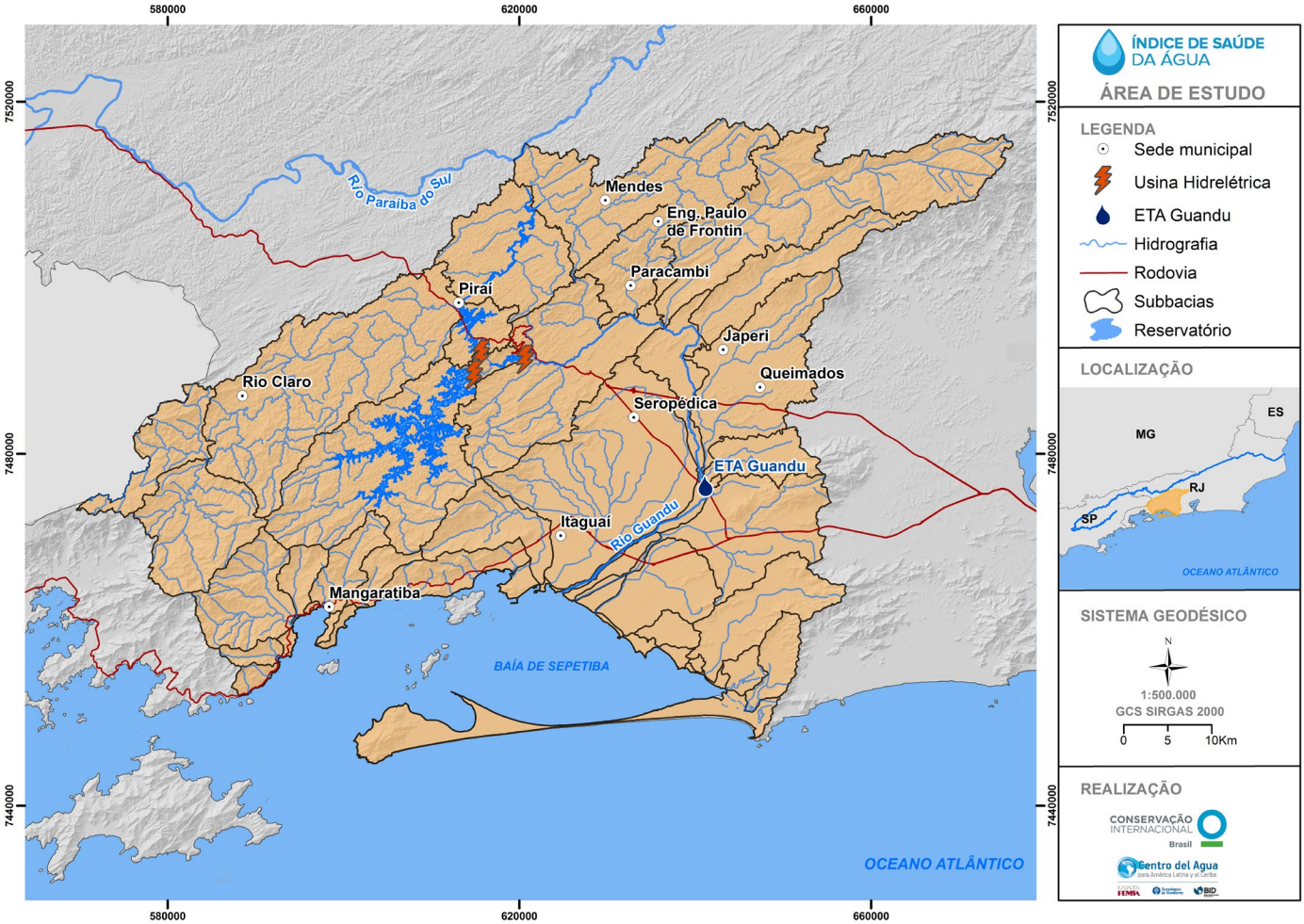
Agradecimentos especiais a todos os participantes dos encontros do projeto, que contribuíram com a pesquisa de percepção, validação dos resultados e comentários valiosos sobre as principais questões da Bacia do Guandu.

SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO
1. RESULTADOS PRINCIPAIS
2. CONCLUSÕES E PRÓXIMAS ETAPAS
PARTE I: AVALIAÇÃO DA LINHA DE BASE
1. INTRODUÇÃO
2. VITALIDADE DO ECOSSISTEMA
2.1 Quantidade de Água
2.1.1 Desvio do Regime Natural da Vazão
2.1.2 Esgotamento de Água Subterrânea
2.2 Qualidade da Água
2.2.1 Índice de Qualidade da Água
2.3 Condição da Bacia de Drenagem
2.3.1 Modificação da Margem
2.3.2 Conectividade de Fluxos
2.3.3 Naturalidade da Cobertura do Solo
2.4 Biodiversidade
2.4.1 Espécies de Interesse
2.4.2 Espécies Exóticas
3. SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS
3.1 Provisão
3.1.1 Confiabilidade do Fornecimento de Água Relativo à Demanda
3.1.2 Biomassa para Consumo
3.2 Regulação e Suporte
3.2.1 Regulação de Sedimento
3.2.2 Regulação da Qualidade da Água
3.2.3 Regulação de Doenças
3.2.4 Regulação de Inundações
3.3 Cultural
3.3.1 Conservação e Patrimônio Cultural
3.3.2 Recreação
4. GOVERNANÇA E PARTES INTERESSADAS
4.1 Ambiente Favorável
4.1.1 Estrutura para o Manejo da Bacia
4.1.2 Regras para o Uso dos Recursos
4.1.3 Incentivos e Regulações
4.1.4 Capacidade Técnica
4.1.5 Capacidade Financeira
4.2 Compromisso das Partes Interessadas
4.2.1 Informação e Conhecimento
4.2.2 Participação nos Processos de Tomada de Decisões
4.3 Efetividade
4.3.1 Execução e Conformidade
4.3.2 Distribuição de Benefícios dos Serviços Ecossistêmicos
4.3.3 Conflito Relacionado à Água
4.4 Visão e Governança Adaptativa
4.4.1 Mecanismos de Monitoramento
4.4.2 Planejamento Integral e Gerenciamento Adaptativo

5. CONCLUSÃO
PARTE II: CÉNARIOS FUTUROS
1. CENÁRIOS FUTUROS DE MUDANÇA DE USO DA TERRA
2. CENÁRIOS FUTUROS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
PARTE III: MODELO HIDROLÓGICO
PARTE IV: INDICADORES PARA O FUTURO
APÊNDICE PARTE I: MÉTODOS PARA O CÁLCULO DOS INDICADORES
APÊNDICE II: MÉTODOS PARA OS CENÁRIOS FUTUROS
APÊNDICE PARTE III: MÉTODO PARA O MODELO HIDROLÓGICO & MÉTODOS PARA PROJEÇÕES DOS EFEITOS DOS CENÁRIOS FUTUROS NA DISPONBILIDADE HÍDRICA
BIBLIOGRAFIA

BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS GUANDU, DA GUARDA E GUANDU MIRIM



SUMÁRIO EXECUTIVO

A Bacia Hidrográfica dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim - Região Hidrográfica II (RH II), referida aqui como Bacia do Guandu, tem importância para o abastecimento de 9 milhões de pessoas e para o funcionamento de grandes indústrias, termoelétricas e hidrelétricas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. O atendimento da demanda desses setores somente é possível pela transposição das águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Recentemente, no entanto, a região vivenciou um forte período de seca, resultando em sérios conflitos pelo uso da água desse rio entre os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo (PROFILL, 2017). Considerando as demandas crescentes por água e as possíveis recorrências de eventos climáticos extremos no futuro, o Índice de Saúde da Água foi aplicado na Bacia do Guandu para avaliar sua saúde em três componentes – Vitalidade do Ecossistema, Serviços Ecossistêmicos e Governança e Partes Interessadas – e subsidiar os processos participativos de tomada de decisão sobre o uso do território, permitindo que os gestores compreendam as sinergias e trade-offs para diferentes cenários futuros.

Para ajudar os tomadores de decisão a avaliar os trade-offs e estabelecer prioridades para a Bacia do Guandu, os cenários futuros desenvolvidos incluíram uso da terra e mudanças climáticas. Especificamente, avaliações foram feitas sobre os possíveis efeitos sobre a disponibilidade de água e os indicadores do Índice de Saúde da Água. Isso é importante para explorar opções e desenvolver planos mais sólidos em face às incertezas.

RESULTADOS PRINCIPAIS

- O componente de Serviços Ecossistêmicos apresentou a maior pontuação (74), indicando que os benefícios esperados da Bacia do Guandu pelas pessoas estão sendo fornecidos. A provisão de água foi o serviço considerado mais importante pelas partes interessadas consultadas em relação aos serviços de regulação e serviços culturais. Nesse componente, o subindicador Confiabilidade do Fornecimento de Água Relativo à Demanda apresentou quase pontuação máxima. Esses resultados demonstram a importância da Bacia do Guandu como fonte de água para sua população residente e para a população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, como também para um dos princiais polos industriais do Estado do Rio de Janeiro.
- O componente de Vitalidade do Ecossistema apresentou pontuação bastante inferior (42) em relação ao componente de Serviços Ecossistêmicos, sugerindo que o ecossistema se encontra degradado e que em breve o fornecimento dos serviços esperados pode ser afetado. O subindicador de Desvio do Regime Natural de Vazão apresentou a menor pontuação dentre todos os avaliados (4), indicando que os fluxos na Bacia do Guandu estão quase completamente alterados por construções como barragens, reservatórios e túneis que recebem as águas transferidas, com o objetivo de atender as demandas dos diversos setores. O subindicador de Qualidade da Água também apresentou pontuação muito baixa (31), refletindo a poluição dos corpos hídricos por esgoto doméstico e industrial.
- Governança e Partes Interessadas foi o componente mais preocupante (26) e o aumento dessa pontuação deve ser prioridade para os gestores de recursos hídricos, principalmente considerando as demandas crescentes por água e as mudanças climáticas que podem gerar sérios conflitos entre atores. Nesse componente, Mecanismos de Monitoramento foi avaliado como o pior subindicador, demonstrando a preocupação pelas partes interessadas em relação a ausência de dados sobre a Bacia do Guandu. Assim, a ampliação da rede de monitoramento é considerada urgente para o fornecimento de informações ainda básicas e necessárias para o melhor manejo dos recursos hídrico da Bacia do Guandu.
- Cenários futuros podem ajudar a identificar contrapartidas (trade-offs) potenciais que partes interessadas enfrentarão com mudanças climáticas e manejo dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. Ambos cenários de mudanças climáticas (RCP 4.5 e RCP 8.5) devem levar a redução da disponibilidade de água nas sub-bacias da porção Norte e Nordeste e aumento da disponibilidade de água nas sub-bacias da porção Sudoeste. Ambos os cenários de mudanças de uso da terra (BAU e Zoneamento) devem levar a aumentos da disponibilidade de água, principalmente nas sub-bacias afetadas pela expansão urbana.

- Essas mudanças na disponibilidade de água em função de cenários futuros têm implicações sobre todos os atributos que constituem a saúde da bacia hidrográfica. Por exemplo, a qualidade da água é um atributo que deve ser influenciado significativamente se o padrão de uso da terra for mantido.

CONCLUSÕES E PRÓXIMAS ETAPAS

Os resultados da avalição da linha de base do Índice de Saúde da Água encontrados condizem com a realidade da Bacia do Guandu. A maior pontuação de Serviços Ecossistêmicos em relação ao componente de Vitalidade do Ecossistema indica que os benefícios esperados estão sendo fornecidos às custas da integridade do ecossistema da bacia. O serviço ecossistêmico mais esperado e considerado mais importante da bacia é de provisão de água, que somente é possível pela transposição de mais da metade das águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul, no município de Barra do Piraí. No entanto, a pontuação baixa do componente de Governança e Partes Interessadas indica que os gestores dos recursos hídricos podem não estar preparados para os possíveis conflitos pelo uso da água nos cenários futuros de maior demanda e mudanças climáticas, levando em consideração a fragilidade do sistema de governança da Bacia do Guandu. Para que a saúde da água nessas três dimensões continue sendo monitorada e seu progresso acompanhado ao longo do tempo, é fundamental que as partes interessadas sejam capacitadas para as realizações dessas avaliações e o índice repetido a cada três anos. Ademais, a ampliação das avaliações da saúde das águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul e da Bacia da Baía de Guanabara pode trazer grandes contribuições para o aumento da segurança hídrica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

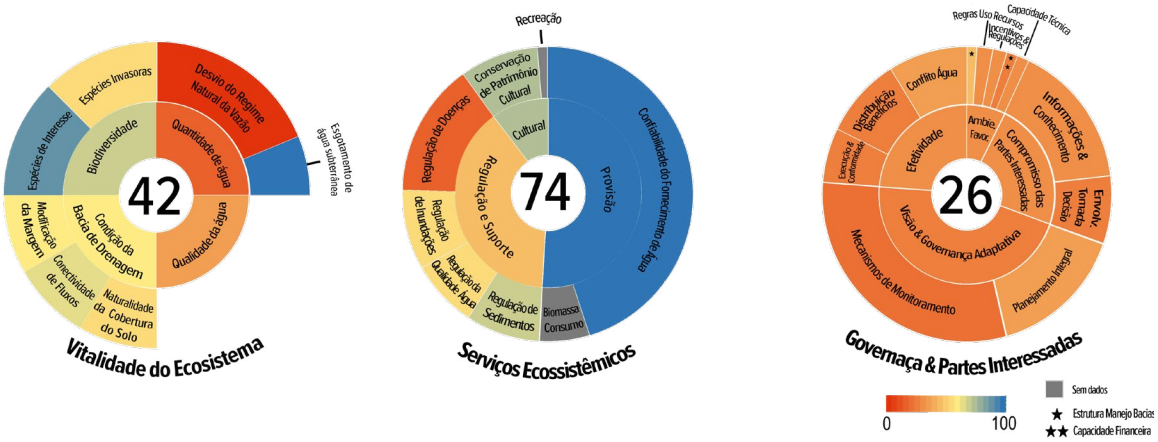


Figura 1. Linha de base do Índice de Saúde da Água.

PARTE 1

AVALIAÇÃO DA LINHA DE BASE

1. INTRODUÇÃO

A Bacia dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim, abrange 15 municípios, compreendendo uma área total de 3.816 km^2. Os municípios de Engenheiro Paulo de Frontin, Itaguaí, Japeri, Mangaratiba, Paracambi, Queimados e Seropédica estão totalmente inseridos na bacia, enquanto que os municípios de Barra do Piraí, Mendes, Miguel Pereira, Nova Iguaçu, Piraí, Rio Claro, Rio de Janeiro e Vassouras estão parcialmente inseridos. Além dessas três bacias principais, a Região Hidrográfica II é composta por outras bacias litorâneas que drenam suas águas para a Baía de Sepetiba. O rio Guandu se forma a partir da confluência do rio Ribeirão das Lajes com o rio Santana e seu curso final, retificado, leva o nome de canal do São Francisco (PROFILL, 2017).

A Bacia do Guandu tem uma característica peculiar, pois a maior parte de seu volume de água tem origem da transposição de 120 m^3/s do Rio Paraíba do Sul para o abastecimento da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, funcionamento de hidrelétricas e termoelétricas e o processo produtivo de várias indústrias de destaque nacional (FILHO et al., 2012). A transposição ocorre pela Estação Elevatório de Santa Cecília, no município de Barra do Piraí, onde o Rio Paraíba do Sul cede cerca de 60% de suas águas. Outra importante transferência de vazão ocorre no rio Piraí (originalmente pertencente a Bacia do Rio Paraíba do Sul) que cede quase toda sua vazão do seu curso superior ao rio Guandu. É importante ressaltar, no entanto, que cerca de 90% da água captada na Bacia do Guandu é consumida fora dela, na Bacia da Baía de Guanabara, o que, juntamente com os problemas da própria bacia, torna sua gestão muito complexa (ANA & SONDOTÉCNICA, 2016).

Apesar da sua importância, a Bacia do Guandu apresenta problemas recorrentes como lançamento in natura de esgotamento doméstico, expansão abrupta e irregular das áreas urbanas, desmatamento das matas ciliares, lançamento de resíduos industriais, extração mineral, principalmente de areia, e gestão ambiental ineficiente. No Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia do Guandu (ANA & SONDOTÉCNICA, 2016), foram identificados vários desafios que deveriam ser enfrentados relacionados ao gerenciamento dos recursos hídricos e que ainda são atuais como a falta de saneamento básico em muitos municípios, que afeta a qualidade das águas, principalmente, em áreas próximas à captação da Estação de Tratamento de Água do Guandu (ETA Guandu), responsável pelo abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ); a operação do Complexo Hidrelétrico de Lajes que acarreta na intrusão salina no canal de São Francisco; e a integração da bacia com a bacia do Rio Paraíba do Sul.

2. VITALIDADE DO ECOSSISTEMA

O componente Vitalidade do Ecossistema do Índice de Saúde da Água mede a integridade e o funcionamento dos ecossistemas (riachos, rios, zonas úmidas e florestas) dentro da bacia. Ecossistemas saudáveis são essenciais para fornecer água limpa, peixes, proteção contra inundações e uma variedade de outros benefícios dos quais as pessoas dependem. Os quatro principais indicadores dentro do componente de Vitalidade do Ecossistema medem: quantidade de água, qualidade da água, condição da bacia e biodiversidade. Os dados para avaliação desse componente na Bacia do Guandu provêm principalmente de fontes governamentais oficiais e são apresentados ao nível da sub-bacia, para mostrar como as pontuações dos subindicadores variam espacialmente.

Combinando os quatro principais indicadores, a Bacia do Guandu recebe uma pontuação de 42 para a Vitalidade do Ecossistema. Isso sugere uma saúde baixa do ecossistema, mas, como os resultados detalhados indicam, alguns indicadores são melhores do que outros (Tabela 1). Como mencionado, a Bacia do Guandu é responsável pelo abastecimento d e água de 9 milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e isso somente é possível pela transposição das águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul, o que acabou resultando em grandes obras de intervenção dos cursos de água, como barragens e reservatórios. Por esse motivo, alguns indicadores não podem melhorar significativamente sem comprometer o abastecimento de água dessas pessoas, além de várias cadeias produtivas. É importante ressaltar que, diferentemente dos outros

componentes, o componente de Vitalidade do Ecossistema não recebeu pesos para seus diferentes indicadores, pelo entendimento de que eles representam características inerentes ao ambiente ou ecossistema, não sendo passíveis de preferências pelas partes interessadas.

2.1. **Quantidade de Água**

O indicador Quantidade de Água mede a quantidade e o fluxo de água dentro da bacia, incluindo águas superficiais e subterrâneas. Os ecossistemas dependem dos padrões sazonais da água na bacia e, em muitos lugares, as pessoas também dependem das flutuações sazonais na quantidade de água. Mudar esse padrão natural é muitas vezes uma consequência, por exemplo, da construção de barragens para regular períodos de inundações e secas, que é uma compensação para o atendimento de necessidades humanas. No entanto, essas alterações também podem ter consequências negativas para a biodiversidade aquática e para as comunidades que dependem de um padrão de fluxo natural como, por exemplo, para a pesca. **A quantidade de água é medida através dos subindicadores de Desvio do Fluxo Natural e Esgotamento da Água Subterrânea. A Bacia do Guandu tem uma pontuação de 19 para o indicador de Quantidade de Água, sendo o indicador mais problemático dentro do componente de Vitalidade do Ecossistema.**

2.1.1 **Desvio do Regime Natural da Vazão**

O Desvio do Regime Natural de Vazão mede o grau em que as vazões atuais mudaram em relação às vazões naturais históricas. Reservatórios, agricultura e mudanças no uso do solo podem afetar o regime e volume dos fluxos superficiais, que, consequentemente, afetam os organismos aquáticos e os serviços ecossistêmicos nas porções inferiores da bacia. Tradicionalmente, o manejo dos recursos hídricos está voltado para suavização da variabilidade sazonal como, por exemplo, para reduzir os danos das inundações ou assegurar fornecimento de água mais adequado, e por isso a alteração do regime das condições naturais pode ser necessária para atender a demanda de algumas comunidades.

No caso da Bacia do Guandu, as alterações das vazões naturais estiveram diretamente relacionadas com as demandas cada vez maiores de água durante o crescimento da cidade do Rio de Janeiro. A construção do Reservatório de Lajes, nos municípios de Rio Claro e Piraí, teve como objetivo o abastecimento público após geração de energia elétrica pela Usina Hidrelétrica de Fontes Velha. No entanto, para que isso fosse possível, realizaram a primeira transposição da Bacia do Rio Paraíba do Sul para Bacia do Guandu com a construção do Reservatório de Tocos no Alto do Rio Piraí e um túnel que desviava suas águas para o Reservatório de Lajes. Posteriormente, transpuseram as águas do próprio Rio Paraíba do Sul através da construção de uma série de barragens e elevatórias ao longo do rio Piraí, invertendo o sentido do seu curso. Essas intervenções permitiram a construção de mais duas usinas hidrelétricas e uma estação de tratamento de água que passou a captar água diretamente do rio Guandu para abastecimento de água da RMRJ. O Reservatório de Lajes possui uma capacidade de 443,5 hm^3, compondo o maior complexo hidrelétrico do Estado do Rio de Janeiro.

O Desvio do Regime Natural da Vazão recebeu uma pontuação de 4 para a Bacia do Guandu, o que indica quase completo afastamento das vazões atuais em relação as vazões naturais. Essa pontuação reflete as intervenções, principalmente inversão do fluxo, ao longo do Rio Piraí e o recebimento das águas transpostas ao longo do Rio Guandu. Além disso, incorpora também as pequenas pontuações das Bacias do Rio da Guarda e Guandu-Mirim e outras, cujos recursos hídricos foram manejados para controlar inundações.
É consenso entre as partes interessadas que esse indicador dificilmente será melhorado, pois afetaria o abastecimento de milhões de pessoas.

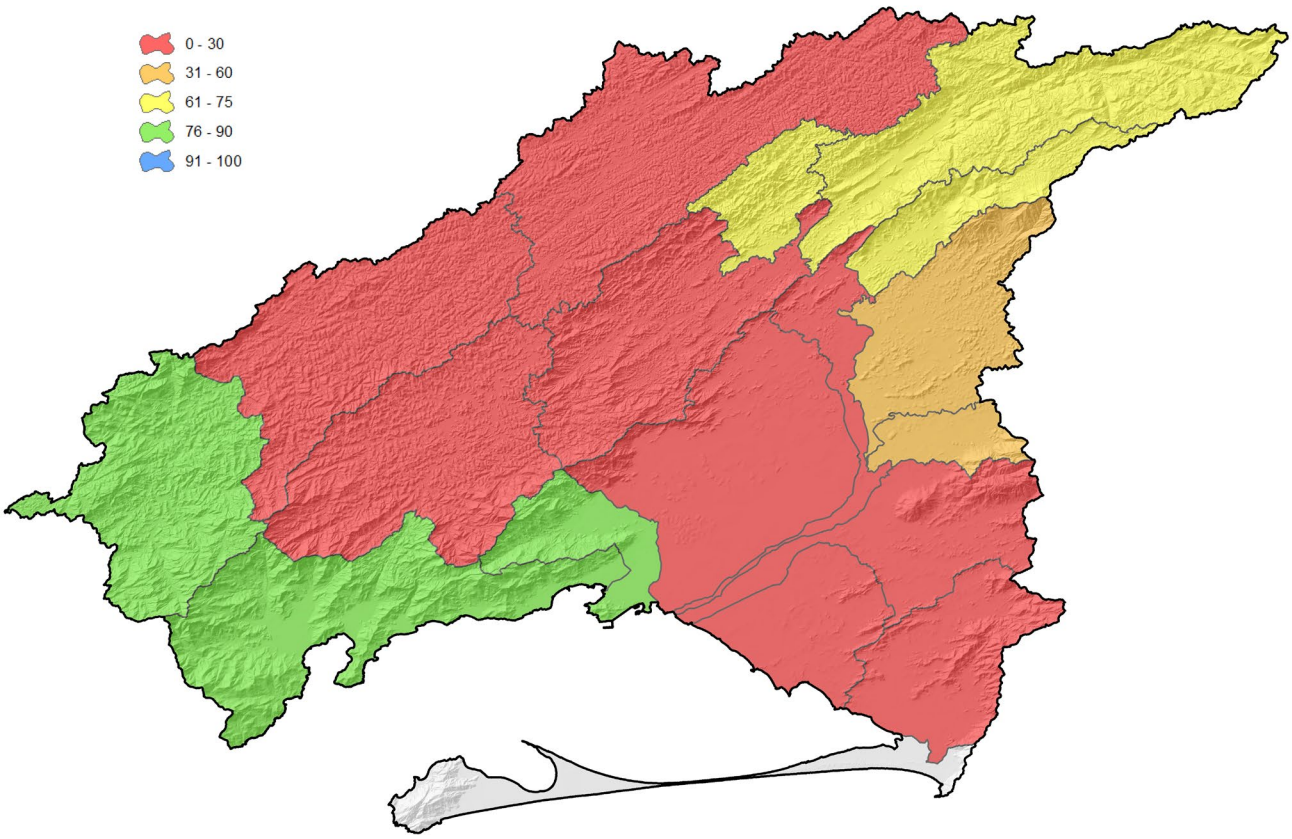


Figura 2. Desvio do Regime Natural de Vazão na Bacia do Guandu.

2.1.2 **Esgotamento de Água Subterrânea**

O Esgotamento de Água Subterrânea mede as mudanças na disponibilidade da água armazenada em aquíferos subterrâneos. Os recursos hídricos subterrâneos representam uma parcela significativa dentre os recursos hídricos disponíveis para utilização pelo homem e, normalmente, suas reservas são muito superiores às disponibilidades hídricas superficiais. Cada vez mais a extração de água subterrânea vem aumentando e assumindo importância para atender as demandas das comunidades rurais, urbanas e industriais, embora, na Bacia do Guandu, o conhecimento sobre a quantidade real de poços e seus monitoramentos sejam bastante deficientes. **A pontuação para o Esgotamento de Água Subterrânea foi de 93**, indicando que quase nenhuma área da Bacia do Guandu enfrenta problemas de disponibilidade. Se utilizados corretamente, os recursos hídricos subterrâneas podem representar uma alternativa importante de fonte de água no futuro.

2.2 **Qualidade da Água**

Qualidade da Água refere-se especificamente às concentrações de contaminantes em comparação com os limites requeridos para manter a biodiversidade aquática, independentemente dos impactos diretos na saúde e segurança humana. A poluição pode danificar diretamente a vida aquática e alterar o equilíbrio ecológico, por exemplo, desencadeando a proliferação de algas nocivas. Este indicador é composto somente por um subindicador, o Índice de Qualidade de Água e, portanto, a sua pontuação é a mesma deste último.

2.2.1 **Índice de Qualidade da Água**

O Índice de Qualidade da Água mede o quanto as concentrações de parâmetros de qualidade de água diferenciam-se de limiares necessários para manter a biodiversidade aquática. São selecionados os parâmetros considerados cruciais para a saúde ecológica dos ecossistemas de água doce. **O Índice de**

Qualidade da Água na Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 31, indicando uma qualidade baixa. Dentre as classes de uso e ocupação do solo mapeadas (PROFILL, 2017) na Bacia do Guandu, floresta, pastagem e área urbana são as predominantes. As florestas estão concentradas principalmente nas áreas protegidas que formam o Corredor de Biodiversidade Bocaina-Tinguá, coincidindo com as áreas com os maiores indicadores de qualidade. Ainda assim, a qualidade das águas nessas áreas não está adequada para a manutenção da biodiversidade aquática, mas pode ser melhorada com o aumento das redes coletoras e estações de tratamento de esgotos, em áreas urbanas e rurais, e das ações de reflorestamento, especialmente nessas porções mais altas da Bacia do Guandu.

Tabela 1. Indicadores do Índice de Saúde da Água

Indicadores	Sunbindicadores	Pontuação
VITALIDADE DO ECOSSISTEMA		
Quantidade de Água	Desvio do Regime Natural da Vazão	4
	Esgotamento de água subterrânea	93
Qualidade de Água	Índice de Qualidade de Água	31
Condição da Bacia de Drenagem	Modificação da Margem	57
	Conectividade de Fluxos	64
	Naturalidade da Cobertura do Solo	53
Biodiversidade	Espécies de interesse	88
	Espécies Invasoras	50
SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS		
Provisão	Confiabilidade do Fornecimento de Água	99
	Biomassa para Consumo	
	Regulação de Sedimentos	67
Regulação e Suporte	Regulação de Qualidade da Água	51
	Regulação de Doenças	19
	Regulação de Inundações	54
Cultural	Conservação e Patrimônio Cultural	73
	Recreação	
GOVERNANÇA & PARTES INTERESSADAS		
Ambiente Favorável	Estrutura para o Manejo de Bacias	42
	Regras para o Uso de Recursos	26
	Incentivos e Regulações	29
	Capacidade Técnica	27
	Capacidade Financeira	20
Compromisso das Partes Interessadas	Informações e Conhecimento	27
	Envolvimento nos Processos de Tomada de Decisão	22
Efetividade	Execução e Conformidade	23
	Distribuição de Benefícios de Serviços Ecossistêmicos	23
	Conflito Relacionado à Água	37
Visão e Governança adaptativa	Mecanismos de Monitoramento	19
	Planejamento Abrangente e Manejo Adaptativo	34

2.3 **Condição da Bacia de Drenagem**

A Condição da Bacia mede a extensão das modificações físicas tanto da cobertura da terra (por exemplo, florestas convertidas para a agricultura) e de córregos e rios (por exemplo, a construção de represas ou a expansão de canais), as quais podem afetar o fluxo e a qualidade da água, bem como o habitat para a vida aquática. A Condição da Bacia é medida através de três subindicadores: Modificação do Canal, Conectividade de Fluxo e Naturalidade da Cobertura da Terra. **Quando esses três subindicadores são combinados, a Bacia do Guandu tem uma pontuação de 58**. Ou seja, significativas alterações na condição física da bacia estão ocorrendo, o que implica negativamente sobre a saúde dos rios e riachos.

2.3.1 **Modificação da Margem**

A Modificação da Margem mede a conectividade lateral que afeta a troca de material entre os rios e as planícies de inundação. A conectividade lateral afeta como os escoamentos atingem os canais e como materiais (e.g., nutrientes e sedimentos) são trocados. Mudanças nesse padrão, seja por canalização ou inundação através de represas, afetam o estabelecimento da vegetação nativa e da vida selvagem (incluindo a desova de peixes e aves aquáticas), a biogeoquímica dos riachos, bem como a extensão das várzeas. **A Modificação da Margem recebeu uma pontuação de 57, indicando alterações significativas das margens de rios e riachos na Bacia do Guandu**. Essa pontuação condiz com as iniciativas de controle de inundações e enchentes, principalmente nas bacias mais densamente urbanizadas, como também com as intervenções para a transposição das águas. Esse indicador poderia aumentar com ações de conservação, como reflorestamento em áreas de pastagem, restabelecendo as dinâmicas naturais dos fluxos de sedimentos, como também com a restauração dos canais para as suas condições naturais, embora essa ação seja mais desafiadora nas áreas urbanas. A perda de alguns serviços ou benefícios com base nessas ações poderia ser compensada com ganhos, por exemplo, na biodiversidade e recreação.

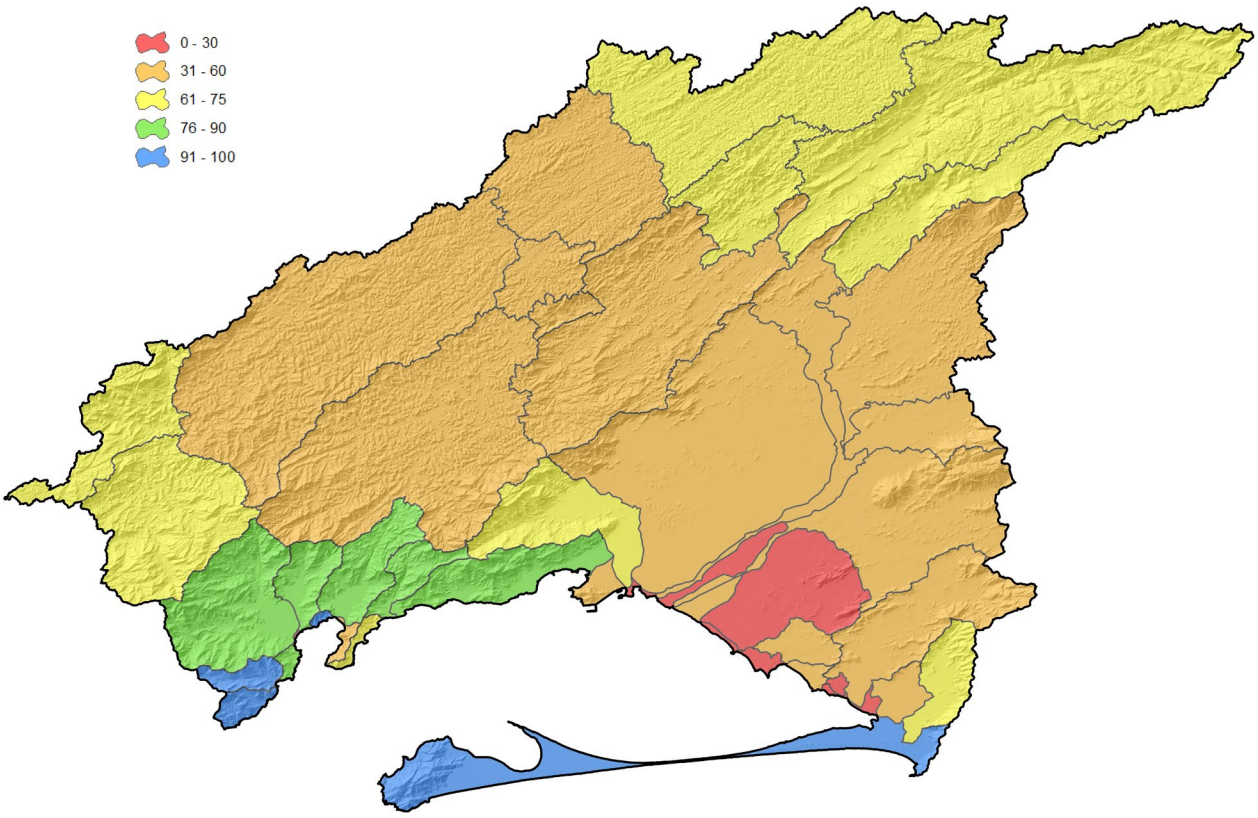


Figura 3. Modificação da Margem na Bacia do Guandu.

2.3.2 **Conectividade de Fluxos**

A Conectividade do Fluxos mede a fragmentação da rede de drenagem para espécies de peixes. A fragmentação da rede de drenagem é particularmente importante para o movimento da vida aquática, como peixes, mas também afeta o fluxo de materiais. A conectividade dos fluxos é afetada por obstruções naturais, como cachoeiras, e estruturas de engenharia, como barragens e represas. A conectividade longitudinal diminuída pode impactar negativamente a migração e a reprodução dos peixes e pode impedir que sedimentos e outros nutrientes sejam entregues a jusante para o delta. **Na Bacia do Guandu esse subindicador recebeu uma pontuação de 64, indicando uma conectividade moderada dos fluxos.** Como esperado, as menores pontuações foram observadas, especialmente, nas sub-bacias que recebem os fluxos de transferência da Bacia do Rio Paraíba do Sul (Bacias Contribuintes da Represa de Ribeirão das Lajes, do Reservatório Pereira Passos e do Reservatório de Vigário).

2.3.3 **Naturalidade da Cobertura do Solo**

A Naturalidade da Cobertura do Solo mede o quanto a cobertura natural foi modificada por atividades humanas. Florestas e áreas úmidas são amortecedores naturais que regulam o fluxo e qualidade da água. Quando degradadas ou convertidas em pastagens, áreas agrícolas e áreas urbanas, o ecossistema perde a capacidade de regular o ciclo da água. **A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 53, indicando que quase metade da cobertura vegetal original não existe mais.** As bacias da porção sudeste da Bacia do Guandu receberam as menores pontuações por serem integrantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, enquanto as bacias litorâneas da margem direita e a Bacia do Rio São Pedro apresentaram as maiores pontuações por estarem quase completamente abrangidas por unidades de conservação. É importante ressaltar que esse subindicador é chave para a melhoria de outros subindicadores desse componente (Esgotamento de Água Subterrânea, Índice de Qualidade de Água, Modificação da Margem e Espécies de Interesse).

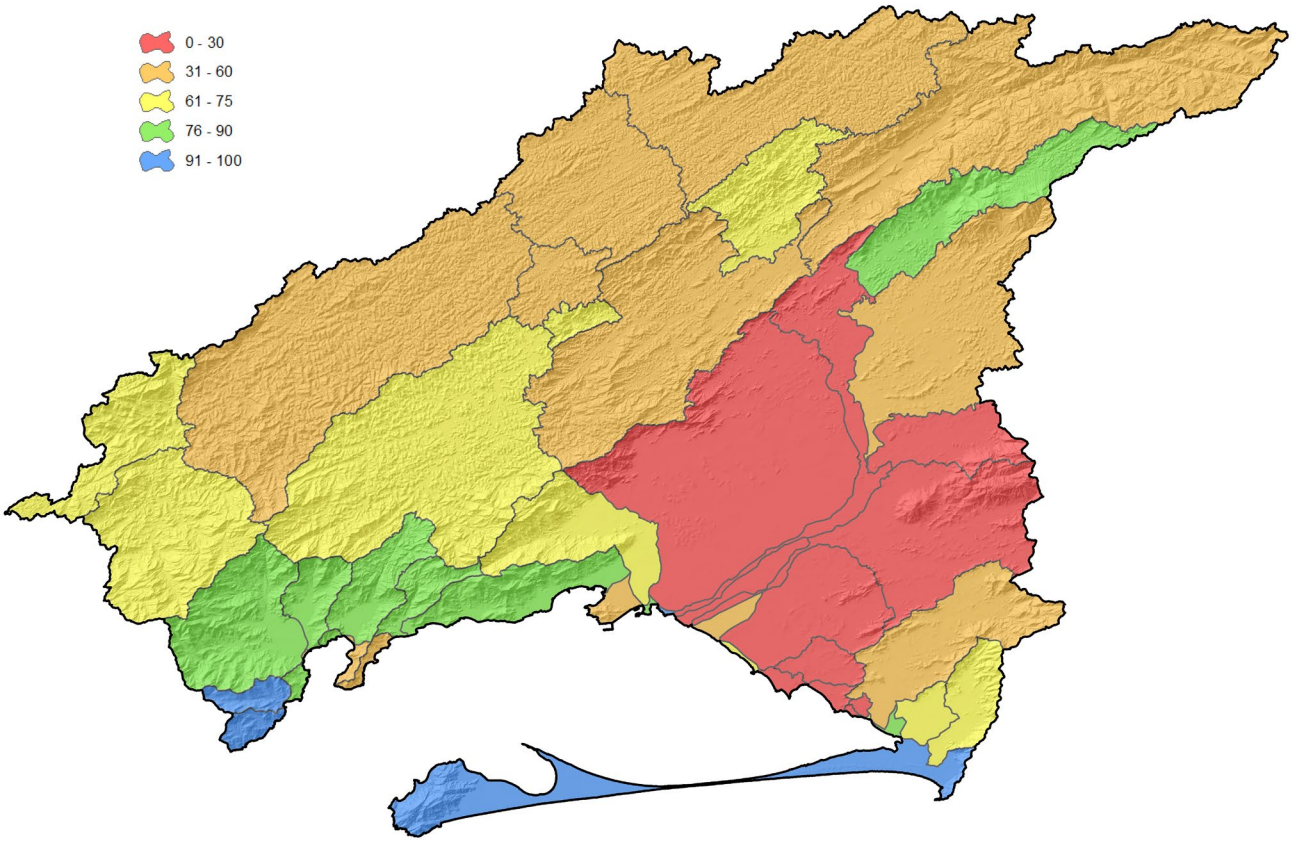


Figura 4. Naturalidade da Cobertura do Solo na Bacia do Guandu.

2.4 **Biodiversidade**

Biodiversidade refere-se ao estado e tendências das populações das espécies animais e vegetais que vivem diretamente nos cursos de água ou próximos deles. Dados sobre reduções em espécies nativas ou aumentos em espécies invasoras são usados como indicadores de degradação do ecossistema. Além disso, a biodiversidade aquática é muitas vezes associada positivamente a pesca e a serviços culturais, como a recreação. O indicador de Biodiversidade é dividido em dois subindicadores: Espécies de Interesse, que foca principalmente nas espécies ameaçadas de extinção e vulneráveis, e Espécies Exóticas. **Quando combinados os dois subindicadores, a Bacia do Guandu tem uma pontuação da Biodiversidade de 66, sugerindo uma saúde regular**. As pontuações dos subindicadores representam, no entanto, apenas a proporção das espécies ameaçadas e exóticas em relação ao total, sendo necessário dados sobre o comportamento de crescimento ou decrescimento do status das espécies para melhor avaliar esse subindicador.

2.4.1 **Espécies de Interesse**

Espécies de Interesse mede o quanto as espécies nativas de ambientes aquáticas ou ribeirinhos estão ameaçadas. Diminuição na diversidade das espécies é um sinal de alerta para a deterioração do ecossistema e pode corresponder também com declínios nos benefícios para as pessoas, como a pesca. **Espécies de Interesse recebeu uma pontuação de 88, indicando uma saúde boa para a biodiversidade da Bacia do Guandu**. Ou seja, são poucas as espécies que estão ameaçadas e isso pode estar relacionado com a presença ainda relativamente boa de florestas em unidades de conservação conectadas. Porém, vale ressaltar que para a melhor quantificação desse subindicador são necessários dados contínuos sobre a população de espécies de interesse.

2.4.2 **Espécies Exóticas**

Espécies Invasoras mede especificamente a presença de espécies exóticas introduzidas no ecossistema, tanto intencionalmente quanto acidentalmente, que são capazes de competir ou impor algum tipo de ameaça às espécies nativas. O aumento da quantidade e populações das espécies exóticas pode pressionar espécies nativas, degradar os ecossistemas e impactar negativamente a economia e saúde humana. **A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 50 para esse subindicador, indicando uma saúde moderada relacionada a presença de espécies exóticas.**

3. **SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS**

O componente Serviços Ecossistêmicos mede os benefícios relacionados à água, desde o fornecimento de água potável até energia hidrelétrica e proteção contra enchentes. Esses benefícios, muitas vezes fornecidos no lugar de ou como complemento à infraestrutura, são uma maneira de conectar as pessoas aos ecossistemas naturais dos quais elas dependem. Os Serviços Ecossistêmicos são comumente classificados de acordo com o modo como as pessoas os experimentam, e isso se reflete nos três principais indicadores: Provisão (bens extraídos do ecossistema), Regulação e Suporte (processos “de fundo” que ocorrem nos ecossistemas, em outras palavras, o funcionamento dos ecossistemas) e Cultural (experiências que as pessoas obtém dos ecossistemas).

Combinando os três principais indicadores de Serviços Ecossistêmicos, a Bacia do Guandu recebeu uma pontuação total de 74. Isto sugere que a bacia está atualmente satisfazendo bem relativamente bem as necessidades de bem-estar das pessoas, embora haja uma variação do grau de atendimento entre os serviços específicos. Esta é também uma pontuação parcialmente completa, uma vez que faltavam dados para alguns subindicadores. É importante notar também que esses indicadores e subindicadores foram ponderados de acordo com a importância relativa dada pelas partes interessadas a cada um dos indicadores e subindicadores. A ponderação revelou uma preferência pelos Serviços de Provisão (0.52) em relação com os serviços de abastecimento (0.37) e culturais (0.11). Para os subindicadores de Serviços Ecossistêmicos associados a Provisão e Regulação e Suporte, as pontuações são calculadas com base em fatores espaciais, temporais e de magnitude de uma determinada variável.

3.1 **Provisão**

Serviços de Provisão referem-se aos benefícios físicos principalmente água e peixe que as pessoas obtêm dos ecossistemas aquáticos. Estes produtos ecossistêmicos são insumos essenciais para o desenvolvimento econômico e são fundamentais para a segurança alimentar e a segurança do abastecimento de água. O indicador de Serviços de Provisão tem dois subindicadores: Confiabilidade do Fornecimento de Água Relativa à Demanda e Biomassa para Consumo. Quando combinados, o indicador de Serviços de Provisão obteve uma pontuação de 99, mas baseia-se unicamente sobre o subindicador Confiabilidade do Fornecimento de Água Relativa à Demanda, uma vez que os dados para estimar a Biomassa para Consumo não estavam disponíveis. As partes interessadas atribuíram um peso de 0.85 para o subindicador de Confiabilidade e 0.15 para subindicador de Biomassa, o que indica que dão muito maior importância a segurança do abastecimento de água para diferentes usos em relação ao fornecimento de biomassa aquática para consumo.

3.1.1 **Confiabilidade do Fornecimento de Água Relativo à Demanda**

Confiabilidade do Fornecimento de Água Relativa à Demanda mede a capacidade atual da bacia para atender a demanda de água de vários setores, em todos os lugares, apesar da variabilidade sazonal. Isso inclui quantidades mínimas de água para manutenção ecológica, conhecidas como fluxos ambientais. Diminuição na confiabilidade corresponde à aumento de insegurança hídrica, degradação ecológica ou consumo insustentável de água subterrânea para compensar a escassez de água na superfície. **A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 99, indicando que quase todas as demandas por água são atendidas**. É importante ressaltar, no entanto, que nesse caso especificamente, o serviço de provisão de água está relacionado com a infraestrutura instalada para esta finalidade e isso pode ser evidenciado pelo subindicador de Desvio do Regime Natural de Vazão. Ou seja, são necessárias grandes intervenções na bacia para o atendimento das demandas por água, que ocorrem em sua maioria fora dela. É conhecido que a Bacia do Guandu apresenta forte interdependência com as Bacias do Rio Paraíba do Sul e da Baía de Guanabara. A primeira por causa da transposição, que contribui com mais de 90% das águas da Bacia do Guandu e a segunda por abrigar uma população e atividades que demandam cerca de 30% dessa água. A Bacia do Guandu tem potencial de produzir apenas 6% da água naturalmente, conforme demonstrado nas modelagens hidrológicas realizadas no âmbito desse estudo, o que significa que mesmo com todas as ações de conservação e reflorestamento, ainda não seria capaz de prover esse benefício a população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e por esse motivo torna-se crucial, para garantir a segurança hídrica de toda a região, avaliar de forma integrada essas bacias adjacentes.

3.1.2 **Biomassa para Consumo**

Biomassa para Consumo avalia a quantidade de biomassa (biota de água doce) que é usada ou adquirida para consumo. Atualmente, não há dados disponíveis sobre o consumo de pescados produzidos naturalmente pela Bacia do Guandu. Embora a pesca artesanal possa estar presente, não existe evidência de populações altamente dependentes desse recurso como fonte nutricional, portanto **esse subindicador não foi calculado para a Bacia do Guandu.**

3.2 **Regulação e Suporte**

Os serviços de Regulação e Suporte referem-se aos processos naturais que apoiam o abastecimento de água e a pesca (por exemplo, mantendo a água limpa e fluindo) e oferecem proteção contra enchentes e outros perigos. As decisões de gestão dos recursos hídricos muitas vezes ignoram os processos naturais que ajudam a regular a água em um ecossistema, mas a substituição desses serviços “gratuitos” pela infraestrutura construída pode ser dispendiosa. O indicador de Regulação e Suporte compreende quatro subindicadores: Regulação de Sedimento, Regulação da Qualidade da Água, Regulação de Inundações e Regulação de Doenças. Em geral, a Bacia do Guandu tem uma pontuação de 65 para este componente. Esta pontuação foi ponderada de acordo com a importância relativa dada aos serviços por todas as partes interessadas. As partes interessadas atribuíram um maior peso (0.44) para o serviço de Regulação de Doenças, depois para o serviço de Regulação de Inundações (0.21) e pesos iguais (0.17) foram dados a Regulação de Sedimentos e a Regulação da Qualidade da Água.

3.2.1 **Regulação de Sedimento**

Regulação de Sedimentos mede a capacidade do ecossistema de moderar o fluxo de sedimentos oriundos de sistemas terrestres para os riachos e depositá-los nas planícies de inundação ou nas saídas a jusante. Demasiados sedimentos a jusante podem comprometer a capacidade dos reservatórios de armazenar água ou degradar a qualidade da água, enquanto que muito pouco sedimento distribuído a jusante priva a vida aquática e terras agrícolas de nutrientes críticos. **Regulação de Sedimentos recebeu uma pontuação de 67, indicando uma capacidade moderada do ecossistema da Bacia do Guandu de controlar a erosão e regular a produção de sedimentos**. Estudos demonstram que o grande volume de água que a Bacia do Guandu recebe pela transposição altera a dinâmica natural dos sedimentos, ou seja, a capacidade erosiva e de produção de sedimentos ao longo da calha do rio Guandu aumenta, levando a um maior aporte de sedimentos na Baía de Sepetiba (JORDÃO, 2017). A maior proteção e recuperação das matas ciliares, especialmente ao longo do curso principal da bacia, poderia ser uma boa medida para aumentar a pontuação desse indicador, além de diminuir os custos de tratamento de água para abastecimento.

3.2.2 **Regulação da Qualidade da Água**

Regulação de Qualidade da Água refere-se à capacidade do ecossistema para moderar as concentrações de diferentes parâmetros de qualidade da água em termos de potabilidade para consumo humano e outros usos dados a água. Os ecossistemas naturalmente "filtram" muitos poluentes da água, mas essa capacidade pode ser facilmente superada pelo volume de poluentes liberados pela atividade humana. **Esse subindicador recebeu uma pontuação de 51, indicando uma capacidade moderada a baixa do ecossistema de regular a qualidade da água para consumo humano.** A Bacia do Guandu apresenta uma ocupação urbana densa na porção sudeste e uma ocupação predominantemente industrial ao longo do canal de São Francisco, com cinco distritos industriais. As atividades dessas ocupações, somadas com as atividades mineradoras geram grande quantidade de materiais e poluentes que acabam parando nos cursos de água. No entanto, nos municípios inseridos na Bacia do Guandu, são coletados em média apenas 57% do esgoto total gerado, dos quais cerca de 70% são tratados. De forma geral, desconsiderando a cidade do Rio de Janeiro, os percentuais de coleta e tratamento de esgoto são extremamente baixos (PROFILL, 2017).

3.2.3 **Regulação de Doenças**

Regulação de Doenças mede a exposição da população a doenças associadas à água. Os ecossistemas de água doce desempenham um papel importante na transmissão e na contenção de patógenos e vetores associados a diversas doenças comuns como dengue, malária e febre amarela. Estas doenças são uma das principais causas de internações em todo o mundo, e seu risco para as pessoas aumenta com as modificações humanas nos ecossistemas de água doce (por exemplo, construção de barragens, poluição, desmatamento da mata ciliar. **A pontuação para Regulação de Doenças na Bacia do Guandu foi de 19, a menor dentre os subindicadores de Serviços Ecossistêmicos**, indicando uma baixa capacidade do ecossistema regular as doenças associadas a água. A baixa pontuação está relacionada ao potencial de ocorrência de diarreia, já que a pontuação para as outras três doenças incluídas na análise (dengue, malária e febre amarela) obtiveram valor máximo de 100. Vale destacar que a pontuação para diarreia é um valor aproximado já que foram usados dados sobre concentrações de coliformes fecais como aproximação, e essas concentrações são altíssimas em várias sub-bacias do Guandu. Dados específicos sobre os limites aceitáveis que poderiam caracterizar um surto de diarreia seriam necessários para realmente estabelecer se essa doença é um problema extremo na bacia.

3.2.4 **Regulação de Inundações**

Regulação de Inundações mede a capacidade do ecossistema de reduzir o volume de escoamento superficial através da diminuição das vazões de pico a jusante e/ou absorção das águas de inundação. As práticas usuais de impermeabilização do solo durante o processo de urbanização diminuem a infiltração da água, aumentando as enchentes nos períodos de chuva. **Regulação de Inundações recebeu uma pontuação de 54, indicando uma capacidade regular-baixa do ecossistema de regular inundações na Bacia do Guandu**. Como esperado, as bacias inseridas na RMRJ são as que apresentam a maior frequência de inundações.

3.3 **Cultural**

Os Serviços Culturais referem-se aos benefícios não-materiais que as pessoas experimentam dos ecossistemas aquáticos, tais como sua beleza cênica, oportunidades recreativas e culturais ou realização espiritual. Esses serviços culturais estão ligados aos benefícios da saúde física, emocional e mental, bem como às oportunidades de desenvolvimento econômico (como o ecoturismo) — os ecossistemas de água doce, em particular, são frequentemente associados à identidade cultural de uma sociedade. As partes interessadas atribuíram o menor peso a este indicador (0.11), o que sugere que atualmente tem pouca importância em relação aos serviços de Provisão e Regulação e Suporte. O indicador Cultural compreende dois subindicadores que representam experiências e valores associados aos ecossistemas de água doce que podem ser quantificados: Conservação e Patrimônio Cultural e Recreação. Quando combinado, o indicador do Serviço Cultural obteve uma pontuação de 73, mas baseia-se unicamente na pontuação Conservação e Patrimônio Cultural, uma vez que os dados para calcular a Recreação não estavam disponíveis. As partes interessadas da Bacia do Guandu deram uma importância muito maior (0.85) ao serviço de Conservação e Patrimônio Cultural do que ao serviço de Recreação (0.15).

3.3.1 **Conservação e Patrimônio Cultural**

Conservação e Patrimônio Cultural mede o grau em que os ecossistemas de água doce estão preservados por sua importância cultural, incluindo importância biológica. Locais de conservação e patrimônio cultural estão relacionados com valores culturais, religiosos e científicos de uma sociedade. **Esse subindicador recebeu uma pontuação de 73, indicando boa conservação e proteção dos rios na Bacia do Guandu**. Na Bacia do Guandu, estão presentes 54 unidades de conservação, sendo 41 de Uso Sustentável e 13 de Proteção Integral, as quais têm se mostrado mais eficientes para frear os desmatamentos e permitir restaurações florestais.

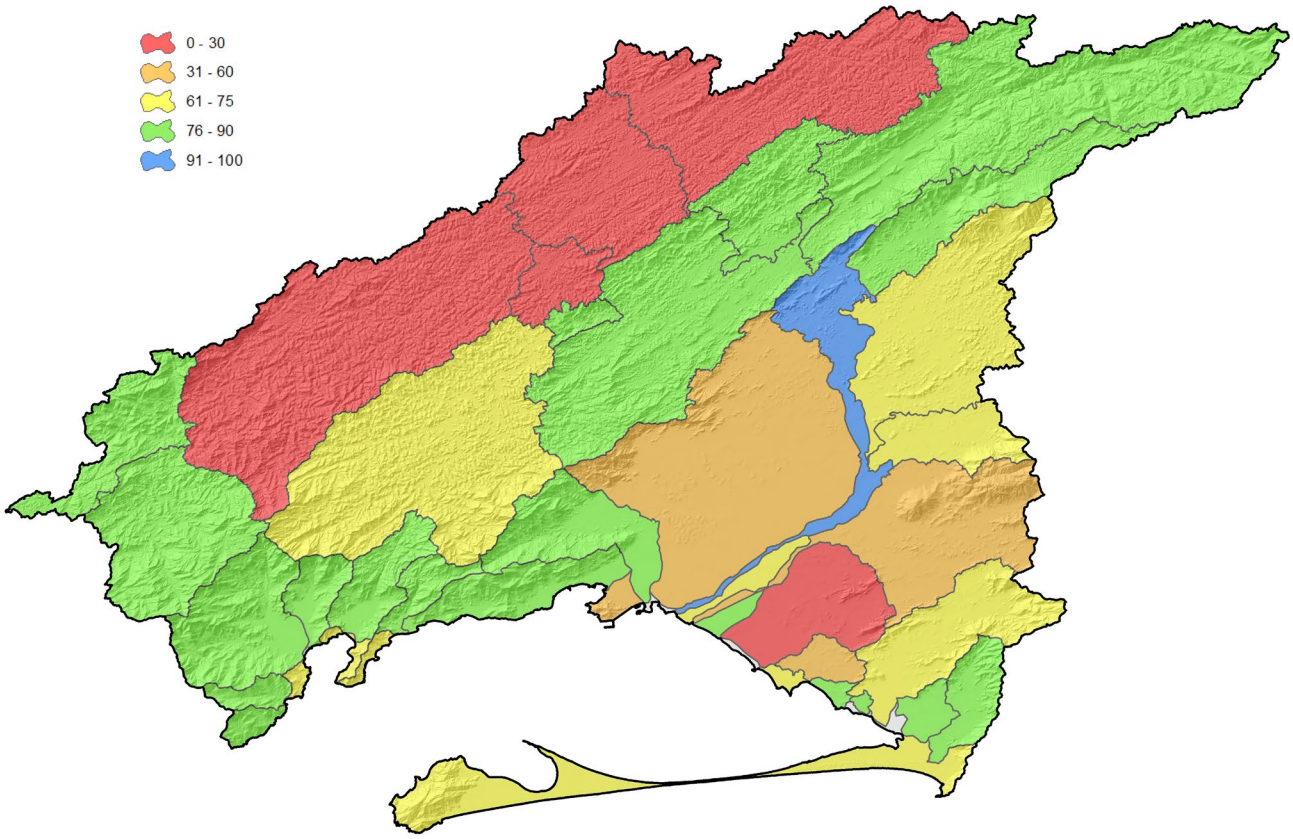


Figura 5. Conservação e Patrimônio Cultural na Bacia do Guandu.

3.3.2 **Recreação**

Recreação mede o quanto as pessoas gastam seu tempo em atividades recreativas relacionadas com a água. Atualmente o monitoramento sistemático do número de visitantes em cachoeiras, rios, reservatórios, entre outros cursos de água, em áreas protegidas ou não, não estão sendo realizados ou os dados não estão disponíveis, portanto, **esse subindicador não foi calculado para a Bacia do Guandu.**

COMITÊ GUANDU-RJ

4. GOVERNANÇA E PARTES INTERESSADAS

O componente de Governança e Partes Interessadas avalia as estruturas e os processos pelos quais as pessoas tomam decisões relacionadas aos recursos hídricos. Em contraste com os indicadores dos componentes de Vitalidade do Ecossistema e Serviços Ecossistêmicos, onde os dados são rotineiramente coletados e os métodos de medição são amplamente conhecidos, a medição da governança é uma área emergente sem abordagens padronizadas. Os tópicos também são mais subjetivos, o que significa que a percepção das pessoas é uma fonte válida de informação. Para coletar essas informações, uma pesquisa foi conduzida em um grupo de partes interessadas da Bacia do Guandu. Essas partes interessadas representaram principalmente funcionários do governo, pesquisadores e comunidade civil com conhecimento sobre as questões de governança na Bacia do Guandu. Deve-se notar que as partes interessadas que participaram também recomendaram que esta pesquisa seja ampliada, talvez de forma simplificada, para uma seção transversal mais ampla das partes interessadas na bacia.

Combinando os resultados da pesquisa, a **Bacia do Guandu tem uma pontuação de 26 para o componente de Governança e Partes Interessadas**. Esta é a menor pontuação dentre os três componentes de desempenho da bacia, o que não é surpreendente, considerando que melhorar a governança da água é um desafio global. A melhoria dessa pontuação deve ser uma prioridade para os tomadores de decisão na Bacia do Guandu, particularmente considerando os futuros aumentos esperados na demanda de água e na variabilidade climática. As avaliações detalhadas fornecem informações sobre onde essas melhorias poderiam ser feitas. É importante notar também que esses indicadores e subindicadores foram ponderados pelas partes interessadas, o que revelou uma preferência pelo subindicador de Visão e Governança Adaptativa (0.41).

4.1 Ambiente Favorável

O Ambiente Favorável refere-se às políticas, regulamentos, mecanismos de mercado e normas sociais que existem para ajudar a governar e gerir os recursos hídricos. Juntos, esses atributos determinam quais direitos e ativos estão protegidos dentro de uma bacia hidrográfica, bem como se dá a sua gestão em face de conflitos. **Combinando os cinco subindicadores abaixo, a Bacia do Guandu teve uma pontuação de 26 para o Ambiente Favorável**. Isso sugere a necessidade de melhorias significativas, que podem envolver atores nacionais, regionais e locais. Entre os cinco subindicadores do Ambiente Favorável, as partes interessadas atribuíram um peso semelhante aos subindicadores de Regras para Uso dos Recursos (0.23), Incentivos e Regulações (0.22) e Capacidade Técnica (0.21). Essas preferências foram seguidas por Capacidade Financeira (0.19) e Estrutura para Manejo da Bacia (0.14).

4.1.1 Estrutura para o Manejo da Bacia

A Estrutura para o Manejo da Bacia mede o grau em que as instituições são responsáveis por desempenhar funções como a coordenação dentro da bacia, planejamento e desenvolvimento de infraestruturas, mobilização de recursos financeiros e proteção dos ecossistemas. A Estrutura para o Manejo da Bacia é um conjunto complexo de tarefas, geralmente envolvendo vários órgãos públicos e outras partes interessadas. A coordenação frágil entre esses grupos pode levar a resultados ineficientes, injustos ou ineficazes. **A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 42 para Estrutura para Manejo da Bacia**. Esse subindicador pontuou mais dentre todos os outros deste componente e todas as funções analisadas dentro deste subindicador (políticas e ações para avanço do manejo, construção de infraestrutura, mobilização de financiamento e prioridades de conservação) obtiveram pontuações similares.

A Bacia do Guandu conta com uma robusta estrutura para manejo dos recursos hídricos, conhecida como Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro (SEGRHI), respaldado na Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH). Esses também seguem as respectivas normas nacionais. O SEGRHI define de forma clara as entidades responsáveis por determinadas funções de gerenciamento e suas relações. Integram o sistema o Conselho Estadual de Recursos Hídricos, o Fundo Estadual de Recursos Hídricos, os Comitês de Bacias Hidrográficas, as Agências de Água e os organismos das três esferas de governo. No entanto, as partes interessadas percebem que a estrutura vigente ainda precisa melhorar significativamente.

A Bacia do Guandu possui particularidades que representam um desafio no âmbito do sistema de gestão dos recursos hídricos. Apesar de ser uma unidade de gestão do Estado do Rio de Janeiro, estando totalmente inserido em território fluminense, a Bacia do Rio Piraí, que foi incorporada a Bacia do Guandu, em decorrência das transposições, possui cerca de 9,5% da sua área no Estado de São Paulo, além de ser, da mesma forma que o Rio Paraíba do Sul, um rio de domínio federal. Ou seja, grande parte das águas do Rio Guandu são oriundas de rios de domínio federal e, por isso, sua disponibilidade e qualidade são afetadas por decisões da Agência Nacional de Águas e de órgãos gestores de energia elétrica (Agência Nacional de Energia Elétrica e Operador Nacional do Sistema Elétrico) (PERH, 2017). Essa multiplicidade de níveis de gestão pode tornar difícil a coordenação dos planejamentos e atividades dentro da bacia. É importante mencionar também que a falta de uma estrutura física própria do Comitê Guandu-RJ é uma questão considerada problemática pelas partes interessadas.

4.1.2 **Regras para o Uso dos Recursos**

As Regras para o Uso do Recursos medem a clareza dos direitos da água e dos recursos relacionados à água. As regras claras e exequíveis, sejam formais ou informais (por exemplo, direitos da comunidade), são importantes para o uso eficiente dos recursos hídricos e por sua distribuição equitativa em toda a bacia. **A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 26 para esse subindicador**, uma pontuação muito baixa, indicando que as partes interessadas percebem que as regras para o uso dos diferentes tipos de recursos hídricos e alocação de água não são claras e aplicáveis. Esse resultado indica que instrumentos de gestão importantes como a outorga de direito do uso dos recursos hídricos precisam ser melhor articuladas e compreendidas pelas partes interessadas. Dentre as regras menos claras, as partes interessadas elencaram aquelas para captação de águas subterrâneas.

4.1.3 **Incentivos e Regulações**

Incentivos e Regulações referem-se à disponibilidade de diferentes instrumentos de gestão, como avaliações de impacto ou incentivos financeiros, que podem ser aplicados para promover a atividade humana com um impacto negativo mínimo sobre a água e recursos ambientais relacionados. Em princípio, uma maior diversidade de instrumentos de gestão significa mais flexibilidade para projetar soluções e, ao mesmo tempo, produzir respostas eficientes. **A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 29 para Incentivos e Regulações.** As partes interessadas percebem, nesse caso, que estudos de impacto socioambiental, incentivos financeiros, esquemas de mercado, programas de honorários e políticas de zoneamento territorial são bastante incipientes para apoiar uma boa gestão dos recursos hídricos, embora existam alguns casos bem sucedidos de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) na Bacia do Guandu. Dentre as opções destacadas anteriormente, as partes interessadas indicaram como mais incipiente as políticas de zoneamento do uso do solo.

4.1.4 **Capacidade Técnica**

Capacidade técnica refere-se à adequação da força de trabalho, em termos de número, nível de habilidade e oportunidades de treinamento, para cumprir funções técnicas relacionadas à gestão de recursos hídricos e, não necessariamente, ao nível de tecnologia disponível. Mesmo com capacidade financeira suficiente, a escassez de habilidades técnicas, como a engenharia ambiental, pode dificultar o desenvolvimento eficiente e sustentável dos recursos hídricos. **A capacidade técnica recebeu uma pontuação de 27 na Bacia do Guandu**. As partes interessadas indicaram que os três aspectos analisados (quantidade de pessoal, pessoal especializado, oportunidades de treinamento e certificações profissionais) não são satisfatórios. A percepção das partes interessadas, portanto, está dirigida a todos os envolvidos nas discussões e decisões relacionadas aos recursos hídricos da Bacia do Guandu, desde a agência de água, que aportam subsídios técnicos às discussões, até os membros da plenárias e câmaras técnicas, que votam e decidem sobre as questões da bacia, e os técnicos dós órgãos públicos municipais e estaduais, que influenciam também sobre o planejamento e gestão do uso do território.

4.1.5 **Capacidade Financeira**

A Capacidade Financeira mede até que ponto os investimentos necessários são feitos para apoiar o desenvolvimento e a proteção dos recursos hídricos. A infraestrutura hídrica (por exemplo, barragens, estações de tratamento) tem altos custos, enquanto instrumentos econômicos como preços da água ou taxas de poluição podem ser aplicados para consumidores ou usuários (incluindo indivíduos e corporações) para ajudar a compensar esses altos custos e financiar medidas adicionais. O investimento público pode ser necessário para assegurar o financiamento adequado para salvaguardas, proteção do ecossistema e remediação. **A Capacidade Financeira recebeu a pontuação de 20 na bacia Guandu, que é a segunda menor pontuação entre todos os indicadores de Governança e Partes Interessadas.** A cobrança dos usuários pelo uso da água é outro importante instrumento de gestão que está em plena operação na Bacia do Guandu, entretanto, pode-se inferir através dessa pontuação baixa para esse subindicador que os atores acreditam que existe uma dificuldade de reverter todo esse recurso financeiro arrecadado em melhorias para a bacia.

4.2 **Compromisso das Partes Interessadas**

O indicador de Compromisso das Partes Interessadas refere-se a todas as formas em que os atores interagem uns com os outros dentro da bacia e o grau de transparência e responsabilidade que envolve essas interações. Embora o engajamento das partes interessadas ocorra de diferentes maneiras ao redor do mundo, geralmente é considerado como um princípio-chave da boa governança da água assegurar que toda a gama de preocupações seja considerada antes que decisões importantes sejam tomadas, para evitar possíveis conflitos e garantir uma distribuição equitativa dos benefícios. O indicador do Compromisso das Partes Interessadas está dividido em subindicadores sobre Acesso e Informação e Participação nos Processos de Tomada de Decisão. E**m geral, o Compromisso das Partes Interessadas na Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 25, a mais alta entre os indicadores no componente Governança e Partes Interessadas, mais um destaque como preocupação**. As partes interessadas atribuíram um peso maior ao subindicador de Informação e Conhecimento (0.60) do que ao subindicador de Participação nos Processos de Tomada de Decisão (0.40).

4.2.1 **Informação e Conhecimento**

Informação e Conhecimento mede a acessibilidade dos dados sobre quantidade e qualidade da água, gestão de recursos e desenvolvimento. Mesmo nos casos em que os dados são coletados rotineiramente, se eles não estão disponíveis para aqueles interessados em pesquisa ou análise, as decisões podem ser consideradas menos transparentes. O acesso aos dados também ajuda as comunidades a responsabilizar os tomadores de decisão (por exemplo, para determinar se uma determinada política ou projeto está entregando os resultados esperados). **Informação e Conhecimento recebeu uma pontuação geral de 27 para a Bacia do Guandu.** Isso indica que as partes interessadas estão pouco satisfeitos com nível de conhecimento e disponibilidade das informações sobre a bacia. As partes interessadas indicaram mais especificamente que, entre os quatro aspectos analisados (acesso, qualidade, transparência à informação, e uso da informação na tomada de decisão), eles estão mais descontentes com o acesso à informação.

4.2.2 **Participação nos Processos de Tomada de Decisões**

A Participação nos Processos de Tomada de Decisão mede a extensão da participação das partes interessadas em alguns aspectos dos processos de tomada de decisão e na medida em que têm voz no ciclo de políticas e planejamento. Embora existam diferentes níveis de comprometimento “adequado”, uma maior participação é geralmente associada a uma melhor transferência de informações, planos e políticas mais específicos e equitativos, transparência e prestação de contas e redução de conflitos. **A Participação nos Processos de Tomada de Decisão recebeu uma pontuação de 22**, indicando uma percepção baixa da participação ou engajamento dos atores nos diferentes processos de tomada de decisão na Bacia do Guandu. Os três aspectos analisados (identificação e notificação de partes interessadas, permissão às partes interessadas de oferecer comentários e tomadas de decisão levando em consideração a participação das partes interessadas) foram indicados com ocorrência baixa. Isso significa que, mesmo com a existência do Comitê Guandu-RJ, entidade colegiada com atribuições normativas, deliberativas e consultivas que deveria garantir a gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos, a percepção das partes interessadas é que isso não está ocorrendo.

4.3 **Efetividade**

Efetividade refere-se aos resultados das políticas relacionadas com a água e as decisões de investimento — está se alcançando realmente o que se pretendia fazer? No mundo todo, muitas vezes há uma lacuna entre a política e a prática, entre o que é esperado com base em uma decisão complexa e o que realmente acontece. Os sub-indicadores da Efetividade tentam avaliar se as decisões estão tendo os efeitos pretendidos. **A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 28, sugerindo um elevado distanciamento entre a política e a prática**. Entre os três subindicadores de Efetividade, as partes interessadas atribuíram similar importância aos subindicadores de Conflito Relacionado com a Água (0.38) e de Distribuição de Benefícios de Serviços Ecossistêmicos (0.35). Uma importância um pouco menor foi dada ao subindicadore de Execução e Conformidade (0.27).

4.3.1 **Execução e Conformidade**

Execução e Conformidade mede o grau em que as leis são respeitadas e acordos se executam. A "lacuna de cumprimento" pode refletir uma capacidade reguladora insuficiente ou falta de responsabilidade, o que enfraquece a eficácia das leis e políticas. **A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 23 para Execução e Conformidade**. Entre a execusão de cinco tipos de diretrizes analisadas (para captação de água, para captação de água subterrânea, para vazão, para qualidade da água), as partes interessadas percebem que a execusão das diretrizes de captação de águas subterrâneas são as menos executadas no contexto da Bacia do Guandu.

4.3.2 **Distribuição de Benefícios dos Serviços Ecossistêmicos**

Distribuição de Benefícios dos Serviços Ecossistêmicos refere-se aos impactos das decisões sobre a gestão dos recursos hídricos, com especial atenção para os diferentes segmentos da sociedade: rural, urbano, migrantes sem registo de trabalho locais, e aqueles empregados em setores dependentes de recursos, como os pescadores. Os serviços dos ecossistemas relacionados com a água são, pela sua natureza, desigualmente distribuídos numa bacia, por isso devem ser tomadas medidas (como o desenvolvimento de reservatórios e redes de distribuição de água) para garantir que os recursos sejam alocados equitativamente. **A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 23 para este subindicador**, indicando que as partes interessadas pensam que os serviços ecossistêmicos, principalmente fornecimento de água potável, não são distribuídos uniformemente entre as populações dos municípios inseridos na bacia e grupos minoritários.

4.3.3 **Conflito Relacionado à Água**

Conflito Relacionado à Água reflete as tensões entre as partes quando há competição por recursos escassos como a água. A tensão aumenta em batalhas legais ou pode prevenir a resolução de conflitos violentos e, portanto, pode atrasar ou enfraquecer decisões dentro da bacia. Aqui, restringiu-se a disputas sobre a alocação de água, o acesso, a poluição, o desvio ou o desenvolvimento de infra-estruturas. **O Conflito Relacionado à Água na Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 37.** Entre os cinco tipos de conflitos analisados (jurisdições sobrepostas, alocação dos direitos à água, conflitos de acesso a água, posicionamento da infraestrutura, e conflitos sobre a qualidade da água e outros impactos negativos a jusante), os mais frequentes de acordo com as partes interessadas são aqueles relacionados com o posicionamento da infraestrutura. De qualquer forma, esse subindicador foi o segundo maior do componente de Governança e Partes Interessadas, o que indica que a resolução mais eficiente dos conflitos relacionados a água não está dentro das prioridades de governança na bacia.

4.4 **Visão e Governança Adaptativa**

Visão e Governança Adaptativa mede a capacidade de coletar e interpretar informações e, em seguida, usar essas informações para estabelecer políticas, desenvolver planos para a bacia e adaptar-se a mudanças nas circunstâncias. O gerenciamento eficaz dos recursos hídricos requer formas flexíveis e integradas de governança para lidar com as condições às vezes mutantes e a incerteza associada à mudança climática e outros desafios emergentes. Portanto, o planejamento estratégico é um aspecto importante e é um dos subindicadores aqui, assim como os mecanismos de monitoramento e aprendizado estabelecidos, que permitem atualizar e adaptar os planos estratégicos à medida que as circunstâncias mudam. A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação geral de 24

para Visão e Governança Adaptativa, a menor pontuação dentre os indicadores do componente de Governança e Partes Interessadas. Entre os dois subindicadores de Visão e Governança Adaptativa, as partes interessadas atribuíram maior peso ao subindicador de Mecanismos de Monitoramento (0.35).

4.4.1 **Mecanismos de Monitoramento**

Mecanismos de Monitoramento referem-se à qualidade e uso do monitoramento físico, químico e biológico dos recursos hídricos da bacia para orientar políticas e processos de planejamento. Idealmente, as decisões sobre o gerenciamento dos recursos hídricos são baseadas em dados e informações sólidas, mas isso requer a coleta dessas informações (o que implica custos) e a compreensão dessas informações pelos tomadores de decisão. **A Bacia do Guandu recebeu uma pontuação de 19 para este subindicador, pontuação que foi a menor dentre todos os subindicadores deste componente**. Ou seja, esta é uma área considerada de maior prioridade pelas partes interessadas para haver avanços significativos na governança dos recursos hídricos da bacia, especialmente aumentando a rede de monitoramento. O padrão de monitoramento das três variáveis analisadas (quantidade, qualidade e biológica) foi considerado mal monitorado, bem como o acesso ao monitoramento e uso da água foi considerado ruim.

4.4.2 **Planejamento Integral e Gerenciamento Adaptativo**

Planejamento Integral e o Gerenciamento Adaptativo mede até que ponto o planejamento estratégico abrangente (ou seja, a contabilização do uso da terra e da água e o desenvolvimento da infraestrutura) ocorre dentro da bacia. Ter planos abrangentes, com objetivos bem definidos e prioridades de desenvolvimento de recursos a longo prazo, pode ajudar a estabelecer uma visão para atender de forma sustentável às necessidades de água. Entretanto, mais importante, esses planos devem ser capazes de se ajustar à medida que as circunstâncias mudam, quando novas informações são disponibilizadas ou quando eventos imprevistos ocorrem. **O Planejamento Integral e o Gerenciamento Adaptativo recebeu uma pontuação de 34.** Os três processos avaliados (visão compartilhada, existência e uso de mecanismos de planejamento estratégico e existência e uso de uma estrutura de gestão adaptativa) foram considerados igualmente ruins para uma gestão dos recursos hídricos adequada.

5. **CONCLUSÃO**

Os resultados encontrados para a Bacia do Guandu indicam que o componente de Serviços Ecossistêmicos (74) apresentou a maior pontuação, seguido do componente de Vitalidade do Ecossistema (42) com uma pontuação intermediária, enquanto o componente de Governança e Partes Interessadas (26) pontuou menos, sendo o mais preocupante. A menor pontuação de Vitalidade do Ecossistema em relação a Serviços Ecossistêmicos demonstra que os serviços ou benefícios esperados da Bacia do Guandu estão sendo fornecidos às custas da integridade do ecossistema, principalmente da rede de drenagem. Isso pode ser evidenciado pela relação entre os subindicadores de Desvio do Regime Natural da Vazão (4) e Confiabilidade do Fornecimento de Água (99), que demonstra de forma clara que são necessárias grandes intervenções, como alteração do sentido original de rio e transposição de água, para o atendimento das demandas por água pela população.

A Confiabilidade do Fornecimento de Água foi também o subindicador considerado mais importante pelas partes interessadas dentre os dois indicadores avaliados do indicador de Provisão de Água. O indicador de Provisão por sua vez, foi considerado como mais relevante pelos atores que responderam à pesquisa de governança. Esses resultados confirmam a função essencial desempenhada e esperada da Bacia do Guandu para o abastecimento da população e economia da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. É importante notar, entretanto, que apesar dessa importância, a Bacia do Guandu encontra-se impactada pela passagem de cerca de 155 m^3/s de água da Bacia do Rio Paraíba do Sul, como mostra o indicador de Modificação da Margem. Nesse sentido, é necessário buscar melhorar as pontuações dessas variáveis para que não haja uma progressiva degradação da bacia. Por exemplo, melhorias da cobertura do solo por meio da recuperação das matas ciliares e reflorestamento das áreas de cabeceira poderia garantir o suprimento sustentável de água para os reservatórios a jusante, ao mesmo tempo mantendo a biodiversidade, uma vez que as parte interessadas compreendem que o subindicador de Desvio do Regime Natural de Vazão dificilmente poderá ser melhorado.

A pontuação de Governança e Partes Interessadas é o que demonstra maior preocupação. Apesar da Bacia do Guandu contar com os instrumentos de gestão previstos em lei, as partes interessadas reconhecem que a gestão dos recursos hídricos nessa bacia precisa melhorar significativamente. Mecanismos de Monitoramento foi o subindicador com menor pontuação, sugerindo que deve ser prioritário para resultados mais positivos da governança. Outros importantes documentos de diagnóstico da Bacia do Guandu corroboram esse resultado, pois apontam também para a escassez de alguns dados, como dos recursos hídricos subterrâneos (PROFILL, 2017). No presente estudo ficou evidente que uma rede de monitoramento mais robusta deve ser implementada. Ampliação das estações pluviométricas e fluviométricas, instalação de estações sedimentométricas e pontos de monitoramento da qualidade da água na Bacia do Rio Piraí, assim como monitoramento dos poços são algumas das ações necessárias e que podem contribuir para o maior conhecimento dos recursos naturais da bacia, aumentando a capacidade de planejamento e adaptação para o futuro.

Além disso, o aperfeiçoamento da governança, através da maior interação e transparência entre as instituições da Bacia do Guandu e comunicação com foco na ampliação das informações e conhecimentos sobre os recursos naturais pelas partes interessadas foi identificado nesse estudo. A reduzida capacidade financeira reflete o desafio de estruturar os recursos financeiros da Bacia do Guandu, principalmente no setor de saneamento, com os municípios. O saneamento ainda representa a agenda que concentra a maior parte dos recursos financeiros (80%) (PROFILL, 2017) que devem ser investidos para melhorar a condição da água.

Por fim, a forte dependência da Bacia do Guandu pelas águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul demonstra que deve haver uma maior integração da gestão dos recursos hídricos entre essas duas bacias. Em cenários de escassez hídrica, decisões de redução da vazão de transposição poderão gerar conflitos entre as partes interessas, representando grandes desafios para os gestores de recursos hídricos diante da frágil governança. Dessa forma, parece fundamental não apenas pensar em ações de conservação dos recursos hídricos nessa bacia doadora, mas também em ações que promovem a racionamento de água nas bacias receptoras. A ampliação da aplicação do Índice de Saúde da Água nessas bacias adjacentes (Bacia do Rio Paraíba do Sul e Bacia da Baía de Guanabara) pode trazer grandes contribuições nesse sentido.

MAIRA BEZERRA

PARTE II:

CENÁRIOS FUTUROS

1. CENÁRIOS FUTUROS DE MUDANÇA DE USO DA TERRA

1.1 Objetivos

Foram modelados dois cenários de mudança no uso da terra para a Bacia do Guandu para o ano de 2035 com o objetivo de A) estabelecer um cenário de "Business as Usual" baseado exclusivamente em tendências recentes de conversão e restauração das terras e B) criar um cenário de "Zoneamento", incorporando os planos de governo existentes que estabelecem áreas prioritárias tanto para a conservação das terras naturais existentes quanto para a restauração de terras degradadas. Estes cenários forneceram uma visão geral inicial dos diferentes caminhos que o uso da terra pode tomar no futuro próximo, mas também foram usados como insumos para o modelo hidrológico para avaliar os impactos potenciais sobre os fluxos da água superficial.

É importante notar que os modelos de mudança do uso do solo não são projetados para "prever" o futuro, uma vez que estes cenários foram criados para ajudar a explorar possíveis mudanças no futuro e seus impactos potenciais. Mais estudos são recomendados tanto para analisar com mais detalhe os planos específicos das sub-bacias hidrográficas, bem como para analisar os impactos adicionais, particularmente na qualidade da água e erosão, que a análise atual não fornece.

MAÍRA BEZERRA

1.2 **Resultados**

1.2.1 **“Business as Usual”**

Para o cenário “Business as Usual” (BAU) para 2035, a projeções indicaram aumento de 25% da área urbana total na Bacia do Guandu e o modelo indicou que essa expansão deve ocorrer principalmente nas proximidades da região metropolitana, nos municípios do Rio de Janeiro, Nova Iguaçu e Seropédica. Especificamente, se prevê que, aproximadamente, 10% da área de campo pode ser convertida para outros usos (aproximadamente 60% em área urbana, 25% em áreas de florestas de sucessão inicial e 20% em áreas com solo exposto). No total, as áreas de sucessão florestal na bacia podem aumentar em 18% e concentraram-se em duas áreas principais (Figura 6): região nas cabeceiras de drenagem das sub-bacias dos rios Santana e São Pedro, onde localiza-se uma unidade de conservação, conhecida como Reserva Biológica do Tinguá, e outra área nas proximidades do Reservatório de Ribeirão das Lajes, área atualmente com predomínio de áreas naturais e remanescentes florestais (PROFILL, 2017).

Figura 6. Cenário de “Business as Usual” em 2035 para a Bacia do Guandu.

1.2.2 **Zoneamento**

Para o cenário de “Zoneamento” para 2035, foram considerados planos de conservação e restauração (INEA, 2010) para restringir a urbanização e incentivar o reflorestamento. Neste caso, as projeções indicaram aumento de 25% da área urbana (aumento similar ao BAU), mas o padrão de crescimento dos assentamentos foi mais disperso por toda a bacia, ocorrendo mais nas sub-bacias litorâneas e do rio Piraí. Nesse cenário, o dobro das áreas denominadas como campo pode ser convertido (20%) em comparação com o cenário BAU, e quase 65% dessa conversão deve ser para floresta em estágio secundário de sucessão, seguido de área urbana e solo exposto. Como resultado, a área total de floresta em estágio secundário de sucessão pode dobrar nesse cenário (em comparação a linha de base) e está concentrada em áreas consideradas de alta prioridade para restauração, ou seja, nas proximidades de áreas protegidas e áreas com remanescentes florestais (Figura 7).

Figura 7. Cenário de “Zoneamento” em 2035 para a Bacia do Guandu.

2. **CENÁRIOS FUTUROS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

2.1 **Objetivos**

A modelagem teve como objetivo principal estabelecer cenários baseados nas mudanças potenciais nos padrões de temperatura e precipitação para duas Trajetórias de Concentração Representativas (RCP em inglês) até 2040. Os RCPs são caracterizados como trajetórias ou caminhos, pois permitem obter projeções de concentrações de emissão de gases de efeito estufa seguindo sua trajetória ao longo do tempo. Eles são representativos, porque concentram diferentes cenários, mas com forçantes radiativas similares. Existem diferentes tipos de cenários RCPs diferenciados pela magnitude do forçamento radiativo. Dois cenários de mudança climática foram modelados para a região da Bacia do Guandu, o RCP 4.5 e RCP 8.5 para representar dois extremos, um cenário otimista e outro pessimista, respectivamente. O cenário 4.5 é um cenário as emissões apresentam um nível baixo e o RCP 8.5 leva a um nível muito alto de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Esses cenários oferecem uma visão inicial das diferentes trajetórias que

o clima na região da Bacia do Guandu pode tomar no futuro próximo. Os resultados do modelo de cenários de mudanças climáticas foram usados como insumos para o modelo hidrológico calibrado para a região para entender os efeitos sobre a disponibilidade de recursos hídricos na área de estudo. É importante ter em mente que os modelos de mudança climática não são projetados para "prever" o futuro, mas foram criados para ajudar a explorar possíveis mudanças no futuro e seus possíveis impactos.

2.2 **Resultados**

Os resultados indicaram que o volume de precipitação para o período 2018-2037 considerando o cenário RCP 4.5 pode aumentar em toda a área da bacia em relação aos padrões de referência (1998-2017). Nesse cenário, a porcentagem de mudança varia de, aproximadamente, 1,35 a 2,80%. No cenário RCP 8.5, os padrões de precipitação tiveram uma tendência de redução em quase toda a área da bacia—as porcentagens de mudança variaram de -0,04 a -1,96%. A única região onde a precipitação deve aumentar no RCP 8.5 é na parte ocidental da bacia, mas os aumentos são insignificantes (até 0,8%).

Com relação a temperatura, o modelo previu aumentos para o período 2018-2037 em relação aos padrões de referência (1998-2017) para ambos os cenários modelados (RCP 4.5 e RCP 8.5) e as mudanças não diferem muito entre esses cenários. Os aumentos projetados para ambos os cenários variam de aproximadamente 1,4 a 2,4%.

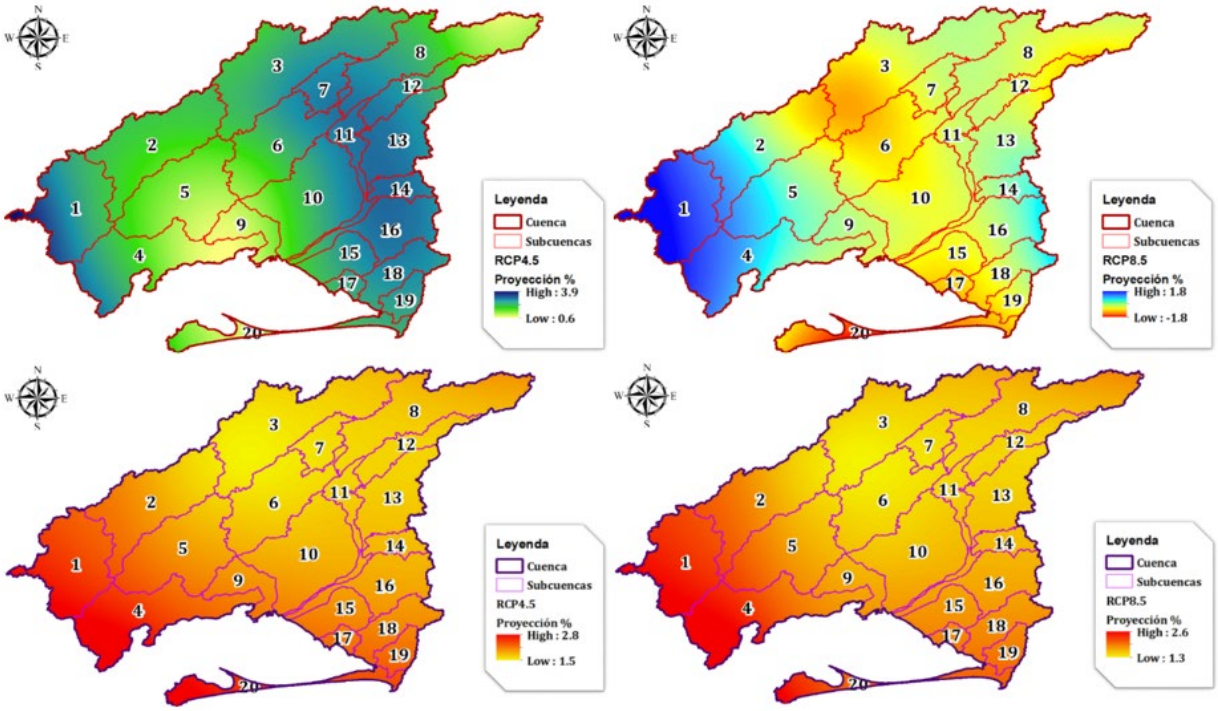


Figura 8. Projeções de mudanças para precipitação (acima) e temperatura (abaixo) para dois cenários de mudanças climáticas RCP 4.5 (à esquerda) e RCP 8.5 (à direita) para o período 2011-2040. Os resultados são apresentados em porcentagem, ou seja, a variação média da variável precipitação em relação ao período base (1981-2010).

PARTE III

MODELO HIDROLÓGICO

1. **Objetivos**

A modelagem hidrológica teve dois objetivos principais: A) estimar os fluxos que seriam esperados em condições naturais. Esta informação foi necessária para o cálculo do subindicador Desvio do Regime de Fluxo Natural do componente Vitalidade do Ecossistema; e B) estimar os efeitos de cenários futuros (mudanças climáticas e mudanças no uso da terra) na disponibilidade de água. A modelagem hidrológica foi feita em três etapas, incluindo levantamento de dados hidrometeorológicos, construção do modelo utilizando a ferramenta AQUATOOL (ANDREU et. al., 1996) e, posterior calibração e validação do modelo.

A área de estudo para modelagem hidrológica foi um pouco diferente da área utilizada para o cálculo dos indicadores ISA devido à localização de barragens, estações fluviométricas e consequentemente pontos de calibração. É importante ressaltar que o modelo hidrológico não foi elaborado para "prever" o futuro, porém os efeitos dos cenários futuros modelados sobre os padrões hidrológicos foram estudados para ajudar a explorar possíveis caminhos da disponibilidade hídrica de fontes superficiais em função das possíveis mudanças no futuro. Esta informação é relevante para auxiliar no planejamento de ações para o gerenciamento dos recursos hídricos.

2. **Resultados**

O modelo hidrológico forneceu informação sobre os volumes de água acumulados para cada uma das 17 sub-bacias consideradas. A figura 9 mostra que a separação de dois grupos em termos do padrão de vazão. A primeira correspondendo às sub-bacias com volumes acumulados acima de 200 hm^3, devido à transferência que recebem do rio Paraíba do Sul, e a segunda que corresponde às sub-bacias com volumes acumulados inferiores a 100 hm^3, resultantes de escoamentos naturais. A análise hidrológica indicou que que a bacia do rio Paraíba do Sul contribui com aproximadamente 94% da vazão encontrada atualmente na Bacia do Guandu.

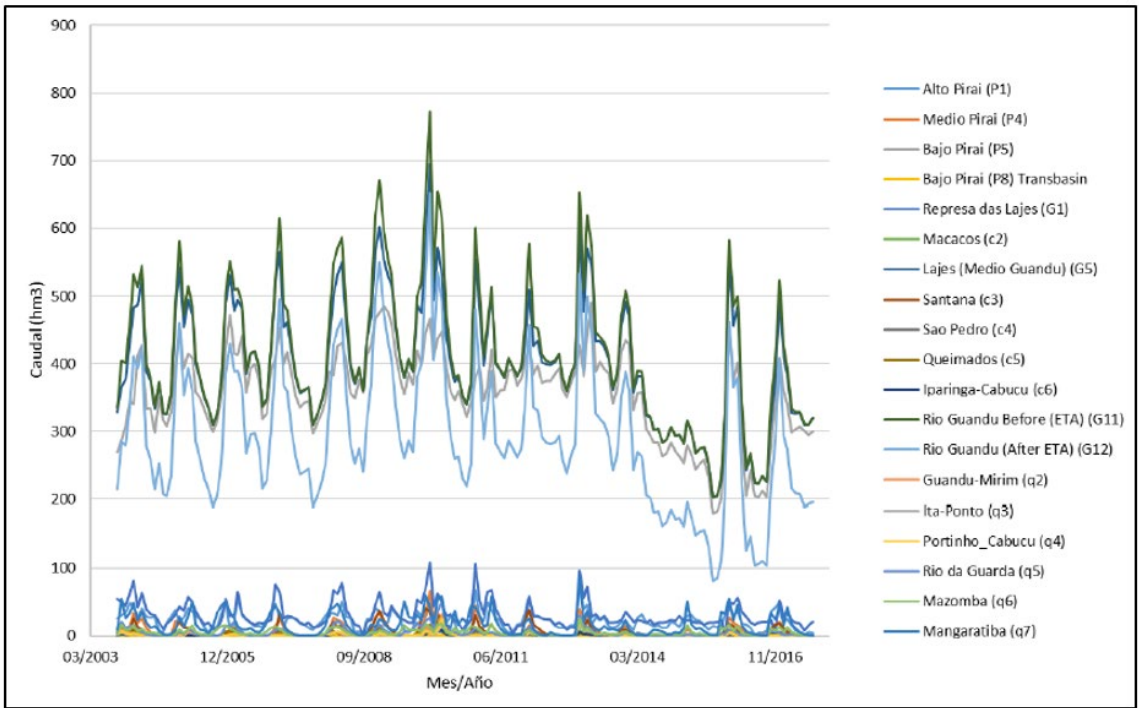


Figura 9. Volume acumulado mensal por sub-bacia (estado atual).

De uma forma geral, ambos os cenários de mundanças climáticas (RCP 4.5 e RCP 8.5) podem levar a uma diminuição geral dos escoamentos nas sub-bacias de Norte e Noroeste, o que contrasta com a tendência de aumento dos escoamentos nas sub-bacias da região Sudoeste. A vazão no canal princial do rio Guandu, por sua vez, deve diminuir pouco (4%) em ambas as projeções, o que pode estar relacionado ao fato da vazão deste rio ser altamente controlada pela transposição do rio Paraíba do Sul.

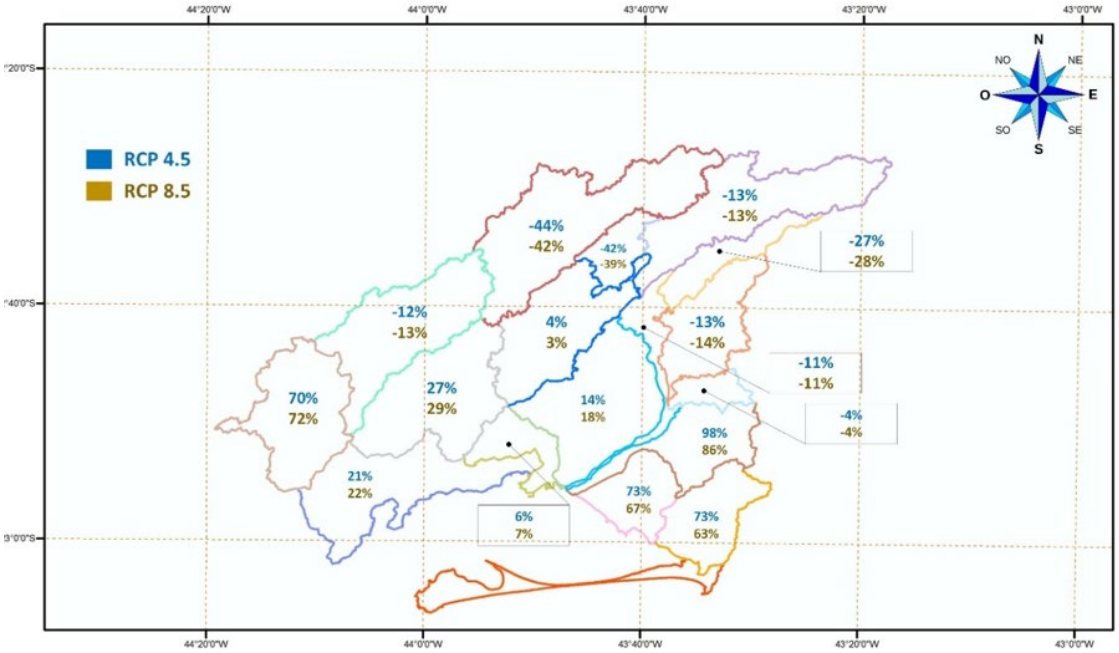


Figura 10. Resultados da variação do volume acumulado por sub-bacia em relação à integração dos cenários de mudanças climáticas (RCP 4.5 e RCP 8.5) para o período 2018-2035.

As análises considerando as projeções de mudança no uso do solo (Figura 11) revelaram possíveis aumentos das vazões, principalmente nas sub-bacias afetadas pela expansão urbana. Chama atenção que no cenário BAU, um aumento significativo (106%) ocorre na sub-bacia de Ita-Ponto, enquanto que na sub-bacias dos rios da Guarda e Guandu-Mirim observa-se incrementos em torno de 23% e 28% aproximadamente. Essa diferença dos aumentos pode estar relacionada ao fato da primeira sub-bacia ser mais fortemente impactada pela expansão da malha urbana do que as outras duas, ou seja, tornando-se mais sensível aos efeitos da perda de cobertura vegetal e redução da capacidade de infiltração. Análises das variações anuais por sub-bacia revelam o quanto os processos hidrológicos são sensíveis às mudanças da cobertura do solo ou o quanto os processos são controlados por intervenções hidráulicas ou regulação dos fluxos como, por exemplo, na Bacia do Guandu.

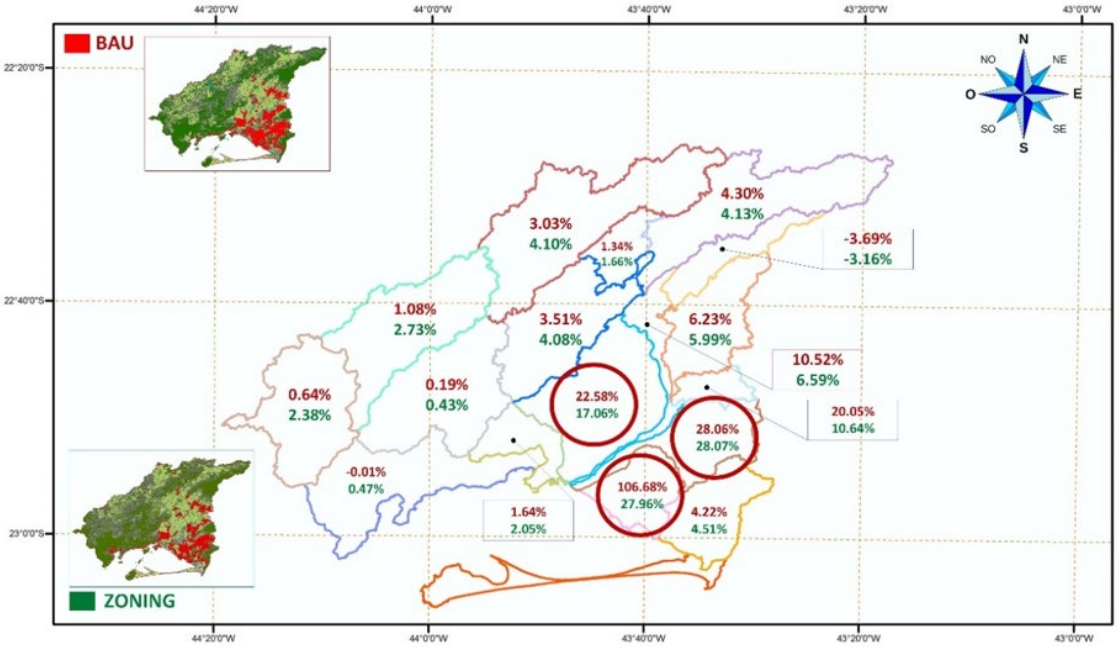


Figura 11. Porcentagem da variação do volume acumulado por sub-bacia para o período 2018-2035.

Os resultados considerando o cenário de redução de 15% da vazão transferida da bacia do rio Paraíba do Sul conjuntamente aos cenários de mudanças climáticas e uso da terra indicaram que todas as três combinações de projeções (Figura 12) devem reduzir a vazão do rio Guandu. Ou seja, projeta-se significante implicação ao abastecimento de água para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

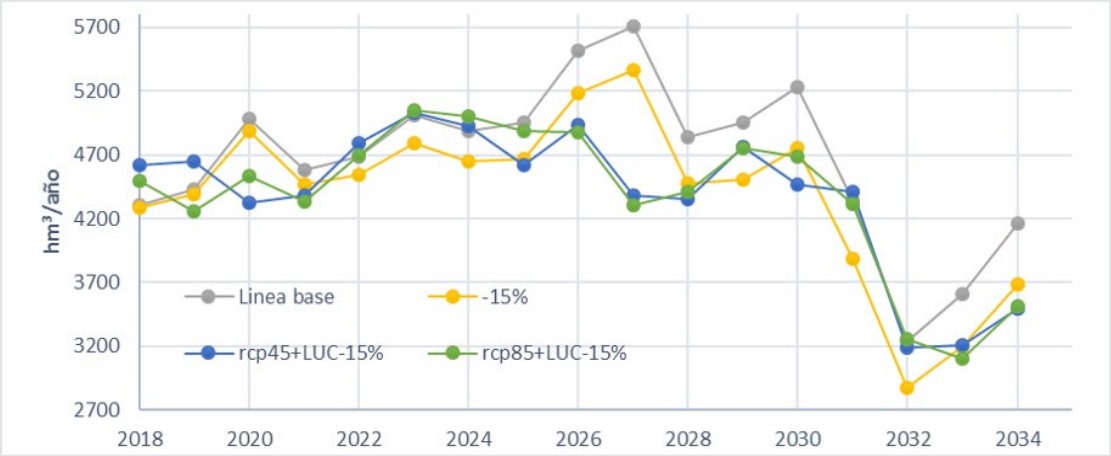


Figura 12. Volumes anuais considerando a redução do volume de água transferida no período 2018-2035 e os efeitos dos cenários de mudança do clima e mudança de uso do solo (BAU) no rio Guandu.

Diante desses cenários de redução da disponibilidade de água, há necessidade de desenvolver estratégias de minimização desse impacto, por exemplo, o reflorestamento e recuperação da bacia hidrográfica o qual pode levar a um melhor armazenamento de água no solo e água subterrânea (FILOSO et al. 2017). Além de apontar a necessidade de avaliar esses cenários futuros de mudanças climáticas, de mudança no uso do solo e consequentemente de disponibilidade hídrica para a bacia do rio Paraíba do Sul, como forma de compreender com mais certeza os impactos dessas mudanças na Bacia do Guandu.

PARTE IV:

INDICADORES PARA O FUTURO

Essa sessão tem como objetivo fornecer uma análise de tendências sobre como os cenários futuros de mudanças climáticas e mudanças no uso da terra podem influenciar os indicadores do Índice de Saúde da Água. É importante observar que as previsões apresentadas são especulações, uma vez que análises mais específicas precisariam ser feitas para realmente simular como as pontuações poderiam variar no futuro dependendo dos cenários.

Para a Bacia do Guandu, o exercício de previsão foi realizado considerando os resultados para os dois cenários de mudança do uso da terra, "Business as Usual 2035" e "Zoneamento 2035". Análises de tendências considerando os efeitos das mudanças no uso da terra no cenário "Business as Usual" foram concluídas para três indicadores: um subindicador do componente Vitalidade do Ecossistema (Modificação do Canal) e dois subindicadores do componente Serviços Ecossistêmicos (Regulação da Qualidade da Água e Regulação de Sedimentos). As análises das tendências considerando os efeitos das mudanças no uso da terra no cenário de "Zoneamento" foram concluídas para três indicadores: Naturalidade da Cobertura do Solo, Conservação e Patrimônio Cultural e Confiabilidade do Abastecimento de Água.

As simulações sobre as mudanças de uso da terra para a Bacia do Guandu, considerando o cenário de "Business as Usual", indicaram dois padrões principais: aumento nas áreas de pastagens e aumento nas áreas urbanas. O aumento nas áreas de pastagem pode afetar negativamente vários subindicadores do ISA. Por exemplo, em relação às áreas com florestas, áreas com pastagens têm, geralmente, um maior escoamento superficial. Como resultado do aumento do escoamento superficial, mais água da chuva deve atingir os rios. O maior volume de água nos rios durante os eventos de chuva geralmente resulta em mudanças nas dimensões dos canais devido à intensificação dos processos erosivos causados pela maior energia dos fluxos. Consequentemente, espera-se que a modificação das margens dos córregos e rios aumente nesse cenário de mudança de uso da terra em "Business as Usual".

Por se tratar de um processo erosivo, a modificação do canal resulta invariavelmente em um aumento na concentração de sedimentos carreados nos rios. Portanto, no cenário "Business as Usual" da mudança do uso da terra, a Regulação de Sedimentos da Bacia do Guandu pode ser comprometida. Uma quantidade maior de sedimentos, por sua vez, deve comprometer a Regulação da Qualidade da Água, que já é problemática na região.

Espera-se a redução do indicador de Regulação da Qualidade da Água também em função dos aumentos das áreas urbanas simuladas no cenário "Business as Usual" de mudança do uso do solo. A área urbana maior implica em maior produção de águas residuais, o que pode implicar em maior volume de águas residuais sem tratamento adequado sendo liberado nos rios, se a porcentagem de tratamento das águas for mantida igual à atual. Como a demanda biológica por oxigênio e oxigênio dissolvido são dois parâmetros que entraram na análise da qualidade da água espera-se que esses parâmetros sejam piores no cenário "Business as Usual".

As simulações sobre a mudança do uso do solo para a Bacia do Guandu considerando o cenário de "Zoneamento" indicaram dois padrões principais: redução de pastagens e aumento de áreas florestais. Juntos, esses dois padrões devem influenciar diretamente o indicador de Naturalidade da Cobertura Vegetal, onde se espera que haja um aumento na pontuação do mesmo. Com o aumento das áreas florestadas e/ou melhoria da condição das florestas degradadas, espera-se que a porcentagem dos rios protegidos aumente, aumentando, consequentemente, o subindicador Conservação e Patrimônio Cultural.

Outro exemplo que pode ser positivo em relação ao cenário de "Zoneamento" é o potencial de redução da produção de sedimentos associado à restauração de áreas degradadas. Essa redução pode envolver menores concentrações de sedimentos na água e melhoria na qualidade da água. No entanto, como esta melhoria deve ser marginal, uma vez que a Regulação de Sedimentos é dependente de outros atributos como, por exemplo, o legado de sedimen-

tos em rios e córregos não é possível dizer com clareza qual seria a direção do subindicador de Regulamento de Sedimentos e consequentemente do subindicador de Regulação da Qualidade da Água para o período do cenário simulado, porém a tendência é positiva a longo prazo.

Como pode ser observado, os cenários de mudança no uso do solo podem influenciar negativamente e positivamente vários atributos da saúde da Bacia do Guandu. Portanto, este exercício de desenvolvimento de cenários futuros e análise de como esses cenários podem influenciar os indicadores do Índice de Saúde da Água pode ajudar diretamente no planejamento estratégico da bacia. Como resultado, pode ajudar a evitar surpresas e garantir a distribuição sustentável e equitativa da água entre as diferentes partes interessadas.

HIRAM ORTEGA BORUNDA

APÊNDICE

PARTE I:

MÉTODOS PARA O CÁLCULO DOS INDICADORES

A documentação completa dos métodos para o Índice de Saúde de Água (ISA) está disponível em ISA Manual do Usuário, que pode ser acessado através do site (freshwaterhealthindex.org) em três idiomas (português, espanhol e inglês). Abaixo são apresentados detalhes dos métodos e dados usados para a avaliação da Bacia do Guandu. É importante ressaltar que todos os subindicadores foram agregados ao nível dos indicadores e estes foram agregados ao nível dos componentes. A agregação dos subindicadores e indicadores do componente de Vitalidade do Ecossistema foi feita por média geométrica, enquanto que os subindicadores e indicadores dos componentes de Serviços Ecossistêmicos e Governança e Partes Interessadas foram agregados por média pondera, levando em consideração a importância relativa (peso) dada pelas partes interessadas.

VITALIDADE DO ECOSSISTEMA

Desvio do Regime Natural da Vazão

O Desvio do Regime de Vazão Natural mede o grau em que as vazões atuais de água se diferenciam das vazões naturais históricas através do cálculo da Proporção Anual Alterada de Desvio de Vazão (AAPFD) (GEHRKE ET AL., 1995, GIPPEL ET AL., 2011). Quanto maior o AAPFD, maior a alteração da vazão em relação as condições naturais. A AAPFD foi calculada com dados estimados representando as vazões esperadas em condições naturais e dados estimados representando as vazões esperadas em condições atuais. O AQUATOOL foi usado com uma plataforma de modelagem hidrológica para estimar os dois tipos de condições de vazões. O AQUATOOL é um Sistema de Apoio à Decisão para planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas ou sistemas de recursos hídricos. Mais especificamente, foi utilizado o módulo EVALHID que é um módulo para o desenvolvimento de modelos chuva-vazão em bacias complexas e que avalia a quantidade de recursos hídricos produzidos. A modelagem hidrológica incluiu 17 sub-bacias e foi realizada para o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2016. As vazões naturais foram simuladas considerando o mapa de vegetação natural potencial disponível para a região (INEA, 2010).

O modelo hidrológico incluiu dados de precipitação e temperatura de diferentes períodos dos órgãos públicos ambientais ANA, INMET, GEORIO, INEA e dados de vazão da ANA, INEA e LIGHT. Para períodos com ausência de dados, os mesmos foram levantados do banco de dados GIOVANNI. Além desses, foram utilizados dados geográficos como mapa de delimitação da bacia e sub-bacias (modificado de ANA, 2014), mapa do uso da terra do INEA (2007, 2013 e 2015) e IBGE (2016), mapa do tipo do solo (IBGE, 2017), mapa da rede de drenagem (IBGE, 2018) e as coordenadas geográficas das estações meteorológicas. Foram realizadas análises para 17 sub-bacias no período de janeiro de 2004 a dezembro de 2016. Os fluxos naturais foram simulados considerando o mapa de vegetação natural potencial disponível para a região (INEA, 2010). Maiores detalhes sobre o método utilizado para o cálculo desse subindicador pode ser obtido no relatório de modelo hidrológico.

Esgotamento de Água Subterrânea

Esgotamento de Água Subterrânea é calculado como a proporção da área total do aquífero na bacia que enfrenta diminuição. Para o cálculo, foram utilizados dados secundários de disponibilidade de água subterrânea e demanda do Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim (PROFILL, 2017). Os dados de demanda foram estimados nesse estudo através dos poços tubulares do

Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH. Os dados foram então sistematizados em planilha de excel. As áreas que enfrentam diminuição de água subterrânea foram identificadas quando o consumo era superior a 50% da disponibilidade e a pontuação foi obtida segundo a equação abaixo:

$$GwSD = \left(1 - \frac{\sum a}{A}\right) * 100$$

onde a é a área onde problemas de esgotamento foram identificados, e A é a área da sub-bacia/bacia sendo estudada. A pontuação de 93 indica que quase nenhuma área da bacia do Guandu enfrenta problema de diminuição ou esgotamento de água subterrânea

Índice de Qualidade da Água

O Índice de Qualidade da Água mede o quanto os parâmetros de qualidade de água diferenciam-se dos valores necessários para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos e é calculado usando o método CCMW modificado (Canadian Council of Environment Ministries, 2001). Este método incorpora três elementos: 1) Escala: o número de variáveis que não atendem aos limites de qualidade da água; 2) Frequência - o número de vezes que esses objetivos não são atingidos; e 3) Amplitude - em que medida os objetivos não são alcançados. O índice produzido é um número entre 0 (pior qualidade da água) e 100 (melhor qualidade da água) que é usado como uma pontuação para o ISA. Foram utilizados dados de seis parâmetros (pH, TP, DBO, DO e T) monitorados pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) em 28 pontos na Bacia do Guandu, no período entre 2015 e 2017. Informações sobre os limites dos parâmetros necessários para garantir a conservação dos ecossistemas aquáticos foram obtidos da Resolução nº 357, de 17 de março de 2015 do Conselho Nacional do Meio Ambiente e literatura científica (ALLAN & CASTILLO, 2007). Foi necessário usar a literatura científica porque a resolução traz limiares que são muito altos para condições naturais de alguns parâmetros (e.g., nitrato). Uma vez levantado os dados, esse sub-indicador foi calculado através de uma planilha de Excel própria, seguindo a metodologia do manual do usuário. A pontuação final da bacia é uma média geométrica entre os valores obtidos para cada estação de monitoramento, usando o comprimento do canal (IBGE, 2016) como ponderação.

Modificação da Margem

A Modificação da Margem foi avaliada através da perda de vegetação ripária como uma aproximação para a modificação da margem dos rios. O uso da terra foi extraído do mapa de uso da terra (INEA, 2015) para uma zona ripária de 30 m ao longo de toda a rede de drenagem. Para isso foi utilizado o software ArcGis 10.5. Uma pontuação foi atribuída para cada classe de uso da terra, variando de 0 - quase nenhuma modificação a 1 - modificação completa, como retificação dos rios e criação de canais artificiais. Especificamente para a Bacia do Guandu, usamos as seguintes pontuações: 0 para nenhuma modificação visível, em vegetações naturais; 0,25 para alguma modificação, em áreas de floresta secundária e reflorestamento; 0,5 para modificações visíveis, em áreas de agricultura; 0,75 em áreas de campo e pastagem; 0,85 para áreas alagadas, como reservatórios; e 1 para canais totalmente modificados, em áreas urbanas e áreas com solo exposto. A pontuação final para a bacia é uma média geométrica ponderada, usando o comprimento do canal (IBGE, 2016) como ponderação.

Naturalidade da Cobertura do Solo

A Naturalidade da Cobertura do Solo foi avaliada utilizando-se o mapa de uso da terra produzido pelo INEA para o ano de 2015. As diferentes classes de uso do solo no mapa receberam pontuações variando de 0 a 100, de acordo com os seguintes critérios: 100 para áreas naturais e florestas em estágios avançados de sucessão, 70 para florestas em estágios iniciais de sucessão, 50 para reflorestamento comercial, 35 para agricultura, 20 para pastagem, 15 para áreas alagadas, 10 para solo exposto, pois estão relacionados a áreas de extração de areia e 0 para uso urbano. A naturalidade foi calculada em relação a um pixel de 30 m. A pontuação para a Bacia do Guandu inteira é o valor médio calculado usando a estatística zonal das pontuações para cada uma das sub-bacias. Para o processamento desses dados foi utilizado o software ArcGis 10.5.

Espécies de Interesse

Espécies de Interesse mede o grau de ameaça das espécies de ambientes aquáticos (peixes, anfíbios, crustáceos, moluscos, insetos e plantas). Como não há dados de monitoramento contínuo de espécies para a Bacia do Guandu, este subindicador representa a proporção de espécies com algum tipo de ameaça em relação à diversidade total de espécies já observadas. Esta proporção é ponderada de acordo com a classificação da IUCN para cada espécie, isto é, criticamente ameaçada, ameaçada, vulnerável e quase ameaçada. Para a Bacia do Guandu, os dados das espécies de interesse foram obtidos a partir de três fontes: Lista Vermelha da IUCN (2018) com informações espaciais para anfíbios, répteis, crustáceos, moluscos, insetos e plantas, Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (PROFILL, 2017) e Guia de identificação das espécies de peixes da Bacia do Rio das Pedras, município de Rio Claro, para as espécies de peixes (BUCKUP et al., 2014). A classificação da IUCN para espécies de peixes foi obtida consultando o próprio site da Lista Vermelha. Os dados das aves relacionadas aos ambientes aquáticos não ocorrem. Após o levantamento e sistematização de dois dados em planilha de Excel, calcula-se uma proporção de espécies com algum tipo de ameaça em relação a uma diversidade total.

Espécies Invasoras

Esse subindicador mede a predominância de espécies invasoras. Como não há dados de monitoramento contínuo de espécies invasoras para a Bacia do Guandu, o cálculo é diretamente proporcional ao número total de espécies invasoras presentes na área de estudo, segundo a equação abaixo:

$$I_{IN,i} = \begin{cases} 1 - \dfrac{n_{IN,i}}{10}, & \text{for } 0 \leq n_{IN,i} \leq 8 \\ 0.1, \text{ for } n_{IN,i} \geq 9 \end{cases}$$

Onde n IN,i é o número de espécies invasoras e indesejadas na bacia, no tempo t = i. O número total de espécies invasoras foi determinado através de uma revisão de literatura (PROFILL, 2017; BUCKUP et al., 2014), cujos dados levantados foram então organizados em planilha de Excel. Vale destacar que a pontuação encontrada não reflete a dinâmica temporal de espécies invasoras, o que seria ideal para prover uma visão mais robusta desse subindicador.

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Confiabilidade do Fornecimento de Água Relativo à Demanda

Esse subindicador foi avaliado utilizando-se dados de 2017 de disponibilidade e demanda de seis setores (abastecimento urbano, abastecimento rural, indústria, termoelétrica, irrigação, mineração e dessedentação de animais) relacionadas com 13 Unidades Hidrológicas de Planejamento (PROFILL, 2017). Foi assumido que a disponibilidade para atendimento das demandas é 50% da Q7,10, que é o mesmo critério adotado pelo INEA para as outorgas de captação. As análises do atendimento das demandas foram feitas com base nesses novos valores, tendo-se como objetivo atender 100% das demandas. Os dados foram tratados previamente em planilha de Excel e posteriormente o cálculo foi realizado em planilha de Excel própria para o cálculo dos serviços de provisão e regulação. Uma pontuação de 99 para a Bacia do Guandu indica ótimo atendimento da demanda hídrica. No entanto, vale ressaltar que essa pontuação foi obtida com base nos valores da disponibilidade da vazão modificada pela transposição de águas do Rio Paraíba do Sul e que quando esse subindicador é calculado com base na vazão natural, a pontuação cai para 75.

Regulação de Sedimentos

A Regulação de Sedimentos foi avaliada utilizando-se como aproximação dados de sólidos dissolvidos totais e turbidez monitorados periodicamente pelo INEA, no período de 2017 a 2015. Idealmente são necessários dados sobre a taxa de sedimentação das represas para diferentes anos para o cálculo desse subidicador, além destes, são necessárias informações sobre o limiar de sedimentação aceitável estimado nos projetos das barragens, porém esses dados não foram disponibilizados pela empresa responsável. A pontuação de 67 indicada uma capacidade moderada do ecossistema da Bacia do Guandu de controlar a erosão e regular a produção de sedimentos.

Regulação da Qualidade da Água

A Regulação da Qualidade da Água foi avaliada pelo mesmo método do Índice de Qualidade da Água, descrito no componente Vitalidade do Ecossistema. A diferença é que os valores para este subindicador são menos restritivos. Utilizaram-se seis parâmetros monitorados pelo INEA em 28 pontos, durante o período de 2015 a 2017. Os valores limites para os parâmetros de qualidade da água foram obtidos da Resolução nº 357, de 17 de março de 2015 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, relacionados com a classe especial, classe 1 e classe 2 (CONAMA, 2005). Cada classe determinada as finalidades e usos dos trechos dos rios, que são enquadrados pela Resolução CERHI-RJ nº 127, 27/08/ 2014.

Regulação de Doenças

A Regulação de Doenças foi avaliada com dados de ocorrência de três doenças relacionadas com a água (dengue, febre amarela e malária) em 13 municípios dentro da Bacia do Guandu (Seropedica, Eng. Paulo de Frontin, Itaguai, Japeri, Miguel Pereira, Paracambi, Queimados, Rio Claro, Pirai, Mangaratiba, Rio de Janeiro, Nova Iguacu, Mendes) durante os anos de 2015, 2016 e 2017. Os municípios de Barra do Piraí e Vassouras não foram incluídos na análise porque somente uma parte muito pequena de sua área está dentro da bacia. Os dados foram obtidos do Departamento de Informática do SUS (DATASUS, 2018). Os limiares das doenças foram estabelecidos por revisão de regulamentos e literatura mundial. A análise também incluiu dados de coliformes fecais (INEA, 2015, 2016 e 2017) como uma aproximação da ocorrência de diarreia que pode estar relacionada à água. Para cada uma das doenças, uma pontuação diferente foi calculada e a pontuação final é a média geométrica das pontuações obtidas para cada uma das doenças.

Regulação de Inundações

A Regulação de Inundações foi avaliada através de uma aproximação, com dados de leptospirose de 13 municípios nos anos de 2015, 2016 e 2017, obtidos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Assim como para os outros subindicadores de serviços ecossistêmicos, os dados foram sistematizados e calculados em planilha própria do Excel. O Ministério da Saúde considera que a leptospirose é uma doença infecciosa transmitida ao homem pela urina dos roedores, principalmente pela ocasião das enchentes. Para o limiar, assumiu-se o valor zero, pois espera-se que nenhuma inundação ocorra.

Conservação e Patrimônio Cultural

Esse subindicador foi avaliado determinando-se a porcentagem do comprimento da rede de drenagem dentro de áreas protegidas. O objetivo é ter, pelo, menos, 17% da rede de drenagem dentro de áreas protegidas, que é o limite estabelecido pela Meta de Aichi para a Diversidade Biológica. Para o cálculo desse subindicador utilizaram-se dados espaciais da rede de drenagem (IBGE, 2018) e das unidades de conservação (INEA 2017; INEA 2018). Como as unidades de conservação podem apresentar diferentes objetivos, o que pode implicar em maior ou menor eficácia na proteção dos recursos hídricos, assumiram-se diferentes pesos das unidades de conservação. Ou seja, unidades de conservação de proteção integral receberam peso de 0,6 e unidades de conservação de uso sustentável receberam peso de 0,4. O processamento e cálculo desse sub-indicador foi realizado com a utilização do software ArcGis 10.5.

GOVERNANÇA E PARTES INTERESSADAS

Os indicadores de Governança e Partes Interessadas foram determinados pelo método de pesquisa, que consiste na aplicação de um questionário de percepção com 51 perguntas, utilizando-se uma escala de 5 pontos. Os questionários de percepção foram aplicados no primeiro encontro com as partes interessadas em maio de 2018. No total, 22 atores participaram, representado setores do governo, da sociedade civil, academias, indústrias e ONGs, com conhecimentos sobre as questões de governança na Bacia do Guandu. As pontuações de cada pergunta foram então agregadas em valores médios dentro de módulos, onde cada módulo estava relacionado com cada subindicador e incluía de 3 a 6 perguntas. Os valores médios foram então normalizados para uma escala de 0 a 100.

PONDERAÇÃO

A avaliação da prioridade relativa que as partes interessadas dão aos indicadores e subindicadores dos componentes de Serviços Ecossistêmicos e Governança e Partes Interessadas foi realizada através do Processo Analítico de Hierarquia (AHP) (SAAD, 1990). Esse método foi aplicado no primeiro encontro com as partes interessadas, onde os participantes puderam realizar uma série de comparações pareadas e depois avaliar a força de suas preferências.

MAIRA BEZERRA

APÊNDICE

PARTE II:

MÉTODOS PARA OS CENÁRIOS FUTUROS

1. MODELO PARA CENÁRIOS DE MUDANÇA DE USO DA TERRA

Métodos e dados de entrada

A mudança no uso da terra foi modelada usando o IDRISI do Earth Change Modeler. Dois mapas de cobertura do solo do INEA foram usados para calibrar o modelo, um de 2007 e outro de 2015. As áreas dos mapas classificadas como "nuvens" ou "sombras", que foram registradas nas imagens de satélite, foram reclassificadas com base em sua classe predominante de cobertura do solo circundante para atingir 11 classes no total. A partir desses dois conjuntos de dados, foi possível determinar a "demanda" por diferentes usos da terra entre 2007-2015. Para avaliar os fatores geográficos que influenciaram a mudança no uso da terra durante o período, foram utilizados dados sobre a malha rodoviária (IBGE, 2018), declividade e elevação (IBGE, 2018) e proximidade a áreas urbanas e terras degradadas.

Mudanças observadas e configuração do modelo

Entre 2007 e 2015, houve uma grande perda líquida de terras desmatadas classificadas como "pastagens". A maioria se tornou terra urbana, mas algumas áreas foram ativamente reflorestadas e, portanto, classificadas como floresta sucessional inicial até 2015. Portanto, as mudanças predominantes foram as conversões do campo existente para a terra urbana e floresta. Uma área mínima foi desmatada durante este período, evidenciando que os esforços de restauração tiveram sucesso. A modelagem dessas mudanças no futuro é, portanto, simples, que foram realizadas com base nas tendências históricas observadas entre 2007 e 2015. No cenário "Business as Usual", a demanda por novas áreas urbanas e reflorestadas foi extrapolada da tendência observada em 8 anos. A probabilidade de transição, isto é, a probabilidade de que qualquer parcela de terra sofra uma mudança de algum tipo de uso da terra para outro, foram calculadas para todas as transições relevantes, com base na experiência histórica e na influência de variáveis espaciais como proximidade às estradas, declive da terra e outros fatores nas transições observadas.

2. MÉTODO PARA OS CENÁRIOS FUTUROS DE MUDANÇA CLIMÁTICA

Método e dados de entrada

Para realização desse estudo utilizou-se uma metodologia que consistiu em cinco etapas principais: levantamento de dados, preparação dos dados, redução da escala do modelo de circulação global, cálculo de projeções e interpretação dos resultados. O modelo de circulação global (GCM) aplicado, CSIRO-MK3.0, corresponde a um modelo acoplado atmosférico-oceânico que contém uma representação completa dos quatro componentes principais do sistema climático (atmosfera, superfície terrestre, oceanos e gelo marinho). Os dados necessários para o modelo foram obtidos de estações climatológicas locais do INMET (1990-2017), do "Sistema Global de Assimilação de Dados Terrestres" (GLDAS), para o preenchimento de dados faltantes, do reanálise ERA-INTERIM no período de 1981-2010 e dados do Modelo de Circulação Global. Posteriormente ao tratamento dos dados, a escala do modelo de circulação global (GCM) foi reduzida para escala local, utilizando um método estatístico, conhecido como "Modelo Estatístico para Redução de Escala" (SDSM). Em seguida, as projeções de precipitação e temperatura foram calculadas em porcentagem de mudança em relação aos padrões atuais.

APÊNDICE

PARTE III:

MÉTODO PARA O MODELO HIDROLÓGICO & MÉTODOS PARA PROJEÇÕES DOS EFEITOS DOS CENÁRIOS FUTUROS NA DISPONBILIDADE HÍDRICA

Método, dados de entrada e calibração do modelo hidrológico

A ferramenta AQUATOOL (ANDREU et al., 1996) foi utilizada para a construção do modelo hidrológico das duas áreas. O AQUATOOL é um Sistema de Suporte à Decisão (SSD) para planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas. Dentro do AQUATOOL, foi desenvolvido um modelo de precipitação-escoamento utilizando o modelo Témez (Témez, 1977), que é amplamente utilizado pela quantidade de parâmetros que considera. Os parâmetros das bacias monitoradas foram derivados dos dados das estações meteorológicas, utilizando a ferramenta de calibração EVALHID. O modelo requer, por exemplo, dados de precipitação, temperatura, evapotranspiração potencial e vazão a ser calibrada. Informações cartográficas (mapa do tipo de solo, topográfico e hidrográfico) também foram necessárias para o desenvolvimento do modelo e obtidas a partir de fontes oficiais.

Foram utilizados dados mensais de precipitação de 14 estações meteorológicas (ANA, INEA, LIGHT, INMET, GEORIO) que abrangem toda a área de estudo por um período de 28 anos (1990 a 2018). Como a série temporal apresentou dados perdidos, as informações de satélite do banco de dados GIOVANNI (NASA, 2018) foram usadas como complemento. Neste caso, analisou-se a correlação entre a série de GIOVANNI e série observada de estações e ajuste subsequente multiplicando um fator de correção usando o critério de minimizar o erro quadrado médio (MSE). Em relação aos dados de temperatura, levantaram-se dados de 12 estações climatológicas (INMET, GEORIO), sendo que apenas 8 foram consideradas por sua série. Dados de temperatura foram usados para estimar a evapotranspiração potencial pelo método de Thornwaite (Thornwhite, 1948).

Como dados de entrada, o modelo usa valores mensais de precipitação e temperatura, que foram obtidos usando o método do polígono de Thiessen (Thiessen, 1911). Os dados de vazão utilizados foram obtidos a partir do monitoramento de sete barragens, para a calibração do modelo.

Visão geral do processo de calibração do modelo hidrológico

Para a elaboração do modelo que representa o estado atual da bacia, foi feita uma representação dos principais elementos da bacia (Figura 13) com o objetivo de compreender os fluxos de transferência para a Bacia do Guandu. A modelagem hidrológica e a calibração foram realizadas em várias etapas devido à complexidade do sistema hidrelétrico com o objetivo de integrar os modelos de transferência e as plantas de produção de energia elétrica. Para isso, foram consideradas as três principais sub-bacias de suprimento identificadas na área, suas áreas de contribuição e o volume de água superficial, bem como os volumes da transferência. A calibração foi feita

utilizando o diagrama completo na entrada e saída de acordo com as informações dos efluentes e afluentes que foram coletados no período de 01/10/2013 a 01/09/2017 para as barragens. Em geral, um indicador de calibração satisfatório (r > 0,90) foi obtido para cada um dos três pontos de calibração.

Figura 13. Situação atual do sistema hidrelétrico na Bacia do Guandu.

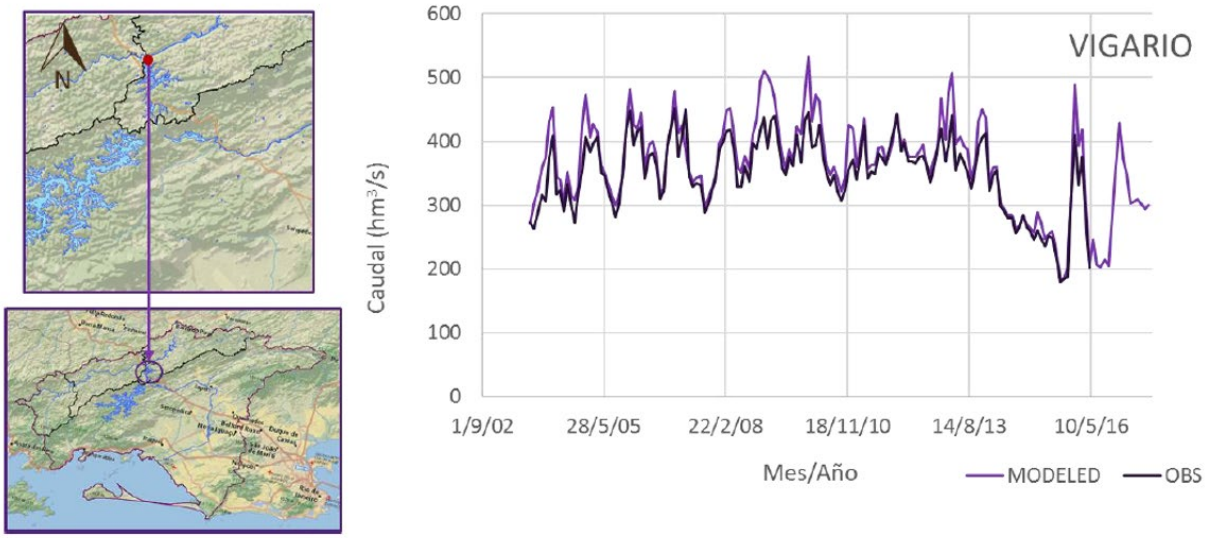


Figura 14. Ponto de calibração na Represa de Vigário.

Configuração do modelo hidrológico para projeções de cenários futuros

A avaliação dos cenários futuros de disponibilidade hídrica para a Bacia do Guandu se deu através da integração das seguintes projeções: cenário de mudança climática RCP 4.5; cenário de mudança climática RCP 8.5; cenário de mudança no uso do solo "Business as Usual" (BAU); cenário de mudança no uso do solo "Zoneamento"; cenário de redução de 15% da vazão transposta do rio Paraíba do Sul; cenário que integra as projeções de RCP 4.5, BAU e redução de 15% da vazão transposta; e cenário que integra as projeções de RCP 8.5, BAU e redução de 15% da vazão transposta. Todas essas combinações foram geradas para um período entre 2011 e 2035, utilizando-se a ferramenta AQUATOOL. É importante ressaltar que dados de precipitação e temperatura gerados para os cenários de mudanças climáticas RCP 4.5 e RCP 8.5 foram usados como entrada no modelo, assim como mapas de uso do solo nos cenários BAU e Zoneamento, que forneceram parâmetros de capacidade máxima de umidade de solo (Hmax) diferentes para cada sub-bacia. Para análise dos dados foi gerado também uma linha de base com o modelo hidrológico levando em consideração o volume dos últimos 17 anos (2001-2018), sem considerar mudanças climática, no uso do solo ou da vazão transposta.

MAÍRA BEZERRA

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS & SONDOTÉCNICA ENGENHARIA DE SOLOS S.A. Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. Portal Hidroweb. 2018. Disponível em <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf> Acessado em 02/07/2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. Sistema Hidro-Telemetria. 2018. Disponível em < http://www.snirh.gov.br/gestorp-cd/rhnr.aspx> Acessado em 02/07/2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. Sistema de Acompanhamento de Reservatórios. Disponível em < http://sar.ana.gov.br/MedicaoSin> Acessado em 02/07/2018.

ALLAN, J. D., CASTILLO, M. M. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. 2nd Edition, Chapman and Hall, New York. 2007.

ANDREU, J.; CAPILLA, J.; SANCHIS, E. AQUATOOL, a generalized decision support system for water resources planning and operational management. Journal of Hydrology, v. 177, p. 269-291, 1996.

BUCKUP, P. A., BRITTO, M. R., SOUZA-LIMA, R., PASCOLI, J. C., VILLA-VERDE, L., FERRARO, G. A., SALGADO, F. L. K., GOMES, J. R. Guia de identificação das espécies de peixes da Bacia do Rio das Pedras, município de Rio Claro, RJ. 2014. Rio de Janeiro: The Nature Conservancy, 2014.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual. 2001. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). 2018. Disponível em <https://www.decea.gov.br/> Acessado em 02/07/2018.

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE (DATASUS). Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN). Disponível em <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0203&id=29889987&VObj=http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sinannet/cnv/dengue> Acessado em 02/07/2018.

FILHO, D. T., ANTUNES, J. C. O., VETORAZZI, J. S. Bacia Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim: experiências para a gestão dos recursos hídricos. Instituto Estadual do Ambiente. Rio de Janeiro, 2012.

FILOSO, S.; BEZERRA, M. O.; WEISS, K. C. B.; PALMER, M. A. Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. PLoS ONE, v. 12, n. 8, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Base Cartográfica Contínuo do Estado do Rio de Janeiro. Escala 1:25.000. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Carta Temática Vetorial de Pedologia. Escala 1:250.000. 2017.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Boletim de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica II. 2017. Disponível em <http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-das-aguas-por-regiao-hidrografica-rhs/> Acessado em 02/07/2018.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo do Estado do Rio de Janeiro no ano de 2015. Escala 1:100.000. 2017.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Mapa das Unidades de Conservação Federais. 2018 Disponível em <https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=00cc256c620a4393b3d04d2c34acd9ed> Acessado em 02/07/2018.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Mapa das Unidades de Conservação Estaduais. 2018 Disponível em <https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=00cc256c620a4393b3d04d2c34acd9ed> Acessado em 02/07/2018.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Mapa das Unidades de Conservação Municipais. 2018 Disponível em <https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=00cc256c620a4393b3d04d2c34acd9ed> Acessado em 02/07/2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). 2018. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/> Acessado em 02/07/2018.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas. Disponível em <https://www.iucnredlist.org/> Acessado em 02/07/2018.

JORDÃO, M. D. L. Influência da transposição de bacias do Paraíba do Sul-Piraí-Guandu na descarga de sólidos suspensos para a Baía de Sepetiba. 2017. 294 p. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF. 17 mar. 2005.

PROFILL. Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim. 2017. Disponível em <http://www.comiteguandu.org.br/plano-de-bacia.php.> Acessado em 02/07/2018.

RIO DE JANEIRO. Resolução CERHI-RJ nº 127, 27 de agosto de 2014. Aprova o enquadramento de corpos de água em classes de uso para 24 trechos de rio da Região Hidrográfica Guandu. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 27 ago. 2014.

SAATY, T. L. 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. European journal of operational research, 48(1):9-26.

SISTEMA ALERTA RIO DA PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO (ALERTA RIO). 2018. Disponível em <http://alertario.rio.rj.gov.br/> Acessado em 02/07/2018.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E GEOAMBIENTAIS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS GUANDU, DA GUARDA E GUANDU-MIRIM (SIGA-GUANDU). 2018. Disponível em <http://www.sigaguandu.org.br/map#> Acessado em 02/07/2018.

THIESSEN, A. H. Precipitation averages for large areas. Monthly Weather Review, n. 39, p. 1082-1084, 1911.

THORNWHITE, C. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, vol. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

NOTA FINAL

A equipe da Conservation International (CI) foi responsável pela coleta e organização dos dados necessários para a análise de todas as sessões deste relatório, pelo cálculo os indicadores do Índice de Saúde da Água, pela elaboração dos cenários de mudança no uso da terra e pelas análises dos impactos dos cenários futuros nos indicadores, bem como a criação deste relatório. A equipe do Instituto de Tecnologia de Monterrey foi responsável pelo desenvolvimento dos cenários de mudanças climáticas, pela calibração do modelo hidrológico, pelas análises sobre os impactos de cenários futuros na hidrologia, e pela busca de dados adicionais quando aqueles disponíveis de fontes públicas compartilhados pela CI não foram suficientes para realizar suas análises.

HIRAM ORTEGA BORUNDA