



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Maria Augusta Roberto Braga Nogueira

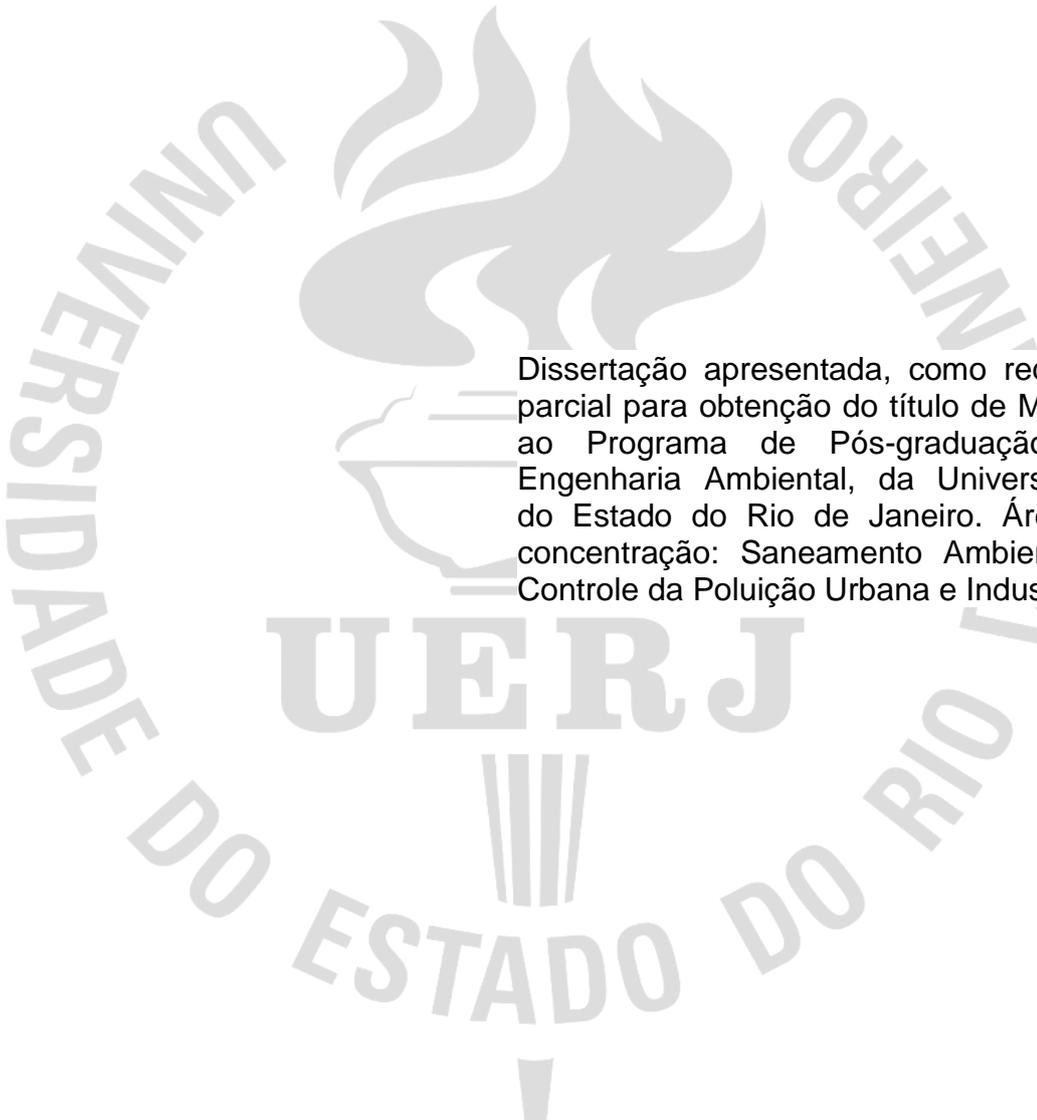
**VARIABILIDADE CLIMÁTICA, DISPONIBILIDADE HÍDRICA E
ETA GUANDU: UMA ANÁLISE QUALITATIVA DE VULNERABILIDADE**

Rio de Janeiro

2011

Maria Augusta Roberto Braga Nogueira

**Variabilidade Climática, Disponibilidade Hídrica e
ETA Guandu: Uma Análise Qualitativa de Vulnerabilidade**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rosa Maria Formiga Johnsson

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

N778 Nogueira, Maria Augusta Roberto Braga.
Variabilidade climática, disponibilidade hídrica e ETA
Guandu: Uma análise qualitativa de vulnerabilidade /
Maria Augusta Roberto Braga Nogueira. - 2011.
153 f.

Orientadora: Rosa Maria Formiga Johnsson.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do
Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Água – Controle de
qualidade – Dissertações. 3. Água – Poluição –
Dissertações. 4. Guandu, Rio (RJ) I. Johnsson, Rosa
Maria Formiga. II. Universidade do Estado do Rio de
Janeiro. III. Título.

CDU 628.16

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Maria Augusta Roberto Braga Nogueira

**Variabilidade Climática, Disponibilidade Hídrica e
ETA Guandu: Uma Análise Qualitativa de Vulnerabilidade**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovado em: 5 de abril de 2011.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Rosa Maria Formiga Johnsson (Orientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof^o Dr^o Elmo Rodrigues da Silva
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof^o Dr^o Jander Duarte Campos
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - PEC - COPPE

Rio de Janeiro

2011

Dedico este trabalho à minha avó Hadir e ao meu avô Vicente,
que sempre sorriam ao me ver. Ao meu tio Adilherme,
que sempre disse que eu iria conseguir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe e a toda a minha família pelo apoio incondicional.

À minha orientadora e amiga Rosa Formiga por toda a sua dedicação e paciência. Assim como, aos Formigas Thomas, Alexander e Goran por me emprestarem a mulher mais importante da vida deles por alguns sábados, domingos e feriados.

Ao grupo do projeto de pesquisa “Água Doce e Mudanças Climáticas: Vulnerabilidade”, sobretudo aos meus companheiros de trabalho Owen Johns e Wolf Raber.

Aos Professores Elmo Rodrigues da Silva e Jander Duarte Campos por aceitar, prontamente, o convite para participar desta banca.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do DESMA/UERJ, professores e apoio administrativo.

Ao CNPq e Faperj, pelo apoio financeiro ao desenvolvimento da pesquisa no âmbito do projeto “Variabilidades e mudanças climáticas & abastecimento urbano de água no Estado do Rio de Janeiro: impactos, vulnerabilidade e capacidade de adaptação”, coordenado pela Prof.^a Rosa Formiga.

À Cedae, ONS, ANA e Light pelas informações indispensáveis para a elaboração deste trabalho e colaboração. Em especial: Luiz Guilherme Ferreira Guilhon, Joaquim Gondim, Edes Fernandes e Humberto Duarte.

À equipe da Digat/Inea que me recebeu com muito carinho.

A toda Gerência de Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos do Inea, Moema Acselrad, Márcia Chaves, Leonardo Fernandes, Lilian Machado, Michel Lapi, Roberta Paranhos, Fernanda Pedroza, Luís Fernando e Vitor Coimbra.

A toda Gerência de Qualidade da Água do Inea em especial à Fátima Soares, pela disponibilidade e confiança, ao Leonardo Fidalgo pela ajuda com os testes estatísticos e ao Marco Pessoa, que elucidou minhas dúvidas referentes aos diferentes índices de qualidade da água.

À Andrea Oliveira, gerente da Geopea/Inea, que me ajudou na interpretação dos dados e confecção dos diferentes mapas presentes nesta dissertação.

Ao Carlos Eduardo Strauch, gerente da Sopea/Inea, pela ajuda na obtenção de informações sobre acidentes ambientais.

À Viviane Japiassu Viana pela disponibilidade dos dados para a elaboração dos mapas.

Aos meus amigos do trabalho que colaboraram de alguma forma para a realização desta dissertação, em especial Gláucia Sampaio, Edson Falcão, Lorena Procópio e Jacqueline Giori.

Às minhas queridas amigas que sempre estiveram ao meu lado, Carolina Alves, Carolina Coimbra, Cristiana Beltrame, Michelle Araújo e Juliana Lima.

Aos meus antigos orientadores de iniciação científica Sandra Azevedo, Ana Cláudia Pimentel e Ronaldo Leal, assim como a todos os meus antigos companheiros do Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias da Biofísica-UFRJ. Sem eles eu não teria chegado até aqui.

Muito Obrigada!

“It is not the strongest species that survive, nor the most intelligent,
but the ones most responsive to change.”

Charles Darwin

RESUMO

NOGUEIRA, Maria Augusta Roberto Braga. *Variabilidade climática, disponibilidade hídrica e ETA Guandu: uma análise qualitativa de vulnerabilidade*. 2011. 152f. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

A ETA Guandu é de vital importância para o estado do Rio de Janeiro por ser responsável pelo abastecimento de 8,5 milhões de pessoas na Região Metropolitana. Este trabalho tem como objetivo efetuar uma análise qualitativa de sua vulnerabilidade, em relação à qualidade e quantidade de água captada, perante diversos fatores de estresse, visando dimensionar a importância da variabilidade climática na composição de sua vulnerabilidade. Adotou-se o conceito de vulnerabilidade como função da exposição (grau em que um sistema experimenta estresses), da sensibilidade (grau em que um sistema é afetado pelo estresse) e capacidade adaptativa (capacidade de um sistema de se ajustar, moderar ou lidar com as consequências de um estresse). Dessa forma, foi possível desenvolver uma metodologia de análise qualitativa de vulnerabilidade, específica ao caso da ETA Guandu, perante quatro fatores de estresse considerados como os mais determinantes para a vulnerabilidade atual: i) variabilidade climática; ii) transposição; iii) condições ambientais e qualidade da água e iv) acidentes ambientais. Os resultados evidenciaram que o maior grau de vulnerabilidade da ETA Guandu se relaciona à transposição, já que diversas partes de sua infraestrutura não dispõem de ações de manutenção preventiva. A vulnerabilidade devido às condições ambientais é também intensa, principalmente a turbidez no período chuvoso; entre 2000 e 2010, a ETA Guandu foi parcialmente paralisada 22 vezes em função do grande aporte de sedimentos. Não identificamos nenhum registro de paralisação total da ETA Guandu em função de acidentes ambientais, embora algumas vezes estes tenham imposto a paralisação da transposição. O componente 'variabilidade climática' (intensificação de eventos hidrológicos extremos) revelou-se como o estressor menos determinante da vulnerabilidade atual.

Palavras-chave: Variabilidade climática, Disponibilidade hídrica, ETA Guandu, Vulnerabilidade, Bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu, Rio de Janeiro.

ABSTRACT

The water treatment plant of Guandu has vital importance to the state of Rio de Janeiro, since it is responsible for supplying 8.5 million people in Greater Rio. This study aims to make a qualitative analysis of the WTP vulnerability in relation to the quality and quantity of water resources regarding various stress factors, aiming to scale the importance of climate variability for the composition of global vulnerability. It was adopted the concept of vulnerability as a function of exposure (the degree to which a system experiences stress), sensitivity (the degree to which a system is affected by stress) and adaptive capacity (the ability of a system to adjust to, moderate, or deal with the consequences of a stress). Therefore, it was possible to develop a methodology for vulnerability qualitative analysis, specifically for the case of Guandu WTP, concerning the four most crucial stressors for current vulnerability: i) climate variability, ii) interbasin water transfer, iii) environmental conditions and water quality, and iv) environmental accidents. The results showed that the highest degree of vulnerability of Guandu WTP is related to the water transfer, since various parts of its infrastructure do not receive preventive maintenance actions. The vulnerability due to environmental conditions is also intense, especially the turbidity in the rainy season; between 2000 and 2010, the WTP has been partially paralyzed 22 times due to the large amount of sediment. This work did not identify any record of a complete interruption of WTP Guandu due to environmental accidents, although sometimes they have imposed transposition shutdown. The component 'climate variability' (intensification of extreme hydrological events) proved to be the least stressful determinant for current vulnerability.

Keywords: Climate variability, water supply, Guandu water treatment plant, vulnerability, Paraiba do Sul and Guandu river basins, Rio de Janeiro.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Tradições na investigação da vulnerabilidade e suas evoluções.	25
Figura 2 -	Diagrama conceitual dos quatro principais componentes que podem ser usados para definir a vulnerabilidade.	30
Figura 3 -	Vulnerabilidade segundo Yohe e Tol, adaptada por Engle e Lemos...	31
Figura 4 -	Governança Institucional e Indicadores de Governança de Capacidade de Adaptação do Setor de Gestão de Água no Brasil. ...	36
Figura 5 -	Estrutura Conceitual vulnerabilidade de extração de água para uso doméstico para a variabilidade climática em bacias hidrográficas.	40
Figura 6 -	Área de estudo: ETA Guandu e sua área de influência.	43
Figura 7 -	Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul.	44
Figura 8 -	Representação esquemática do Complexo Hidrelétrico de Lajes/Paraíba do Sul. Transposição, Sistema Light-Guandu.	47
Figura 9 -	Diagrama esquemático das usinas com regras de transformação de vazões.	49
Figura 10 -	Diagrama unifilar da Rede Hidrográfica Principal.	151
Figura 11 -	Captação ETA Guandu.	52
Figura 12 -	Localização da ETA Guandu.	53
Figura 13 -	ETA Guandu.	54
Figura 14 -	Proposta de ampliação do sistema Guandu.	56
Figura 15 -	Esquema conceitual de análise qualitativa da vulnerabilidade da ETA Guandu.	58
Figura 16 -	Monitoramento do volume acumulado do reservatório equivalente. ...	72
Figura 17 -	Médias mensais da vazão transposta em Santa Cecília (2005-2010).	74
Figura 18 -	Transposição de águas do reservatório de Vigário, sem passar pelas usinas Nilo Peçanha/Fontes.	78

Figura 19 - Percentual de permanência das vazões transpostas em Santa Cecília, relativas à vazão mínima de 119m ³ /s da Resolução ANA nº 21/2003 (2005-2010).	84
Figura 20 - Uso e ocupação do solo.	88
Figura 21 - Mapa com os percentuais de resultados do IQA _{CETESB} , em cada categoria, nas estações de amostragem.	89
Figura 22 - Fluxograma dos Sub-Índices que formam o IQA _{FAL}	99
Figura 23 - Mapa com os percentuais de resultados do IQA _{FAL} , em cada categoria, nas estações de amostragem.	101
Figura 24 - Paralisações parciais da captação da ETA Guandu por turbidez água bruta elevada no período de 2000 a 2010.	105
Figura 25 - Pontos de captação das atividades potencialmente poluidoras.	108
Figura 26 - Ferrovias inseridas na área de estudo.	118
Figura 27 - Rodovias inseridas na área de estudo.	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Área e população da Bacia do Paraíba do Sul, por estado.	44
Tabela 2 -	Principais usos das águas da Bacia do Paraíba do Sul.	45
Tabela 3 -	Estações selecionadas para o teste Mann-Kendall.	66
Tabela 4 -	Mann Kendall – Tendência do total anual de chuvas nas estações pluviométricas das RH-II e III do estado do Rio de Janeiro - 1970/2004.	67
Tabela 5 -	Mann Kendall – Tendência do período chuvoso nas estações pluviométricas das RH-II e III do estado do Rio de Janeiro - 1970/2004.	69
Tabela 6 -	Mann Kendall – Tendência do período seco nas estações pluviométricas das RH-II e III do estado do Rio de Janeiro - 1970/2004.	70
Tabela 7 -	Medidas para recuperar os reservatórios da bacia do Paraíba do Sul.	77
Tabela 8 -	Resoluções ANA referentes às condições de operação do sistema hidráulico da bacia do rio Paraíba do Sul.	78
Tabela 9 -	Dias com transposição abaixo de 50m ³ /s em Santa Cecília (2005-2010).	85
Tabela 10 -	Datas, tempo de duração e motivo de cada paralisação total do bombeamento de água para a transposição em Santa Cecília de 2000 até 2010.	85
Tabela 11 -	Dias com vazão defluente menor que 120 m ³ /s em Pereira Passos (2005-2010).	86
Tabela 12 -	Situação dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário das localidades visitadas na área de atuação da AMPAS. Em azul os municípios incluídos na área de estudo.	91
Tabela 13 -	Estimativa das Vazões de Esgotos Sanitários das Sedes Municipais Situadas na Área de Atuação da AMPAS – ano 2005.	92
Tabela 14 -	Vazões máximas diárias de esgotos sanitários (l/s) dos municípios inseridos na Bacia do rio Guandu em 2005 e estimativas para os anos de 2010, 2015, 2020 e 2025.	93

Tabela 15 -	Produção diária de lixo de municípios fluminense localizados na área de atuação da Ampas.	96
Tabela 16 -	Disposição dos Resíduos Sólidos urbanos na bacia do rio Guandu.	97
Tabela 17 -	Parâmetros Críticos nas Bacias dos rios Guandu.	98
Tabela 18 -	Quantidades diárias de produtos utilizados na ETA Guandu.	103
Tabela 19 -	Principais acidentes ambientais entre 2000 e 2010 ocorridos na ETA Guandu e sua área de influência.	111
Tabela 20 -	Gravidade nas rodovias (exceto BR-116).	116
Tabela 21 -	Risco encontrado para os trechos da BR-116.	118
Tabela 22 -	Síntese dos resultados.	124

LISTA DE ABREVIATURAS

Ampas	Associação de usuários das águas do Médio Paraíba do Sul
ANA	Agência Nacional de Águas;
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica;
Cedae	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro;
Ceivap	Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul;
Cesp	Companhia Energética de São Paulo;
Cetesb	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligado à Secretaria do Meio Ambiente do governo de São Paulo;
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos;
EM-DAT	Emergency Events Database do International Disaster Database;
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FURNAS	Furnas Centrais Elétricas S.A.;
GEAG	Gerencia de Avaliação de Qualidade da Água
GEE	Gases de efeito estufa;
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes;
IED	Índice de eficiência de drenagem;
Inea	Instituto Estadual do Ambiente;
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change;
IQR	Índice de qualidade de aterro de resíduos;
Light	Light Serviços de Eletricidade S.A.;
MCG	Mudanças climáticas globais;
MK	Teste Mann-Kendall;
NAE	Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República;
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico;

PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PQA	Projeto Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul;
SES	Sistema sócio-ecológico;
Scpa	Serviço de Controle da Poluição Acidental / INEA;
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
OBJETO DE ESTUDO: ETA GUANDU E ÁREA DE INFLUÊNCIA	19
OBJETIVOS	19
METODOLOGIA DE PESQUISA	20
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
1 VULNERABILIDADE: CONCEITOS E TEORIAS	23
1.1 Conceitos básicos de vulnerabilidade	23
1.2 Correntes de identificação da vulnerabilidade	25
1.3 Estrutura conceitual unificada	29
1.4 Vulnerabilidade segundo Yohe e Tol, adaptada por Engle e Lemos	31
1.5 Exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa	32
1.6 Análise qualitativa de vulnerabilidade	38
2 METODOLOGIA DE ANÁLISE QUALITATIVA DA VULNERABILIDADE DA ETA GUANDU	42
2.1 Objeto de estudo: ETA Guandu e sua área de influência	42
2.1.1 Bacia do Rio Paraíba do Sul	44
2.1.2 Transposição	46
2.1.3 Bacia do rio Guandu	50
2.1.4 ETA Guandu	52
2.2 Análise qualitativa da vulnerabilidade da ETA Guandu	56
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.1 Vulnerabilidade perante a variabilidade climática (intensificação de eventos hidrológicos extremos)	62
3.1.1 Exposição	63
3.1.2 Sensibilidade	74
3.1.3 Ações adaptativas	74
3.1.4 Vulnerabilidade	78
3.2 Infraestrutura da transposição – Complexo de Lajes	79
3.2.1 Exposição	79
3.2.2 Sensibilidade	80
3.2.3 Ações adaptativas	81
3.2.4 Vulnerabilidade	82
3.3 Condições ambientais e qualidade da água	86

3.3.1 Exposição	86
3.3.1.1 Características físicas: uso e ocupação do solo e processos erosivos.....	86
3.3.1.2 Panorama geral do saneamento ambiental.....	89
3.3.1.3 Qualidade da água.....	95
3.3.2 Sensibilidade.....	102
3.3.3 Ações adaptativas.....	102
3.3.4 Vulnerabilidade	104
3.4 Acidentes Ambientais	105
3.4.1 Exposição	105
3.4.1.1 Acidentes provenientes de fontes fixas.....	105
3.4.1.2 Acidentes em ferrovias e rodovias.....	109
3.4.2 Sensibilidade.....	118
3.4.3 Ações adaptativas.....	119
3.4.4 Vulnerabilidade	120
3.5 Síntese dos resultados	122
4 CONCLUSÃO	127
REFERÊNCIAS	131
APÊNDICE 1 - Questionário aplicado à CEDAE.....	137
APÊNDICE 2 - Questionário aplicado à ANA, ONS, Light.....	141
APÊNDICE 3 - Lista de atividades industriais.....	145

INTRODUÇÃO

O setor das águas é considerado uma das áreas ambientais que serão mais afetadas pelas variabilidades e mudanças climáticas. Dentre os impactos negativos, identificados pelo IPCC (2001a), encontram-se o agravamento de estiagens e enchentes, a intensificação de tempestades severas e isoladas, mais difíceis de prever, e a deterioração global da qualidade das águas. De fato, em todo o mundo, a disponibilidade hídrica tem sido periodicamente afetada por variabilidades climáticas sazonais, especialmente em consequência dos fenômenos El Niño/La Niña, com resultados muitas vezes desastrosos para a economia e a sociedade (LEMOS *et al.*, 2010). No Brasil, dentre as modalidades mais recorrentes de desastres associados aos eventos hidrológicos extremos destacam-se as inundações graduais (enchentes) e inundações bruscas (enxurradas), secas/estiagens e escorregamentos.

É esperado, portanto, que as mudanças climáticas globais não só exacerbem as variabilidades sazonais do clima, mas tenham, também, impactos permanentes na temperatura, que tende a aumentar, e na quantidade de chuva, que tende a ser globalmente menor. Por sua vez, tais mudanças influenciarão de forma negativa a disponibilidade de recursos hídricos, com consequências ainda pouco examinadas no contexto da gestão de águas do Brasil (FORMIGA-JOHNSSON, 2008).

Estudos como o de Krol e Bronstert (2007) indicam fortes relações entre mudanças no nível de precipitação e disponibilidade de recursos hídricos. Considerando o aumento da demanda de água oriundo do crescimento populacional e das atividades econômicas, os modelos hidrológicos desenvolvidos prevêm ainda crescentes crises de falta de água, em quantidade e qualidade adequadas para os próximos 50 anos. Nesse cenário, inundações poderão aumentar de intensidade e de frequência em muitas regiões, em função das fortes precipitações, que podem aumentar significativamente o escoamento superficial e o aporte de sedimentos. Por outro lado, durante o período de estiagem, é esperado que o nível dos corpos d'água diminua em muitas regiões, em razão de uma evaporação mais elevada. Quanto à qualidade das águas, é previsto o agravamento de sua deterioração em regiões com esperada redução das chuvas e, conseqüentemente, das vazões dos rios devido à limitação da disponibilidade hídrica para a diluição dos efluentes. Já em regiões com previsão de aumento de chuvas intensas, é provável o aumento da

turbidez da água em função da intensificação de processos erosivos, dificultando o tratamento da água para abastecimento.

Neste cenário de aumento de incertezas, pesquisas que buscam entender e caracterizar a vulnerabilidade dos recursos hídricos, face aos impactos negativos das mudanças e variabilidades climáticas globais, adquirem particular importância (LEMOS *et al.*, 2010). Pois quanto maior a dificuldade de um país em lidar com a variabilidade natural do clima e de seus eventos extremos, maiores serão sua vulnerabilidade e seu esforço de adaptação aos efeitos das variabilidades e mudanças climáticas (POPPE; LA ROVERE, 2005).

O estado do Rio de Janeiro sofre com a ausência de mananciais para abastecimento urbano. A grande dependência do próprio estado, assim como de sua Região Metropolitana, em relação às águas da bacia do Paraíba do Sul (responsáveis por 75% e 90% do abastecimento, respectivamente), bem como sua localização vulnerável, por estar à jusante dos estados de São Paulo e de Minas Gerais, permite vislumbrar um potencial de graves conflitos com relação à disponibilidade hídrica e ao uso da água, seja em termos de quantidade e/ou de qualidade (FORMIGA-JOHNSON, 2008).

É nesse contexto que se insere a presente dissertação, como parte do projeto de pesquisa intitulado “Variabilidades e mudanças climáticas & abastecimento urbano de água no Estado do Rio de Janeiro: impactos, vulnerabilidade e capacidade de adaptação”, iniciada em março de 2008, sob a coordenação da Professora Rosa Maria Formiga Johnson (UERJ/FEN/DESMA). Como até o momento não existem estudos inteiramente dedicados à caracterização das vulnerabilidades de disponibilidade hídrica para o abastecimento de cidades fluminenses em função das variabilidades climáticas, inclusive da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, entende-se ser uma excelente oportunidade para tratar desta temática.

Este trabalho se concentrará na análise qualitativa da vulnerabilidade da Estação de Tratamento de Água Guandu, em termos de disponibilidade de água bruta, em quantidade e qualidade. A vulnerabilidade foi concebida de forma holística perante diversos fatores de estresse, inclusive a variabilidade climática, com o objetivo de caracterizar os diferentes aspectos dos seus componentes (exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa).

Objeto de estudo: ETA Guandu e área de influência

A ETA Guandu, com aproximadamente o triplo de sua capacidade inicial, foi considerada em julho de 2007 a maior estação de tratamento de água em produção contínua do mundo, de acordo com o *Guinness World Records*. Somente ela é responsável pelo abastecimento de 8,5 milhões de pessoas em municípios do Rio de Janeiro, da Baixada Fluminense e Itaguaí. Atendendo toda esta demanda e com capacidade de tratar até 45 m³/s, a ETA Guandu encontra-se, no momento, sobrecarregada (CEDAE, 2010).

O rio Guandu é o manancial que abastece a ETA Guandu. Sua vazão, que aumentou de 20m³/s para 160m³/s, é resultado de grandes obras iniciadas nas primeiras décadas do século passado que resultaram em um sofisticado sistema de transposição (Complexo Paraíba do Sul – Lajes), compreendendo reservatórios de acumulação de água, usinas hidrelétricas, estações elevatórias, etc. A transposição retira cerca de dois terços das águas do rio Paraíba do Sul e mobiliza praticamente a totalidade do rio Piraí. Concebida primordialmente para a geração de energia no Complexo de Lajes, a transposição tornou-se vital para o abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro que é hoje profundamente dependente das águas transpostas por este complexo sistema de infraestrutura hídrica.

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal efetuar uma análise qualitativa de vulnerabilidade da ETA Guandu, em termos de qualidade e quantidade de água bruta, perante diversos fatores de exposição, visando dimensionar a importância de eventos hidrológicos extremos decorrentes de variabilidades climáticas na composição da vulnerabilidade global.

Entre os objetivos específicos, destacamos:

- Efetuar uma revisão bibliográfica sobre o conceito de vulnerabilidade, sobretudo associado às mudanças climáticas e à variabilidade;
- Desenvolver uma metodologia de análise qualitativa de vulnerabilidade da disponibilidade hídrica de sistemas de produção de água;

- Caracterizar as tendências de variabilidade do volume de chuvas nas bacias do Médio Paraíba do Sul e Guandu;
- Fazer uma caracterização da ETA Guandu e de sua área de influência quanto a suas condições ambientais, qualidade de água, risco de acidentes ambientais e dependência do sistema de transposição na bacia do rio Guandu.

Metodologia de pesquisa

Para compreender melhor a extensão do problema foi necessário fazer uma ampla pesquisa bibliográfica envolvendo o tema vulnerabilidade, que definiu as principais linhas de pesquisa que seriam abordadas neste trabalho. Além disso, a revisão possibilitou elucidar os diferentes conceitos que envolvem o tema, permitindo, assim, a identificação da definição mais adequada de vulnerabilidade utilizada nesta dissertação, como também, dos fatores que a compõem (exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação) e a relação existente entre eles.

A região hidrográfica de estudo envolve a principal estação de tratamento de água do estado do Rio de Janeiro, a ETA Guandu, e seu suprimento de água bruta. Para a delimitação da área da pesquisa foram utilizados vários estudos técnicos relativos às bacias do rio Paraíba do Sul e Guandu a fim de delimitar a área mais crítica, ou seja, aquela que representa o maior potencial de comprometimento qualitativo das águas captadas pela ETA Guandu. Definimos assim o objeto de estudo– a “ETA Guandu e área de influência” – que abrange tanto a Bacia do rio Guandu, à montante da captação da ETA Guandu, quanto a Bacia do rio Paraíba do Sul, à montante da transposição das águas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu. Em especial, os trechos considerados mais críticos são: i) o rio Guandu e seus principais contribuintes, à montante da captação da ETA Guandu; ii) o rio Paraíba do Sul, sobretudo o trecho denominado Médio rio Paraíba do Sul (entre os reservatórios de Funil e Santa Cecília, no ponto de transposição); e iii) o rio Pirai.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi concebido um questionário (Apêndices 1 e 2) visando identificar os principais problemas que envolvem a ETA Guandu e a sua área de influência. Esse questionário foi aplicado aos atores-chave envolvidos com a gestão das águas e o abastecimento de água bruta da ETA Guandu, a saber:

Agência Nacional de Águas (ANA), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (Cedae) e Light Serviços de Eletricidade S.A. Além disso, foram realizadas entrevistas com membros do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP) e técnicos do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), de forma a complementar as informações obtidas na revisão bibliográfica.

Após estas etapas metodológicas, foi possível criar um roteiro específico para a análise qualitativa da vulnerabilidade da ETA Guandu e de sua área de influência, a partir do quadro conceitual de Raber *et al.* (2010) que é voltado para a análise de vulnerabilidade de sistemas de abastecimento de água. A metodologia proposta possibilitou discutir e identificar, de forma qualitativa, o grau de vulnerabilidade da água captada pela ETA Guandu com relação a diversos fatores de estresse, inclusive a variabilidade climática. Para a sua aplicação foram utilizados dados e informações da revisão bibliográfica, dos questionários e das entrevistas aplicadas aos atores-chave responsáveis pela gestão das bacias Paraíba do Sul e Guandu.

Estrutura da Dissertação

Este trabalho é estruturado em três capítulos, além da introdução e conclusão. No primeiro capítulo, apresentamos a revisão bibliográfica sobre o tema vulnerabilidade, as principais linhas de pesquisa que estão sendo atualmente trabalhadas e os diferentes conceitos aplicáveis ao caso de vulnerabilidade de água bruta para abastecimento público.

O segundo capítulo dedica-se, inicialmente, à caracterização do objeto de estudo - ETA Guandu e de sua área de influência – descrevendo a bacia do rio Paraíba do Sul, o sistema de transposição-Complexo de Lajes, a bacia do rio Guandu e a própria ETA Guandu. Em seguida, detalhamos o desenvolvimento de uma metodologia de análise qualitativa de vulnerabilidade específica para sistemas de produção de água, em geral, e o caso da ETA Guandu, em particular.

O terceiro capítulo apresenta e discute os resultados obtidos com a metodologia proposta. Os resultados foram agrupados para cada fator de estresse selecionado: variabilidade climática; infraestrutura da transposição; condições ambientais e qualidade de água; e acidentes ambientais. No final do capítulo é

apresentado um quadro-resumo com os principais resultados da pesquisa. Por fim, o último capítulo dedica-se às conclusões deste trabalho e às sugestões de trabalhos futuros.

1 VULNERABILIDADE: CONCEITOS E TEORIAS

O objetivo deste capítulo é apresentar um panorama acerca dos diferentes conceitos abordados relacionados à vulnerabilidade. Embora este conceito seja utilizado em diferentes abordagens acadêmicas, optou-se, neste trabalho, em explorar as definições comumente propostas pelas pesquisas relacionadas às variabilidades e mudanças climáticas.

Cabe ressaltar que ele foi escrito com base em discussões e documentos do grupo de pesquisa “Variabilidades e mudanças climáticas & abastecimento urbano de água no Estado do Rio de Janeiro: impactos, vulnerabilidade e capacidade de adaptação”, envolvendo sobretudo Wolf Raber, Owen Johns, Maria Nogueira e Rosa Formiga quando do desenvolvimento do trabalho intitulado “*Assessing vulnerability of domestic water supply towards climate variability in major river basins of the state Rio de Janeiro, Brazil.*” (RABER *et al.*, 2010)

1.1 Conceitos básicos de vulnerabilidade

A lei brasileira recente que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei n° 12.187, de 29/12/2009) define vulnerabilidade como sendo o “Grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade, capacidade de adaptação e do caráter, magnitude e taxa de mudança e variação de clima a que está exposto, de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos” (BRASIL, 2009).

O conceito de vulnerabilidade às mudanças climáticas, como disposto na legislação, por exemplo, mesmo sendo específico ao tema mudanças do clima é ainda bastante amplo e abrange grande variedade de escolas científicas e abordagens conceituais. Newell *et al.* (2005) enfatizou em seu trabalho que as equipes de pesquisa deveriam estar preparadas para passar grande parte do seu tempo em discussões detalhadas sobre o significado de cada palavra, já que a existência de conceituações e terminologias concorrentes tem se tornado bastante problemática para a interpretação dos resultados obtidos nessas pesquisas.

Além das variações entre o significado das terminologias, o tema vulnerabilidade pode ter abordagens em diferentes escalas temporais, espaciais e sociais, sendo comum encontrar estudos em escala global, regional ou individual, que tratam do tema no tempo presente, passado ou futuro. A ameaça causada pela variabilidade climática, por exemplo, pode ter sua manifestação física representada em escala local e de curto prazo sob a forma de secas, inundações e tempestades; ou, ainda, em escala global e de longo prazo como sob a forma de alterações na temperatura média do planeta modificando a circulação dos ventos e das correntes nos oceanos, influenciando o regime de evaporação e chuvas, proporcionando efeitos na distribuição dos ecossistemas e profundas alterações na composição da biodiversidade.

Dessa forma, o conceito de vulnerabilidade evoluiu ao longo do tempo, variando significativamente entre diferentes domínios de investigação. Adger *et al.* (2004) constataram que, de modo geral, a vulnerabilidade de um sistema, da população ou de um indivíduo a uma determinada ameaça diz respeito à sua capacidade de ser prejudicado por essa ameaça. Füssel (2007), quanto aos diversos conceitos de vulnerabilidade encontrados na literatura, conclui que não existe um único conceito “correto” ou “melhor” no qual todos os contextos e necessidades de investigação caberiam. Os conceitos, então, têm que ser escolhidos e adaptados especificamente de acordo com as ambições e objetivos de cada estudo.

Janssen (2007) realizou uma extensa revisão bibliográfica envolvendo resiliência, vulnerabilidade e adaptação que incluiu a análise de 3.399 publicações entre 1967 e 2007. Esse trabalho indicou o Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC): *Relatório sobre Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade da Mudança Climática* de 2001 como a publicação mais citada dos últimos anos no campo da vulnerabilidade e capacidade de adaptação à mudança do clima. Segundo esse documento, a vulnerabilidade é definida como "... o grau em que um sistema é suscetível a, ou incapaz de lidar com os efeitos adversos das mudanças climáticas, incluindo variabilidades climáticas e eventos extremos. A vulnerabilidade é uma função do caráter, magnitude e taxa de variação climática ao qual um sistema está exposto, sua sensibilidade e capacidade adaptativa."(IPCC, 2001a:995). Assim para o IPCC os conceitos de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa estão subordinados como partes da vulnerabilidade. No entanto, a definição dá poucos

indícios sobre como a vulnerabilidade pode ser contextualizada em um estudo específico.

1.2 Correntes de identificação da vulnerabilidade

Adger (2006) revisou as principais correntes de identificação da vulnerabilidade às mudanças ambientais e os desafios presentes na integração destas pesquisas aos conceitos de adaptação e resiliência em sistemas sócio-ecológicos (SES). O termo SES enfatiza a ligação existente entre sistemas ecológicos e sociais, tal como definido em Folke *et al.* (2005:443). "... o termo sistema sócioecológico integra o ser humano na natureza e salienta que a delimitação entre os sistemas sociais e ecológicos é artificial e arbitrária.". Nesta abordagem, os diferentes enfoques da pesquisa acadêmica para a vulnerabilidade à mudança do clima, por exemplo, devem ser caracterizados sempre tendo em vista que o tema vulnerabilidade à mudanças climáticas não existe isoladamente da política econômica mundial de exploração e uso dos recursos naturais.

Segundo Adger (2006), as duas principais teorias precursoras da idéia de vulnerabilidade integrando o conceito SES foram: a teoria de vulnerabilidade perante a ausência de direitos essenciais ("*lack of entitlements*") e a teoria de vulnerabilidade a desastres ("*hazards tradition*"). As pesquisas que envolvem a teoria de desastres, de modo geral, podem ser divididas em três áreas de conhecimento: 1- desastres naturais, 2- ecologia política / humana e 3- o denominado modelo pressão - liberação ("*Pressure and Release model*") que ocupa o espaço entre a ecologia humana e a teoria de vulnerabilidade a desastres naturais (Figura 1).

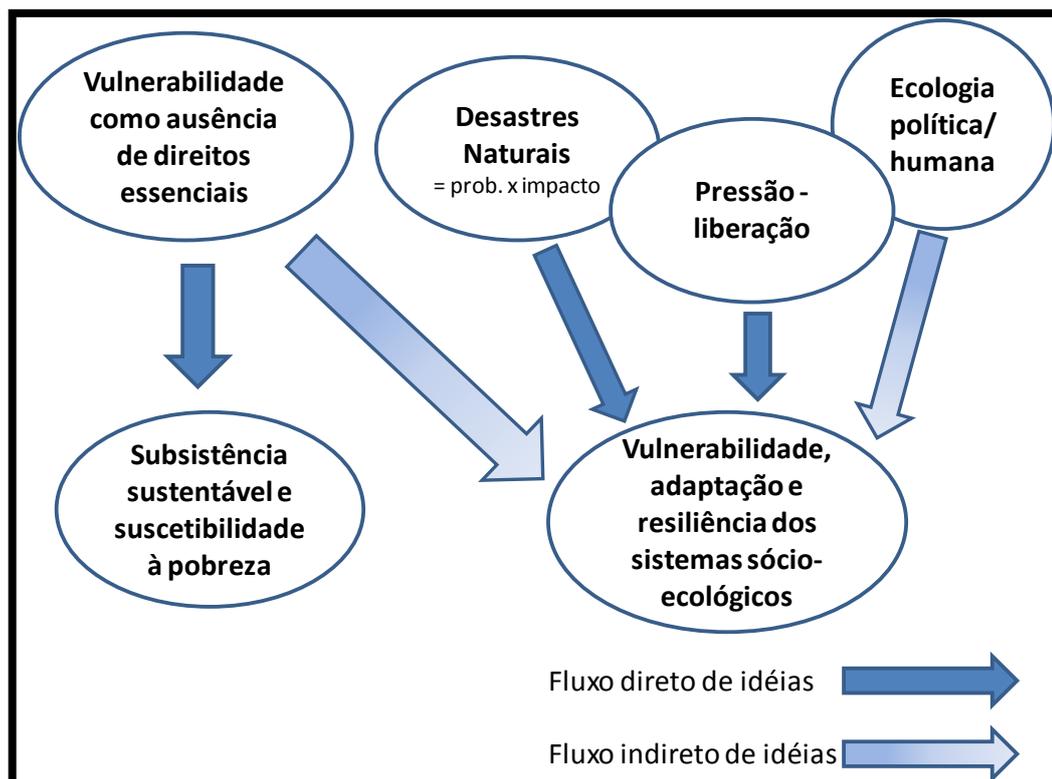


Figura 1 - Tradições na investigação da vulnerabilidade e suas evoluções.
 Fonte: Adger, 2006.

A teoria de vulnerabilidade perante a ausência de direitos essenciais lida com um conjunto de fatores institucionais e econômicos associados. Neste caso, são chamados de 'direitos essenciais' os recursos potenciais ou disponíveis para os indivíduos com base em sua própria produtividade. Deste modo, a vulnerabilidade quase sempre pode ser evitada, uma vez que ela é o resultado de processos em que os seres humanos se engajam ativamente. Na explicação para as causas da fome, por exemplo, as quedas na produção de alimentos são associadas à demanda efetiva por alimentos e aos meios sociais e econômicos de sua obtenção e não necessariamente a secas, inundações, ou pragas (SEN, 1981 e 1984, *apud* Adger, 2006). Embora essa abordagem subestime muitas vezes os fatores físicos ou ecológicos que compõem a vulnerabilidade, ela pode ser usada para explicar situações em que as populações foram mais vulneráveis à fome ou outras crises mesmo quando não há absoluta escassez de alimentos decorrente de motivos ambientais óbvios. Essencialmente, a suscetibilidade à pobreza e a ameaça à subsistência sustentável são conseqüências diretas da teoria de ausência de direitos essenciais, que ocorre, principalmente, quando as pessoas têm renda real ou riqueza insuficientes.

Em contraponto, a teoria de vulnerabilidade a desastres naturais que também pode ser chamada de risco-desastre, explora os aspectos biofísicos da vulnerabilidade e conceitua o impacto de um desastre como função da exposição a eventos exógenos e sensibilidade (dosagem de resposta) do sistema atingido (FUSSEL, 2007). Nesta abordagem, a vulnerabilidade é vista como a quantidade de danos causados ao sistema pela exposição resultante da frequência e severidade de um desastre ou evento climático específico, ou seja, ela se preocupa com o dano (resultado) experimentado por um sistema com sensibilidade específica, através da exposição a desastres. De forma mais abrangente, a vulnerabilidade é definida por Adger *et al.* (2004:29) como "a natureza do desastre e seu impacto físico de primeira ordem, e um componente biológico ou social associado com as propriedades do sistema afetado que atua para ampliar ou reduzir os danos resultantes deste impacto de primeira ordem."

Os elementos físicos da exposição, a probabilidade de ocorrência e o impacto do desastre natural servem como base para a análise de vulnerabilidades de modo geral (BURTON; KATES; WHITE, 1993). Além disso, é recorrente, em muitos desastres naturais, que a vulnerabilidade da população humana se baseie em grande parte no local onde ela reside, na forma que utiliza os recursos naturais ou no enfrentamento de competição por estes recursos. Brooks, Adger e Kelly (2005) também abordam a teoria de risco-desastre (vulnerabilidade biofísica) como uma ocorrência probabilística de desastres relacionados ao clima compreendendo os eventos meteorológicos (físicos) de risco que são, então, mediados de acordo com a vulnerabilidade do sistema exposto.

Esta visão descritiva fornece elementos de compreensão sobre a distribuição das condições perigosas, os efeitos na população e suas estruturas bem como uma estimativa de danos potenciais (FUSSEL; KLEIN, 2006, HEBB; MORTSCH, 2007 e TURNER *et al.*, 2003). No entanto, a capacidade das pessoas para lidar com o perigo recebe pouca atenção nesta linha de análise. Consequentemente, o papel da economia política e de estruturas institucionais e sociais na formação da exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa é relativamente ignorado neste cenário (TURNER *et al.*, 2003). Com isso, os indicadores nesta abordagem biofísica devem incluir fatores como capitalização dos danos, estatísticas de mortalidade humana, custos de reconstrução ou danos em ecossistemas, para minimizar esta falha (ADGER *et al.*, 2004).

A ecologia política/humana aplica um modelo explicativo de vulnerabilidade socioeconômica a múltiplos estresses. A vulnerabilidade é o estado interno (propriedade inerente) de um sistema que faz com que a sociedade humana fique vulnerável a danos causados por perigos externos, considerando que a natureza do risco não é especificada (ADGER *et al.*, 2004). Esta definição proveniente da 'ciência social' é muitas vezes referida como a vulnerabilidade social, pois descreve e caracteriza as condições de um determinado sistema como sendo composto por fatores socioeconômicos e pela capacidade dos diferentes grupos de antecipar, lidar, resistir, recuperar ou se adaptar a um estresse externo (ADGER, 2006, FUSSEL; KLEIN, 2006, HEBB; MORTSCH, 2007 e TURNER *et al.*, 2003). Neste conceito, a vulnerabilidade é determinada por fatores como a pobreza e a desigualdade, a marginalização, o direito a alimentos, o acesso e a capacidade de mobilizar recursos, que liga a ecologia política à investigação sobre os direitos essenciais (FUSSEL, 2007). É importante salientar que a vulnerabilidade de um sistema específico ou de uma unidade exposta é extremamente dependente da natureza intrínseca deste sistema e do estresse específico ou série de estresses aos quais ele está exposto (ADGER *et al.*, 2004 e BROOKS; ADGER; KELLY, 2005). Neste contexto, estresse refere-se a impactos físicos.

Recentemente, estudiosos da teoria de desastres naturais e da ecologia política/humana experimentaram combinar fatores internos de um sistema vulnerável à sua exposição a riscos externos, em cenários mais ou menos integrados. De acordo com Adger (2006), o modelo "pressão - liberação" ocupa o espaço existente entre a teoria de desastres naturais e da teoria da ecologia política/humana ao conceituar a vulnerabilidade de um grupo social como produto de um risco físico ou biológico. Este modelo associa a dimensão externa da vulnerabilidade (exposição) a uma dimensão interna (sensibilidade e capacidade de adaptação), que é resultado de uma progressão cumulativa de características sociais inerentes da unidade exposta. Esta dimensão interna faz com que o sistema seja vulnerável ou, ao contrário, capaz de lidar com tensões externas (BLAIKIE *et al.*, 1994; FUSSEL; KLEIN, 2006; HEBB; MORTSCH, 2007; TURNER *et al.*, 2003 e WISNER *et al.*, 2003).

A necessidade de abordar condições físicas e sociais de forma única para diferentes sistemas socioecológicos levou à criação de outros tipos de avaliação de vulnerabilidade com base na localização, como por exemplo, a técnica conhecida

como "modelo lugar de perigo" (CUTTER; MITCHELL; SCOTT, 2000, FUSSEL; KLEIN, 2006, HEBB; MORTSCH, 2007, TURNER *et al.*, 2003). Padrões de distribuição de riscos e os processos subjacentes que dão origem a eles são analisados, ao mesmo tempo, para diferentes tipos de riscos em um local específico (CUTTER; MITCHELL; SCOTT, 2000). Um ponto forte desta análise baseada na localização é a sua capacidade de envolver a participação pública e a colaboração de várias partes interessadas em resolver problemas de vulnerabilidade (TURNER *et al.*, 2003).

1.3 Estrutura conceitual unificada

Fussel (2007) reconhece os problemas existentes no desenvolvimento de conceitos e terminologias de vulnerabilidade concorrentes e, assim, propõe em seu trabalho uma estrutura conceitual comum para permitir a comunicação clara e transparente entre os diferentes grupos de pesquisa. Revisando diversas linhas de investigação de vulnerabilidade a mudanças climáticas, ele propõe uma forma geral de conceituação aplicável para o termo vulnerabilidade, distinguindo-o entre as seguintes dimensões: ambiente (ou escala) e domínios de conhecimento dos fatores de vulnerabilidade. A escala é separada em (1) fatores internos de vulnerabilidade que descrevem as propriedades do sistema vulnerável ou da própria comunidade e (2) fatores externos que se referem a algum agente estressante fora do sistema vulnerável dependendo do âmbito de aplicação da investigação de vulnerabilidade. Os domínios de conhecimento distinguem-se entre: (1) fatores de vulnerabilidade socioeconômica normalmente investigados pela ciência social (ecologia humana/política), e (2) fatores biofísicos que são foco das disciplinas de investigação física (investigação dos desastres naturais) (Figura 2). As categorias dos domínios de conhecimento podem se sobrepor, o termo sistema socioecológico descrito anteriormente expressa essa interligação do sistema (TURNER *et al.*, 2003 e ADGER, 2006).

Estas dimensões acopladas ao conceito de vulnerabilidade fornecem "uma estrutura mínima para descrever a multiplicidade dos conceitos de vulnerabilidade na literatura", que podem ser ainda mais discriminados a fim de descrever os fatores relevantes de uma forma mais aprofundada (FUSSEL, 2007). Fatores de

vulnerabilidade social internos poderiam ser distinguidos como qualquer fator genérico, como, por exemplo, pobreza, desigualdade social e saúde, ou como algum fator específico para um determinado estresse, como a situação das habitações localizadas nas planícies de inundação de rios. "Fatores como pobreza e desigualdade estão representando vulnerabilidade genérica e capacidade adaptativa, ou seja, são fatores que determinam a vulnerabilidade e a capacidade de se adaptar a uma ampla gama de estresses" (ADGER *et al.*, 2004).

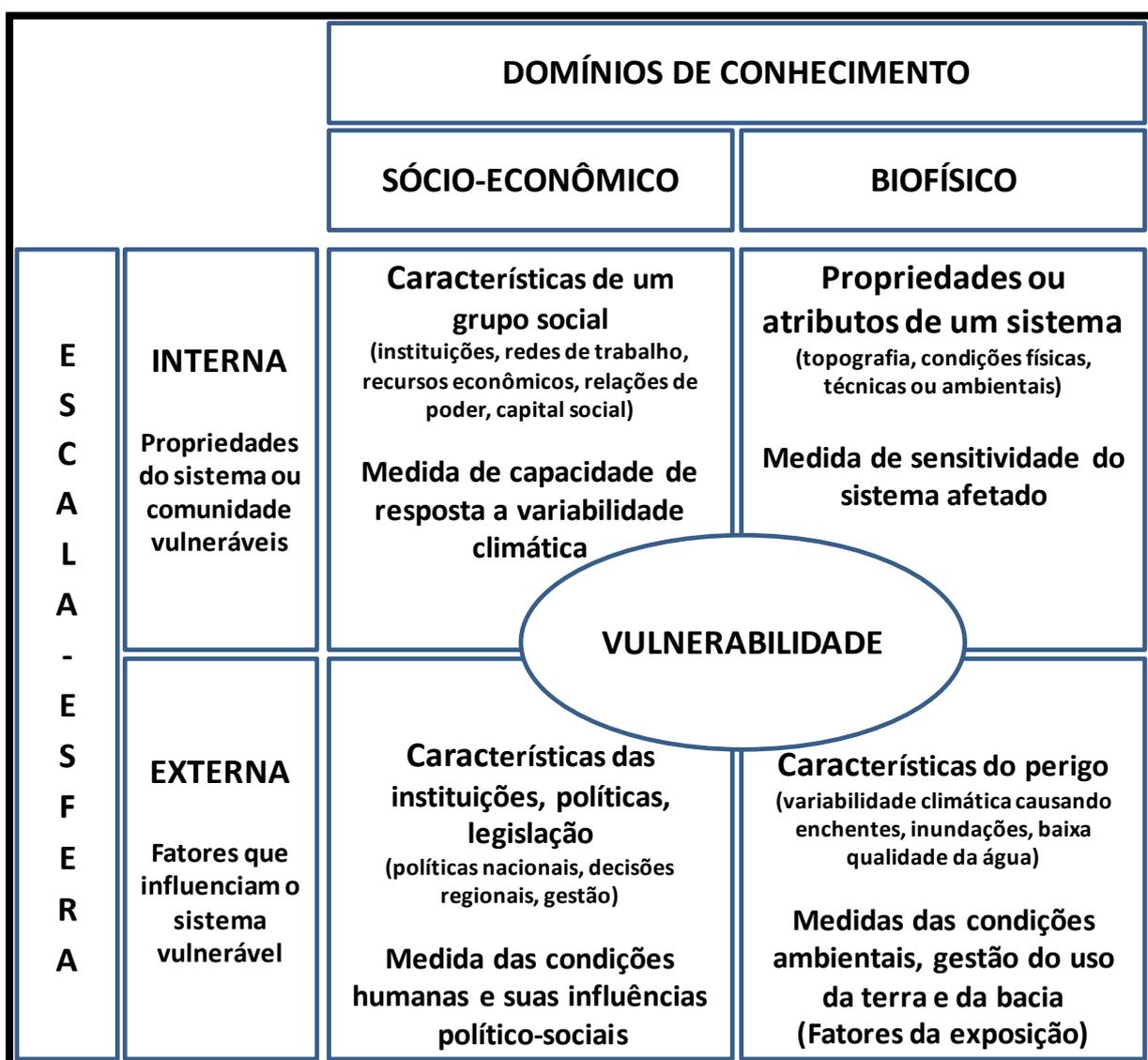


Figura 2 - Diagrama conceitual dos quatro principais componentes que podem ser usados para definir a vulnerabilidade.

Fonte: FUSSEL, 2007, modificado por Wolf Raber, 2010.

Distinguir as dimensões da escala tem particular importância na investigação da vulnerabilidade de um único setor ou área de bacias hidrográficas. Cumming, Cumming e Redman (2006) enfatizam que quando a competência das instituições de

gestão não corresponde à dimensão ambiental ou ecossistêmica do sistema natural, as ações públicas podem resultar em experiências mal sucedidas de gestão, ineficiência e perda de capacidade adaptativa do sistema socioecológico. Turner *et al.* (2003) também mencionam, na investigação de vulnerabilidade “*place based*”, que a análise da vulnerabilidade deve sempre considerar, simultaneamente, locais e escalas de estudo, além dos limites do sistema primário. Dessa forma, é possível capturar o leque de partes interessadas, *feedbacks* e processos espaço-temporais que definem a vulnerabilidade de sistemas associados hierárquicos e complexos. Neste “cenário associado de vulnerabilidade” para uma investigação sustentável, Turner conectou as condições humanas e ambientais externas e as dinamizou com o sistema humano-ambiental interno de interesse em que reside a vulnerabilidade. As condições externas configuram estresses a que o sistema interno (local da investigação) é exposto. Por conseguinte, os mecanismos de adaptação do sistema vulnerável investigado podem então afetar ou atingir dimensões espaço-temporais transcendentais ao sistema local.

1.4 Vulnerabilidade segundo Yohe e Tol, adaptada por Engle e Lemos

A equação desenvolvida por Yohe e Tol em 2002, adaptada por Engle e Lemos em 2007, no estudo de mecanismos institucionais e de governança que influenciam a capacidade de adaptação da gestão das águas no Brasil, resume de forma clara os diferentes fatores que compõem a vulnerabilidade.

Consideramos que esta equação tem importância fundamental para a aplicação prática da maioria das linhas de pesquisa e conceitos vistos até o momento, pois relaciona vulnerabilidade, exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa.

$$V = f [E (AC); S (AC)]$$

Onde:

V = Vulnerabilidade

AC = Capacidade adaptativa

E = Grau de exposição

S = Grau de sensibilidade

Figura 3 - Vulnerabilidade segundo Yohe e Tol, adaptada por Engle e Lemos.
Fonte: Engle e Lemos, 2007.

Esta equação considera que vulnerabilidade é função da exposição e da sensibilidade que, por sua vez, são diretamente influenciadas pela capacidade adaptativa. Quanto maior for a capacidade adaptativa, menor será o grau de exposição, o grau de sensibilidade e, conseqüentemente, a vulnerabilidade.

1.5 Exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa

Pensar no conceito de vulnerabilidade apenas faz sentido quando o delimitamos: Vulnerabilidade de um sistema, local específico ou unidade a uma exposição ou a uma série de exposições. Nesta dissertação, a exposição é vista como a natureza e o grau em que um sistema experimenta estresses ambientais ou político-sociais, ou seja, diz respeito à natureza, magnitude, frequência, duração e extensão do estresse climático, por exemplo, sobre uma determinada unidade de análise (ADGER, 2006, BURTON; KATES; WHITE, 1993 e O'BRIEN *et al.*, 2004). A variabilidade climática é, na verdade, o fator de estresse ao qual o sistema é exposto. A exposição em si é consequência desta variabilidade, como uma inundação que ocorreu na área estudada, por exemplo.

Sensibilidade

A sensibilidade é encarada como o grau em que um sistema é afetado ou como ele vai responder aos estresses, seja de forma positiva ou negativa (IPCC, 2001a e O'BRIEN, 2004). Segundo Hebb e Mortsch (2007), a identificação de vulnerabilidades aos impactos causados pelas alterações climáticas encontra-se ainda em estágio inicial de desenvolvimento, com apenas alguns exemplos

sustentáveis. O principal motivo para este atraso é que o dano experimentado por um sistema socioecológico (SES) de natureza física, em um primeiro momento, certamente implicará em futuros prejuízos de caráter social, que não são tão óbvios. Assim, a sensibilidade de um sistema, deve ser entendida como uma resultante de um complexo conjunto de inter-relações entre condições físicas e sociais.

Capacidade adaptativa

A capacidade adaptativa de um sistema, segundo o IPCC, descreve sua capacidade para: (1) se ajustar a um estresse climático atual ou esperado, ou (2) moderar os danos potenciais visando tirar proveito das oportunidades geradas com o estresse, ou (3) lidar com as conseqüências do estresse. Nesse sentido, as adaptações são ainda definidas como "ajustes em práticas, processos ou estruturas". De acordo com Folke *et al.* (2005), a noção de adaptação implica na capacidade de responder às mudanças e até mesmo de transformar os sistemas socioecológicos em estados melhorados. Assim, sistemas com alta capacidade de adaptação são capazes de se reconfigurar quando sujeitos a alguma alteração sem que ocorram déficits significativos nas funções cruciais do sistema socioecológico. Os termos adaptação ou ação adaptativa são usados para descrever a operacionalização potencial da capacidade adaptativa.

O conceito de capacidade adaptativa geralmente é abordado de duas formas diferentes: adaptação planejada e adaptação autônoma. A adaptação planejada resulta de ações políticas deliberadas em nome da sociedade; é, assim, determinada pela capacidade das sociedades para atuar coletivamente e responder de forma antecipada aos possíveis estresses. A adaptação autônoma decorre de ações individuais de resposta aos estresses, feitas de forma espontânea, sem planejamento (ADGER *et al.*, 2004 e IPCC, 2001a).

Nesta dissertação, a capacidade adaptativa autônoma é vista simplesmente como a ação proveniente do sistema interno, que tem como objetivo orientar o próprio sistema interno. Por outro lado, a capacidade adaptativa planejada é entendida como um conjunto de medidas provenientes do sistema interno que são voltadas para a orientação do sistema externo. Com isso, a capacidade adaptativa interna (Figura 4) é impulsionada por fatores socioeconômicos internos e pode

atingir duas esferas: (1) as condições internas biofísicas que determinam a sensibilidade. Como exemplo de ação adaptativa autônoma, podemos citar a atualização tecnológica dos serviços de abastecimento público ou a descoberta de novos mananciais que irão resultar na diminuição da sensibilidade. Ou, também, se pode ter como alvo (2) a esfera externa (upstream), modificando o risco ao qual o sistema está exposto. Este tipo de ação adaptativa pode ser conceituado como uma ação adaptativa planejada e descreve a capacidade do sistema interno de participar de processos decisórios na bacia ou em toda a região hidrográfica, com a finalidade de influenciar a gestão rio acima.

Considerando a esfera externa, geralmente é possível observar grande diversidade de interesses das partes responsáveis pela tomada de decisões nas bacias hidrográficas. Assim, os planos de gestão de bacias hidrográficas, que são elaborados de acordo com o conceito de Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), devem sempre considerar os usos múltiplos da água e os conflitos de interesses entre usuários, em todas as bacias, uma vez que qualquer ação ou intervenção terá impacto sobre a disponibilidade hídrica (FAYE-VISSER, 2007). Diferentes interesses econômicos, sociais e políticos fomentam soluções muitas vezes divergentes para problemas como a variabilidade climática. Essa diversidade de objetivos dos atores envolvidos cria um cenário com vencedores e perdedores, dependendo de qual setor ou entidade espacial estabelece seus interesses (RUIJGH-VAN DER PLOEG; VERHALLEN, 2002 e GERMAN *et al.*, 2007). Mesmo que esta avaliação de vulnerabilidade tenha como foco o subsistema de abastecimento urbano de água, o objetivo geral das decisões sempre será maximizar o bem-estar gerado, considerando o sistema como um todo. Portanto *trade-offs* individuais e sinergias devem ser respeitadas quando o assunto é gestão de bacias hidrográficas de forma a garantir um desenvolvimento sustentável de toda a bacia. "... o objetivo não deve ser a busca pelo conhecimento detalhado das partes do sistema, mas sim uma melhor compreensão da dinâmica do sistema como um todo." (FOLKE *et al.*, 2005).

Devido à complexidade dos múltiplos interesses dos tomadores de decisões, a interação participativa na resolução de problemas e na implementação de programas pode guiar construtivamente os conflitos levando à integração, a uma visão partilhada dos problemas e a valorização do caráter social (GERMAN *et al.*, 2007). Nas bacias hidrográficas, a capacidade de adaptação pode ser gerada

através da cogestão adaptativa (OLSSON; FOLKE; BERKES, 2004). A cogestão adaptativa é descrita como sendo um processo de auto-organização facilitado por regras e incentivos de nível superior, com o objetivo de tornar os sistemas sócio-ecológicos mais fortes. "Governança adaptativa é o processo de criação da capacidade adaptativa e da capacidade de transformação de sistemas socioecológicos" (WALKER *et al.*, 2004). A gestão é a operacionalização da visão que a governança cria (FOLKE *et al.*, 2005).

A cogestão adaptativa para ser bem-sucedida com relação à incerteza da variabilidade climática deve buscar construir o conhecimento e a compreensão da dinâmica dos ecossistemas; desenvolver uma interpretação e resposta sistemática aos *feedbacks* e apoiar as instituições flexíveis que trabalham em diferentes níveis com várias organizações (OLSSON; FOLKE; BERKES, 2004).

A apreciação das complexas dinâmicas sociais é essencial para estabelecer regimes eficazes de governança adaptativa em sistemas socioecológicos. A colaboração entre as partes interessadas deve ocorrer a partir do início do processo (FOLKE *et al.*, 2005). "A cogestão adaptativa cria plataformas ou arenas envolvendo grupos de usuários e grupos de interesse para a partilha de conhecimento e aprendizagem colaborativa sobre o manejo dos ecossistemas" (OLSSON; FOLKE; BERKES, 2004).

A participação e deliberação contribuem para a construção da confiança, para o capital social e para a criação de uma visão compartilhada. Estas qualidades reforçam a capacidade de auto-organização e mobilização (LEBEL *et al.*, 2006). A cogestão adaptativa utiliza o contexto específico de sistemas de base comunitária de gestão flexível, em que os arranjos institucionais e conhecimentos ecológicos são continuamente testados e avaliados. Requer, assim, múltiplos vínculos institucionais entre uma variedade de diferentes grupos. Conhecimento e aprendizagem são essenciais para a criação de regimes de cogestão adaptativa, assim como a demanda pela colaboração e pela criação de redes sociais a fim de dispersar e compartilhar informações entre as diversas partes interessadas (OLSSON; FOLKE; BERKES, 2004 e FOLKE, C. *et al.*, 2005).

Vários trabalhos propõem quais variáveis relacionadas à governança e aos mecanismos institucionais que seriam mais importantes para o desenvolvimento da capacidade de adaptação. Brooks, Adger e Kelly (2005) testaram uma série de determinantes em diversos países e descobriram que educação, saúde e

governança são os três fatores mais significativos no âmbito das mudanças climáticas (Figura 4). Assim, as estruturas de governança associadas a determinados setores ou recursos podem facilitar ou, ao contrário, dificultar processos de adaptação. Por exemplo, sistemas mais democráticos e que adotam um sistema de gestão de recursos naturais mais flexível e descentralizado são, em princípio, mais adaptáveis do que sistemas autoritários e centralizadores (ENGLE; LEMOS, 2007).

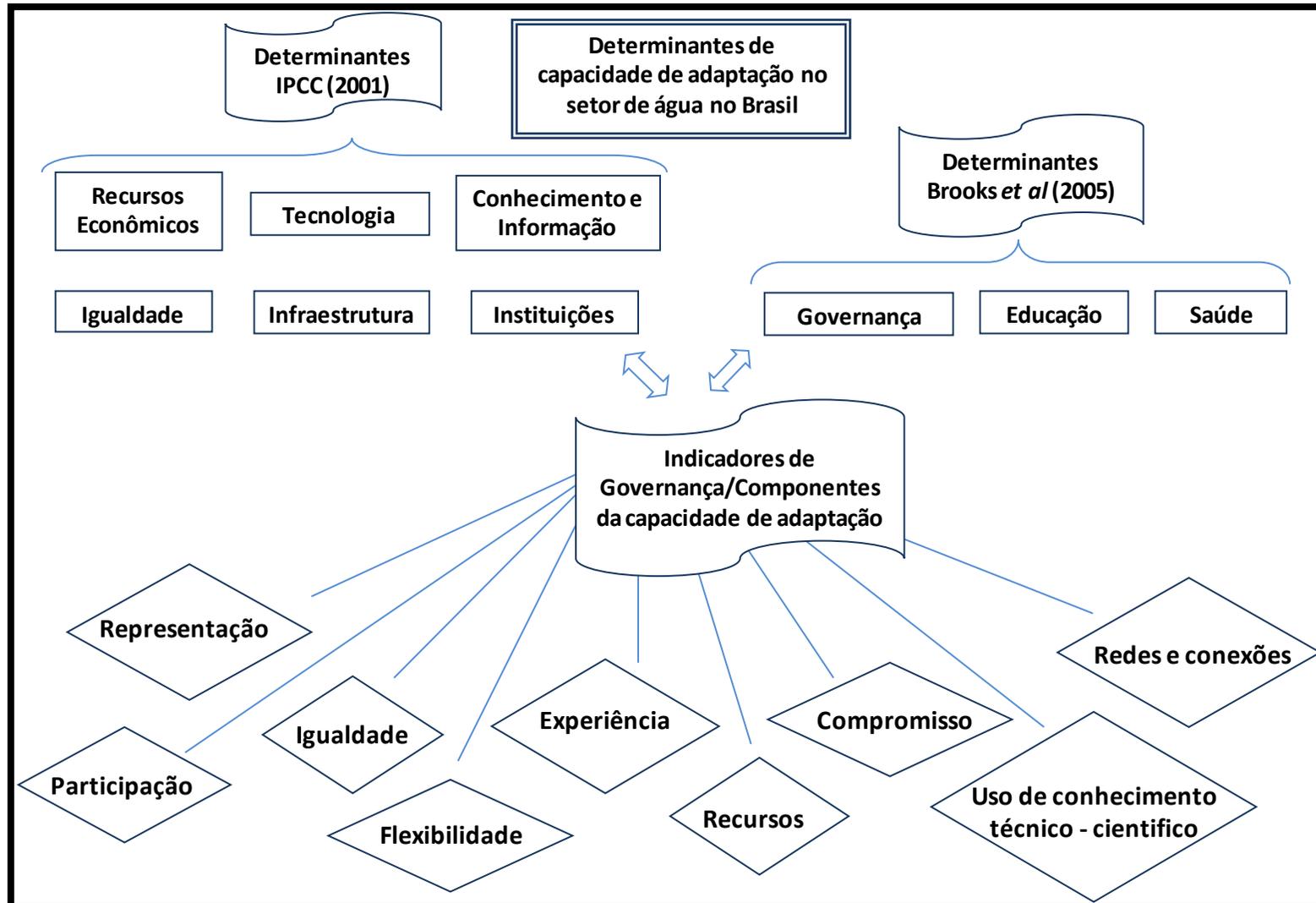


Figura 4 - Governança Institucional, capacidade de adaptação e indicadores de governança na gestão das águas no Brasil.
 Fonte: Engle e Lemos, 2007.

1.6 Análise qualitativa de vulnerabilidade

A análise qualitativa da vulnerabilidade aplicada neste trabalho está de acordo essencialmente com o apanhado conceitual exposto por Fussel em 2007. O trabalho de Füssel teve como objetivo principal apresentar um modo de análise da vulnerabilidade que permite descrever, resumidamente, qualquer conceito de vulnerabilidade na literatura, assim como identificar as diferenças entre conceitos alternativos. Além disso, o quadro conceitual desenvolvido a partir deste trabalho é uma ferramenta útil para aqueles que tentam desenvolver modelos formais de vulnerabilidade sem deixar de lado a diversidade de modelos conceituais e de definições inerentes ao tema e para os estudos que abordam avaliações interdisciplinares de vulnerabilidade, principalmente os relativos a mudanças climáticas.

De acordo com essa linha de pesquisa, é possível distinguir duas dimensões indispensáveis para a identificação da vulnerabilidade de um determinado local. A primeira delas é o Domínio de conhecimento que pode ser dividido entre socioeconômico e biofísico. Indicadores socio-econômicos de vulnerabilidade são aqueles que dizem respeito à economia, à distribuição de poder, às instituições sociais, práticas culturais e outras características dos grupos sociais geralmente investigados pela ciências sociais e humanas. Indicadores biofísicos de vulnerabilidade, em contrapartida, estão relacionados com as propriedades do sistema investigadas pelas ciências físicas. Estas duas categorias podem se sobrepor, por exemplo, no caso de infraestrutura construída. A segunda delas é escala de estudo, que pode ser interna (endógena), quando se refere a indicadores de vulnerabilidade próprios do sistema vulnerável, ou externa (exógena), quando se refere a algo que ultrapassa os limites do sistema estudado (Figura 2). Esta distinção normalmente reflete limites geográficos ou do poder de influência. Nota-se que a designação de um indicador como interno ou externo depende do escopo da avaliação da vulnerabilidade.

Seguindo a separação da escala e dos domínios de conhecimento proposta por Fussel (2007) e tendo em vista o raciocínio exposto em YOHE e TOL (2002) e ENGLE e LEMOS (2007), em que a vulnerabilidade é vista como uma função da exposição e da sensibilidade perante a capacidade adaptativa, foi possível ter uma visão mais clara de como seria criar um roteiro adaptado para uma análise

qualitativa de vulnerabilidade de pontos de extração de água para abastecimento urbano em uma determinada bacia hidrográfica.

Assim, foi criado um roteiro genérico (Figura 5) onde os pontos de extração de água para abastecimento urbano e a população conectada podem ser considerados como unidade exposta de análise com propriedades internas específicas. As propriedades biofísicas internas como, por exemplo, a localização dos pontos de extração, a tecnologia de tratamento utilizada e as demandas de abastecimento foram caracterizadas como a sensibilidade da unidade exposta. Outras fontes de água ou a possibilidade de redução da demanda dos usuários ao longo do tempo com políticas que incentivam o reuso ou melhorias no sistema para evitar perdas representam um segundo aspecto da sensibilidade em caso de interrupção ou redução do fornecimento de água. A capacidade adaptativa dos sistemas vulneráveis, neste caso, está relacionada com as propriedades socioeconômicas dos serviços públicos e os usuários de água expostos aos impactos dos possíveis desastres.

Considerando os sistemas socioecológicos, em uma bacia hidrográfica a quantidade e a qualidade da água em um ponto arbitrário são determinadas por fatores como: topografia, intensidade de precipitação, práticas de gestão, uso e ocupação do solo e outros. Assim, as dimensões biofísicas e humanas formam, em conjunto, o ambiente externo localizado a montante do ponto de captação. A gestão das águas a montante inclui aspectos com as decisões tomadas pelas partes interessadas e condições biofísicas relevantes, como o uso e ocupação do solo, por exemplo, estão interligadas com o sistema humano. Em termos práticos, o ambiente externo seria caracterizado pelo cenário a montante da área de estudo, suas condições biofísicas e socioeconômicas. Dessa forma, as chuvas concentradas causadas pelas variabilidades climáticas não significam um perigo em si, mas sim a inundação na qual o sistema de análise é exposto.

Neste caso, o sistema de análise é representado pelo ponto de captação de água que caracteriza o ambiente interno a jusante. A sensibilidade deste sistema é resultado de fatores como a localização geográfica e a proteção contra inundações da captação, assim como da demanda da população atendida.

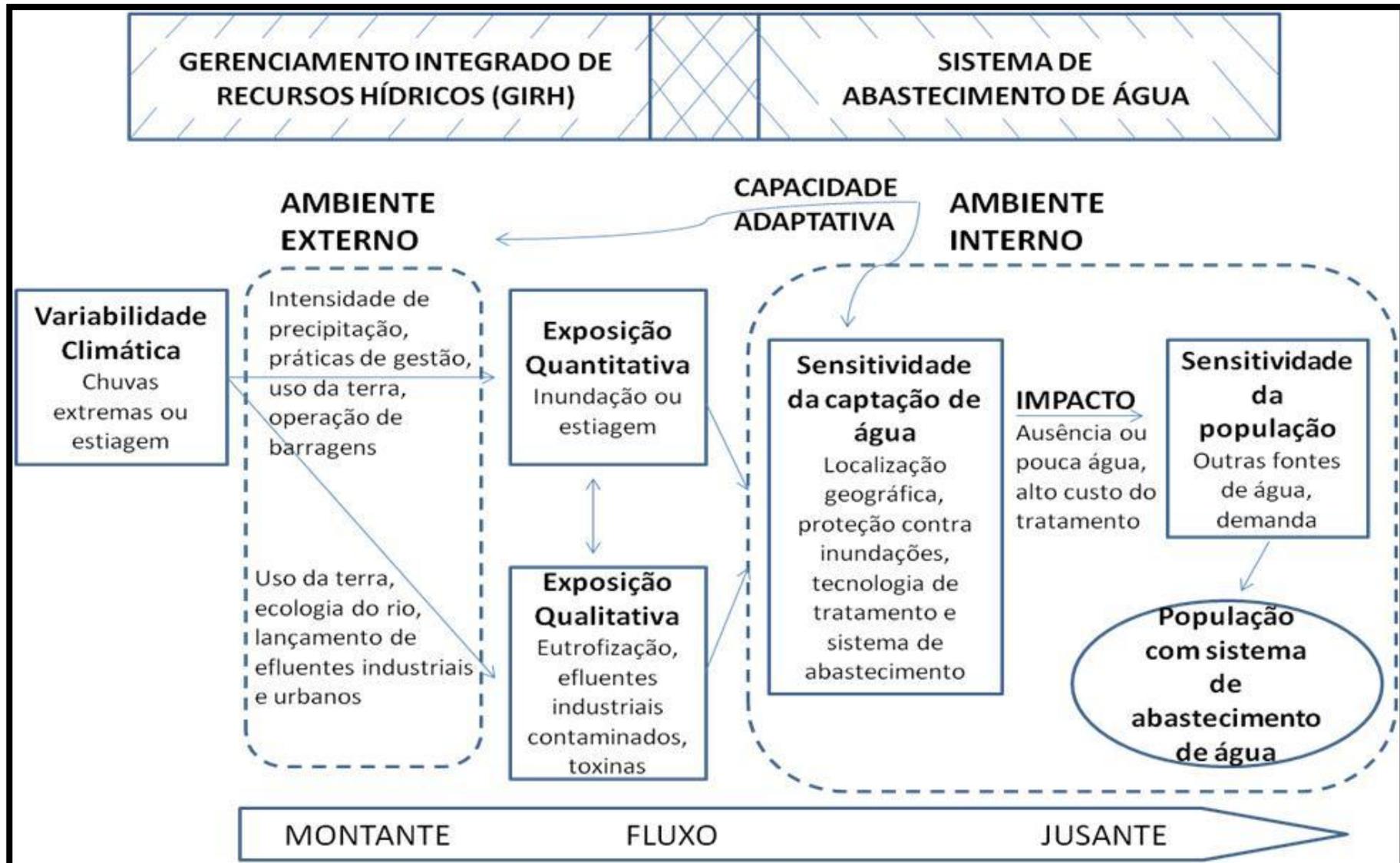


Figura 5 - Estrutura conceitual da vulnerabilidade da disponibilidade hídrica para abastecimento público, em bacias hidrográficas, perante impactos da variabilidade climática.

Fonte: Raber *et al.*, 2010.

Este quadro de vulnerabilidade especificamente distingue duas sensibilidades diferentes que são principalmente de natureza biofísica. O primeiro conceito de sensibilidade é inerente à utilidade da água. A sensibilidade é determinada pela localização geográfica do ponto de extração da água, proteção contra cheias, tecnologia de tratamento de água e demanda. O segundo conceito de sensibilidade está ligado ao caso de falha ou pausa de abastecimento de água da concessionária de água. A capacidade da população de reduzir a sua demanda por água, instalações internas de armazenamento ou a disponibilidade de outras fontes de águas superficiais ou subterrâneas determinam a sensibilidade para danos adversos ao bem-estar da população.

Os impactos são consequências das mudanças climáticas sobre os sistemas naturais e humanos, sem considerar a adaptação (IPCC, 2001a). O quadro de vulnerabilidade mostra que os impactos de primeira ordem podem ser mais ou menos onerosos, dependendo dos custos de tratamento da água fornecida pela concessionária para a população. Dependendo da sensibilidade da população os impactos serão mais ou menos sentidos no bem-estar da população.

Com base neste roteiro conceitual e revisão bibliográfica, foi possível desenvolver um roteiro específico para a análise qualitativa de vulnerabilidade da ETA Guandu, quanto à disponibilidade de água bruta em qualidade e quantidade, que permita dimensionar sua vulnerabilidade perante os diversos fatores de estresse selecionados, inclusive da variabilidade climática (intensificação de eventos extremos), de acordo com os objetivos desta dissertação.

2 METODOLOGIA DE ANÁLISE QUALITATIVA DA VULNERABILIDADE DA ETA GUANDU

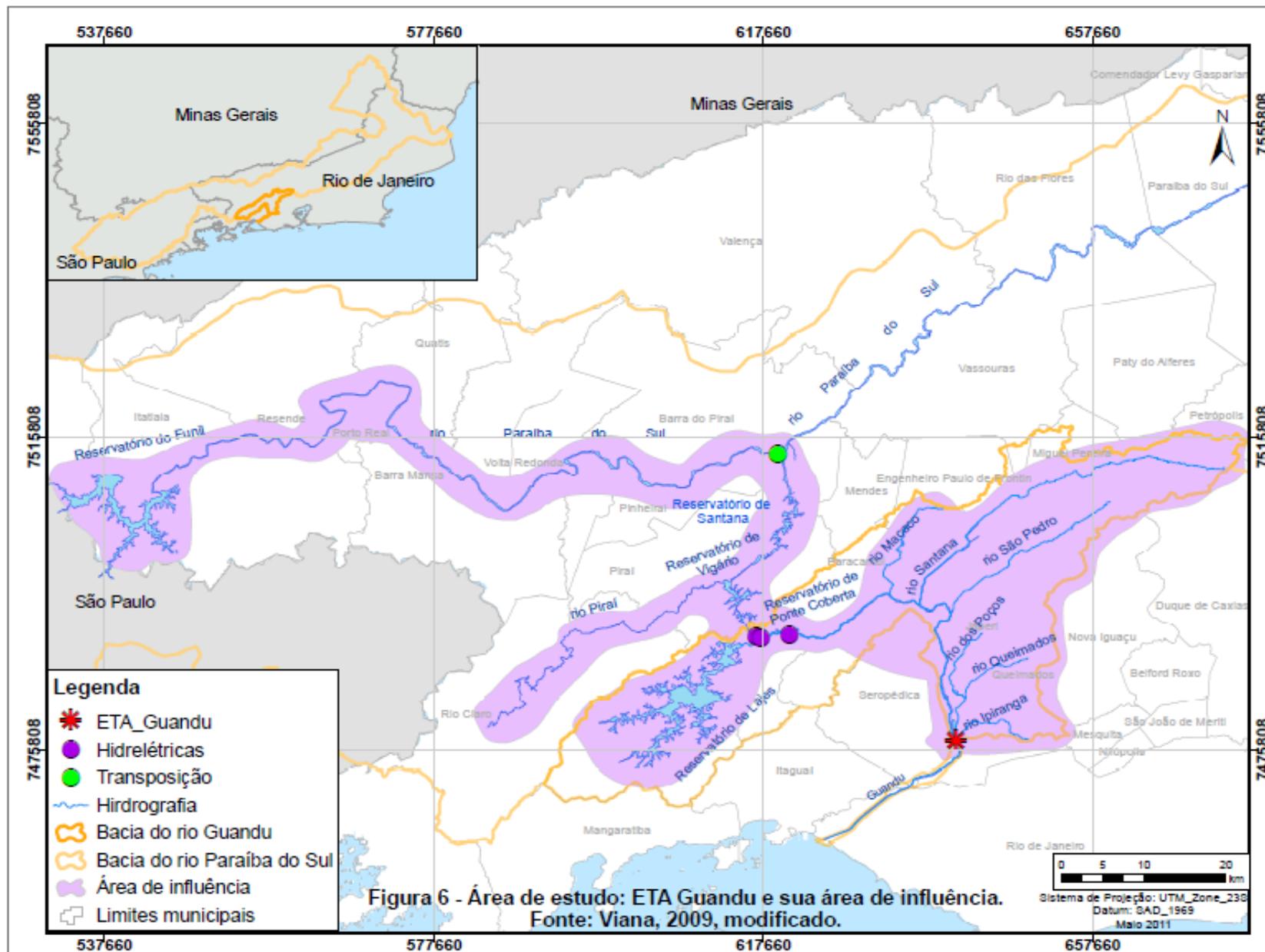
O presente trabalho almeja dimensionar a importância de eventos climáticos extremos perante problemas no abastecimento de água urbano por meio de uma análise holística e qualitativa da vulnerabilidade.

Foi definido como objeto de estudo a Estação de Tratamento de Água do Guandu (ETA Guandu) cuja análise de vulnerabilidade, em relação à quantidade e qualidade das águas captadas, deve compreender a aqui denominada “área de influência direta”. Em função da transposição, esta área inclui tanto a Bacia do rio Guandu, a montante da captação da ETA Guandu, quanto a Bacia do rio Paraíba do Sul, a montante da transposição das águas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu.

Este capítulo dedica-se a apresentar a delimitação do objeto de estudo, que será caracterizado no capítulo seguinte (Resultados e discussões) e, sobretudo a desenvolver uma metodologia qualitativa de vulnerabilidade para o caso específico da ETA Guandu.

2.1 Objeto de estudo: ETA Guandu e sua área de influência

No escopo da área de influência da ETA Guandu, este estudo destaca, em especial, os trechos considerados mais críticos: i) o rio Paraíba do Sul, sobretudo o trecho denominado Médio rio Paraíba do Sul (entre o reservatório de Funil e Santa Cecília, no ponto de transposição); ii) o rio Piraí, como parte do sistema de transposição; e iii) o rio Guandu e seus principais tributários, à montante da captação da ETA Guandu. A Figura 6 mostra a delimitação desta área.



2.1.1 Bacia do Rio Paraíba do Sul

A bacia do rio Paraíba do Sul está localizada no sudeste brasileiro entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. É uma bacia que possui importância estratégica já que está inserida em uma das principais áreas industrializadas do país, responsável por mais de 10% do PIB nacional (COPPETEC, 2006a).

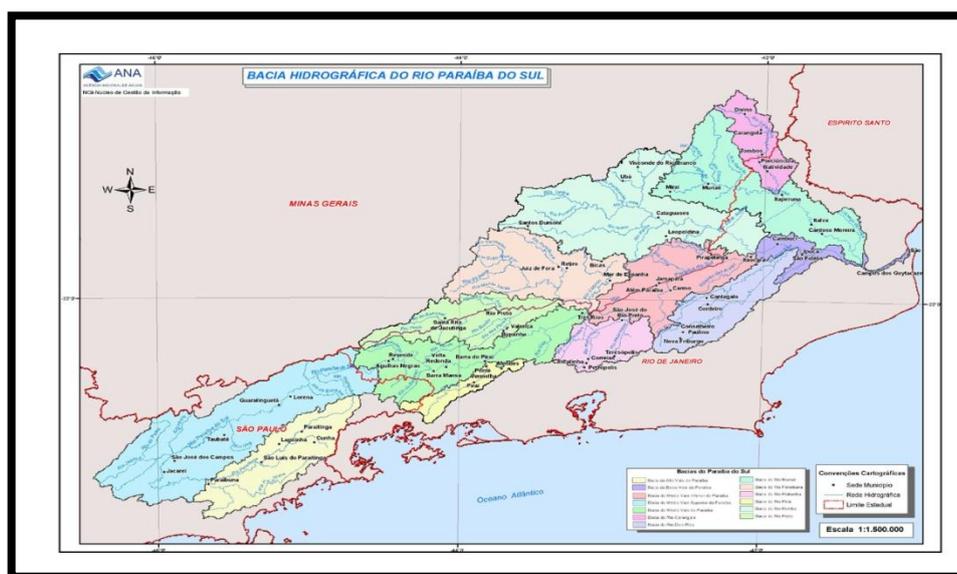


Figura 7 - Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul.
Fonte: COPPETEC, 2006a.

A população da bacia, em 2000, era aproximadamente de 5,6 milhões de habitantes, 88,8% dos quais viviam em áreas urbanas (IBGE, Censo 2000). A Tabela 1 indica a área e a população na Bacia, por estado.

Tabela 1: Área e população da Bacia do Paraíba do Sul, por estado.

Estado	Municípios	Área	%	População em 2000	%
São Paulo	39	13.900	25	1.843.353	33
Rio de Janeiro	53	20.900	38	2.405.873	43
Minas Gerais	88	20.700	37	1.339.011	24
TOTAL	180	55.500	100	5.588.237	100

Fonte: COPPETEC, 2006a.

Entre os usos consuntivos, além da demanda industrial e agrícola, a bacia abastece aproximadamente 14,3 milhões de pessoas, dentre as quais cerca de nove milhões na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que se beneficiam indiretamente

por meio da transposição de suas águas através do Sistema Light-Guandu (FORMIGA-JOHNSSON, 2008).

O potencial de água da bacia foi prioritariamente utilizado para a geração de energia elétrica, abastecimento público, uso industrial e irrigação. Outros usos, tais como pesca, turismo e lazer, têm pouca expressão, embora exista grande potencial para o seu desenvolvimento, ao contrário da navegação, que nunca foi importante nem encontra condições favoráveis na bacia.

Embora o setor industrial demande menos água que outros usos consuntivos, em termos de captação e consumo, ele constitui a principal atividade econômica da Bacia desde meados do século XX, depois da decadência da lavoura cafeeira e sua gradual substituição pela pecuária extensiva.

Tabela 2 - Principais usos das águas da Bacia do Paraíba do Sul.

Usos da água	Captação (m ³ /s)	Consumo (m ³ /s)
Abastecimento público	16,84	3,37
Uso industrial	13,65	6,19
Irrigação	49,73	30,28
Pecuária	3,45	1,73
TOTAL	83,67	41,57
Transposição para o Sistema Light-Guandu	até 180	até 180
TOTAL com a transposição	até 263,67	até 221,57

Fonte: COPPETEC, 2006a.

Como observado na Tabela 2, o maior usuário de águas da bacia é a transposição, que retira até dois terços da vazão regularizada do rio Paraíba do Sul, no seu trecho médio, mais quase a totalidade da vazão de um afluente, o rio Piraí, para geração de energia elétrica no Complexo Hidrelétrico de Lajes, na vertente atlântica da Serra do Mar (Sistema Light-Guandu). Esta transposição, implantada a partir de 1952, criou uma oferta hídrica relevante na bacia receptora do rio Guandu, que se tornou o principal manancial de abastecimento de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e de várias indústrias, termelétricas e outras atividades ali situadas (CEDAE, 2010).

2.1.2 Transposição

A transposição é parte de um complexo sistema de reservatórios, elevatórias e usinas hidrelétricas (Complexo hidrelétrico de Lajes/Paraíba do Sul), que compreende as cabeceiras do rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo, até a transposição no Médio rio Paraíba do Sul e a Bacia do rio Guandu, no Estado do Rio de Janeiro.

O atual sistema de geração hidrelétrica do Paraíba do Sul se completou com a execução do plano de regularização das vazões e a construção das barragens de Santa Branca (1959), Jaguari (1972) e Paraibuna-Paraitinga (1978), situadas na parte alta da Bacia, no estado de São Paulo, e de Funil (1969), no trecho médio, no estado do Rio de Janeiro, para acumulação dos excedentes de água do período chuvoso. Esta regularização, além de minimizar as cheias anuais do Vale do Paraíba, visava uma vazão afluente de 250 m³/s em Santa Cecília, no ponto da transposição. Para dar uma ideia da sua grandeza: o volume de acumulação de água do conjunto de reservatórios supera sete bilhões de metros cúbicos, mais do que duas vezes o volume de água da baía de Guanabara (ANA, 2011). A Figura 8 ilustra, esquematicamente, os diferentes elementos que compõem este complexo de infraestrutura hídrica e de geração de energia elétrica.

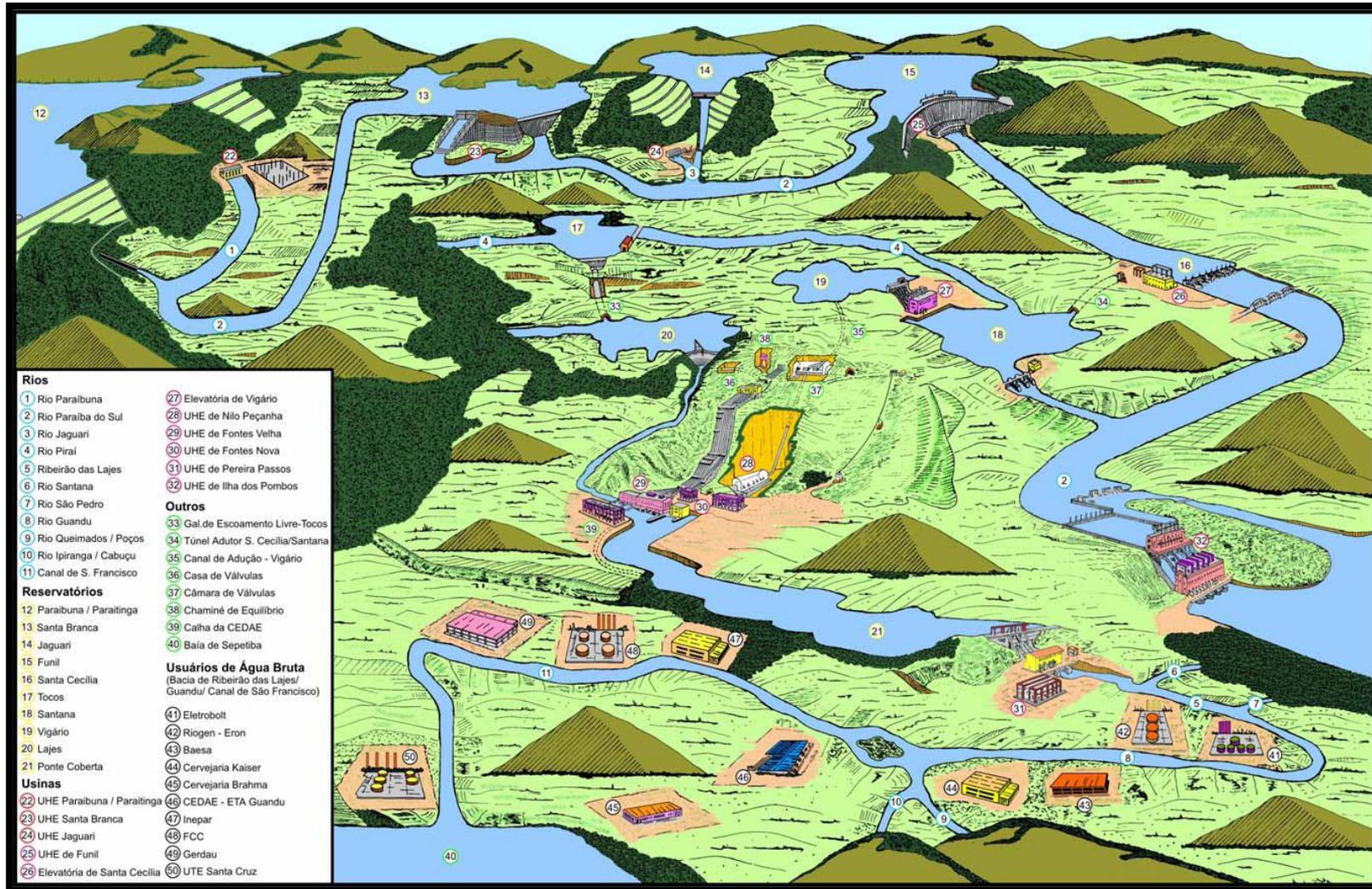


Figura 8 - Representação esquemática do Complexo Hidrelétrico de Lajes/Paraíba do Sul. Transposição, Sistema Light-Guandu.
Fonte: Campos, 2001.

Em Barra do Piraí, a montante da Barragem de Santa Cecília, a elevatória de Santa Cecília bombeia água do rio Paraíba do Sul, invertendo o curso do rio Piraí e elevando significativamente sua vazão. Em Piraí, a elevatória de Vigário bombeia a água do rio Piraí até o reservatório de Vigário, daí as águas seguem para as usinas geradoras de energia de Fontes e Nilo Peçanha, com queda nominal de 310m e 303m, respectivamente. Após passar pelas turbinas, a água flui para o reservatório de Ponte Coberta e há mais um aproveitamento energético através da Usina de Pereira Passos; em seguida, a água flui para a calha do rio Ribeirão das Lajes o qual, após encontrar-se com o rio Santana, em Paracambi, torna-se o rio Guandu (CAMPOS, 2001).

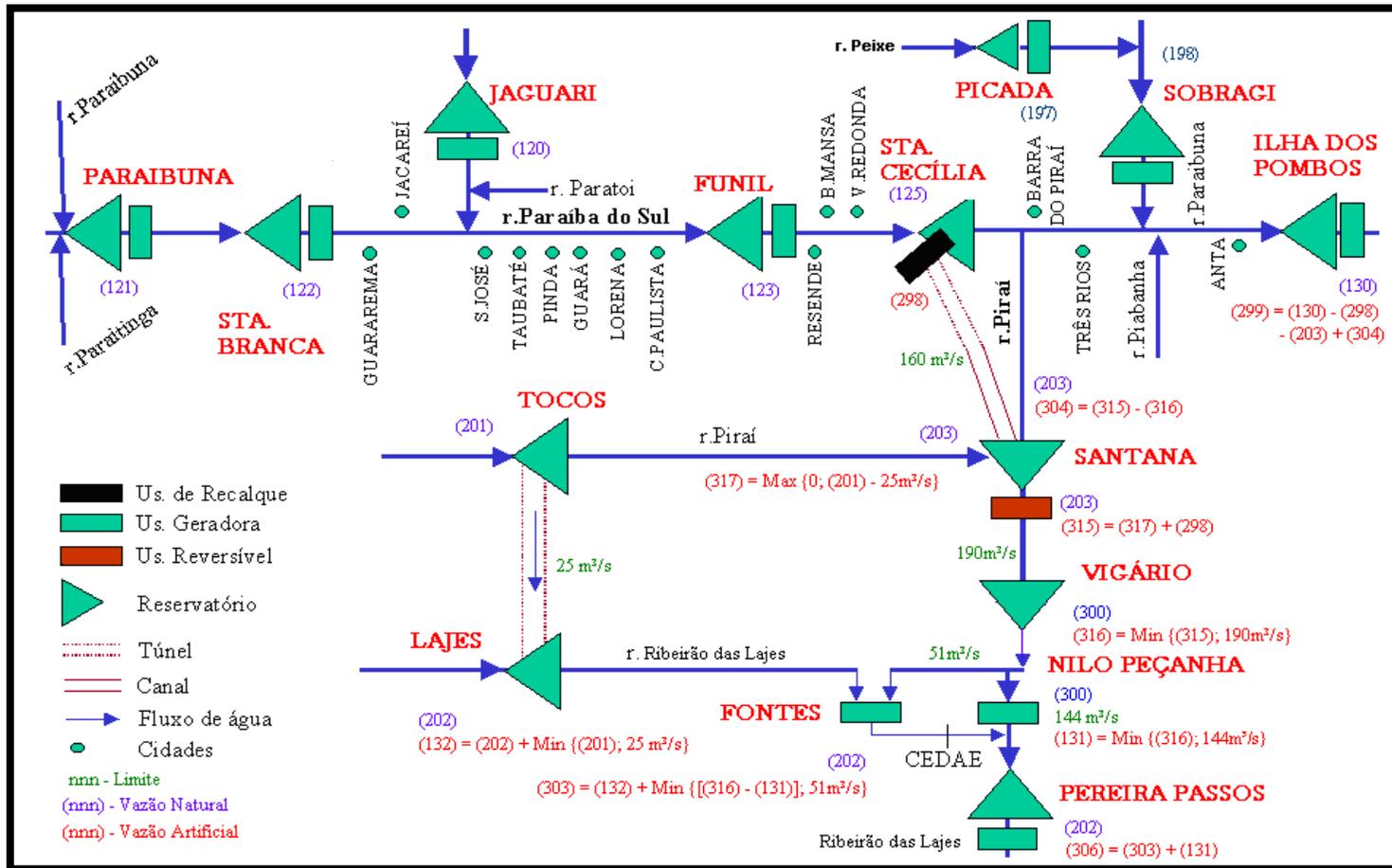


Figura 9 - Diagrama esquemático das usinas com regras de transformação de vazões.
 Fonte: Light, 2010b.

O limite mínimo para a vazão média de bombeamento em Santa Cecília é de $119 \text{ m}^3/\text{s}$ e o deplecionamento dos reservatórios para atender o limite mínimo de $190 \text{ m}^3/\text{s}$ em Santa Cecília ($71 \text{ m}^3/\text{s}$ a jusante e $119 \text{ m}^3/\text{s}$ para bombeamento) deve seguir preferencialmente uma ordem de prioridade (Funil, Santa Branca, Paraibuna e Jaguari), procurando sempre manter o limite de 10% do volume útil dos mesmos. A capacidade máxima das quatro unidades de bombeamento da usina elevatória de Santa Cecília, incluindo barragem e reservatório no rio Paraíba do Sul, é de $160 \text{ m}^3/\text{s}$ no total. Quando a vazão incremental entre Funil e Santa Cecília for maior que $110 \text{ m}^3/\text{s}$, a vazão emergencial de $71 \text{ m}^3/\text{s}$ a jusante de Santa Cecília deverá ser gradativamente aumentada, até atingir o limite da vazão mínima normal de $90 \text{ m}^3/\text{s}$ (LIGHT, 2010).

Portanto, embora a transposição tenha inicialmente sido feita somente para fins de aproveitamento energético, sem este sistema o rio Guandu não teria disponibilidade hídrica para abastecer a gama variada de usuários da bacia, incluindo atualmente 75% da população do estado do Rio de Janeiro (CAMPOS, 2005).

2.1.3 Bacia do rio Guandu

Abrigando aproximadamente 407.315 habitantes em uma área de drenagem de 1.385 km^2 , a bacia do rio Guandu é a principal bacia da Região Hidrográfica II do Estado do Rio de Janeiro e tem como principais afluentes os rios dos Macacos, Santana, São Pedro, Poços/Queimados e Ipiranga (ANA, 2006).

Em condições naturais, a vazão do rio Guandu seria de cerca de $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Com a transposição, o Guandu recebe uma contribuição média de $146 \text{ m}^3/\text{s}$ do desvio Paraíba-Piraí e de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ do desvio Tocos-Lajes (ANA, 2010).

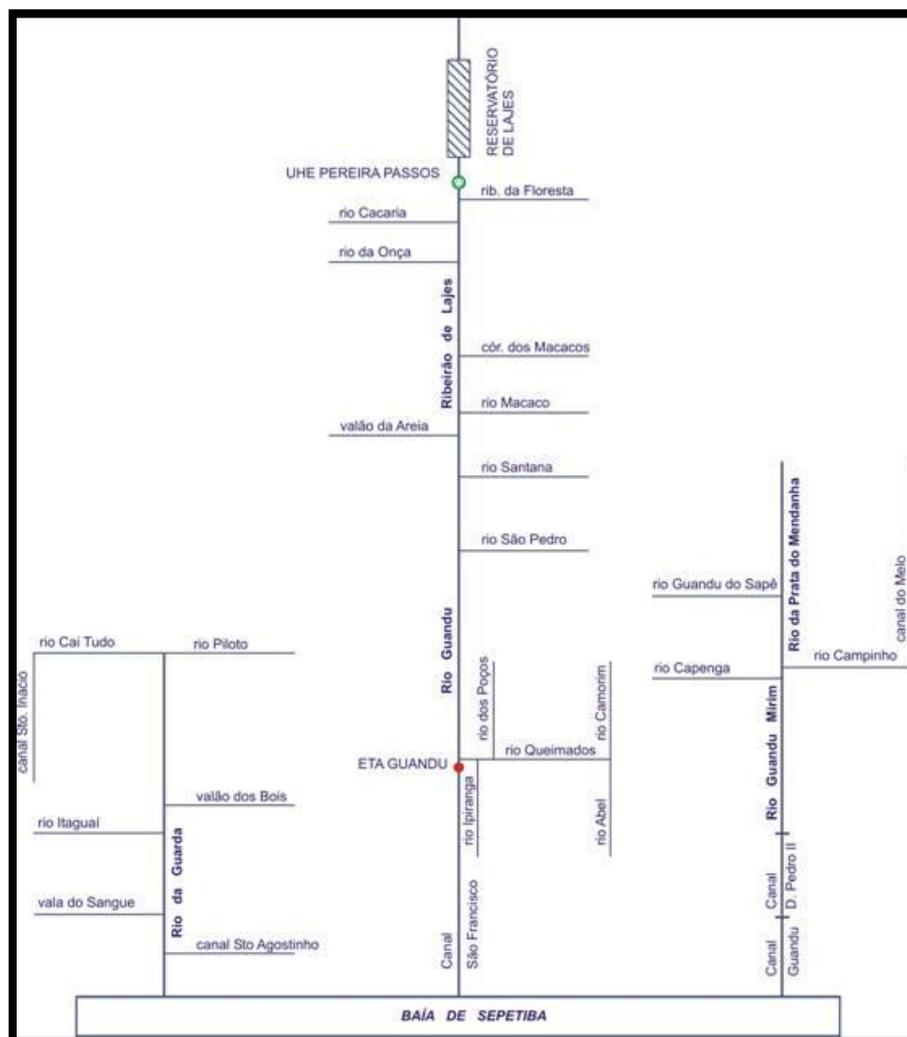


Figura 10 - Diagrama unifilar da Rede Hidrográfica Principal.
Fonte: ANA, 2006.

O rio Guandu segue o total de 24 km rumo ao sul, a jusante da via Dutra, margeando áreas de pastagens até a localidade urbana de Campo Lindo, próxima às barragens da Cedae, em Seropédica. A montante da ponte da antiga estrada Rio-São Paulo, situa-se a ilha da Cedae, onde o Guandu se divide em dois braços. Em ambos há duas barragens pertencentes à Cedae, construídas nos anos 1950-60, que são parte da estrutura de captação do sistema Guandu para manter o nível necessário para a tomada d'água. A montante da captação da ETA Guandu, Unida ao braço leste, o barramento formou uma área constantemente alagada, conhecida como Lagoa do Guandu, onde desembocam os poluídos rios dos Poços/Queimados e Ipiranga (Figura 11).



Figura 11 - Captação ETA Guandu.

Fonte: Sítio da Cedae, acessado em março de 2011.

A captação da Cedae é feita na comporta leste através de um túnel onde são aduzidos cerca de $45 \text{ m}^3/\text{s}$. A jusante da ilha da Cedae, o Guandu atravessa um pequeno trecho com leito pedregoso, formando uma corredeira. A seguir, toma o rumo sudoeste, e percorre cerca de nove quilômetros até adentrar no canal de São Francisco, seguindo por 15 km até desaguar na baía de Sepetiba. A zona da foz é em forma de delta é ocupada por manguezais.

Além de ETA Guandu existe outra captação da Cedae neste mesmo rio com capacidade máxima de $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Destinando-se ao abastecimento de cerca de 1,5 milhões de habitantes, as águas deste sistema são de boa qualidade, recebendo apenas cloração. Esta captação corresponde a uma derivação do ribeirão das Lajes a jusante da UHE Fontes Nova, conhecida como "calha da Cedae".

2.1.4 ETA Guandu

A ETA Guandu está localizada a aproximadamente quatro quilômetros de distância do local da captação, já fora dos limites da bacia do rio Guandu, em Nova

Iguaçu, mais especificamente no km 19,5 da Rodovia BR-465 (antiga Estrada Rio-São Paulo), próximo à confluência com a RJ-105 (conhecida como Estrada de Madureira) (Figura 12).

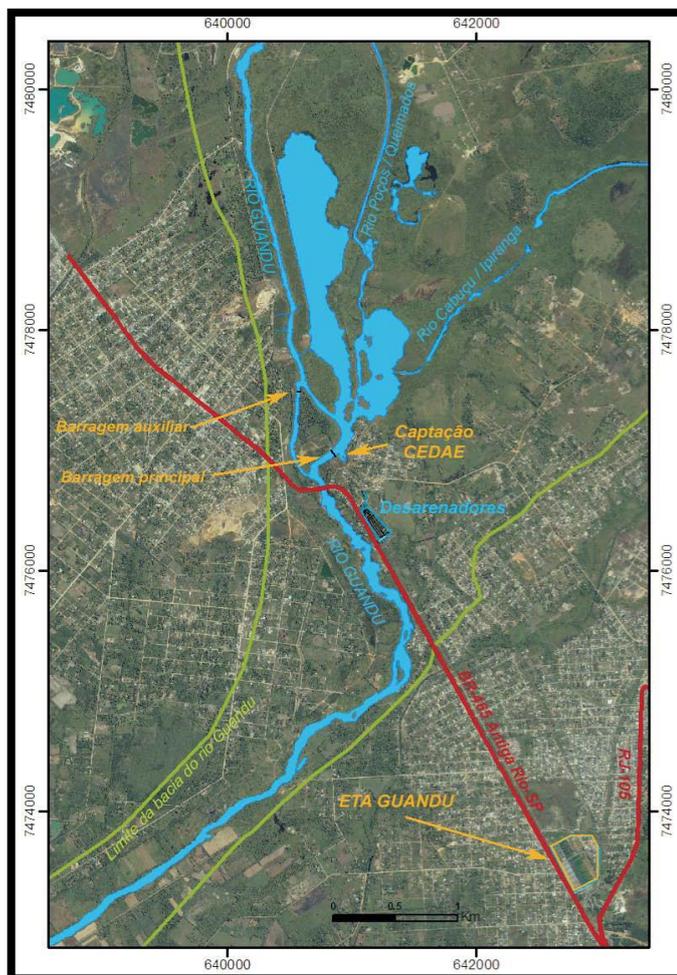


Figura 12 - Localização da ETA Guandu.
Fonte: Cedae, 2010.

Inaugurada em 1955, é a maior estação de tratamento de água em volume produzido do mundo. Com aproximadamente o triplo de sua capacidade inicial, a ETA Guandu trata atualmente cerca de $43\text{m}^3/\text{s}$ e é responsável pelo abastecimento de 8,5 milhões de habitantes (CEDAE, 2010). São mais de 3,7 bilhões de litros saindo diariamente da estação para abastecer as sedes municipais de Belford Roxo, Duque de Caxias, Japeri, Mesquita, Nilópolis, Nova Iguaçu, Queimados, Rio de Janeiro e São João do Meriti (ANA, 2010). O gasto de energia da ETA chega a

atingir até 25 mil MWh, equivalente ao consumo de uma cidade de 600 mil habitantes (CEDAE, 2010).

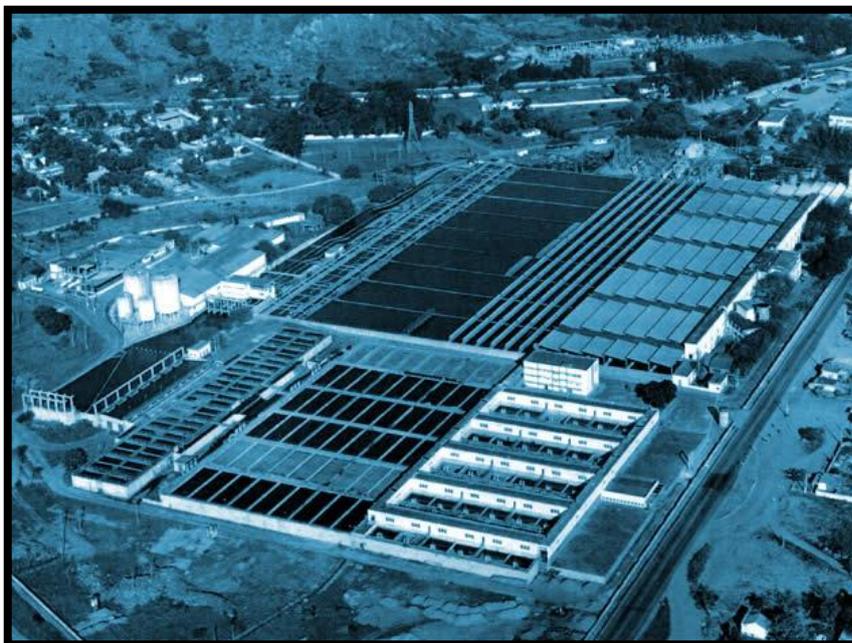


Figura 13 - ETA Guandu.

Fonte: Sítio da Cedae, acessado em março de 2011.

As tomadas de água são protegidas por uma barragem flutuante e por um sistema de gradeamento, que impede a passagem de lixo, galhos, plantas aquáticas e de qualquer outro tipo de material grosseiro que venha na água do rio. Do túnel, a água segue para os desarenadores, que removem areia e materiais pesados que ainda estejam em suspensão na água. No final dos desarenadores, as elevatórias de água bruta bombeiam a água através de cinco grandes adutoras com 3.200 metros de extensão cada uma (CEDAE, 2011).

Ao chegar à ETA Guandu, a água passa por uma unidade chamada 'caixa de tranquilização', onde recebe coagulantes químicos e, após, segue para a velha estação de tratamento (VETA) ou para a nova estação de tratamento (NETA). Os floculadores mecanizados ajudam na formação dos flocos resultantes da aglutinação provocada pelos coagulantes químicos com as partículas coloidais que provocam o aspecto barrento na água bruta. Em seguida, a água floculada é conduzida a grandes tanques de sedimentação, denominados decantadores dando fim ao processo de clarificação. O processo de filtração é realizado pelo total de 132 filtros de areia e antracito (carvão mineral). A desinfecção é efetuada a partir da aplicação

de Cloro em um grande reservatório de contato onde a água permanece o tempo necessário para a total eliminação de bactérias e outros microorganismos patogênicos que não tenham sido eliminados nos processos anteriores de tratamento. A correção de pH é realizada com a adição de óxido de cálcio (CaO) para eliminação total da acidez da água, protegendo as tubulações e equipamentos. A fluoretação é efetuada apenas para o auxílio na prevenção da cárie dentária. Após o tratamento, a água segue para o sistema de adução e distribuição (CEDAE, 2011).

Mesmo sendo a maior estação de tratamento de água do mundo em termos de capacidade, a ETA Guandu trabalha em condições extremas, motivo pelo qual a Cedae pretende ampliar sua capacidade em 30% (Figura 14). O PAC das águas, programa voltado para obras de saneamento da região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, tem ao todo 11 projetos previstos orçados em mais de R\$ 392 milhões de reais. Esse programa conta com recursos do programa de aceleração do crescimento (PAC) do governo federal e prevê a aquisição de dois conjuntos de clorador/evaporador para o sistema de desinfecção do Guandu, a execução de reforma, adaptação e reparos gerais de toda a ETA e o fornecimento e montagem de estrutura suporte e módulos de decantação tubulares para os decantadores da Nova Estação de Tratamento de Água da ETA Guandu (CEDAE, 2011).

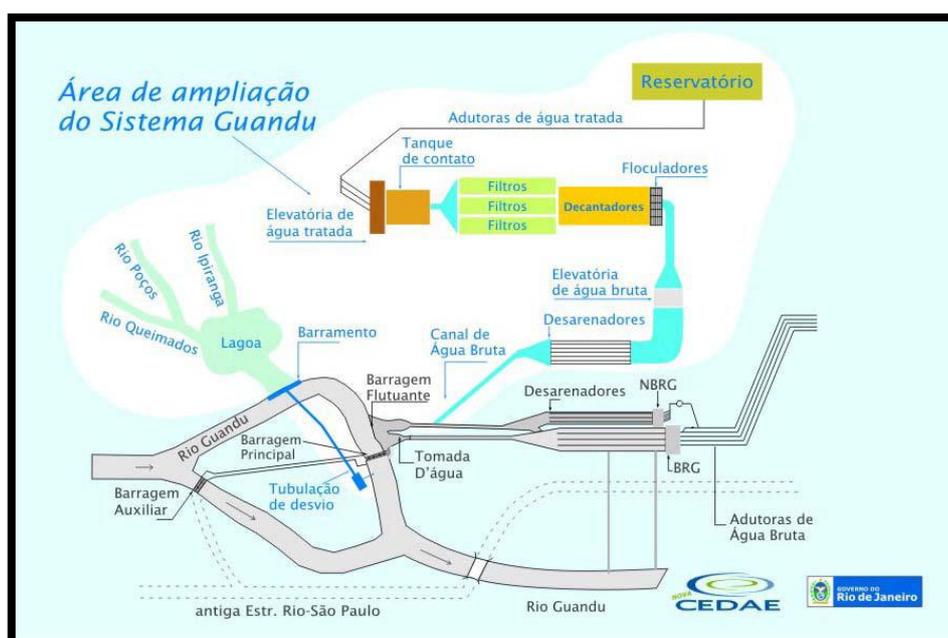


Figura 14 - Proposta de ampliação do sistema Guandu.
Fonte: Sítio da Cedae, acessado em março de 2011.

Além do aumento da capacidade para atendimento às demandas futuras, a ampliação do sistema Guandu tem como objetivo estratégico permitir maior flexibilidade de manutenção e operação da ETA. Esse planejamento tem como principais ações estruturais o aumento de 24 m³/s na produção da água tratada, em dois módulos de 12 m³/s cada e a implantação de tratamento da água bruta do Ribeirão das Lajes (CEDAE, 2011).

2.2 Análise qualitativa da vulnerabilidade da ETA Guandu

Com base na revisão bibliográfica sobre vulnerabilidade do Capítulo 1, adotamos o primeiro pressuposto para desenvolver uma metodologia de análise qualitativa de vulnerabilidade, específica ao caso da ETA Guandu: a intensificação dos eventos extremos, oriunda ou não das mudanças climáticas globais, constitui apenas um dos fatores de estresse aos quais as Bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu estão sujeitas.

Trata-se, portanto, de mais uma camada (*layer*) que compõe a vulnerabilidade da ETA Guandu em termos de quantidade e qualidade da água bruta captada. Dessa forma, é necessário ter uma abordagem holística acerca dos principais fatores de estresse para a disponibilidade da água bruta e dimensionar a importância do fator *variabilidade climática* (intensificação de eventos extremos) na composição da vulnerabilidade como um todo.

A partir da criação deste roteiro específico, foi possível discutir e identificar o grau de vulnerabilidade, de forma qualitativa, da ETA Guandu perante diversos fatores de estresse permitindo, assim, dimensionar a importância da variabilidade climática e eventos extremos na composição de sua vulnerabilidade como um todo.

Ressaltamos que o conceito de vulnerabilidade adotado neste estudo é relacionado à exposição (natureza e grau em que um sistema experimenta estresses ambientais; por exemplo, estiagem e inundação) e à sensibilidade (grau em que um sistema é afetado, de forma positiva ou negativa; tal como a qualidade de água em um ponto de captação).

O grau de exposição e sensibilidade de um sistema depende, por sua vez, da sua capacidade adaptativa, ou seja, a capacidade de um determinado sistema (i) de

se ajustar a um estresse atual ou esperado, (ii) de moderar os danos potenciais gerados por um estresse, ou (iii) de lidar com as consequências do estresse (por exemplo, utilização de tecnologias avançadas para tratamento de água).

A Figura 15 apresenta o esquema conceitual construído para a análise da vulnerabilidade das águas captadas pela ETA Guandu, em termos de quantidade e qualidade, indicando os diferentes elementos que compõem a sua vulnerabilidade potencial (fator de estresse, exposição, sensibilidade e ações adaptativas). Apesar de serem apresentados de modo independente, os elementos que compõem a vulnerabilidade devem ser interpretados de maneira sistêmica, respeitando as interligações e a complexidade entre eles.

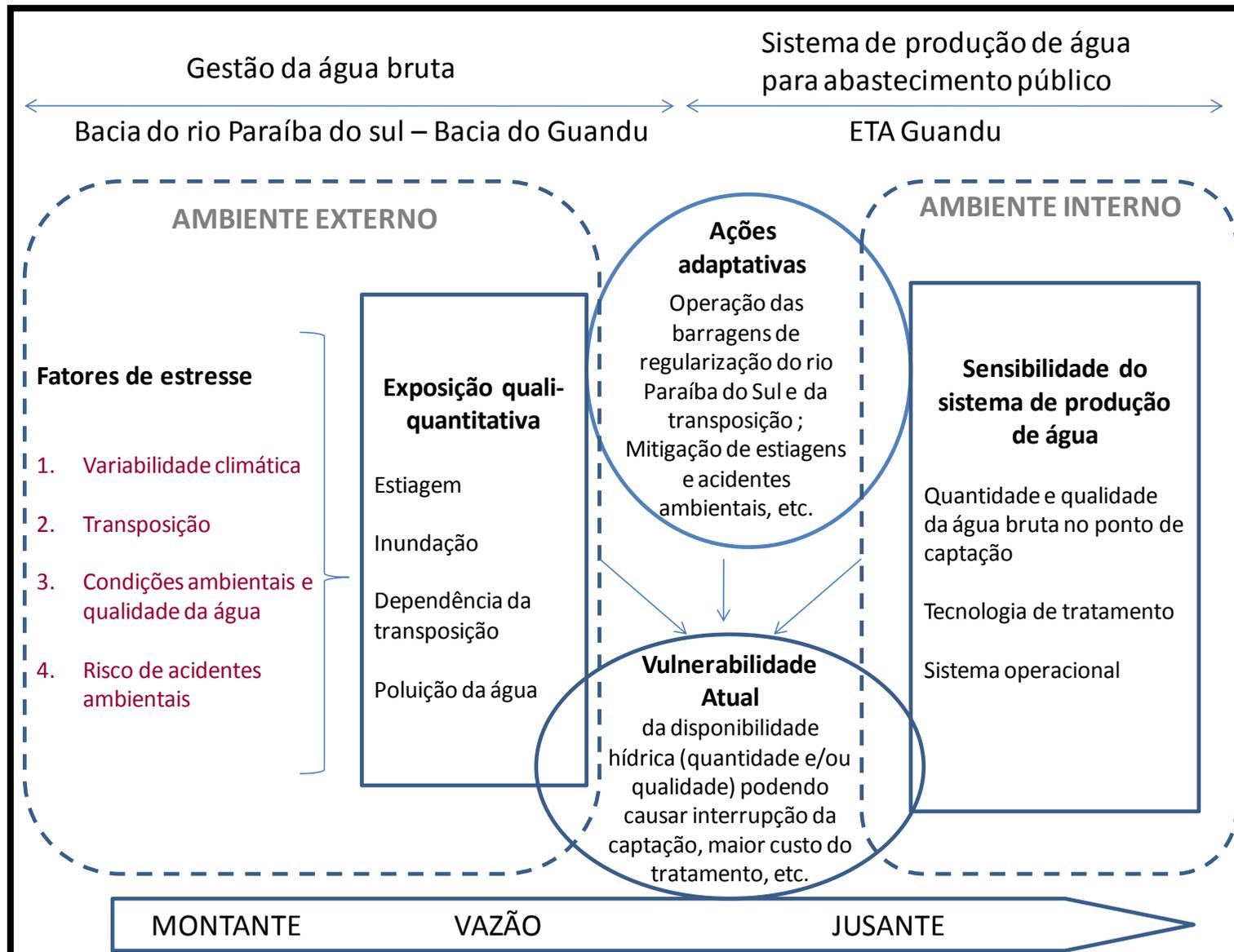


Figura 15 - Esquema conceitual de análise qualitativa da vulnerabilidade da ETA Guandu.

Fonte: Adaptado pela autora de Raber *et al.*, 2010.

Os **fatores de estresse** caracterizam os estímulos que resultam na exposição de um determinado sistema. Considerando que as bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu estão localizadas em áreas fortemente industrializadas e urbanizadas do país, os fatores de estresse foram considerados levando-se em conta tanto a sua dimensão (bio)física quanto político-social.

Dentre os numerosos e variados estresses que sofrem as águas captadas pela ETA Guandu, oriundos da bacia do rio Paraíba do Sul ou da própria bacia do Guandu, selecionamos quatro fatores de estresse:

- 1) Variabilidade climática, inclusive a intensificação de eventos hidrológicos extremos;
- 2) Transposição das águas da bacia do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu;
- 3) Condições ambientais e poluição da água, na bacia do Paraíba do Sul, a montante da transposição, e na bacia do Guandu, a montante da captação da ETA Guandu; e
- 4) Acidentes ambientais tanto na bacia Paraíba do Sul, a montante da transposição, quanto na bacia do Guandu, a montante da captação da ETA Guandu.

A seleção destes fatores de estresse foi feita a partir da revisão bibliográfica sobre as duas bacias, complementadas por entrevistas e questionários junto à ANA, ONS, Light, Ceda e Inea. Cada fator foi escolhido e analisado de forma independente.

O item “condições ambientais e poluição da água” envolve o uso e ocupação do solo, cobertura vegetal e a poluição da água oriunda de fontes pontuais e difusas (esgotamento sanitário, lançamento de efluentes industriais, agrotóxicos e disposição dos resíduos sólidos).

Já o item “acidentes ambientais” compreendeu acidentes tecnológicos provenientes de fontes fixas industriais e de acidentes em ferrovias e rodovias. Foi considerado como acidente ambiental qualquer evento anormal, indesejado e inesperado, com potencial para causar danos diretos ou indiretos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger (CETESB, 2003).

A **exposição** ocorre de acordo com a natureza e o grau do fator de estresse. Neste trabalho, selecionamos quatro exposições relativas aos principais problemas

envolvendo a quantidade e qualidade da água bruta que o sistema estudado pode enfrentar como consequência dos fatores de estresse selecionados, a saber:

- 1) Estiagem ou período prolongado de baixa pluviosidade ou sua ausência, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição (SEDEC, S.D.);
- 2) Inundação ou transbordamento de água da calha normal de rios em áreas não habitualmente submersas (SEDEC, S.D.);
- 3) Dependência da transposição, para a disponibilidade de água para a ETA Guandu; e
- 4) Contaminantes físico, químicos e biológicos, oriundos de diversas fontes nas Bacias Paraíba do Sul e Guandu, com destaque para a turbidez e toxinas.

A **sensibilidade** da ETA Guandu refere-se a uma abordagem mais precisa do impacto que a exposição terá sob esse sistema. Para Fussel, a sensibilidade é vista como o componente interno da vulnerabilidade, ou seja, são as propriedades ou atributos inerentes ao sistema analisado. Estas propriedades indicam de que forma e intensidade o sistema é afetado, ou seja, de que maneira ele sente a exposição.

Neste caso, a sensibilidade do sistema de produção de água: ETA Guandu foi determinada através de três componentes:

- 1) Localização geográfica do ponto de captação de água bruta;
- 2) Tecnologia de tratamento; e
- 3) Sistema operacional.

Já a **capacidade adaptativa** refere-se a quanto o sistema é capaz de moderar, responder ou se ajustar ao impacto, visando tirar proveito das oportunidades geradas com o estresse. Iremos encarar a capacidade adaptativa com relação aos indicadores que se revelarem mais importantes na composição da vulnerabilidade, como por exemplo, a operação das barragens de regularização do rio Paraíba do Sul e da transposição e a mitigação de estiagens e acidentes ambientais.

Por sua vez, a **vulnerabilidade** revela a relação entre a exposição, a sensibilidade e a capacidade adaptativa. Se a exposição for grave e a sensibilidade for baixa, por exemplo, uma estiagem severa e falhas na gestão ou até no próprio sistema de operação da transposição e barragens, o impacto será extremamente alto assim como a vulnerabilidade potencial. Neste trabalho consideraremos apenas

os indicadores que caracterizam os chamados impactos de primeira ordem com o objetivo de simplificar a análise.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta e discute os resultados provenientes da aplicação da metodologia de análise qualitativa de vulnerabilidade da ETA Guandu, em relação à quantidade e qualidade das águas captadas.

Seu principal objetivo é identificar o grau de vulnerabilidade atual da ETA Guandu perante os quatro fatores de estresse selecionados: i) variabilidade climática, ii) transposição das águas da Bacia do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu; iii) condições ambientais e poluição da água; e iv) acidentes ambientais. Busca-se, ainda, dimensionar a importância da variabilidade climática e eventos extremos na composição global da vulnerabilidade.

3.1 Vulnerabilidade perante a variabilidade climática (intensificação de eventos hidrológicos extremos)

O primeiro fator de estresse considerado no estudo é a variabilidade climática. Este é um assunto que vem recebendo maior atenção ao longo dos anos, principalmente quando está associada ao tema mudanças climáticas globais.

O IPCC define clima como:

[...] 'tempo meteorológico médio', ou mais precisamente, como a descrição estatística de quantidades relevantes de mudanças do tempo meteorológico num período de tempo, que vai de meses a milhões de anos. O clima num sentido mais amplo é o estado, incluindo as descrições estatísticas do sistema global (IPCC, 2001b:788)

O período clássico para a descrição estatística de mudanças do tempo meteorológico (variabilidade climática) definido pela Organização Mundial de Meteorologia é de 30 anos (PINTO, 1999). Essas quantidades englobam geralmente variações de superfície, como temperatura, precipitação e vento. Neste trabalho iremos considerar a variabilidade climática com relação principalmente a intensificação de eventos hidrológicos extremos, analisando uma série histórica de volume de chuvas de 29 anos.

A variabilidade climática tem influência primordial sob o aspecto quantitativo da água, sobretudo em condições extremas de inundações e estiagens. Estudos, como o de Krol e Bronstert (2007), indicam fortes relações entre mudanças no nível de precipitação e disponibilidade de recursos hídricos. Considerando o aumento da demanda de água oriundo do crescimento populacional e das atividades econômicas, modelos prevêem ainda crescentes crises de falta de água em quantidade e qualidade adequadas para os próximos 50 anos.

3.3.1 Exposição

Para caracterizar a exposição, realizamos uma análise de tendências das precipitações na região do Médio Paraíba do Sul e na bacia do rio Guandu (RHs III e II, respectivamente), utilizando dados referentes de 16 estações pluviométricas. Embora o número de estações instaladas seja significativo (142), somente 16 foram selecionadas em função da consistência dos dados. A série história disponível é em média de janeiro de 1970 até início de 2009 e os registros são de estações localizadas principalmente na região do Médio Paraíba. Os dados utilizados são referentes às médias mensais; foram selecionadas séries históricas com até seis falhas não sequenciais.

O método não-paramétrico escolhido para analisar tendências de longo prazo, foi o teste de Mann-Kendall (KENDALL; GIBBONS, 1990). Este teste é considerado particularmente útil para detectar tendências monotônicas em dados coletados de fontes pontuais (HIPEL; MCLEOD, 1994). O teste foi aplicado para o total anual e para os períodos chuvosos (outubro a março) e secos (maio a setembro).

Neste teste, a hipótese nula H_0 é a de que os dados, ou seja, que as médias mensais das estações pluviométricas, neste caso, são regidas por variáveis aleatórias, independentes e identicamente distribuídas. A hipótese alternativa H_A é a de que os dados apresentam tendência crescente ou decrescente com o tempo.

Seja z_i , $i = 1, 2, \dots, n$, uma série histórica consistindo de n observações, z_1, z_2, \dots, z_n , de uma determinada estação pluviométrica. A estatística S para o teste de Mann-Kendall é definida como:

$$(1)$$

Onde o valor da estatística S do teste de Mann-Kendall calculado pela equação (1) indica, quando positivo, uma tendência ascendente da série histórica dos dados, e quando negativo, uma tendência declinante. É possível demonstrar (KENDALL; GIBBONS, 1990) que a estatística S é assintoticamente normalmente distribuída, com média zero e desvio padrão σ , onde o valor de σ é dado pela equação (2) a seguir. Ou seja, $S \sim N(0, \sigma)$, quando o número de observações¹ $n \rightarrow \infty$.

$$(2)$$

A partir desse resultado, pode-se calcular o nível de significância (ou, equivalentemente, o p-valor) da estatística S , calculada pela equação (1), para uma série histórica de observações obtidas por intermédio de médias mensais de determinada estação pluviométrica.

Finalmente, cabe observar que os valores da estatística S , calculados a partir da equação (1) são inteiros. Portanto, para obter maior precisão nos cálculos dos níveis de significância (ou p-valores) é necessário utilizar o procedimento de correção de continuidade da aproximação normal. Segundo Kendall e Gibbons (1990), esse procedimento consiste em subtrair uma unidade de S , quando este é positivo ou nulo, e acrescentar uma unidade, quando o valor da estatística S é negativo. Ou seja,

$$\begin{cases} S \geq 0 \Rightarrow \underline{S} = S - 1 \\ S < 0 \Rightarrow \underline{S} = S + 1 \end{cases}$$

onde \underline{S} é o valor da estatística S com correção de continuidade.

A série histórica disponível é em média de janeiro de 1970 até 2004 e os registros são referentes à região do Médio Paraíba principalmente (Tabela 3). Os dados utilizados são referentes ao total anual obtido através das médias mensais de chuva.

¹ Na realidade, Kendall e Gibbons (1990) mostram que para $n > 10$, a aproximação da distribuição de S por uma normal com média zero e desvio padrão σ fornece resultados satisfatórios.

Tabela 3 - Estações selecionadas para o teste Mann-Kendall.

Nume ração	Código	Início	Fim	Nome	Altitude	Bacia
1	2243003	jan-70	Set-08	Paraíba do Sul	300	Médio Paraíba do Sul
2	2243004	jan-70	Dez-08	Conservatória	550	Médio Paraíba do Sul
3	2243005	jan-70	mar-09	Valença	549	Médio Paraíba do Sul
4	2243007	jan-70	Fev-09	Taboas	444	Médio Paraíba do Sul
5	2243205	jan-70	jul-04	Usina Santa Cecília p1-273	371	Médio Paraíba do Sul
6	2244033	jan-70	mar-09	Santa Isabel do Rio Preto	544	Médio Paraíba do Sul
7	2244034	jan-70	Abr-09	Ribeirão de São Joaquim	620	Médio Paraíba do Sul
8	2244037	jan-70	Dez-08	Fumaça	720	Médio Paraíba do Sul
9	2244038	jan-70	nov-08	Ponte do Souza	950	Médio Paraíba do Sul
10	2244039	jan-70	fev-09	Fazenda Agulhas Negras	1460	Médio Paraíba do Sul
11	2244042	jan-70	jul-08	Barra Mansa	376	Médio Paraíba do Sul
12	2244044	jan-70	set-08	Glicério	390	Médio Paraíba do Sul
13	2244045	jan-70	mar-09	Nossa Senhora do Amparo	400	Médio Paraíba do Sul
14	2244047	jan-70	jan-09	Visconde de Mauá	1030	Médio Paraíba do Sul
15	2244058	jan-71	Dez-08	Mirantão	1070	Médio Paraíba do Sul
16	2244097	jan-70	jun-04	Vargem p3-278	510	Guandu, Guarda e Guandu Mirim

Fonte: ANA (disponível em: <http://www.ana.gov.br>).

O resultado do MK (Tabela 4) indica que, de modo geral, há tendência de aumento do volume de chuvas ao longo dos anos, embora não seja significativa. Nas estações 10 e 11, que se situam respectivamente na Fazenda Agulhas Negras a 1460m de altitude e em Barra Mansa a 376 m do nível do mar, foi registrada uma tendência de aumento com 90% de certeza. Nas estações 5, 9 e 15, a tendência de aumento possui o grau de confiança de 80%. Na estação 3, a sinalização de aumento é de pelo menos 75% de certeza. Há tendência significativa de queda no volume de chuvas, no período observado, nas estações 8 e 12, que correspondem às estações Fumaça, a 720 m de altitude, e Glicério a 390 m, respectivamente. Além disso, a estação 4 também apresentou a tendência de queda com o grau de confiança de 90% e a estação 6 sinalizou queda com 80% de certeza. Nas estações restantes as tendências mantiveram-se inalteradas.

O relatório de 2007 do IPCC identifica em geral uma tendência de aumento das precipitações nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. No entanto, esta tendência não aponta para um aumento do volume total anual das chuvas, mas indica possibilidades de que estas precipitações se tornem mais intensas, concentradas e mal distribuídas a cada ano, gerando instabilidades severas.

Para verificar se há uma tendência sazonal de aumento da precipitação no período chuvoso, para a região de estudo, repetimos o teste MK agrupando os dados através do somatório das médias mensais dos períodos secos (maio a setembro) e chuvosos (outubro a março), ao longo dos 29 anos de análise. As Tabelas 5 e 6 indicam os resultados.

Tabela 5 - Mann Kendall – Tendência do período chuvoso nas estações pluviométricas das RH-II e III do estado do Rio de Janeiro - 1970/2004.

Número	Estação	Nº de dados	Estatísticas		Tendência a cada respectivo α (erro)					Análise Final
			S	Z	$\alpha = 01\%$	$\alpha = 05\%$	$\alpha = 10\%$	$\alpha = 20\%$	$\alpha = 25\%$	
1	E2243003	38	89	1.08	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	AUMENTO	AUMENTO	Sinalização de AUMENTO com pelo menos de 80% de confiança.
2	E2243004	38	57	0.69	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	AUMENTO	Sinalização de AUMENTO com pelo menos de 75% de confiança.
3	E2243005	38	110	1.33	INALTERADO	INALTERADO	AUMENTO	AUMENTO	AUMENTO	Sinalização de AUMENTO com pelo menos de 90% de confiança.
4	E2243007	38	-71	-0.86	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	QUEDA	QUEDA	Sinalização de QUEDA com pelo menos de 80% de confiança.
5	E2243205	33	111	1.65	INALTERADO	AUMENTO	AUMENTO	AUMENTO	AUMENTO	AUMENTO significativo com pelo menos de 95% de confiança.
6	E2244033	38	-21	-0.25	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
7	E2244034	38	95	1.15	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	AUMENTO	AUMENTO	Sinalização de AUMENTO com pelo menos de 80% de confiança.
8	E2244037	38	-121	-1.46	INALTERADO	INALTERADO	QUEDA	QUEDA	QUEDA	Sinalização de QUEDA com pelo menos de 90% de confiança.
9	E2244038	38	81	0.98	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	AUMENTO	AUMENTO	Sinalização de AUMENTO com pelo menos de 80% de confiança.
10	E2244039	37	65	0.82	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	AUMENTO	Sinalização de AUMENTO com pelo menos de 75% de confiança.
11	E2244042	38	101	1.22	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	AUMENTO	AUMENTO	Sinalização de AUMENTO com pelo menos de 80% de confiança.
12	E2244044	38	-125	-1.51	INALTERADO	INALTERADO	QUEDA	QUEDA	QUEDA	Sinalização de QUEDA com pelo menos de 90% de confiança.
13	E2244045	38	35	0.42	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
14	E2244047	38	9	0.11	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
15	E2244058	37	-49	-0.62	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
16	E2244097	33	47	0.70	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	AUMENTO	Sinalização de AUMENTO com pelo menos de 75% de confiança.

Tabela 6 - Mann Kendall – Tendência do período seco nas estações pluviométricas das RH-II e III do estado do Rio de Janeiro - 1970/2004.

Nume ração	Estação	Nº de dados	Estatísticas		Tendência a cada respectivo α (erro)					Análise Final	
			S	Z	$\alpha = 01\%$	$\alpha = 05\%$	$\alpha = 10\%$	$\alpha = 20\%$	$\alpha = 25\%$		
1	E2243003	38	-67	-0.81	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	QUEDA	Sinalização de QUEDA com pelo menos de 75% de confiança.
2	E2243004	38	-87	-1.05	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	QUEDA	QUEDA	Sinalização de QUEDA com pelo menos de 80% de confiança.
3	E2243005	38	-21	-0.25	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
4	E2243007	38	-23	-0.28	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
5	E2243205	33	-99	-1.47	INALTERADO	INALTERADO	QUEDA	QUEDA	QUEDA	QUEDA	Sinalização de QUEDA com pelo menos de 90% de confiança.
6	E2244033	38	-55	-0.67	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
7	E2244034	38	-23	-0.28	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
8	E2244037	38	-99	-1.20	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	QUEDA	QUEDA	Sinalização de QUEDA com pelo menos de 80% de confiança.
9	E2244038	38	17	0.21	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
10	E2244039	37	65	0.82	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	AUMENTO	Sinalização de AUMENTO com pelo menos de 75% de confiança.
11	E2244042	38	-89	-1.08	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	QUEDA	QUEDA	Sinalização de QUEDA com pelo menos de 80% de confiança.
12	E2244044	38	-105	-1.27	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	QUEDA	QUEDA	Sinalização de QUEDA com pelo menos de 80% de confiança.
13	E2244045	38	-17	-0.21	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
14	E2244047	38	-57	-69.00	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	QUEDA	Sinalização de QUEDA com pelo menos de 75% de confiança.
15	E2244058	37	-49	-0.62	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	INALTERADO	Inalterado
16	E2244097	33	-135	-2.00	INALTERADO	QUEDA	QUEDA	QUEDA	QUEDA	QUEDA	QUEDA significativa com pelo menos de 95% de confiança.

No período chuvoso, a maioria das estações apresentou algum nível de tendência a aumento do volume de chuva, ao longo dos anos. A estação 5, localizada na usina de Santa Cecília, registrou tendência significativa de aumento (95%). A estação 3 apresentou tendência de aumento com 90% de certeza. As estações 1, 7, 9 e 11 têm pelo menos 80% de confiança de aumento do volume de chuvas. Já as estações 2, 10 e 16 (a única presente na bacia dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim) apresentaram a mesma tendência com 75% de confiança.

Ainda no período chuvoso, a tendência de queda no volume de chuvas ocorreu apenas na estação 8 e 12, coincidindo com o resultado obtido no total anual, com um grau de certeza caiu de 90%. A estação 4 seguiu o mesmo padrão, com 80% de certeza de queda. As estações restantes não apresentaram tendência de aumento ou de queda.

No período seco, a maioria das estações apresentou uma tendência de queda do volume de chuvas, inclusive em estações que haviam registrado tendências de aumento deste volume no período chuvoso, indicando tendências de extremos. A estação 16 apresentou queda significativa com 95% de certeza. A estação 5 registrou queda com 90% de confiança. As estações 2, 8, 11 e 12 apresentaram queda com 80% de certeza. As estações 1 e 14 apresentaram pelo menos 75% de chances de queda no volume de chuvas. As estações restantes não apresentaram tendência de aumento ou de queda.

Em suma, a análise dos dados disponíveis de 29 anos de observação (1970-2009) indica uma tendência de intensificação de extremos: incremento de precipitação no período chuvoso e diminuição do volume de chuvas na estação seca.

Cabe notar que estes dados não são compatíveis com os resultados obtidos por outros estudos (por exemplo, MARENGO, 1995; SIMÕES E BARROS, 2005). Marengo conclui que não há evidências de mudanças nos padrões interanuais de precipitação. Já Simões e Barros, com base nos registros mensais e diários de precipitação na Bacia Paraíba do Sul entre 1959 e 1996, confirmam esse resultado, mas observam significativas mudanças no padrão sazonal de precipitação (intraanual), indicando que a chuva tem decrescido durante o verão e a primavera e aumentado durante o outono e o inverno.

Observando a disponibilidade hídrica do conjunto de reservatórios de água da Bacia do rio Paraíba do Sul, identificamos a ocorrência de um evento extremo, considerado severo, no início dos anos 2000.

De acordo com o boletim de monitoramento da ANA, de janeiro de 1994 a janeiro de 2011, o reservatório equivalente (conjunto dos reservatórios de Paraibuna, Santa Branca, Jaguari e Funil) atingiu, por três vezes, níveis abaixo de 35% do volume útil de armazenamento. Entre 2001 e 2003, observaram-se as condições mais preocupantes, com níveis mínimos abaixo de 15% do volume útil do reservatório equivalente (Figura 16).

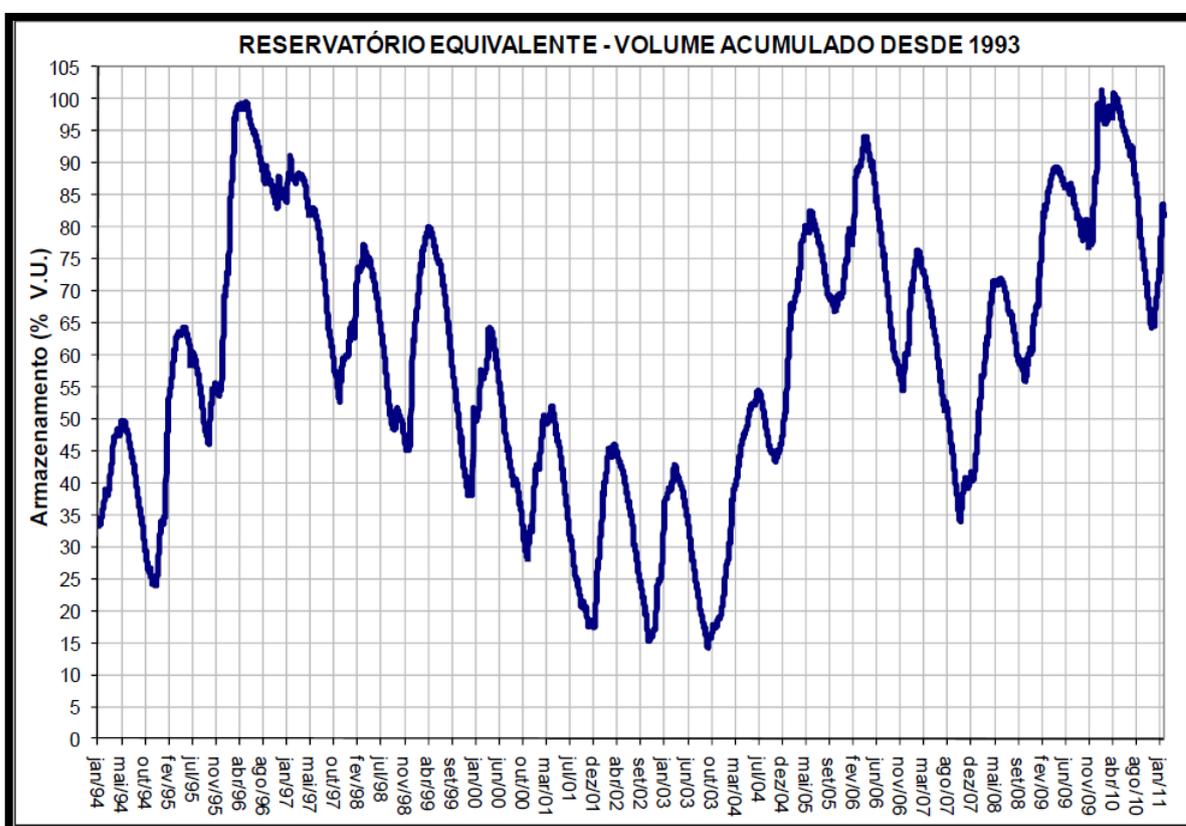
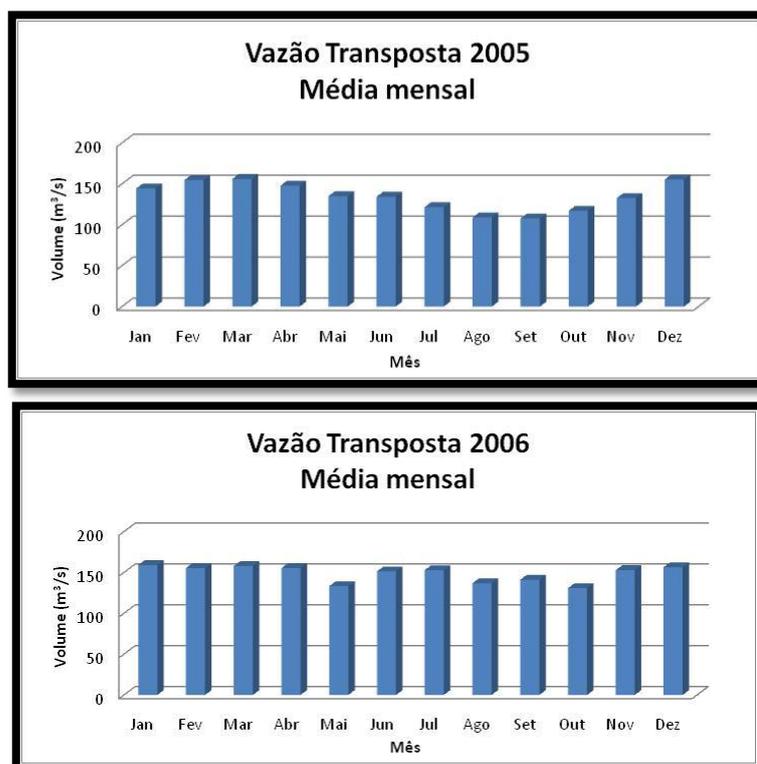


Figura 16 - Monitoramento do volume acumulado do reservatório equivalente.
Fonte: ANA, 2011.

Por fim, ressaltamos a conclusão de um estudo efetuado por OLIVEIRA e GUILHON (2008) sobre as condições hidrológicas extremas da bacia do Paraíba do Sul, entre 1996 e 2003. Nele foi observado que nos últimos anos desse período, as vazões naturais verificadas foram significativamente abaixo da média histórica, chegando, em 2003, a valores em torno de 60% da média histórica. Os autores

concluíram que o principal fator causador do intenso deplecionamento dos reservatórios foram as condições hidrológicas adversas.

Utilizando-se as médias mensais do monitoramento da vazão transposta do rio Paraíba do sul em Santa Cecília, realizado pela LIGHT entre 2005 e 2010, é possível identificar os períodos de maior e menor disponibilidade hídrica. O ano que teve o menor volume bombeado na transposição foi o de 2010 e o que teve o maior foi 2009. Os anos de 2005 e 2010 foram os que tiveram a maior variação entre as médias mensais. A média mensal foi menor que 119 m³/s, ou seja, abaixo da descarga mínima estipulada pela Resolução 465/2004 nos meses de agosto, setembro e outubro de 2005, setembro de 2007 e abril, outubro e dezembro de 2010 (Figura 17).



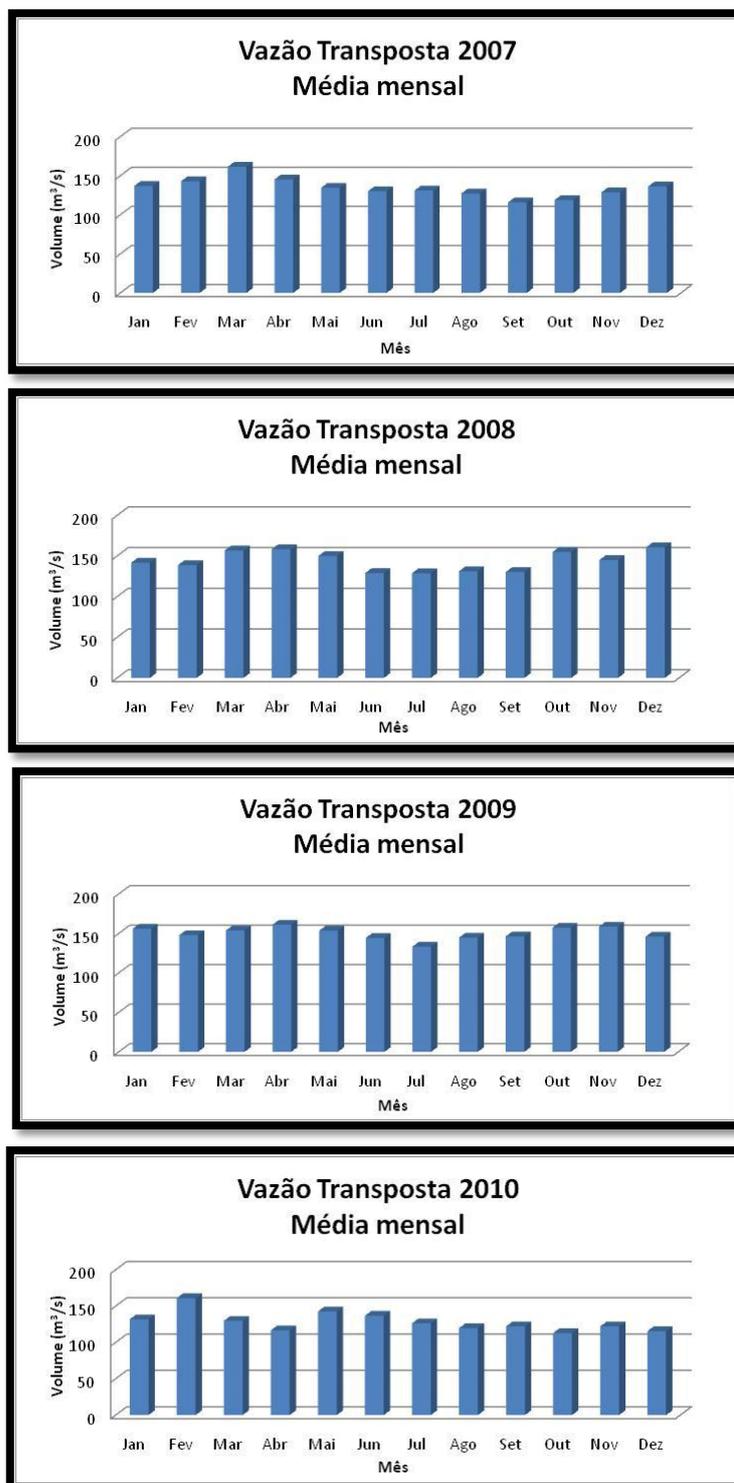


Figura 17 - Médias mensais da vazão transposta em Santa Cecília (2005- 2010).
Fonte: Feito pela autora com dados cedidos pela LIGHT.

3.1.2 Sensibilidade

A intensificação dos eventos hidrológicos extremos aumenta o risco de inundações e estiagens. Embora tenha sido detectada uma tendência de aumento dos extremos no período chuvoso e na estação seca para as bacias de estudo, não registramos eventos expressivos no ponto de captação da ETA Guandu, no rio Guandu.

De acordo com o questionário respondido pela Cedae, problemas relacionados à inundações já foram registrados; no entanto, essas ocorrências não chegam a ser prejudiciais para a captação de água bruta pois são facilmente resolvidas com a operação de barragens auxiliares localizadas próximas ao ponto de captação.

As eventuais estiagens na área de influência da ETA Guandu geralmente não são ressentidas no ponto de captação devido à manutenção da vazão transposta do rio Paraíba do sul de 119 m³/s em Santa Cecília e 120 m³/s na usina hidrelétrica de Pereira Passos. Contudo, é importante ressaltar, novamente, a escassez atípica entre 2001 e 2003, quando o conjunto de reservatórios de regularização da Bacia do rio Paraíba do Sul (Paraibuna, Santa Branca, Jaguari e Funil) atingiu níveis abaixo de 15% do volume útil de armazenamento. Este evento extremo teve impactos importantes na Bacia do rio Paraíba do Sul e na Bacia do Guandu.

3.1.3 Ações adaptativas

Inundações e estiagens nas Bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu são amenizadas pelo fluxo regularizado dos rios Paraíba do sul e Guandu, através do sistema de infraestrutura hídrica das Bacias (reservatórios de acumulação de água, regularização de vazões e geração hidrelétrica).

Na estiagem registrada entre 2001 e 2003 na Bacia do Paraíba do Sul, a experiência de gestão compartilhada dos reservatórios entre todos os organismos envolvidos (ANA – Agência Nacional de Águas, ONS – Operador Nacional do Sistema, Ceivap – Comitê da Bacia do rio Paraíba do Sul, gestores estaduais e usuários) foi apontada como importante ação adaptativa para evitar o

desabastecimento e o racionamento de água nas bacias, inclusive na área de atuação da ETA Guandu (FORMIGA-JOHNSSON, 2008).

Por iniciativa do Ceivap, a experiência de gestão participativa para recuperação dos níveis dos reservatórios aconteceu no período de agosto de 2001 a junho de 2004. A intervenção do Comitê iniciou-se em meados de 2001, ano em que se acentuou o problema das baixas vazões observadas na Bacia, relacionadas com os níveis baixos dos reservatórios de água, que afetaram fortemente o setor de geração hidrelétrica, com grande repercussão nos meios de comunicação (SERRICCHIO *et al.*, 2006).

Diante da impossibilidade de se manter as vazões afluentes em Santa Cecília nos previstos 250 m³/s, sem agravar a situação dos reservatórios, tomou-se a decisão de reduzirem-se gradualmente as vazões defluentes dos mesmos. Assim, as vazões de saída dos reservatórios foram reduzidas ao máximo, acompanhando passo a passo as condições de captação dos usuários, de modo a garantir os estoques mínimos e evitar o desabastecimento público e os incalculáveis prejuízos sócioeconômicos dele decorrentes.

No segundo semestre de 2003, diante do agravamento da situação, foi necessário restringir ainda mais as vazões e a transposição para a bacia do Guandu. Nesse momento, iniciou-se uma participação importante do órgão gestor das águas (Serla, na época, hoje Inea), dos usuários e do Comitê da Bacia do Guandu, sobretudo devido: aos sérios problemas de poluição no rio Guandu, à necessidade de acompanhar o aumento da presença de algas na captação da ETA Guandu, ao aumento de salinidade devido à influência marítima da baía de Sepetiba, na captação dos usuários próximos da foz do rio Guandu; além de ações emergenciais na própria Bacia do rio Paraíba do Sul, a exemplo das captações de Barra Mansa e Barra do Piraí, em situação crítica com relação à redução dos níveis de água do rio Paraíba (SERRICCHIO *et al.*, 2006; FORMIGA-JOHNSSON, 2008).

A seqüência de Resoluções tomadas pela Agência Nacional de Águas neste período, detalhadas nas Tabelas 7 e 8, formalizando as regras de operação dos reservatórios a partir das discussões realizadas no ambiente do CEIVAP e com os representantes das diversas instituições com atribuições e interesses na questão, são um indicador importante deste processo.

Tabela 7 - Medidas para recuperar os reservatórios da bacia do Paraíba do Sul.

Data	Resolução ANA	Descrição das medidas tomadas	Período ²
Agosto/ 2001	s/ n.º	Redução temporária da vazão objetivo afluente à barragem de Santa Cecília de 250 para 201 m ³ /s, com bombeamento de 130 m ³ /s para o Guandu	Durante o período seco
Setembro/ 2001	s/ n.º	Redução temporária da vazão objetivo afluente à barragem de Santa Cecília de 201 para 190 m ³ /s, com bombeamento de 119 m ³ /s para o Guandu	Até o início das chuvas
Maio/ 2002	s/ n.º	Redução temporária da vazão objetivo afluente à barragem de Santa Cecília de 250 para 201 m ³ /s, com bombeamento de 130 m ³ /s para o Guandu	Durante o período seco
Outubro/ 2002	s/ n.º	Redução temporária da vazão objetivo afluente à barragem de Santa Cecília de 201 para 190 m ³ /s, com bombeamento de 119 m ³ /s para o Guandu	Até o início das chuvas
Maio/ 2003	211	Redução da vazão objetivo afluente à barragem de Santa Cecília de 250 para 190 m ³ /s, com bombeamento de 119 m ³ /s para o Guandu e definição de descargas mínimas e seqüência de esvaziamento dos reservatórios	Até o final da estação seca
Agosto/ 2003	282	Redução gradual e temporária da vazão mínima afluente à barragem de Santa Cecília, de 190 para 160 m ³ /s com bombeamento de 109 m ³ /s para o Guandu, acompanhando a situação dos usuários	Durante o período seco
Março/ 2004	098	Redução gradual e temporária da descarga mínima a jusante dos reservatórios de Santa Branca e Jaguari, acompanhando a situação dos usuários e da qualidade da água entre Santa Branca e Funil	Até o final das chuvas

Fonte: Serrichio *et al.*, 2006.

² Na bacia do Paraíba do Sul o período seco incide normalmente nos meses de maio a novembro e o período úmido, de dezembro a abril, com maiores precipitações de chuva nos meses de janeiro a março.

Tabela 8 - Resoluções ANA referentes às condições de operação do sistema hidráulico da bacia do rio Paraíba do Sul.

Resolução	Data	Descargas mínimas (m ³ /s)						
		Paraibuna	Santa Branca	Jaguari	Funil	Santa Cecília		Pereira Passos
						Bombeamento	Jusante	
211	26/05/2003	30	40	10	80	119	71 ¹ (instantânea)	120 (instantânea)
282	04/08/2003	-	-	-	-	Suspenso ² temp.	Suspenso ² temp.	Suspenso temp. ²
408	18/11/2003	-	-	-	-	³	³	-
98	02/03/2004	-	34 (temp)	7 (temp)	-	-	-	-
465	20/09/2004	30	40	10	80	119	71 (instantânea)	120 (instantânea)

Fonte: Boletim de operação hidráulica, ANA (2011).

1 - O Decreto nº 81.436/78 reduziu a vazão mínima à jusante de Santa Cecília para 71 m³/s quando em decorrência de condições hidrológicas adversas. Esta configuração foi mantida com a Resolução 211/2003.

2 - A resolução 282/2003 reduziu a vazão mínima em Santa Cecília de 190 (119 + 71) para 160 m³/s, suspendendo temporariamente os valores para bombeamento, à jusante e em Pereira Passos.

3 - A resolução 408/2003 permitiu a redução do valor de 160m³/s em Santa Cecília, sempre que se usar o reservatório de Lajes para complementar a necessidade da ETA do Guandu.

4 - A resolução 465/2004 revogou as resoluções 282/2003, 408/2003 e 98/2004, restabelecendo as condições preconizadas na resolução 211/2003.

3.1.4 Vulnerabilidade

Embora as análises de tendência de precipitação não sejam conclusivas, pois contraditórias, podemos afirmar que a escassez de água e a progressiva diminuição da vazão transposta, entre 2001 e 2003, revelam certa vulnerabilidade da Bacia do Paraíba do Sul e, conseqüentemente, do rio Guandu e da ETA Guandu quanto à quantidade de água, nunca antes evidenciados. Episódios de estiagens fortes o suficiente para atingir o ponto de captação da ETA Guandu já não são mais tão improváveis. Além disso, o aumento constante da demanda hídrica da região de estudo agrava a possibilidade de problemas futuros relativos à disponibilidade de água bruta em quantidade e qualidade necessárias.

Durante o período crítico de estiagem, de 2001 a 2003, observou-se maior concentração de poluição, com piora da qualidade da água em diversos trechos tanto do próprio rio Paraíba do sul como também do rio Guandu, a exemplo dos episódios ocorridos no final de 2001, quando a proliferação de algas tóxicas próximas à captação de água da ETA Guandu e os problemas relativos a odor na água distribuída, forçaram a interrupção por um dia e redução por mais de uma semana da capacidade de produção da ETA (SERRICCHIO *et al.*, 2006). Além disso, há registros no jornal O Globo de 20 de dezembro de 2001 de que doentes renais poderiam processar a Cedae por distribuir água possivelmente contaminada por cianotoxinas, após a Cedae aumentar os níveis de cloro na água tratada no sistema do Guandu. O cloro provocaria a morte das cianobactérias e a lise celular liberaria seus metabólitos secundários potencialmente tóxicos na água.

Ressaltamos ainda que o episódio foi ainda mais sentido na Bacia do Paraíba do Sul, já que a transposição para a Bacia do rio Guandu foi preservada ao máximo. No Estado de São Paulo, observou-se a proliferação de plantas aquáticas, bloqueando a superfície do reservatório de Jaguari e de trechos do rio Paraíba próximos às cidades, como em São José dos Campos, e provocando erosão de barrancos e danos em estrutura de ponte, como ocorreu em Potim (SERRICCHIO *et al.*, 2006). Ocorreram, também, problemas no tratamento de água - ETA de Campos dos Goytacazes, operada pela empresa Águas do Paraíba, deixando 500 mil pessoas sem poder consumir a água encanada por cerca de duas semanas, devido a problemas de mau cheiro e gosto ruim, em outubro de 2002.

Nesse contexto de escassez de água e conflitos potenciais entre usuários, a experiência de gestão compartilhada dos reservatórios, com todos os organismos envolvidos, mostrou-se eficaz na mitigação dos impactos do problema. Esta experiência confirma estudos no tema ‘adaptação’ (LEMOS, 2010; MYSIAK *et al.*, 2009.) que apontam a governança das águas como um dos indicadores essenciais para a capacidade de adaptação (ou não) aos impactos oriundos das mudanças e variabilidades climáticas.

3.2 Infraestrutura da transposição – Complexo de Lajes

Este item dedica-se a analisar a vulnerabilidade da infraestrutura hídrica do denominado ‘Complexo de Lajes’, que envolve uma estrutura de barramentos, transposições, elevatórias e hidrelétricas (ver item 2.1.2 desta dissertação). Busca-se evidenciar o grau de confiabilidade deste sistema hídrico, a montante da captação da ETA Guandu, ou o risco de paralisação do Sistema em função de problemas técnicos de manutenção em suas estruturas.

3.2.1 Exposição

A transposição e o Complexo de Lajes têm importância vital para a disponibilidade hídrica do rio Guandu. Todas as atividades instaladas na bacia, inclusive a ETA Guandu, não seriam possíveis sem a disponibilidade hídrica proporcionada pela transposição dos rios Paraíba do Sul e Piraí para o Sistema Lajes. Todavia, tamanha dependência constitui igualmente uma forte exposição para a ETA Guandu, na medida em que a manutenção desta complexa infraestrutura hídrica torna-se crucial.

Segundo um estudo de mitigação de risco feito pela Light (2010a), mesmo com todas as manutenções preventivas realizadas, o sistema é passível de falha; caso isso ocorra, dependendo da sua extensão, pode implicar em redução significativa do rio Guandu por tempo maior que o suportável pelos usuários.

Na verdade, a fragilidade do Complexo de Lajes concentra-se em partes da cadeia de adução, onde diversos elementos são únicos, ou seja, não apresentam redundância; geralmente são túneis, canais e válvulas antigas. Nestes casos,

somente é possível realizar a devida manutenção com a paralisação da transposição. A Usina de Nilo Peçanha, por exemplo, ficou paralisada para manutenção por três meses em 1978 (LIGHT, 2010a); nessa época, não houve comprometimento do abastecimento de água, o que não seria o caso atualmente. Desde esta época, parte do sistema não recebe a devida manutenção preventiva.

Pela impossibilidade de interromper o abastecimento público pela ETA Guandu, de 2000 até 2010, a transposição foi paralisada para manutenção do sistema apenas esta vez. Em 2009, para que a mesma Usina de Nilo Peçanha parasse apenas 30 horas, a Light teve que envolver diretamente na operação a Cedae, o Comitê Guandu, o Inea, a ONS, a Aneel e a ANA, reduzindo a vazão em Pereira Passos de 120 m³/s para 90 m³/s e interrompendo a adução da “Calha da Cedae” (5,5 m³/s do Ribeirão das Lajes).

Em suma, existe hoje uma exposição, ou menor confiabilidade, da infraestrutura do Complexo de Lajes em função da impossibilidade de manutenção do sistema sem interrupção da transposição.

3.2.2 Sensibilidade

Com a interligação do Sistema Elétrico Brasileiro na década de 80, o abastecimento de energia elétrica do estado do Rio de Janeiro se tornou independente das usinas hidrelétricas da Light, no Complexo de Lajes-Guandu. Ao mesmo tempo, o uso múltiplo da água do rio Guandu se tornava cada vez mais dependente deste sistema, principalmente para o abastecimento urbano de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Ainda assim, continua sendo um encargo contratual da Light manter continuamente a transposição das águas para a Bacia do Guandu, em função dos usos múltiplos ali instalados. A concessionária deve, portanto, respeitar, manter a vazão do rio Paraíba do Sul a jusante de Santa Cecília, de acordo com os limites fixados pelo poder concedente; manter a vazão a jusante de Pereira Passos de acordo com as necessidades de água do sistema Guandu e manter a descarga de água requerida pela Cedae a partir da usina hidrelétrica de Lages (Fontes Velha e Nova).

Essas medidas devem ser respeitadas já que a quantidade e a qualidade da água bruta do rio Guandu dependem inevitavelmente das águas transpostas da Bacia do rio Paraíba do Sul. Até o presente, mesmo com as fragilidades acima indicadas, este sistema tem se mostrado capaz de garantir água bruta, em quantidade e qualidade, no ponto de captação da ETA Guandu.

3.2.3 Ações adaptativas

A alta dependência da ETA Guandu com relação à disponibilidade de água bruta, combinada com a falta de manutenção e redundância do sistema de transposição, constitui um cenário de alto grau de exposição e sensibilidade. Assim, ações adaptativas que visem alternativas para a adução de água no complexo de Lajes e medidas que minimizem o risco de perenização do rio Guandu são de extrema importância. Conforme apontado pelo Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Guandu (ANA, 2006) e pela Light (2010a e 2010b), somente com a construção de um sistema de redundância o fornecimento da água oriunda da transposição será garantido em continuidade, inclusive para a ETA Guandu, mesmo durante longos períodos de manutenção em parte das estruturas do Complexo de Lajes.

Entre três opções estudadas (LIGHT, 2010b), uma alternativa técnica já foi escolhida pelas instituições diretamente envolvidas (Light, Inea, Comitê Guandu, Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERHI, etc.) e encontra-se em fase de projeto executivo. Esta alternativa, orçada em torno de 74 milhões de reais, consiste na construção de um sistema de ligação entre o reservatório de Vigário e o reservatório de Ponte Coberta (Figura 18), o que permitirá efetuar um *by-pass* às usinas hidrelétricas de Fontes Nova e Nilo Peçanha.

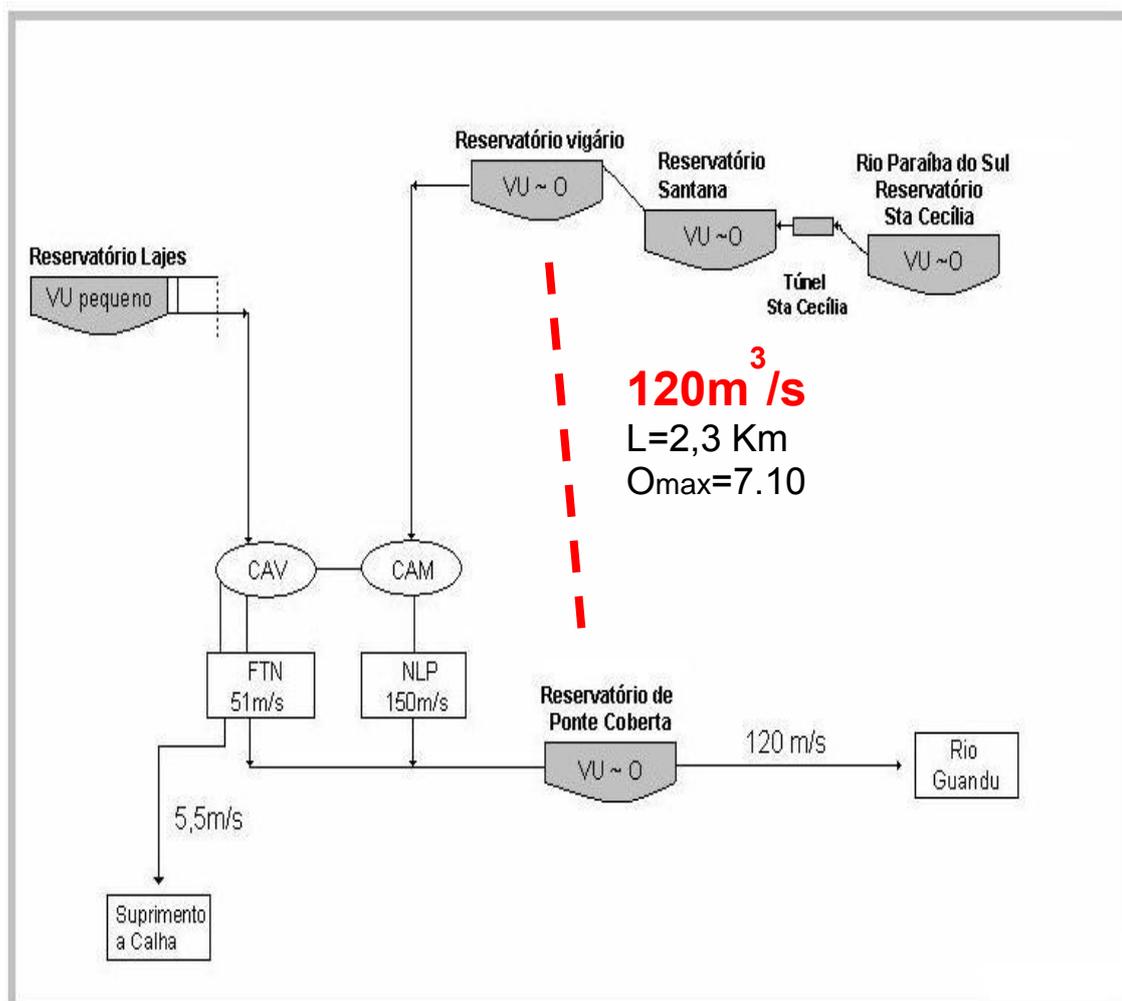


Figura 18 - Transposição de águas do reservatório de Vigário, sem passar pelas usinas Nilo Peçanha/Fontes.

Fonte: LIGHT, 2010b.

A manutenção da vazão mínima exigida à jusante da usina hidrelétrica de Pereira Passos seria assim garantida, mesmo com a interrupção simultânea dos circuitos de Fontes Nova e Nilo Peçanha, quando da realização de operações de manutenção ou, ainda, na ocorrência de acidentes ou avarias nos sistemas (LIGHT, 2010b). Além disso, esse projeto também prevê a construção de uma nova tomada de água no reservatório de Lajes que duplicaria quase toda a extensão do sistema de adução da “Calha da Cedae” (oriunda do Reservatório de Lajes).

3.2.4 Vulnerabilidade

Segundo a LIGHT, o principal problema para o cumprimento das restrições da vazão mínima de $120 \text{ m}^3/\text{s}$ em Pereira Passos é a confiabilidade da infraestrutura do

Complexo de Lajes. Em condições normais, este sistema consegue atender aos usos múltiplos de água no rio Guandu. No entanto, para manter esta vazão mínima em Pereira Passos é fundamental a transposição ininterrupta das águas do Rio Paraíba do Sul, o que dificulta, e às vezes impede, as atividades de manutenção preventiva.

Sem a manutenção adequada, é grande o risco de que ocorra algum problema técnico no complexo de Lages que influencie não somente a captação de água bruta da ETA Guandu, como também todos os usuários a jusante. Em uma situação hipotética de falha neste sistema, o problema imediato a ser enfrentado na ETA Guandu seria a diluição dos efluentes industriais e esgotos domésticos que chegam até sua captação. Pois a vazão captada no rio Guandu é da ordem de 52 m³/s, muito inferior à vazão defluente de 120 m³/s estabelecida pela resolução 211/2003 da ANA para Pereira Passos. Esse fato deve-se principalmente à necessidade de diluição da carga orgânica próxima a captação da ETA Guandu, em função das águas provenientes dos rios Poços, Queimados e Ipiranga. Além disso, é necessário manter maiores vazões com o objetivo de minimizar a intrusão da cunha salina na foz do rio Guandu, onde se encontra um importante pólo industrial.

Mesmo com todas as restrições acima, o complexo sistema de infraestrutura hídrica da transposição - Complexo de Lajes tem globalmente garantido água bruta, em quantidade e qualidade necessárias à ETA Guandu.

De acordo com as médias diárias de vazão cedidas pela LIGHT para o período de 2005 até 2010, verificou-se que, durante os 2.191 dias de operação monitorada, a vazão transposta de Santa Cecília esteve 271 vezes abaixo do disposto na Resolução ANA 465/2004 (ou seja, abaixo de 119 m³/s), das quais 48 vezes abaixo de 100 m³/s e apenas nove vezes abaixo de 50 m³/s (Figura 19).

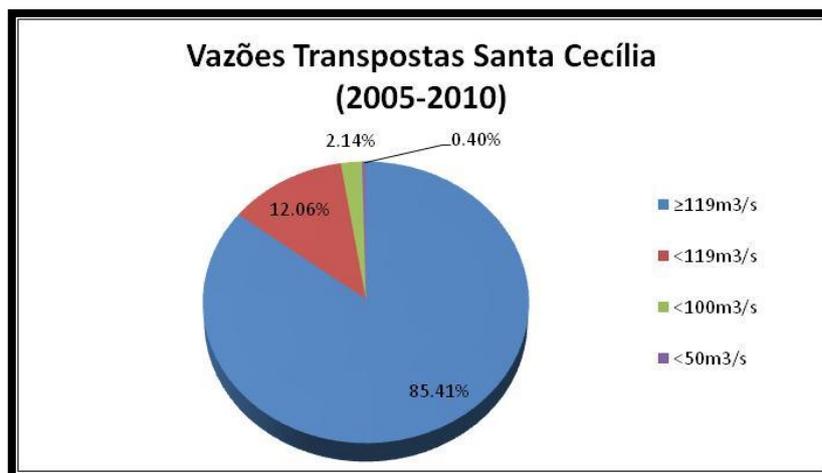


Figura 19 - Percentual de permanência das vazões transpostas em Santa Cecília, relativas à vazão mínima de 119 m³/s da Resolução ANA nº 21/2003 (2005-2010).
Fonte: Feito pela autora com dados da LIGHT.

No período de 2005 até 2010, os momentos mais críticos com relação à transposição ocorreram em fevereiro de 2007, final de dezembro de 2009 e janeiro, março e abril de 2010 (Tabela 9). Nesses períodos, foram registradas médias diárias de vazão abaixo de 50 m³/s.

Tabela 9 - Dias com transposição abaixo de 50m³/s em Santa Cecília (2005-2010).

Data	Vazão Bombeada (m ³ /s)
12/2/07	10
31/12/09	20
25/1/10	21
15/3/10	28
17/3/10	41
5/4/10	20
6/4/10	15
23/9/10	48
6/12/10	18

Fonte: Feito pela autora com dados da LIGHT.

Ainda de acordo com a LIGHT, em resposta ao questionário aplicado, no período de 2000 até 2010 a transposição foi paralisada por completo somente quatro vezes, por motivos distintos: novembro de 2008, junho de 2009, e outubro e novembro de 2010 (Tabela 10).

Tabela 10 - Datas, tempo de duração e motivo de cada paralisação total do bombeamento de água para a transposição em Santa Cecília de 2000 até 2010.

Data	Tempo (horas)	Motivo
Nov-08	23	Poluição acidental de fontes fixas (acidente com Endosulfan)
Jun-09	21,3	Problemas técnicos / manutenção do sistema de transposição
Out-10	9,2	Poluição acidental de fontes móveis
Nov-10	9,4	Poluição acidental de fontes fixas (indústria em Nova Iguaçu)

Fonte: Feito pela autora com dados da LIGHT.

Mais a jusante do Complexo de Lajes, em Pereira Passos, a vazão defluente é ainda mais regularizada do que aquela a montante de Santa Cecília, graças aos reservatórios de Santana, Vigário, Nilo Peçanha e Lajes, que proporcionam maior estabilidade para a vazão do rio Guandu e maior segurança para a gestão das águas nesta Bacia. De acordo com o questionário respondido pela ANA, a vazão defluente esteve abaixo do recomendado em Pereira Passos (120 m³/s) apenas oito vezes durante o mesmo período de 2005 até 2010, sendo registrada apenas uma paralisação total no dia 7 de janeiro de 2009 (Tabela 11).

Segundo o relatório do ONS sobre atualização de séries históricas de vazões, a ocorrência de valores iguais ou superiores à vazão de 120 m³/s, atualmente garantida pelas Resoluções ANA 211/2003 e 465/2004, é de 98% (série histórica de vazões médias diárias de 1980 a 2005 do Posto Fluviométrico UHE Pereira Passos - código Light V-3-489).

Tabela 11 - Dias com vazão defluente menor que 120 m³/s em Pereira Passos (2005-2010).

Data	Vazão Defluente (m ³ /s)
14-Oct-05	119
01-Nov-06	6
20-Nov-08	110
21-Nov-08	111
22-Nov-08	110
07-Jan-09	0
04-Apr-09	109
04-Nov-09	84

Em suma, embora o histórico da confiabilidade do sistema de transposição-Complexo de Lajes tenha sido bastante alto até o momento presente, a manutenção preventiva em algumas partes do sistema, sem redundância, tornou-se impeditiva pela profunda dependência das águas transpostas para os usuários do rio Guandu, sobretudo a ETA Guandu que abastece a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Considerando-se que algumas partes do Complexo não recebem manutenção preventiva há 30 anos, é consenso (Light, Inea, ANA, Comitê Guandu, Conselho Estadual de Recursos Hídricos, etc.) que o nível de risco de interrupção da transposição já exige soluções emergenciais. É nesse contexto que um projeto de redundância de parte do sistema está sendo detalhado, enquanto o custo de sua implantação está sendo discutido entre a Light e os governos estadual e federal.

3.3 Condições ambientais e qualidade da água

O fator de estresse ‘condições ambientais e qualidade de água’ envolve tanto as características físicas (uso e ocupação do solo e processos erosivos) quanto às condições de saneamento ambiental e a qualidade da água bruta das regiões hidrográficas do Médio Paraíba do Sul (RH-III) e do Guandu (RH-II). Este estressor foi selecionado por ser fundamental para o entendimento das principais pressões antrópicas e para a identificação do nível de comprometimento da qualidade da água na região estudada.

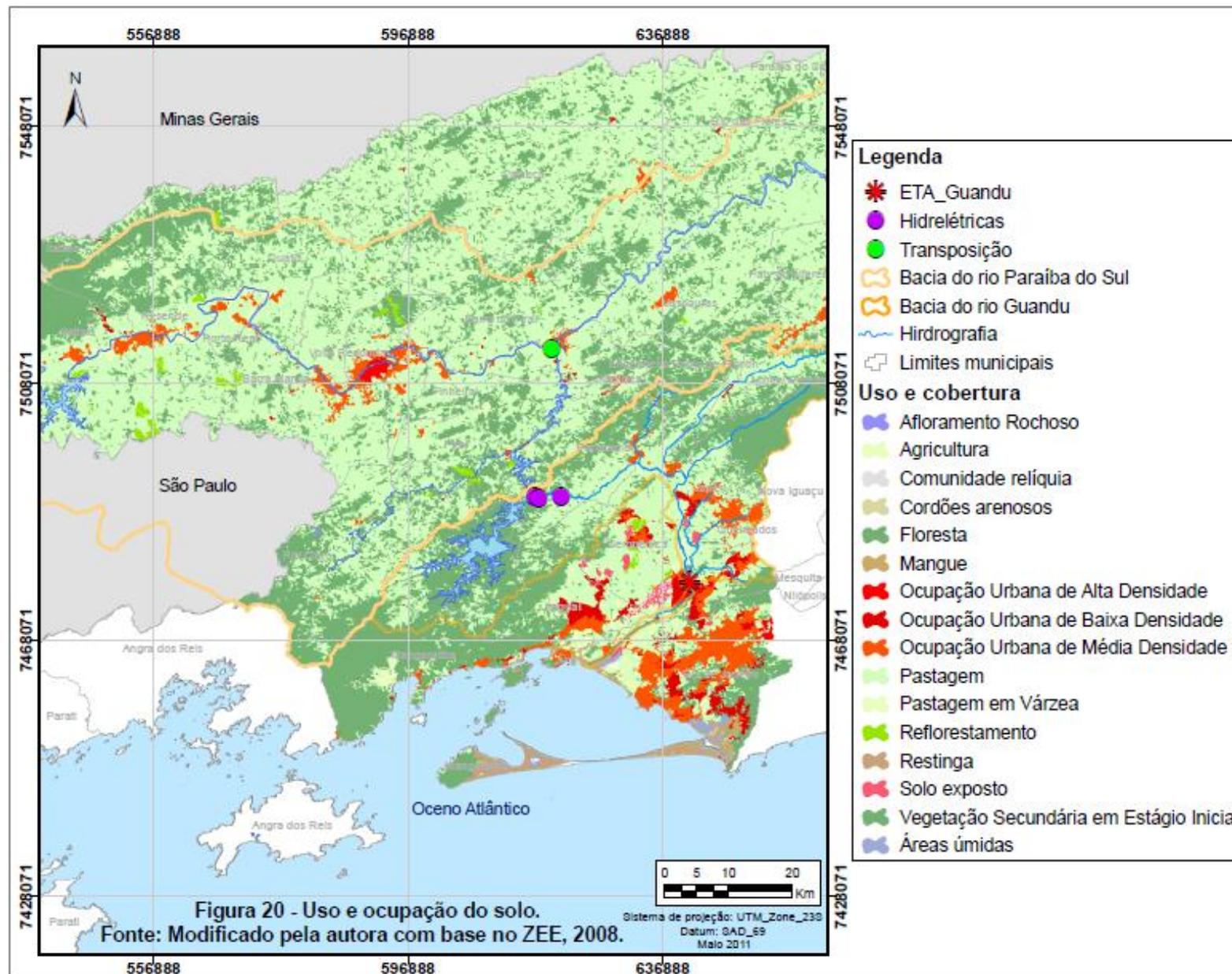
3.3.1 Exposição

A exposição perante as condições ambientais e a qualidade da água está principalmente relacionada à dinâmica do uso e cobertura do solo e aos principais contaminantes (físicos, químicos e biológicos) que comprometem a qualidade da água bruta captada pela ETA Guandu.

3.3.1.1 Características físicas: uso e ocupação do solo e processos erosivos

As bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu encontram-se consideravelmente descaracterizadas em relação às condições ambientais originais. Este cenário é fruto da construção de barragens, regularização de seus rios e, sobretudo, da devastação

ambiental provocada pela expansão desordenada, urbana e industrial. O estudo de Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do Estado do Rio de Janeiro realizou, em 2007, um mapeamento em escala 1:100.000 (Figura 20) que revela as interfaces atuais do uso e ocupação do solo para todo o estado, inclusive para a área estudada nesta dissertação.



Através deste mapeamento é possível constatar que, em toda a área de estudo, a matriz da paisagem é formada por pastagens, resultado de antigos ciclos econômicos (expansão da monocultura cafeeira, no final do século XIX) e de práticas extensivas de pecuária (COPPETEC, 2006b). Os remanescentes florestais, apesar de constituírem a segunda classe de maior abundância no estudo, são cada vez mais afunilados por pastagens e centros urbanos. A agricultura possui pouca importância; está distribuída em pequenas manchas e vem apresentando uma acentuada tendência de redução. O uso de agrotóxicos ou pesticidas agrícolas, segundo dados do IBGE (2008), não constitui uma grande ameaça para a qualidade da água bruta na região, visto que, menos de 5% dos estabelecimentos agrícolas declaram fazer uso destas substâncias.

O crescimento dos centros urbanos é intenso e avança progressivamente sob áreas que antes tinham algum tipo de vegetação. Esta dinâmica tem vasta influência na determinação das exposições que podem afetar o sistema. A crescente redução de áreas verdes pode provocar alterações no microclima da região e a ocupação indevida das margens dos rios junto à ausência de infraestrutura de saneamento comprometem seriamente a qualidade da água bruta (ANA, 2006). Além disso, a instalação inadequada de indústrias e a construção de estradas que margeiam e cortam os rios aumentam o risco de acidentes ambientais (VIANA, 2009).

Embora o processo histórico de ocupação das bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu tenham ocorrido preferencialmente nas áreas menos sujeitas à erosão, as drásticas transformações na paisagem natural das planícies e o avanço da ocupação sobre a região serrana potencializam este problema, tornando-o atualmente uma das exposições mais importantes perante as condições ambientais desta área (ANA, 2006). Tanto nas planícies como nas encostas, as espécies exóticas introduzidas e regularmente reproduzidas na agricultura e pecuária não têm o mesmo efeito de proteção dos solos e a mesma capacidade de infiltração das águas e de retenção dos sedimentos que têm as florestas naturais. A falta de mata ciliar e a contínua impermeabilização do solo das planícies com a expansão do uso urbano e industrial aumentam os riscos de assoreamento da calha dos rios e de inundação das margens, que seguem sendo ocupadas pela população, à revelia das rigorosas normas de proteção existentes na legislação federal, estadual e mesmo municipal (ANA, 2006).

3.3.1.2 Panorama geral do saneamento ambiental

Esgotamento sanitário

Segundo o plano de bacia do rio Paraíba do Sul (COPPETEC, 2006b), no Médio Paraíba 73,2% das populações urbanas são atendidas por rede coletora, no entanto apenas 9,8% possuem tratamento de seus efluentes sanitários. Todos os sistemas de esgotos são operados e mantidos por prefeituras, sistemas autônomos (SAAE) ou empresas públicas.

A Tabela 12 apresenta a situação dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, no ano de 2006, dos locais visitados no Projeto Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul (PQA-RJ), que estão inseridos na área do Médio Paraíba. Ressalta-se que de todos os 21 municípios incluídos nesta área, apenas nove pertencem à área de estudo (estão sinalizados em azul).

Tabela 12 - Situação dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário das localidades visitadas na área de atuação da AMPAS.³

Localidades visitadas no PQA-RJ e na área da AMPAS	Pop.Urb 2005 (Hab.)	Concessionária		SAA		SES	
		Água	Esgoto	Índ. de Atend (%)	Tratamento	Índice Atendimento. (%)	
						Coleta	Tratamento
Barra do Pirai (1)	70.784	SMAE (Prefeitura)		80-85	Convencional	36	-
Barra Mansa (1)	172.007	SAAE (Prefeitura)		90	Convencional	70	-
Itatiaia	12.503	SMMA (Prefeitura)		95	Desinfecção	60-70	-
Mendes	17.283	SAAE (Prefeitura)		70-80	Convencional	-	-
Resende (1) (3)	77.666	RES. ÁGUAS (Prefeitura)		90-95	Convencional	70	40
Agulhas Negras (1) (2) (3)	25.580	RES. ÁGUAS (Prefeitura)		90-95	Convencional	70	-
Valença (1)	52.804	SMOSP (Prefeitura)		70	Convencional	70	-
Vassouras	19.761	Cedae	Prefeitura	95	Convencional	-	-
Volta Redonda (1)	251.359	SAAE (Prefeitura)		> 95	Convencional	99	15
Total	699.747	Médias		89,8%	-	73,2%	9,8%

Fonte: COPPETEC, 2006b.

No plano de bacia do rio Paraíba do Sul (COPPETEC, 2006b), são também apresentadas as estimativas das vazões de esgotos sanitários das sedes municipais para o ano de 2005 (Tabela 13).

3

- (1) - Essas localidades foram visitadas em 2006 e tiveram os índices dos sistemas de esgotos atualizados.
 (2) - A localidade de Agulhas Negras embora não sendo sede municipal foi considerada face a sua importância e/ou posição estratégica.
 (3) - São sistemas integrados de abastecimento de água: Resende / Agulhas Negras.

Tabela 13 - Estimativa das Vazões de Esgotos Sanitários das Sedes Municipais Situadas na Área de Atuação da Ampas – ano 2005.⁴

Cidade	Pop. Urb. (2005)	Pop Ben. 90% de (2005)	Qmédia (l/s)	Qmk ₁ xk ₂ (l/s)	Q infiltr. (l/s)	Qmk ₁ xk ₂ +inf (l/s)
Barra do Pirai	70.784	63.706	123,87	222,97	24,77	247,74
Barra Mansa	172.007	154.806	315,35	567,63	63,07	630,70
Mendes	17.283	15.555	28,08	50,54	5,62	56,16
Miguel Pereira	12.994	11.695	21,12	38,02	4,22	42,24
Pinheiral	20.025	18.023	32,54	58,57	6,51	65,08
Pirai	13.035	11.732	21,18	38,12	4,24	42,36
Porto Real	13.802	12.422	22,43	40,37	4,49	44,86
Quatis	10.077	9.069	16,38	29,48	3,28	32,76
Resende	77.666	69.899	135,92	244,66	27,18	271,84
Agulhas Negras	25.580	23.022	41,57	74,83	8,31	83,14
Rio Claro	5.554	4.999	7,64	13,75	1,53	15,28
Rio das Flores	3.610	3.249	4,96	8,93	0,99	9,92
Valença	52.804	47.524	92,41	166,34	18,48	184,82
Vassouras	19.761	17.785	32,11	57,80	6,42	64,22
Volta Redonda	251.359	226.223	523,66	942,59	104,73	1.047,32
Total	766.341	689.709	1.419,22	2.554,60	283,84	2.838,44

Fonte: COPPETEC, 2006b.

No Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (ANA, 2006), as vazões médias de esgotos sanitários produzidas foram calculadas considerando os consumos *per capita* adotados nos cenários de demandas de água, com 90% de atendimento para os sistemas de esgotos e acréscimo estimado de 20% da vazão média para efeito de infiltração, tendo sido elaborado para conhecimento apenas da ordem de grandeza dessas vazões (Tabela 14).

⁴ Obs.:

1 - Para os coeficientes K1 e K2 foram utilizados, respectivamente, os valores de 1,2 e 1,5.

2 - O consumo per capita adotado, variou de acordo com o porte da localidade.

3 - O coeficiente de retorno adotado foi = 0,80.

4 - A vazão de infiltração foi considerada como 20% da vazão média.

5 - A localidade de Agulhas Negras embora não sendo sede municipal foi considerada em face de sua importância e/ou posição estratégica.

Em azul, os municípios incluídos na área de estudo.

Tabela 14 - Vazões máximas diárias de esgotos sanitários (l/s) dos municípios inseridos na Bacia do rio Guandu em 2005 e estimativas para os anos de 2010, 2015, 2020 e 2025.

Vazões máximas diárias de esgotos sanitários (l/s)					
Municípios	2005	2010	2015	2020	2025
Eng. Paulo de Frontin	18,71	19,91	20,59	21,18	21,91
Itaguaí	185,14	229,79	286,19	313,95	343,35
Japeri	265,73	288,87	347,35	368,56	390,83
Miguel Pereira	7,68	8,63	9,36	10,02	10,77
Nova Iguaçu	543,08	539,95	603,32	603,29	603,27
Paracambi	115,03	124,85	146,70	151,56	156,06
Piraí	0,98	1,09	1,16	1,22	1,29
Queimados	386,16	416,96	498,84	527,28	556,91
Rio Claro	0,39	0,44	0,48	0,51	0,54
Rio de Janeiro	1.239,65	1.278,56	1.474,55	1.514,61	1.553,34
Seropédica	178,83	213,79	274,38	307,89	346,70
Vassouras	-	-	-	-	-
Total dos sistemas	2.826,36	2.997,98	3.516,23	3.668,50	3.828,92

Fonte: ANA, 2006.

Atualmente, menos de 10% da população urbana situada na bacia é servida por rede do tipo separador absoluto e menos de 1% dos esgotos sanitários produzidos sofre algum tipo de tratamento, sendo o restante lançado *in natura* nos corpos d'água. As condições de infraestrutura e manutenção das estações de tratamento de esgoto (ETE) dos municípios da região também são um fator relevante (ANA, 2006).

Grande parte da poluição que chega até a ETA Guandu é proveniente dos rios Poços, Queimados e Ipiranga, que recebem grandes quantidades de esgoto doméstico e industrial. O esgoto doméstico é oriundo principalmente da população ribeirinha do rio Poços, que não dispõe de tratamento de esgoto. Os efluentes industriais derivam principalmente das empresas localizadas nos arredores do rio Queimados (ANA, 2006).

O rio Guandu tem algumas áreas, como é o caso da 'Lagoa do Guandu' próxima a captação da ETA Guandu, que podem ser caracterizadas como ambientes lânticos, onde a carga de nutrientes proveniente de esgoto doméstico muitas vezes é tão grande que é capaz de levar ao processo de eutrofização (CEDAE, 2010). Esse aporte de nutrientes junto a outros fatores ambientais possibilita o *boom* de cianobactérias evidenciando sérios problemas para a saúde da população, uma vez que algumas espécies desse filo produzem metabólitos tóxicos capazes até de provocar a morte de um ser humano.

Lançamento de efluentes industriais e extração de areia

As atividades industriais têm como conseqüência a geração de efluentes ao longo do seu processo produtivo. Cada indústria gera um tipo de efluente específico, com características físicas, químicas e biológicas diferentes, de acordo com sua atividade, que podem representar diferentes níveis de impacto ao meio ambiente. Esses efluentes industriais devem ser caracterizados, quantificados e tratados e/ou acondicionados adequadamente antes da disposição final no meio ambiente, caso contrário podem poluir/contaminar o solo e a água tanto das regiões ao entorno da indústria, como também, a quilômetros de distância.

Existe hoje razoável controle dos efluentes industriais das bacias Paraíba do Sul e Guandu. No entanto, acidentes ambientais com resíduos industriais perigosos são ainda freqüentes, sobretudo na região do Médio Paraíba do Sul, que conta com importante parque industrial. Por essa razão, apresentaremos a localização e caracterização industrial no item seguinte desta dissertação, intitulado 'Acidentes ambientais'.

Outra atividade particularmente impactante nas bacias concerne à extração de areia, principalmente na Bacia do rio Guandu. Além dos prejuízos ambientais relativos à alteração da paisagem e eliminação de solos cultiváveis, a extração de areia tem como conseqüência o assoreamento e a alteração da qualidade das águas dos corpos hídricos. Os corpos d'água responsáveis pela drenagem na bacia do rio Guandu, por muito tempo receberam lançamentos diretos provenientes da extração desta atividade que inclui resíduos finos de areia e argila. A prática de extração de areia no leito do rio Guandu, apesar de ter sido praticamente extinta, ainda exige importantes medidas que garantam, por exemplo, a recuperação da mata ciliar atualmente degradada, a recuperação da calha fluvial e a eliminação das conexões entre as lagoas de extração e o rio (ANA, 2006).

Disposição dos resíduos sólidos

São considerados resíduos sólidos urbanos os lixos de origem doméstica, do pequeno comércio, o produto da varrição dos logradouros públicos, da poda, da capina, da limpeza de córregos e outros que tem a mesma destinação final (ANA, 2006). De modo geral, a disposição de resíduos sólidos constitui uma exposição que

irá exigir mudanças sociais, econômicas e culturais da sociedade independente das soluções ou combinações de soluções a serem pactuadas.

As informações presentes tanto no plano de bacia do rio Paraíba do Sul (COPPETEC, 2006b) quanto no plano da bacia do rio Guandu (ANA, 2006) indicam que os serviços de varrição e coleta da limpeza urbana estão bem-equacionados, embora em níveis diferentes de eficiência em cada município das bacias. O problema chave dos resíduos sólidos está realmente na sua disposição final, que na maioria das vezes é feita de maneira inadequada ou em lugares impróprios. A falta de equipamentos, a insuficiência de recursos para custear os trabalhos e a carência de pessoal técnico qualificado também são problemas relevantes em grande parte dos municípios da região. Muitos municípios ainda descartam seu lixo em córregos, canais e terrenos baldios oferecendo grandes riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas e facilitando a proliferação de vetores biológicos.

Tabela 15 - Produção diária de lixo de municípios fluminense localizados na área de atuação da Ampas.⁵

Município	Vazões População Urbana (hab.)	Produção diária de lixo estimada (t)	IQR	Condições da disposição final
Barra do Pirai	70.784	35,4	7,8	Controlada
Barra Mansa	172.007	103,2	6,2	Controlada
Itatiaia	12.503	6,3	6,9	Controlada
Mendes	17.283	8,6	2,0	Inadequada
Pirai	13.035	6,5	9,3	Adequada
Resende	77.666	38,8	6,3	Controlada
Valença	52.804	26,4	3,7	Inadequada
Vassouras	19.761	9,8	1,0	Inadequada
Volta Redonda	251.359	175,9	6,2	Controlada

Fonte: COPPETEC, 2006b.

Após a conclusão do PQA, Itatiaia e Pirai promoveram modificações substanciais em suas instalações de disposição final. Itatiaia, que operava um lixão próximo ao reservatório de Funil, com séria ameaça ambiental, adquiriu uma nova área mais apropriada e nela vem fazendo a disposição do lixo de forma igualmente inadequada. Pirai, que antes utilizava um “lixão” para a disposição final de seus

⁵ Em azul, os municípios incluídos na área de estudo.

resíduos, passou a operar um aterro sanitário. Seu índice de qualidade de aterro de resíduos (IQR), anteriormente da ordem de 3 foi recentemente reavaliado em 9,3.

Dos doze municípios da bacia do rio Guandu, com seu território parcial ou totalmente situados na bacia, apenas sete fazem nela a disposição de seus resíduos. Esta disposição é feita quase sempre na forma de 'lixões', nos quais é freqüente a presença de catadores de recicláveis vivendo em condições de insalubridade (Tabela 16).

Tabela16 - Disposição dos Resíduos Sólidos urbanos na bacia do rio Guandu.

Município	População Urbana (hab)	Produção (t/dia)	Coletando (%)	Executor	Disposição Final	IQR ou IQC	Catadores
Eng. Paulo de Frontin	8.766	4,4	87,5	Prefeitura	Lixão	3,4	Não
Itaguaí	78.208	39,1	88,6	Terceirizado	Lixão	2,7	Sim
Japerí	83.278	41,6	57,6	Terceirizado	Lixão	4,4	Não
Miguel Pereira	20.081	10,0	89,7	Prefeitura	Lixão	0,0	Sim
Paracambi	36.868	18,6	89,6	Prefeitura	Lixão	2.1	Sim
Rio Claro	11.616	5,8	74,8	Terceirizado	Lixão	6.1	-
Seropédica	51.897	25,9	80,25	Prefeitura	Lixão	2.2	Sim
TOTAL		145,4	-	-	-	-	-

Fonte: ANA, 2006.

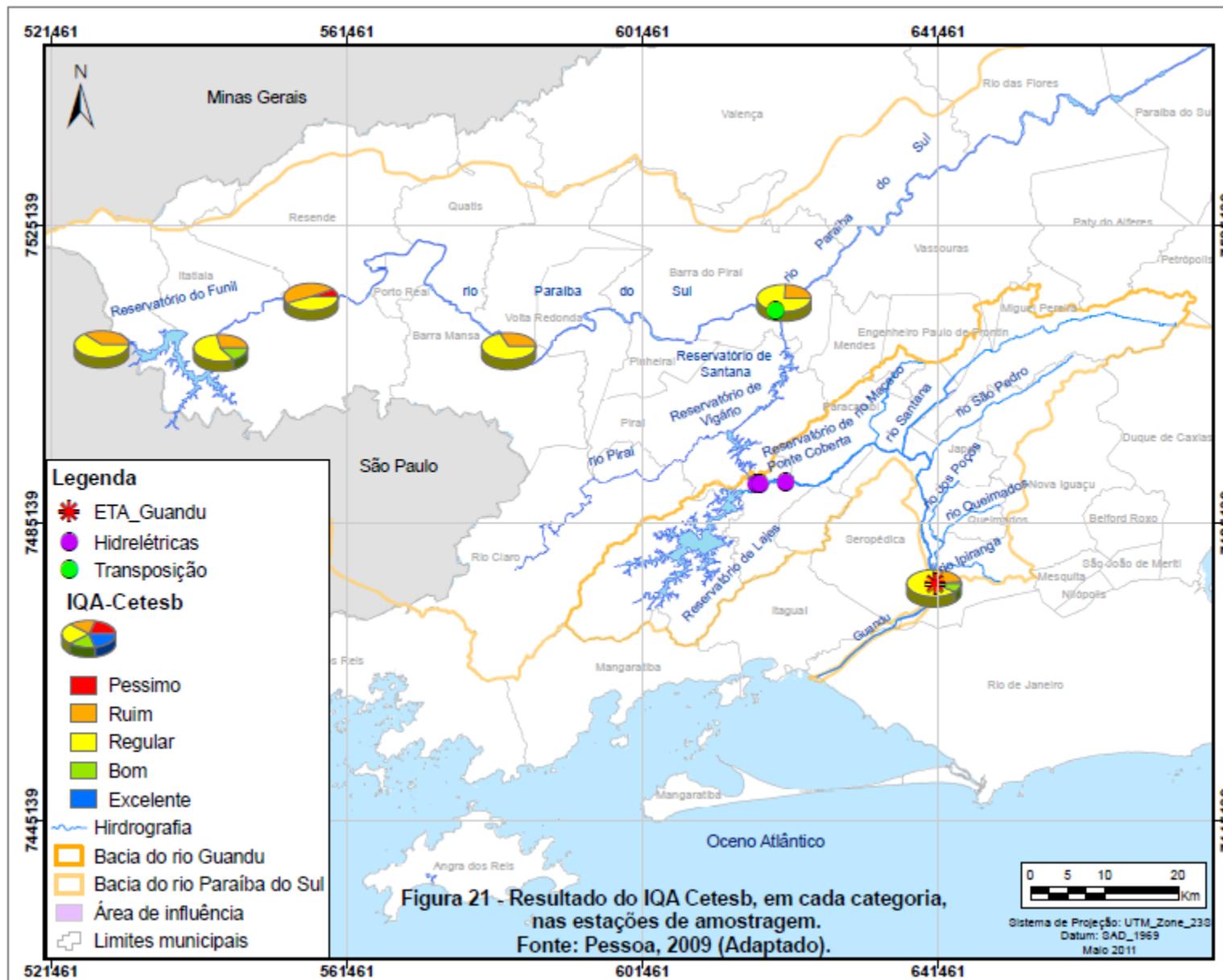
O município de Rio Claro é o único que direciona seus resíduos para uma usina de compostagem, relativamente próxima ao reservatório de Tocos. Em Japeri, Seropédica e Paracambi há projetos para a instalação de aterros sanitários já em fase de licenciamento ambiental. Os municípios restantes ainda não possuem soluções para a disposição final do lixo produzido (ANA, 2006).

3.3.1.3 Qualidade da água

O desenvolvimento de índices ou indicadores de qualidade de água é uma ferramenta que permite a tradução de informações relativas a este tema em uma linguagem acessível para o público em geral. Dessa forma, os índices visam integrar, num único valor, a informação descrita originalmente por um conjunto extenso de variáveis.

Um dos primeiros índices de qualidade de água foi desenvolvido, em 1970, pela *National Sanitation Foundation* (NSF, 2007), a partir de uma pesquisa que selecionou variáveis de qualidade de água fundamentada na opinião de diversos especialistas da área. Com base neste estudo, a CETESB criou, em 1976, um novo índice a partir do produtório ponderado de variáveis analíticas de qualidade de água. Este índice tem como propósito a avaliação da qualidade de água para fins de abastecimento público (CETESB, 2010).

O IQA_{CETESB} foi calculado por Pessoa (2009) para seis estações de qualidade da água ao longo dos rios Paraíba do Sul e Guandu (cinco estações no rio Paraíba do Sul até a transposição em Santa Cecília e uma no rio Guandu, na altura da captação da Cedae), entre 2002 e 2009 (Figura 21). Estes resultados indicaram que a maior parte dos parâmetros selecionados pelo IQA_{CETESB} (OD, Coliformes fecais, pH, DBO₅, Nitrogênio total, Fosfato total, Temperatura, Turbidez e Sólidos totais) ocorrem na faixa de valores da categoria “Regular”.



Para ter uma visão mais apurada da qualidade das águas, o INEA adotou recentemente o IQA_{FAL} . Este índice é baseado em lógica nebulosa e utiliza sete variáveis de qualidade de água na sua formulação, duas biológicas (índice de diversidade de Shannon-Weaver e densidade de cianobactérias), duas químicas (fósforo total e nitrogênio amoniacal), duas variáveis representativas da dinâmica de oxigênio (Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio) e uma variável indicadora do grau de contaminação da água por esgoto (Coliformes Termotolerantes). As variáveis são agrupadas em subíndices que permitem a identificação dos parâmetros específicos responsáveis pelo resultado final. Os resultados são classificados em excelente, bom, regular, ruim e péssimo.

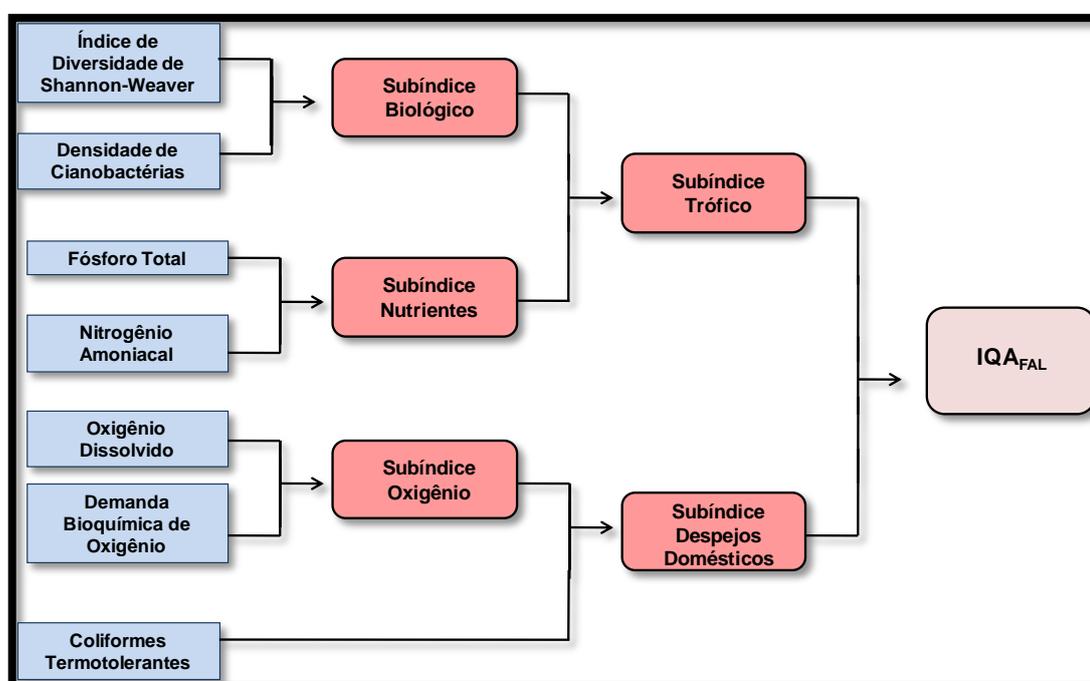
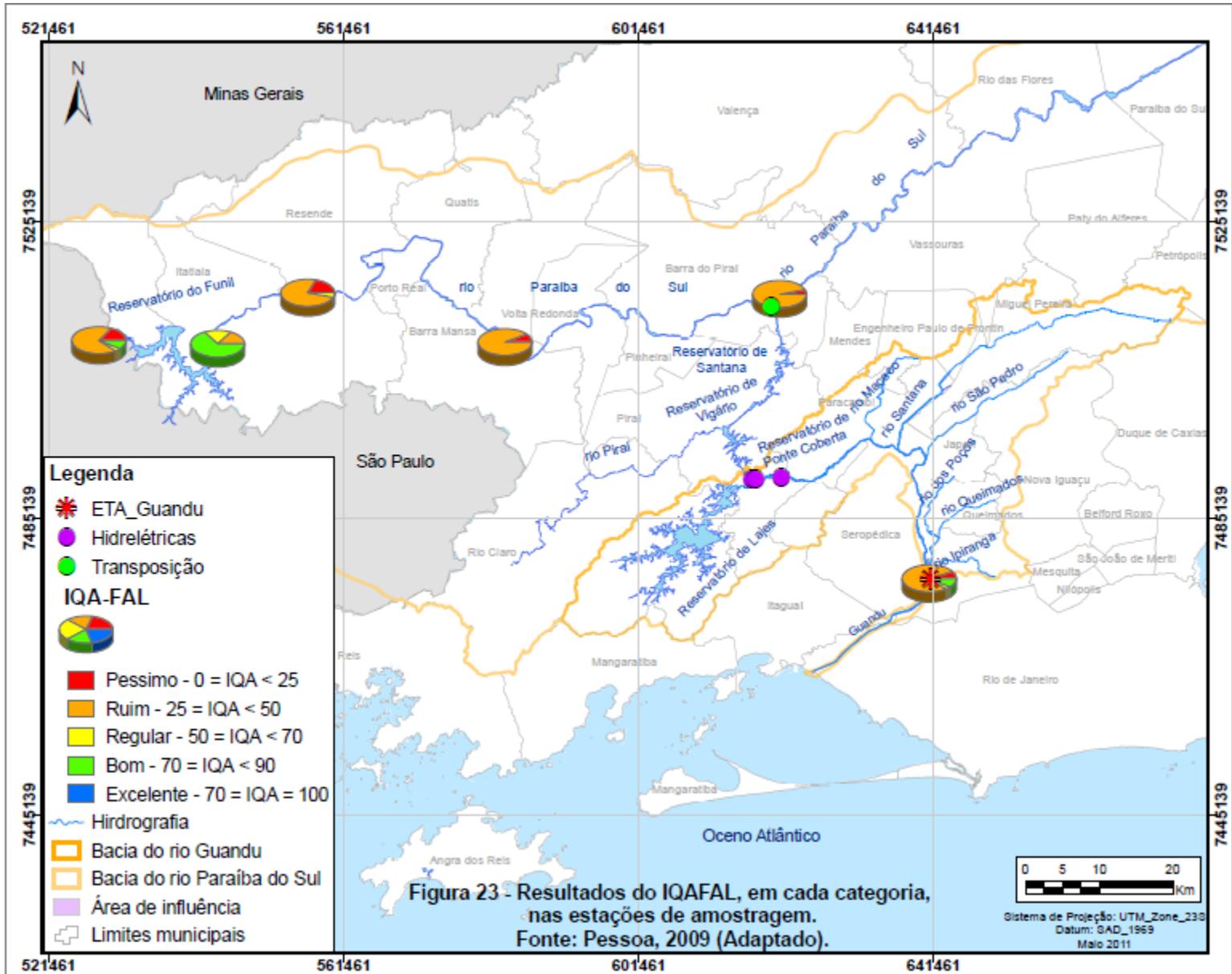


Figura 22 - Fluxograma dos subíndices que formam o IQA_{FAL} .

Fonte: Pessoa, 2010.

Utilizando a mesma série de dados de qualidade de água, nas mesmas estações de amostragem (entre 2002 e 2009, em seis estações de qualidade da água ao longo dos rios Paraíba do Sul e Guandu), Pessoa (2009) calculou o IQA_{FAL} com o objetivo de detectar quais as variáveis empregadas influenciaram mais fortemente os resultados. De modo geral, a maior parte dos resultados está na classe 'ruim', com exceção da estação de amostragem localizada na saída do Reservatório de Funil que obteve o resultado 'bom' (Figura 23).



De acordo com Pessoa (2009), as variáveis biológicas e os nutrientes, estão dentro dos níveis satisfatórios para uma boa qualidade de água. Por outro lado, os resultados relativos aos despejos domésticos ocorrem predominantemente nas classes 'ruim' e 'péssimo'. Este resultado significa que, com relação a despejos domésticos, a qualidade da água em toda a região, com exceção do ponto localizado a jusante do reservatório do Funil, vai de ruim a péssima, sobretudo no que diz respeito ao parâmetro coliformes termotolerantes. Dessa forma é possível concluir que na composição do IQA_{FAL} a poluição das águas das bacias do Rio Paraíba do Sul e Guandu é hoje sobretudo determinada principalmente pelo grande aporte de esgoto doméstico.

O resultados encontrados por Pessoa (2009) confirmam o que está descrito nos planos de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul (COPPETEC, 2006b) e da bacia do Guandu (ANA, 2006), nos quais os parâmetros que apresentaram maior criticidade com relação à qualidade dos corpos d'água superficiais foram os compostos fosfatados, os coliformes e a demanda bioquímica de oxigênio, evidenciando contínuo processo de poluição por material orgânico, principalmente esgotos domésticos. Este cenário sujeito a eutrofização é amenizado pela alta capacidade de reaeração do rio Paraíba do Sul e seus afluentes, o que garante a oxidação deste excesso de matéria orgânica.

Em relação aos metais, segundo COPPETEC (2006b), mesmo em trechos onde a qualidade da água encontra-se em ótimas condições, as concentrações de alumínio são elevadas, quando comparadas aos limites da CONAMA 357 (BRASIL, 2005), dando indícios de que a origem do alumínio é natural nesta bacia. Já na sub-bacia do Guandu, de acordo com ANA (2006), os resultados referentes às concentrações observadas de metais e de fenóis, devem ser considerados, já que houve violações significativas em algumas estações.

Tabela 17: Parâmetros Críticos bacia do rio Guandu.

Rio	Local	Parâmetros
Guandu	Ribeirão da Lajes	Pequenas violações de classe em ferro solúvel, cádmio, fenóis e cianetos.
	Jusante confluência Santana	Coliformes fecais, fósforo total, chumbo, cádmio, ferro solúvel, fenóis e cianetos
	Montante ETA	Coliformes fecais
	Poços/Queimados	OD, DBO, turbidez, sólidos totais, P-total, amônia, N-amônia, coliformes totais, coliformes fecais, chumbo, cádmio, ferro e fenóis

Fonte: ANA, 2006.

Os rios Poços/Queimados e Ipiranga, que desembocam na 'Lagoa do Guandu', influenciam diretamente a qualidade das águas captadas pela ETA Guandu. Nela, observam-se elevados valores de DBO, Fósforo Total e Colimetria, em contraste com baixos níveis de OD, demonstrando as condições críticas em que se encontra a região (ANA, 2006).

3.3.2 Sensibilidade

O processo de erosão, facilitado pelo relevo acidentado e pela atual condição de degradação ambiental da região e o *carreamento de sedimentos*, provenientes principalmente das antigas lagoas de extração de areia, para a calha principal do rio Guandu aumentam significativamente a turbidez da água, comprometendo, assim, sua qualidade inclusive no ponto de captação da ETA Guandu. Em casos extremos, normalmente ocasionados por cheias ou/e chuvas intensas, este cenário de altos níveis de turbidez pode até inviabilizar o tratamento da água pela ETA.

Além disso, o ponto de captação da ETA Guandu está situado no trecho inferior do rio Guandu a jusante da confluência com o rio dos Poços, Queimados e Ipiranga. Esta localização é altamente desfavorável em relação à qualidade de água, visto que esses rios, assim como, o próprio rio Guandu, apresentam elevados níveis de poluição. Devido a suas características lânticas e elevada carga de nutrientes provenientes do esgoto doméstico (fósforo principalmente), a lagoa do Guandu, localizada apenas a 300 metros da captação da ETA Guandu, é um ambiente propício à proliferação de algas que produzem substâncias tóxicas, representando um alto risco à saúde humana.

3.3.3 Ações adaptativas

A deterioração das condições ambientais e da qualidade da água, no decorrer dos anos impôs algumas medidas adaptativas para a continuidade da captação da ETA Guandu. A vazão captada pela Cedae no rio Guandu, por exemplo, é da ordem de 45 m³/s, muito inferior à vazão defluente de 120 m³/s estabelecida pela Resolução 211/2003 da ANA para Pereira Passos. Esta necessidade de diluição da carga orgânica próxima à captação da ETA Guandu, em função das águas poluídas provenientes dos rios Poços, Queimados e Ipiranga, de modo a criar condições de

tratamento da água bruta, provocam uma considerável sobrecarga para o sistema de transposição e para a disponibilidade hídrica nas bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu.

Outra medida adaptativa encontrada pela Cedae foi a utilização de uma grande quantidade de produtos químicos no processo de tratamento da água. A ETA Guandu gasta em média 318 toneladas destes produtos para atender aos padrões normativos de qualidade das águas para abastecimento humano (Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde). As quantidades médias diárias de produtos químicos utilizados pela Cedae na ETA são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18: Quantidades diárias de produtos utilizados na ETA Guandu.

Produto	Quantidade (ton)
Sulfato de alumínio	140
Cloreto férrico	20
Cloro	15
Cal virgem	20
Ácido fluossilícico	10

Fonte: Cedae, 2010.

O plano de recursos hídricos da Bacia do rio Guandu (ANA, 2006) estima um custo de R\$ 1,13 bilhão para a implantação de obras de esgotamento sanitário nas áreas urbanas da bacia. As iniciativas necessárias para a realização destas obras já estão em andamento, com financiamento dos projetos básicos executados pelo Comitê Guandu. Entretanto, seus resultados somente serão ressentidos a médio e longo prazos quando os projetos forem executados. Para a proteção imediata da tomada d'água no rio Guandu, estão previstas obras emergenciais que possibilitam o desvio das águas oriundas dos rios Poços, Queimados e Ipiranga. Esta obra, estimada em mais de 33 milhões de reais, consiste na implantação de um dique, associado a estruturas hidráulicas de desvio da água proveniente da 'Lagoa do Guandu' (CEDAE, 2010). A licença de operação foi concedida em maio de 2011 pelo INEA.

Com relação à intensa degradação ambiental na bacia do rio Guandu, ações de recuperação de mata ciliar, através do projeto Parques Fluviais, desenvolvido pela Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) em parceria com o Comitê da Bacia,

Universidade Rural, Embrapa, prefeituras e outras instituições e empresas privadas, já vêm sendo executadas na área de preservação ambiental (APA) do rio Guandu.

3.3.4 Vulnerabilidade

A cobertura florestal presente no trecho fluminense da bacia do Paraíba do Sul, não é suficiente para atenuar a condição de vulnerabilidade do meio físico à erosão. Os processos erosivos constituem um problema relevante decorrente dos diversos ciclos econômicos e da falta de preservação e conservação do solo. Da mesma forma, a deficiência de sistema de esgotamento sanitário e a disposição inadequada dos resíduos sólidos em grande parte dos municípios das bacias contribuem para a degradação ambiental e da qualidade da água dos rios Paraíba do Sul e Guandu. A posição do estado à jusante dos trechos paulista e mineiro, acumulando os efeitos negativos da erosão que ocorre a montante, intensifica o problema.

No entanto, apesar das condições ambientais adversas, a tecnologia de tratamento de água da ETA guandu tem se mostrado suficiente para os padrões exigidos na legislação, mediante a utilização de uma quantidade considerável de produtos químicos. Reduções no sistema de produção ocorrem, em média, três vezes ao ano e geralmente entre de dezembro e março (Figura 24). Estas reduções são feitas com o objetivo de manter a qualidade final da água tratada em acordo com a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004). O principal motivo da redução da produtividade é o período de chuvas intensas que elevam sobremaneira a turbidez da água bruta.

Além das condições favoráveis ao processo de erosão, os níveis de sedimento extremamente altos no ponto de captação da ETA Guandu estão associados principalmente à antiga atividade de extração de areia no leito do rio, que provocou grande deterioração ambiental das margens do Guandu.

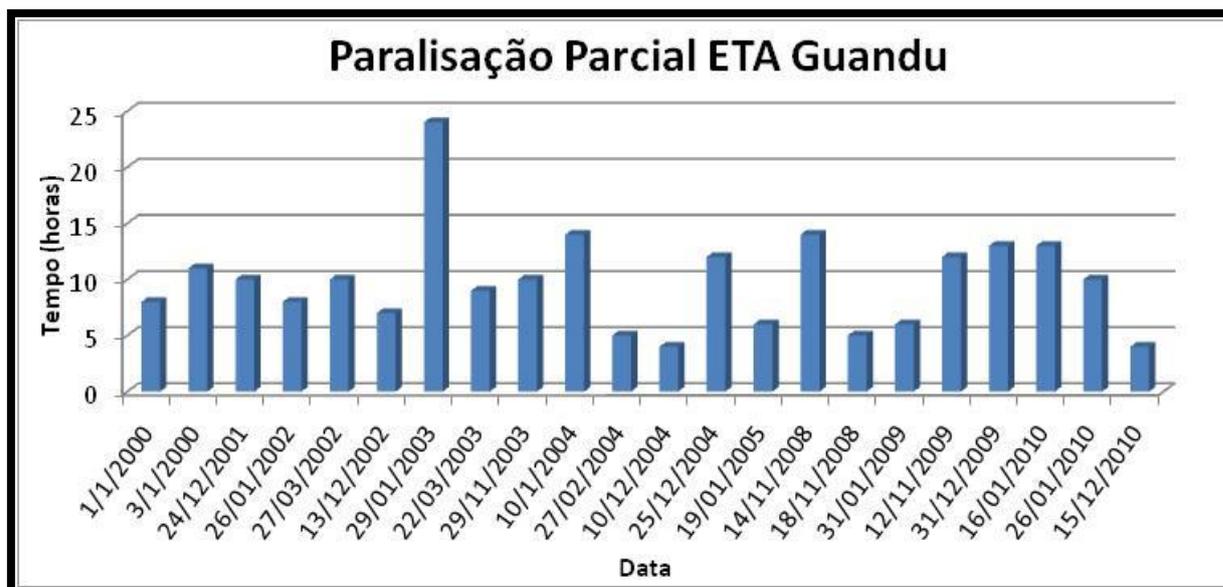


Figura 24 - Paralisações parciais da captação da ETA Guandu por turbidez água bruta elevada no período de 2000 a 2010.

Fonte: Feito pela autora com dados fornecidos pela Cedae.

Como indicado na Figura 24, a ETA Guandu teve sua eficiência de tratamento reduzida 22 vezes, ao longo de 10 anos. Essa redução é atribuída às dificuldades operacionais da estação para tratar as águas do rio Guandu quando estas estão barrentas e turvas.

3.4 Acidentes Ambientais

Os acidentes ambientais representam um fator de estresse significativo na área de estudo por esta ficar inserida em uma das principais áreas industrializadas do país, responsável por mais de 10% do PIB nacional (Laboratório de Hidrologia/COPPE/UFRJ, 2006). Por essa razão, são objeto de preocupação de todos os organismos envolvidos na região, desde gestores estaduais até usuários de água, como a Cedae, por exemplo, que opera a ETA Guandu.

3.4.1 Exposição

Para um melhor entendimento do grau de exposição da área estudada ao estressor 'acidentes ambientais', analisamos separadamente as fontes fixas

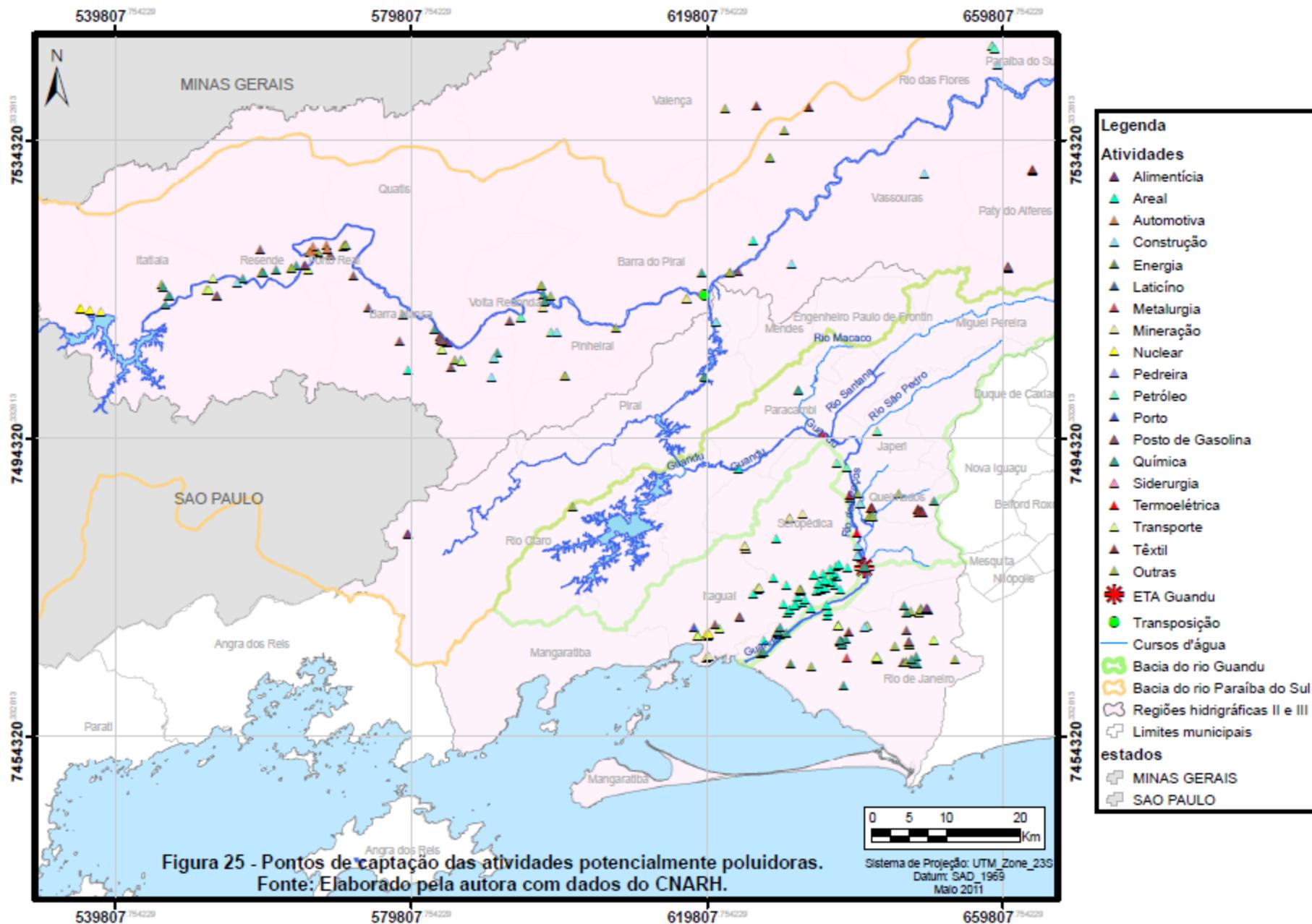
(indústrias) e as fontes móveis (ferrovias e rodovias), causadoras de acidentes ambientais tecnológicos.

3.4.1.1 Acidentes provenientes de fontes fixas

A ETA Guandu está localizada a jusante de diversas indústrias e outras atividades potencialmente poluidoras, tanto na parte da Bacia do rio Paraíba do Sul (Médio Paraíba) quanto na Bacia do rio Guandu, a montante da captação.

Para visualizar a concentração destas fontes potenciais de acidentes ambientais na “área de influência” da ETA Guandu, utilizamos os dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), cedidos pelo Inea. A partir dele, foi possível identificar as atividades industriais que podem ser consideradas potencialmente causadoras de poluição acidental, selecionadas através das coordenadas geográficas dos seus pontos de captação disponíveis no banco de dados do CNARH. Na data da consulta (08/05/2010), foram identificados 291 pontos de captação de água, de atividades cadastradas como usuárias, em toda a região hidrográfica do Médio Paraíba do Sul (RH - III) e bacias dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim (RH - II).

Depois do mapeamento, foi realizada uma pesquisa de seus respectivos ramos de atuação, que foram classificados em 17 categorias diferentes: alimentícia, areal, automotiva, construção, energia, metalúrgica, mineração, nuclear, petróleo, portuária, posto de gasolina, química, siderúrgica, termoelétrica, transporte, têxtil e outras (Figura 25).



Na mineração, os areais receberam atenção especial em decorrência da forte presença desta atividade na região, sobretudo em áreas próximas à ETA Guandu. No total, foram registrados 43 pontos de captação para areais distintos, sendo que destes apenas dois estão localizados no Médio Paraíba. As áreas de mineração, como, por exemplo, pedreiras e extração de metais, são apenas 16 empreendimentos.

As metalúrgicas, em especial as grandes siderúrgicas, como a Companhia Vale do Rio Doce, estão localizadas a jusante do ponto de captação da ETA Guandu. No Médio Paraíba, destacam-se a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), a Siderúrgica de Barra Mansa e Prosifer Comércio de Ferro e Aço.

Entre as indústrias químicas, ressalta-se a produção de herbicidas, silicatos, alumínio, borracha e cimento, que formam um grupo com 53 localidades. Os pontos de captação das indústrias têxtil são 15 no total, sendo que existem muitas empresas com mais de um ponto de captação. Assim como ocorre com o ramo de construção, que possui 18 pontos de captação e apenas dez empresas cadastradas.

Os postos de gasolina e os postos de transporte (garageamento) representam grandes focos de poluição, não somente das águas superficiais, como também das subterrâneas, representadas por 21 e 22 pontos de captação, respectivamente. A indústria automotiva tem pequena representatividade, com apenas cinco pontos de captação e duas empresas. A indústria alimentícia capta em 11 pontos, com destaque para a criação de aves na região do Médio Paraíba.

As Indústrias Nucleares do Brasil (INB) têm um total de quatro pontos de captação no Médio Paraíba, muito próximos ao reservatório do Funil, próximo de São Paulo, que com os outros cinco pontos de captação da Nuclebras Equipamentos Pesados, na bacia do rio Guandu, formam o grupo das indústrias nucleares. Vinculada à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a INB é a empresa responsável pela exploração do urânio, desde a mineração e o beneficiamento primário até a produção e montagem dos elementos combustíveis que acionam os reatores das usinas nucleares Angra 1 e 2. O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de urânio, o que permite o suprimento das necessidades domésticas em longo prazo e a disponibilização do excedente para o mercado externo.

A mineração é realizada em três áreas no Brasil: Caetité, na Bahia; Caldas, em Minas Gerais e Itataia no Ceará. A maioria do minério extraído serve para consumo das usinas de Angra I e II (responsáveis por 40% da geração de energia do estado do Rio de Janeiro). É principalmente de Caetité que o *yellow cake*, que nada mais é do que o urânio na a forma de sal, é transportado até Resende (RJ), onde é dissolvido, convertido em gás e reconvertido em pó, que, na forma de pastilha, é acondicionado e transportado até as usinas de Angra. Esse trajeto inclui várias áreas residenciais e de produção de alimentos e o risco de acidentes não somente com os efluentes dessa indústria como também com o transporte desse material radioativo é digno de atenção, mesmo que não existam registros de sua ocorrência. Além disso, também é necessário acondicionar adequadamente o lixo radioativo gerado no funcionamento das duas usinas, mesmo que esta produção seja relativamente baixa.

Com exceção dos areais, da indústria automotiva e alimentícia é comum que uma mesma empresa tenha mais de um ponto de captação o que junto da vazão captada é um indicador da magnitude do empreendimento. No Apêndice 3 encontra-se a planilha com todos os pontos descritos. As termoeletricas e as siderúrgicas são as maiores consumidoras de água.

A região que apresenta o maior grau de exposição a acidentes ambientais de fontes fixas é a do Médio rio Paraíba do Sul, em função do seu importante parque industrial e da presença de grandes indústrias, como a CSN. Segundo dados da SOPEA/INEA, de 2000 até 2010, entre as dezenas de ocorrências de emergências ambientais tecnológicas, somente três acidentes foram considerados como de grande magnitude, sendo dois deles localizados na região do Médio Paraíba do Sul e um acidente na bacia do rio Guandu.

Tabela 19: Principais acidentes ambientais tecnológicos, de fontes fixas, na área de influência da ETA Guandu (2000-2010). Fonte: SOPEA/INEA, 2011.

DATA	EMPREENHIMENTO	DESCRIÇÃO DO ACIDENTE	LOCAL
19/11/08 Bacia do rio Paraíba do Sul	Servatis SA.	Derramamento do produto químico Endosulfan	Resende – Rio Paraíba do Sul
03/08/09 Bacia do rio Paraíba do Sul	Não identificada	Grande mancha de óleo branco	Volta Redonda – Rio Paraíba do Sul, próximo à CSN
20/02/11 Bacia do rio Guandu	Secretaria Municipal de Saúde de Japeri	Incêndio em galpão de armazenamento de diversos produtos inseticidas e raticidas	Japeri - Rios Sarandi e Poços, afluentes do Guandu, 17,5 km a montante do ponto de captação da ETA Guandu

O acidente envolvendo a empresa Servatis, por exemplo, foi considerado um dos mais graves já ocorridos na região. No dia 19 de novembro de 2008, o vazamento de oito mil litros do pesticida endossulfan no rio Pirapetinga, afluente do rio Paraíba do Sul, teve sérias consequências em várias cidades a jusante de Resende. Houve morte de milhares de peixes e animais, sendo feito monitoramento emergencial e acompanhamento da mancha tóxica até o município de São João da Barra, distrito de Atafona, acompanhando o percurso de aproximadamente 448 km. Durante o acompanhamento do percurso, diversos pontos de captação foram informados para suspender a captação e avisados quando já havia passado a mancha do poluente e poderia voltar a captar a água. Segundo a SOPEA, o término da operação ocorreu apenas às 16hs do dia 28 de novembro de 2008 e a Indústria Química Servatis foi multada em R\$ 33 milhões de reais. Hoje, indústrias de endossulfan estão proibidas em território fluminense.

3.4.1.2 Acidentes em ferrovias e rodovias

Nesta dissertação, apresentaremos apenas um panorama geral do risco de acidentes de fontes móveis, envolvendo produtos perigosos, na área de estudo, de modo a dimensionar a importância desta exposição na vulnerabilidade da ETA Guandu. Para tanto, reproduzimos as conclusões do estudo detalhado do risco de acidentes em ferrovias e rodovias, nessa região, elaborado por Viana (2009), disponível no sítio www.peamb.uerj.br/tesesedissertacoes.

A pesquisadora desenvolveu uma análise de risco a acidentes em ferrovias e rodovias na área delimitada como parte da área de influência da ETA Guandu, que compreende: i) os afluentes de primeira ordem do rio Guandu a montante da ETA (Ribeirão das Lajes, rios Santana, São Pedro, Macacos, Ipiranga e Queimados), ii) o rio Paraíba do Sul em seu trecho fluminense entre Funil e Santa Cecília e iii) o rio Pirai.

Tanto a bacia do rio Paraíba do Sul quanto a do rio Guandu são caracterizadas por possuir uma extensas malhas ferroviária e rodoviária, que são muito utilizadas para o transporte de matéria prima, assim como para escoamento da intensa produção industrial, principalmente a do Médio Paraíba do Sul. Dentro da área de estudo foram identificadas duas ferrovias (MRS e FCA) e 12 rodovias

utilizadas como rota para transportar estes tipos de produtos na área de influência da ETA Guandu, sendo a principal rodovia a Via Dutra (BR-116).

Estas ferrovias e rodovias, que muitas vezes margeiam e cruzam os rios da região, são utilizadas inclusive para transporte de produtos perigosos. Produtos perigosos são substâncias ou artigos encontrados na natureza ou produzidos por qualquer processo que, por suas características físico-químicas, representem risco para a saúde das pessoas, para a segurança pública ou para o meio ambiente (ANTT, 2004). O transporte destes produtos caracteriza uma fonte de poluição difusa e atribui grande dificuldade ao gerenciamento de riscos, visto que não é possível saber exatamente onde será o ponto de lançamento das substâncias poluidoras antes da ocorrência do acidente.

A falta de dados e de um sistema unificado com informações que identificam e quantificam os produtos que circulam nas vias que cruzam os corpos d'água dessas bacias, no Estado do Rio de Janeiro, não permitem o real dimensionamento do problema e têm efeito negativo sobre a qualidade da comunicação entre os atores envolvidos, em caso de acidentes com danos ambientais, dificultando o acesso a informações fundamentais para um atendimento ágil e eficiente.

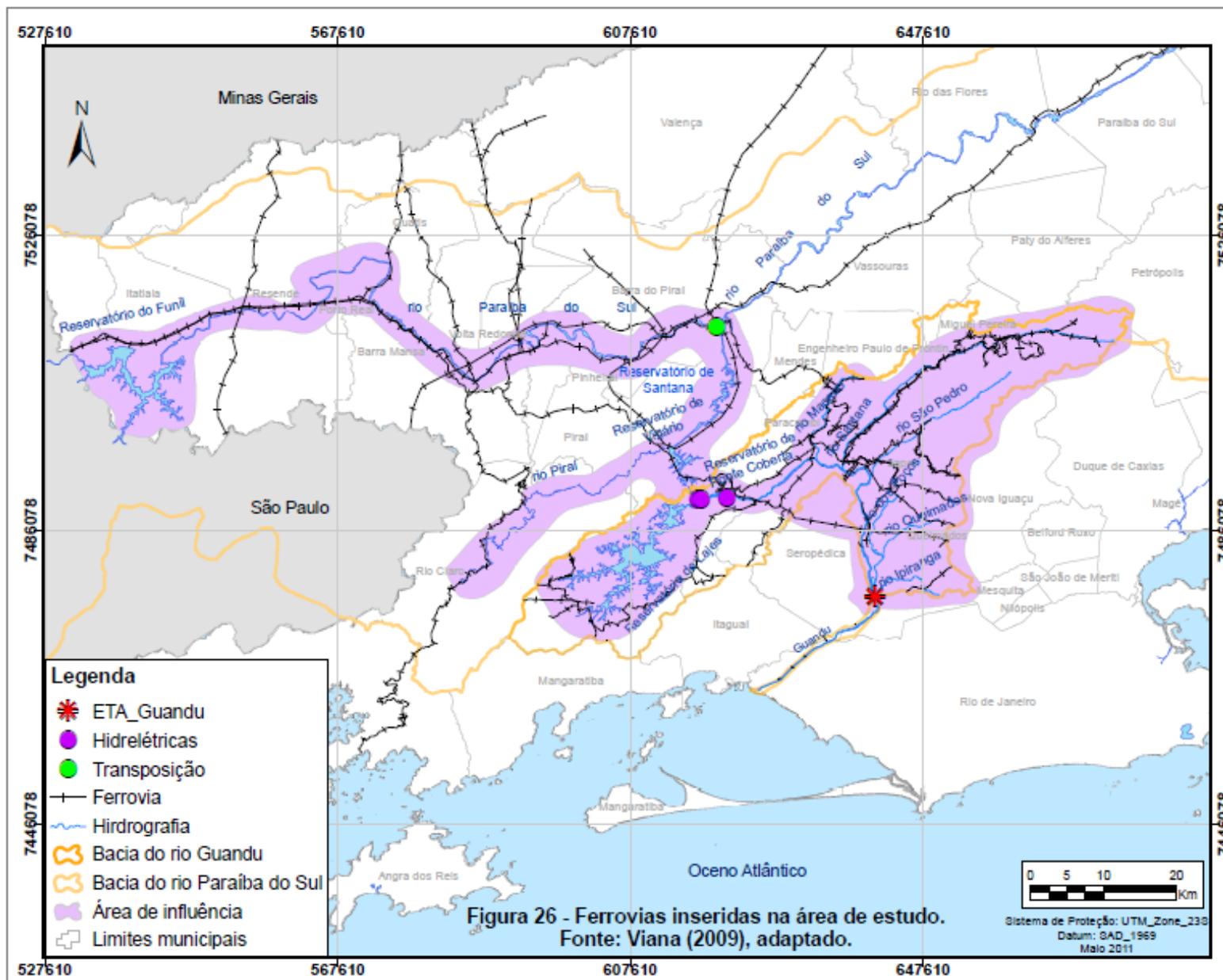
Poluição proveniente de acidentes em ferrovias

Na área de estudo foram identificadas duas ferrovias que realizam o transporte de produtos perigosos: a MRS e a FCA (Figura 24). De acordo com Viana (2009), o Serviço de Controle da Poluição Acidental do INEA (SOPEA) não identificou referências ao atendimento de acidentes ambientais nestas ferrovias até final de 2008. Dados divulgados pela Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes (GEIPOT) relatam que nenhum dos acidentes ocorridos nestas ferrovias resultou em danos ambientais.

A ferrovia MRS, com extensão de 1.674 km interliga os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo, possibilitando a movimentação de cargas nesta região, onde estão concentrados os maiores complexos industriais e 65% do PIB nacional. Tem importância estratégica na economia do país, uma vez que é a ferrovia que chega aos Portos de Itaguaí, Rio de Janeiro e Guaiíba. No estado do Rio

de Janeiro, ela cruza os municípios de Barra Mansa, Volta Redonda, Barra do Piraí, Paraíba do Sul, Três Rios, Japeri e Itaguaí.

Esta ferrovia transporta diversas mercadorias, dentre as quais estão produtos perigosos que oferecem um risco potencial de contaminação aos corpos d'água cortados pelo traçado da ferrovia. Os principais produtos perigosos que são movimentados na MRS são os granéis minerais de enxofre, a amônia e o óleo diesel. De acordo com dados disponibilizados no portal da MRS Logística, no trecho fluminense da ferrovia circulam diariamente 28 trens com 132 vagões cada. O principal tipo de produto que circula na área de estudo é do tipo siderúrgico e o principal produto perigoso deste grupo são os granéis minerais de enxofre.



Dados relativos à distribuição dos acidentes ocorridos na MRS durante o ano de 2007 quanto à gravidade mostram que nenhum dos acidentes registrados neste ano causou danos ao meio ambiente ou à comunidade. No entanto, pelo curto período analisado, não é possível determinar que a frequência de acidentes seja baixa, uma vez que podem ter ocorrido acidentes na ferrovia em anos anteriores, enquadrando-a em outra categoria de frequência. Esta ferrovia cruza todos os corpos d'água inseridos na área de estudo, com exceção do rio Guandu, inclusive o rio Santana e Ribeirão das Lajes, o que classifica estes pontos de cruzamento como de gravidade alta. Assim, devido às inúmeras interferências desta ferrovia na área de estudo, a MRS merece atenção especial no que diz respeito à prevenção de acidentes no transporte de produtos perigosos (VIANA, 2009).

A ferrovia FCA movimenta minério de ferro, produtos siderúrgicos e de construção civil, produtos destinados ao setor agrícola, combustíveis, dentre outras mercadorias. O volume mais representativo para esta ferrovia é o das mercadorias destinadas à indústria siderúrgica. Os principais produtos perigosos movimentados na FCA são: o óleo diesel, a gasolina, o álcool e outros derivados de petróleo, a amônia e granéis minerais de enxofre. Estes produtos perigosos representam um risco potencial de contaminação dos corpos d'água atravessados pelo traçado da ferrovia.

Nenhum dos acidentes ocorridos na FCA no ano de 2007 resultou em danos ao meio ambiente (GEIPOT, 2007). No entanto, dados relativos a apenas um ano de movimentação não apresentam representatividade para a realidade de 11 anos de operação desta malha ferroviária pela FCA. Segundo Viana, a gravidade de acidentes com produtos perigosos na FCA pode ser classificada como média nos trechos onde a ferrovia cruza o rio Paraíba do Sul (VIANA, 2009).

Poluição proveniente de acidentes em rodovias

Foram identificadas 12 rodovias na região da ETA Guandu e sua área de influência, cruzando pelo menos um dos corpos d'água. Dentre elas, a Dutra (BR-116) é a mais importante e por isso será tratada de forma diferenciada. Segundo Viana, dentre as outras 11 rodovias, apenas duas apresentam gravidade alta: a RJ-125, que cruza os rios Guandu e Santana; e a RJ-127 que cruza Ribeirão das Lajes.

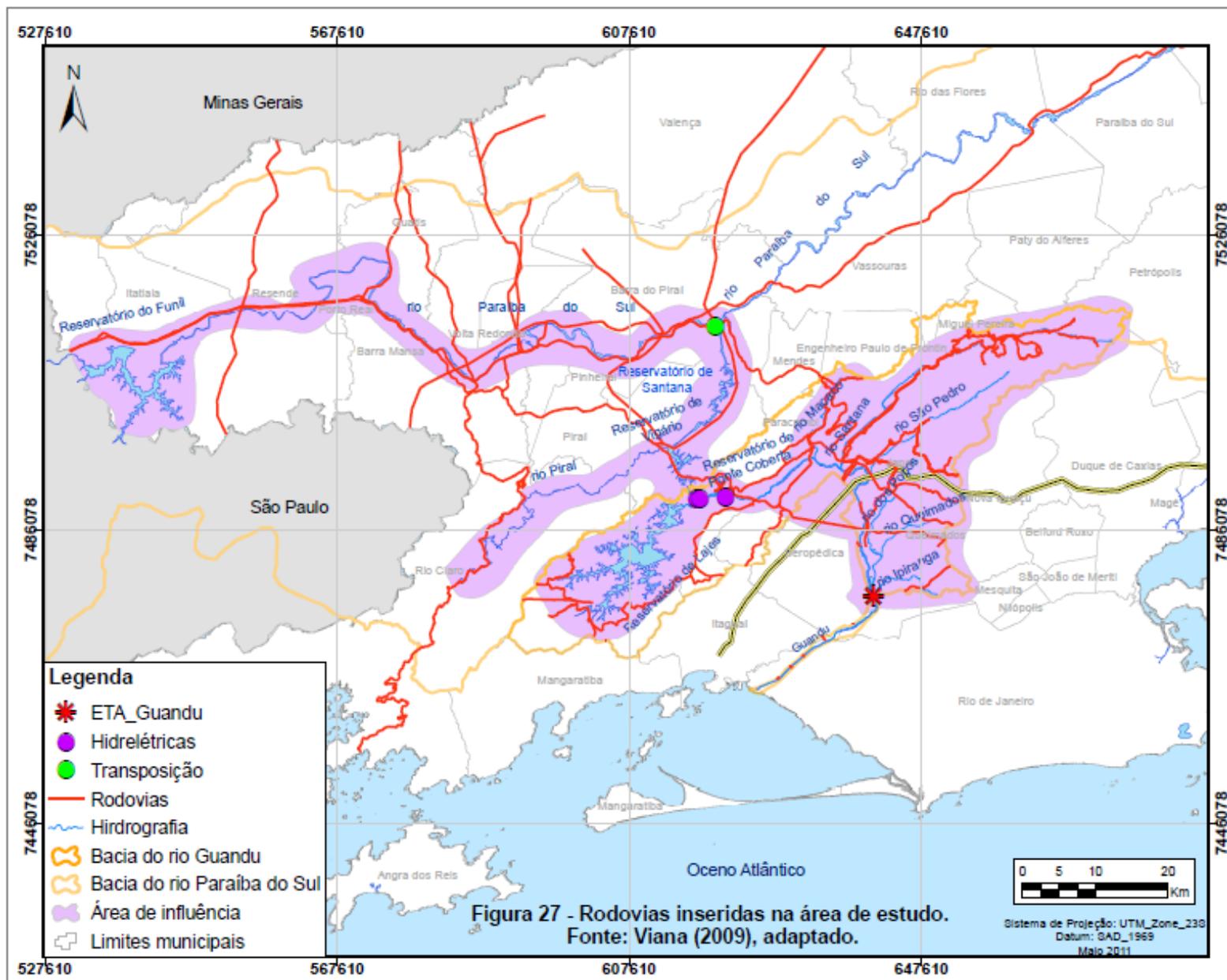
As demais rodovias apresentam gravidade média nos pontos onde cruzam um dos corpos d'água estudados, com exceção do rio Guandu. Destas rodovias, sete cruzam o rio Paraíba do Sul e as demais cruzam algum dos afluentes primários do rio Guandu ou o rio Pirai (Tabela 20).

Tabela 20: Gravidade nas rodovias (exceto BR-116).

Rodovia	Situação	Gravidade
RJ-125	Cruza os rios Guandu e Santana	Alta
RJ-093	Cruza o rio São Pedro	Média
RJ-127	Cruza o rio dos Macacos	Média
	Cruza o rio dos Ribeirão das Lajes	Alta
RJ-145	Cruza o rio Pirai e Rio Paraíba do Sul	Média
BR-393	Cruza o rio Paraíba do Sul	Média
RJ-157	Cruza o rio Paraíba do Sul	Média
RJ-141	Cruza o rio Paraíba do Sul	Média
RJ-159	Cruza o rio Paraíba do Sul	Média
RJ-161	Cruza o rio Paraíba do Sul	Média
RJ-153 / BR-494	Cruza o rio Paraíba do Sul	Média
RJ-105	Cruza o rio Ipiranga	Média

Fonte: Viana, 2009.

Dos acidentes com produtos perigosos na rodovia Presidente Dutra (BR-116) no período de 1988 até 2008, 61% foram com produtos químicos, 28% com combustíveis e 11% com produtos farmacêuticos. No período de 1997 a 1998 foram registrados 8.436 acidentes envolvendo 14.415 veículos, dos quais 5.840 transportavam cargas comuns e 72, cargas perigosas. Da média de seis acidentes mensais, 1% correspondeu a acidente com carga perigosa. Além de transportar o maior volume de produtos químicos entre as rodovias da região, a Dutra transporta a maior diversidade de produtos. Quanto ao porte dos acidentes rodoviários ocorridos no período de 1983 a 2003, 35% foi de grande porte, 24% de pequeno porte, 16% de médio porte e o restante não teve o volume informado (STRAUCH, 2004).



Para a avaliação dos riscos de poluição acidental Viana (2009) dividiu a Rodovia Presidente Dutra em 28 trechos, dos quais 14 apresentaram risco baixo, dez trechos apresentaram risco médio, cinco trechos apresentaram risco alto e um trecho apresentou risco muito alto (Tabela 21).

Tabela 21: Risco encontrado para os trechos da BR-116.

Trecho	Frequencia	Gravidade	Risco
1 (km 190 - 195)	Baixa	Média	Baixo
2 (km 196 - 200)	Baixa	Alta	Médio
3 (km 201 - 205)	Baixa	Baixa	Baixo
4 (km 206 - 210)	Média	Baixa	Baixo
5 (km 211 - 215)	Baixa	Alta	Médio
6 (km 216 - 220)	Alta	Baixa	Médio
7 a (km 221 - 225) <i>Sentido São Paulo</i>	Alta	Baixa	Médio
7 b (km 221 - 225) <i>Sentido Rio de Janeiro</i>	Alta	Alta	Muito alto
8 (km 226 - 230)	Média	Média	Médio
9 (km 231 - 235)	Baixa	Alta	Médio
10 (km 236 - 240)	Média	Alta	Alto
11 (km 241 - 245)	Baixa	Baixa	Baixo
12 (km 246 - 250)	Média	Baixa	Baixo
13 (km 251 - 255)	Média	Baixa	Baixo
14 (km 256 - 260)	Baixa	Baixa	Baixo
15 (km 261 - 265)	Média	Baixa	Baixo
16 (km 266 - 270)	Alta	Baixa	Médio
17 (km 271 - 275)	Média	Baixa	Baixo
18 (km 276 - 280)	Alta	Média	Alto
19 (km 281 - 285)	Média	Média	Médio
20 (km 286 - 290)	Média	Média	Médio
21 (km 291 - 295)	Baixa	Baixa	Baixo
22 (km 296 - 300)	Alta	Média	Alto
23 (km 301 - 305)	Alta	Baixa	Médio
24 (km 306 - 310)	Média	Baixa	Baixo
25 (km 311 - 315)	Média	Baixa	Baixo
26 (km 316 - 320)	Alta	Média	Alto
27 (km 321 - 325)	Média	Baixa	Baixo
28 (km 326 - 333)	Média	Baixa	Baixo

Fonte: Viana, 2009.

Cabe destacar que o trecho 7b - Serra das Araras sentido Rio de Janeiro, que apresentou risco muito alto, apresenta curvas bastante acentuadas e teve a maior concentração de acidentes envolvendo produtos perigosos, justamente em segmentos que margeiam o Ribeirão das Lajes, um dos corpos d'água formadores do rio Guandu.

Merecem igualmente atenção os trechos considerados de alto risco, a saber: trecho 10 que representa a Dutra no município de Piraí, margeando a Represa de Santana; o trecho 18 que representa a Dutra no município de Barra Mansa, às margens do rio Paraíba do Sul; o trecho 22 que representa a Dutra cruzando o rio Paraíba do Sul no município de Resende; e trecho 26 que representa a Dutra cruzando o Reservatório de Funil e o rio Paraíba do sul no município de Itatiaia também.

O trecho 2 concerne ao trecho da Dutra que cruza diretamente com o rio Guandu e é um caso específico por trata-se, sem dúvida, de um segmento de alta gravidade em caso de acidentes ambientais, mas é considerado de risco médio, pois apenas um acidente foi registrado no período de estudo (1988-2008).

É importante notar que o risco real desses trechos estudados pode ser ainda mais severo, pois foram utilizados dados de acidentes com produtos perigosos que excluem as ocorrências com produtos perigosos explosivos (classe 1) e materiais radioativos (classe 7), por não serem de responsabilidade do órgão ambiental consultado. Além disso, é possível que ocorrências de acidentes de menor porte não tenham sido notificadas ao SCPA/Feema, atual SOPEA/Inea.

3.4.2 Sensibilidade

O local de captação da ETA Guandu está sujeito ao risco de acidentes com cargas tóxicas industriais, tanto na rotina operacional das indústrias como no transporte desse material pelas rodovias que atravessam as sub-bacias. Embora a ETA Guandu esteja localizada a jusante de trechos considerados de alto risco de acidentes ambientais (VIANA, 2009), o sistema de transposição pode servir como uma defesa para acidentes acima do ponto de transposição em Santa Cecília, no Médio Paraíba do Sul, justamente na região mais industrializada e que conseqüentemente oferece maiores riscos.

Um estudo realizado pela Feema (hoje Inea), em 1980, adotado atualmente pela Cedae, conclui, com base em fórmulas empíricas, que a pluma de poluente proveniente da ocorrência de algum acidente na usina hidrelétrica de Pereira Passos, no caso 50mg/m^3 de DDT (poluente conservativo e solúvel), chegaria à ETA Guandu em apenas 8 horas, aproximadamente.

Outro relatório feito pelo Laboratório de Hidrologia/COPPE/UFRJ (2006), com base em estudos desenvolvidos em 1991 com traçadores *in situ*, indica que, para atingir o ponto de captação da ETA Guandu, a pluma de poluente demoraria cerca de 32 horas de Pereira Passos e aproximadamente 200 horas de Santa Cecília.

A partir deste estudo, Giori (2011) desenvolveu cenários de simulação que confirmam estes resultados. Em condições 'normais' de vazão, a pluma de poluição demora 210 horas para passar por todo o trecho analisado, sendo 32 horas entre Pereira Passos e a ETA Guandu. Os tempos de passagem da pluma de poluente pelo trecho selecionado (cerca de 80 Km entre a Elevatória de Santa Cecília a captação da ETA Guandu) variam com a mudança da vazão do rio, ou seja, quanto maior a vazão do rio menores serão os prejuízos ao meio ambiente e a população.

Ressalte-se, ainda, que em caso de acidentes a montante do reservatório de Ponte Coberta, na Bacia do Guandu, o reservatório de Lajes é apontado como capaz de suprir a demanda de água da ETA Guandu de 8 a 30 dias (LIGHT, 2010a). Contudo, neste cenário, poderia haver graves impactos ambientais no reservatório de Lajes, dentre eles o desmoronamento das margens, o que afetaria a flora e a fauna da região; ainda nesta hipótese, a captação de superfície necessária para suprir a "Calha da Cedae" ficaria interrompida (LIGHT, 2010a).

3.4.3 Ações adaptativas

A situação da ETA Guandu e de sua área de influência pode ser considerada preocupante em nível de riscos de danos ambientais provocados por acidentes ambientais que envolvem produtos perigosos, principalmente diante da aparente carência de medidas específicas que visem à redução dos acidentes nas indústrias e nos trechos ferroviários e rodoviários próximos aos corpos d'água.

Apesar da importância do controle do lançamento de efluentes industriais e das atividades de alto risco no Estado do Rio de Janeiro, graves acidentes

ocasionais indicam a necessidade de mais ações de prevenção e controle. Quanto às fontes móveis, medidas que visem à redução de acidentes são claramente insuficientes.

Uma importante medida de adaptação seria a elaboração de planos de contingência de acidentes ambientais para as bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu, ainda inexistentes. Estes planos serviriam, de um lado, para quantificar o risco, de forma mais precisa, através do desenvolvimento de estudos de modelagem capazes de simular a dispersão de poluentes, para cada tipo de produto perigoso, em diferentes trechos dos rios da região, até o ponto de captação da ETA Guandu. De outro lado, os planos de contingência preparariam todos os entes envolvidos em acidentes ambientais, de forma integrada e complementar.

O desenvolvimento de um plano de eventos críticos, inclusive acidentes ambientais, para a bacia do rio Paraíba do Sul, em elaboração desde janeiro de 2011 sob a coordenação da Agência Nacional de Águas, dará subsídios fundamentais para a elaboração futura de um plano de contingência para a bacia. Da mesma forma, a decisão do Comitê Guandu de destinar recursos financeiros para serviços de elaboração de estudos de riscos e do plano de contingência da bacia do rio Guandu é um passo importante para a gestão adaptativa.

3.4.4 Vulnerabilidade

Entre 2000 e 2010, acidentes ambientais foram responsáveis pela paralisação total da transposição das águas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu, em três momentos (de um total de quatro): duas vezes por motivos de poluição acidental de fontes fixas, uma vez por poluição acidental de fontes móveis; e uma vez para manutenção do sistema de transposição.

É importante notar que, segundo esta pesquisa, estas paralisações totais da transposição por motivos de acidente ambiental não ocasionaram nenhuma paralisação total da ETA Guandu. O único acidente ambiental ocorrido no rio Paraíba do Sul que refletiu na captação de água bruta da ETA Guandu, segundo questionário da Cedae, foi o derramamento do inseticida Endosulfan pela empresa Servatis, em novembro de 2008. Neste acidente, a transposição das águas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu, em Santa Cecília, sofreu duas intervenções: uma

total no dia 19/11/08, das 17hs até as 24hs, e outra parcial, no dia 20/11/08, das 24hs às 16hs; a retomada do bombeamento se deu de forma gradual e progressiva.

Portanto, a captação da ETA Guandu apresenta relativa vulnerabilidade em relação aos acidentes ambientais de fontes fixas e móveis. A área que mais está exposta é o Médio Paraíba do sul, que se encontra a montante de todo o sistema de transposição. Nesta região, embora a exposição seja muito alta, a vulnerabilidade da ETA Guandu é baixa, já que a transposição pode ser interrompida em casos de acidentes ambientais e evitar que a pluma de poluentes alcance a captação. Na Bacia do Guandu, a exposição é mais significativa de fontes móveis do que fontes fixas, mas sem relatos de interrupção da ETA.

3.5 Síntese dos resultados

Para facilitar a compreensão do conjunto dos resultados deste capítulo, elaboramos um quadro síntese onde são apresentados os principais componentes da vulnerabilidade global da ETA Guandu.

Para cada fator de estresse selecionado (variabilidade climática, infraestrutura hídrica da transposição e do Complexo de Lajes, condições ambientais e qualidade da água e acidentes ambientais), são apontados os principais resultados relativos a exposição, sensibilidade, ações adaptativas e vulnerabilidade específica do estressor.

Tabela 22: Síntese dos resultados.

FATOR DE ESTRESSE	EXPOSIÇÃO (Bacia Paraíba do Sul até a transposição - Bacia do Guandu até a captação da ETA Guandu)	SENSIBILIDADE (ETA Guandu quanto à quantidade e qualidade de água bruta)	AÇÕES ADAPTATIVAS (Bacia Paraíba do Sul até a transposição - Bacia do Guandu até a captação da ETA Guandu)	VULNERABILIDADE (ETA Guandu quanto à quantidade e qualidade de água bruta)
Variabilidade Climática (Intensificação de eventos extremos)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A análise dos dados (1980-2009) indica tendência de intensificação de extremos: incremento de precipitação no período chuvoso e redução do volume de chuvas na estação seca. ▪ Desde 1994, em três ocasiões as águas acumuladas do reservatório equivalente (conjunto dos reserv. de Paraibuna, Santa Branca, Jaguari e Funil) atingiram níveis preocupantes, abaixo de 35%. ▪ Entre 2001 e 2003, o reservatório equivalente atingiu níveis mínimos alarmantes, abaixo de 15% do volume útil. As condições hidrológicas adversas nas cabeceiras do rio Paraíba do Sul foram apontadas como principal causa do progressivo deplecionamento dos reservatórios. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A intensificação dos extremos aumenta o risco de inundações e estiagens. ▪ Há relatos de problemas de inundação no ponto de captação da ETA Guandu, mas eles não inviabilizaram a captação. ▪ Eventuais estiagens na área de influência da ETA Guandu geralmente não são ressentidas no ponto de captação, exceto no evento crítico de 2003. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inundações e estiagens são amenizadas pelo fluxo regularizado dos rios Paraíba do sul e Guandu, através do complexo sistema de infraestrutura hídrica das bacias. ▪ A gestão compartilhada dos reservatórios com todos os organismos envolvidos (ANA, ONS, Ceivap, gestores estaduais e usuários) é apontada como importante ação adaptativa para evitar ou mitigar estresses hídricos, como o ocorrido em 2003. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A escassez de água e a progressiva diminuição da vazão transposta, entre 2001 e 2003, indicaram uma vulnerabilidade da Bacia Paraíba do Sul e, conseqüentemente, do rio Guandu quanto à quantidade de água, nunca antes evidenciados. ▪ Nessa ocasião, o rio Guandu, com menores vazões, piorou a qualidade da água em função da concentração da poluição: <ul style="list-style-type: none"> ○ A proliferação de algas tóxicas próximas a captação da ETA Guandu; ○ Problemas de odor na água distribuída, em 2001, forçaram a interrupção, por um dia, e redução, por mais de uma semana, da produção da ETA.

FATOR DE ESTRESSE	EXPOSIÇÃO	SENSIBILIDADE	AÇÕES ADAPTATIVAS	VULNERABILIDADE
<p>Infraestrutura hídrica da transposição e do Complexo de Lajes</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A transposição tem importância vital para a disponibilidade hídrica do rio Guandu, constituindo-se, portanto, em forte exposição para a ETA Guandu. ▪ Esta exposição é intensificada na ausência de um sistema de segurança em partes da estrutura que permita continuar a transposição em caso de pane ou manutenção (redundância). ▪ Desde 1978, parte do sistema não recebe manutenção preventiva pela impossibilidade de interromper, por muito tempo, a transposição, o que afetaria o fornecimento de água pela ETA Guandu. De 2000 até 2010, a transposição foi paralisada para manutenção do sistema apenas uma vez, durante 30 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A quantidade e qualidade das águas no ponto de captação da ETA Guandu são profundamente dependentes das águas transpostas da Bacia do rio Paraíba do Sul. ▪ A transposição/ Complexo de lajes têm se mostrado capazes de garantir água para a captação da ETA Guandu. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A mais importante ação adaptativa para a transposição consiste na construção de um sistema de redundância em partes da sua estrutura que garantirá fornecimento de água para a ETA Guandu, mesmo durante longos períodos de manutenção. ▪ Uma alternativa técnica já foi escolhida pelas instituições envolvidas (LIGHT, INEA, Comitê Guandu, etc.), entre três opções estudadas no estudo de viabilidade, e encontra-se em fase de projeto executivo (abril 2011). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A vulnerabilidade da ETA Guandu em relação à transposição é muito alta, sobretudo na ausência de uma alternativa de confiabilidade de atendimento (redundância). ▪ Ainda assim, a transposição - Complexo de Lajes têm globalmente garantido a água necessária à ETA Guandu. ▪ Nas atuais condições, a ETA Guandu exige uma transposição mínima de 119 m³/s no rio Guandu, de modo a diluir a carga orgânica que se forma próximas à captação. ▪ Entre 2005 e 2010, a vazão transposta esteve 271 vezes abaixo de 119m³/s, nas quais 48 abaixo de 100m³/s e 9 vezes abaixo de 50m³/s.

FATOR DE ESTRESSE	EXPOSIÇÃO	SENSIBILIDADE	AÇÕES ADAPTATIVAS	VULNERABILIDADE
<p style="text-align: center;">Condições ambientais e qualidade da água</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Os diagnósticos das Bacias Paraíba do Sul e Guandu evidenciam problemas ambientais críticos, desde a escassez de florestas à poluição das águas, passando pela degradação dos solos e erosão generalizada nas bacias. ▪ O crescimento urbano desordenado com ocupação irregular de encostas e margens de rios tem criado situações de risco de deslizamentos de terra, inundações e aumentado substancialmente a turbidez das águas. ▪ O baixo nível de tratamento de esgotos domésticos é um grande fator de poluição dos rios Paraíba do Sul e Guandu. ▪ Acidentes ambientais envolvendo produtos industriais perigosos têm sido fortemente impactantes (ver adiante). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O ponto de captação da ETA Guandu é altamente desfavorável em relação à qualidade de água por situar-se a jusante de muitas áreas urbanas e industriais. ▪ A grande quantidade de carga orgânica proveniente dos rios Poços/Queimados e Ipiranga, que deságuam no rio Guandu imediatamente a montante da captação da ETA Guandu, favorece a proliferação de algas e cianobactérias tóxicas representando um alto risco à saúde humana. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O agravamento das condições ambientais e da qualidade da água, no decorrer dos anos, impôs algumas medidas adaptativas para a continuidade da captação da ETA Guandu. ▪ A excessiva carga orgânica oriunda dos rios Poços/Queimados e Ipiranga exige uma vazão bem maior do que a captada, de modo a criar condições de tratamento da água bruta. ▪ Apesar de captar somente 45 m³/s, a ETA Guandu impõe uma vazão mínima para a transposição (119 m³/s) e a jusante da UHE de Pereira Passos (120 m³/s). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apesar das condições ambientais adversas, a tecnologia de tratamento de água da ETA Guandu tem se mostrado suficiente para os padrões exigidos pela legislação. ▪ A utilização de produtos químicos é intensa: 318 toneladas de produtos químicos por dia no processo de tratamento. ▪ No período chuvoso, a vulnerabilidade da ETA Guandu à turbidez é intensa, chegando até mesmo a paralisar parcialmente a Estação. ▪ De 2000 a 2010, a ETA Guandu foi parcialmente paralisada 22 vezes, em função do grande aporte de sedimentos no rio Guandu.

FATOR DE ESTRESSE	EXPOSIÇÃO	SENSIBILIDADE	AÇÕES ADAPTATIVAS	VULNERABILIDADE
<p>Acidentes ambientais (tecnológicos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ As Bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu apresentam alto grau de exposição a acidentes ambientais, de fontes fixas e móveis. ▪ Uma região particularmente exposta é o Médio Paraíba do Sul, que tem importante parque industrial e é palco de graves acidentes ambientais, a exemplo do vazamento do pesticida endosulfan, em 2008, que impactou fortemente o rio Paraíba do Sul. ▪ Ambas as bacias possuem extensa malha de ferrovias e rodovias próximas aos rios, que são muito utilizadas inclusive para o transporte de produtos perigosos. Somente na rodovia Presidente Dutra no ERJ (28 trechos de 5 km nas bacias Paraíba do Sul e Guandu), estudos apontam 10 trechos de risco médio, 5 trechos de alto risco e 1 trecho com risco muito alto no transporte de cargas perigosas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Embora a captação da ETA Guandu esteja a jusante de trechos de alto risco de acidentes ambientais, o sistema de transposição serve como defesa para acidentes no Médio rio Paraíba do Sul. ▪ Nesses casos, o reservatório de Lajes é apontado como capaz de suprir a ETA Guandu de 8 a 30 dias, embora com risco de desmoronamento das margens e comprometimento da flora e da fauna; ainda, a captação de superfície da “Calha da Cedae” seria interrompida. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apesar do controle de poluição industrial, graves acidentes ocasionais indicam a necessidade de mais ações de prevenção e controle. ▪ Atualmente, medidas que visem à redução de acidentes com fontes móveis são claramente insuficientes. ▪ Uma importante medida de adaptação é a elaboração de planos de contingência de acidentes ambientais para as bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu, ainda inexistentes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A captação da ETA Guandu apresenta relativa vulnerabilidade em relação aos acidentes ambientais de fontes fixas e móveis. ▪ Entre 2000 e 2010, a transposição foi paralisada por completo apenas 4 vezes: <ul style="list-style-type: none"> ○ 2 vezes por motivos de poluição acidental de fontes fixas; ○ 1 vez por poluição acidental de fontes móveis; ○ 1 vez para manutenção do sistema de transposição. ▪ Esta pesquisa não registrou nenhuma paralisação total da ETA Guandu em função desses acidentes; houve apenas reduções no sistema de produção de água tratada.

4 CONCLUSÃO

Considerada como uma das maiores estações de tratamento de água do mundo, a ETA Guandu, operada pela Cedae, é responsável pelo abastecimento de 8,5 milhões de pessoas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Este trabalho buscou desenvolver uma análise qualitativa da vulnerabilidade das águas captadas pela Estação, em termos de quantidade e qualidade, perante diversos fatores de estresse, visando dimensionar a importância da variabilidade climática na composição de sua vulnerabilidade.

A extensa revisão bibliográfica revelou que o conceito de vulnerabilidade, sobretudo associado às variabilidades e mudanças climáticas, é bastante amplo e abrange diversas escolas científicas e abordagens conceituais. Ele deve, portanto, ser escolhido e adaptado de acordo com os objetivos e as finalidades de cada estudo.

Nesta pesquisa, adotamos conceitos de Füssel (2007) e propostas metodológicas de Yohe e Tol (2002), adaptadas por Engle e Lemos (2007), onde a vulnerabilidade é definida como função da 'exposição' (natureza e grau em que um sistema experimenta estresses ambientais; por exemplo, estiagem) e da 'sensibilidade' (grau em que um sistema é afetado, de forma positiva ou negativa; tal como a qualidade de água em um ponto de captação). O grau de exposição e sensibilidade de um sistema depende, por sua vez, da sua 'capacidade adaptativa', ou seja, a capacidade de um determinado sistema de se ajustar, moderar ou lidar com as consequências de um estresse (por exemplo, utilização de tecnologias avançadas para tratamento de água).

Para o desenvolvimento da metodologia específica ao estudo de caso da ETA Guandu, utilizamos ainda o esquema conceitual de Raber *et al.* (2010) que propõem uma estrutura metodológica para análise da vulnerabilidade da disponibilidade hídrica para abastecimento público, em bacias hidrográficas, perante impactos da variabilidade climática.

Durante o desenvolvimento da metodologia, foi possível apreender que o fator de estresse 'variabilidade climática' é apenas mais uma camada (*layer*) que compõe a vulnerabilidade como um todo. A partir da análise da extensa literatura sobre as bacias, entrevistas e questionários com atores-chave, selecionamos então

três outros fatores de estresse considerados como os mais determinantes para a vulnerabilidade atual da água captada pela ETA Guandu, formando o seguinte conjunto de estressores: i) variabilidade climática; ii) transposição; iii) condições ambientais e qualidade da água; e iv) acidentes ambientais. A relação entre a exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa da ETA Guandu e sua área de influência, perante cada um destes quatro fatores de estresse, é que determinam a vulnerabilidade global das águas captadas no rio Guandu.

Os resultados evidenciaram que o fator de estresse que determina a maior vulnerabilidade da ETA Guandu, atualmente, é a transposição. O sistema de transposição das águas dos rios Paraíba do sul e Pirai para o rio Guandu é condicionante para a disponibilidade hídrica, em qualidade e quantidade, no ponto de captação da ETA. Atualmente, este sistema apresenta ao longo de sua cadeia de adução diversos elementos que não possuem redundância; esta fragilidade é agravada pela impossibilidade atual de manutenção preventiva, já que a interrupção da transposição por um longo período – estima-se em três meses o tempo necessário para a manutenção de algumas partes da estrutura – teria fortes impactos na ETA Guandu e no abastecimento da Região Metropolitana. Este problema, no entanto, está na ordem do dia entre as instituições diretamente envolvidas (Light, Inea, Cedae, ANA, Comitê Guandu, etc.): um estudo de viabilidade, concluído em novembro de 2010, permitiu a escolha de uma alternativa técnica, entre três opções estudadas, e se encontra em fase de projeto executivo; o arranjo financeiro para a sua implementação ainda não foi definido. Esta ação adaptativa diminuiria sensivelmente a vulnerabilidade da infraestrutura hídrica da transposição e do Complexo de Lajes.

A degradação ambiental enfrentada pelas bacias Paraíba do Sul e Guandu (desmatamento, ocupação indevida das margens, poluição por esgoto doméstico, efluentes industriais e até resíduos sólidos) evidencia a segunda maior vulnerabilidade da ETA, relacionada aos problemas de qualidade da água no ponto de captação. O problema de qualidade de água é tão grave que impõe uma vazão mínima para a transposição (119 m³/s) e a jusante da UHE de Pereira Passos (120 m³/s), bastante superior à vazão captada pela ETA Guandu (45 m³/s). Na 'Lagoa do Guandu', próximo à captação da ETA Guandu, muitas vezes a carga de nutrientes proveniente de esgotos domésticos é tão grande que favorece o processo de eutrofização e possibilita o desenvolvimento de cianobactérias. Mas é a turbidez que

atualmente determina o maior grau de vulnerabilidade da qualidade da água captada pela ETA Guandu. No período chuvoso, é comum a redução da capacidade de tratamento devido à intratabilidade da água, barrenta e turva; segundo informações da Cedae, a ETA Guandu foi parcialmente paralisada 22 vezes, nos últimos 10 anos, em função do grande aporte de sedimentos. A alta turbidez da água está principalmente relacionada com a degradação ambiental das bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu. No rio Guandu a atividade de extração de areia tem particular importância, já que seus impactos ainda não foram mitigados.

O risco de acidentes ambientais, principalmente na região do Médio Paraíba do Sul, é muito alto, devido ao importante parque industrial (fontes fixas) e extensa malha de ferrovias e rodovias (fontes móveis) próximos aos corpos d'água. Segundo dados da SOPEA/INEA, de 2000 até 2010, entre as dezenas de ocorrências de emergências ambientais tecnológicas, somente três acidentes foram considerados de grande magnitude, sendo dois deles localizados na região do Médio Paraíba do Sul e um acidente na bacia do rio Guandu. Nesse período, esta pesquisa não identificou nenhum registro de paralisação total da ETA Guandu em função de acidentes ambientais, embora algumas vezes estes tenham imposto a paralisação da transposição. O derramamento do inseticida Endosulfan em um afluente do rio Paraíba do Sul pela empresa Servatis, em novembro de 2008, é apontado como o único acidente ambiental tecnológico, ocorrido nos últimos 10 anos, que refletiu na captação de água bruta da ETA Guandu.

Em suma, pode-se afirmar que a captação da ETA Guandu apresenta relativa vulnerabilidade em relação aos acidentes ambientais de fontes fixas e móveis. Embora o Médio Paraíba do Sul, a montante de todo o sistema de transposição, seja particularmente vulnerável, a exposição da ETA Guandu é baixa graças à transposição que, nesses casos, pode ser interrompida para evitar a poluição do rio Guandu, como o ocorrido com o acidente do endosulfan em 2008.

O fator de estresse 'variabilidade climática', em particular a intensificação de eventos hidrológicos extremos (inundação e estiagens), mostrou-se o estressor menos determinante da vulnerabilidade atual da quantidade e qualidade das águas captadas pela ETA Guandu. Embora uma análise das precipitações nas bacias Paraíba do Sul e Guandu (1980-2009), realizada no escopo desta pesquisa, tenha detectado uma tendência de aumento dos extremos no período chuvoso e na

estação seca para as bacias de estudo, não registramos eventos expressivos no ponto de captação da Estação, no rio Guandu.

De fato, foram apontados problemas relacionados à inundação no ponto de captação da ETA Guandu, mas o seu funcionamento não foi prejudicado, segundo relato da Cedae. Da mesma forma, eventuais estiagens na área de influência da ETA Guandu geralmente não são sentidas no ponto de captação devido à manutenção da vazão transposta do rio Paraíba do Sul (119 m³/s, em Santa Cecília, e 120 m³/s, na hidrelétrica de Pereira Passos). Entretanto, a escassez atípica entre 2001 e 2003, quando o conjunto de reservatórios de regularização da Bacia do rio Paraíba do Sul atingiu níveis abaixo de 15% do volume útil de armazenamento, teve impactos importantes na Bacia do rio Paraíba do Sul e na Bacia do Guandu, indicando que a variabilidade climática pode ser uma ameaça ao sistema de produção de água da ETA Guandu. Este cenário pode ser fortemente agravado por uma eventual transposição das águas das cabeceiras do rio Paraíba do Sul para as Regiões Metropolitanas de São Paulo e/ou Campinas, atualmente em discussão.

Pode-se, finalmente, concluir que as vulnerabilidades associadas à transposição/Complexo de Lajes e às condições ambientais e do uso e ocupação do solo, sobre a quantidade e qualidade das águas das bacias Paraíba do Sul e Guandu, são atualmente mais determinantes para a vulnerabilidade global da ETA Guandu do que a influência direta dos eventos hidrológicos extremos oriundos da variabilidade climática.

Para pesquisas futuras, sugere-se maior detalhamento do fator de estresse 'condições ambientais e qualidade de água', indicando as áreas mais vulneráveis aos diferentes componentes que compõem este estressor. A metodologia qualitativa aqui adotada poderia igualmente incluir outros fatores de estresse na análise de vulnerabilidade, sobretudo os aspectos operacionais da ETA Guandu, sobre os quais não conseguimos informações.

Recomenda-se, também, o desenvolvimento de metodologias de análise quantitativa de vulnerabilidade, com a combinação de diferentes estressores através da atribuição de pesos relativos, de modo a determinar um índice global de vulnerabilidade da ETA Guandu.

REFERÊNCIAS

ADGER, W. N. ; BROOKS, N.; BENTHAM, G.; AGNEW, M.; ERIKSEN, S. *New Indicators of vulnerability and adaptive capacity*. Tyndall Centre for Climate Change Research, Technical Report 7, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK. 123p. 2004.

ADGER, W. N. *Vulnerability*. Global Environmental Change. 2006.

ANA - Agência Nacional das Águas. Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim. Relatório do Diagnóstico – Final. Brasília: ANA. 2006.

ANA - Agência Nacional das Águas. *Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água*. Resultados por estado – Final. Brasília: ANA: Engecorps / Cobrape. 2010.

ANA - Agência Nacional das Águas. Boletim de monitoramento dos reservatórios do sistema hidráulico do Rio Paraíba do Sul. Brasília: ANA. 2011.

BLAIKIE, P. T.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER, B. *At Risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters*. London: Routledge. 1994.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 518, de 25 de março de 2004**. Estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 de março de 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 de março de 2005.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (IMPE). MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: Conceitos Básicos. Rio Grande do Sul: INPE/CRS, 2008.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres. 5 ed. S.D. Disponível em: <<http://www.defesacivil.gov.br/.asp>> Acesso em 10 jan. 2010.

BROOKS, N., ADGER, W. N., KELLY, P. M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications of adaptation. *Global Environmental Change*. v.15 p.151-163. 2005.

BURTON, I.; KATES, R. W.; WHITE, G. F. *The Environment as Hazard*. The Guilford Press, New York. 1993.

CAMPOS, J. D. *Cobrança pelo Uso da Água nas Transposições da Bacia do Rio Paraíba do Sul: Envolvendo o Setor Elétrico*. 2001. 192f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil. Área de Concentração: Recursos Hídricos). Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2001.

CAMPOS, J. D. *Desafios do gerenciamento dos recursos hídricos nas transferências naturais e artificiais envolvendo mudança de domínio hídrico*. 2005. 428f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil. Área de Concentração: Recursos Hídricos). Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

CARPENTER, S.; Walker, B.; Anderies, J. M.; Abel, N. *From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? Ecosystems*. v.4, p.765-781. 2001.

CEDAE - COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS. *Obras de proteção da tomada d'água da CEDAE no rio Guandu*. Relatório de Impacto Ambiental, Rio de Janeiro, 2010.

CEDAE - COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUA E ESGOTO. Apresenta informações gerais sobre a instituição. Disponível em: <http://www.cedae.rj.gov.br>. Acesso em: 12 fev. 2011.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de Riscos*. São Paulo, 2003.

COPPETEC/UFRJ - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro: Laboratório de Hidrologia. *Determinação "in situ" das Velocidades Médias de Trânsito e Coeficientes de Dispersão entre Santa Cecília e a E.T.A. do Guandu (CEDAE)*. Projeto COPPETEC ET- 150422. 1991.

COPPETEC/UFRJ - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro: Laboratório de Hidrologia. *Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul*. Diagnóstico dos Recursos Hídricos. Relatório Final. (Relatório Contratual R7: PSR-010-R0). Novembro. 2006^a

COPPETEC/UFRJ - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro: Laboratório de Hidrologia. *Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul*. Caderno de Ações Área de Atuação da AMPAS. Relatório Final. (Anexo 2 do Relatório Contratual R-10). Novembro. 2006^b

COELHO NETTO, A. L. (coord.). 2008. *Análise e qualificação sócio-ambiental do Estado do Rio de Janeiro (escala 1:100 000): subsídios ao zoneamento ecológico-econômico*. Disponível em: <http://zeerj.bem-vindo.net/portal/?q=node/61>. Acesso em: 2 out. 2010.

- CUMMING, G. S.; CUMMING, D. H. M.; REDMAN, C. L. *Scale Mismatches in Social-Ecological Systems: Causes, Consequences, and Solutions*. Ecology and Society. v.11, p.1-14. 2006.
- CUTTER, S. L.; MITCHELL, J. T.; SCOTT, M. S. *Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case study of Georgetown Country, South Carolina*. Annals of the Association of American Geographers. v.90, n.4 p.713-737. 2000
- CUTTER, S. L. *The vulnerability of science and the science of vulnerability*. Annals of the Association of American Geographers. v.93, p.1-12. 2003.
- EM-DAT – Emergency Events Database. The OFDA/CRED International Disaster Database. Santa Maria. Disponível em: <http://www.em-dat.net/>. Acesso em: 1 fev. 2010).
- ENGLE, N. L.; LEMOS, M. C. *Capacidade de Adaptação as Mudanças Climáticas e Gerenciamento de Recursos Hídricos no Nordeste Brasileiro: Estudo Preliminar*. Trabalho submetido ao Simpósio da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) de 2007. 2007
- FAYE-VISSER, S. M.; BRUINS, B.; VAN WILLIGEN, M. *Integrated Watershed Management*. Course Reader ESW-30306, Wageningen University. 2007.
- FEEMA – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. *Aspectos gerais sobre a utilização das águas do rio Guandu*. 1980
- FOLKE, C.; HAHN, T.; OLSSON, P.; NORBERG, J. *Adaptive governance of social-ecological systems*. Annual Review of Environment and Resources v.30, p.441-73. 2005.
- FORMIGA-JOHNSSON, R. M. *Alocação de água & Participação em Situações de Escassez: um relato da experiência de gestão compartilhada dos reservatórios da Bacia do rio Paraíba do Sul*. Trabalho apresentado no II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Rio de Janeiro, 2008.
- FUSSEL, H. M.; KLEIN, R. J. T. *Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking*. Climatic Change. v.75, n.3, p.301-329. 2006.
- FUSSEL, H. M. *Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research*. Global Environmental Change. v.17, p.155-167. 2007.
- GERMAN, L.; MANSOOR, H.; ALEMU, G.; MAZENGIA, W.; AMEDE, T.; STROUD, A. *Participatory integrated watershed management: Evolution of concepts and methods in an ecoregional program of the eastern African highlands*. Agricultural Systems. v.94, p.189-204. 2007.

GIORI, J. Z. *Análise dos Efeitos de Despejos Acidentais de Poluentes em Corpos Hídricos Usando Traçadores Fluorescentes: Estudo de Caso da Bacia do rio Guandu/RJ*. 2011. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil. Área de Concentração: Recursos Hídricos) Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2011.

HEBB, A.; MORTSCH, L. *Floods: Mapping vulnerability in the upper Thames watershed under a changing climate*, CFCAS Project, Project Report XI. 2007.

HIPEL, K. W.; MCLEOD, A. L. *Time series modeling of water resources and environmental systems*. Amsterdam: Ed. Elsevier, 101p. 1994.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa nacional de saneamento básico*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2010.

INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. *Projeto de revitalização da vertente sul da Serra da Carioca: Sub-bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas*. Relatório de Acompanhamento do Projeto Consolidação dos Dados de Qualidade de Água - 2003 a 2010. Rio de Janeiro, 2010.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Impacts, Adaptation and Vulnerability: Intergovernmental panel on climate change, Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. McCarty, J. J.; Canziani, O. F.; Leary, N. A.; Dokken, D. J.; White, K. S. (Eds.). Cambridge University Press. 2001a.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *The Scientific Basis: Intergovernmental panel on climate change, Working Group I: The Scientific Basis*, Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguer, M.; Dai, X.; Maskell, K.; Johnson C.A. (Eds.). Cambridge University Press. 2001b.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems*, Working Group II Report Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental panel on climate change, Rosenzweig, C.; Casassa, G.; Geneva. Switzerland. 2007.

JANSSEN, M. A. An Update on the Scholarly Networks on Resilience, Vulnerability, and Adaptation with the Human Dimensions of Global Environmental Change. *Ecology and Society*. v.12, p.2-9. 2007.

KENDALL, M.; GIBBONS, J. D. *Rank Correlation Methods*. London: Edward Arnold. 1990.

KROL, M. S.; BRONSTERT, A. Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modelling & Software*. v.22, p.259-68. 2007.

LIGHT - LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A. *Disponibilidade hídrica do rio Guandu - Mitigação de risco*. Dezembro. 2010a.

LIGHT - LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A. *Complexo Hidrelétrico de Lajes*. Estudo de alternativas para a implementação de estruturas no complexo de Lajes visando o aperfeiçoamento operacional de seu uso múltiplo em particular para o abastecimento de água da Região Metropolitana da cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COBA, Novembro. 2010b.

LIGHT - LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A. Apresenta informações gerais sobre a instituição. Disponível em: <http://www.light.com.br/web/tehome.asp>. Acesso em: 20 mar. 2011.

LEBEL, L.; ANDERIES, J. M.; CAMPBELL, B.; FOLKE C.; HATFIELD-DODDS, S.; HUGHES, T. P.; WILSON, J. *Governance and the Capacity to Manage Resilience in Regional Social-Ecological Systems*. *Ecology and Society*. v.11, n.1. 2006.

LEMONS, M. C., A. BELL, N. ENGLE, R. FORMIGA-JOHNSON, NELSON D. R. Technical Knowledge and Water Resources Management: A Comparative Study of River Basin Councils, Brazil. *Water Resource Research*, in press. 2010.

MARENGO, J. *Variations and change in South American streamflow*. *Clim. Change*, v.31, p.99-117. 1995.

MYSIAK, J., PAHL-WOSTL, C., SULLIVAN, C., E BROMLEY, B. (Orgs). *The Adaptive Water Resource Management Handbook*. London: Earthscan, 2009.

NEWELL, B.; CRUMLEY, C. L.; HASSAN, N.; LAMBIN, E. F.; PAHL-WOSTL, C.; UNDERDAL, A.; WASSON, R. *A conceptual template for integrative human-environment research*. *Global Environmental Change*. v.15, p.299-307. 2005.

O'BRIEN, K.; LEICHENKO, R.; KELKAR, U.; VENEMA, H.; AANDAHL, G.; TOMPKINS, H.; JAVED, A.; BHADWAL, S.; BARG, S.; NYGAARD, L.; WEST, J. *Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India*. *Global Environmental Change*. v.14, p.303-313. 2004.

OLIVEIRA, P. D. de; GUILHON, L. G. F. *A Operação Hidráulica da Bacia do Rio Paraíba do Sul: a racionalização do uso de seus recursos hídricos*. Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, Resende, RJ, Março. 2008.

OLSSON, P.; FOLKE, C.; BERKES, F. *Adaptive comanagement for building resilience in social-ecological systems* *Environmental Management* 34(1): 75-90. 2004. Disponível em: http://arquivoglobo.globo.com/aog_index.asp?palavra=CEDAE. Acesso em: 05 ago 2010

PESSOA, M. A. R. *IQA_{FAL} - Índice de Qualidade de Água para Ambiente Lótico*. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação – Área de Concentração: Geomática). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.

PINTO, F. R. L. *Equações de intensidades-duração freqüência da precipitação para os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo: estimativa e espacialização*. 1999. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

POPPE, M. K.; LA ROVERE, E. (Org.). *Mudanças climáticas*. Brasília: Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Presidência da República, 2005. (Cadernos do Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República-NAE, v. 1).

RABER, W.; JOHNS, O; NOGUEIRA, M. A. R. B. Assessing vulnerability of domestic water supply towards climate variability in major river basins of the state Rio de Janeiro, Brazil. Relatório de pesquisa. Projeto Variabilidades e mudanças climáticas & abastecimento urbano de água no Estado do Rio de Janeiro: impactos, vulnerabilidade e capacidade de adaptação. Rio de Janeiro, 2010.

RUIJGH-VAN DER PLOEG, T.; VERHALLEN, A. J. M. *Envisioning the future of transboundary river basins with case-studies from the Scheldt river basin, (35p) chapter 2 Exploring the future, chapter 5 value for future studies EU WFD, chapter 6 Strategic conversations*. 2002.

SEN, A. K. *Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation*. Oxford: Clarendon Press. 1981.

SEN, A. K. *Resources, Values and Development*. Oxford: Blackwell and Cambridge, MA: Harvard University Press. 1984

SERRICCHIO, C.; CALAES, V.; FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; LIMA, A. J. R.; ANDRADE, E. de P. *O CEIVAP e a gestão integrada dos recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul*. Rio de Janeiro: CAIXA, 2005.

SIMÕES, S. J. C. & BARROS, A. P. *Variabilidade climática e seus efeitos na disponibilidade hídrica superficial – A Bacia do Rio Paraíba do Sul, Sudeste do Brasil*. 2005.

TURNER II, B. L. ; KASPERSON, R. E.; MATSON, P. A.; MCCARTHY, J. J.; CORELL, R. W.; CHRISTENSEN, L.; ECKLEY, N.; KASPERSON, J. X.; LUERS, A.; MARTELLO, M. L.; POLSKY, C.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. *A framework for vulnerability analysis in sustainability science* Proceedings of the National Academy of Sciences US. v.100, p.8074–8079. 2003.

VIANA, V. J. *Riscos Ambientais decorrentes de Acidentes no Transporte de Produtos Perigosos na Área de Influência da ETA Guandu*. 2009. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

WALKER, B.; HOLLING, C. S.; CARPENTER, S. R.; KINZIG, A. *Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems*. Ecology and Society. v.9, p.2-5. 2004.

WISNER, B.; BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. *At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. 2ed., UNEP. 2003.

YOHE, G.; TOL, R. S. J. Indicators for social and economic coping capacity—moving toward a working definition of adaptive capacity. *Global Environmental Change*. v.12, n.1, p.25–40. 2002.

APÊNDICE 1- Questionário aplicado à Cedae.



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E DO MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

QUESTIONÁRIO

Objetivo: Estudar a influência de eventos hidrológicos extremos na captação da ETA Guandu.

I. IDENTIFICAÇÃO

Declarante:
Instituição:
Função:
E-mail:
Tel / Fax:

II. ASPECTOS AMBIENTAIS NO PONTO DA CAPTAÇÃO

Existe monitoramento de qualidade da água pela instituição?

- Sim
 Não

Qual a frequência do monitoramento?

Principais parâmetros avaliados?

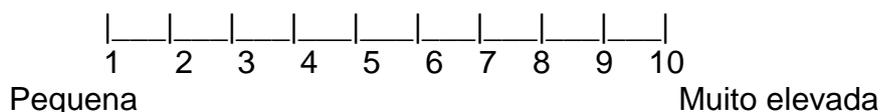
R. São Francisco Xavier, 524, 5º andar - Bloco B - Sala 5016
Maracanã - Rio de Janeiro - RJ - Cep 20550-900
Telefone: 2334-0627
E-mail: eng@uerj.br



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
 CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 FACULDADE DE ENGENHARIA
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E DO MEIO AMBIENTE
 PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

IV. VULNERABILIDADE

Na sua opinião, qual é o grau de vulnerabilidade da captação da ETA Guandu em relação aos problemas enfrentados pelo rio Paraíba do Sul?



Preencha o quadro abaixo, para os últimos 10 anos, com as seguintes informações referentes à captação de água da ETA Guandu:

- Mês de cada paralisação.
- Tempo de duração de cada paralisação.
- Intensidade de cada paralisação.
 - Total ou Parcial
- Qual foi o motivo de cada paralisação?
 - 1- Problemas técnicos / manutenção do sistema de transposição
 - 2- Estiagem / Seca
 - 3- Chuvas Intensas
 - 4- Inundações / Cheias
 - 5- Poluição por esgoto doméstico
 - 6- Poluição oriunda do lançamento de efluentes industriais
 - 7- Poluição acidental de fontes móveis
 - 8- Poluição acidental de fontes fixas
 - 9- Contaminação por agrotóxicos
 - 10- Sólidos em suspensão
 - 11- Sedimentos / Assoreamentos
 - 12- Outros.

Exemplo:

ANO 2000

Paralisação	Mês	Tempo	Intensidade	Motivos
1	Março	10 dias	Parcial	3

R. São Francisco Xavier, 524, 5º andar - Bloco B - Sala 5016
 Maracanã - Rio de Janeiro - RJ - Cep 20550-900
 Telefone: 2334-0627
 E-mail: eng@uerj.br



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E DO MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

V. ESTUDOS EXISTENTES

Indicar estudos existentes que relacionam vulnerabilidade, variabilidade climática e a bacia do rio Paraíba do Sul e Guandu.

R. São Francisco Xavier, 524, 5º andar - Bloco B - Sala 5016
Maracanã - Rio de Janeiro - RJ - Cep 20550-900
Telefone: 2334-0627
E-mail: eng@uerj.br

APÊNDICE 2- Questionário aplicado à ANA, ONS e Light.



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E DO MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

QUESTIONÁRIO

Objetivo: Estudar a vulnerabilidade da captação da ETA Guandu identificando inclusive as épocas do ano em que a transposição das águas do rio Paraíba do Sul é mais afetada e o motivo de cada intervenção.

I. IDENTIFICAÇÃO

Declarante:
Instituição:
Função:
E-mail:
Tel / Fax:

II. ASPECTOS AMBIENTAIS NO PONTO DA TRANSPOSIÇÃO

Existe monitoramento de qualidade da água pela instituição?

- Sim
 Não

Qual a frequência do monitoramento?

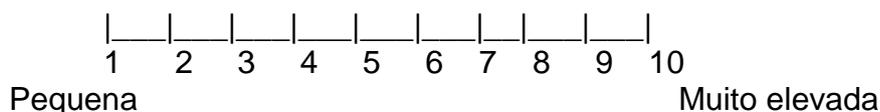
Principais parâmetros avaliados?



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
 CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 FACULDADE DE ENGENHARIA
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E DO MEIO AMBIENTE
 PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

IV. VULNERABILIDADE

Na sua opinião, qual é o grau de vulnerabilidade da captação da ETA Guandu em relação aos problemas enfrentados pelo rio Paraíba do Sul?



Preencha o quadro abaixo, para os últimos 10 anos, com as seguintes informações referentes à transposição:

- Mês de cada paralisação.
- Tempo de duração de cada paralisação.
- Intensidade de cada paralisação.
 - Total ou Parcial
- Qual foi o motivo de cada paralisação?
 - 1- Problemas técnicos / manutenção do sistema de transposição
 - 2- Estiagem / Seca
 - 3- Chuvas Intensas
 - 4- Inundações / Cheias
 - 5- Poluição por esgoto doméstico
 - 6- Poluição oriunda do lançamento de efluentes industriais
 - 7- Poluição acidental de fontes móveis
 - 8- Poluição acidental de fontes fixas
 - 9- Contaminação por agrotóxicos
 - 10- Sedimentos / Assoreamentos
 - 11- Outros.

Exemplo:

ANO 2000

Paralisação	Mês	Tempo	Intensidade	Motivos
1	Março	10 dias	Parcial	3



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E DO MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

V. ESTUDOS EXISTENTES

Indicar estudos existentes que relacionam vulnerabilidade, variabilidade climática e a bacia do rio Paraíba do Sul e Guandu.

APÊNDICE 3 - Lista de atividades industriais.

Código Declaração	Região Hidrográfica	Razão Social	de Corpo Hídrico	no Corpo Hídrico	qtVazao Med	qtHoras	qtDia Mes	qtMes Ano	Latitude	Longitude
88635	Médio Paraíba do Sul	Transfutura Transportes LTDA	Nascente	Aquífero subterrâneo	100	12	25	12	-22,548056	-44,183611
88684	Médio Paraíba do Sul	Transfutura Transportes LTDA	Nascente	Aquífero superficial	150	12	25	12	-22,548056	-44,183611
105057	Guandu	Areal Riacho Doce LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	30	8	24	12	-22,861944	-43,672778
105092	Guandu	Areal São José de Seropédica LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	11	8	24	12	-22,836111	-43,687222
64853	Guandu	Gilpatric Indústria de Terrinha e Extração de Areia LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	7	8	24	12	-22,823056	-43,672778
105093	Guandu	Areal Diúcia LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	58	8	24	12	-22,817778	-43,668889
105060	Guandu	Areal Fernandes e Cardoso LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	2	8	24	12	-22,807222	-43,663333
65029	Guandu	Areal Aninha LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	11	8	24	12	-22,837778	-43,688611
105081	Guandu	Areal Piranema LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	4	8	24	12	-22,835556	-43,657222
105096	Guandu	Areal Potência LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	12	8	24	12	-22,817778	-43,692500
105076	Guandu	Areal Pedra de Ouro LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	22	8	24	12	-22,835278	-43,682778
105084	Guandu	Areal Reta dos 500 LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	7	8	24	12	-22,826944	-43,671667
105075	Guandu	Cibrazil Mineração LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	19	8	24	12	-22,821111	-43,673056
105080	Guandu	Areal Nova República LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	14	8	24	12	-22,825278	-43,680556
105097	Guandu	Porto de Castilho Extração de Areia LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	9	8	24	12	-22,826389	-43,670833
65064	Guandu	Areal Silva Macedo LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	65	8	24	12	-22,853611	-43,715278
64926	Guandu	Areal do Futuro Extração de Areia LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	4	8	24	12	-22,864444	-43,727222
105054	Guandu	Areal Santa Helena de Itaguaí LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	11	8	24	12	-22,854167	-43,731667

Código Declaração	Região Hidrográfica	Razão Social	de Corpo Hídrico	no Corpo Hídrico	qtVazao Med	qtHoras	qtDia Mes	qtMes Ano	Latitude	Longitude
105051	Guandu	Seropareal Extração de Areia LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	40	8	24	12	-22,851667	-43,707500
105058	Guandu	Areal Barroso LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	11	8	24	12	-22,849167	-43,703611
105053	Guandu	Areal Transmontano de Itaguaí LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	12	8	24	12	-22,845278	-43,713889
105089	Guandu	Areal Imperador de Itaguaí LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	10	8	24	12	-22,867222	-43,674167
105050	Guandu	Areal Bandeirante de Itaguaí LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	32	8	24	12	-22,860278	-43,723611
105055	Guandu	Areal Salioni Cunha LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	6	8	24	12	-22,854444	-43,717222
91621	Guandu	Areal Família Unida LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	111	8	24	12	-22,858889	-43,696111
64927	Guandu	Areal Transluso LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	12	8	24	12	-22,819167	-43,661944
105083	Guandu	Areal do Tempo LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	51	8	24	12	-22,834167	-43,678056
64925	Guandu	Dos Angelos Areal LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	17	8	24	12	-22,830278	-43,664444
105085	Guandu	Areal Santobaia LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	31	8	24	12	-22,817222	-43,680556
65062	Guandu	Areal Novo Tempo de Seriopédica LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	4	8	24	12	-22,816667	-43,666944
105098	Guandu	LBF de Itaguaí Minerações LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	8	8	24	12	-22,774722	-43,742222
105078	Guandu	Areias Brancas de Itaguaí LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	2	8	24	12	-22,817778	-43,670833
105086	Guandu	Areal Sol Nascente LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	45	8	24	12	-22,811111	-43,670833
105087	Guandu	Areal Tropicalhente LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	5	8	24	12	-22,809722	-43,648333
105069	Guandu	Mineração Cargela LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	2	8	24	12	-22,833611	-43,676944
105091	Guandu	Areal Grã de Areia LTDA	Lago natural ou lagoa	Bacia do Guandu	5	8	24	12	-22,828056	-43,685833

Código Declaração	Região Hidrográfica	Razão Social	de Corpo Hídrico	no Corpo Hídrico	qtVazao Med	qtHoras	qtDia Mes	qtMes Ano	Latitude	Longitude
84245	Médio Paraíba do Sul	BR METALS Fundições LTDA.	Açude ou Barragem de acumulação	Córrego Nora	50	24	30	12	-22,484386	-43,862592
68340	Médio Paraíba do Sul	Siderúrgica Barra Mansa S/A	Rio ou Curso d'água	Córrego São Jerônimo	25	12	30	12	-22,498056	-44,523333
70764	Médio Paraíba do Sul	labl Resíduos Ecológicos LTDA	Rio ou Curso d'água	Efluente Rio das Flores	12	7	22	12	-22,312497	-43,754309
75709	Médio Paraíba do Sul	Cimento Tupi S.A	Lago natural ou lagoa	Lago - Fazenda Tupi	8	4	30	12	-22,523366	-44,194134
71588	Médio Paraíba do Sul	Joaquim A. Da Silva	Lago natural ou lagoa	Lago natural	1000	1	10	12	-22,360278	-43,417778
62022	Médio Paraíba do Sul	Pedreira Volta Redonda LTDA	Lago natural ou lagoa	Lagoa	7	8	22	12	-22,497222	-44,051667
85591	Guandu	EMFOL - Empresa de Mineração Fonte Limpa LTDA	Lago natural ou lagoa	Lagoa EMFOL 1	10	7	20	12	-22,750222	-43,724972
85591	Guandu	EMFOL - Empresa de Mineração Fonte Limpa LTDA	Lago natural ou lagoa	Lagoa EMFOL 2	10	7	20	12	-22,749861	-43,725028
70875	Guandu	Adbens SA - Administração Participações e Empreendimentos	Rio ou Curso d'água	Muxicongo	18	6	30	12	-22,913403	-43,910361
83446	Guandu	Epanor S.A	Nascente	Nascente Faz. Salto Pequeno	112	12	30	12	-22,737510	-44,010473
67151	Guandu	Jolimode Roupas S/A	Rio ou Curso d'água	Riacho Abel	11	24	30	12	-22,740833	-43,549444
90062	Médio Paraíba do Sul	Indústrias Nucleares do Brasil S/A	Rio ou Curso d'água	Ribeirão Água Branca	125	4	12	12	-22,503722	-44,631639
86874	Médio Paraíba do Sul	Azevedo & Travassos LTDA	Rio ou Curso d'água	Ribeirão da Divisa	150	8	22	12	-22,198551	-43,457626
105011	Guandu	Usina Termelétrica Paracambi LTDA	Rio ou Curso d'água	Ribeirão das Lajes	1440	24	30	12	-22,648028	-43,681664
74854	Guandu	Primos Simões Extração e Comércio de Areia LTDA	Rio ou Curso d'água	Ribeirão das Lajes	38	8	24	12	-22,690731	-43,792972

Código Declaração	Região Hidrográfica	Razão Social	de Corpo Hídrico	no Corpo Hídrico	qtVazao Med	qtHoras	qtDia Mes	qtMes Ano	Latitude	Longitude
66011	Médio Paraíba do Sul	Basf- S/A	Rio ou Curso d'água	Rio Pirapitinga	45	24	30	12	-22,452222	-44,402222
71542	Médio Paraíba do Sul	Eliane Aparecida Delgado Ferreira	Rio ou Curso d'água	Rio Pirapitinga	2	24	30	12	-22,359293	-44,468051
71499	Guandu	Companhia Vale Do Rio Doce	Rio ou Curso d'água	Rio Sahy	100	24	30	12	-22,912781	-43,991120
63856	Médio Paraíba do Sul	D.M.Ferreira Areal LTDA	Rio ou Curso d'água	Rio Turvo	5	2	20	12	-22,573981	-44,228056
68268	Médio Paraíba do Sul	Antônio Carlos Vidal Costa Ribeiro	Rio ou Curso d'água	Sem denominação oficial	26	24	30	12	-22,439562	-44,396701
68312	Médio Paraíba do Sul	Brasileira De Pesquisa Agropecuária (Campo Experimental Santa Mônica)	Rio ou Curso d'água	Sem denominação oficial	87	24	30	12	-22,253886	-43,813771
77441	Médio Paraíba do Sul	Prosifer Comércio De Ferro E Aço LTDA	Rio ou Curso d'água	Sem denominação oficial	3	1	25	12	-22,518889	-44,209083
70888	Médio Paraíba do Sul	Du Pont do Brasil S/A	Rio ou Curso d'água	Sem denominação oficial	7	24	30	12	-22,507222	-44,235000
75653	Médio Paraíba do Sul	Posto Sol da Dutra LTDA	Rio ou Curso d'água	Sem denominação oficial	10	8	30	12	-22,458696	-44,300199
88440	Médio Paraíba do Sul	Casa da Lua Clube Campestre	Lago natural ou lagoa	Sem denominação oficial	3	1	20	12	-22,491019	-44,493819
92956	Médio Paraíba do Sul	Petrobras Transporte S/A - Estap	Lago natural ou lagoa	Sem denominação oficial	240	1	4	12	-22,175492	-43,464928
92956	Médio Paraíba do Sul	Petrobras Transporte S/A - Estap	Lago natural ou lagoa	Sem denominação oficial	17	2	22	12	-22,175492	-43,464928
65216	Médio Paraíba do Sul	Viação Cidade do Aço LTDA	Rio ou Curso d'água	Sem denominação oficial/ Rio Barra Mansa	3	24	30	12	-22,563109	-44,157619

Código Declaração	Região Hidrográfica	Razão Social	de Corpo Hídrico	no Corpo Hídrico	qtVazao Med	qtHoras	qtDia Mes	qtMes Ano	Latitude	Longitude
76044	Guandu	Magna Regina Franco de Azevedo Costa	Rio ou Curso d'água	Rio Teles	3	6	20	12	-22,816667	-43,800000
64841	Baía de Guanabara	Reivaldo Taranto Bossan	Nascente		3	1	30	12	-22,922114	-43,500423
67381	Guandu	Leonardo Valente dos Santos	Nascente		2	8	5	12	-22,959154	-44,085112
65391	Médio Paraíba do Sul	Nina Siemens Collard	Nascente		3600	10	30	12	-22,544167	-44,171389
58298	Médio Paraíba do Sul	Laticinio Grupiara LTDA	Nascente		2	24	30	12	-22,134963	-43,835007
65210	Médio Paraíba do Sul	Petromarte Distribuidora de Derivados de Petróleo LTDA	Nascente		5	8	22	12	-22,508470	-44,079789