



PROPOSTA DE SOLUÇÃO INTEGRADA PARA AS CAVAS DE AREIA DE
SEROPEDICA COMO ALTERNATIVA DE INCREMENTO DE SEGURANÇA
HÍDRICA E RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA

Clarice Buarque de Macedo Lira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador(es): Marcelo Gomes Miguez

Rio de Janeiro

Agosto de 2019

PROPOSTA DE SOLUÇÃO INTEGRADA PARA AS CAVAS DE AREIA DE
SEROPEDICA COMO ALTERNATIVA DE INCREMENTO DE SEGURANÇA
HÍDRICA E RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA

Clarice Buarque de Macedo Lira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc.

Prof. Paulo Canedo de Magalhães, Ph.D.

Prof. Rosa Maria Formiga Johnsson, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2019

Lira, Clarice Buarque de Macedo

Proposta de Solução Integrada para as Cavas de Areia de Seropédica como Alternativa de Incremento de Segurança Hídrica e Recuperação de Área Degradada / Clarice Buarque de Macedo Lira – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XV, 157 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 136-151

1. Mineração de Areia. 2. Segurança Hídrica. 3. Recuperação Ambiental. I. Miguez, Marcelo Gomes II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu marido, Geovane Pereira Antoniani, pelo seu amor e por estar ao meu lado em todos os momentos, sempre me incentivando a buscar meus sonhos.

Ao meu pai, Clóvis Henriques de Lira e minha mãe, Clarice Maria Buarque de Macedo, pelo apoio e força para terminar essa etapa, além de toda a educação e carinho ao longo da vida.

Aos meus irmãos, Gabriel Buarque de Macedo Lira e Bárbara Buarque de Macedo Lira, pela amizade e apoio em várias etapas da minha vida.

Ao meu orientador, Marcelo Gomes Miguez, pela confiança, atenção e orientação, me ajudando nessa empreitada mesmo quando me mudei para Foz do Iguaçu.

À Fernanda Rocha Thomaz, pelas orientações e ajuda no levantamento de dados e discussões deste trabalho, além de ter contribuído para o desenvolvimento do artigo para o SBRH 2019.

À minha amiga Caroline Lopes Santos, sempre muito solícita, ao me ajudar com o levantamento de dados da bacia do rio Guandu.

Aos meus amigos do PEC/COPPE, aos chingones Aline Copque, Ana Camacho, Antonio Krishnamurti, Erimar Pontes, Mariana Brandão, Maryelli Rodrigues, Priscila Chan e Samanta Bortoni pela cumplicidade e amizade.

As minhas amigas de longa data, do Abel e da UFF, pelo companheirismo, apoio e momentos de descontração.

A todos que, de algum modo, contribuíram para a construção desta dissertação, o meu mais sincero obrigada!

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PROPOSTA DE SOLUÇÃO INTEGRADA PARA AS CAVAS DE AREIA DE
SEROPEDICA COMO ALTERNATIVA DE INCREMENTO DE SEGURANÇA
HÍDRICA E RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA

Clarice Buarque de Macedo Lira

Agosto/2019

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Programa: Engenharia Civil

Durante os anos de 2014 e 2015, ocorreu uma das piores secas nas bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu dos últimos 84 anos do histórico de dados, mostrando alguns pontos de vulnerabilidade no abastecimento doméstico e industrial da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Este trabalho, através da integração dos conceitos de segurança hídrica e recuperação de áreas degradadas, apresenta uma proposta de utilização das águas acumuladas nas cavas de mineração de areia de Seropédica/Itaguaí, como reserva hídrica para as indústrias localizadas no Baixo-Guandu em períodos de escassez hídrica. É uma solução integrada, tanto para o incremento de segurança hídrica na foz da bacia do Guandu, quanto para a recuperação ambiental dessa região de mineração e requalificação urbana da área no entorno. Para um melhor planejamento dessa proposta uma matriz SWOT é realizada através de um questionário com alguns especialistas, buscando estabelecer os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças da mineração de areia na região. Esse resultado é utilizado para propor um uso do solo e intervenções urbanas necessárias para integrar a solução. E, por último, para avaliar a viabilidade da proposta, um balanço hídrico é realizado utilizando diferentes cenários para as lagoas e escolhendo os melhores cenários através de critérios de desempenho de atendimento de oferta de água e de recuperação da capacidade de reservação dessas lagoas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

INTEGRATED SOLUTION PROPOSAL USING THE PIT LAKES OF SEROPEDICA
AS AN ALTERNATIVE OF WATER SECURITY AND LAND RECLAMATION

Clarice Buarque de Macedo Lira

August/2019

Advisor: Marcelo Gomes Miguez

Department: Civil Engineering

During the years 2014 and 2015 the worst water crisis in the last 84 years of historical data has occurred in Paraíba do Sul and Guandu river basins, revealing vulnerabilities in the domestic and industrial water supply in Rio de Janeiro Metropolitan Region (RMRJ). This work assimilates the concepts of water security and land reclamation proposing the utilization of existing mining sand lakes of Seropédia/Itaguaí as a water reservoir for the industries located in the south of Guandu basin (Baixo-Guandu) during periods of droughts. It is an integrated solution to increase water security in the mouth of Guandu River along with an environmental reclamation of the area. A SWOT analysis was performed using a questionnaire with specialists in order to understand the Strengths and Weaknesses, and for identifying both the Opportunities the Threats of the mining sand lakes. This result was used to plan a proper land use and urban interventions necessary to integrate the solution. Finally, a water balance was performed to evaluate the proposal feasibility. The water balance uses different scenarios to the mining lakes and different performance criteria in order to evaluate which of them meet the minimum requirements regarding water supply and reservoir capacity.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	CONTEXTO.....	1
1.2	MOTIVAÇÃO.....	3
1.3	HIPÓTESE DE TRABALHO	5
1.4	OBJETIVOS	5
1.4.1	OBJETIVO GERAL.....	5
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.5	METODOLOGIA GERAL	6
2	RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO.....	8
2.1	CONCEITOS.....	8
2.2	MINERAÇÃO A CÉU-ABERTO.....	11
2.3	LAGOS DE MINERAÇÃO	12
2.3.1	HIDROLOGIA	16
2.4	USOS FUTUROS DOS LAGOS PÓS-MINERAÇÃO	21
2.5	ÁREAS DE MINERAÇÃO REABILITADAS PELO MUNDO	23
2.6	ÁREAS DE MINERAÇÃO REABILITADAS NO BRASIL	31
2.6.1	CURITIBA	31
2.6.2	MINAS GERAIS.....	33
2.6.3	SÃO PAULO.....	33
3	SEGURANÇA HÍDRICA	35
3.1	EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE SEGURANÇA HIDRICA.....	35
3.2	SEGURANÇA HÍDRICA NO BRASIL E NO RIO DE JANEIRO.....	39
4	METODOLOGIA.....	47
4.1	BALANÇO HÍDRICO	49
4.1.1	DADOS	49
4.1.2	ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS LAGOAS	50
4.1.3	VAZÕES AFLUENTES	53
4.1.4	VAZÕES DEFLUENTES	61
4.1.5	VAZÃO SUBTERRÂNEA	62
4.1.6	CENÁRIOS E CRITÉRIOS	62
4.2	RESUMO	66

5	DIAGNÓSTICO DA REGIÃO DE ESTUDO	68
5.1	CONTEXTO FISIOGRAFICO E GEOLÓGICO REGIONAL	70
5.1.1	COMPARTIMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA	70
5.1.2	SISTEMA HIDROGRÁFICO	71
5.1.3	HIDROGEOLOGIA	75
5.1.4	CLIMA	77
5.2	CRISE HÍDRICA DE 2014/2015	78
5.2.1	SISTEMA HIDRÁULICO DO RIO PARAIBA DO SUL	79
5.2.2	DADOS DA CRISE	82
5.2.3	MEDIDAS DE COMBATE A CRISE	86
5.2.4	MEDIDAS DE AUMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA	89
5.3	DISTRITO AREEIRO DE ITAGUAI/SEROPÉDICA	91
5.3.1	HISTÓRICO	91
5.3.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUALIDADE DAS ÁGUAS	96
5.3.3	IMPACTOS DO DISTRITO AREEIRO	99
5.4	PLANEJAMENTO URBANO DE SEROPÉDICA	100
6	MATRIZ SWOT	105
7	PROPOSTA DE INTERVENÇÃO INTEGRADA: SEGURANÇA HÍDRICA, RECUPERAÇÃO AMBIENTAL E REQUALIFICAÇÃO URBANA	109
7.1	INTERVENÇÕES URBANAS	112
8	BALANÇO HÍDRICO	113
8.1	SÉRIE DE VAZÕES SINTÉTICAS	114
9	RESULTADOS DO BALANÇO HÍDRICO	118
9.1	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO NATURAL DAS LAGOAS	118
9.2	ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DAS LAGOAS COMO SUPRIMENTO INDUSTRIAL	118
10	CONCLUSÕES	130
10.1	RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS	134
10.2	FUTUROS TRABALHOS	134
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Lavra em barcaças flutuantes nas cavas inundadas. (CABREIRA, 2011).....	12
Figura 2: Fatores que influenciam a qualidade de água de um lago. Adaptado de Bowell (2002)	14
Figura 3: Lago com fluxo terminal (i) e com condição de fluxo (ii). Adapadado de Gammons et al. (2009).	16
Figura 4: Lagos de Mineração pelo mundo: (i) África do Sul (ii) e (iii) Alemanha (iv) e (v) Austrália (vi) Canadá.....	29
Figura 5: Lagos de mineração pelo mundo: (i) e (ii) Canadá, (iii) Espanha, (iv) Holanda e (v) Inglaterra.	30
Figura 6: Vista aérea do Parque Ecológico Costa antes (i) e durante (ii) a sua recuperação. (COSTA, 2002)	32
Figura 7: Cavas de extração de areia no Parque Iguçu. (ANDRADE, 2009).....	32
Figura 8: Exemplos de áreas de cavas de areia reabilitadas no Estado de SP.....	34
Figura 9:Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos na Região Hidrográfica II – Guandu. Fonte: PERH-Guandu (2017).	44
Figura 10: Imagem do Google Earth com a localização da Estação Meteorológica Ecológica Agrícola (INMET).....	50
Figura 11:Curvas-chaves da estação Avenida Brasil, rio Campinho.	55
Figura 12: Hidrograma de vazão gerado pela curva-chave criado com os dados de medição de vazão da estação da Av. Brasil, rio Campinho.	55
Figura 13: Processos de transferência de água no modelo SMAP. (LOPES, 1999)	56
Figura 14: Bacias de drenagem do rio Campinho, rio Piloto e Valão dos Bois e localização das estações fluviométrica (Av. Brasil) e pluviométrica (Campo Frande), utilizadas no modelo SMAP mensal (1984). Fonte: autoria própria.	58
Figura 15: Bacias de drenagem do rio Campinho, rio Piloto e Valão dos Bois e localização das estações fluviométrica (Av. Brasil) e pluviométrica (Campo Frande), utilizadas no modelo SMAP mensal (2014). Fonte: autoria própria.	59
Figura 16: Gráfico da série de vazões sintéticas do rio Valão dos Bois e da precipitação da estação Ecológica Agrícola.	65
Figura 17: Fluxograma das etapas da metodologia utilizada neste trabalho.	67

Figura 18: Delimitação da área de estudo – “Polígono de Piranema”. (Google Earth)	68
Figura 19: Localização geográfica da Região Hidrográfica II – Guandu. (SIGA Guandu) .	69
Figura 20: Sub-bacias da Região Hidrográfica II – Guandu e localização da área de estudo (círculo vermelho) na sub-bacia do rio da Guarda. Fonte: autoria própria.	69
Figura 21: Sobrevoio nas cavas de areia do Distrito Areeiro em maio de 2014. (ALCANTARA, 2014).....	70
Figura 22: Modelo Digital de Elevação para a RH-II. (AGEVAP, 2017b).....	71
Figura 23: Bacia do rio a Guarda e Municípios. Fonte: própria.....	72
Figura 24: Foto do Valão dos Bois. Fonte: Comitê Guandu (http://www.comiteguandu.org.br)	73
Figura 25: Estações de monitoramento de qualidade das águas ao sul da RH-II. Fonte: PERH - Guandu 2017 (TOMO II).....	74
Figura 26: Mapa potenciométrico mostrando os domínios do aquífero Piranema e Fraturado. (SONDOTÉCNICA, 2007).....	76
Figura 27: Precipitação média mensal de acordo com os dados da estação Ecológica Agrícola, em Seropédica, de 1939 A 2016. Fonte dos dados: AGEVAP, 2017b.....	78
Figura 28: Localização das bacias do Rio Paraíba do Sul e do Rio Guandu. Fonte: autoria própria.....	79
Figura 29: Diagrama Esquemático do Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul. Adaptado de SONDOTÉCNICA (2007).....	80
Figura 30: Esquema representativo do Sistema de Transposição das Águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul para a Bacia do Guandu (SONDOTÉCNICA, 2007).....	81
Figura 31: Reservatório Equivalente. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018)	84
Figura 32: Defluência Pereira Passos. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018)	85
Figura 33: Vista aérea da soleira submersa no Canal de São Francisco. (ANA, 2016b)	89
Figura 34: Crescimento das lagoas ao longo dos anos de 1984 a 2017. Fonte: autoria própria.....	93
Figura 35: Produção de areia e comercialização em Seropédica desde 2010 a 2017. Fonte dos dados: DNPM-RJ.	94
Figura 36: Áreas referentes aos processos minerários ativos no DNPM (2017). Fonte dos dados: DNPM – SIGMINES (http://sigmine.dnpm.gov.br)	95

Figura 37: Comparação entre as áreas regularizadas (polígonos verdes) e as lagoas existentes no Distrito Areeiro de Itaguaí-Seropédica. Fonte dos dados: DNPM – SIGMINES (http://sigmine.dnpm.gov.br)	95
Figura 38: Testemunho mostrando o perfil sedimentográfico da região. As setas mostram as litologias com características de ambiente redutor (sedimentos com cores cinza e verde). Fonte: BERBERT (2003) modificado por MARQUES (2006).	98
Figura 39: Zoneamento Ecológico Econômico do município de Seropédica. Adaptado de Secretaria de Estado do Ambiente (2016)	101
Figura 40: Áreas inundáveis pelos Valões dos Bois e do China em Seropédica - Fonte: SONDOTÉCNICA (2007)	104
Figura 41: Resultado da Matriz SWOT. Fonte: autoria própria.	106
Figura 42: Pontos Fortes atuais das cavas de mineração de Seropédica/Itaguaí.	107
Figura 43: Pontos Fracos atuais das cavas de mineração de Seropédica/Itaguaí.	107
Figura 44: Oportunidades futuras nas cavas de mineração de Seropédica/Itaguaí.....	108
Figura 45: Ameaças futuras nas cavas de mineração de Seropédica/Itaguaí.	108
Figura 46: Uso do solo proposto no Plano Metropolitano para a mesma região das cavas de mineração de Seropédica. (Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2017)	110
Figura 47: Uso do solo proposto junto com a demarcação das lagoas e seus afluentes na região das cavas de mineração de Seropédica. Fonte: autoria própria	110
Figura 48: Hidrograma de comparação do resultado da calibração (a) e validação (b) do modelo chuva-vazão SMAP.	116
Figura 49: Hidrograma de vazões sintéticas do rio Valão dos Bois.....	117
Figura 50: Hidrograma de vazões sintéticas do rio Piloto.....	117
Figura 51: Variação do nível de água das lagoas nas simulações do primeiro critério (seca moderada) dos cenários de uso intensivo das indústrias	120
Figura 52: Variação do nível de água das lagoas nas simulações do primeiro critério (seca moderada) dos cenários de uso econômico das indústrias.	121
Figura 53: Curvas de profundidade média x Meses de abastecimento industrial para os cenários do período de seca Moderada. Cada resultado é identificado pelo seu cenário... ..	121
Figura 54: Variação do nível de água das lagoas nas simulações do segundo critério (seca 2014-2015) dos cenários de uso intensivo das indústrias.....	123

Figura 55: Variação do nível de água das lagoas nas simulações do segundo critério (seca 2014-2015) dos cenários de uso econômico das indústrias.	123
Figura 56: Curvas de profundidade média x Meses de abastecimento industrial para os cenários do período da Seca de 2014-2015. Cada resultado é identificado pelo seu cenário.	123
Figura 57: Variação do nível de água dos cenários selecionados utilizando o critério 3 (seca moderada). A partir de 6 meses de utilização pelas indústrias começa a encher.	126
Figura 58: Variação do nível de água dos cenários selecionados utilizando o critério 4 (seca 2014-2015). A partir de 20 meses de utilização pelas indústrias começa a encher.	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplos de usos futuros de lagos de mineração pelo mundo. Adaptada de Mccullough (2006), Castendyk (2009) e Gonçalves (2013)	22
Tabela 2: Detalhes de algumas áreas de cavas alagadas pelo mundo.	26
Tabela 3: Instrumentos e Instituições do Sistema Nacional de Gerencial de Recursos Hídricos. Fonte: autoria própria.	39
Tabela 4: Balanço Hídrico na Bacia do rio Guandu, atual e futuro (2030). Adaptado de PERHI-RJ (2014a).....	46
Tabela 5: Matriz SWOT.	47
Tabela 6 :Comparação da média da evaporação mensal através do Método de Penman com a Evaporação Total medida pelo INMET (evaporímetro de Piche) na estação Ecológica Agrícola, Seropédica.	51
Tabela 7: Curvas-chaves do INEA para a estação Avenida Brasil, rio Campinho.	54
Tabela 8: Vazões cadastradas e outorgadas pelo INEA das indústrias localizadas no Baixo Guandu, no Canal de São Francisco. Fonte dos dados: PERH – Guandu (2017)	62
Tabela 9: Cenários simulados com utilização das lagoas.....	63
Tabela 10: Disponibilidade Hídrica de alguns rios da RH-II. Os dados e equações de regionalização foram retirados do PERH - Guandu 2017 (TOMO II).	74
Tabela 11: Características Hidrogeológicas do SAP na região de Piranema. Fonte de dados: MARQUES, 2006.....	77
Tabela 12: Vazões Naturais Médias Mensais - Santa Cecília. Fonte dos dados: ANA (http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/paraiba-do-sul)	83
Tabela 13: Faixa de valores de vazões e respectivas ocorrências de salinidade monitoradas pela FCC (Fábrica Carioca de Catalizadores). Fonte dos dados: AGEVAP (2017a).....	86
Tabela 14: Área total das lagoas ao longo dos anos de 1984 a 2017 e seu crescimento. Fonte: propria.	93
Tabela 15: Impactos positivos da mineração de areia em Seropédica.	99
Tabela 16: Impactos Negativos da mineração de areia em Seropédica.....	99
Tabela 17: Comparativo de volumes entre as lagoas propostas, a reserva estratégica de Lajes e os corpos d'água visíveis.	111
Tabela 18: Comparação dos parâmetro da função objetivo	114

Tabela 19: Comparação dos resultados do SMAP (vazão calculada) com a vazão observada nas etapas de calibração e validação.....	114
Tabela 20: Resultado da calibração dos parâmetros do modelo SMAP e os valores recomendados por Lopes (1999).	115
Tabela 21: Vazão vertida das lagoas em condições naturais, sem nenhum uso.....	118
Tabela 22: Tempo, em meses, para utilização das lagoas, com a captação das indústrias para o período de seca moderada.....	120
Tabela 23: Tempo, em meses, para utilização das lagoas, com a captação das indústrias para o período da seca de 2014-2015	122
Tabela 24: Critérios 1 e 2 atendidos por cada cenário.....	124
Tabela 25: Tempo, em meses, para enchimento das lagoas, utilizando o critério 3 (seca moderada) e o critério 4 (seca 2014-2015).....	126
Tabela 26: Resumo de todos os critérios atendidos por cada cenário	128

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul tem destacada importância no cenário nacional, por estar localizada entre os maiores polos industriais e populacionais do país e pelo processo que envolve o gerenciamento de seus recursos hídricos. Caracteriza-se pelos acentuados conflitos de usos múltiplos e pelo peculiar desvio das águas para a bacia hidrográfica do rio Guandu através de um sofisticado sistema hidráulico que compreende reservatórios, usinas hidrelétricas e transposição de águas entre bacias, cuja operação é bastante complexa e envolve instituições federais, estaduais e múltiplos usuários de água, formando o que é chamado de Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul.

Esta transposição para a bacia do rio Guandu possui a finalidade de geração de energia elétrica e abastecimento de cerca de 9,4 milhões de pessoas, ou seja, 83% da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ (PERHI-RJ, 2014a), além de atender a outros usos na bacia.

Durante os anos de 2014 e 2015 as bacias do rio Paraíba do Sul e do rio Guandu passaram por uma das piores secas dos últimos 85 anos do histórico de dados e, por isso, a vazão dos rios Paraíba do Sul e Guandu teve que ser reduzida progressivamente, levando os usuários dos rios, incluindo a ETA Guandu, a se adaptarem, como nunca haviam feito antes, para evitar o desabastecimento. Todo esse esforço de economia coletiva de água e as mudanças correspondentes nas regras de operação dos reservatórios, de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) em articulação com o Operador Nacional do Sistema (ONS), foram acompanhados pelo Comitê de Integração da Bacia Paraíba do Sul (Ceivap), através do seu Grupo Técnico de Acompanhamento da Operação Hidráulica (GTAOH) (BRITTO et al., 2016).

Essa crise mostrou alguns pontos de vulnerabilidade que o Estado do Rio de Janeiro possui, como: a sua dependência em relação a bacia do rio Paraíba do Sul, cujo uso é compartilhado também com os estados de São Paulo e Minas Gerais, sendo esta a sua mais importante reserva hídrica, e a intrusão salina na foz do Rio Guandu, dificultando a captação de água pelas indústrias do Complexo Industrial de Itaguaí/Santa Cruz e o futuro crescimento econômico dessa região, que foi projetada para ser um grande polo industrial no Estado do Rio de Janeiro.

Assim, a intensificação de eventos extremos pode acentuar a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento, reforçando problemas estruturais e não estruturais existentes, e diminuindo a segurança hídrica das bacias.

Outro ponto de tensão que também diminui a segurança hídrica da bacia do rio Guandu é o aumento da utilização, por parte do estado de São Paulo, das águas da bacia do rio Paraíba do Sul, podendo alterar as regras operativas do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul e reduzir a vazão transposta para a bacia do Guandu, em tempos hidrológicos normais (BRITTO et al., 2016).

Além disso, de acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERHI-RJ (2014b), a bacia do rio Guandu já está com 73,6% de sua vazão comprometida, chegando a projeções de mais de 90% de comprometimento para 2030.

Outro problema que afeta a segurança hídrica e atinge os principais corpos hídricos da bacia é a poluição de seus rios, principalmente nos locais onde não há infraestrutura de saneamento básico, recebendo efluentes do esgoto doméstico sem tratamento. Além disso, a falta de infraestrutura de drenagem de águas pluviais provoca alagamentos em vários trechos da planície aluvionar, seja nas áreas urbanas ou periurbanas, causando o carregamento de poluentes para os cursos d'água por meio da lavagem superficial da bacia (AGEVAP, 2017a).

Além das questões acima, outros problemas ambientais ameaçam a segurança hídrica na bacia do Guandu, como o caso da extração de areia na região. O Plano Estratégico de Recursos Hídricos dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim – PERH - Guandu (SONDOTÉCNICA, 2007) alerta para a extração de areia em cava e em leito destinada à construção civil da RMRJ, atividade econômica intensa e lucrativa, em função da expansão urbana e da ocupação do território, muitas vezes irregular, na região chamada de “polígono de Piranema”, localizada nos municípios de Seropédica e Itaguaí. Dentre os impactos ambientais ocasionados por essa atividade, ressalta-se o assoreamento dos rios, o rebaixamento do lençol freático, a alteração da paisagem, a eliminação de solos cultiváveis, dentre outros, causando irreversíveis danos ao ambiente e à paisagem local. Essa atividade de extração mineral vem progressivamente se ampliando, impactando o lençol freático da bacia do Guandu e, conseqüentemente, o Aquífero Piranema.

O polo de extração mineral em ambiente de cava submersa é o maior do Estado do Rio de Janeiro e gera emprego e renda. Porém, muitas das empresas areeiras atuam ilegalmente ou com registros e permissões vencidos. Um Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta (TAC), assinado por órgãos estaduais ligados ao ambiente e por

sindicatos das mineradoras e representantes dos areiros em 2003, com vistas à preparação de um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), teve pouco ou nenhum resultado. Mais de dez anos depois, pouco se vê no sentido da remediação ou recuperação das cavas abandonadas ou da mitigação dos impactos daquelas em operação (ALCANTARA; SCHUELER, 2015).

Dado esse contexto de vulnerabilidades em relação à segurança hídrica da bacia do rio Guandu, esse trabalho irá focar na problemática das cavas de areia em Seropédica, gerando uma solução integrada, tanto para o incremento de segurança hídrica quanto para a recuperação ambiental da região.

O trabalho propõe a utilização da área de mineração de areia localizada entre Seropédica e Itaguaí como uma reserva bruta de água para a região do Baixo-Guandu, tomando como referência as indústrias localizadas na foz do rio Guandu, em períodos de escassez. Essa área é formada por lagoas, que seriam interligadas e receberiam rios afluentes.

Para um melhor planejamento dessa proposta, uma matriz SWOT é realizada através de um questionário com alguns especialistas da área de recursos hídricos, buscando estabelecer os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças da mineração de areia na região. Esse resultado é utilizado para propor um uso do solo e intervenções urbanas necessárias para integrar a solução.

E, por último, para avaliar a viabilidade da proposta, um balanço hídrico é realizado utilizando diferentes cenários para as lagoas e critérios de avaliação facilitando a escolha do melhor cenário.

1.2 MOTIVAÇÃO

A região onde estão localizadas as cavas faz parte da Bacia Sedimentar de Sepetiba, porção oeste da RMRJ, onde estão situados os municípios de Seropédica e Itaguaí. O crescimento nesses municípios das atividades industriais, retro portuárias e imobiliárias, vem sendo potencializado, tanto em função de grandes investimentos – especialmente a inserção de um anel rodoviário metropolitano (Arco Metropolitano) e a expansão portuária e industrial em Itaguaí – quanto devido à existência de vasto estoque de terras. De acordo com o Plano Diretor Municipal de Seropédica (SEROPEDICA, 2006) essa região será um futuro polo logístico, por sua proximidade com o Complexo Portuário de Itaguaí. Além

disso, existem poucas restrições quanto à forma ou direcionamento de ocupação territorial ou urbana.

A fragilidade ambiental da região, por onde passa o rio Guandu e onde se encontra o Aquífero Piranema, denota a importância de estudos específicos e de ações de planejamento, bem como a definição de instrumentos urbanísticos, no que concerne ao uso e ocupação do solo, direcionados à sua proteção e manejo sustentável, pois toda e qualquer intervenção sobre o território produzirá impactos sobre esses importantes recursos hídricos (ALCANTARA; SCHUELER, 2015).

No que diz respeito aos conflitos ambientais e sociais, devido à localização dos depósitos do Distrito Areeiro de Itaguaí-Seropédica serem próximos à malha urbana, a exploração da areia traz consequências imediatas à população circunvizinha, além de impactos ambientais para os recursos hídricos da região. Por isso, é imprescindível que haja um planejamento, no que concerne à expansão urbana e zoneamento mineral.

Junto com a necessidade de planejamento dessa região e de diminuição dos impactos negativos da exploração de areia, principalmente após o fim das atividades, existe a necessidade de priorizar o investimento em infraestrutura com foco em segurança hídrica na bacia do rio Guandu, que abastece mais de nove milhões de pessoas na região metropolitana do Rio de Janeiro, e também o polo industrial de Itaguaí-Seropédica, que, como dito antes, é considerado um futuro vetor de crescimento logístico e industrial de todo o Estado do Rio de Janeiro.

Dessa forma, em uma reunião de profissionais da COPPE com a ANA, em novembro de 2016, surgiu a ideia da utilização das cavas de areia do distrito areeiro de Itaguaí-Seropédica como uma reserva hídrica na bacia do rio Guandu, focada no abastecimento das indústrias da região em épocas de escassez. Essa ideia foi levada e incorporada conceitualmente ao Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDUI), sendo este uma iniciativa do Governo do Estado, por meio da Câmara Metropolitana. Esse plano elabora um conjunto de cenários, estratégias e instrumentos que orientem decisões governamentais nos anos futuros e sejam referências para a sociedade fluminense, sendo um fator motivador adicional para este estudo mais aprofundado da utilização das cavas como reserva hídrica estratégica para o complexo industrial da região.

1.3 HIPÓTESE DE TRABALHO

Aumentar a segurança hídrica na bacia do Guandu é uma tarefa essencial para garantir o futuro desenvolvimento da região metropolitana do Rio de Janeiro, principalmente para as indústrias que se localizam na região do Baixo Guandu, sendo o primeiro setor a sofrer numa crise hídrica, pois a prioridade de abastecimento passa a ser para consumo humano.

Além disso, propor uma alternativa para o uso final das cavas de areia do distrito areeiro de Itaguai-Seropédica também é imprescindível para melhorar tanto ambientalmente quando urbanisticamente essa região.

Assim, este trabalho tem como hipótese: a utilização das cavas de mineração areia desse distrito poderia se converter em uma alternativa de reserva hídrica na bacia do rio Guandu, focada para uso industrial e solução para recuperação de área degradada por mineração.

Porém, essa hipótese só será validada junto com uma intervenção integrada urbana na região, principalmente na área de saneamento, de forma que a segurança hídrica, recuperação de áreas degradadas e requalificação urbana¹ formem um conjunto de três pilares de sustentação da solução.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é a análise da viabilidade quantitativa da utilização das cavas de mineração de areia do Distrito Areeiro de Seropédica/Itaguaí como reserva hídrica de água bruta para a região do Baixo Guandu em períodos de escassez. Deve-se destacar, porém, que embora não seja o objeto central desta dissertação, a proposta em questão abrange uma solução multifuncional, em que a recuperação das áreas degradadas das cavas e a possibilidade de requalificação urbana da região do entorno aparecem como atividades complementares a serem desenvolvidas no escopo mais geral de uma abordagem integrada para a região.

¹ Segundo Pederiva (1991, apud (GAGLIARDI, 2011), p. 13) o termo "requalificação urbana refere-se a uma estratégia de inserção de novas atividades econômicas em pontos estratégicos da cidade ou de atração de tais atividades, oferecendo espaços qualificados por meio da realização de obras públicas e com lógicas de gestão atentas à competitividade.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta Tese são detalhados a seguir:

- Estudar os diferentes conceitos de segurança hídrica e como esse termo se aplica no Brasil.
- Estudar o uso de cavas de mineração como reserva hídrica tanto no Brasil como no mundo, além de casos de recuperação ambiental dessas cavas.
- Realizar um diagnóstico detalhado da região de estudo, localizada na bacia do rio Guandu, incluindo o episódio da crise hídrica de 2014/2015.
- Montar uma matriz SWOT, através de questionários com especialistas, para avaliar as forças, fraquezas, ameaças e oportunidades das lagoas de mineração de áreas de Seropédica/Itaguaí.
- Integrar as soluções de aumento da disponibilidade hídrica com alternativas de crescimento da região e melhoria ambiental e urbana para a bacia, através de soluções de saneamento básico e ordenamento de uso do solo.
- Propor diferentes cenários de reservatórios para reserva hídrica.
- Avaliar o balanço hídrico para cada cenário através de critérios.
- Escolher a melhor solução integrada de segurança hídrica, recuperação ambiental e requalificação urbana.

1.5 METODOLOGIA GERAL

Para a realização deste trabalho foi adotado um procedimento metodológico baseado nas seguintes etapas:

- 1) Revisão bibliográfica, buscando uma sustentação teórica para o trabalho, abrangendo:
 - a) Segurança Hídrica
 - b) Alternativas de uso final de áreas de mineração no contexto mundial e brasileiro
- 2) Pesquisa de dados nos seguintes órgãos públicos:
 - a) Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
 - b) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)
 - a) Instituto Estadual do Ambiente (INEA)
 - b) Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)
 - c) Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

- d) AGEVAP
- 3) Diagnóstico da região de estudo, incluindo análises ambientais, dados da crise hídrica de 2014/2015, análises do Distrito Areeiro de Seropédica/Itaguai e do Planejamento urbano de Seropédica
 - 4) Realização de um questionário com alguns especialistas na área de recursos hídricos, avaliando os pontos fortes, oportunidades, pontos fracos e ameaças da região das cavas de mineração.
 - 5) Avaliação das respostas do questionário e montagem da matriz SWOT.
 - 6) Proposta de intervenção Integrada: Segurança Hídrica, Recuperação Ambiental e Requalificação Urbana.
 - 7) Elaboração de mapas base no software QGIS para o planejamento do uso do solo.
 - 8) Aquisição e consistência de dados meteorológicos.
 - 9) Geração de uma série de evaporação mensal através do método combinado de Penman.
 - 10) Geração de uma série sintética de vazões de outra bacia utilizando o programa SMAP mensal e regionalização dessa série através da proporcionalidade entre áreas.
 - 11) Realização do balanço hídrico no software Excel
 - 12) Análise e validação da melhor alternativa através de critérios.

2 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO

2.1 CONCEITOS

É importante destacar alguns conceitos utilizados para expressar os objetivos almejados na recuperação de áreas degradadas por cavas de mineração, como os de degradação/áreas degradadas, restauração, reabilitação e recuperação.

DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/ÁREAS DEGRADADAS

O conceito de degradação ambiental normalmente está associado a alteração ambiental considerada adversa ou negativa gerada por atividades ou intervenções humanas. Raramente o termo é utilizado quando ocorre alterações devidas a processos ou fenômenos naturais (BITAR, 1997).

De acordo com Parrotta (1992), as áreas degradadas são aquelas caracterizadas por solos erodidos e empobrecidos, instabilidade hidrológica, diversidade biológica e produtividade primária reduzidas. O trabalho do (IBAMA, 1990), dedicado a mineração, admite que área degradada é a área onde a vegetação nativa e a fauna foram destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo foi perdida, removida ou enterrada e a qualidade de vazão do sistema hídrico foi alterada. Em seguida, estabelece o conceito de degradação ambiental, que “ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento socioeconômico”.

No quadro da normatização técnica brasileira, a degradação é apontada pela NBR 10703 como a “alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto os potenciais”(ABNT, 1989, p.16) e a NBR 13030, a qual é específica para mineração, define área degradada como “área com diversos graus de alteração dos fatores bióticos e abióticos, causados pelas atividades de mineração”(ABNT, 1999, p.2)

RESTAURAÇÃO

O termo restauração (“restoration” em inglês) refere-se a obrigatoriedade do retorno da área a seu estado original, antes da degradação (KUTER, 2013). Ou seja, todos os aspectos de topografia, vegetação, solo, fauna, água, etc, devem apresentar as mesmas características anteriores à degradação, sendo um objetivo praticamente inatingível, principalmente quando se trata de áreas degradadas por mineração, devido aos grandes

volumes de materiais escavados e transferidos para outros locais durante as atividades (LIMPITLAW; BRIEL, 2014; NUCCI, 2005).

De acordo com a norma NBR 13030, a restauração é definida como o “conjunto de procedimentos através dos quais é feita a recomposição da área degradada para o estabelecimento da função original do ecossistema” (ABNT, 1999).

A restauração do ecossistema e recuperação de suas funções é técnica e economicamente questionável (KOBİYAMA; MINELLA; FABRIS, 2001).

REABILITAÇÃO

O conceito de reabilitação (“rehabilitation” em inglês) envolve o retorno da área degradada a um estado biológico apropriado (KOBİYAMA; MINELLA; FABRIS, 2001).

O termo é similar a restauração, porém, esse retorno não considera a restauração da área para o estado original, mas sim um retorno a um estado biológico estável que não contribua substancialmente para a degradação e que seja consistente com os valores estéticos no entorno da área (KUTER, 2013). Isso significa manter o local em uma situação estável, podendo ser destinado a uma forma de uso e ocupação diferente do uso existente antes da intervenção, visando recreação, por exemplo, ou uma certa produtividade (NUCCI, 2005)

A norma técnica NBR 13030 define o conceito de reabilitação como o “conjunto de procedimentos através dos quais se propicia o retorno da função produtiva da área ou dos processos naturais, visando adequação ao uso futuro” (ABNT, 1999, p.2).

Em relação às áreas degradadas por mineração, a reabilitação permite uma flexibilização no uso futuro da área, que foi já pesadamente modificada pela atividade extrativa, e possui um custo menor comparado a restauração. Esses usos podem ser: agrícola, comercial, habitacional, industrial, conservação ambiental, recreativo, entre outros.

O processo de reabilitação de áreas mineradas normalmente possui dois estágios: a configuração da paisagem, através da recomposição topográfica e paisagística, e a revegetação ou desenvolvimento de uma alternativa de uso do solo sobre a paisagem reconstruída. O reaproveitamento da área deve ser feito através de um novo uso que não seja conflitante com o entorno, com ocupações já existentes e com planos locais e regionais (ACCIOLY, 2012;BITAR, 1997).

RECUPERAÇÃO

A recuperação (“reclamation” em inglês) é um termo genérico que cobre todos os aspectos de qualquer processo que visa a obtenção de uma nova utilização para a área degradada, envolvendo trabalhos de engenharia e/ou processos biológicos (MAJER, 1989).

De acordo com Limpitlaw (2014) a recuperação é o retorno de uma área degradada para um estado onde as condições originais não são restauradas, mas diferentes condições são estabelecidas, apropriadas ao uso do solo e condições do entorno.

A Legislação Federal Brasileira, de acordo com o Decreto 97.632/89 (BRASIL, 1989), diz que o objetivo da recuperação é o “retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente”. Para completar essa definição, o IBAMA (1990) acrescenta que “uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, econômicos, estéticos e sociais da circunvizinhança”.

Essas definições incorporam o conceito de reabilitação ao de recuperação, considerando o termo de recuperação mais abrangente. Desta forma, o termo reabilitar seria o mesmo que recuperar (NUCCI, 2005) e nesse estudo esses termos serão considerados sinônimos.

A recuperação de áreas degradadas por mineração é um processo que compreende medidas necessárias à rápida estabilização do meio ambiente e à gradual instalação de um novo uso previamente definido (NUCCI, 2005). De acordo com Bitar (1997), no Brasil existe um entendimento bem generalizado de que recuperar uma área significa encontrar um outro uso produtivo para ela, que pode ser igual ou diferente do uso pré-mineração, devendo apresentar um equilíbrio físico, químico e biológico com o meio circunvizinho.

Em relação a recuperação de áreas degradadas por mineração em regiões urbanas, como o caso das cavas de areia de Seropédica, o objetivo principal é a estabilidade da área em relação ao meio circunvizinho. Para isso, o uso pós-mineração proposto deve estar de acordo com as condições ambientais e culturais da circunvizinhança, além de ser produtivo, gerenciável e sustentável. As soluções devem estar sintonizadas com a destinação futura do local e compatíveis com as demandas de uso de solo das cidades (BITAR, 1997).

No Brasil, a reabilitação ou recuperação de áreas degradadas por mineração começou a ser assunto a partir do final da década de 1980 quando a Constituição Federal de 1988, direta e explicitamente, introduziu a exigência de recuperação ambiental para a “exploração de recursos minerais”. Mas foi somente após a publicação do Decreto 97.632/89 que a reabilitação de áreas degradadas começou a tomar força, pois o decreto instituiu a obrigação das empresas mineradoras elaborarem os Planos de Recuperação de

Áreas Degradadas – PRADs e implementarem as medidas nele recomendadas para reabilitar o ambiente degradado (RICCIARDI; SANCHES, 2004).

O PRAD é um instrumento técnico-gerencial que estabelece propostas de soluções técnicas de recuperação em cada área, bem como a preparação para um novo uso, após a exploração mineral. Porém, a falta de fiscalização governamental faz com que a maioria dos empreendimentos de mineração não cumpram com seus planos de recuperação, pois têm apenas o objetivo de acumular capital, gerando passivos ambientais e detrimento do meio ambiente (NUCCI, 2005).

2.2 MINERAÇÃO A CÉU-ABERTO

Uma das atividades humanas que mais causa alterações no meio ambiente e na superfície terrestre é a mineração, ou seja, a exploração de recursos minerais (PIEDRAS; POUHEY; MORAES, 2005; REIS; BATISTA; DIAS, 2000). Apesar dessa atividade contribuir significativamente para o desenvolvimento industrial, urbano e tecnológico, os seus impactos negativos ao meio ambiente não podem ser desconsiderados, principalmente em relação a mineração feita em lavras a céu-aberto, a qual degrada o meio ambiente e o valor estético da paisagem, afetando a topografia, a drenagem, o ar, o solo, a vegetação, a saúde humana, dentre outros parâmetros da área minerada e dos seus arredores (KUTER, 2013).

A mineração é diferente dos outros usos do solo, pois ela é uma forma temporária de uso e acaba quando o recurso mineral é exaurido. Essa atividade pode persistir num local durante centenas de anos, porém as minas modernas possuem, em geral, curta duração, podendo cessar suas atividades com uma década de uso (LIMPITLAW; BRIEL, 2014).

De acordo com Accioly (2012), a atividade de mineração é dividida em quatro fases, sendo estas: prospecção do subsolo, pesquisa ou exploração, desenvolvimento e lavra. A lavra compreende as atividades de extração e aproveitamento industrial da jazida. Existem diversos métodos de lavra, porém essa pesquisa aborda somente o método de lavra a céu-aberto, sendo este o utilizado na mineração de areia em Seropédica.

No caso de areia, a lavra a céu-aberto pode ser feita em cavas secas de planícies aluvionares, em morros e em cavas inundadas. Em todos os casos ocorre o decapeamento do solo formando uma cava, a extração (lavra) de areia, o beneficiamento com uso de tanques de lavagem e classificadores, a disposição de estéreis em pilhas, a disposição de rejeitos em bacias de decantação e a estocagem do produto em pilhas para ser transportado por caminhões (BITAR, 1997). A diferença entre as cavas secas e as cavas inundadas está

no método de extração, quando nas cavas secas ocorre a lavra por desmonte hidráulico, nas cavas inundadas a lavra se realiza por meio de dragas de sucção instaladas em barcaças flutuantes, como mostrado na Figura 1.

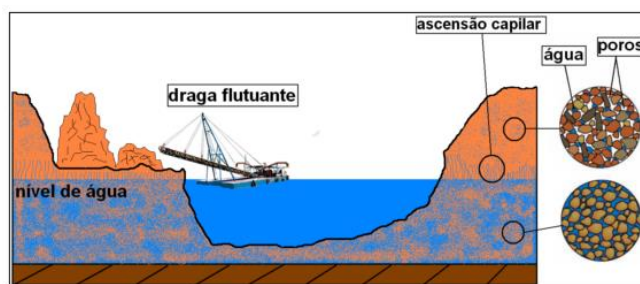


Figura 1: Lavra em barcaças flutuantes nas cavas inundadas. (CABREIRA, 2011)

Além da mineração de areia causar a degradação do meio ambiente, a exploração tem gerado discussões tanto na comunidade científica quanto na sociedade e nos meios de comunicação, devido aos lagos resultantes do processo final de exploração, que se formam quando as cavas são mais profundas que o lençol freático e podem se apresentar em grande número dependendo da região (FILHO et al., 2007).

2.3 LAGOS DE MINERAÇÃO

Os lagos de mineração (“pit lake” ou “quarry lake” em inglês) podem ocorrer naturalmente, através do enchimento da cava descomissionada com o escoamento superficial, precipitação pluviométrica e água subterrânea no caso de o minério ser extraído abaixo do nível do lençol freático (BLANCHETTE; LUND, 2016). Nesse último caso, o lago criado é hidraulicamente conectado ao regime hidrogeológico e o movimento da água no lago acontece como um reflexo do movimento natural da água subterrânea da região (JAAKSON, 1981). O lago também pode ser preenchido naturalmente pela drenagem das águas pluviais.

Além da forma natural, a formação de lagos de mineração pode ser realizada através do enchimento de cavas com água artificialmente, podendo ser através da transposição de rios e de bombeamento (SCHULTZE et al., 2011). Dependendo das condições topográficas, hidrológicas, climáticas e do uso futuro da área, existe uma combinação do enchimento natural com o artificial.

A água superficial que será utilizada para preencher a cava deve possuir uma boa qualidade pois ela influencia quimicamente na qualidade da água do lago futuro

(GONÇALVES, 2013). Assim, se for utilizada água de rios existe o risco de eutrofização, dependendo da qualidade dessas águas. Além disso, a transposição de rios para as cavas necessita a consideração do uso de água a jusante e das funções ecológicas do rio, incluindo a variabilidade das vazões e a frequência de magnitude das cheias. Dessa forma, durante o período de seca, a transposição deve ser reduzida ou até interrompida (SCHULTZE et al., 2005).

Em relação a água da precipitação, quando ocorre a inundação natural das cavas devido a chuvas intensas, isso demonstra a viabilidade das cavas se tornarem potenciais reservatórios de água superficial (JOHNSON; WRIGHT, 2003).

A formação artificial desses novos ambientes aquáticos constitui-se um fenômeno relativamente novo internacionalmente, pois a exaustão de minas de grande porte as quais começaram a ser exploradas após o término da Segunda Guerra Mundial, ocorreu apenas a partir da década de 1990, com o esgotamento da sua vida útil (SPERLING; JARIDM; GRANDCHAMP, 2004). Assim, os estudos de lagos com formação completa ou em processo de formação foram apresentados em maior número somente após o início do século XXI (GONÇALVES, 2013).

O enchimento das cavas com água propicia a criação de ecossistemas com beleza cênica, podendo servir a usos selecionados, tais como função paisagística, recreação controlada (natação, vela, pesca) e abastecimento de água, para o caso de lagos situados próximos a áreas urbanas. Devido a esses benefícios, existem projeções de crescimento desses lagos de mineração ao redor do mundo (SPERLING; JARIDM; GRANDCHAMP, 2004).

Os lagos de mineração podem ocorrer sozinhos na paisagem, ou em “distritos”, resultando em desafios de larga-escala para os planejadores. Alguns exemplos desses distritos são: Collie, na Austrália (ZHAO; MCCULLOUGH; LUND, 2009); e Lusatia, na Alemanha (SCHULTZE; POKRANDT; HILLE, 2010).

De acordo com Gonçalves (2013), os lagos de mineração podem ser divididos em quatro tipos:

- Lagos ácidos: possuem baixo pH, alta toxicidade e maior concentração de metais; normalmente são oriundos da extração de minerais sulfetados.
- Lagos salinos: a evaporação é maior que a precipitação e a contribuição superficial é inexistente, elevando a salinidade do meio e podendo afetar o lençol freático; encontram-se em regiões áridas como no caso do Distrito de Collie, na Austrália.

- Lagos neutros: apresentam boa qualidade normalmente, mas apresentam alguns contaminantes, como o zinco, o cobre, o arsênio e/ou uânio.
- Lagos com ótima qualidade: provenientes da extração de materiais inertes, e com pouca interferência do processo de exploração da mina e das características geológicas da área explorada.

Os relatos disponíveis, inclusive sobre o comportamento biogeoquímico, normalmente estão relacionados a formação de lagos de mineração de caráter ácido, em virtude da oxidação de minerais sulfetados (BOWELL, 2002; JOHNSON; WRIGHT, 2003). Grande parte dessas cavas dos estudos possuem grandes profundidades, formato cônico e paredes de rocha, sendo normalmente de mineração de carvão (SCHULTZE; POKRANDT; HILLE, 2010), de ouro ou de metais sulfetados (GAMMONS et al., 2009).

As características das águas dos novos lagos de mineração podem variar consideravelmente. Os fatores que influenciam a qualidade final da água incluem as concentrações de oxigênio, pH, profundidade, atividade biológica, composição das paredes do lado, fluxo hidrogeológico, escoamento superficial, qualidade da água subterrânea e superficial, taxas de evaporação e precipitação e a paisagem do entorno (BOWELL, 2002; CASTENDYK; EARY; BALISTRERI, 2015; CASTRO; MOORE, 2000; HINWOOD et al., 2010), como mostrado na Figura 2. Assim, é difícil prever a qualidade final das águas desses novos lagos, devido a esses vários fatores influenciando o resultado final. É de suma importância o estudo e o entendimento dos processos hidrogeológicos, geoquímicos e limnológicos que influenciam a qualidade da água desses lagos.

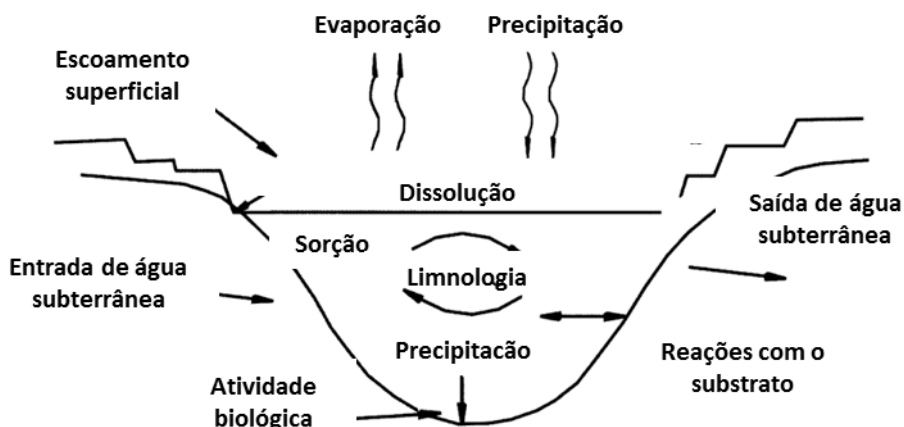


Figura 2: Fatores que influenciam a qualidade de água de um lago. Adaptado de *Bowell (2002)*

Apesar dos lagos de mineração de areia (foco desse estudo) e/ou outros materiais inertes estarem se tornando um tipo de lago comum, eles têm recebido pouca atenção

científica. Existem poucas informações sobre as questões sanitárias, ambientais e hidrogeoquímicas destes ambientes hídricos (MOLLEMA; ANTONELLINI, 2016; SØNDERGAARD et al., 2018).

As cavas provenientes de materiais inertes tendem a ter uma geoquímica parecida com o meio no entorno e eles e normalmente não apresentam problemas ambientais. De acordo com o estudo de lagos de mineração de materiais inertes na Dinamarca, do Søndergaard (2018), esses lagos normalmente têm menor concentração de nutrientes do que os lagos naturais utilizados para a comparação, com poucos fitoplanctons, águas claras e se constituindo de habitats adequados para diversos organismos. Segundo Gonçalves (2013) esses lagos provenientes da extração de materiais inertes possuem características de boa qualidade.

Os depósitos de areia são bem permeáveis, e dessa forma, lagos de mineração de areia permitem uma troca significativa da água superficial com a água subterrânea. Além disso, em alguns lagos onde o solo é bem permeável, dependendo da sua posição em relação a direção do gradiente hidráulico da água subterrânea, pode ocorrer a captura de água superficial e promover uma recarga do aquífero, porém, os lagos de mineração também podem acarretar consequências negativas, como o aumento das perdas por evaporação, a mudança da direção do fluxo de água subterrânea e o aumento da susceptibilidade dos aquíferos a poluentes, removendo a zona vadosa do solo (APAYDIN, 2012; JAAKSON, 1981).

Esses lagos normalmente são rasos com profundidades de 2 a 3m até 7 a 12m, mas eles podem chegar a 40m. Em relação a profundidade relativa a superfície, que é a relação entre a profundidade máxima e o diâmetro médio do lago (Equações 1 e 2), os lagos de mineração de areia possuem um valor entre 10 a 40%, enquanto que os lagos naturais normalmente têm um valor menor que 5%. Isso significa que os lagos de mineração de areia possuem relativamente uma área de superfície maior para interagir com a água subterrânea e/ou água do rio (MOLLEMA; ANTONELLINI, 2016). Além disso, essa faixa de profundidade, relativa aos lagos de mineração de areia, coloca grande parte desses lagos no regime meromítico, o qual possui circulações verticais parciais de água. Porém, existem outros fatores de interferência da circulação, como ação dos ventos, temperatura da água e a salinidade (GONÇALVES, 2013).

$$d = 2 \sqrt{\frac{Ao}{\pi}}$$

Equação 1

$$Zr = \frac{Z_{max}}{d} \times 100\% = 50 \times Z_{max} \times \sqrt{\frac{\pi}{A0}} = 88,6 \times \frac{Z_{max}}{\sqrt{A0}} \quad \text{Equação 2}$$

A utilização desses lagos para recreação, pesca e reserva hídrica, por exemplo, depende principalmente da sua topografia, de seus riscos à segurança (como margens suscetíveis a escorregamentos, etc), das suas características hidrológicas (interação com a água subterrânea e água superficiais e qualidade de ambas) e do clima (GAMMONS et al., 2009).

2.3.1 HIDROLOGIA

Os lagos de mineração podem ser classificados hidrológicamente como: lago com condição de fluxo e lago terminal (Figura 3). De acordo com Gammons et al. (2009) e (Castendyk et al. (2015), o lago com condição de fluxo é aquele em que a água superficial, com ou sem a água subterrânea, flui para dentro a para fora do lago. Isso pode acontecer tanto devido a topografia e a localização do lago como devido a uma rede de drenagem artificial. Já os lagos com condição terminal são aqueles que a água subterrânea preenche o lago e só é retirada pelo processo de evaporação. Além disso, o tempo de residência da água dos lagos com condição terminal é maior do que dos lagos com condição de fluxo do mesmo volume.

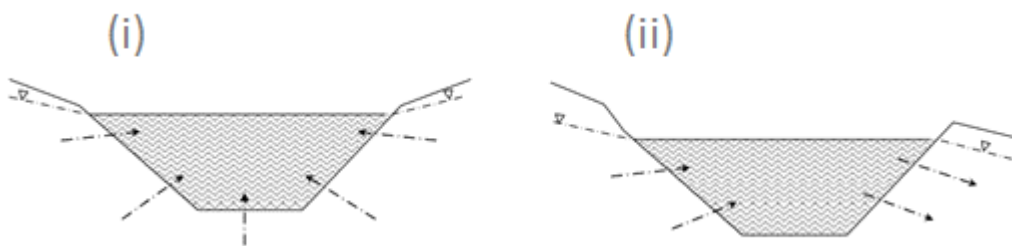


Figura 3: Lago com fluxo terminal (i) e com condição de fluxo (ii). Adaptado de Gammons et al. (2009).

De acordo com a compilação de informações de diversos lagos de mineração de areia feita por Mollema e Antonellini (2016) o tempo de residência da água varia entre 0,03 e 0,04 anos para os lagos de mineração conectados a rios e de 0,1 a 2 anos para lagos de mineração terminais ou com algum fluxo de água subterrânea. O tempo de residência da água nesses lagos pode aumentar ao longo do tempo, pois a permeabilidade das margens e do fundo muda devido ao processo de obstrução, que é o acúmulo de sólidos suspensos,

precipitados e sedimentos compactados nas paredes ou no fundo do lago. Esse processo de obstrução varia temporalmente e espacialmente e para cada lago.

Não levando em consideração os processos artificiais de enchimentos de lagos, os lagos permanentes só se desenvolveriam em cavas de mineração abaixo do nível freático. Em geral, em regiões de clima úmido e de topografia baixa, esse nível freático se encontra próximo da superfície, enquanto em regiões de clima árido e topografia alta esse nível freático normalmente se encontra mais profundo. Além disso, os lagos de mineração começam como lagos de condição terminal para a água subterrânea e irão encher até alcançar o nível de equilíbrio entre os fluxos de entrada e de saída de água do lago. Em alguns casos, lagos temporários podem se desenvolver acima do nível freático devido a chuvas intensas, especialmente se a camada de fundo do lago for composta de material de baixa permeabilidade ou se uma camada de sedimentos com baixa permeabilidade for acumulada no fundo do lago. Esses lagos acabam se drenando através de uma combinação de evaporação e infiltração (CASTENDYK; EARY; BALISTRERI, 2015).

De acordo com Mollema e Antonellini (2016) a distribuição da drenagem de uma bacia muda em presença dos lagos de mineração podendo causar mudanças no nível freático numa área grande no entorno.

Modelos hidrológicos indicam os volumes de água subterrânea, de precipitação, de escoamento superficial e em alguns casos, de água superficial, que irão ser adicionados no lago durante o processo de enchimento. Essas previsões são utilizadas para se estimar a profundidade, volume e área superficial do lago final de mineração. Além disso, elas também servem para estimar o tempo de enchimento até um nível de equilíbrio do lago.

2.3.1.1 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico relaciona a continuidade da massa e a troca de energia dos sistemas envolvidos, no tempo e no espaço (TUCCI, 1993). Os componentes principais deste balanço são: precipitação, evaporação, transpiração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo.

A equação da continuidade, para realização do balanço hídrico, para um reservatório ou lago, considerando volumes afluentes ao longo de um intervalo de tempo Δt pode ser dada por:

$$V_2 - V_1 = (Qa - Qe)\Delta t + (Sa - Se)\Delta t + (P - E)A$$

Equação 3

Onde:

V_1 e V_2 = volumes armazenados no início e no final do intervalo;

Qa e Qe = vazões superficiais médias afluente e efluente;

Sa e Se = vazões subterrâneas médias, afluente e efluente;

P = altura de precipitação acumulada ao longo de Δt ;

E = altura de evaporação acumulada ao longo de Δt ;

A = área (média) da superfície do lago

VOLUME ARMAZENADO

O volume armazenado no reservatório é dado em função do seu nível ao início e ao final do período, através da sua curva cota-volume, sendo obtida através da análise da batimetria do lago. De acordo com Dias (1986) essa curva deveria ser revista periodicamente, pois é possível mudança na forma do fundo devido a sedimentação, acomodações das margens e deslizamentos.

VAZÕES SUPERFICIAIS

As vazões superficiais afluentes são obtidas através de postos fluviométricos nos rios tributários e dependerão de alguns fatores como, a qualidade das medidas de nível e das transformações de cota em vazão (curva-chave) nos postos fluviométricos.

Já as vazões superficiais efluentes, no caso dos lagos de mineração, são as vazões para uso consuntivo, como irrigação, abastecimento d'água, desvio de vazões para outras bacias, entre outras. Caso exista transposição de rios para os lagos, pode-se ter também uma vazão ecológica efluente de manutenção do ecossistema a jusante do rio. Normalmente, a vazão efluente é mais fácil de ser estimada do que a vazão afluente.

VAZÕES SUBTERRÂNEAS

As vazões subterrâneas afluente e efluente são os termos mais difíceis de se medir no balanço hídrico de um reservatório. Segundo Dias (1986) elas se apresentam distribuídas especialmente em todo o seu perímetro, dependendo, em cada ponto, do gradiente da linha piezométrica do lençol subterrâneo e da permeabilidade do solo na direção do escoamento. Assim, é necessário que se conheça o escoamento subterrâneo detalhadamente em torno do reservatório, sendo difícil na maioria dos casos, realizar estimativas precisas destes termos.

Em grandes lagos com fluxo superficial, devido ao fato de o escoamento da água no solo ser muito lento, os termos de vazões subterrânea são significativamente menores que os demais, permitindo que as contribuições subterrâneas sejam desprezadas na maioria dos casos. Porém, nos casos de lagos de mineração com fluxo terminal essa contribuição se torna relevante.

A taxa de entrada de água subterrânea varia bastante, dependendo da geologia do local, topografia e clima. Uma estimativa inicial do volume de entrada de água subterrânea pode ser feita utilizando o mesmo valor que é bombeado durante as operações de mineração, no caso das cavas que precisam estar secas para o processo de mineração. Essa estimativa funciona para os estágios iniciais de enchimento (GAMMONS et al., 2009). Porém, a taxa de entrada de água subterrânea irá mudar conforme a cava for se enchendo de água e pode ser deduzida de acordo com a Lei de Darcy:

$$Q_{gw} = K.A.\frac{\Delta h}{\Delta l} \quad \text{Equação 4}$$

onde:

Q_{gw} = fluxo de entrada de água subterrânea no lago (m³/dia)

K = coeficiente de condutividade hidráulica (m³/dia) do solo

A = área da seção vertical preenchida por água no lago

$\Delta h/\Delta l$ = gradiente hidráulico ou inclinação do nível freático na zona de entrada de água subterrânea no lago

PRECIPITAÇÃO

Para a determinação de médias espaciais e temporais de precipitação sobre uma área, frequentemente se utiliza, em hidrologia, o método de Thiessen ou das isoietas. No caso de um reservatório, pode-se aplicar um destes métodos à área contribuinte ao lago (sua bacia de contribuição) e à própria superfície do lago, utilizando as precipitações pontuais em postos pluviométricos situados (em terra) na região próxima do lago.

Em relação a lagos de grande porte, devido à grande capacidade de armazenamento térmico das águas, existem certas modificações microclimáticas que podem alterar o regime de chuvas em cima do lago no inverno e no verão, principalmente no caso dos lagos em regiões que apresentam predominantemente chuva convectiva, como é o caso do Norte-Nordeste do Brasil. No caso de regiões que apresentam mais precipitações frontais, no Sul-Sudeste do país, esse efeito do microclima é mínimo ou quase inexistente (DIAS, 1986).

EVAPORAÇÃO

As tentativas de quantificar as taxas de evaporação em corpos d'água tiveram início no século XIX. Dalton, em 1802, fez a primeira apreciação correta do problema, propondo que a taxa de evaporação de uma superfície de água é controlada pelo gradiente da pressão de vapor e da velocidade do vento acima da lâmina d'água. Desde então, compreendeu-se que a evaporação num corpo d'água dependia de várias variáveis climáticas, como a velocidade do vento, temperatura do ar, umidade atmosférica, total de radiação atingindo a superfície em diferentes comprimentos de onda, entre outras (DIAS, 1986).

Na maior parte dos ambientes, a evaporação dos lagos é maior do que a evapotranspiração de um pedaço de solo vegetado, pois a resistência para a evaporação é menor sem a vegetação ou sem o solo (MOLLEMA; ANTONELLINI, 2016).

O instrumento utilizado para a medição direta da evaporação de uma superfície de água é o evaporímetro, que é um pequeno reservatório de água. Os mais conhecidos são os atmômetros e os tanques de evaporação. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) adotou o tanque Classe A como um dos seus padrões de evaporímetro (CABREIRA, 2011).

Também é possível estimar a taxa de evaporação através do balanço de massa do reservatório (equação da continuidade), no caso do conhecimento dos demais termos. Nesse caso, as estimativas de E serão melhores quanto maior o intervalo Δt utilizado, diminuindo os erros de medição ou estimação de parâmetros.

No caso de não se conhecer os demais termos do balanço hídrico, é possível obter estimativas de evaporação a partir de dados climatológicos na região do reservatório, usando-se correlações empíricas ou algum modelo matemático.

Segundo Dias (1986), existem dois procedimentos conhecidos e que permitem estimar a evaporação a partir de dados climatológicos. O primeiro é conhecido como método de transferência de massa, sendo utilizado um método aerodinâmico para estimar a evaporação. O segundo é o método de balanço de energia – ou razão de Bowen. Esse mesmo autor faz um estudo sobre evaporação em lagos, descrevendo detalhadamente os fundamentos físicos e evidências empíricas usadas nos modelos para estimação da evaporação.

A combinação dos dois métodos leva a um sistema de duas equações nas incógnitas E (evaporação) e T_o (temperatura da superfície), e leva ao “Método Combinado”, que tem sua origem no trabalho teórico e experimental de Penman em 1948 (PENMAN, 1948).

É importante ressaltar o fato da utilização dos dados climatológicos em terra nos métodos, que dependendo do microclima do lago, podem superestimar o valor de evaporação.

2.4 USOS FUTUROS DOS LAGOS PÓS-MINERAÇÃO

A questão do uso futuro de áreas mineradas surge como uma evolução natural de se recuperar os danos exercidos por esta atividade (ACCIOLY, 2012). Além disso, o uso das cavas exauridas pode gerar benefícios para a economia, saúde, bem-estar e estética da comunidade no entorno (HINWOOD et al., 2010). De acordo com Jaakson (1981) uma área degradada por mineração não deve ser vista pelos planejadores como um obstáculo, mas sim como um desafio de integração com a paisagem local. Inclusive, a área pós-mineração pode se tornar mais valiosa do que a área durante a mineração (WANG; BURLEY; PARTIN, 2013).

Doupé e Lymbery (2005) revisou literatura publicada do mundo todo para compilar uma lista com os potenciais usos futuros para os lagos de mineração e Gammons (2009) e Hinwood (2010) relacionaram os possíveis riscos dos diversos usos. Não foram considerados os usos nos quais a cava de mineração é preenchida antes da formação do lago (ex.: preenchimento com solo e revegetação, utilização como aterro, entre outros). Assim, as seguintes alternativas foram propostas ou implementadas:

- Recreação e turismo: um lago de mineração pode ser desenvolvido como um local para atividades de nado, pesca recreacional, navegação ou mergulho. Riscos: pode haver poluição devido ao uso; a água pode conter patógenos e contaminação química e riscos de acidentes;

- Conservação da fauna: um lago de mineração pode ser restaurado e mantido como habitat aquático e terrestre, abrigando animais e vegetação da região no entorno. Riscos: pode aumentar o número de doenças por veiculação hídrica, principalmente com a presença de insetos;

- Hidrocultura: peixes podem ser criados ou dentro do lago, ou utilizando a água dele em tanques. Riscos: as águas podem ficar poluídas por nutrientes enriquecidos;

- Irrigação: utilização da água do lago na agricultura, pastos, jardins, parques, campos esportivos, entre outros. Riscos: a água pode conter metais pesados e os mesmos podem acumular no solo e na plantação;

- Dessedentação de animais: água pode ser utilizada para a dessedentação de animais, especialmente em regiões áridas. Riscos: pode ocorrer a bioacumulação de metais;
- Fonte de água potável: a água do lago pode ter qualidade suficiente para atender ao consumo humano. Riscos: consumo de água com presença de patógenos e metais;
- Fonte de água industrial: a água do lago pode ser usada em processos industriais de refrigeração, alimentação de caldeira, supressão de poeira, lavagem e água de incêndio. Riscos: uso da água sem tratamento prévio, podendo conter patógenos e metais e;
- Extração química: a água de alguns lagos pode ser processada para a retirada de produtos químicos como cloreto de sódio, sulfato de magnésio, iodo, bromo e metais. Riscos: o processo pode emitir poluição no ar, água e solo.

Dentre esses usos futuros, somente recreação, conservação e aquacultura usam o lago diretamente, em todos os outros o lago funciona como um reservatório com a água sendo extraída para cada uso. Além disso, é possível utilizar o lago para mais de um uso concomitantemente.

É importante ressaltar que, para a escolha do uso futuro do lago, é necessário avaliar os riscos e definir os efeitos adversos na saúde. Isso inclui avaliar as características físicas, químicas e biológicas das águas e da cava (HINWOOD et al., 2010).

Além disso, dependendo do uso escolhido, a qualidade da água pode ser alterada, assim, é necessário um monitoramento hidrológico e hidrogeoquímico desses ecossistemas (MARSZELEWSKI et al., 2017).

A Tabela 1 foi adaptada de (McCullough e Lund (2006), Castendyk (2009) e Gonçalves (2013), mostra exemplos de usos futuros de lagos de mineração pelo mundo.

Tabela 1: Exemplos de usos futuros de lagos de mineração pelo mundo. Adaptada de McCullough (2006), Castendyk (2009) e Gonçalves (2013)

LAGO	PAÍS	USO
Lagos Capel, Austrália Ocidental (areia)	Austrália	Conservação da fauna
Mina Alford Field (carvão)	Estados Unidos	Conservação da Fauna
Mineração Oxford, Ohio (carvão)	Estados Unidos	Conservação da fauna
Mina Flambeau, Wisconsin (ouro)	Estados Unidos	Conservação da fauna
Universal Mine Slurry, Illinois	Estados Unidos	Conservação da fauna
Golden Cross, Waihi (ouro)	Nova Zelândia	Conservação da fauna
Arch Coal, mina Mingo Logan, Virginia	Estados	Conservação da fauna e

LAGO	PAÍS	USO
(carvão)	Unidos	hidrocultura
Mina Premier Coal (carvão)	Austrália	Hidrocultura
Granny Smith Mine (ouro)	Australia	Hidrocultura
Collinsville Coal Project (carvão)	Australia	Água para indústria
Garrick East pit, Collinsville (carvão)	Austrália	Água para indústria
Klien Kopje Colliery (gipsita)	África do Sul	Irrigação
Enterprise Pit (ouro)	Austrália	Irrigação
Mina Freedom, Bismarck, Dakota (carvão)	Estados Unidos	Irrigação e consumo animal
Mina de carvão Belle Ayr, Wyoming (carvão)	Estados Unidos	Irrigação e consumo animal
Mina Oxbow, Louisiana (carvão)	Estados Unidos	Irrigação e consumo animal
Collie, Austrália Ocidental(carvão)	Austrália	Recreação e turismo
Gilbert, Minnessota (ferro)	Estados Eunidos	Recreação e turismo
Mineração TXU, mina Tatum, Beckville, Texas (carvão)	Estados Unidos	Recreação, turismo e pesca
Companhia Mineração Stone, Pikeville, Texas (carvão)	Estados Unidos	Recreação, turismo e pesca
Rother Valley Contry Park (carvão)	País de Gales	Recreação
Wedge pit, Laverton (ouro)	Austrália	Água potável para consumo humano

No caso desse estudo, para a reabilitação da área degradada de mineração de areia em Seropédica, é proposta a utilização futura das cavas como reservatório de água para as indústrias da região, como forma de aumentar a segurança hídrica na bacia do rio Guandu. Complementarmente, as cavas podem também se converter em área de recreação e valorização urbana do entorno, com a conformação de parques.

2.5 ÁREAS DE MINERAÇÃO REABILITADAS PELO MUNDO

Como esse trabalho foca na recuperação de áreas degradadas por mineração com formação de lagos, as áreas escolhidas como exemplos para discussão, tanto no mundo como no Brasil, apresentam a característica de valorização do lago formado, dando algum uso final.

De acordo com Mccullough et al. (2011), alguns distritos com grande número de lagos de mineração são:

- Alemanha: Alemanha Central e Lusitânia com 370 lagos e Rhenish com 205 lagos

- Polônia: Leknica com mais de 100 lagos
- Espanha: Iberian com 22 lagos
- Austrália: Collie Lake District com 15 lagos atualmente (ZHAO; MCCULLOUGH; LUND, 2009) e mais propostos
- Eslováquia: Borká Nizina Lowlands com 11 lagos
- Canadá: Athabasca Oil Sands Region com 26 lagos propostos

Os lagos citados são provenientes da exploração do carvão, exceto o Iberian por extrair pirita e o Athabasca Oil Sands Region que possui uma mistura de betume bruto (petróleo) com sílica e argila. Não necessariamente todos esses lagos foram recuperados.

Além desses distritos, a Holanda também possui um conjunto de lagos de mineração formados durante a extração de cascalho e areia ao longo do rio Meuse, entre o sudoeste da Holanda e o norte da Bélgica, com uma superfície total de 18km². Segundo Mollema e Antonellini (2016), a maioria dos lagos atualmente são usados para recreação, com exceção de um utilizado para produção de água.

A Tabela 2 e as Figuras 4 e 5 mostram um resumo das informações de alguns exemplos de áreas reabilitadas de lagos de mineração formados na África do Sul, Alemanha, Austrália, Canada, Espanha, Holanda e Inglaterra.

Devido ao trabalho de mais de 50 anos para reabilitar as suas áreas de lagos degradadas por mineração, o distrito da Alemanha Central e da Lusitânia foram escolhidos para serem comentados com mais detalhes.

Essas regiões possuem entorno de 370 lagos de mineração, formados após a exploração de carvão ao longo de mais de 150 anos. O primeiro lago de mineração a ser enchido artificialmente foi o Lake Senftenberg, sendo formado através da transposição do rio Schwarze Elster, durante os anos de 1967 a 1972, com fluxo permanente de parte do lago para o rio até hoje. Já o primeiro lago a ser enchido utilizando bombeamento foi o lago Cospuden, de 1994 a 1999, sendo utilizado para recreação (SCHULTZE et al., 2011).

Segundo Schultze et al. (2011), o enchimento dos lagos de mineração da Alemanha foi planejado através de previsões de balanço hídrico e qualidade de água para cada lago. As primeiras previsões foram feitas através de conhecimento local e da hidrologia e limnologia dos lagos de mineração existentes. Em seguida, as previsões começaram a ser elaboradas através de modelos, os quais são atualizados utilizando dados de material coletado e condições atuais do lago, adaptando-se melhor a realidade.

O principal uso dos lagos de mineração é para recreação. Além disso, vários lagos se tornaram parte de áreas protegidas para conservação do meio ambiente (ex: Lake

Rassnitz, Lake Paupitzsch, Lake Gremmin) e alguns lagos são usados para reprodução de peixes. Existem ainda lagos utilizados para proteção contra cheias (ex.: Lake Borna, Lake Zwenkau). Já o lago Mulde cumpre o papel de tratamento da água do rio Mulde, agindo como um tanque acumulador de metais que estavam nas águas do rio, vindos de minas abandonadas de ouro (SCHULTZE; POKRANDT; HILLE, 2010).

Em 1994, foi criada a companhia Lausitzer und Mitteldeutsches Bergbau-Ver_waltungsgesellschaft – LMBV (Lusatian and Central German Mining Administration Company), a qual possui a tarefa de recuperar as áreas degradadas por mineração dessa região. Assim, essa organização tem participado do processo de reabilitação junto com a IBA (Internationale Bauausstellung), uma organização que auxilia na proposição de projetos e ideias, sendo um catalizador de mudanças estruturais e de planejamento urbano. Desde a sua criação já foram implantados 30 lagos artificiais na região, com diversos usos futuros de antigas áreas mineradas, através de trabalhos de reabilitação, gerando novos empregos, por meio de projetos inovadores e sustentáveis, que misturam a geração de energia renovável, patrimônio industrial, turismo e renovação urbana, promovendo o desenvolvimento econômico e social (ACCIOLY, 2012).

Tabela 2: Detalhes de algumas áreas de cavas alagadas pelo mundo.

LAGO	LOCAL	CAVA	ÁREA (ha)	PROF. MÁX. (m)	VOLUME (m ³)	USO FINAL	FORMAS DE ENCHIMENTO	FONTE
Bass Lake (Figura 4 i)	Africa do Sul	dolomita	10	22	--	Turismo, recreação	natural*	(LIMPITLAW; BRIEL, 2014)
Lake Senftenberg (Figura 4 ii)	Alemanha	carvão	1100	23	80000000	Recreação	água subterrânea e transposição do rio Schwarze Elster (1967-1972), com fluxo permanente (desde 1976)	(SCHULTZE et al., 2005)
Mulde Reservoir	Alemanha	carvão	610	26	110000000	Tratamento da água do rio	Transposição do rio Mulde (1975 e 1976) e até hoje todo o rio passa pelo lago	(SCHULTZE; POKRANDT; HILLE, 2010)
Lake Goitsche (Figura 4 ii)	Alemanha	carvão	1332	47	213000000	Recreação; conservação; proteção contra cheias	água transposta do rio Mulde (1999-2002)	(SCHULTZE et al., 2005)
Lake Seehauser	Alemanha	carvão	622	28	74.000.000	Recreação controlada	água transposta do rio Mulde	(SCHULTZE et al., 2005)

LAGO	LOCAL	CAVA	ÁREA (ha)	PROF. MÁX. (m)	VOLUME (m ³)	USO FINAL	FORMAS DE ENCHIMENTO	FONTE
							(2000-2005)	
Lake Merseburg-Ost	Alemanha	carvão	310	37	66.000.000	Recreação	água transposta do rio Weisse Elster (1998-2000)	(SCHULTZE et al., 2005)
Black Diamond A (Figura 4 iv)	Australia	carvão	4,6	8	--	Recreação	natural	(ZHAO; MCCULLOUGH; LUND, 2009) (HINWOOD et al., 2010)
Black Diamond B	Australia	carvão	2,5	--	--	Recreação	natural	(ZHAO; MCCULLOUGH; LUND, 2009)
Lake Kepwari (Figura 4 v)	Australia	carvão	98,5	65	24.000.000	Recreação	água subterrânea e transposição do rio Collie (1999-2005)	(ZHAO; MCCULLOUGH; LUND, 2009) (HINWOOD et al., 2010)
Waterford Ponds (Pickerel Lake, Willow Pond and Bass Lak waterford) (Figura 4 vi)	Canada	materiais inertes	--	--	--	Recreação	natural	(GAMMONS et al., 2009)

LAGO	LOCAL	CAVA	ÁREA (ha)	PROF. MÁX. (m)	VOLUME (m ³)	USO FINAL	FORMAS DE ENCHIMENTO	FONTE
St Mary's Quarry (Figura 5 i)	Canada	calcário	--	8	--	Recreação	natural	(BAUER, 1970)
East Pit Lake (Figura 5 ii)	Canada	carvão	8	10	--	Pesca recreacional	natural	(GAMMONS et al., 2009)
Meirama (Figura 5 iii)	Espanha	carvão	188	205	146.000.000	Abastecimento de água	transposição dos rios Pereira e Porta (2008-2015)	(JUNCOSA et al., 2016)
De Lange Vlieter Lake (Figura 5 iv)	Holanda	materiais inertes	123	35	--	Recarga artificial de aquífero e produção de água	natural	(MOLLEMA; ANTONELLINI, 2016)
Boschmolen Plas Lake	Holanda	materiais inertes	104	30	--	Recreação	natural	(MOLLEMA; ANTONELLINI, 2016)
Attenborough Nature Reserve Lakes (Coneries Pond, Tween Pond, Main Pond, Church Pond, Clifton Pond, Beeston Pond) (Figura 5 v)	Inglaterra	materiais inertes	8,5-51,7	2,7-5,2	--	Reserva natural; Recreação e educação ambiental	natural	(CROSS, 2009)
* A forma de enchimento "natural" significa que o lago foi formado a partir do fluxo de água subterrânea e/ou água de precipitação, sem interferência da ação humana								



(i) Bass Lake, Africa do Sul. Fonte: <https://commons.wikimedia.org>



(ii) Lake Senftenberg, Alemanha. Fonte: <https://www.aerialphotosearch.com>



(ii) Lake Goitsche, Alemanha. Fonte: <http://region.leipzig.reise>



(iv) Lake Diamond A, Austrália. Fonte: ZHAO et al., 2009



(v) Kewwari., Austrália Fonte: ZHAO et al., 2009



(vi) Waterford Ponds, Canadá. Fonte: www.waterfordpondspark.com

Figura 4: Lagos de Mineração pelo mundo: (i) África do Sul (ii) e (iii) Alemanha (iv) e (v) Austrália (vi) Canadá



(i) St. Mary's Quarry, Canadá. Fonte: <http://www.gonewiththefamily.com>



(ii) East Pit lake, Canadá. Fonte: GAMMONS et al., 2009



(iii) Meirama, Espanha. Fonte: <https://www.gasnaturalfenosa.com>



(iv) De Lange Vlieter Lake, Holanda. Fonte: MOLLEMA et al., 2016



(v) Attenborough Nature Reserve Lakes, Inglaterra. Fonte: <https://www.bbc.co.uk/>

Figura 5: Lagos de mineração pelo mundo: (i) e (ii) Canadá, (iii) Espanha, (iv) Holanda e (v) Inglaterra.

2.6 ÁREAS DE MINERAÇÃO REABILITADAS NO BRASIL

No Brasil, apesar de existirem diversos registros de áreas de mineração reabilitadas existem poucos registros científicos sobre o preenchimento de cavas de mineração com águas. A maior quantidade de lagos formados no Brasil, que possui registros científicos é oriunda da extração de areia e não decorre de um plano elaborado, executado ou patrocinado pela empresa de mineração, mas sim de iniciativas pós-mineração tomadas pelo estado ou prefeituras municipais, viabilizando projetos públicos (BITAR, 1997; GONÇALVES, 2013). A seguir, foram selecionados alguns exemplos de reabilitação de cavas de mineração. Todos os exemplos selecionados foram escolhidos por aproveitar a cava de mineração como um novo corpo hídrico, o incorporando a paisagem local.

2.6.1 CURITIBA

Na região metropolitana de Curitiba, empreendimentos de exploração de areia e de outras minerações foram transformados em parques e, atualmente, são pontos turísticos da cidade, mostrando que tais áreas podem se reverter à condição de degradação para uma forma que seja técnica, social e economicamente viável (FILHO et al., 2007).

Um parque construído para aproveitar uma série de 28 lagoas criadas pela exploração de areia e argila na várzea do rio Iguaçu é o Parque Ecológico Costa, em Umbará, município de Curitiba. Foi uma iniciativa privada, tanto na concepção quanto na execução, da própria mineradora, a partir de 1995, quando a exploração de areia e argila de mais de 40 anos se esgotou. A distribuição de água pelas lagoas exigiu um sistema de canalizações e comportas, ligando todas as lagoas e um ponto problemático foi a revegetação, pois o terreno é arenoso e toda a cobertura foi perdida durante os anos de exploração comercial. As mudas foram plantadas através de um programa de educação ecológica (COSTA, 2002). A Figura 6 mostra uma vista aérea do parque antes e durante a sua reabilitação.

O Parque Ecológico Costa é integrante do Parque Metropolitano do Iguaçu, o qual é um projeto do IAP (Instituto Ambiental do Paraná) para recuperação de áreas degradadas da várzea do rio Iguaçu, atravessando seis municípios da região metropolitana de Curitiba, com uma extensão de 101 km (ANDRADE, 2009). Esse projeto começou ao longo dos anos 1970 e até hoje está em andamento, sendo composto de parques municipais e bolsões de lazer.



Figura 6: Vista aérea do Parque Ecológico Costa antes (i) e durante (ii) a sua recuperação. (COSTA, 2002)

Outro parque originado da extração de areia nas margens do rio Iguçu é o Parque Iguçu, também parte do Parque Metropolitano. Ele foi implantado ao longo dos anos 1970 e 1980, na região sudeste de Curitiba, e engloba uma reserva ecológica, uma área de manutenção de fauna e flora, uma área pública de lazer, entre outros. O parque tem a função ainda de preservar as matas ciliares e proteger o sistema natural de drenagem e, principalmente, evitar a ocupação urbana de áreas críticas sujeitas a enchentes (HAYAKAWA, 1998). Há, também, em seu interior, o estudo para a criação de wetlands visando a melhorar a qualidade da água (ANDRADE, 2009).

O Parque Iguçu (Figura 7) tem estreita relação com as águas urbanas da Região Metropolitana de Curitiba e sua criação se deu a partir da elaboração do sistema de drenagens superficiais para a cidade. Foram construídas bacias de contenção e foi feita a ligação das cavas de areia. Além disso, o leito do rio foi retificado nesse trecho e um canal extravasor paralelo foi construído com vistas ao rápido escoamento das águas que chegam do sistema de macrodrenagem de Curitiba (ANDRADE, 2009).



Figura 7: Cavas de extração de areia no Parque Iguçu. (ANDRADE, 2009)

2.6.2 MINAS GERAIS

O lago de Águas Claras, em Nova Lima, MG, proveniente da extração de minério de ferro foi projetado e monitorado desde o enchimento, no final de 2001. São três as fontes hídricas para o enchimento do lago: águas subterrâneas que afluem à cava, após a interrupção dos poços de bombeamento; água superficial aduzida de um curso d'água vizinho (Ribeirão do Prata) e a precipitação pluviométrica, principalmente no verão. Após o seu preenchimento total, este será o lago mais profundo do país, com aproximadamente 234m de profundidade e volume de 58 milhões de m³. Estima-se que, para a formação completa do lago, demore de 15 a 22 anos a partir de 2002, dependendo da contribuição externa(GONÇALVES, 2013;SPERLING; JARIDM; GRANDCHAMP, 2004).

Inicialmente, o projeto de reabilitação da área pretendia instalar um empreendimento imobiliário (CHAVES et al., 2001), onde a cava seria transformada em um lago, porém, de acordo com a notícia do jornal BAND MINAS², de 2017, o uso da área ainda não foi definido. Somente foi executado o plano de recuperação ambiental da área, utilizando medidas geotécnicas e revegetação.

2.6.3 SÃO PAULO

A Raia Olímpica da Universidade de São Paulo (Figura 8 i) é um dos mais conhecidos exemplos de reabilitação de cavas de mineração. Ela foi construída em local anteriormente ocupado por cavas de extração de areia na várzea do rio Pinheiros e possui 3000m de comprimento por 50m de largura e 10m de profundidade, recebendo competições de remo (GONÇALVES, 2013; NUCCI, 2005).

De acordo com Nucci (2005) e Rondino (2005), outros exemplos de áreas de extração de areia que foram reabilitadas para fins recreativos são:

- Parque Francisco Rizzo, no município de Embu. (Figura 8 ii).
- Parque Cidade de Toronto, na zona norte de São Paulo. (Figura 8 iii).
- Lago central do Parque Ibirapuera, zona sul do São Paulo. (Figura 8 iv)
- Parque Ecológico do Tietê, nos municípios de São Paulo e Guarulhos.

Todos esses parques foram financiados pelo Poder Público. Porém, o parque Cidade de Toronto também teve uma cooperação com a cidade de Toronto, no Canadá.

2

<https://noticias.band.uol.com.br/cidades/minasgerais/noticias/100000864655/recupera%C3%A7%C3%A3o-da-mina-de-%C3%Aguas-claras.html>

Segundo o estudo de Filho et al. (2007), na região do Vale do Paraíba, no sub-trecho entre Jacarei e Pindamonhangaba, foram encontradas diversas formas de uso futuro das antigas áreas de mineração de areia, sendo estas: reservatório de água para irrigação, piscicultura, pesca esportiva, áreas de lazer, aproveitamento imobiliário, abrigo de fauna silvestre, entre outras formas de uso que não utilizam a cava como um espelho d'água, como disposição de material inerte.



(i) Raia Olímpica, São Paulo-SP. Fonte: Bitar, 1997



(ii) Parque Francisco Rizzo, Embu-SP. Fonte: <http://primeironoticias.com.br>



(iii) Parque Cidade de Toronto, São Paulo-SP. Fonte: www.esportividade.com.br



(iv) Parque do Ibirapuera, São Paulo-SP. Fonte: Bitar, 1997

Figura 8: Exemplos de áreas de cavas de areia reabilitadas no Estado de SP.

Dessa forma, existem vários exemplos no país de cavas de areia reabilitadas, melhorando a qualidade ambiental e urbana das regiões e, no caso do Parque Iguazu, em Curitiba, aumentando a segurança hídrica da região, devido ao amortecimento da cheia.

3 SEGURANÇA HÍDRICA

A água é um recurso usado para vários propósitos sendo um elemento central em todas as sociedades. Ela é de fundamental importância para as necessidades básicas humanas, necessária para produção de alimentos, saúde, qualidade de vida e desenvolvimento social. A água também contribui para o desenvolvimento econômico, sendo necessária para produção industrial e de energia e é um fator crítico para a manutenção dos ecossistemas, dos quais toda a forma de vida é dependente (WHEATER, 2014; YOUNG et al., 2015). Porém, ela pode causar mortes, devastação e pobreza através de secas, enchentes, escorregamentos, contaminação e doenças (GREY; SADOFF, 2007).

Existem alguns fatores que contribuem para esse aumento do poder de destruição da água, como por exemplo, mudanças climáticas, grande crescimento populacional, urbanização crescente, mudanças no uso do solo e poluição. Todos alteram os padrões de chuva, umidade, fluxo dos rios e causam mudanças nas reservas subterrâneas, ao mesmo tempo que aumentam as frequências, intensidades e severidades de enchentes e secas (YOUNG et al., 2015).

Atingir a segurança hídrica através da redução do potencial destrutivo e do aumento do potencial produtivo da água é o objetivo de toda a sociedade. Dessa forma, a gestão dos recursos hídricos para atingir segurança hídrica é essencial para a geração de riquezas, o desenvolvimento sustentável e a diminuição da pobreza (GREY; SADOFF, 2007).

3.1 EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE SEGURANÇA HIDRICA

O conceito de segurança hídrica na literatura é relativamente novo e bastante amplo e ainda não se chegou a um consenso claro de sua definição (MASON; CALOW, 2012). Ele surgiu mundialmente com o objetivo de designar um modelo de gestão focado no resultado e na efetividade da política de água (MELO, 2016).

Durante a década de 90, a definição de segurança hídrica estava relacionada com problemas específicos de segurança humana, militar, alimentar e, mais raramente, ambiental (DUNN et al., 2011).

A partir dos anos 2000, houve um crescimento exponencial do uso do termo “water security” nos periódicos, de acordo com pesquisa realizada por Dunn et al. (2011) no portal Web of Science, onde pesquisou o termo em publicações internacionais, desde 1990 até 2010. Tal crescimento pode ser explicado por dois fatores principais: o reconhecimento da

água como um direito humano e a introdução de uma definição mais integrada de segurança hídrica, incluindo o fácil acesso à água para suprir as necessidades básicas humanas e ecológicas, que se deu a partir dos anos 2000, com a realização do II Fórum Mundial da Água, onde o Global Water Partnership (GWP) introduziu sua visão através da publicação “Towards Water Security: A Framework for Action” (BEEK; ARRIENS, 2014; SANTOS, 2016).

Em 2009, o Fórum Econômico Mundial priorizou segurança hídrica como um risco global, afirmando que segurança hídrica é a teia que junta desafios de alimentação, energia, clima, desenvolvimento econômico e segurança humana, com os quais o homem deverá lidar durante as próximas décadas (BEEK; ARRIENS, 2014). Ou seja, segurança hídrica evoluiu de uma visão de oferta de um recurso para ser um termo essencial ao desenvolvimento sustentável, com qualidade de vida. Ela deixou de ser um problema (ou oportunidade) pontual, para ser considerada um desafio para as pessoas, para o desenvolvimento da sociedade e para a natureza (PEÑA, 2016).

Além disso, a segurança hídrica foi o foco da Semana Mundial da Água em Estocolmo, em 2013, e do fórum Mundial da Água, em 2015, e tem atraído considerável atenção dos políticos e organizações governamentais, como, por exemplo, a Agência de Proteção Ambiental e o Conselho Nacional de Inteligência dos Estados Unidos, o governo Australiano, o Fórum Econômico Mundial, o Global Water Partnership (GWP), o Banco Mundial, a Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), o G8, e as Nações Unidas (PEÑA, 2016; MELO, Marília Carvalho de; JOHNSSON, 2017).

Nesse contexto, junto com a crescente utilização desse termo, torna-se necessário desenvolver definições mais precisas que permitam a clara compreensão do conceito. Uma definição que teve uma grande aceitação foi a de Grey e Sadoff (2007), a qual diz que “*a segurança hídrica é a disponibilidade de água em quantidade e qualidade aceitáveis para saúde, meios de subsistência e ecossistemas, juntamente com um nível aceitável de risco relacionado à água para as pessoas, para o ambiente e para a economia*”. Essa definição incorpora um desenvolvimento sustentável que procura garantir resultados em três linhas: social, ambiental e econômica. Além disso, essa definição pode ser interpretada em diferentes escalas e assume que os riscos relacionados a água vão sempre existir, independente do que for feito para aumentar a segurança hídrica. Sendo assim, é necessário definir o nível apropriado de segurança hídrica, considerando a frequência, intensidade e magnitude dos riscos e o grau de exposição a eles, e analisar os custos e benefícios das medidas necessárias para alcançar uma maior segurança hídrica (PEÑA, 2016).

Um exemplo disso é o artigo de Hall e Borgomeu (2013) que afirma que o risco é o atributo que define segurança hídrica. Ele discute sobre a definição de riscos relacionados com a água e sobre os vários indicadores de riscos existentes para análise de segurança hídrica. Segundo esse autor, a maior parte dos usuários da água estão mais preocupados com o risco de não poder utilizá-la do que em maximizar o uso desse recurso, com exceção do uso em usinas hidrelétricas para geração de energia, o qual sempre deseja usar o máximo de água para aumentar a segurança energética.

A ONU (2013) incorpora a proteção contra desastres relacionados com a água na sua definição de segurança hídrica, e Mason e Calow (2012) reconhecem a importância do risco no seu conjunto de indicadores de segurança hídrica. A definição de segurança hídrica para esses autores significa *“ter água suficiente, em quantidade e qualidade, para as necessidades humanas (saúde, subsistência e atividades econômicas) e dos ecossistemas, acompanhada da capacidade de acesso e aproveitamento, de resolver as disputas entre os diferentes setores e gerir os riscos associados à água, incluindo secas, enchentes e poluição”*. Assim, a segurança hídrica vai além da disponibilidade física imediata de água, pois essa disponibilidade é moderada pela capacidade econômica e social de acesso à água, conforme abordado na publicação "Desafios para a Segurança Hídrica na América Latina e Caribe" 41 (PEÑA, 2016). Essa publicação apresenta algumas situações que podem provocar falta de acesso a água, independentemente de sua disponibilidade, como uma má gestão dos recursos hídricos, falta de financiamento e de infraestrutura, sendo desafios para a maioria dos países da América Latina.

Uma definição bem similar à de Grey e Sadoff (2007) é proposta por Beek e Arriens (2014), que postulam que *“a segurança hídrica possui múltiplos componentes, sendo estes: assegurar a disponibilidade de água com qualidade aceitável para os usuários (sociais e econômicos) e para o meio ambiente; mitigar os riscos relacionados com a água como enchente, seca e poluição; e evitar conflitos pelas águas”*. Assim, segurança hídrica possui dimensões econômica (eficiência econômica), social (equidade social) e ambiental (sustentabilidade ambiental), que refletem os pilares da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH).

O conceito de Gestão Integrada de Recursos Hídricos tem sido bastante adotado pelos gestores de água e significa que a hidrologia não deve considerar somente os processos físicos nos sistemas hidrológicos, mas também deve considerar as conexões com os processos sociais, políticos e econômicos (YOUNG et al., 2015) ou seja, é *“o processo que promove um desenvolvimento coordenado e a gestão das águas, solo e recursos relacionados de modo a maximizar a resultante econômica e o bem-estar social, sem*

comprometer a sustentabilidade de ecossistemas vitais” (GWP, 2008 apud MELO, 2016 p. 52) . Pode-se dizer então que a GIRH tem ênfase no processo e nos meios, já a segurança hídrica, no resultado e nos objetivos a alcançar (MELO, 2016; PEÑA, 2016). Dessa forma, a segurança hídrica e a GIRH são simbióticos, ou seja, se reforçam mutuamente, e uma gestão adaptável e incorporada nos processos da GIRH ajuda a promover a segurança hídrica em nível nacional, de bacias e/ou de cidades (BEEK; ARRIENS, 2014).

Percebe-se que, ao longo dos anos, novos aspectos foram incorporados ao significado de segurança hídrica, focando em sustentabilidade, vulnerabilidade, risco e resiliência, além de destacar ameaças e uma gestão adaptativa devido a: (1) os recursos hídricos são recursos naturalmente variáveis tanto temporalmente quanto espacialmente e sujeitos a eventos extremos, e esta variabilidade se agrava com as mudanças climáticas, dificultando a previsibilidade de eventos climáticos; (2) mudanças constantes ocorrem, tanto relacionadas ao meio ambiente quanto sociais, econômicas e políticas (BAKKER, 2012).

Outro ponto importante no conceito de segurança hídrica é a sua relatividade em relação ao local em que se analisa, pois, a segurança hídrica depende de vários aspectos, internos ou externos, ao Sistema de Gestão de Águas. Porém, esses aspectos variam geograficamente, em função de cada realidade, como por exemplo em regiões áridas, como Austrália e Norte da China, nas quais as definições focam em disponibilidade, enquanto que no Norte da África e no Oriente Médio o foco é dividir os recursos hídricos escassos e aumentar a demanda numa situação politicamente instável (DUNN et al., 2011). Além disso, a escala de atuação também é importante, já que para garantir segurança hídrica em um determinado ponto de uso, é necessário uma avaliação de toda a bacia hidrográfica, especialmente a montante de ponto em análise, que engloba principalmente o uso e ocupação do solo e os usos de água na bacia (MELO, 2016).

Em relação ao Brasil, a definição de segurança hídrica, de acordo com a ANA está inserida na Portaria Nº 149, de 26 de março de 2015, a qual aprova o uso do termo no Glossário de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015a, p. 34):

Segurança hídrica é a condição que visa a garantir quantidade e qualidade aceitável de água para abastecimento, alimentação, preservação de ecossistemas e demais usos, associados a um nível aceitável de riscos relacionados com a água para as pessoas, as economias e o meio ambiente.

Esse trabalho tem como base o conceito de segurança hídrica exposto pela ANA, pois além de ser uma definição nacional, o risco está incluído focando tanto nas pessoas, como na economia e no meio ambiente.

3.2 SEGURANÇA HÍDRICA NO BRASIL E NO RIO DE JANEIRO

A principal política nacional relacionada com a segurança hídrica é a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), considerada um modelo de Gestão Integrada e Participativa e instituída através da Lei nº 9433 de 1997, conhecida como “Lei das Águas” e inspirada pelo modelo francês. O seu objetivo é assegurar à atual e às futuras gerações acesso ao recurso hídrico em quantidade e qualidade compatíveis aos diversos usos a que se destina. E em suas diretrizes é realçada a necessidade de integração com outras políticas públicas setoriais, considerando que seus objetivos não serão alcançados sem esta integração (BRASIL, 1997).

Os fundamentos da política incluem a água como um bem de domínio público, sendo um recurso natural limitado e com valor econômico; o uso prioritário para consumo humano e dessedentação de animais em casos de escassez; o uso múltiplo das águas; a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; e a gestão descentralizada contanto com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Além disso, a PNRH institui o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, do qual fazem parte as instituições apresentadas na Tabela 3 junto com os instrumentos de gestão. Esses instrumentos desempenham um papel importante, pois são eles que garantem a integração e a compatibilidade das políticas públicas setoriais desde sua concepção até a execução (MELO, 2016).

Tabela 3: Instrumentos e Instituições do Sistema Nacional de Gerencial de Recursos Hídricos. Fonte: autoria própria.

Instituições	Instrumentos
I – Conselho Nacional de Recursos Hídricos; I-A. – Agência Nacional de Águas; II – Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; III – Comitês de Bacia Hidrográfica; IV – órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos; V – Agências de Água.	I - Planos de Recursos Hídricos; II - Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; III - Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; IV - Cobrança pelo uso de recursos hídricos; V - Compensação a municípios; VI - Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

O plano de recursos hídricos e o enquadramento são os instrumentos de planejamento da política das águas. O plano de recursos hídricos é elaborado considerando um diagnóstico da bacia hidrográfica e definindo-se programas e projetos para melhoria da disponibilidade e qualidade das águas para os usos múltiplos. Já o enquadramento define as classes de qualidade dos rios em função dos usos preponderantes, definindo-se metas intermediárias e finais, ou seja, ele incentiva a realização de ações de melhoria de qualidade de água em função dos usos. Porém, de acordo com Melo (2016), existem outras políticas e instrumentos de planejamento que se relacionam com a segurança hídrica, sendo estes:

1. Política Nacional de Meio Ambiente: tem como objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia a vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses de segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana. A operacionalização dessa política acontece através de 13 instrumentos, dentre eles, os que ajudam a controlar a qualidade ambiental do território são o licenciamento e a avaliação de impacto ambiental. Além deles, do ponto de vista de planejamento, o Zoneamento Ecológico e Econômico (Decreto nº 4.297/2002) é o instrumento de planejamento central e de organização do território, o qual estabelece medidas e padrões de proteção ambiental designados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo, compatibilizando o desenvolvimento socioeconômico com a proteção dos recursos naturais (BRASIL, 2002).
2. Política Nacional de Saneamento: instituída pela lei 11.445/2017, apesar de, no artigo 4, deixar claro que os recursos hídricos não integram os serviços públicos de saneamento, ela propõe a integração das infraestruturas e serviços de saneamento ambiental com a gestão eficiente dos recursos hídricos como um dos seus princípios. Como instrumento de planejamento ela traz o Plano de Saneamento, baseado em um diagnóstico e definição de metas e objetivos de curto, médio e longo prazos, para a universalização dos serviços de saneamento básico, promovendo assim, a melhoria da qualidade de vida da população, tanto em relação ao meio ambiente quanto à saúde pública. Esse plano impacta diretamente na gestão das águas e na segurança hídrica das bacias, pois ele aborda questões de qualidade das águas, como por exemplo, o tratamento de esgotos, questões de quantidade, através do uso de água para abastecimento público, além de questões relacionadas a

eventos críticos e ocorrência de enchentes, através da drenagem urbana. A própria lei segure que ele seja compatível com os planos das bacias hidrográficas que estiverem inseridos (BRASIL, 2007).

3. Estatuto da Cidades: instaurado pela Lei nº 10.257/2001, que estabelece as diretrizes gerais da política urbana e o Plano Diretor como sendo o instrumento de planejamento urbano municipal. Este Plano deve apresentar a distribuição territorial urbana da população e das atividades econômicas, promovendo um diálogo entre os aspectos físicos/territoriais e os objetivos sociais, econômicos e ambientais. O objetivo do plano é induzir um desenvolvimento mais inclusivo e sustentável e, em relação a gestão das águas, o plano interfere através do uso do solo, da integração urbano/rural, transportes e saneamento (BRASIL, 2001).
4. Código Florestal: instituído pela Lei nº 12.651/2012, apresenta linhas de integração com a Política Nacional de Recursos Hídricos, através da consideração do plano de bacia hidrográfica para a escolha da área de Reserva Legal (Artigo 14), da possibilidade que, por ato do poder Executivo, bacias críticas tenham condições especiais de preservação (Artigo 61) e do favorecimento da recuperação de bacias hidrográficas desmatadas através das áreas de compensação (artigo 66). Assim, ele faz uma integração água e floresta, pois a cobertura vegetal da bacia hidrográfica influencia na garantia de provimento de água em quantidade e qualidade, pois aumenta a capacidade de infiltração da água no solo, protege o solo contra erosão e funciona como barreira natural a agentes contaminantes do rio. Além disso, a própria definição de Área de Preservação Permanente³ (APP) já está vinculada à preservação dos recursos hídricos. Outra linha de integração do Código Florestal acontece com o Plano Diretor Municipal, através da definição de área verde urbana, como sendo espaços públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade

³ Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais (BRASIL, 2012).

5. Plano de Manejo de Unidades de Conservação (UC): é um instrumento estabelecido pela Lei nº 9.985/2000, a qual institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. O plano estabelece normas, restrições para o uso, ações a serem desenvolvidas e manejo dos recursos naturais da UC, sua zona de amortecimento e dos corredores ecológicos. Seu objetivo é minimizar os impactos negativos e garantir a manutenção dos processos ecológicos, protegendo por exemplo, áreas de nascente, mananciais e recargas de aquíferos, importantes para a manutenção dos recursos hídricos das bacias hidrográficas (BRASIL, 2000)

Em relação às iniciativas realizadas pelo governo brasileiro associadas a temas da segurança hídrica nacional, podem-se citar: Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos (2009-2018), Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água (2010), Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas: Tratamento de Esgotos Urbanos (2017), Atlas de Vulnerabilidade às Cheias do Brasil (2014b). Essas informações convergem para definir um quadro de soluções articuladas para segurança hídrica envolvendo os instrumentos de gestão, a infraestrutura das bacias hidrográficas e os órgãos gestores (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014a).

Além desses planos, foi lançado, no dia 11 de abril de 2019, o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), de orientação da Agência Nacional de Águas e do Ministério do Desenvolvimento Regional. Seu objetivo é definir diretrizes, conceitos e critérios que permitam a seleção e detalhamento das principais intervenções estratégicas no país (horizonte até 2035) para garantir a oferta de água para o abastecimento humano e para o uso em atividades produtivas e reduzir os riscos associados a eventos críticos, como secas e inundações. A ênfase do plano ocorre na disponibilidade hídrica em todo o território nacional mediante um Índice de Segurança Hídrica (ISH) e em intervenções estruturais formando o Programa de Segurança Hídrica – PSH (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).

Em relação ao estado do Rio de Janeiro, a gestão das águas é regulamentada pela Lei Estadual 3.239/1999 que consagrou a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERHI-RJ) e criou o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SGRH-RJ), sendo similar ao estabelecido pela lei federal (RIO DE JANEIRO, 1999).

A Lei de Águas do Rio de Janeiro contempla os seguintes instrumentos de gestão da Política Estadual de Recursos Hídricos:

I - Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI);

II - Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos (PROHIDRO);

III - Planos de Bacia Hidrográfica (PBH'S);

IV - Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes dos mesmos;

V - Outorga do direito de uso dos recursos hídricos;

VI - Cobrança aos usuários, pelo uso dos recursos hídricos; e

VII - Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (SEIRHI)

O primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro foi elaborado em 2014 e se tornou um instrumento importante para aumentar a segurança hídrica do Estado, pois ele é norteado por 7 temas estratégicos para a gestão das águas (Elaboração de estudos hidrológicos e de vazões extremas; Avaliação da rede qualiquantitativa para a gestão das águas no Estado do Rio de Janeiro; Áreas vulneráveis a eventos críticos; Avaliação das fontes alternativas para abastecimento do Estado do Rio de Janeiro; Impactos sinérgicos dos aproveitamentos hidrelétricos localizados no Estado do Rio de Janeiro; Avaliação do potencial hidrogeológico dos aquíferos localizados no Estado do Rio de Janeiro; e Avaliação da intrusão salina) e é feito um diagnóstico da situação atual em relação a esses temas, sendo propostos programas com horizonte de planejamento até 2030 na busca da sustentabilidade deste recurso e garantia do seu uso múltiplo (PERHI-RJ, 2014b).

É importante destacar também o Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDUI)⁴, que considerou o conceito de segurança hídrica em seu desenvolvimento. O plano, também conhecido como o Modelar a Metrópole, foi uma iniciativa do Governo do Estado, por meio da Câmara Metropolitana. Financiado pelo Banco Mundial e executado por um consórcio de empresas, foi entregue em 2017 e sofreu uma revisão complementação em 2018.

O Modelar a Metrópole elabora um conjunto de cenários, estratégias e instrumentos, referências para a sociedade fluminense e que irão orientar decisões governamentais nos anos futuros nas mais diversas áreas como: saneamento básico, habitação, gestão urbana, transportes e segurança hídrica. Seu objetivo é buscar um modelo de metrópole – ou uma rede de cidades - mais compacta e eficiente, inclusiva, equitativa e sustentável, com

⁴ Endereço eletrônico: <http://www.modelarametropole.com.br/o-plano/>

diversidade de atividades institucionais, econômicas e sociais (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2016).

Dentre suas diretrizes, as associadas com segurança hídrica são: “associar soluções de macrodrenagem e segurança hídrica à conservação de bens naturais e culturais” (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2017a) e “Promover o aumento da segurança hídrica para o abastecimento de água na RMRJ, a partir da incorporação de novos mananciais aos sistemas Guandu e Imunana-Laranjal e mudança de regime de mananciais existentes” (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2017b).

Em relação ao Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos da bacia do rio Guandu, Região Hidrográfica II, foco deste trabalho, a gestão é realizada pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA). Dentro das suas atribuições, firmou um contrato de gestão com a AGEVAP para desempenhar as funções de Entidade Delegatária de Agência de Água (PERH-Guandu, 2017). A Figura 9 mostra todos os entes que atuam no gerenciamento dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica II.



*O CEIVAP não atua como comitê na RH II, porém, faz parte de algumas decisões referentes à região devido ao sistema de transposições

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
 CERHI - Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro;
 Comitê Guandu - Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim;
 CEIVAP - Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul;
 MMA - Ministério do Meio Ambiente;

SRHU - Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano;
 SEA - Secretaria Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro
 ANA - Agência Nacional de Águas;
 INEA - Instituto Estadual do Ambiente;
 AGEVAP - Agência de Bacia do Rio Paraíba do Sul

Figura 9: Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos na Região Hidrográfica II – Guandu. Fonte: PERH-Guandu (2017).

Assim, o desafio desses atores é a gestão integrada dos recursos hídricos das bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu, de forma a garantir a segurança hídrica da RMRJ. Essa gestão integrando os diversos atores envolvidos possibilitará o atendimento dos diferentes usos de água da bacia do rio Guandu: abastecimento de mais de 9,4 milhões de pessoas na

região Metropolitana do Rio de Janeiro; abastecimento industrial e geração de energia elétrica.

Os principais fatores de insegurança hídrica existentes na região hidrográfica do rio Guandu (RH-II) seguem abaixo:

- (1) Dependência da bacia do rio Paraíba do Sul, a qual é compartilhada pelos Estados de São Paulo e Minas Gerais, através da transposição para o rio Guandu. A contribuição média interna da bacia do Guandu é de entorno de somente $3,10\text{m}^3/\text{s}$ enquanto a vazão média da transposição do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu está em torno de $160\text{m}^3/\text{s}$. não existindo nenhum outro manancial de porte na região. Assim, o rio Paraíba do Sul é a principal e quase única fonte de abastecimento de água para as populações da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), conforme indicam todos os planos e estudos efetuados até agora (MARQUES, 2006).
- (2) Utilização, por parte de São Paulo, das águas do Paraíba do Sul, através da nova interligação da bacia do Cantareira (Represa Atibainha) com a bacia do Paraíba do Sul (represa Jaguari), podendo alterar as regras de operação do Sistema Hidráulico do Paraíba do Sul.
- (3) Intrusão salina, principalmente em épocas de seca, na foz do rio Guandu, dificultando a captação pelas indústrias localizadas no Complexo industrial de Santa Cruz e impedindo o desenvolvimento desse polo industrial importante para o Estado do Rio de Janeiro.
- (4) Vazão atual do rio Guandu com comprometimento de 73,6% de seu valor, de acordo com o PERHI-RJ, podendo chegar em 2030 com mais de 90% de comprometimento de sua vazão nas projeções de cenários tendencial e factível, principalmente pelo acréscimo dos usos de abastecimento e industrial (Tabela 4)

Tabela 4: Balanço Hídrico na Bacia do rio Guandu, atual e futuro (2030). Adaptado de PERHI-RJ (2014a)

Cenários	Q _{95%} (m ³ /s)	Demandas de consumo (m ³ /s) (1)				Indicador (%)	Saldo Hídrico (m ³ /s)
		Abastecimento Humano	Indústria/ Mineração	Agropecuária	Total		
Atual	129,3	41,05	29,08	0,02	95,16	73,6%	34,1
Otimista (2030)	129,3	48,08	42,25	0,03	115,36	89,2%	14
Factível (2030)	129,3	52,71	42,31	0,02	120,04	92,8%	9,3
Tendencial (2030)	129,3	58,47	38,93	0,02	122,42	94,7%	6,9
Tendencial (2030)+Reserva Hídrica ETA Guandu (CEDAE)(2)	129,3	64,78	38,93	0,02	128,73	99,6%	0,57

Obs: (1) - O total de demandas de consumo inclui a vazão ecológica de 25m³/s
(2) - Duas reservas hídricas para ampliação da ETA Guandu de 12m³/s, sendo uma em execução e outra prevista para o horizonte de 2030.

- (5) Poluição dos rios e aquíferos da bacia, principalmente através da falta de infraestrutura de saneamento básico dos municípios no entorno.
- (6) Risco de acidentes ambientais associados a rodovias, ferrovias, dutos e indústrias localizados ao longo da transposição (AGEVAP, 2015a).
- (7) Falha na operação dos reservatórios do sistema de transposição, podendo ocasionar inundações ou falta de água a jusante dos reservatórios.
- (8) Falta de infraestrutura de drenagem, ocasionando inundações na região.
- (9) Mineração de areia na região sem um controle ambiental, ocasionando uma degradação do meio ambiente no entorno.
- (10) Escassez hídrica, através de períodos de secas, como por exemplo a crise hídrica de 2014/2015, a qual intensificou as vulnerabilidades da bacia e será relatada com mais detalhes ao longo deste trabalho.
- (11) A falta de articulação do gerenciamento dos recursos hídricos com o planejamento do uso do solo nos municípios integrantes da bacia (USIMINAS, 2010).

Esses fatores de insegurança hídrica que incentivaram esse trabalho, propondo uma alternativa para mitigar alguns desses fatores.

4 METODOLOGIA

Esta dissertação partiu de uma revisão de conceitos de recuperação de áreas degradadas e segurança Hídrica, buscando integrá-los como uma alternativa de solução para a região das cavas de mineração de areia de Seropédica. Dessa forma, com o objetivo de aumentar a segurança hídrica e criar alternativas de recuperação ambiental, se propõe aqui o desenvolvimento de caso de estudo exploratório, para as cavas em questão, de forma a combinar os conceitos abordados em uma metodologia que pode, a posteriori ser adaptada e aplicada a outros casos semelhantes.

Primeiramente, foi realizado um diagnóstico ambiental da bacia, seguido do levantamento de informações da crise hídrica de 2014/2015, que foi uma das motivações para a proposta dessa dissertação, com vistas a aumentar a segurança hídrica industrial na região do Baixo-Guandu. Depois, foi feito um diagnóstico da situação presente das cavas de mineração de Seropédica, junto com uma análise do planejamento urbano desse município, que mostra deficiências nos setores de saneamento e habitação, com interferências sobre a área das cavas.

Depois de coletar uma ampla gama de informações de diagnóstico da região de estudo, recorreu-se a uma análise SWOT para analisar a situação econômica e ambiental da região das cavas de areia de Seropédica/Itaguaí e escolher a melhor estratégia para uma proposta de intervenção nessa área. O termo SWOT é uma sigla oriunda do inglês, e um acrônimo de Forças (Strengths), Fraquezas (Weaknesses), Oportunidades (Opportunities) e Ameaças (Threats).

O objetivo do método SWOT é realizar uma análise crítica do cenário atual, identificando seus pontos fortes e fracos por meio de uma análise interna e identificando as possíveis ameaças e oportunidades, por meio de uma análise externa do contexto onde ele está inserido. Assim, é possível combinar os pontos fortes com as oportunidades e minimizar a combinação dos pontos fracos com as ameaças, de forma a realizar um planejamento estratégico e auxiliar na tomada de decisões (BONZATO et al., 2012).

A Tabela 5 mostra como é apresentada a matriz SWOT.

Tabela 5: Matriz SWOT.

Ambiente interno	FORÇAS	FRAQUEZAS
Ambiente Externo	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS

O método SWOT foi escolhido devido a sua versatilidade e fácil aplicabilidade, e ele é comumente aplicado como uma ferramenta gerencial para auxiliar nas decisões estratégicas de empresas. Porém, já existem diversas aplicações dele nos mais variados campos da ciência, como: comparação e análise de políticas públicas (ALOVISI JÚNIOR; BEREZUK, 2012; SANTOS; MONTEIRO; BEZERRA, 2017); análise ambiental de unidades de conservação (BONZATO et al., 2012; BRAUN; AMORIM, 2015); comparação de recuperação de áreas degradadas (DIAS, S.; PANAGOPOULOS; LOURES, 2008); avaliação ambiental para planos de uso e ocupação do solo (FABBRO NETO, 2010); avaliação da gestão de recursos hídricos (DIAMANTOPOULOU; VOUDOURIS, 2008; STATHOPOULOS; ROZOS; VASILEIOU, 2013), entre outros.

Para construir a matriz, foi feito um questionário através do Google Docs, incluindo um texto-base para a ambientação dos especialistas com a situação e 4 perguntas, o qual foi enviado, através de meios eletrônicos, para 11 especialistas da área de recursos hídricos. O modelo do questionário se encontra no Anexo 1. Através das respostas obtidas, a matriz SWOT foi gerada, auxiliando na escolha de proposta de intervenção nessa área degradada.

Uma das variáveis mais importantes nesse estudo é a área da(s) lagoa(s) proposta(s) e suas profundidades, pois essas variáveis definem o volume disponível que interfere diretamente no balanço hídrico. Assim, foi utilizado o software QGIS, programa aberto de geoprocessamento, e dados raster do terreno obtidos do laboratório LHC da COPPE/UFRJ em um grid de 1m x 1m, para estudar alternativas para as lagoas. Esse software também foi utilizado para propor uma configuração para o uso do solo na área de estudo, favorecendo seus pontos fortes e oportunidades e tentando diminuir os pontos fracos e ameaças definidos na matriz SWOT.

Junto com a proposta de uso do solo, foram também propostas algumas intervenções urbanas na região que influencia diretamente a qualidade das águas afluentes às lagoas, atuando de modo integrado com a solução de uso das lagoas como reserva hídrica, sendo soluções para uma requalificação urbana da região, com consequente requalificação do próprio rio que aflui às cavas.

A escolha da alternativa de lagoas envolve algumas variáveis quantitativas, como tamanho e profundidade das futuras lagoas; a quantidade destas; a quantidade de rios interligados e as vazões que serão utilizadas pelas indústrias, sendo necessário processar o balanço hídrico.

4.1 BALANÇO HÍDRICO

Para escolha da melhor opção de proposta em relação às variáveis quantitativas - ou seja, para avaliação da viabilidade das lagoas se tornarem reservatórios e abastecerem as indústrias do Baixo-Guandu, um balanço hídrico mensal de reservatório foi simulado no software Microsoft Excel, assumindo que as lagoas são um reservatório com entrada de vazões fluviais a montante e saída para captação industrial, em caso de escassez, ou simplesmente vertendo, em operação normal. Para a escolha do melhor cenário, alguns critérios foram desenvolvidos para ajudar na análise.

O balanço hídrico relaciona a continuidade da massa e a troca de energia dos sistemas envolvidos, no tempo e no espaço (TUCCI, 1993). Os componentes principais deste balanço são: precipitação, evaporação, transpiração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo.

A equação da continuidade, para realização do balanço hídrico, para um reservatório ou lago, considerando volumes afluentes ao longo de um intervalo de tempo Δt pode ser dada por:

$$V_2 - V_1 = (Q_a - Q_e)\Delta t + (S_a - S_e)\Delta t + (P - E)A \quad \text{Equação 5}$$

Onde

V_1 e V_2 = volumes armazenados no início e no final do intervalo;

Q_a e Q_e = vazões superficiais médias afluente e efluente;

S_a e S_e = vazões subterrâneas médias, afluente e efluente;

P = altura de precipitação acumulada ao longo de Δt ;

E = altura de evaporação acumulada ao longo de Δt ;

A = área (média) da superfície do lago.

4.1.1 DADOS

Para fazer o balanço hídrico, foram utilizados dados de precipitação, temperatura média, umidade relativa e vento médio da Estação Meteorológica Agrícola, do INMET (Figura 10), código 86878, localizada na Latitude: -22.757868° e Longitude: -43.684843°. Foi realizada uma consistência de todas as variáveis meteorológicas e os dados faltantes foram substituídos pela média histórica mensal.



Figura 10: Imagem do Google Earth com a localização da Estação Meteorológica Ecológica Agrícola (INMET).

4.1.2 ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS LAGOAS

Para a estimativa da evaporação no lago foi utilizado o método combinado proposto por Penman (MCCUEN, 1998; PENMAN, 1948; TOMAZ, 2013) que combina os efeitos de balanço de energia e aerodinâmico. Esse método foi escolhido depois de analisar uma avaliação comparativa da evaporação total entre resultados obtidos com as Normais Climatológicas geradas pelo INMET e a os valores medidos pela estação Ecológica Agrícola de Seropédica, através do método de Penman. Os resultados ficaram bem similares, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 : Comparação da média da evaporação mensal através do Método de Penman com a Evaporação Total medida pelo INMET (evaporímetro de Piche) na estação Ecológica Agrícola, Seropédica.

	E_p – MÉTODO DE PENMAN (mm/mês)	Normais Climatológicas - INMET - Evaporação Total - Evaporímetro de Piche (mm/mês)
JANEIRO	161.2	130.8
FEVEREIRO	139.0	123.5
MARÇO	128.1	117.4
ABRIL	97.3	99.4
MAIO	74.3	99.4
JUNHO	64.9	100.8
JULHO	72.7	108.5
AGOSTO	92.5	126.1
SETEMBRO	111.2	111.4
OUTUBRO	137.3	121.2
NOVEMBRO	142.7	123.4
DEZEMBRO	157.6	132.3
MÉDIA ANUAL	1379	1394

A expressão utilizada por Penman para o cálculo da evaporação da superfície de água livremente exposta à atmosfera (E_p) é a seguinte:

$$E_p = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} E_n + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

E_n = energia líquida disponível (mm/dia) **(a)**

E_a = poder evaporante do ar à sombra (mm/dia) **(b)**

Δ = tangente à curva de pressão de saturação do vapor (mm Hg/°C)

γ = constante psicométrica de Bowen (mm Hg/°C)

(a) A energia líquida disponível (E_n), pode ser estimada através da radiação líquida disponível (R_n), sendo calculada pela expressão:

$$E_n = \frac{10R_n}{H_v} = \frac{10(R_{in} - R_o)}{596 - 0,52T} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

R_{in} = quantidade de radiação absorvida (incoming) **(a1)**

R_o = saída da radiação solar (g.cal/cm².dia) (**a2**)

Hv = calor latente de vaporização (g.cal/cm³)

T = temperatura em °C

$$(a1) = R_{in} = R_A(0,18 + \frac{0,55n}{N})(1 - a) \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

R_A = radiação recebida no topo da atmosfera (g.cal/cm².dia). Tabela 5.3 do livro Hidrologia Aplicada (VILLELA; MATTOS, 1975)

n = insolação = duração atual de sol brilhante em horas

N = insolação máxima = número possível de horas de sol durante o dia em função da latitude. Tabela 5.2 do livro Hidrologia Aplicada (VILLELA; MATTOS, 1975)

a = albedo da superfície (relação entre a energia refletida e a incidente). Para superfície de lagos é comum adotar-se o valor de 0,05 (TOMAZ, 2013)

De acordo com o Villela e Matos (1975) em relação a radiação incidente, foram obtidos os coeficiente válidos para o Estado de São Paulo, ficando a equação $R_{in} = R_A(0,24 + \frac{0,58n}{N})(1 - a)$, sendo utilizada assim nesse estudo, sendo uma melhor aproximação do que os coeficiente obtidos para condições da Inglaterra.

$$(a2) = R_o = \sigma T_a^4(0,47 - 0,077\sqrt{e_a}) \left(0,2 + 0,8\frac{n}{N}\right) \text{ (g. cal/cm}^2\text{. dia) Equação 9}$$

Onde:

T_A = temperatura absoluta do ar (médias diárias em graus Kelvin)

e_a = pressão do vapor do ar (mm Hg)

σ = constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 1,1707 \cdot 10^{-7} \text{ cal. cm}^{-2}\text{ dia}^{-1} \cdot \text{°K}^{-4}$)

Assim, a expressão da radiação líquida disponível (R_n) fica:

$$R_n = R_A(0,24 + \frac{0,58n}{N})(1 - a) - \sigma T_a^4(0,47 - 0,077\sqrt{e_a}) \left(0,2 + 0,8\frac{n}{N}\right) \quad \text{Equação 10}$$

(b) O poder evaporante do ar à sombra (E_a) segundo Penman é expresso por uma equação empírica baseada na lei de difusividade:

$$Ea = 0,35(0,2 + 0,55U)(e_s - e_a)$$

Equação 11

Onde:

U = velocidade média do vento em m/s, medida a 2m acima da superfície evaporante

e_s = pressão de saturação do vapor à temperatura do ar, tabelado. (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$e_a = \text{pressão de vapor do ar} = \frac{UR \times e_s}{100} \text{ (mm Hg)}$$

UR = umidade relativa mensal (%)

A diferença $e_s - e_a$ é chamada déficit de saturação.

(c) A tangente à curva de pressão de saturação do vapor é expressa através da expressão:

$$\Delta = \frac{4098xe_s}{(237,3+T)^2}$$

Equação 12

Onde:

e_s = pressão de saturação do vapor à temperatura do ar (mmHg)

T = temperatura média do mês (°C)

(d) constante psicométrica, γ , é dada por:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} \times P$$

Equação 13

Onde:

P = pressão atmosférica, a qual depende da altitude z e é definida como

$$P \text{ (mmHg)} = \{101,3 \times [293 - 0,0065 \times z] / 293\}^{5,26} \times 7,50062 \quad \text{Equação 14}$$

O valor de γ oscila em torno de 0,5 mm Hg/°C.

É importante ressaltar que foi considerado nulo o efeito da evapotranspiração das áreas que não contêm o lago, comparado com a evaporação no lago.

4.1.3 VAZÕES AFLUENTES

Um dos principais desafios desse estudo de balanço hídrico foi gerar uma série de vazões sintéticas afluentes para o período do balanço (2008 a 2018). Isso se deve à falta de

dados de vazão na maior parte dos rios da bacia do rio da Guarda, em especial os rios Valão dos Bois e rio Piloto, que podem ser utilizados nesse estudo para alimentação dos reservatórios que poderão se formar nas cavas. Como não existia nenhum dado de vazão em bacia próxima para o período do estudo, foi necessário utilizar os dados de um período anterior, da estação Avenida Brasil (59305112), do INEA, localizada na bacia do rio Campinho (Área drenagem = 33km²), a qual faz parte da bacia do rio Guandu-Mirim, e criar um modelo de chuva-vazão para a obtenção de dados de vazão para o período requerido. Com os resultados desse modelo, foi utilizada a metodologia de regionalização de vazão, através da relação entre áreas de drenagem, para a obtenção dos dados de vazão para os rios da bacia do rio da Guarda utilizados no balanço hídrico.

Essa estação foi escolhida pois ela já foi utilizada no estudo de vazões regionalizadas do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI-RJ, 2014b) justamente para a bacia do rio da Guarda.

É importante ressaltar que, apesar da bacia do rio Campinho ser bem urbanizada desde a década de 1990, se diferenciando hidrológicamente das bacias dos rios utilizados no balanço hídrico das cavas, na época em que as medições de vazões apresentam dados disponíveis (para a década de 70), utilizados no modelo-chuva-vazão para a bacia, esta ainda não era tão urbanizada, podendo ser comparada com as atuais bacias de interesse do estudo.

O período de operação dessa estação foi de jul/1969 a ago/1978, gerando séries de medição de vazão e séries de níveis. Foram criadas 4 curvas-chaves para diferentes períodos de dados hídricos (PERHI-RJ, 2014b). A Tabela 7 mostra a equação de cada curva-chave e a Figura 11 mostra o gráfico de cada curva-chave.

Tabela 7: Curvas-chaves do INEA para a estação Avenida Brasil, rio Campinho.

Período	Curva-Chave INEA
1969 a abr/1972	$Q = 3,938(h + 0.05)^{2,2941}$
mai/1972 a set/1972	$Q = 3,8593h^2 + 0,9563h - 0,2481$
set/1972 a jan/1973	$Q = 0,9877h^2 + 1,3585h - 0,7704$
fev/1973 a 78	$Q = 2,4529h^2 + 0,7523h - 0,0335$ para $h \leq 0,9$

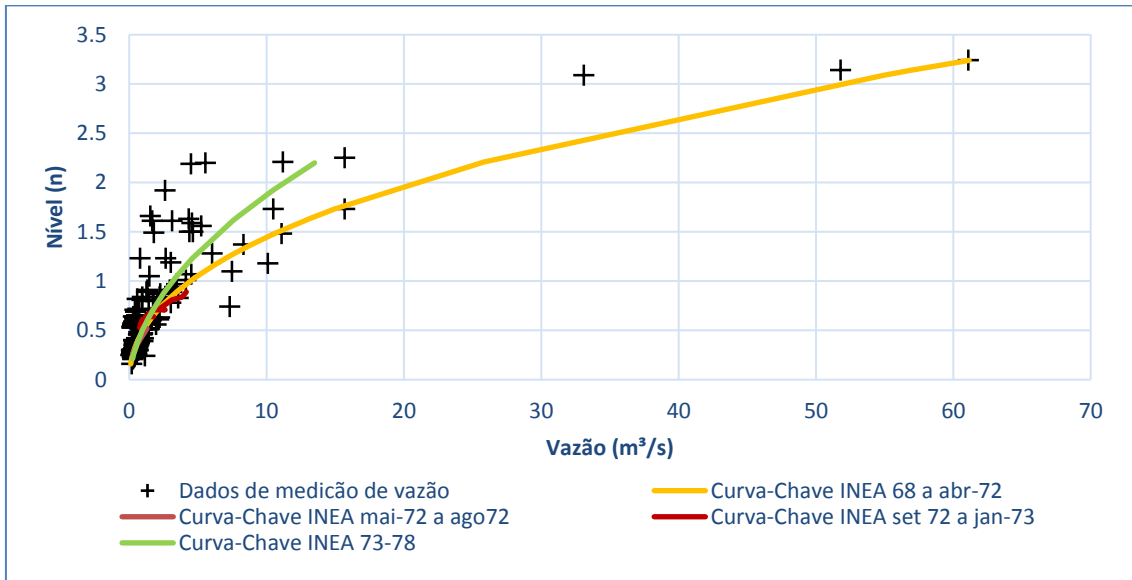


Figura 11: Curvas-chaves da estação Avenida Brasil, rio Campinho.

Com as curvas-chaves, foi gerada uma série de vazões da estação Avenida Brasil para o período de jul/1972 a jul/1978, período utilizado na simulação chuva-vazão, através dos dados médios mensais de vazão calculadas pelas curvas-chaves. Os anos de 1968 a 1971 foram excluídos devido a dados faltantes. A Figura 12 mostra o hidrograma de vazão da estação.

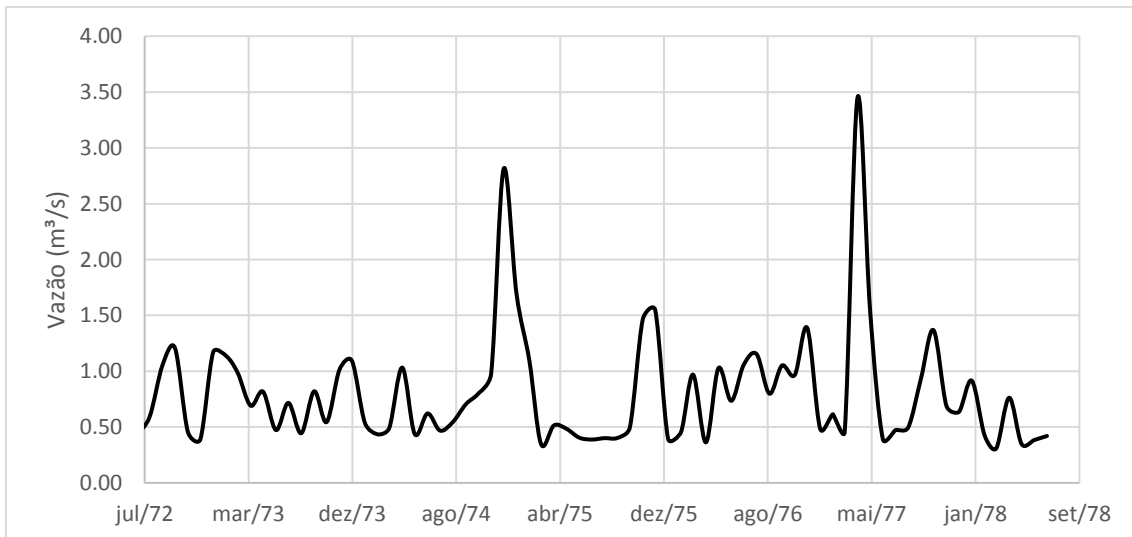


Figura 12: Hidrograma de vazão gerado pela curva-chave criado com os dados de medição de vazão da estação da Av. Brasil, rio Campinho.

O modelo de simulação hidrológica chuva-vazão utilizado foi o SMAP mensal (Soil Moisture Accounting Procedure), sendo um modelo desenvolvido por Lopes *et al.* (1982) e muito utilizado na engenharia de recursos hídricos nacional. É um modelo conceitual e

determinístico, que utiliza para a separação do escoamento superficial os parâmetros do método do Soil Conservation Service (SCS).

De acordo com Miranda *et al.* (2017), no SMAP mensal, todos os processos de armazenamento de água da bacia são representados por dois reservatórios, um associado à zona aerada do solo (R_{solo}) e outro à zona saturada (R_{sub}). Através da ação da chuva e da evaporação potencial, esses reservatórios estão sujeitos aos processos de transferência de água de evapotranspiração, infiltração e percolação (atuantes no reservatório da zona aerada do solo) e aos processos de recarga e escoamento básico (atuantes no reservatório da zona saturada), conforme mostra a Figura 13. Assim, o volume mensal liberado pela bacia corresponde ao volume de escoamento superficial (E_s) acrescido do volume descarregado pelo reservatório inferior, escoamento base (E_b).

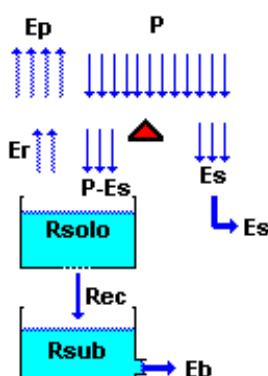


Figura 13: Processos de transferência de água no modelo SMAP. (LOPES, 1999)

Onde:

R_{solo} = armazenamento no reservatório do solo (zona aerada)

R_{sub} = armazenamento no reservatório subterrâneo (zona saturada)

P = precipitação incidente

E_s = Escoamento superficial (diferença entre precipitação e a infiltração)

E_p = Evaporação potencial atuante

E_r = Evapotranspiração real

Rec = Recarga subterrânea (percolação do reservatório superior)

E_b = escoamento de base

Para o cálculo destas transferências surgem os 4 parâmetros do modelo SMAP:

Str = Capacidade de saturação do solo (mm)

Pes = Parâmetro de escoamento superficial

$Crec$ = Coeficiente de recarga

Kk = Coeficiente de recessão do escoamento base (mês-1)

$$Kk = 0,5^{1/Kkt} \quad \text{Equação 15}$$

Onde Kkt = constante de recessão (meses)

A partir desses parâmetros, têm-se as equações para o cálculo das variáveis do modelo.

$$Es = (Rsolo/Str)^{Pes} \cdot P \quad \text{Equação 16}$$

$$Er = (Rsolo/Str) \cdot Ep \quad \text{Equação 17}$$

$$Rec = Crec \left(\frac{Rsolo}{Str} \right)^4 Rsolo \quad \text{Equação 18}$$

$$Eb = (1 - Kk) Rsub \quad \text{Equação 19}$$

Assim, as variáveis de estado são atualizadas mensalmente da seguinte forma:

$$\text{Reservatório do solo} = Rsolo(t + 1) = Rsolo(t) + P - Es - Er - Rec \quad \text{Equação 20}$$

$$\text{Reservatório subterrâneo} = Rsub(t + 1) = Rsub(t) + Rec - Eb \quad \text{Equação 21}$$

$$Q = (Es + Eb) \cdot Ad / 2630 \quad \text{Equação 22}$$

Onde: Ad = área de drenagem (km^2)

O modelo inicia-se com o cálculo da capacidade do reservatório de água no solo - $Rsolo(1)$ e o cálculo da recarga subterrânea - $Rsub(1)$.

$$Rsolo(1) = Tuin \cdot Str \quad \text{Equação 23}$$

Onde: $Tuin$ = teor de umidade inicial

$$Rsub(1) = \frac{\left[\frac{Ebin}{1-Kk} \right]}{Ad \cdot 2630} \quad \text{Equação 24}$$

Onde: $Ebin$ = vazão básica inicial (m^3/s)

O modelo SMAP necessita das informações de precipitação, vazão e evapotranspiração como dados de entrada de sua modelagem e para calibração é necessário de 2 a 9 anos de dados de vazão média mensal (BUCHIANERI, 2004).

Lopes (1999) recomenda iniciar a calibração pelo mês mais seco, pois nesse período a umidade do solo e a vazão básica estão em seus valores mínimos.

Os dados de vazão gerados foram divididos entre o período de calibração (jul/1972 a jul/1975) e validação (jul/1975 a jun/1978). Além disso, foi utilizada uma série histórica de precipitação desse mesmo período, da Estação Campo Grande (2243089) do INEA, sendo a mais próxima da bacia de drenagem do rio Campinho, com menos de 3km de distância.

As Figuras 14 e 15 mostram a área de drenagem da bacia do Campinho e a localização da estação Campo Grande, nos anos de 1984 (sendo o ano mais próximo do período de dados de vazão da estação Av. Brasil, INEA) e 2014 (sendo representativo do período de simulação do balanço hídrico), respectivamente. Nos mapas são mostradas também a estação fluviométrica (estação Av. Brasil), de onde foram utilizados os dados de vazão, e pluviométrica (estação campo Grande), de onde foram utilizados os dados de precipitação no modelo chuva-vazão SMAP mensal.

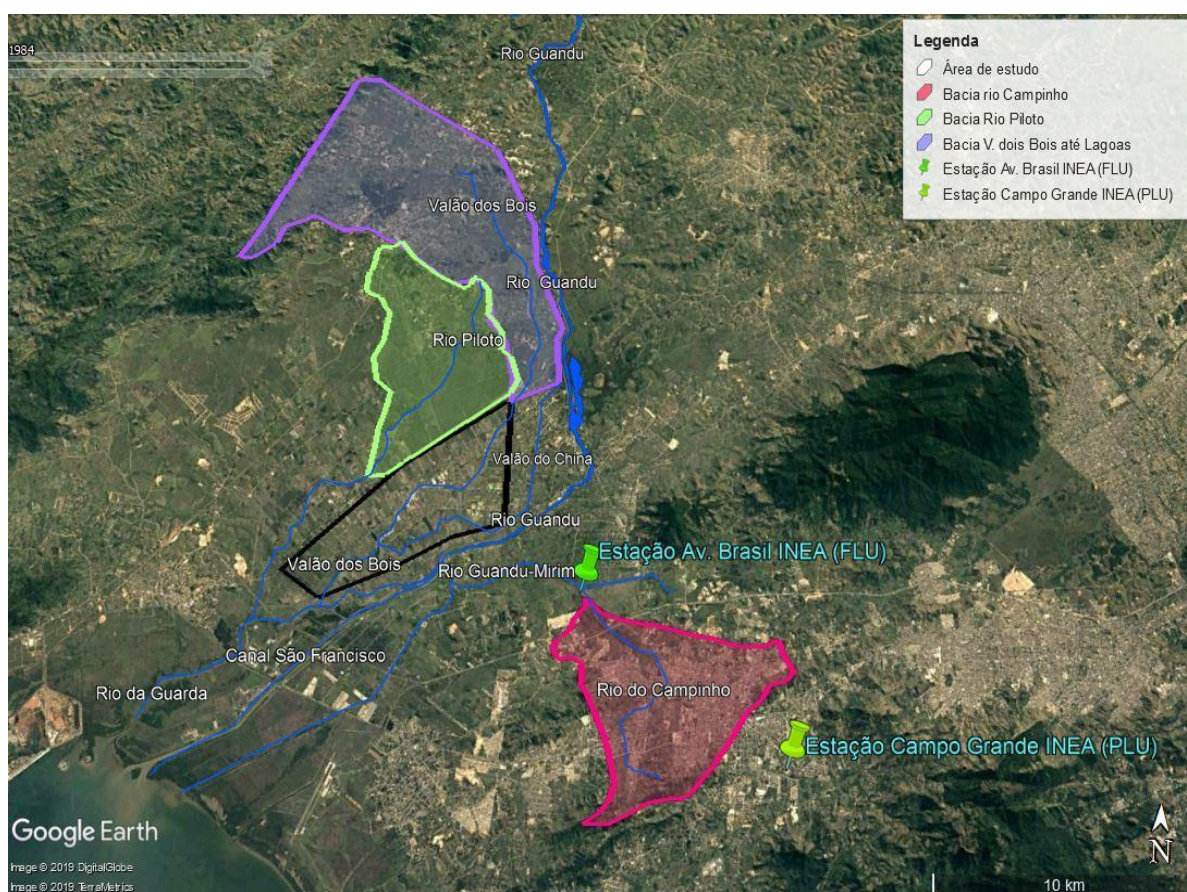


Figura 14: Bacias de drenagem do rio Campinho, rio Piloto e Valão dos Bois e localização das estações fluviométrica (Av. Brasil) e pluviométrica (Campo Grande), utilizadas no modelo SMAP mensal (1984). Fonte: autoria própria.

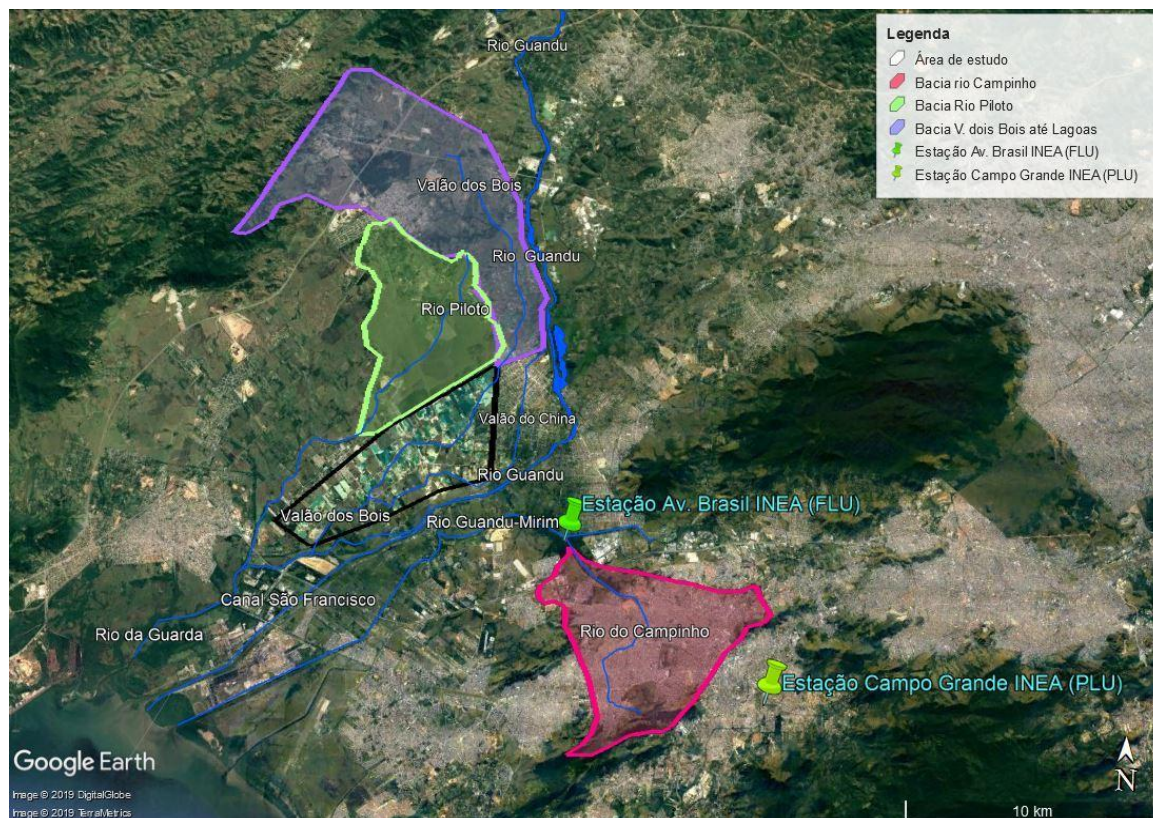


Figura 15: Bacias de drenagem do rio Campinho, rio Piloto e Valão dos Bois e localização das estações fluviométrica (Av. Brasil) e pluviométrica (Campo Grande), utilizadas no modelo SMAP mensal (2014). Fonte: autoria própria.

A evaporação potencial mensal utilizada foi retirada da tabela de Normais Climatológicas do Brasil do INMET, para a estação Ecológica Agrícola, a mais próxima dessa bacia.

Para otimização dos parâmetros de calibração foi utilizado a ferramenta Solver do Excel junto com um ajuste manual, maximizando a soma do Coeficiente de Eficiência De Nash e Sutcliffe (COE), Equação 25, e o Coeficiente de Erro Relativo, equação 26. Assim, a função objetivo foi chamada de Coeficiente de Eficiência do SMAP (Equação 27).

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_o - E_s)^2}{\sum_{i=1}^n (E_o - \bar{E}_o)^2} \quad \text{Equação 25}$$

Onde:

E_o = evento observado;

E_s = evento simulado pelo modelo;

\bar{E}_o = média do evento observado no período de simulação; e

n = número de eventos.

Esse coeficiente é considerado um dos mais importantes critérios para avaliar a precisão de modelos hidrológicos. O coeficiente (COE) pode variar entre negativo infinito a 1, sendo o valor 1 um perfeito ajuste. Quando o valor de COE resultar maior que 0,75, o desempenho do modelo é considerado bom. Para valores de COE entre 0,36 e 0,75, o desempenho é considerado aceitável (SILVA et al., 2008).

$$C. Erro Relativo = 1 - \frac{\sum \frac{|E_s - E_o|}{E_o}}{n} \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

E_o é o evento observado;

E_s , o evento simulado pelo modelo; e

n , o número de eventos.

Esse coeficiente também pode variar entre negativo infinito a 1.

$$C. Eficiência SMAP = COE + C. Erro Relativo C \quad \text{Equação 27}$$

Esse coeficiente para variar entre negativo infinito e 2.

De acordo com Martini (2015), o primeiro coeficiente dá um maior peso para os desvios nas altas vazões (apesar de serem mais raras, possuem grandes valores absolutos) enquanto o segundo coeficiente enfatiza os desvios para vazões baixas (vazões do período de estiagem).

Após a simulação hidrológica no modelo SMAP, foi gerada uma série sintética de vazões para a bacia do rio Campinho, com os dados de precipitação da Estação Ecológica Agrícola, em Seropédica, mais próxima às cavas de mineração, de 2008 a 2018.

Esses dados foram regionalizados em função da relação entre as áreas da bacia do Campinho (33km²) e da bacia do rio Valão dos Bois (70km²), até a entrada nas lagoas, e rio Piloto (33km²), com as respectivas relações entre áreas de 2,12 e 1.

No caso do rio Piloto, as vazões geradas tiveram que ser descontadas de 50% da $Q_{7,10}$ para continuar passando uma vazão mínima a jusante. A vazão regionalizada $Q_{7,10}$ para o rio Piloto foi retirada das equações de regionalização do PERH-Guandu (2017), proporcional a área da bacia até a entrada nas lagoas, sendo esta de 0,14 m³/s.

4.1.4 VAZÕES DEFLUENTES

Nos períodos de operação normal, não haverá captação e as vazões que entram no sistema são consideradas iguais às que saem, sendo vertidas para fora dos lagos; portanto, sem alteração do regime a jusante. Quando em operação durante períodos de escassez, o lago formado pela recuperação e aproveitamento das cavas de areia de Seropédica será utilizado como reserva hídrica para a região do Baixo-Guandu, deixando de verter e apresentando como única vazão defluente aquele que poderá ser captada para suprir o abastecimento local. Para definir qual deveria ser o valor de referência para avaliação da funcionalidade desta proposta, tomou-se o consumo das indústrias do Baixo-Guandu, que utilizam a água hoje captada no Canal de São Francisco.

A Tabela 8 mostra a comparação das vazões de captação cadastradas e outorgadas pelo INEA para as indústrias localizadas no Canal de São Francisco. O somatório da vazão cadastrada dessas indústrias é 2,82 m³/s, enquanto o somatório da vazão outorgada é 9,68 m³/s. Estes somatórios não consideram a outorga para a Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA), que pode consumir água salobra e, portanto, não sofre com problemas de escassez como as demais empresas, que apresentam limite para a salinidade na captação. De acordo com o PERH-Guandu (2017) existe uma discrepância entre os dados cadastrados e outorgados pelo INEA, devido a uma evolução da tecnologia e processos das indústrias. Conforme os processos indústrias ficam mais eficientes e o uso da água tende a um “ciclo fechado”, a demanda externa por água reduz, diminuindo assim as vazões efetivamente cadastradas. Porém, as indústrias mantêm as outorgas iniciais como reserva em caso de necessidade futura.

Assim, nesse contexto, o valor de captação utilizado como referência de atendimento a demandas locais, no balanço hídrico do reservatório das cavas, em momentos de escassez, foi adotado como sendo 5,8m³/s, o que corresponde a pouco mais que o dobro da vazão cadastrada pelas indústrias atualmente, já levando em consideração, portanto, a possibilidade de crescimento da região no futuro, com novos usos, mas ainda assim não exagerado, dado que corresponde a cerca de 60% da vazão de outorga das indústrias do Baixo-Guandu,.

Tabela 8: Vazões cadastradas e outorgadas pelo INEA das indústrias localizadas no Baixo Guandu, no Canal de São Francisco. Fonte dos dados: PERH – Guandu (2017)

Localidade	Q Cadastro (m ³ /s)	Q Outorga (m ³ /s)
Canal de São Francisco	2,82	9,68

Em condições normais, as lagoas extravasam naturalmente e, em condições de seca, a vazão do Valão dos Bois alimenta o reservatório, que será deplecionado pela captação industrial e o trecho de jusante terá somente a contribuição do rio Valão do China, que afluí ao sistema logo a jusante do vertedouro previsto para os lagos.

4.1.5 VAZÃO SUBTERRÂNEA

A vazão subterrânea foi considerada nula, ou seja, considerou-se a cava desconectada do lençol, assumindo um cenário desfavorável no qual não há movimentações entre o aquífero e as cavas e, portanto, só há contribuição superficial para recuperação da capacidade do sistema.

4.1.6 CENÁRIOS E CRITÉRIOS

Para a análise do comportamento das vazões vertidas durante o funcionamento natural das lagoas operando em cotas de água máximas, foi realizado um balanço hídrico sem considerar a captação das indústrias durante todo o período de dados de 2008-2018 (o que significa que, por hipótese, a água das cavas não teria sido necessária), variando somente a configuração de afluência, ou seja, considerando somente o Valão dos Bois, em primeira alternativa, ou o Valão dos Bois junto com o rio Piloto, como segunda alternativa, com maior vazão aportada. Essa simulação tem por objetivo apenas mostrar o que deverá ocorrer na maior parte do tempo, fora de períodos operacionais extremos, em relação às vazões liberadas a jusante por este novo arranjo para as cavas de areia de Seropédica.

Já para a análise do período de tempo necessário para secar e encher as lagoas (reservatório), no caso de sua utilização pelas indústrias, foram criados alguns cenários, com a combinação das seguintes variáveis:

- Foram utilizados dois valores para a vazão captada pelas indústrias. O primeiro considera o valor total das vazões captadas (somatório da vazão média operacional das indústrias), representando assim uma utilização

intensiva do reservatório para suprir todas as necessidades operacionais destas indústrias. Já o segundo valor considera a metade das vazões captadas pelas indústrias, representando uma utilização mais econômica da água no reservatório. Nesse caso, considera-se que, em períodos de maré baixa no canal de São Francisco, seria possível manter a captação original, devido à redução da intrusão da cunha salina, reservando somente para a maré alta a necessidade de captação no reservatório das cavas de areia.

- Foram consideradas duas condições de afluição para as cavas: considerando somente um rio afluente, sendo este o Valão dos Bois; e utilizando o Valão dos Bois junto com o rio Piloto para aumentar a capacidade de recuperação do reservatório.
- A profundidade média das lagoas foi considerada variável entre 2m, 5m, 10m e 20m. Esses valores foram adotados, tendo em vista a falta de informações precisas, com o objetivo de construir uma curva *profundidade média x meses de abastecimento industrial*, que servirá de referência para o planejamento do aproveitamento das cavas, a partir da investigação futura sobre a real capacidade de armazenagem destas. O valor de 20m de profundidade refere-se às informações disponíveis sobre as profundidades da camada de areia na região na literatura (BERBERT, 2003; MARQUES, 2006; VIANNA, 2006).

A Tabela 9 mostra o resumo de todos os cenários simulados com a utilização das lagoas por parte das indústrias.

Tabela 9: Cenários simulados com utilização das lagoas.

CENÁRIO (C.)	RIO AFLUENTE	PROF. LAGOAS	VAZÃO INDUSTRIAL	
1	Valão dos Bois	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	
2			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	
3		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	
4			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	
5		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	
6			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	
7		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	
8			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	
9		Valão dos Bois	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)
10		+ rio Piloto		Utilização Econômica(2,9m ³ /s)

11		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)
12			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)
13		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)
14			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)
15		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)
16			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)

Para análise de todos esses cenários, alguns critérios foram adotados, facilitando a escolha do(s) melhor(es) cenário(s). Os critérios escolhidos são conservadores e rigorosos, considerando obter o maior volume de reserva hídrica para a região do Baixo-Guandu. Segue abaixo a ordem de avaliação:

Critério 1: a utilização das lagoas pelas indústrias para uma seca moderada deverá alcançar no mínimo 6 meses de uso, garantindo assim que as indústrias cheguem ao período úmido. Esse caso foi considerado como o de condições médias de seca. O balanço utiliza as médias mensais de todo o período de dados disponível (2008-2018), avaliando, assim, o esvaziamento e enchimento das lagoas em um caso de condições moderadas.

Critério 2: a utilização das lagoas pelas indústrias durante a seca de 2014-2015 (seca extrema) deverá alcançar no mínimo 20 meses de uso, garantindo assim o abastecimento das indústrias durante todo o período de seca. Nesse período ocorreu uma das piores secas dos últimos 84 anos e, portanto, foi considerado como um cenário de seca severa. A Figura 16 mostra os dados de chuva da estação Ecológica Agrícola e a série sintética de vazões do rio Valão dos Bois, mostrando o período escolhido da análise (círculo vermelho). Percebe-se que durante os 10 anos de dados é o período de menos chuva e, conseqüentemente, menos vazão.

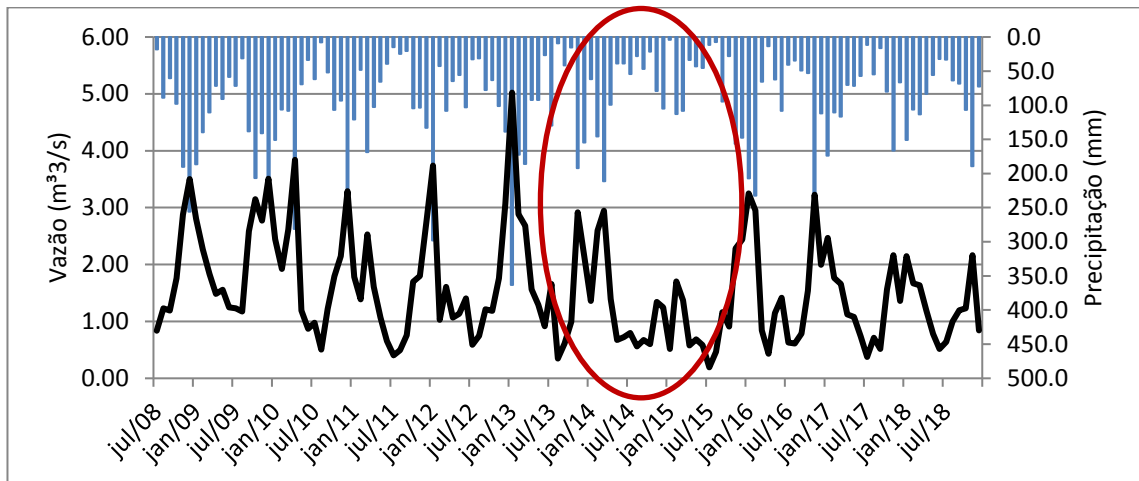


Figura 16: Gráfico da série de vazões sintéticas do rio Valão dos Bois e da precipitação da estação Ecológica Agrícola.

Critério 3: considerando uma seca moderada, e após seis meses de uso das lagoas pelas indústrias, as lagoas começam a encher e tem até 6 meses para poder voltar ao seu nível original, dando tempo para as lagoas se recuperarem até o próximo período de seca.

Critério 4: considerando a seca de 2014-2015, após 20 meses de uso das lagoas, o abastecimento industrial para e começa seu enchimento. Nesse caso, o tempo máximo para as lagoas se recuperarem foi tomado como 18 meses, supondo que o período úmido de recuperação, posterior ao da seca simulada, garante, pelo menos, a passagem pela primeira estiagem seguinte sem utilização do reservatório.

Assim, os critérios 1 e 2 analisam o tempo de uso industrial das lagoas durante uma seca e os critérios 3 e 4 analisam o tempo para as lagoas se recuperarem após uma seca. Com esta lógica, somente os cenários que atenderem aos critérios 1 e 2 serão analisados pelos critérios 3 e 4. Dessa forma, os resultados podem orientar decisões de gestão para o sistema.

Todas as simulações começam no início de maio, mês que inicia o período de seca na região de estudo e consideram o reservatório iniciando cheio, por hipótese, dado que ele só será utilizado em eventos excepcionais, tendo, portanto, a oportunidade de estar cheio no início do processo.

4.2 RESUMO

Assim, resumidamente, o procedimento proposto nesta Tese contém os seguintes passos básicos:

- a) Revisão bibliográfica sobre segurança hídrica e recuperação de áreas degradadas;
- b) Diagnóstico da situação atual da bacia de estudo e das cavas de mineração de areia de Seropédica, incluindo o planejamento urbano do município;
- c) Realização de um questionário com especialistas multidisciplinares sobre os pontos fortes, fracos, ameaças e oportunidades para a região de estudo;
- d) Montagem da matriz SWOT utilizando as respostas dos especialistas e o conhecimento adquirido através do diagnóstico da região.
- e) Proposta de Segurança Hídrica e Recuperação Ambiental, favorecendo os pontos fortes e oportunidades e tentando diminuir os pontos fracos e ameaças levantados pela matriz SWOT.
- f) Incremento da proposta com soluções de intervenções urbanas.
- g) Aquisição de dados de topografia e variáveis meteorológicas da área.
- h) Planejamento do uso do solo e da área das lagoas utilizando o software QGIS junto com informações topográficas da região de estudo
- i) Aquisição e consistência das variáveis hidrológicas para o balanço hídrico.
- j) Geração de uma série de evaporação mensal através do método combinado de Penman.
- k) Geração de uma série sintética de vazões de uma bacia de referência, utilizando o programa SMAP mensal, considerando que não há dados medidos para a bacia de interesse.
- l) Regionalização da série de vazões gerada pelo modelo SMAP, para transferência para a bacia de interesse, através da proporcionalidade entre áreas de drenagem das bacias.
- m) Realização do balanço hídrico no software Excel, com opções de alternativas das variáveis: quantidade de rios interligados; e vazões que serão utilizadas pelas indústrias.
- n) Análise da melhor alternativa através de critérios de desempenho de atendimento de oferta de água e de recuperação da capacidade de reservação.

O fluxograma, Figura 17, mostra os itens acima.

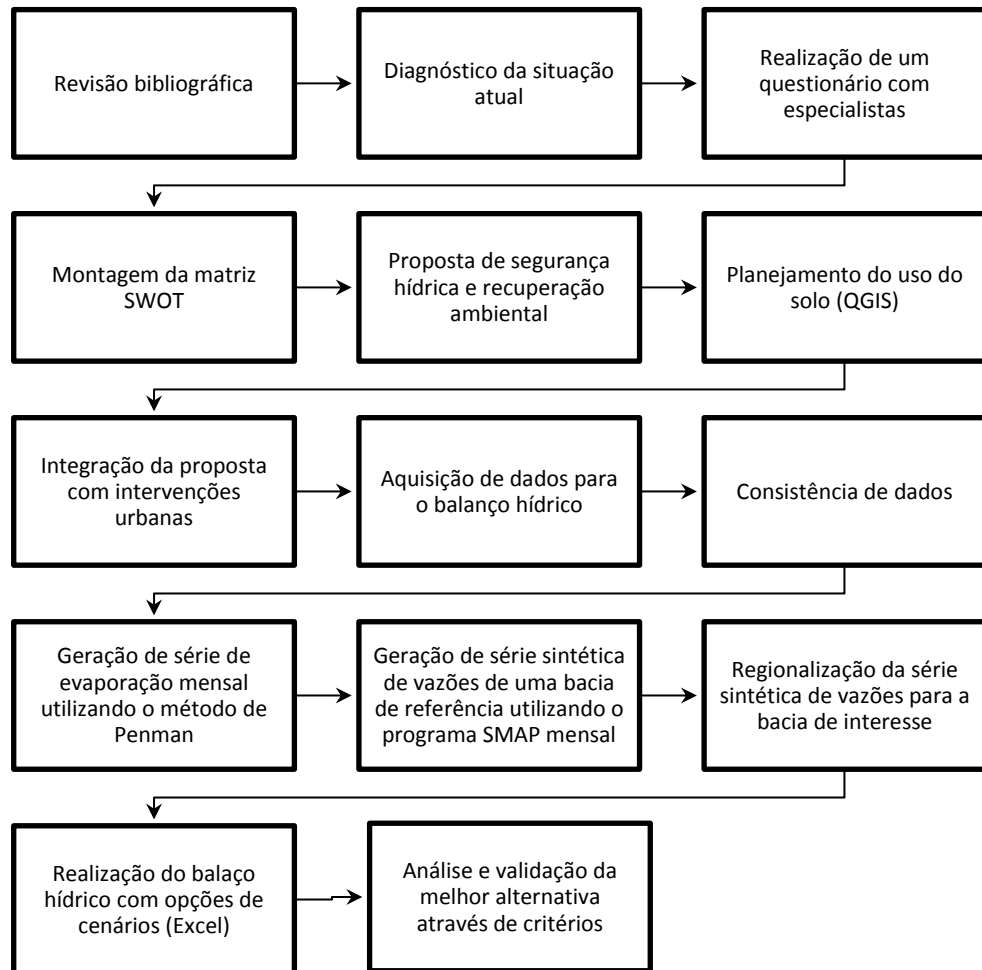


Figura 17: Fluxograma das etapas da metodologia utilizada neste trabalho.

5 DIAGNÓSTICO DA REGIÃO DE ESTUDO

A área de estudo, o Distrito Areeiro de Itaguaí-Seropédica, se localiza entre os municípios de Seropédica e Itaguaí, no chamado “Polígono de Piranema” onde se encontram a maioria das minerações de areia em cava submersa da região, na sub-bacia do rio da Guarda, a qual faz parte da bacia hidrográfica do rio Guandu – Região Hidrográfica II do PERHI – RJ.

O “polígono de Piranema”, ao sul é delimitado pelo limite da bacia da foz do rio Guandu; a leste pelo bairro de Seropédica, Campo Lindo; e a oeste/norte, pela rodovia RJ-099 (Rodovia Prefeito Abeilard Goulart de Souza), conhecida também como Reta de Piranema. A Figura 18 mostra a localização da área de estudo. Essa área possui em torno de 28 km².



Figura 18: Delimitação da área de estudo – “Polígono de Piranema”. (Google Earth)

As Figuras 19 e 20 mostram a localização geográfica da Região Hidrográfica II – Guandu e suas sub-bacias, respectivamente, sendo estas as bacias hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda, Guandu-Mirim e demais bacias contribuintes à Baía de Sepetiba, de acordo a Resolução nº 107 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de

Janeiro - CERHI/RJ, de 22 de maio de 2013 (CERHI, 2013). A área de estudo foi marcada com um ponto vermelho.

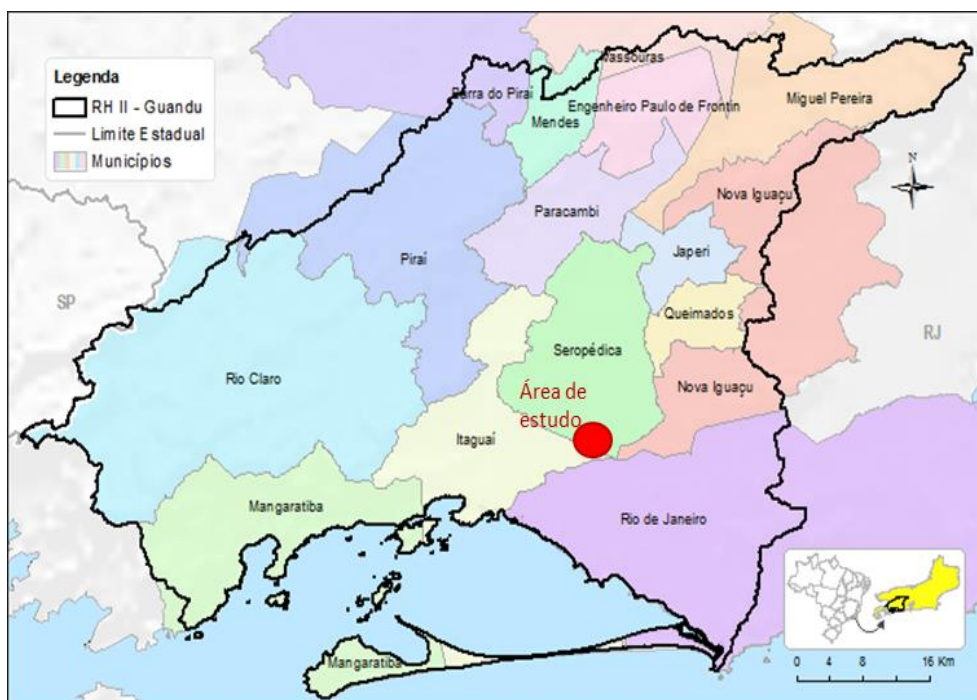


Figura 19: Localização geográfica da Região Hidrográfica II – Guandu. (SIGA Guandu⁵)

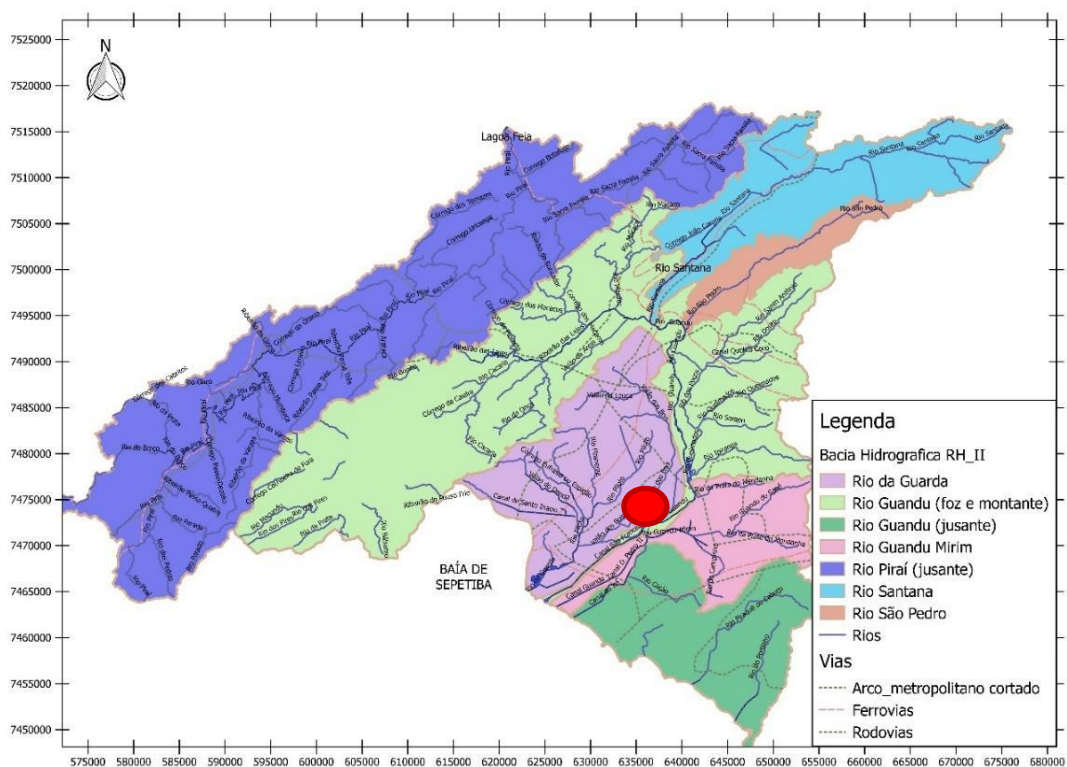


Figura 20: Sub-bacias da Região Hidrográfica II – Guandu e localização da área de estudo (círculo vermelho) na sub-bacia do rio da Guarda. Fonte: autoria própria.

⁵ <http://54.94.199.16:8080/siga-guandu/map#>

De acordo com o PERH – Guandu (AGEVAP, 2017a), esse distrito areeiro é considerado o principal fornecedor de areia para construção civil do Estado do Rio de Janeiro, produzindo mais de 70% da areia para a construção civil. No ano de 2013, mais de 80 cavas de extração de areia estavam em atividade.

A Figura 21 apresenta uma vista aérea do Distrito Areeiro tirada em maio de 2014.



Figura 21: Sobrevoos nas cavas de areia do Distrito Areeiro em maio de 2014.
(ALCANTARA, 2014)

5.1 CONTEXTO FISIOGRAFICO E GEOLÓGICO REGIONAL

5.1.1 COMPARTIMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA

No que se refere aos aspectos físicos, a Região Hidrográfica II possui dois conjuntos fisiográficos distintos, de acordo com o PERH – Guandu 2007 (SONDOTÉCNICA, 2007):

- O Domínio Serrano: formado pela vertente oceânica da serra do Mar e pelos maciços costeiros da Pedra Branca, Mendanha e Ilha da Marambaia, cujas partes mais elevadas variam entre 200 e 800m.

- O Domínio da Baixada: formado por uma extensa planície fluvio-marinha, que forma a Baixada de Sepetiba. As unidades principais são as colinas baixas, com altura inferior a 60m, e a extensa planície fluvial do rio Guandu e do rio da Guarda que desaguam na Baía de Sepetiba. É nessa planície que se encontram os areais do estudo.

A Figura 22 apresenta um Modelo Digital de Elevação realizado na atualização do PERH-Guandu (AGEVAP, 2017b). Percebe-se que a região das cavas de areia possui elevações de 0 a 10m acima do nível do mar.

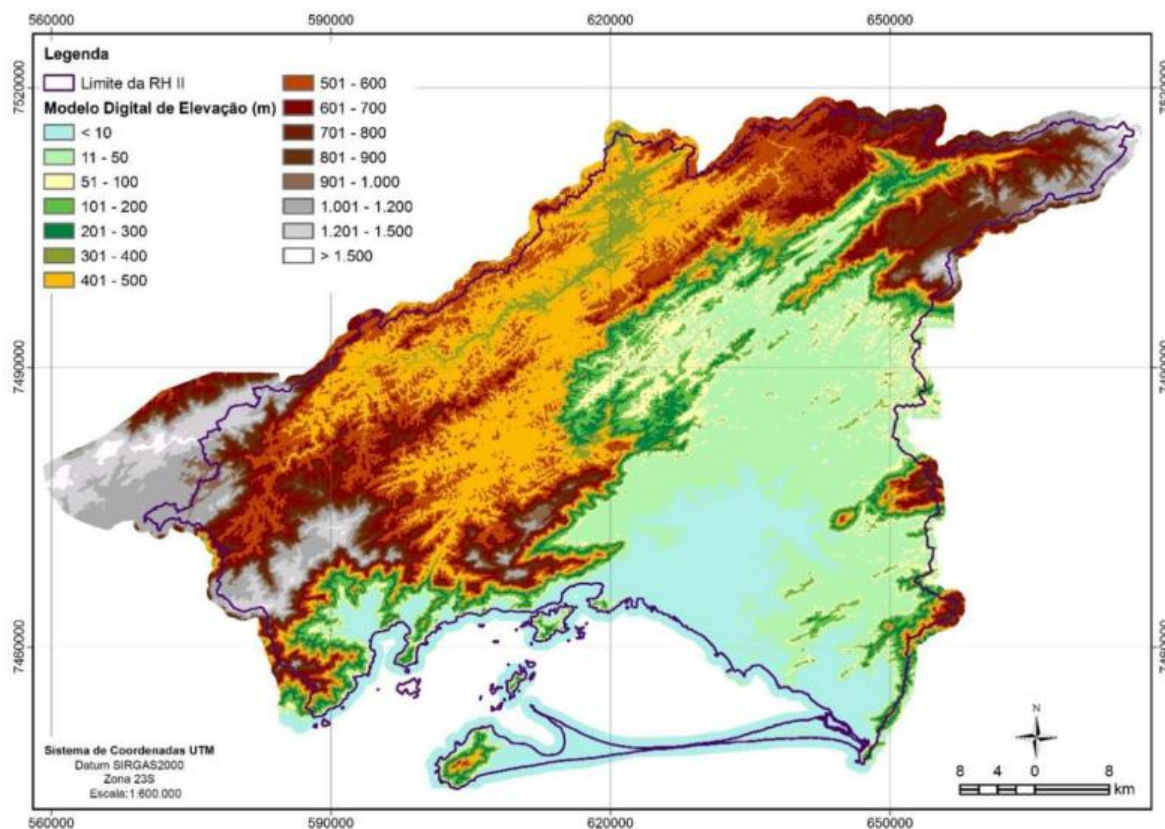


Figura 22: Modelo Digital de Elevação para a RH-II. (AGEVAP, 2017b)

5.1.2 SISTEMA HIDROGRÁFICO

A região de estudo faz parte da sub-bacia do rio da Guarda, a qual faz parte da Região Hidrográfica II – Guandu, que drena suas águas para a Baía de Sepetiba, como mostrado na Figura 20.

No presente trabalho, duas sub-bacias serão detalhadas, para uma melhor compreensão da região de estudo, sendo estas a bacia do rio Guandu e a bacia do rio da Guarda.

O rio Guandu, principal curso da Baía de Sepetiba drena uma área de 1.385 km². Ele é formado pelo rio ribeirão das Lajes que a partir da confluência com o rio Santana, passando a se chamar rio Guandu. Seus principais afluentes são os rios Macacos, Santana, Poços, Queimados, Ipiranga e São Pedro e no seu curso final, recebe o nome de canal de São Francisco, cujo percurso total até a foz é entorno de 48km (AGEVAP, 2017a).

ELETROBOLT, 2003). Além do valão dos Bois, a região de extração mineral em Piranema também é drenada pelo Valão do China, que se encontra com o valão dos Bois nessa região.



Figura 24: Foto do Valão dos Bois. Fonte: Comitê Guandu (<http://www.comiteguandu.org.br>)

O rio da Guarda começa a partir da confluência do Valão dos Bois com o rio Piloto, desenvolvendo ao longo de cerca de 7 km até a sua foz na Baía de Sepetiba. Os seus principais afluentes são os rios Piloto, Cai Tudo, Canal da Ponte Preta, Vala do Sangue, Valão do Burro, Valinha e o Canal de Santo Agostinho (AGEVAP, 2017c; ELETROBOLT, 2003; USIMINAS, 2010).

Uma curiosidade sobre o rio Piloto, que possui uma bacia abrangendo cerca de 112,4km², é que esse rio foi uma vala aberta em 1780-1891, com o objetivo de desviar parte das águas do Guandu para o rio da Guarda. Ele estende-se por cerca de 17km e recebe em seu caminho diversas valas afluentes, como as valas Meio Dia, Piranema e Jacaré (SEMADS/GTZ, 2001).

A Tabela 10 mostra a disponibilidade hídrica nos rios principais citados acima, de acordo com as equações disponibilizadas no PERHI – Guandu 2017 (AGEVAP, 2017a). A precipitação média anual utilizada para as equações de regionalização do rio Piloto e Valão dos Bois foi de 1250 mm de acordo com dados da Estação Ecológica Agrícola de 1939-2016 (AGEVAP, 2017a), já para o Rio da Guarda, os valores foram retirados do próprio relatório.

Tabela 10: Disponibilidade Hídrica de alguns rios da RH-II. Os dados e equações de regionalização foram retirados do PERH - Guandu 2017 (TOMO II).

Disponibilidade hídrica (m³/s)				
	Q _{mlt}	Q _{90%}	Q _{95%}	Q _{7,10}
Rio Guandu*	136,1	127,5	126,3	124,9
	8	8	3	5
Canal de São Francisco*	136,4	127,7	126,4	124,7
	8	4	7	7
Rio da Guarda**	5,5	2,2	1,8	1,3
Rio Piloto**	2,1	0,8	0,6	0,4
Valão dos Bois**	2,4	0,9	0,7	0,5

*Vazão modificada de acordo com as infraestruturas hídricas
 **Vazão regionalizada

Em relação a qualidade da água dos rios, o PERH – Guandu (2017) fez uma avaliação do IQA (Índice de Qualidade das Águas) médio anual em diversos pontos de monitoramento, porém, não existem pontos no Valão dos Bois, nem no rio Piloto, somente a jusante da área de mineração, no rio Itaguaí (IG301) e Rio da Guarda (GR100). Durante o período de análise (2013 a 2016), o IQA manteve-se como ruim para esses pontos (Figura 25). Nesses pontos, as concentrações ultrapassam com facilidade os limites definidos para a classe 4, salvo em relação ao DBO, que se enquadra nas classes 3 (rio Itaguaí) e 2 (rio da Guarda).

Já em relação ao curso principal da bacia do rio Guandu, a qualidade manteve-se razoavelmente constante ao longo dos anos 2012 a 2016, entre as faixas média e boa para os pontos de monitoramento localizados no curso principal, melhorando os índices nas proximidades com a barragem do ribeirão das Lajes e piorando sua condição até o canal de São Francisco.

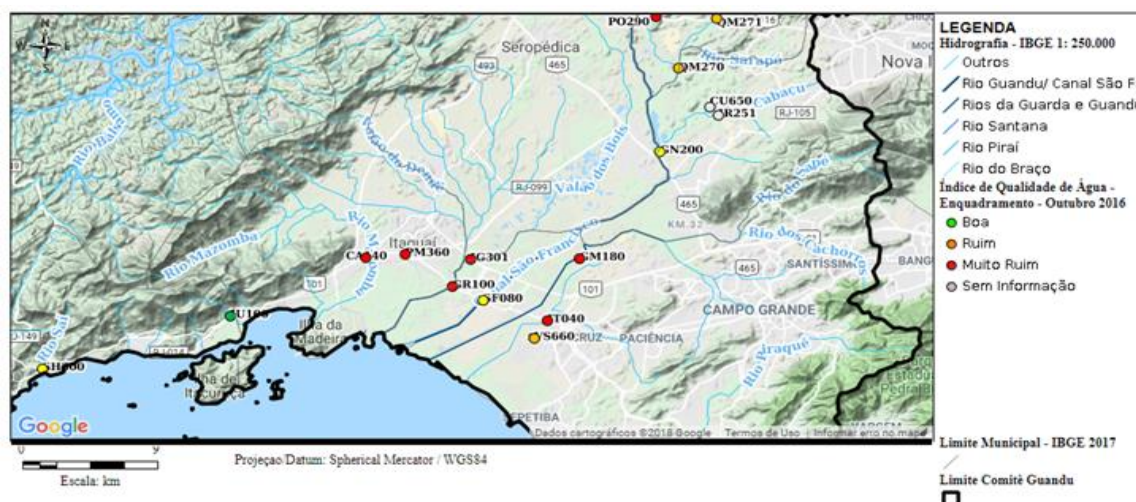


Figura 25: Estações de monitoramento de qualidade das águas ao sul da RH-II. Fonte: PERH - Guandu 2017 (TOMO II)

5.1.3 HIDROGEOLOGIA

A geologia local na área onde estão localizados os areais é formada por depósitos quaternários inconsolidados, de ambiente aluvionar (fluvial, fluvio-marinho e fluvio-lacustre) sobrepostos ao arcabouço pré-cambriano. Esses sedimentos integram o sistema intergranular chamado Sistema Aquífero Piranema (SAP), compreendendo uma área de 180km² (ELETROBOLT, 2003; SONDOTÉCNICA, 2007).

O SAP apresenta variações litológicas normalmente compostas por areias e argilas intercaladas com matéria orgânica e a composição mineralógica predominante dos sedimentos é quartzo-feldspática. Esses sedimentos constituem o minério extraído por dezenas de mineradoras de areia na região da Piranema, Seropédica. As espessuras constatadas do SAP, de acordo com sondagens variaram de 16m a 40m e ele é considerado de natureza livre, sendo a área de recarga a própria superfície do terreno. Contudo, pode-se apresentar confinado devido às intercalações de camadas de argila nas areias, gerando dúvidas se o aquífero é livre ou semi-confinado (AGEVAP, 2017a; BARBOSA et al., 2004; USIMINAS, 2010; VICENTE, 2008).

De acordo com a ELETROBOLT (2003) os níveis de água variam de poucos centímetros até um máximo de 10m, mas situam-se normalmente entre 2m e 3,5m da superfície do terreno. Tendo uma vazão específica (q) entre 0,5 a 3 m³/h/m, o aquífero é classificado como tipo poroso. O sentido geral de fluxo é de norte/nordeste para sul/sudoeste, como mostrado na Figura 26, mas nas áreas de extração de areia o fluxo pode ser afetado localmente devido a retirada de sedimentos e água do arcabouço do SAP, desviando o fluxo temporariamente para o interior das lagoas das cavas e posteriormente sofre uma inflexão para oeste em direção ao rio da Guarda. As variações de vazão do rio Guandu também podem afetar o fluxo subterrâneo, dependendo das diferenças de carga hidráulica desses sistemas, podendo em alguns pontos, de acordo com uma simulação feita por Tubbs (2005), o aquífero Piranema ser recarregado parcialmente com as águas do rio Guandu. Além disso, o aquífero possui variação da sua superfície freática devido a mudanças naturais, ao longo dos períodos sazonais (diferentes regimes de chuva), geralmente em torno de 1 a 3m (BARBOSA et al., 2004; VICENTE, 2008), e devido a atividades antrópicas, como o bombeamento de água para abastecimento de moradores do local e a extração de areia pelas mineradoras.

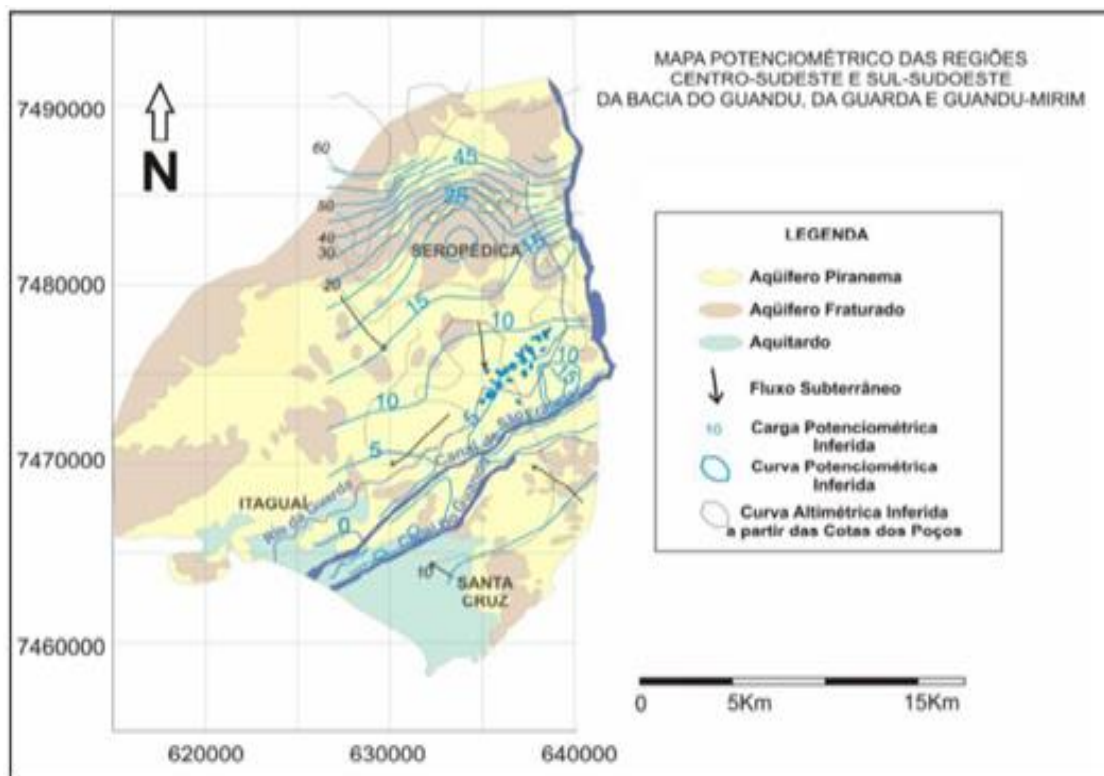


Figura 26: Mapa potenciométrico mostrando os domínios do aquífero Piranema e Fraturado. (SONDOTÉCNICA, 2007)

Segundo o estudo de Vicente (2008) a recarga do aquífero não é imediata, sendo necessário um período longo de chuva para aumento do nível freático, indicando que o aquífero pode não ser livre como se imaginava. Além disso, devido a oscilação do nível de água, a argila e areia ficam expostas às condições saturada e não saturada, alternando entre os ambientes aeróbio e anaeróbio.

A Tabela 11 mostra valores de parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos do Aquífero Piranema, de acordo com estudos de Marques (2006) na região de Piranema.

De acordo com testes em poços localizados no aquífero integranular em Seropédica, feitos por Barbosa *et al.* (2004), os resultados mostram valores bem distintos, com permeabilidades de 10^{-3} cm/s, coincidente com a ordem de grandeza das areias, até $10^{-4}/10^{-5}$ cm/s, coincidindo com o campo definido para areias finas e siltes. Já no estudo de Vicente (2008) a condutividade hidráulica (K) média foi da ordem de 10^{-2} cm/s, sendo maior do que a encontrada na Tabela 11. Ou seja, existe uma variação desses parâmetros hidráulicos dependendo da composição da camada do Aquífero, em relação as areias e argilas.

Tabela 11: Características Hidrogeológicas do SAP na região de Piranema. Fonte de dados: MARQUES, 2006.

Porosidade Total	30%
Porosidade Efetiva	23%
Permeabilidade Intrínseca (k)	0,1 darcys
Condutividade Hidráulica (K)	0,0001 cm/s
Gradiente Hidráulico (i):	
0,8	0,30m/dia
0,26	0,10m/dia
0,24	0,01m/dia
Transmissividade (T)	1,3m ³ /dia para 15cm de espessura

A água subterrânea encontra-se fora da conformidade das normas de potabilidade. É pouco mineralizada, apresentando baixos valores de condutividade elétrica e pH (média de 5) e potencial redox (Eh) característico de ambiente oxidante (média de 470mV). Localmente, podem ocorrer elevadas concentrações de ferro, manganês, alumínio, bário e sulfato. Em relação às altas concentrações de alumínio, é provável que seja devido à grande quantidade de feldspatos nos sedimentos arenosos. (MARQUES, 2006; VICENTE, 2008, TUBBS, 1999).

De acordo com Marques (2006) o aquífero Piranema apresenta uma disponibilidade hídrica subterrânea de 1,6m³/s e o distrito areeiro de Piranema é a principal área de ocorrência, e, apesar de sua disponibilidade limitada se comparado as vazões do rio Guandu, ele pode se constituir em uma reserva hídrica estratégica.

5.1.4 CLIMA

O Boletim Agrometeorológico do ano de 1996, obtido pelo Posto Meteorológico Ecologia Agrícola – km 47, em Seropédica, sob a responsabilidade da Estação Experimental de Itaguaí, PESAGRO/RIO, classifica a área por Koppen como Aw (SEMADS/GTZ, 2001), com clima úmido e temperaturas médias elevadas (acima de 18°C) o ano inteiro, com temperatura média anual de 23,8°C. Já a média anual de precipitação no local é de 1250mm, de acordo com dados de 1939 a 2016 da referida estação. As chuvas são distribuídas em dois períodos bem marcados, com menores intensidades registradas entre abril e setembro e as maiores entre outubro e março, observados na Figura 27 (AGEVAP, 2017b).

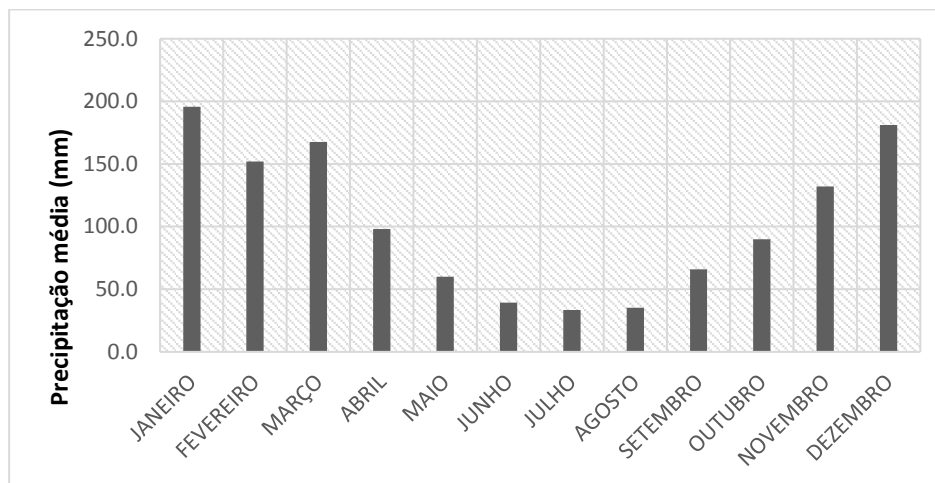


Figura 27: Precipitação média mensal de acordo com os dados da estação Ecológica Agrícola, em Seropédica, de 1939 A 2016. Fonte dos dados: AGEVAP, 2017b.

De acordo com o Macroplano da Bacia da Baía de Sepetiba - Caracterização e Diagnóstico dos Componentes Físicos da Bacia da Baía de Sepetiba (SEMADS/GTZ, 2001) a evaporação, medida em tanque classe A, inferida em Santa Cruz, apresenta valores mais elevados de dezembro a março e menos elevados entre maio e julho, sendo a evaporação média anual de 700mm.

5.2 CRISE HÍDRICA DE 2014/2015

A crise hídrica de 2014/2015 acentuou diversas inseguranças hídricas já existentes na bacia do rio Guandu e foi fator fundamental para motivação deste trabalho, sendo necessário uma explicação mais detalhada do evento.

Esse caso de insegurança hídrica aconteceu entre os anos de 2014 e 2015, devido à seca que ocorreu na região sudeste, afetando o nível de água dos reservatórios das bacias do rio Paraíba do Sul e Guandu (Figura 28), sendo considerada a maior seca já registrada na história (AGEVAP, 2017c). Essas bacias estão interligadas hidráulicamente pelo “Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul”, sendo um complexo conjunto de estruturas hidráulicas ao longo de ambas as bacias.

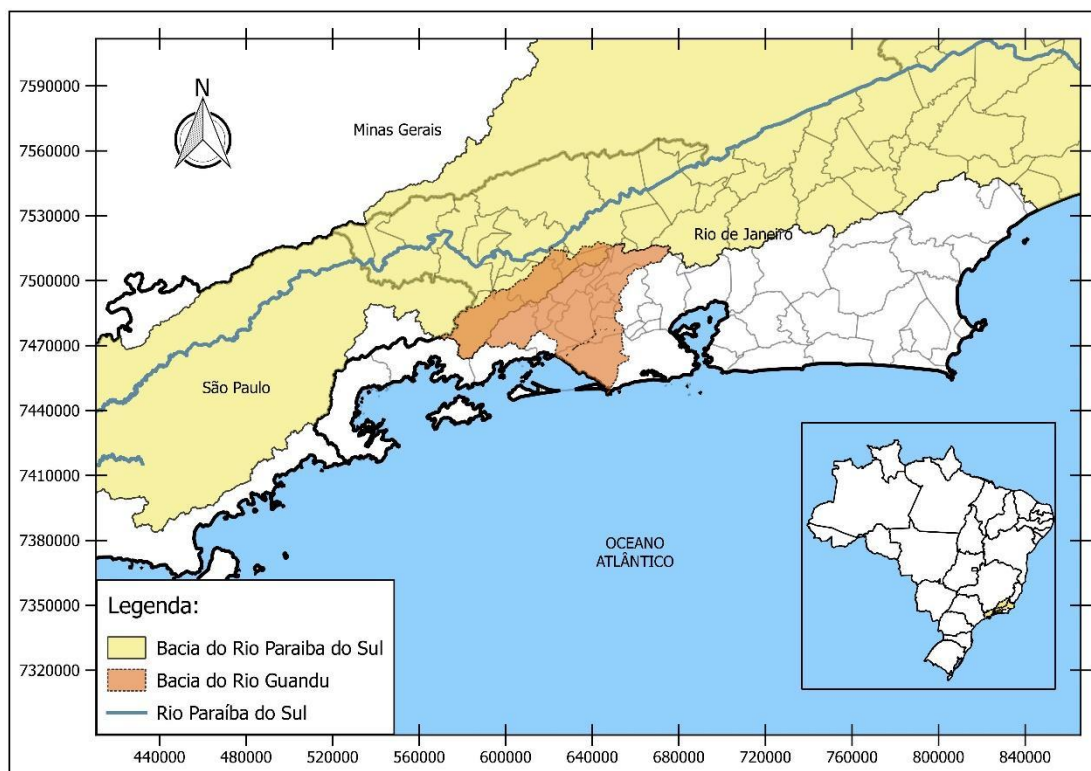


Figura 28: Localização das bacias do Rio Paraíba do Sul e do Rio Guandu. Fonte: autoria própria.

5.2.1 SISTEMA HIDRÁULICO DO RIO PARAIBA DO SUL

O primeiro reservatório construído neste Sistema foi o reservatório de Lajes, em 1908, no rio Ribeirão das Lajes, que é um dos formadores do rio Guandu.

Em 1913 ocorreu a primeira transposição das águas do Paraíba do Sul para o rio Guandu, através do reservatório de Tocos, no rio Piraí, derivando as vazões por gravidade para o reservatório de Lajes, desvio Toco-Lajes (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2015b). O objetivo dessa transposição era atender às demandas de água e energia da crescente Metrópole Fluminense.

Como o aumento de demanda por água e energia continuou ao longo do século XX, foi necessário aumentar a capacidade do fornecimento entre as décadas de 50 e 70. As principais barragens do Sistema Hidráulico foram construídas, tendo como principais funções a geração de energia elétrica e a regularização das vazões. A Estação Elevatória de Santa Cecília começou a operar em 1952, com capacidade de desviar até $160\text{m}^3/\text{s}$ do rio Paraíba do Sul, o que equivaleria, aproximadamente, a 54% da vazão natural média desse rio no local, que corresponde a $296\text{m}^3/\text{s}$ (dados de 1931-2013). Como a barragem de Santa Cecília não é capaz de regularizar vazões, essa regularização é realizada pelos reservatórios localizados a montante, no trecho paulista da bacia do Paraíba do Sul, sendo estes o

reservatório de Santa Branca (1952), Funil (1969), Jaguari (1972) e Paraibuna/Paraitinga (1978)(AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2015b).

Através da Estação Elevatória de Santa Cecília as águas são transpostas e elevadas em 15m, até o reservatório de Santana, no rio Piraí, desvio Paraíba-Piraí, onde se misturam com as águas do rio Piraí, afluente do rio Paraíba do Sul. Através da Estação Elevatória de Vigário, essas águas são recalçadas mais 35m, até o reservatório de Vigário. Desse reservatório as águas seguem por gravidade para o encontro com o Sistema Tocos-Lajes e, deste, para o reservatório de Ponte Coberta. Pelo caminho, a água passa pelas usinas hidrelétricas em cascata de Nilo Peçanha, Fontes Novas e Pereira Passos, as quais geram um potencial energético de um desnível de aproximadamente 300m, justificando, assim, o esforço da transposição (SONDOTÉCNICA, 2007). As Figuras 29 e 30 mostram a configuração desse sistema.

Assim, o rio Guandu, que em condições naturais teria uma vazão de 25m³/s, após essas intervenções recebe uma vazão média de 146m³/s de desvio Paraíba-Piraí e de 10m³/s do Desvio Toco-Lajes (SONDOTÉCNICA, 2007). Com essa contribuição adicional de uma vazão alta e regularizada e sua proximidade com a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a sua exploração aumentou para o abastecimento de água daquela região. A Estação de Tratamento de Águas (ETA) Guandu entrou em operação em 1955 e hoje trata cerca de 45m³/s para, aproximadamente, 9 milhões de pessoas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2010), dando uma nova dimensão à transposição do rio Paraíba do Sul, no contexto de gestão de recursos hídricos.

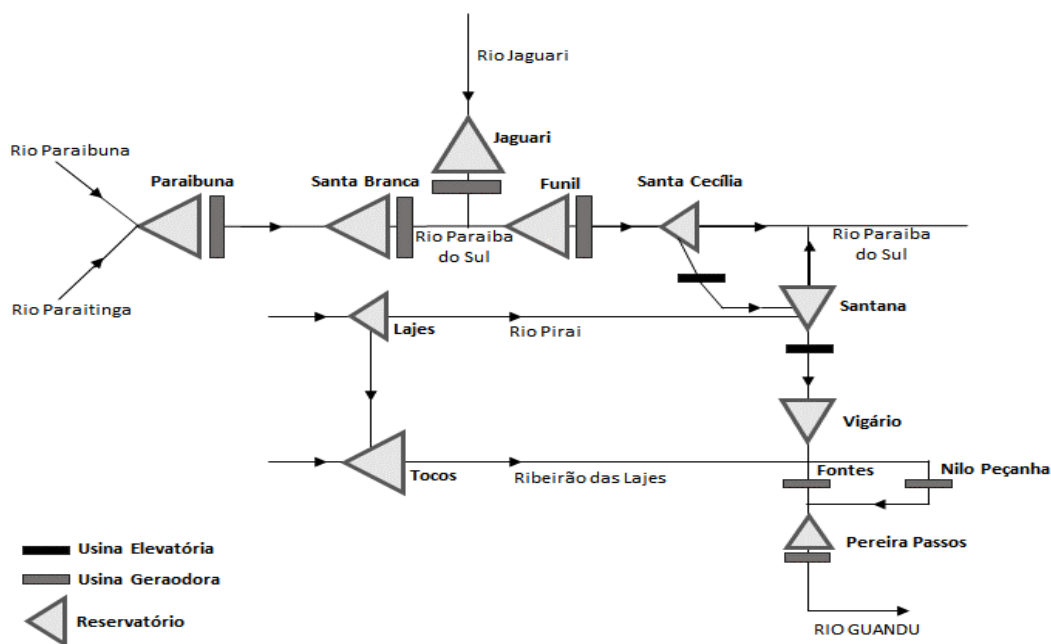


Figura 29: Diagrama Esquemático do Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul. Adaptado de SONDOTÉCNICA (2007).

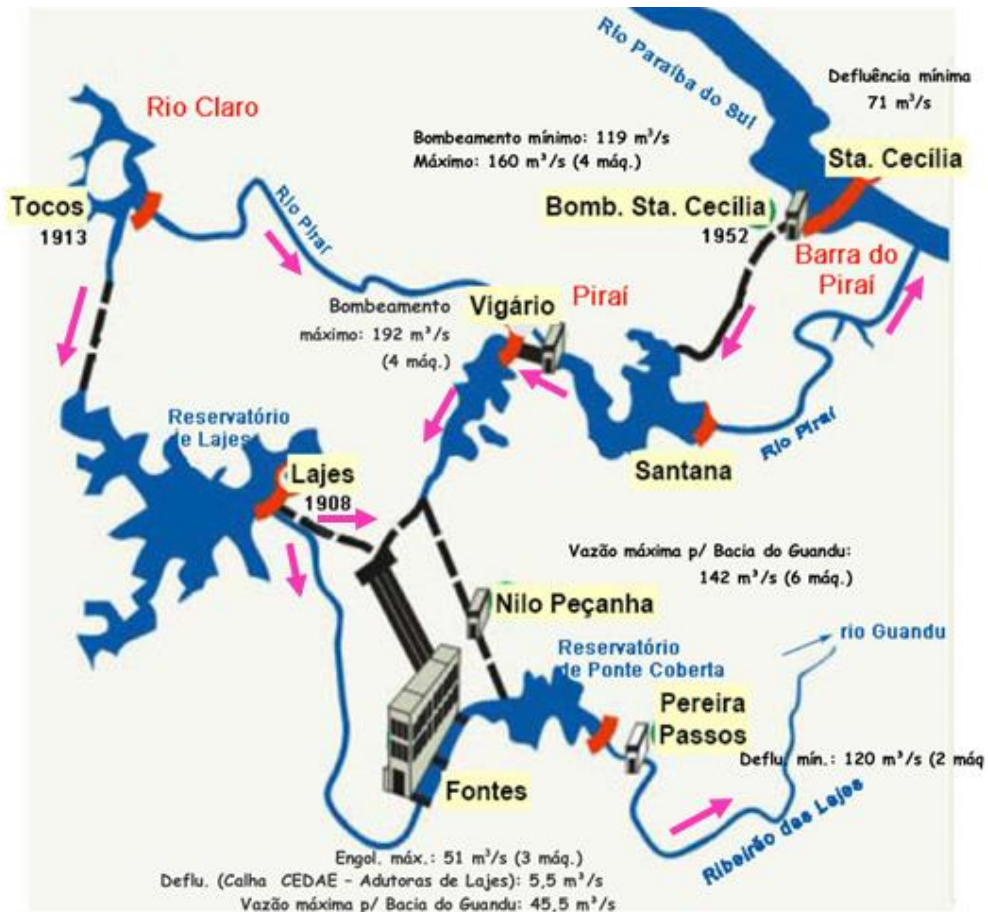


Figura 30: Esquema representativo do Sistema de Transposição das Águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul para a Bacia do Guandu (SONDOTÉCNICA, 2007).

Devido a sua complexidade, a operação deste sistema foi definida ao longo do tempo através de um conjunto de regras estabelecidas em leis, portarias e resoluções emitidas pelos seguintes órgãos competentes, interagindo entre si: ANA no âmbito federal e INEA no estadual, devido às diferentes dominialidades da água; LIGHT e ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), pelo setor elétrico, na operação de barragens, elevatórias e hidrelétricas; e CEDAE, responsável pela captação da ETA-Guandu, além de outras captações. Este conjunto de regras constitui hoje a principal segurança de disponibilidade hídrica para o Estado do Rio de Janeiro, tanto para os usos múltiplos do Paraíba do Sul no seu trecho médio quanto para a transposição em Santa Cecília, a qual abastece a maioria da RMRJ (AGEVAP, 2015b).

As regras de operação foram estabelecidas considerando um conjunto de restrições que observam metas para bombeamento mínimo, descargas mínimas, curvas de operação, entre outras, para equilíbrio dos volumes armazenados nos reservatórios. Antes da crise de 2014-2015, as regras em vigor foram definidas pela resolução da ANA 211/2003 (ANA, 2003), que dispõem sobre as vazões mínimas a jusante dos reservatórios que compõem o

Sistema Hidráulico Paraíba do Sul - Guandu, bem como a vazão mínima transposta e a vazão mínima remanescente no rio Paraíba do Sul, a jusante da transposição. Ressalta-se que, em 2003, aconteceu a última grande crise hídrica na região até a crise de 2014/2015. Sendo assim, as seguintes regras de operação foram estabelecidas:

1. Descarga mínima a jusante dos aproveitamentos: 30 m³/s em Paraibuna; 40 m³/s em Santa Branca; 10 m³/s em Jaguari; 80 m³/s em Funil; 71 m³/s em Santa Cecília (instantânea); e 120 m³/s em Pereira Passos (instantânea);

2. Quando a vazão incremental entre Funil e Santa Cecília for maior que 110 m³/s, a vazão emergencial de 71 m³/s a jusante de Santa Cecília deverá ser gradativamente aumentada, até atingir o limite da vazão mínima normal de 90 m³/s;

3. O limite mínimo para a vazão média de bombeamento em Santa Cecília é de 119 m³/s;

4. O deplecionamento dos reservatórios para atender o limite mínimo de 190 m³/s (119m³/s para Santa Cecília e 71m³/s para jusante) de afluência em Santa Cecília deve observar a seguinte ordem de prioridade, procurando manter o limite de 10% do volume útil dos mesmos: 1º Funil, 2º Santa Branca, 3º Paraibuna e 4º Jaguari

Através dessas regras, observa-se que a finalidade de geração de energia elétrica é priorizada em relação aos demais usos das águas, pois nessa resolução ainda não se menciona restrições para a vazão de Pereira Passos estar acima de 120m³/s, como acontece nas novas regras de operação - Resolução ANA nº 1382/2015 (ANA *et al.*, 2015b). Assim, com essa possibilidade de transpor entre 120m³/s até 160m³/s, desde 2003 até a crise (2014) os reservatórios estavam diminuindo seus estoques enquanto deveriam estar preservando para garantir o atendimento a todos os usos múltiplos na bacia.

5.2.2 DADOS DA CRISE

Em 10 de fevereiro de 2014, em razão das afluências médias observadas na bacia do rio Paraíba do Sul estarem se configurando como as menores do histórico, a ANA enviou a ONS o ofício nº 26/2014/AA-ANA, no qual pedia atenção quanto à operação dos reservatórios localizados na bacia do Paraíba do Sul, com a finalidade de preservar a segurança hidráulico-hidrológica dos reservatórios desse Sistema e não afetar os usos múltiplos.

As menores afluências médias do histórico podem ser observadas na Tabela 12, em Santa Cecília, com a comparação dos anos registrados entre 1931 e 2014. Percebe-se que em janeiro de 2014, a vazão natural média afluyente foi de 209m³/s, 42% da vazão natural

média mensal do histórico. Ao longo de 2014 e 2015, diversos meses tiveram as menores vazões naturais médias mensais dos últimos 84 anos e observa-se que, em quase todos os meses a vazão natural média mensal não ultrapassa a média mensal histórica.

Tabela 12: Vazões Naturais Médias Mensais - Santa Cecília. Fonte dos dados: ANA (<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/paraiba-do-sul>)

VAZÕES NATURAIS MÉDIAS MENSAIS - SANTA CECÍLIA (m ³ /s) - Histórico (1931 até 2014)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA
Média	498	519	493	348	243	209	175	149	154	185	240	351	297

VAZÕES NATURAIS MÉDIAS MENSAIS - SANTA CECÍLIA (m ³ /s) - 2014 - 2015 - 2016													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA
2014*	209	117	174	180	113	109	98	85	88	82	116	146	126
2015	128	283	278	182	128	118	92	65	127	110	200	387	175
2016	574	378	487	194	143	300	120	105	84	118	236	256	250

*Ano com menor vazão média anual entre 1931 e 2014.

Além desses dados de vazões médias anuais, na Figura 31, tem-se um gráfico demonstrativo de percentagens de volume útil armazenado considerando um reservatório equivalente, desde o período de 1993, com os meses de janeiro e junho indicados. Neste gráfico, é perceptível que de janeiro de 1993 até junho de 2013, as percentagens de volume útil de armazenamento mantiveram-se variando, na maior parte do tempo aumentando no período de novembro/abril (período predominantemente chuvoso), e decaindo no período de maio/outubro (período predominantemente seco). Contudo, de novembro de 2013 a abril de 2014, o que era para ter sido um período de recuperação do volume útil de armazenamento do reservatório revelou-se um período crítico, pois recuperou somente cerca de 8% do volume, atingindo um valor próximo de 53% do seu volume de armazenamento e, a partir de janeiro de 2014, o volume útil de armazenamento voltou a decair. O cenário agravou-se quando no período posterior (dezembro de 2014 a janeiro de 2015), a percentagem de volume declinou significativamente atingindo percentagem nula do volume útil, período destacado no círculo vermelho.

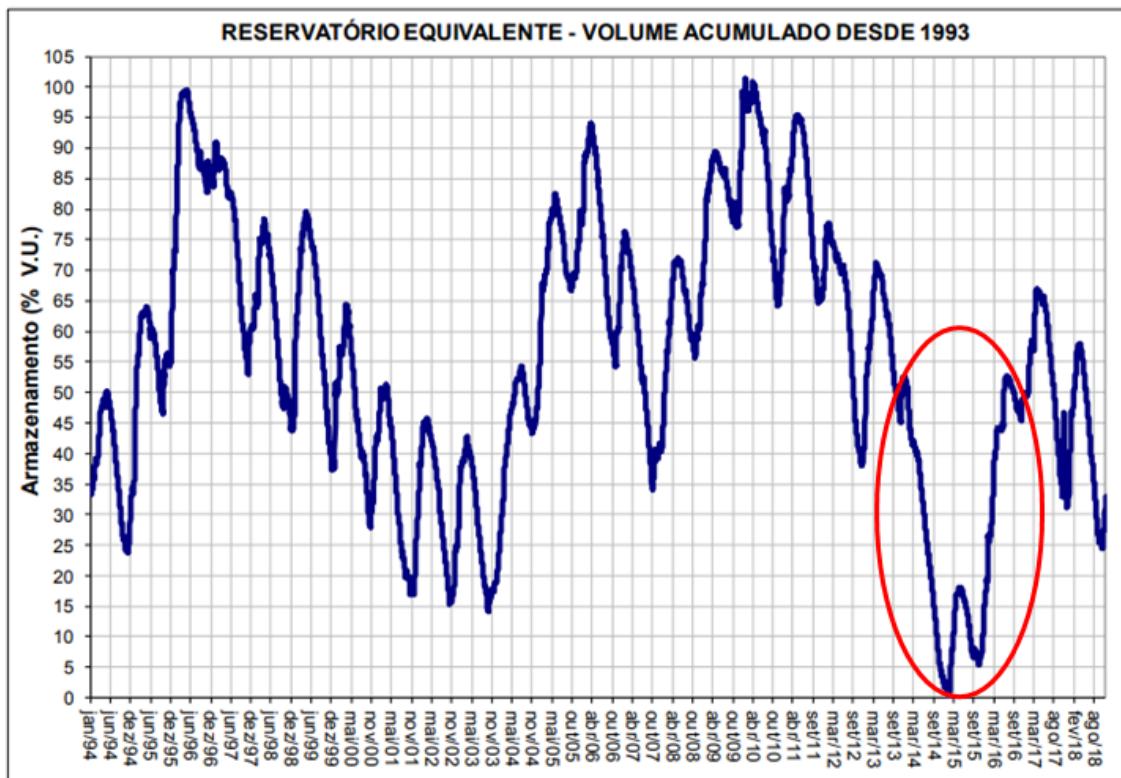


Figura 31: Reservatório Equivalente. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018)

Face à escassez hídrica, diversas resoluções foram editadas sobre o tema, reduzindo temporariamente a vazão mínima afluyente em Santa Cecília, como forma de diminuir a vazão liberada pelos reservatórios da bacia e preservar seus estoques, aumentando, assim, a garantia do atendimento aos usos múltiplos na bacia, especialmente, o abastecimento humano (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2015b). Na Figura 32, podem ser notadas as vazões defluentes do reservatório de Pereira Passos para os períodos entre janeiro de 2011 a novembro de 2018. Em função da crise de 2014/2015, observa-se que as vazões defluentes foram abaixo da mínima estabelecida na Resolução nº 211/2003 (120m³/s).

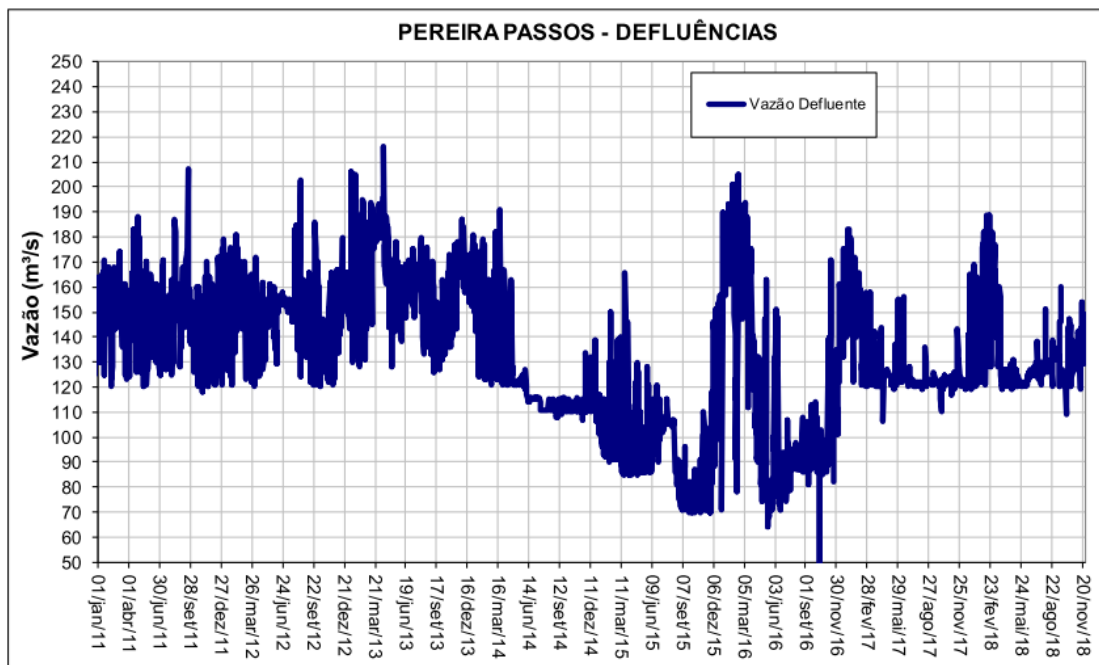


Figura 32: Defluência Pereira Passos. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018)

Apesar de todas as manobras realizadas para atenuação da crise para a população e indústrias, alguns impactos foram gerados, como a dificuldade de captação para abastecimento público em várias cidades ao longo do rio Paraíba do Sul e na própria captação da ETA Guandu, tanto devido a quantidade como devido a qualidade deteriorada da água.

Já em relação às indústrias, houve perda crítica da qualidade da água para as indústrias localizadas próximo a foz do rio Guandu, chamado também de Canal de São Francisco. Nessa região se encontra o Distrito Industrial de Santa Cruz e o porto de Itaguaí, onde estão instaladas indústrias do ramo siderúrgico, químico, termoelétrico, entre outros.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2005), a água passa a ser considerada salobra quando a salinidade atinge níveis superiores 0,5‰, impedindo uma série de usos e gerando interrupções na captação. De acordo com um estudo de condutividade feito pela FCC (Fábrica Carioca de Catalizadores), no seu ponto de captação, distante cerca de 3,8 km da Baía de Sepetiba, e cedido para o PERH-Guandu (AGEVAP, 2017a), mostrado na tabela 13, foi possível verificar a frequência da condição salobra no canal, relacionadas sempre com as vazões a partir da UHE Pereira Passos. Mais de 70% das ocorrências de salinidade acima de 0,5‰ ocorreram quando a vazão estava abaixo de 100 m³/s, valor abaixo do valor mínimo de liberação de 120 m³/s. Essa indústria possui um dos pontos de captação mais a montante do Canal de São Francisco, ou seja, para distâncias

mais próximas a baía, as ocorrências de salinidade seriam maiores, principalmente na crise hídrica de 2014/2015, quando as vazões a jusante de Pereira Passos chegaram a 75 m³/s.

Tabela 13: Faixa de valores de vazões e respectivas ocorrências de salinidade monitoradas pela FCC (Fábrica Carioca de Catalizadores). Fonte dos dados: AGEVAP (2017a)

Vazão - jusante Pereira Passos (m ³ /s)	Vazão - início do canal (m ³ /s)	Número de registros de condutividade	Salinidade acima de 0,5‰	Percentual (%)
50-80	5,5-35,5	85	19	22,4%
80-90	35,5-45,5	156	20	12,8%
90-100	45,5-55,5	71	6	8,5%
100-110	55,5-65,5	130	8	6,2%
110-120	65,5-75,5	207	7	3,4%
120-140	75,5-95,5	126	3	2,4%
>140	>95,5	170	0	0,0%

5.2.3 MEDIDAS DE COMBATE A CRISE

Em abril de 2014, o Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP) reativou o Grupo de Trabalho Permanente de Acompanhamento da Operação Hidráulica na Bacia do Rio Paraíba do Sul (GTAOH). Esse grupo é composto por representantes de diversos órgãos, como operadores das usinas e elevatórias mais importantes na transposição do rio Paraíba do Sul – FURNAS (Funil), Light (Complexo de Lajes), o órgão operador do sistema elétrico, ONS (Operador Nacional do Sistema), o órgão ambiental e gestor das águas do estado do Rio de Janeiro (INEA) e a companhia de abastecimento do Estado do Rio de Janeiro (CEDAE), sendo estes os mais ativos nas reuniões durante o período da crise (PEREIRA, 2018). Neste grupo as questões de operação hidráulica dos reservatórios da bacia são tratadas visando o atendimento dos usos múltiplos.

De acordo com Pereira (2018), as reuniões do GTAOH eram consideradas um espaço de diálogo forte, juntando num mesmo ambiente todos os atores envolvidos diretamente com a crise hídrica, seus conflitos e suas propostas de soluções para amenizar o problema. Assim, decisões foram deliberadas, a respeito das reduções de vazões a serem liberadas nas principais usinas do Sistema Hidráulico do Paraíba do Sul e a respeito do protocolo de emergência a ser tomado no caso de falta de água para captação das indústrias e abastecimento público.

A primeira ação foi através da Resolução N° 700, da ANA, de 27 de maio de 2014 (ANA, 2014c). Ela reduziu a vazão mínima afluente à barragem de Santa Cecília, de

190m³/s para 173m³/s, com o objetivo de preservar os estoques disponíveis de água no reservatório equivalente desta bacia.

A partir deste momento, com a continuação da diminuição do nível dos reservatórios da cabeceira, foram autorizadas diversas reduções de vazão afluente em Santa Cecília pela ANA através de resoluções, chegando na vazão mínima de 110m³/s, no dia 30 de julho de 2015, através da Resolução N° 145 (ANA, 2015c).

Dessa forma, a vazão mínima de transposição passou de 119m³/s (antes da crise) para 75m³/s e a vazão mínima a jusante da transposição passou de 71m³/s (antes da crise) para 35m³/s, diminuindo em torno de 50%.

É importante ressaltar que a estação elevatória de Santa Cecília, onde ocorre a divisão entre as águas que são transpostas e as que seguirão para jusante da bacia, é um dos pontos mais críticos, em termos de escassez e de conflitos, pelo uso dos recursos hídricos. Por um lado, está grande parte da RMRJ, além de indústrias e outros usuários. Mas por outro, existem cidades e usuários que também sofrem consequências com a diminuição da afluência a jusante de Santa Cecília, prejudicando a captação de água para abastecimento público, ou devido a deterioração da qualidade da água, ou devido a níveis de água mais baixos que a estrutura de captação de água. Dessa forma, a operação de todos os reservatórios de montante da bacia ficou condicionada ao atendimento da vazão afluente em Santa Cecília e as reduções de vazão foram postas em prática de forma gradual e acompanhadas de avaliações periódicas dos impactos da medida sobre os diversos usos da água na bacia, observando: a partição da diminuição de vazão que flui a jusante da barragem de Santa Cecília e a vazão de bombeamento para o rio Guandu (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016a).

Essas reduções progressivas de vazões nos reservatórios do Sistema Hidráulico do Paraíba do Sul, desde 2014, permitiram recuperar no ano de 2015 cerca de 17,74% do volume útil do reservatório equivalente, que, em 1° de fevereiro de 2015, atingiu o volume útil de 0,33%, o menor observado em todo o histórico.

Além disso, foram elaborados dois Planos de Ações Complementares para a Gestão da Crise Hídrica do Rio Paraíba do Sul, o primeiro em janeiro de 2015, e o segundo em junho de 2015 (2015b). Nesses planos foi proposto:

- O aumento do monitoramento da qualidade de água dos rios e reservatórios da bacia do Paraíba do Sul, para subsidiar as decisões sobre operação do sistema hidráulico da bacia e alertar os usuários sobre problemas de qualidade de água, decorrentes de vazões muito baixas;

- A utilização dos reservatórios de Paraibuna, Jaguari e Santa Branca abaixo dos seus níveis mínimos operacionais para geração hidrelétrica, em forma emergencial, para evitar descontinuidade no atendimento aos usos múltiplos da bacia, sempre consultando a ONS e;

- A implementação de medidas necessárias nas captações para abastecimento público na calha do rio Paraíba do Sul, propondo alternativas de acordo com cada situação, como, por exemplo: a instalação de conjunto motor-bomba em flutuante; a extensão das linhas de sucção até 5 metros em direção ao eixo do leito do rio; a realocação do ponto de sucção para outro braço do rio; a construção de soleiras a jusante do ponto de captação; dragagem; entre outras medidas.

Também foi concluído que não era necessário a aplicação de regras de restrição na bacia de contribuição do reservatório de Santa Cecília, pois não traria benefícios significativos para mitigar os efeitos da crise hídrica na bacia do rio Paraíba do Sul.

Em relação ao abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro, não houve iminência de desabastecimento, mas foi necessária uma adaptação na captação da CEDAE, elevando a crista das comportas das barragens no Rio Guandu na ETA Guandu (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016b).

As indústrias localizadas na foz do rio Guandu também tiveram que se adaptar com a crise hídrica; porém, o problema que elas enfrentaram não era quantitativo, mas sim qualitativo, devido ao aumento da intrusão salina no canal, com a diminuição da vazão de transposição no rio Guandu. Nota-se aqui um problema de gestão (que não era possível resolver de forma rápida, pelas características da infraestrutura instalada e disponível no momento) relacionado à necessidade do uso pouco nobre de um grande volume de água para empurrar a cunha salina.

As primeiras adaptações foram locais, como, por exemplo, de acordo com engenheiros da FCC, a empresa necessitou criar um local de reservação de água bruta para poder bombear água somente nos horários de menos salinidade, de acordo com a tábua de maré, e assim, não afetar os processos da empresa. Ou seja, as empresas realizaram adaptações para reduzir sua vulnerabilidade.

Porém, mesmo com essas adaptações, as indústrias que estavam mais próximas da foz, como a Thyssenkrupp CSA, Gerdau, FCC e Furnas, sentiram necessidade de diminuir mais a salinidade no canal e assim, foi construída uma soleira submersa temporária (Figura 33), entre os anos de 2014/2015, impedindo fisicamente o avanço de grande parte da cunha salina

Essa medida estrutural foi retirada em 2017 devido às pressões da comunidade pesqueira da região, que utiliza esse canal em suas atividades. Além disso, essa soleira poderia provocar futuras inundações a montante, caso ocorresse um aumento da vazão no canal, sendo um risco para as indústrias e comunidades locais.



Figura 33: Vista aérea da soleira submersa no Canal de São Francisco. (ANA, 2016b)

5.2.4 MEDIDAS DE AUMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA

Após a crise, vista a necessidade de um melhor planejamento das regras de operação, para um aproveitamento múltiplo, racional e integrado dos recursos hídricos, e um aumento da segurança hídrica tanto na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul quanto na bacia do rio Guandu, foi criada a Resolução Conjunta ANA/ DAEE/ IGAM/ INEA N° 1382, de 07 de dezembro de 2015, que dispõe de novas condições de operação para o Sistema Hidráulico do Paraíba do Sul, incluindo tanto os reservatórios localizados na bacia quanto as estruturas de transposição. Essa resolução entrou em vigor no dia 1 de dezembro de 2016, após permissão dos órgãos gestores de recursos hídricos de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.

As principais mudanças foram:

- O sistema utiliza vazões instantâneas, considerando uma porcentagem de variação em cima destas. Por exemplo, a vazão instantânea que passa a jusante da barragem de Santa Cecília em operação normal será de $71\text{m}^3/\text{s}$, com até 5% de variação acima deste valor, e a vazão instantânea que passa a jusante do aproveitamento de Pereira Passos será de $120\text{m}^3/\text{s}$, com variação até 2% acima deste valor.
- O sistema permite o aumento do limite das vazões citadas no item acima, caso ocorram vazões incrementais não controladas no trecho entre os aproveitamentos de Funil e Santa Cecília; e/ou se o reservatório de Funil estiver operando para atender às

regras de controle de cheia e/ou se o Sistema Hidráulico Paraíba do Sul estiver operando acima de 80% do volume útil do reservatório equivalente.

- O volume útil dos reservatórios não obedece mais a regra de manter o limite de 10% do volume útil, mas existem estágios de deplecionamento de acordo com cada reservatório.
- O reservatório de Paraibuna está autorizado a operar abaixo do nível mínimo operacional (694,6m) até o nível que equivale à disponibilização de um volume adicional de 425 milhões de m³.

Além dessa resolução, que é uma ação de segurança hídrica institucional promovida pela governança e que afeta todos os usuários de água dessas bacias, existem outras propostas de ação em relação a segurança hídrica das indústrias da foz do rio Guandu, que é o foco deste trabalho, descritas no Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2017b) sendo estas:

- Promover a utilização de parte do volume do Reservatório de Lajes como reserva estratégica para as indústrias do complexo industrial de Itaguaí/Santa Cruz. Essa proposta não defende a utilização das águas do reservatório para o abastecimento efetivo da região, mas sim como uma reserva para atendimento em períodos que inviabilizem o abastecimento, seja por manutenção das estruturas de transposição, seja em períodos de escassez hídrica.
- Promover a utilização dos recursos hídricos localizados nas cavas de Seropédica como reserva estratégica para as indústrias, sendo esta proposta tratada no presente trabalho.

5.2.4.1 PLANO METROPOLITANO

O Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDUI), ou também conhecido Plano Metropolitano é uma iniciativa do Governo do Estado, por meio da Câmara Metropolitana. Esse plano descreve um conjunto de cenários, estratégias e instrumentos de curto médio e longo prazo (quatro, oito e 25 anos) para a Região Metropolitana em seis diferentes eixos: economia; mobilidade; habitação; saneamento e meio ambiente; patrimônio natural e cultural; e reconfiguração especial. Assim, o plano irá ajudar nas decisões governamentais nos anos

futuros e pode ser considerado uma medida de aumento de segurança hídrica, devido a suas propostas.

No que se refere a segurança hídrica, o Plano Metropolitano pontua o problema da fragilidade da segurança hídrica na Região Metropolitana, explicada pela falta de reservação de água bruta e pela forte dependência das águas do Paraíba do Sul, gerando falta de confiabilidade no atendimento. Ou seja, falta resiliência nesse sistema que concentra a oferta em praticamente uma única fonte.

Os atuais sistemas de abastecimento também não serão capazes de atender a demandas futuras, sendo necessário a busca por novas fontes de captação e ampliação dos sistemas atuais, dentro das restrições existentes.

Em relação segurança hídrica das indústrias do Baixo Guandu, localizadas no polo industrial/portuário de Itaguaí/Santa Cruz, duas ações são sugeridas no Plano, sendo estas: a criação de um condomínio de água-esgoto industrial, encarregado do fornecimento de água para todas as indústrias e retirada de água servida para reuso; e a mudança nos pontos de captação. Um dos pontos de captação sugeridos através do Programa de Ações Prioritárias (PAP) 13 são as cavas de Seropédica, promovendo sua recuperação ambiental, com um custo de atividades preparatórias de R\$ 1 milhão e custo estimado final de R\$ 66 milhões, sendo sugeridas como fontes de financiamento as próprias indústrias do Baixo-Guandu.

Dessa forma, esse trabalho irá focar no estudo da proposta de utilização das cavas de areia de Seropédica como reserva hídrica para as indústrias do Baixo-Guandu.

5.3 DISTRITO AREEIRO DE ITAGUAI/SEROPÉDICA

5.3.1 HISTÓRICO

A atividade minerária na sub-bacia do rio da Guarda começou por volta de 1960 e o método de extração praticado no “Polígono de Piranema” é a extração em cava submersa, explicado no item 2.2 (Mineração a Céu-aberto). Assim, à medida que a areia vai sendo retirada, o lençol freático surge do solo e forma grandes lagoas (AGEVAP, 2017a). Nessa época as lavras funcionavam sem as licenças necessárias para essa atividade.

A partir de 1980, o Departamento Nacional para Produção Mineral (DNPM) começou a autorizar a exploração mineral em algumas empresas de mineração da região através do regime de licenciamento e do regime de Autorização e Concessão, posteriormente.

Em 1990, o DRM-RJ publicou o primeiro levantamento sobre as atividades extrativas na região, que resultou num relatório com 56 areais funcionando e foi feita uma proposta de criação da Zona de Produção Mineral de Areia para tentar inseri-los no planejamento de uso do solo. Porém, não houve continuidade da proposta, gerando muitos conflitos (RESENDE, 2006). Em pleno crescimento da mineração na região, ocorreu uma interdição da atividade extrativa na região, por pressão da sociedade e de alguns órgãos governamentais, acarretando um problema de abastecimento de areia para a construção civil na região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Em 2001, após diversas reuniões com órgãos de governo, os areeiros, representados pelo SIMARJ (Sindicato dos Mineradores de Areia do Estado do Rio de Janeiro) assinaram um Termo de Ajustamento de Conduta Ambiental Preliminar (TAC), viabilizando a continuidade do processo extrativo e lançando as bases do controle e o disciplinamento das atividades.

De acordo com Resende (2006), os termos exigidos pelo TAC foram:

- Implantação de monitoramento da qualidade das águas das lagoas e subterrâneas;
- Desenvolvimento de plano de lavra individual e coletivo;
- Apresentação das propostas de recuperação para as lagoas aterradas;
- Desenvolvimento e implantação de sistema de monitoramento das fases da atividade extrativa;
- Identificação das áreas onde houve conexão irregular com corpos d'água apresentando os projetos de recuperação das margens e;
- Apresentar o cenário futuro da área considerando o aspecto regional.
- Definir e executar as medidas necessárias à implementação do Plano de Recuperação das Áreas Degradadas (PRAD), visando o planejamento do uso futuro;

Segundo o PERH – Guandu (2017) Diagnóstico TOMO II, não existem registros recentes (de 2002 a março de 2017) de outros TACs nessa região.

Analisando as áreas das lagoas formadas, desde 1984 até 2017 (Figura 34), pelo Google Earth, observa-se um aumento do número de espelhos d'água na região ao longo desses anos, sugerindo uma expansão da atividade de extração de areia. A Tabela 14 mostra a área total das lagoas durante esses períodos e o percentual de crescimento entre um período e outro.

*Tabela 14: Área total das lagoas ao longo dos anos de 1984 a 2017 e seu crescimento.
Fonte: própria.*

	ÁREA DAS LAGOAS (km ²)	CRESCIMENTO *
Cavas - 1984	0,25	0.00%
Cavas - 1994	2,04	716%
Cavas - 2004	3,60	76,5%
Cavas - 2017	7,52	108,9%

*Crescimento em relação ao período anterior

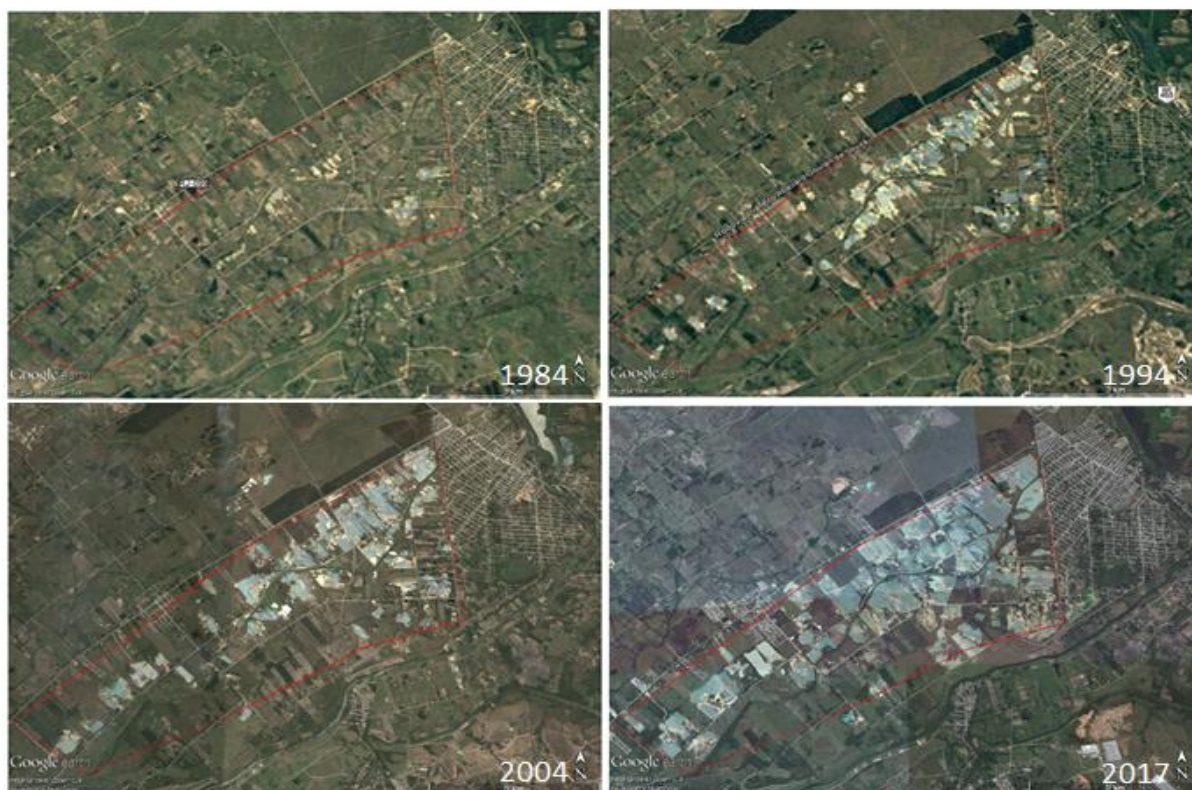


Figura 34: Crescimento das lagoas ao longo dos anos de 1984 a 2017. Fonte: autoria própria.

De acordo com dados obtidos no DNPM-RJ de produção de areia e comercialização desde o ano de 2010 até 2017 (Figura 35) no município de Seropédica, com valores já corrigidos utilizando o índice IPCA, a produção na região tem diminuído ao longo desses anos, junto com seu valor comercializado. Isso pode significar ou uma crise no setor da construção civil ao longo desses anos, ou uma possível exaustão das jazidas de areia na região (ou ambas).

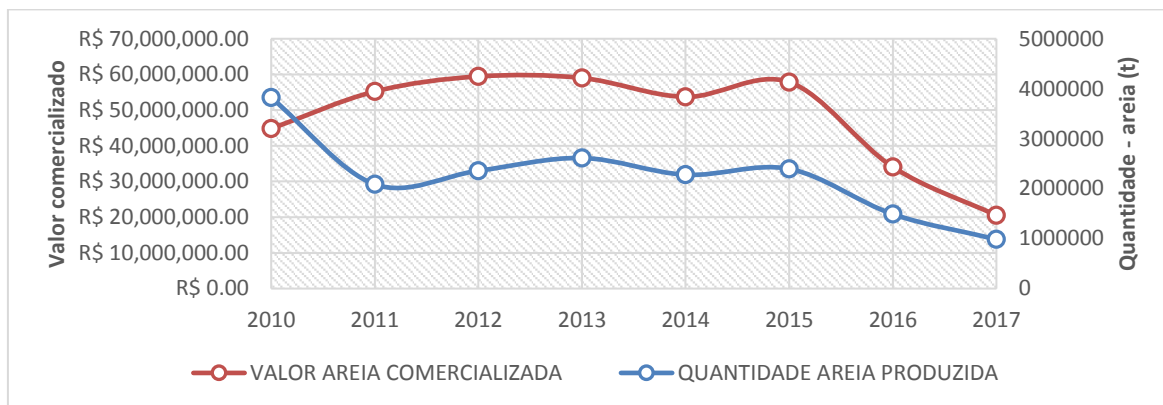


Figura 35: Produção de areia e comercialização em Seropédica desde 2010 a 2017. Fonte dos dados: DNPM-RJ.

Atualmente existe um alto grau de desinformação e clandestinidade nesse setor, dificultando a obtenção de informações confiáveis. De acordo com dados do DNPM de 2017, obtidos no SIGMINE (Sistema de Informações Geográficas da Mineração)⁶, existem na região de estudo em torno de 100 empresas de mineração com processos cadastrados. Porém, somente metade está devidamente regularizadas com seus respectivos registros de Licenciamento e/ou Concessão de Lavra. As outras empresas, estão ainda no processo para se regularizarem.

Outra forma de analisar esses dados é através das áreas de cada processo. A Figura 36 mostra todas as áreas dos processos existentes na região do Polígono de Piranema, sendo um total de 37 km² de áreas. Desse total, somente 6,47 km² estão regularizados (áreas em verde). A Figura 37 mostra uma comparação das áreas regularizadas com o Google Earth e é possível observar diversas lagoas que ou estão em processo de regularização ou abandonadas.

De acordo com dados disponibilizados pela Prefeitura de Seropédica, coletados presencialmente, o valor venal da área dos areais era de R\$9,68/m² no ano de 2018. Assim, para um total de 37km², o valor venal dessas terras é de R\$ 358.160.000,00. Porém, analisando somente o valor das áreas regularizadas, o valor venal diminui para R\$ 62.629.600,00.

⁶ <http://www.anm.gov.br/assuntos/ao-minerador/sigmine>

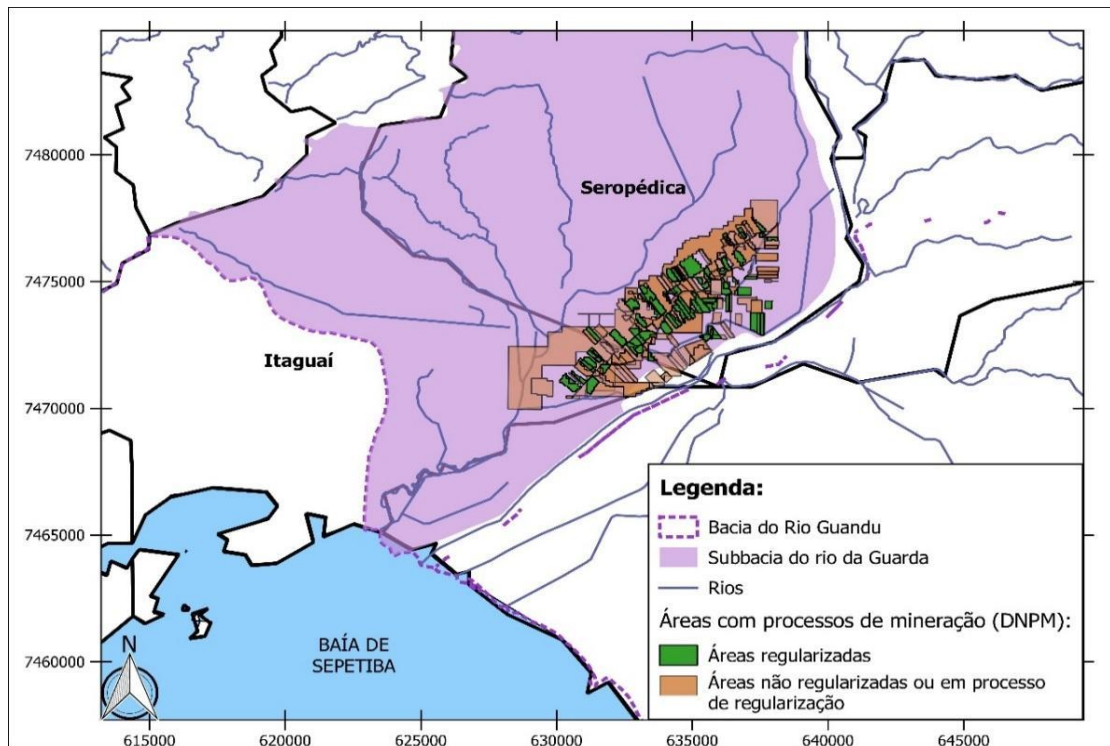


Figura 36: Áreas referentes aos processos minerários ativos no DNPM (2017). Fonte dos dados: DNPM – SIGMINES (<http://sigmine.dnpm.gov.br>)



Figura 37: Comparação entre as áreas regularizadas (polígonos verdes) e as lagoas existentes no Distrito Areeiro de Itaguaí-Seropédica. Fonte dos dados: DNPM – SIGMINES (<http://sigmine.dnpm.gov.br>)

5.3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUALIDADE DAS ÁGUAS

As jazidas de areia no distrito Areeiro de Itaguai-Seropédica são formadas pela intercalação de unidades lenticulares de argila e areia, e os detalhes dessa formação foram detalhados no item 5.1.3 (Hidrogeologia).

De acordo com os perfis sedimentográficos, obtidos no estudo de Berbert (2003), o número de camadas de areia por perfil varia de três a sete, com uma espessura média em torno de 3 m cada camada.

A profundidade das lagoas é um parâmetro variável e que tem valores diferentes, em diversas fontes, não necessariamente resultantes de medições extensivas. Na literatura, alguns estudos falam de uma profundidade média de poucos metros a 20m (MARQUES, 2006) e outros falam de uma profundidade média de 28m (AGEVAP, 2017a; MARQUES, 2010).

A composição química das águas das lagoas de cava do Polígono de Piranema não é comum, dificultando a comparação com outro ambiente aquático. De acordo com Tubbs *et al.* (2012) únicos ambientes mais próximos de comparação seriam as lagoas de minério sulfetado, como por exemplo, minério de carvão, as quais são citadas no item 2.3 (Lagos de Mineração) e 2.5 (Áreas de Mineração Reabilitadas pelo Mundo) devido ao baixo valor de pH, ou seja, sua acidificação. No entanto, as concentrações das espécies dissolvidas (principalmente alumínio, ferro e manganês) nas lagoas de cava de minério são bem mais altas do que as das cavas de areia.

Uma comparação entre os componentes das águas subterrâneas da região e águas das lagoas de extração de areia, feita por Marques (2010) indica que o processo da atividade de extração de areia é o fator da mudança da química da água, pois existe uma pequena disparidade composicional entre os dois sistemas, considerando que as lagoas de cava tem a mesma origem das águas subterrâneas. Porém, uma similaridade seria o baixo conteúdo dissolvido, devido aos baixos valores de condutividade elétrica encontrados. Isso se deve à mineralogia dos sedimentos, essencialmente quartzo-feldspáticos (resistentes ao intemperismo).

Em relação aos parâmetros geoquímicos de qualidade das águas das cavas, de acordo com dados de quatro estudos diferentes utilizando dados dos mesmos 4 areais, entre 2004 a 2007 ((MARQUES, 2006, 2010; TUBBS *et al.*, 2011; TUBBS FILHO; ANTUNES; VETTORAZZI, 2012) percebe-se que os valores para vários parâmetros são bem variados, principalmente devido as diferentes épocas de abertura das cavas aliada a pouca utilização da mesma, implicando em pouca mobilização de sedimentos e numa menor velocidade nos

processos geoquímicos. Além disso, os estudos concluem que a atividade areeira junto com regime de chuvas da região controlam os parâmetros físico-químicos das lagoas, principalmente pH e condutividade elétrica, os quais definem o comportamento das espécies dissolvidas em tais águas.

A própria litologia da bacia, devido ao seu intemperismo, pode originar os cátions maiores (cálcio, magnésio, potássio, sódio e alumínio) vindos da dissolução de aluminossilicatos, tais como feldspatos e micas, possuindo baixos teores de cálcio, magnésio e potássio, ao contrário do sódio, que apresenta concentrações um pouco maiores, podendo indicar fonte externa, como aerossol marinho. As águas possuem natureza oligotrófica, com destaque para os baixos valores de fósforo e nitrogênio. De uma forma geral, as águas das cavas apresentam baixa concentração de elemento dissolvidos e baixos valores de pH. Entretanto, os íons alumínio $3+$ (Al^{3+}) e sulfato (SO_4^{2-}) apresentam valores elevados quando comparadas as concentrações com águas naturais. As águas das lagoas são classificadas como sulfatadas-cloretadas-sódicas (MARQUES, 2006, 2010).

O íon cloreto (Cl^-) presente nas águas também é proveniente de aerossóis marinhos, tanto por deposição atmosférica quanto devido ao fluxo de águas subterrâneas para as cavas, e isso se deve a proximidade da região costeira, em torno de 10km. No entanto, as concentrações baixas desse íon nas lagoas podem ser explicadas pela influência da precipitação e de escoamento para dentro das lagoas (MARQUES, 2010).

Durante o período seco, devido à alta evapotranspiração e temperatura, ocorre a evapoconcentração das lagoas favorecendo a precipitação de sais complexos e aumento dos valores de pH. Já no período chuvoso a entrada de águas de chuva dilui a água das cavas, dissolvendo os sais precipitados, aumentando os teores de SO_4^{2-} , assim os valores de pH diminuem. (TUBBS FILHO; ANTUNES; VETTORAZZI, 2012).

A Figura 38 mostra um perfil sedimentar da região, o qual apresenta certas camadas com material característico de ambiente redutor, representadas pelas cores verde (camadas arenosas) e cinza (argilas) (MARQUES, 2006).

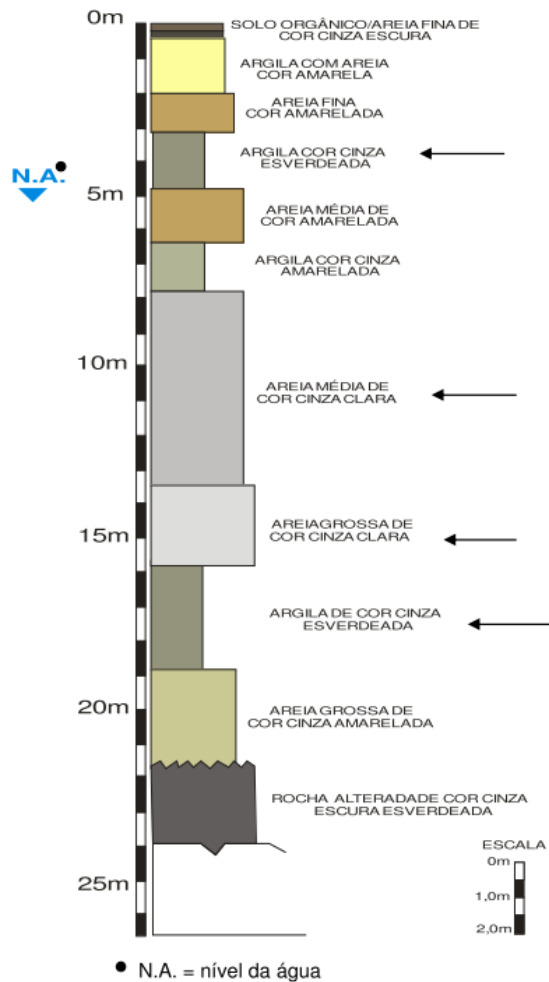


Figura 38: Testemunho mostrando o perfil sedimentográfico da região. As setas mostram as litologias com características de ambiente redutor (sedimentos com cores cinza e verde). Fonte: BERBERT (2003) modificado por MARQUES (2006).

Devido a abertura das cavas, os sulfetos presentes nos sedimentos redutores oxidam e reagem com a água formando ácido sulfúrico, provocando a redução do pH. Esta acidificação permite que o alumínio, vindo dos aluminossilicatos, em especial os feldspatos, se encontre dissolvido nas águas das cavas. Porém, sua dissolução se mostra controlada, segundo a abordagem estatística, pelo regime de chuvas da região, ou seja, independentemente dos valores de pH, se houver grande pluviosidade num determinado período, aumentando o fator diluição, os valores de alumínio permanecerão baixos. A oxidação do material geológico fornece grandes quantidades de SO_4^{2-} , fazendo com que o Al^{3+} presente se complexe preferivelmente a este ânion em períodos de chuvas, formando sais complexos. A formação destes sais complexos é responsável pela baixa quantidade de material em suspensão nas lagoas e pela coloração azulada aparente da água, pois estes sais de SO_4^{2-} são bons agentes coagulantes e refletem o comprimento de onda no espectro do azul.

O alumínio é provavelmente o maior limitante tóxico para o desenvolvimento de um ecossistema natural nesses lagos. Mas, provavelmente, quando as atividades de extração cessarem, o pH da água tenderá a aumentar através da não-exposição de sedimentos reduzidos, e assim, reduzindo os teores de alumínio dissolvido, através da hidrólise do alumínio, tornando os hidróxidos as espécies predominantes e funcionando como coagulante de material particulado (MARQUES, 2006).

Por último, segundo o PERH-Guandu (AGEVAP, 2017a), durante o Termo de Ajuste de Conduta (TAC) dos mineradores, no início dos anos 2000, medições de qualidade de água realizadas e algumas lagoas revelaram o enquadramento dessas águas na classe 1 do CONAMA 357/2005.

5.3.3 IMPACTOS DO DISTRITO AREEIRO

Foram elaboradas duas tabelas, Tabela 15 e Tabela 16, através de pesquisa bibliográfica (AGEVAP, 2017a; BERBERT, 2003; CAVALCANTI, 1996; MARQUES, 2006; SONDOTÉCNICA, 2007), resumindo os principais impactos positivos e negativos, respectivamente, do Distrito Areeiro de Itaguaí/Seropédica.

Tabela 15: Impactos positivos da mineração de areia em Seropédica.

1. Geração de empregos e renda
2. Movimenta a indústria da construção civil na Região Metropolitana do Rio de Janeiro
3. Contribuição para arrecadação de impostos e tributos

Tabela 16: Impactos Negativos da mineração de areia em Seropédica.

1. Impacto visual; Alteração da paisagem devido a movimentação de terra e formação de dezenas de lagoas artificiais, além do abandono de cavas já exploradas
2. Alteração do uso do solo
3. Eliminação de solos cultiváveis, devido ao decapeamento do terreno e má estocagem do solo para futura recuperação vegetal
4. Bordas instáveis das lagoas pela falta de sustentação em sua base devido a extração lateral de areia
5. Assoreamento e alteração da qualidade das águas dos corpos hídricos devido ao carreamento de sólidos para os rios nas chuvas intensas
6. Erosão pelas águas pluviais das pilhas de areia e rejeito
7. Interferência com rios locais contaminados que em épocas de cheias acessam as cavas
8. Alteração da qualidade das águas subterrâneas, devido a má disposição dos rejeitos, vazamentos de óleos e a exposição do lençol freático nas cavas, aumentando a possibilidade de lançamento de resíduos contaminantes

9. Rebaixamento localizado do lençol freático, devido ao bombeamento nas cavas e falta de monitoramento, podendo interferir no abastecimento de água da população próxima

10. Interferência no regime de fluxo de água subterrânea

11. Emissão de poeira para o ar, devido ao tráfego intenso de máquinas nas estradas de terra em torno dos empreendimentos e ventos sobre os estoques de areia armazenados

12. Degradação da qualidade de vida dos residentes nas circunvizinhanças

13. Interferência com área de expansão urbana em Seropédica

14. Ilegalidade de diversas cavas, aumentando a insegurança na região

5.4 PLANEJAMENTO URBANO DE SEROPÉDICA

O município de Seropédica possui uma área de 283,6 km², onde residem cerca de 82.892 pessoas, das quais 82% vivem na área urbana (AGEVAP, 2017b).

O território é atravessado por importantes rodovias: BR-116 (Via Dutra), a antiga Rio São Paulo (BR-465), a RJ-099 que atravessa transversalmente a estas e o Arco Metropolitano. Isso mostra sua integração com municípios vizinhos.

Em uma análise macroeconômica, através do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Rio de Janeiro (SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE, 2016) mostrado na Figura 39, observa-se que o município de Seropédica apresenta grande parte de suas terras consolidadas como usos agropecuários (como lavouras e pastagens) e não agropecuários (como áreas urbanizadas, de mineração, e comerciais). Já outra grande parte de suas terras são consolidadas como áreas de expansão com usos diversos, inclusive grande parte da área de estudo. Essa categoria contempla áreas com potencial para diferentes usos econômicos, em que os terrenos são favoráveis ao desenvolvimento de atividades agropecuárias e não agropecuárias, com ocupação e uso dessas áreas compatíveis com as suas capacidades de suporte ambiental e em conformidade com a legislação vigente.

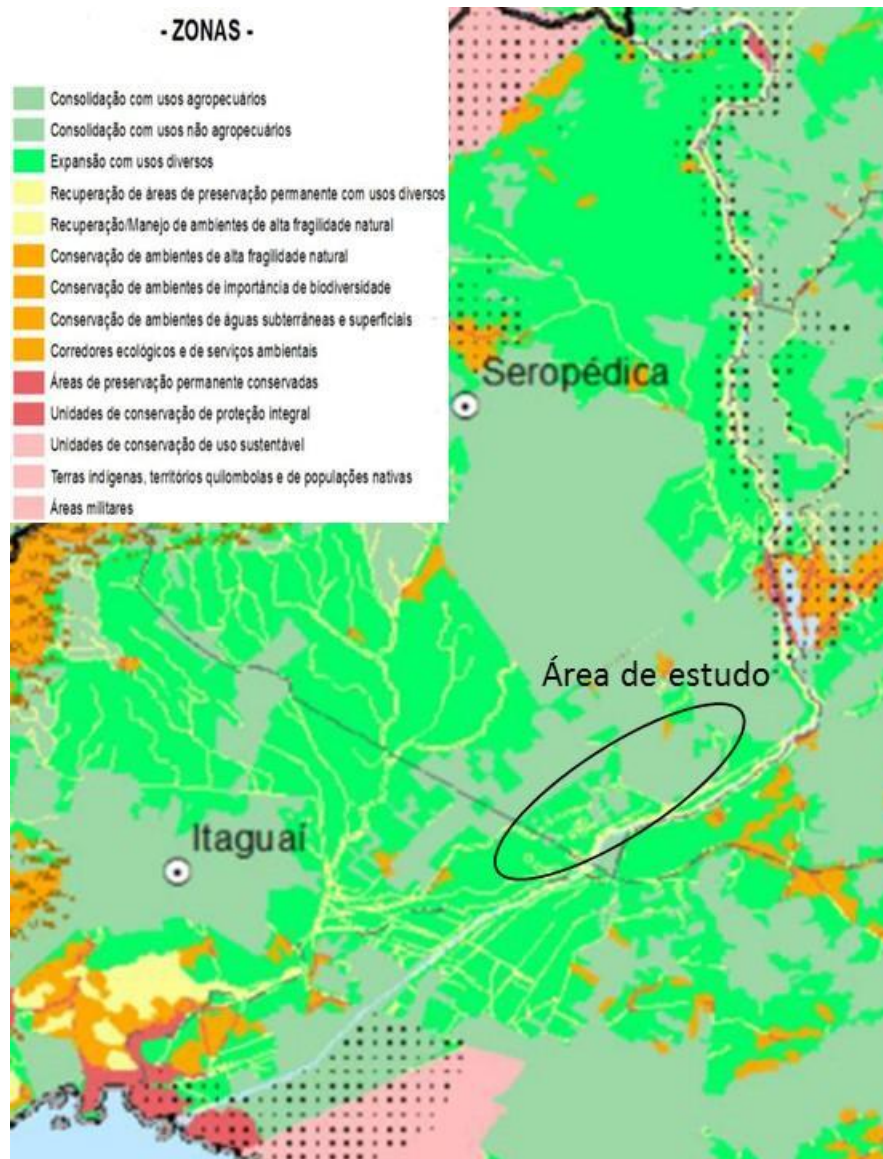


Figura 39: Zoneamento Ecológico Econômico do município de Seropédica. Adaptado de Secretaria de Estado do Ambiente (2016)

Em relação ao zoneamento do município, o município de Seropédica não possui legislação específica para o uso e ocupação do solo e parcelamento do solo (AGEVAP, 2017d), somente o zoneamento como parte integrante do Plano Diretor (SEROPEDICA, 2006). Observa-se uma Zona de Interesse Mineral (ZIM) na região das cavas de mineração de areia. Isso mostra a importância dessa atividade para o município, apesar de não existir um programa de ações específico para a atividade de mineração dentro do Plano Diretor.

De acordo com Alcantara e Schuler (2015), mais de 85% do território de Seropédica constitui-se de espaços livres de urbanização e de edificações. Esses espaços livres presentes na região, em sua parte plana ou de baixada, são compostos de atividades agropastoris, campos e forrações baixas, com poucas áreas de florestas. Já os espaços

urbanos surgem aos poucos, constituindo poucos núcleos fragmentados, descontínuos e com baixa densidade construtiva.

A posição estratégica do município é identificada em seu Plano Diretor, próximo de parques industriais, cortado por importantes rodovias e próximo ao Porto de Itaguaí, sendo considerado um futuro polo logístico. Ou seja, a região é um potencial eixo de crescimento, tanto em função desses grandes investimentos quanto à existência de estoque de terras (espaços livres de edificações ou urbanização) ainda disponíveis.

O Plano Diretor de Seropédica foi criado através da Lei n 328/2006 (SEROPEDICA, 2006) e estabelece programas e ações setoriais a serem desenvolvidos e integrados entre si. Como esse trabalho é relacionado a segurança hídrica e recuperação de áreas degradadas, somente itens relacionados a esses temas serão analisados no Plano Diretor. Dentre eles está o programa municipal de Planejamento Ambiental, que estabelece políticas que visam a recuperação e preservação de áreas verdes, do solo e os recursos hídricos. Um dos seus princípios é a recuperação das lagoas dos areais como futuras áreas de lazer e outras atividades econômicas, minimizando assim o passivo ambiental. Outros dois princípios relacionados com os recursos hídricos são: recuperação e preservação da vegetação das áreas das nascentes e matas ciliares e a proteção e programas de despoluição dos recursos hídricos.

Além desse programa, outro relacionado aos recursos hídricos do município é o Plano de Saneamento Ambiental, no qual diretrizes relacionadas ao esgotamento sanitário, abastecimento de água e resíduos sólidos são descritas. As diretrizes gerais para a gestão da política de saneamento básico estabelecidas foram: adoção de uma visão integrada que incorpore os recortes territoriais das bacias hidrográficas; prioridade na implementação de ações que levem a mitigação de processos de degradação ambiental; inclusão do componente educação ambiental nas medidas e ações voltadas ao saneamento básico e garantir a toda população o abastecimento de água com quantidade e qualidade compatíveis com os padrões estabelecidos nas legislações.

Em relação ao abastecimento de água, o Plano Diretor cita diretrizes para garantir o abastecimento de água adequado para a população, que falam sobre controle de poluição, melhoria do sistema de esgotamento sanitário e do sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos. De acordo com o PERH – Guandu (AGEVAP, 2017b), Seropédica é abastecida através de dois Sistemas Integrados de captações, Ribeirão das Lajes e Japeri-Seropédica, todos operados pela CEDAE. O índice de atendimento total e o de atendimento urbano de água no município de Seropédica são os mesmos, 70,8%, e esse baixo índice obriga a população a utilizar fontes alternativas de abastecimento como poços.

Em relação ao esgotamento sanitário o Plano Diretor propõe medidas estruturais para a implementação das diretrizes de controle do sistema envolvendo a rede coletora, interceptação, tratamento e destinação final do efluente. Além disso, inclui a implantação de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) em Seropédica. De acordo com o SNIS (2016), o sistema de esgotamento sanitário é operado pela CEDAE e somente 37,6% do volume de esgoto gerado no município é coletado, enquanto nenhuma parcela é tratada. O PERH-Guandu (AGEVAP, 2017b) estima um índice de 18,8% da população que utiliza solução individual (fossa séptica ou fossa rudimentar) para o tratamento domiciliar. O resto dos esgotos domiciliares é despejado em valas a céu-aberto, que cruzam as áreas urbanas até chegar nos cursos d'água locais, sendo os principais: Valão dos Bois, Valão do Drago, Rio Piranema e Rio Guandu.

Outra informação relevante é sobre os investimentos realizados em esgotamento sanitário entre 2010 e 2015, em Seropédica. Segundo o PERH-Guandu (AGEVAP, 2017b), utilizando dados do SNIS, houve investimentos anuais de 2010 a 2013 com uma média de R\$ 1.572.164,25 e em 2014 e 2015 nada foi investido. Isso mostra a falta de priorização desse setor pelo município e operadora de serviço.

Ressalta-se que o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), exigido pela Lei Federal n 11.445/2007 não tem previsão de conclusão para o município (AGEVAP, 2017b).

No que se refere à drenagem, o Plano Diretor não possui um item específico. A maior parte do município de Seropédica se localiza na bacia do rio da Guarda e os principais cursos d'água que promovem a drenagem do município são: Valão dos Bois, valão do China e rio Piloto, formadores do rio da Guarda. Nesta bacia os problemas relativos às inundações estão relacionados ao Valão dos Bois. A atividade areeira foi responsável, durante muitos anos, por assorear o Valão dos Bois e conseqüentemente o trecho final do rio da Guarda; porém, existem outras causas de inundações, como a ocupação irregular das várzeas inundáveis; a não determinação de áreas de restrição de uso de ocupação no zoneamento municipal; a ineficiência dos sistemas de drenagem; falta de manutenção regular e o assoreamento dos canais devido à própria topografia da região e ao lançamento contínuo de efluentes e resíduos nas calhas dos rios (COPPE/UFRJ, 2017). Assim, as inundações no distrito sede de Seropédica se devem ao transbordamento do valão dos Bois e as inundações nas áreas urbanas de Campo Lindo, Jardim das Acácias e Dom Bosco, pelo transbordamento do valão dos Bois e do valão do China (Figura 40).



Figura 40: Áreas inundáveis pelos Valões dos Bois e do China em Seropédica - Fonte: SONDOTÉCNICA (2007)

Por último, no que diz respeito aos resíduos sólidos, o Plano Diretor contempla as seguintes diretrizes: implantação de sistema de coleta seletiva de lixo; promover o tratamento e reaproveitamento dos resíduos orgânicos e dos resíduos da construção civil; promover o reaproveitamento dos resíduos urbanos, agrícolas e industriais e a destinação adequada destes ; e diminuir os riscos ambientais. Além das diretrizes citadas no Plano Diretor municipal, deveria existir o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS), exigido pela Lei Federal n 12305/2010 e instrumento fundamental para a gestão do setor. No entanto, segundo o PERH-Guandu (AGEVAP, 2017b) o município de Seropédica não tem previsão de conclusão desse plano. O município de Seropédica possui coleta de resíduos sólidos e a maior parte desses resíduos vai para o Aterro Sanitário, um dos maiores centros de tratamento da América do Sul, o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Santa Rosa, que atende não só o município como também as cidades do Rio de Janeiro, Itaguaí, Mangaratiba, Queimados e Miguel Pereira, sendo a cidade do Rio de Janeiro a maior geradora de resíduos. Sendo assim, devido à alta quantidade de resíduos que chega, o município de Seropédica está mais sujeito a contaminação, principalmente do aquífero Piranema (AGEVAP, 2017b). De acordo com o Plano Metropolitano (COPPE/UFRJ, 2017) o lixão da cidade se encontra desativado e em remediação.

5.5 MATRIZ SWOT

Conforme relatado no item 4 (Metodologia), após o diagnóstico da região de estudo um questionário (Anexo 1) foi realizado e respondido por 11 especialistas da área de recursos hídricos para complementar a montagem da matriz SWOT e a escolha da proposta de intervenção integrada.

No questionário, foram feitas perguntas em relação aos pontos fortes (forças) e pontos fracos (fraquezas) atuais das cavas de mineração de areia de Seropédica/Itaguaí, fazendo parte da análise interna do local, além de perguntas sobre as oportunidades e ameaças futuras da região, fazendo parte da análise de fatores externos. Havia a possibilidade de se marcar mais de uma resposta. Além disso, era possível criar mais opções de respostas, caso o especialista quisesse considerar mais algum ponto não citado nas opções.

A Figura 41 mostra o resultado da matriz SWOT, através de uma análise própria complementada com as respostas dos especialistas no questionário. Observa-se na análise interna que existem muitos pontos fracos em relação as cavas de mineração de areia, mais do que os pontos fortes. Já através da análise externa, percebe-se a existência de diversas soluções para essa região (oportunidades) enquanto, caso se mantenha o cenário atual, existem também diversas ameaças para a região, como a falta de saneamento, o abandono das cavas e falta de segurança, entre outros.

Análise interna	
Pontos Fortes (Forças)	Pontos Fracos (Fraquezas)
Possui um material adequado para construção civil; gera emprego e renda; movimentação da indústria da construção civil na região Metropolitana do RJ; região com potencial de crescimento urbano e industrial; Contribuição para arrecadação de impostos e tributos	Alteração do uso do solo; Contaminação do ar por particulados finos; Falta de monitoramento do nível do lençol freático; Possibilidade de contaminação do aquífero; Assoreamento; Alteração da qualidade das águas dos corpos hídricos devido a carreamento de sólidos; Desmonoramento das bordas das lagoas de extração e decantação; Degradação da qualidade de vida dos residentes nas circunvizinhanças; Descaracterização da paisagem; Ilegalidade de algumas cavas; Eliminação de solos cultiváveis; Rebaixamento do lençol freático devido ao bombeamento a falta de monitoramento; Interferência com área de expansão urbana
Análise Externa	
Oportunidades	Ameaças
Criação de áreas de lazer nos lagos remanescentes da extração; criação de área residencial associada às áreas de lazer; criação de reservatórios; criação de um Parque Ecológico; Valorização da paisagem; Aumento do turismo; Investimentos na área de saneamento; Criação de Wetlands; Reserva de água bruta para disponibilidade hídrica local; Criação de área para reservação através de recarga artificial.	Contaminação das suas águas e solo através da falta de saneamento dos núcleos urbanos no entorno; Abandono das cavas e degradação ambiental e urbana do entorno; Término da reserva de areia; Aumento da insegurança na região; Proliferação de doenças; Crescimento urbano sem planejamento

Figura 41: Resultado da Matriz SWOT. Fonte: autoria própria.

O resultado do questionário se encontra nas Figuras 42, 43, 44 e 45, mostrando os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças futuras, respectivamente, das cavas de mineração de Seropédica/Itaguaí. A coluna de porcentagem dos votos indica o quanto a opção foi votada em relação a todos participantes e a coluna de importância dos tópicos indica as opções consideradas mais relevantes pelos participantes do questionário.

Em relação aos pontos fortes da região, os dois tópicos mais votados foram a geração de emprego e renda (73%) e a movimentação da indústria da construção civil na RMRJ (64%), sendo estes também os que receberam mais importância pelos participantes. Já em relação aos pontos fracos, a possibilidade de contaminação do aquífero (91%) e a ilegalidade de algumas cavas (73%) foram os mais votados, porém, em relação a importância, os especialistas consideraram a possibilidade de contaminação do aquífero, a

degradação da qualidade de vida dos residentes próximos e o rebaixamento do lençol freático devido ao bombeamento e a falta de monitoramento como prioritários.

Em relação as oportunidades futuras para a região, os tópicos mais votados foram: criação de áreas de lazer (82%), valorização da paisagem (73%) e possível reserva hídrica (73%) e os dois tópicos considerados mais importantes foram: criação de áreas de lazer e possível reserva hídrica. Já analisando as ameaças futuras, os dois tópicos mais votados foram os mesmos considerados mais importantes, sendo estes: contaminação das suas águas e do solo através da falta de saneamento (91%) e o abandono das cavas (82%).

PONTOS FORTES	PORCENTAGEM DOS VOTOS	ORDEM DE IMPORTÂNCIA DOS TÓPICOS						
a - Possui um material adequado para construção civil	55%	x	x	x				
b - Gera emprego e renda	73%	x	x	x	x	x	x	
c - Região com potencial de crescimento urbano e industrial	46%	x	x	x	x			
d - Movimenta a indústria da construção civil na região Metropolitana do RJ	64%	x	x	x	x	x		
e - Contribuição para arrecadação de impostos e tributos	46%	x	x					

Figura 42: Pontos Fortes atuais das cavas de mineração de Seropédica/Itaguaí.

PONTOS FRACOS	PORCENTAGEM DOS VOTOS	ORDEM DE IMPORTÂNCIA DOS TÓPICOS						
a - Alteração do uso do solo	46%	x						
b - Contaminação do ar por particulados finos	0%							
c - Falta de monitoramento do nível do lençol freático	55%	x	x					
d - Possibilidade de contaminação do aquífero	91%	x	x	x	x	x	x	x
e - Assoreamento	27%	x	x					
f - Alteração da qualidade das águas dos corpos hídricos devido ao carreamento de sólidos	46%	x	x					
g - Desmoronamento das bordas das lagoas de extração e decantação	18%							
h - Degradação da qualidade de vida dos residentes nas circunvizinhanças	46%	x	x	x	x			
i - Modificação do regime de fluxo subterrâneo e da qualidade das águas	36%	x	x	x				
j - Descaracterização da paisagem	27%	x						
k - Ilegalidade de algumas cavas	73%	x	x	x				
l - Eliminação de solos cultiváveis	18%							
m - Rebaixamento do lençol freático devido ao bombeamento e falta de monitoramento	55%	x	x	x	x			
n - Interferência com área de expansão urbana	27%							

Figura 43: Pontos Fracos atuais das cavas de mineração de Seropédica/Itaguaí.

OPORTUNIDADES	PORCENTAGEM DOS VOTOS	ORDEM DE IMPORTÂNCIA DOS TÓPICOS							
a - Criação de áreas de lazer	82%	x	x	x	x	x	x	x	x
b - Criação de área residencial no entorno	27%								
c - Criação de reservatórios	64%	x	x	x	x				
d - Criação de um Parque Ecológico	64%	x	x	x	x	x			
e - Valorização da paisagem	73%	x	x	x	x				
f - Aumento do turismo	9%								
g - Investimentos na área de saneamento	46%	x	x	x					
h - Criação de Wetlands	18%	x							
i - Possível reserva de água para disponibilidade hídrica local	73%	x	x	x	x	x	x		
j - Outros: Área para reservação através de recarga artificial	9%								

Figura 44: Oportunidades futuras nas cavas de mineração de Seropédica/Itaguaí.

AMEAÇAS FUTURAS	PORCENTAGEM DOS VOTOS	ORDEM DE IMPORTÂNCIA DOS TÓPICOS										
a - Contaminação das suas águas e solo através da falta de saneamento	91%	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
b - Abandono das cavas	82%	x	x	x	x	x	x	x	x			
c - Término da reserva de areia	9%	x										
d - Aumento da insegurança na região	64%	x	x	x	x	x	x					
e - Proliferação de doenças	36%	x	x	x								
f - Outros: Crescimento urbano sem planejamento	9%	x										

Figura 45: Ameaças futuras nas cavas de mineração de Seropédica/Itaguaí.

6 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO INTEGRADA: SEGURANÇA HÍDRICA, RECUPERAÇÃO AMBIENTAL E REQUALIFICAÇÃO URBANA

Com os resultados da matriz SWOT foi possível determinar uma proposta de intervenção integrada para a região das cavas de mineração de areia de Seropédica/Itaguaí, com o objetivo de reduzir a degradação ambiental que já existe na região, aumentar a segurança hídrica para as indústrias do Baixo-Guandu e melhorar alguns aspectos urbanos que afetam diretamente a qualidade das águas da região de Seropédica, como o planejamento do uso do solo e o saneamento na região de Seropédica, diminuindo assim os pontos fracos e as ameaças das cavas de mineração.

A proposta inclui a conexão dos lagos existentes nas cavas de areia, formando lagos maiores, ajustando sua morfologia (caso se deseje maior volume) para obter o armazenamento necessário para a reserva de água bruta para as indústrias. Como não há garantia de reposição das águas pelo lençol freático, uma vez que há dúvidas sobre como se dá a conexão das cavas com este, a fim de se favorecer a circulação da água nos lagos e torná-los perenes, propõe-se utilizar o rio Valão dos Bois como afluente às lagoas. Este rio já passa entre cavas de mineração de areia. Adicionalmente, também o rio Piloto poderia ser utilizado, sendo que os dois fazem parte da bacia do rio da Guarda. Isso garante o aporte de vazões superficiais, de forma contínua para o sistema, e diminui a possibilidade de eutrofização do corpo hídrico pois as lagoas terão um fluxo de água. Além disso, a concepção da formação de lagoas interligadas facilita o descomissionamento dessas áreas de mineração em diferentes períodos, com agregação sucessiva de novos lagos à solução, reduzindo o impacto econômico na região e respeitando o período de utilização das cavas que estão legais pois ainda há uma grande demanda por esse recurso no âmbito da construção civil da região.

Além dos lagos como reserva hídrica, é necessário um planejamento do uso do solo da região, incluindo a implantação de um parque ambiental realizando um replantio na região, e estabelecendo um parque multifuncional, com áreas de lazer e de conservação. A presença de áreas verdes integradas ao sistema de espaços livres urbanos, compondo a paisagem é fundamental ao bem-estar e qualidade de vida urbana. É também proposta a criação de uma faixa de mata ciliar de 30m em volta de todas as lagoas. Além disso, próximo ao parque se pode permitir uma área residencial, aumentando a oferta de habitações, de forma planejada, com infraestrutura adequada e integrada à cidade formal. Essas medidas valorizam a paisagem e atendem aos pontos de oportunidades mais votados da matriz SWOT. Essa proposta foi realizada com base na proposta já existente do Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de

Janeiro, PDUI (COPPE/UFRJ, 2017b), mostrado na Figura 46. O PDUI elabora um conjunto de cenários, estratégias e instrumentos que servem para orientação para decisões governamentais nos anos futuros. A proposta de uso do solo aqui mostrada, juntamente com a demarcação da área das lagoas e seus afluentes é apresentada na Figura 47.

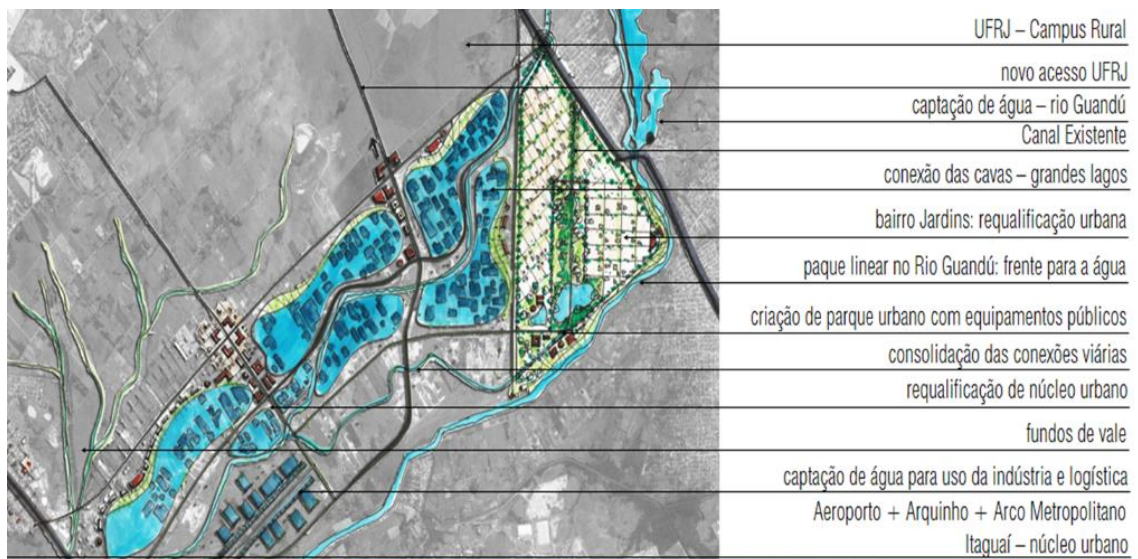


Figura 46: Uso do solo proposto no Plano Metropolitano para a mesma região das cavas de mineração de Seropédica. (Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2017)

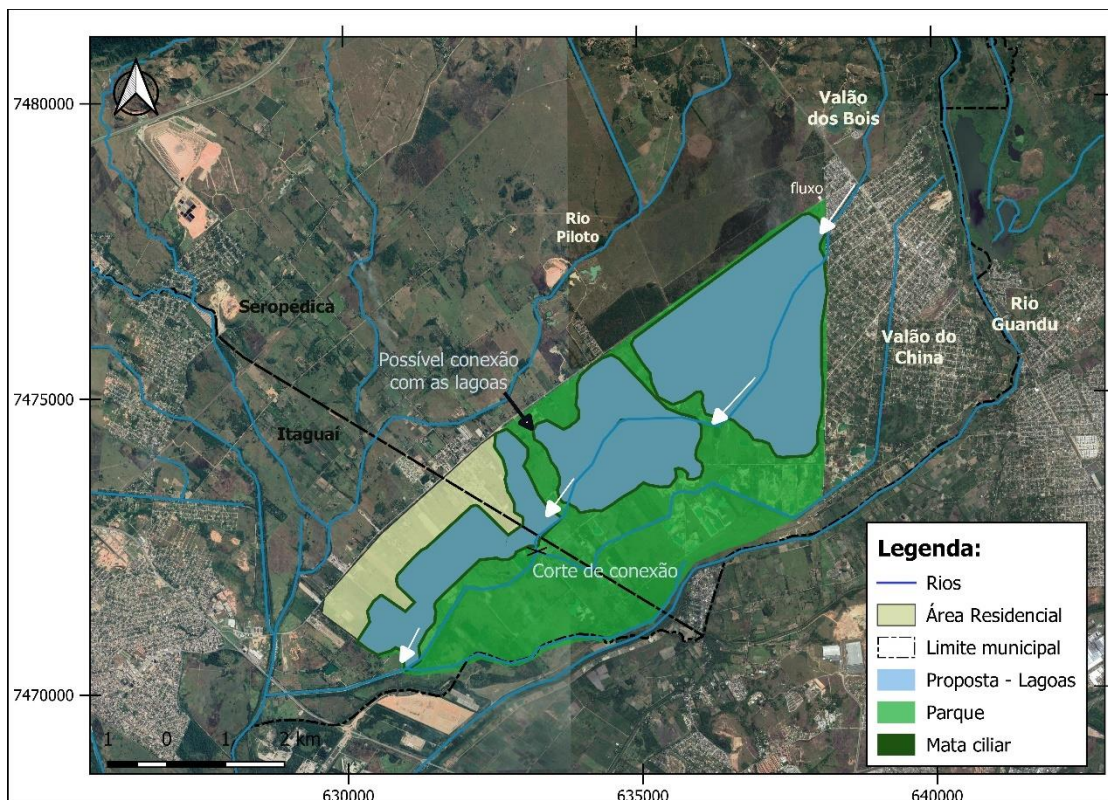


Figura 47: Uso do solo proposto junto com a demarcação das lagoas e seus afluentes na região das cavas de mineração de Seropédica. Fonte: autoria própria

A Tabela 1 mostra a área de lagoa proposta e a área estimada dos corpos de água atuais nas cavas de mineração (áreas de água visíveis no Google Earth). Como não foi possível obter a batimetria das lagoas e as cavas podem ter profundidades que variam até 20m (MARQUES, 2006), adotou-se, de forma simplificada, quatro cenários de profundidade média, com 2m, 5m, 10m e 20m, para simulações de comportamento do reservatório proposto. Também são apresentados os volumes referentes às áreas e profundidades dos cenários e das cavas atuais. Para fins de comparação, é apresentada o volume da reserva estratégica de Lajes (17,9% do volume útil do reservatório) para o abastecimento de água da RMRJ em caso de emergência.

Tabela 17: Comparativo de volumes entre as lagoas propostas, a reserva estratégica de Lajes e os corpos d'água visíveis.

	AREA (km ²)	PROFUNDIDADE MÉDIA (m)	VOLUME (hm ³)
Reserva Estratégica de Lajes	-	-	79,67
Corpos d'água visíveis 2017	7,45	2	14,90
		5	37,25
		10	74,50
		20	149,00
PROPOSTA: várias lagoas interligadas	15,32	2	30,65
		5	76,64
		10	153,27
		20	306,55

Para um melhor funcionamento e sustentação desta proposta, considera-se, ainda a criação de um condomínio com as indústrias localizadas na foz do rio Guandu para facilitar o fornecimento dessa reserva de água bruta para todas as indústrias, implantando assim, um sistema condominial de água-esgoto industrial que será encarregado do fornecimento de água a todas as indústrias e a retirada de água servida para reuso industrial.

Além disso, também para facilitar o planejamento do uso do solo, seria interessante a compra, através desse condomínio, das áreas de mineração existentes. Como existem vários casos de áreas abandonadas ou ilegais, o valor dessas áreas provavelmente seria baixo, facilitando essa ideia. Algumas vantagens dessas propostas, retiradas de Bauer (1970) seriam:

- Os equipamentos utilizados para extrair areia podem ser utilizados também para a obra do uso final, ajustando o terreno.
- Como essas áreas estão próximas de áreas urbanas, há um potencial de aumento do valor das terras.
- As minerações de areia podem ser exploradas de acordo com o projeto de uso final da área.

6.1 INTERVENÇÕES URBANAS

Em nível local, a falta ou falha de planejamento e a ausência ou precariedade de infraestrutura urbana, tais como drenagem pluvial e saneamento básico, vêm gerando transtornos à vida urbana, bem como podem vir a contaminar os cursos d'água, prejudicando ainda mais a qualidade hídrica regional.

Sendo assim, a solução proposta necessita ser integrada com soluções de intervenção urbana focadas na melhoria da qualidade da água afluyente as lagoas, que atualmente é considerada poluída por esgoto doméstico dos centros urbanos de Seropédica. Essas soluções complementares foram baseadas também no Plano Metropolitano (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2017b), sendo estas:

- Implantação de redes de tempo seco em locais ainda sem esgotamento sanitário, como solução de transição para um sistema separador absoluto, o qual deverá ser implantado em etapas, facilitando o planejamento de orçamento pelo poder público. A coleta de tempo seco consiste em galerias interceptoras construídas nas margens dos rios nas áreas mais povoadas a fim de interceptar redes mistas ou valões de esgotos existentes e destinar ao devido tratamento. Isso protege trechos de corpos hídricos do aporte de águas residuárias. Porém, como o esgoto sanitário é direcionado para as galerias de águas pluviais, esse tipo de solução somente funciona em períodos sem chuva, pois existe uma capacidade de escoamento e tratamento dessa água residuária pelo sistema que, quando ultrapassada em períodos de chuva, não realiza o tratamento formal, embora, nestes momentos, o esgoto seja descarregado de forma diluída no corpo receptor final.. A rede de captação em tempo seco, no futuro, quando implantada uma rede separadora funcional, poderá ser utilizada para o tratamento de poluição difusa que pode chegar aos corpos hídricos, como metais, micropoluentes orgânicos, compostos químicos, combustíveis, resíduos orgânicos, entre outros.

- Implantação de estações de tratamento de esgotos, colocando estações a jusante das áreas urbanas, principalmente na bacia do rio da Guarda, sendo esta a bacia onde se encontram as lagoas de mineração de areia foco deste estudo. Assim, com o sistema provisório de tempo seco chegando até as estações e o devido tratamento do esgoto, haverá uma remoção de carga poluidora nos rios da região, com reflexos diretos na qualidade da água, melhorando a saúde pública e qualidade de vida das populações, assim como a qualidade da água afluyente às lagoas, sendo possível utilizá-las como uma reserva de água bruta pelas indústrias. Essa proposta também está lastreado pelo Plano Diretor de

Seropédica (SEROPEDICA, 2006), como uma medida estrutural para a implementação das diretrizes de controle do sistema de esgotamento sanitário, envolvendo a rede coletora, interceptação, tratamento e destinação final do efluente

- Implantação de infraestruturas de macrodrenagem nas áreas urbanas localizadas na bacia do rio da Guarda, que são influenciadas pela área de estudo e já sofrem com inundações, como foi visto no capítulo “Planejamento Urbano de Seropédica”. Essa infraestrutura trará benefícios diretos para o controle de inundação e uma maior resiliência para as regiões dos seus respectivos entornos.

- Criação de parques lineares fluviais nas áreas urbanas, promovendo de maneira integrada a limpeza dos córregos, a conexão da vegetação arbórea e a manutenção do habitat das espécies de fauna local, inserindo os rios urbanos na paisagem.

- A requalificação urbana dos bairros de Campo Lindo, Dom Bosco e Jardim das Acácias, os quais se localizam mais próximo da área de mineração de areia, melhorando a qualidade de vida da população e valorizando o espaço público através de melhorias urbanas. Essa medida é importante para dar sentido ao planejamento do uso do solo proposto, pois não adianta propor a construção de um parque ambiental para recreação ao lado de bairros sem um mínimo de infraestrutura urbana necessária para garantir a manutenção das funções do próprio parque no longo prazo.

Pode ainda ser possível utilizar o Valão do China como mais uma opção de afluência às lagoas, caso haja necessidade de maior aporte de vazões para as funções previstas de abastecimento das lagoas. O Valão do China, porém, atualmente, é apenas uma vala onde corre o esgoto sanitário *in natura* dos bairros mencionados acima, adjacentes a área de estudo. Esse valão não foi considerado como opção de afluência neste estudo e as intervenções urbanas seriam aqui um pré-requisito fundamental para se poder considerar a contribuição deste valão.

Ressalta-se também, através dessas propostas de intervenções urbanas, a aplicação do conceito de segurança hídrica de uma forma mais integral conforme definido pela ANA (2015a), relacionando múltiplos componentes e seus riscos, focando tanto nas pessoas, como na economia e no meio ambiente.

6.2 BALANÇO HÍDRICO

Para avaliar quantitativamente a proposta de uma reserva hídrica para as indústrias do baixo Guandu, foi desenvolvido um modelo de balanço hídrico mensal utilizando o software Excel, assumindo que as lagoas são um reservatório com entrada e saída de água superficial, apenas, conforme detalhado no item 4 (Metodologia).

O volume armazenado no reservatório é calculado em função do nível d'água ao início e ao final do período, utilizando-se a curva cota-volume, que é obtida através do modelo de batimetria proposto para o lago. Nesse trabalho, conforme mencionado anteriormente, foram criados 4 cenários de volume, considerando as profundidades de 2m, 5m, 10m e 20m, em uma forma prismática, com a área de reservatório proposta.

O objetivo principal do balanço hídrico é verificar por quanto tempo o reservatório formado pelas lagoas consegue atender as demandas industriais, portanto, avaliando-se o quanto ele demoraria para esvaziar e, logo em seguida, para encher novamente, em diversos tipos de cenários, conforme descritos no item 4.1.6.

6.2.1 SÉRIE DE VAZÕES SINTÉTICAS

Utilizando o SMAP, foram geradas as séries de vazões da bacia do rio Campinho. Os resultados da função objetivo nas etapas de calibração e validação encontram-se na Tabela 18. Percebe-se que o resultado na calibração foi um pouco melhor do que o resultado da validação. Ambos, porém, encontram-se na faixa de resultados aceitáveis, segundo critério de Nash e Sutcliffe. Além disso, a Tabela 19 mostra a comparação entre a média e o desvio padrão da série de vazões observadas e calculadas tanto para a calibração como para validação. O Erro relativo Associado a vazão média nas duas etapas encontra-se abaixo de 10%, o que sugere que estes valores estão próximos. Já o desvio-padrão da série calculada reduziu em relação à série observada e mais ainda na validação do que na calibração, mostrando menor variabilidade na série calculada do que naquela realmente observada .

Tabela 18: Comparação dos parâmetro da função objetivo

	CALIBRAÇÃO	VALIDAÇÃO
Coeficiente de Eficiência	0.7	0.5
Coeficiente de Erro Relativo	0.7	0.6
Coeficiente de Eficiência SMAP	1.4	1.2

Tabela 19: Comparação dos resultados do SMAP (vazão calculada) com a vazão observada nas etapas de calibração e validação.

CALIBRAÇÃO (1972-1975)

	Vazão calculada (m³/s)	Vazão obs. (m³/s)	Erro relativo (%)
Desvio Padrão	0,40	0,47	-14%
Média	0,81	0,79	+2%
VALIDAÇÃO (1975-1978)			
	Vazão calculada (m³/s)	Vazão obs (m³/s)	Erro relativo (%)
Desvio Padrão	0,37	0,58	-36%
Média	0,88	0,81	+8%

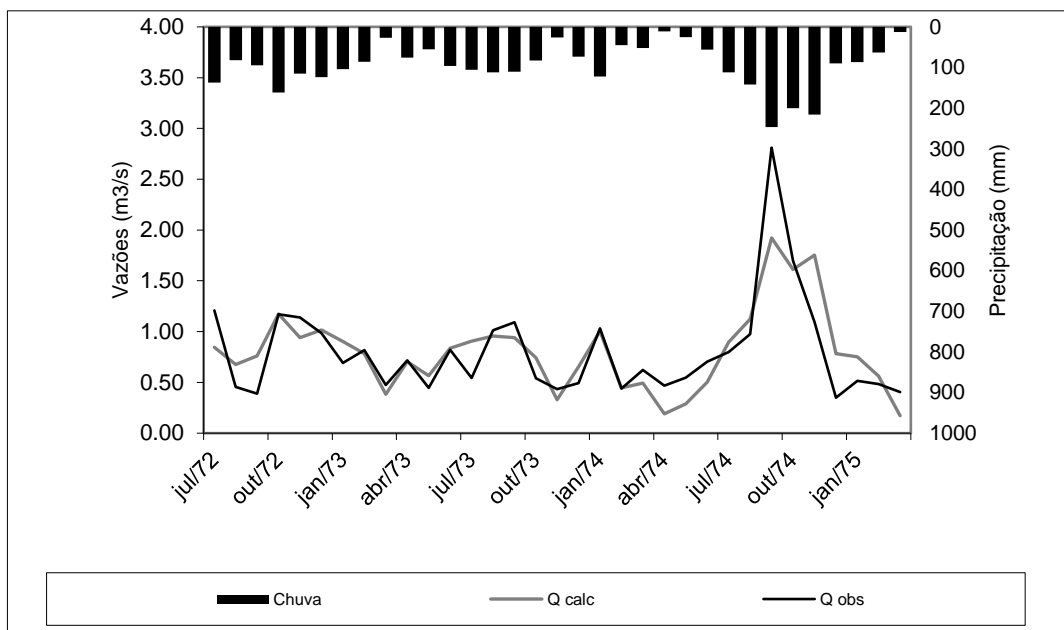
Os resultados da calibração dos parâmetros estão na Tabela 20, junto com os valores recomendados por Lopes (1999). Observa-se que todos os parâmetros se encontram dentro dos valores recomendados, com exceção da constante de recessão (Kkt). Isso mostra que a vazão de base da bacia do rio Campinho demora mais para diminuir em relação às bacias do estudo de Lopes (1999).

Tabela 20: Resultado da calibração dos parâmetros do modelo SMAP e os valores recomendados por Lopes (1999).

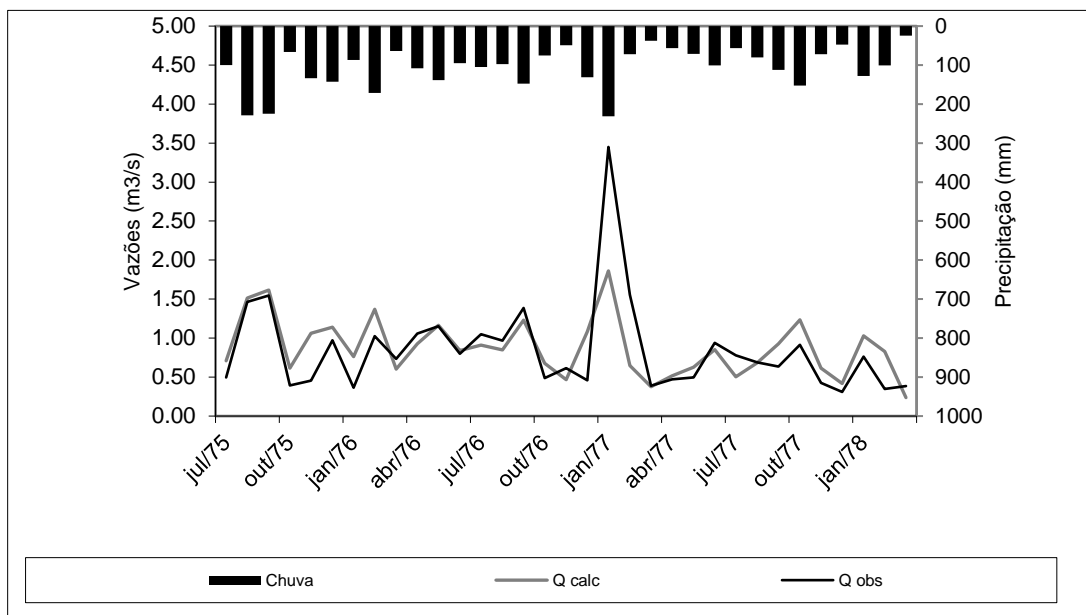
PARÂMETRO	RESULTADO CALIBRAÇÃO – BACIA RIO CAMPINHO (33km²)	VALORES RECOMENDADOS COM BASE EM ESTUDOS COM BACIAS ACIMA DE 90km² (LOPES, 1999)
Str (mm)	3000	400-5000
Pes	0,32	0,1-10
Crec	70	0-70
Kkt (meses)	15	1-6
Tuin	1	-
Ebin	0,3	-

Os gráficos de calibração e validação são mostrados na Figura 48, onde a vazão calculada é comparada com a vazão observada. Observa-se que tanto na calibração quanto na validação a vazão calculada acompanha as variações da vazão observada, porém, alguns picos não foram bem representados. A preferência de ajuste deste estudo foi para representar de forma mais acurada o período de estiagem, que representa a situação crítica para o balanço hídrico nas lagoas, onde as vazões entrando na lagoa serão menores. Nesta

faixa do hidrograma obtido, esta calibração foi considerada aceitável, pois está representando bem as vazões mais baixas.



(a) Calibração



(b) Validação

Figura 48: Hidrograma de comparação do resultado da calibração (a) e validação (b) do modelo chuva-vazão SMAP.

Após a simulação hidrológica no modelo SMAP, foi gerada uma série sintética de vazões para a bacia do rio Campinho, com os dados de precipitação da Estação Ecológica Agrícola, em Seropédica, mais próxima às cavas de mineração, para o período de 2008 a 2018.

Esses dados foram regionalizados em função da relação entre as áreas da bacia do Campinho (33km²) e da bacia do rio Valão dos Bois (70km²) até a entrada nas lagoas e do rio Piloto (33km²), com as respectivas relações entre áreas de 2,12 e 1.

As Figuras 49 e 50 mostram a série de vazões sintéticas geradas para cada uma dessas bacias citadas acima, sendo utilizadas como vazões afluentes às lagoas no balanço hídrico.

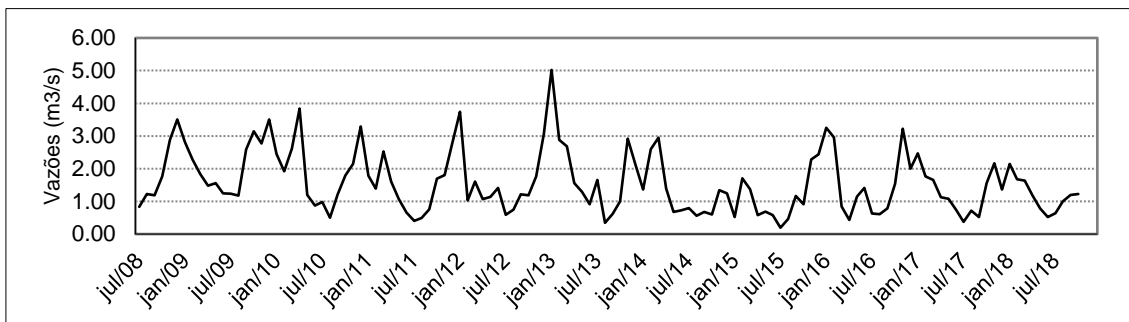


Figura 49: Hidrograma de vazões sintéticas do rio Valão dos Bois.

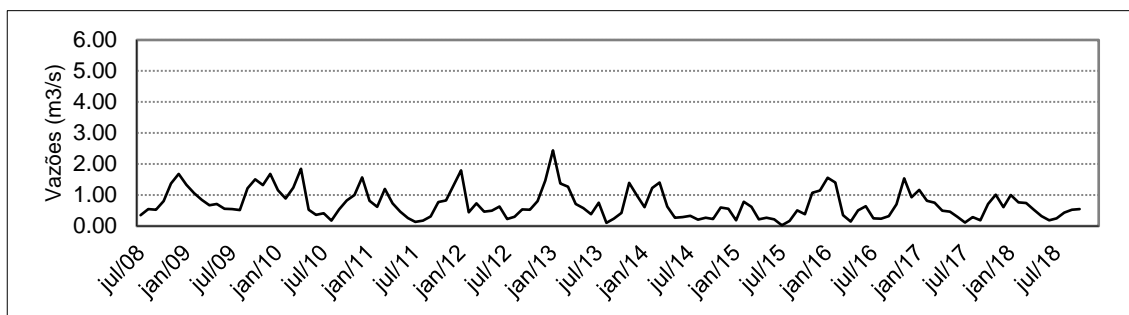


Figura 50: Hidrograma de vazões sintéticas do rio Piloto.

7 RESULTADOS DO BALANÇO HÍDRICO

7.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO NATURAL DAS LAGOAS

Primeiramente, utilizando todo o período de dados e não levando em consideração a utilização das indústrias, foi simulada a vazão vertida durante esse período. Essas condições mostram como funcionaria as lagoas em condições naturais, sem nenhum uso, analisando as duas alternativas de afluência. Os resultados estão na Tabela 21. Observa-se que as lagoas poderiam contribuir para jusante com uma média de $1,45\text{m}^3/\text{s}$, no caso de somente o Valão dos Bois afluir ao reservatório, ou $2,17\text{m}^3/\text{s}$ no caso de se utilizar o Valão dos Bois junto com o rio Piloto. As vazões máximas vertidas durante esse período foram de $6,7\text{m}^3/\text{s}$ e $9,10\text{m}^3/\text{s}$ utilizando somente o Valão dos Bois ou os dois rios em conjunto, respectivamente.

Tabela 21: Vazão vertida das lagoas em condições naturais, sem nenhum uso.

	Porcentagem Vazão Vertida	Vazão média vertida (m^3/s)	Vazão máxima vertida (m^3/s)
Valão dos Bois	84.13%	1.45	6.66
Valão dos Bois + Rio Piloto	92.06%	2.17	9.10

7.2 ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DAS LAGOAS COMO SUPRIMENTO INDUSTRIAL

No caso de utilização dessas lagoas para suprimento industrial, foi possível realizar diferentes simulações de balanço hídrico mensal no reservatório, avaliando-se, para os cenários estabelecidos, o número de meses que levaria para que as lagoas esviassem, quando utilizadas pelas indústrias. Ou seja, nestas simulações, determina-se o tempo possível de operação das indústrias, que poderia ser coberto por essa reserva de água no sistema das cavas, conforme hipóteses de captação estabelecidas.

Primeiramente, em relação à análise sob o critério 1, de seca moderada, a Tabela 22 mostra os resultados do tempo de utilização das lagoas obtidos para todos os cenários analisados e as Figuras 51 e 52 mostram o nível do reservatório ao longo da simulação para os cenários de uso intensivo e econômico pelas indústrias, respectivamente. Para complementar, a Figura 53 mostra a Curva de profundidade média das lagoas x meses de abastecimento industrial desses mesmos cenários.

Ao analisar os resultados do tempo de abastecimento industrial, percebe-se que todos os cenários com profundidade de 5m (C.3, C.4, C.11, C.12), 10m (C.5, C.6, C.13, C.14) e

20m (C.7, C.8, C.15, C.16) atendem ao critério 1, sendo este a utilização das lagoas durante no mínimo 6 meses durante uma seca moderada. E somente o cenário C.10 com profundidade de 2m também atende a esse critério, chegando a 13 meses de uso.

Em relação aos cenários com profundidade de 5m, o tempo de abastecimento industrial variou de 6 meses (C.3) até 29 meses (C.12). Já utilizando 10m de profundidade o uso pelas indústrias variou entre 13 meses (C.5) a 64 meses (C.14). Por último, ao utilizar a profundidade de 20m, o uso das lagoas pelas indústrias variou entre 26 meses (C.7) a mais de 68 meses (C.16).

Ao analisar somente os cenários de uso intensivo pelas indústrias (Figura 52), percebe-se que a utilização de dois afluentes (Valão dos Bois + rio Piloto) em vez de somente o rio Valão dos Bois, afetou muito pouco os resultados, pois em ambos os gráficos e para todas as profundidades os resultados não chegam a 4 meses de diferença.

Já ao analisar os cenários de uso econômico pelas indústrias (Figura 53), existe um ganho significativo de meses de abastecimento ao utilizar o Valão dos Bois em conjunto com o rio Piloto. No caso dos cenários do critério 1, analisados durante uma seca moderada, esse ganho é de 8 meses (na profundidade média de 2m), 12 meses (na profundidade média de 5m) e 27 meses a mais (na profundidade média de 10m). Com a profundidade de 20m não foi possível calcular esse ganho, pois na simulação utilizando o Valão dos Bois + Rio Piloto o reservatório não chegou a secar até o final do período simulado; porém, observa-se uma diferença de quase metade do reservatório entre um cenário e outro ao final da simulação.

Tabela 22: Tempo, em meses, para utilização das lagoas, com a captação das indústrias para o período de seca moderada

C.	RIO AFLUENTE	PROF. LAGOAS	VAZÃO INDUSTRIAL	TEMPO DE UTILIZAÇÃO DAS LAGOAS (MESES)
1	Valão dos Bois	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	3
2			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	5
3		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	6
4			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	17
5		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	13
6			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	37
7		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	26
8			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	~68
9	Valão dos Bois + rio Piloto	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	3
10			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	13
11		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	7
12			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	29
13		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	15
14			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	64
15		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	30
16			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	>68

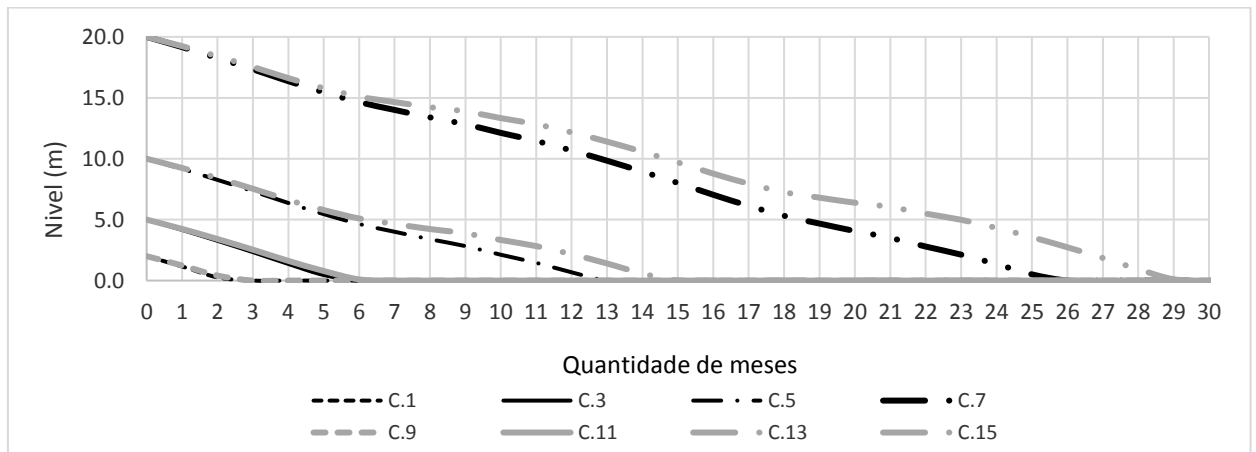


Figura 51: Variação do nível de água das lagoas nas simulações do primeiro critério (seca moderada) dos cenários de uso intensivo das indústrias

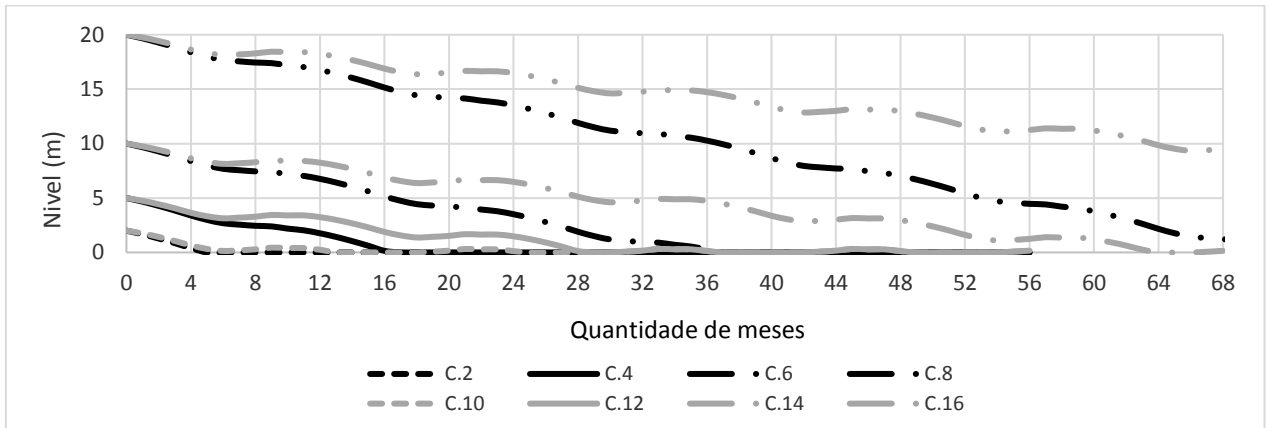


Figura 52: Variação do nível de água das lagoas nas simulações do primeiro critério (seca moderada) dos cenários de uso econômico das indústrias.

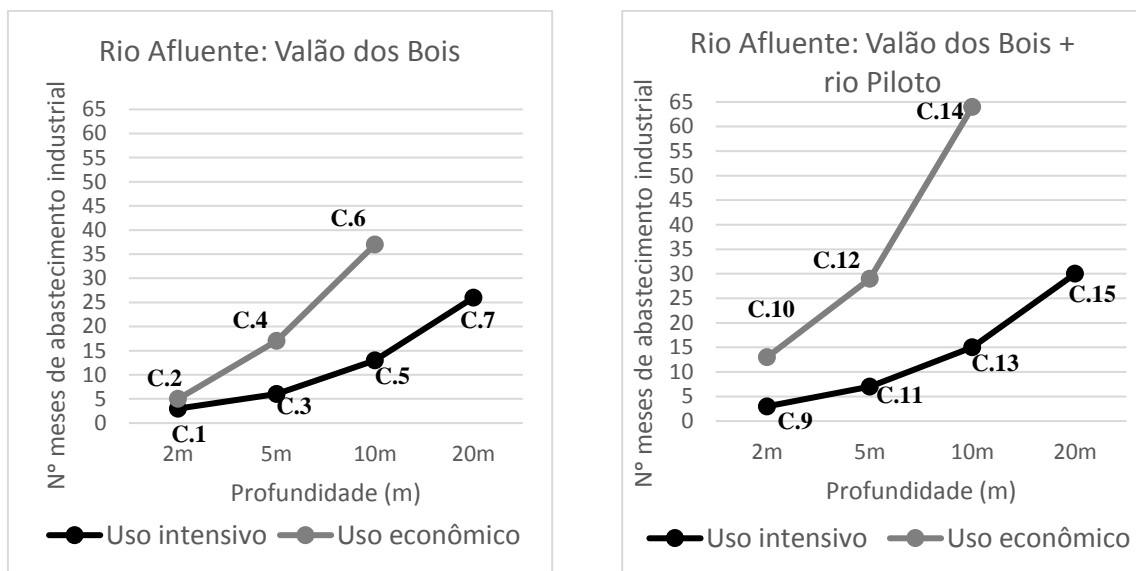


Figura 53: Curvas de profundidade média x Meses de abastecimento industrial para os cenários do período de seca Moderada. Cada resultado é identificado pelo seu cenário.

Passando para as análises segundo o critério 2, na seca crítica de 2014-2015, a Tabela 23 mostra os resultados do tempo de utilização das lagoas, obtido para todos os cenários de diferentes profundidades analisados sob esse critério e as Figuras 54 e 55 mostram o nível do reservatório ao longo da simulação para os cenários de uso intensivo e econômico pelas indústrias, respectivamente. Para complementar, a Figura 56 mostra a Curva de profundidade média das lagoas x meses de abastecimento industrial desses mesmos cenários.

O critério 2 analisa, portanto, o caso de uma seca severa, focando na crise hídrica de 2014-2015, quando, sem chuvas expressivas no verão, teria sido necessário o uso contínuo do reservatório, durante, pelo menos, 20 meses seguidos. Para esse critério, todos os

cenários com 20m de profundidade passaram, tanto com o uso intensivo das indústrias (C.7, C.15), com uma média de 25 meses de uso, quanto com um uso moderado pelas indústrias (C.15 e C.16), com uma média de mais de 56 meses de uso. Em relação às outras profundidades, somente o cenário de profundidade de 10m e uso econômico por parte das indústrias conseguiria passar pela crise, tanto utilizando somente o Valão dos Bois, cenário C.6 (28 meses de abastecimento) quanto utilizando o Valão dos Bois + rio Piloto, cenário C.14 (41 meses de abastecimento).

Assim como no caso da análise do critério 1 (de seca moderada), os resultados do critério 2 para os cenários de uso intensivo pelas indústrias (Figura 54) ficaram muito parecidos quando se considerou utilizar somente o Valão dos Bois como afluente ou utilizando o Valão dos Bois + rio Piloto, com uma diferença de, no máximo, 3 meses a mais de abastecimento, conforme observação dos resultados. Nos cenários de uso econômico pelas indústrias (Figura 55), essa diferença entre os cenários utilizando Valão dos Bois ou Valão dos Bois + rio Piloto chega até 13 meses, para uma profundidade de 10m, por exemplo, fazendo uma diferença importante em uma situação de seca prolongada.

Tabela 23: Tempo, em meses, para utilização das lagoas, com a captação das indústrias para o período da seca de 2014-2015

C.	RIO AFLUENTE	PROF. LAGOAS	VAZÃO INDUSTRIAL	TEMPO DE UTILIZAÇÃO DAS LAGOAS (MESES)
1	Valão dos Bois	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	3
2			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	5
3		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	6
4			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	13
5		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	11
6			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	28
7		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	24
8			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	>56
9	Valão dos Bois + rio Piloto	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	3
10			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	6
11		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	6
12			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	15
13		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	12
14			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	41
15		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	27
16			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	>56

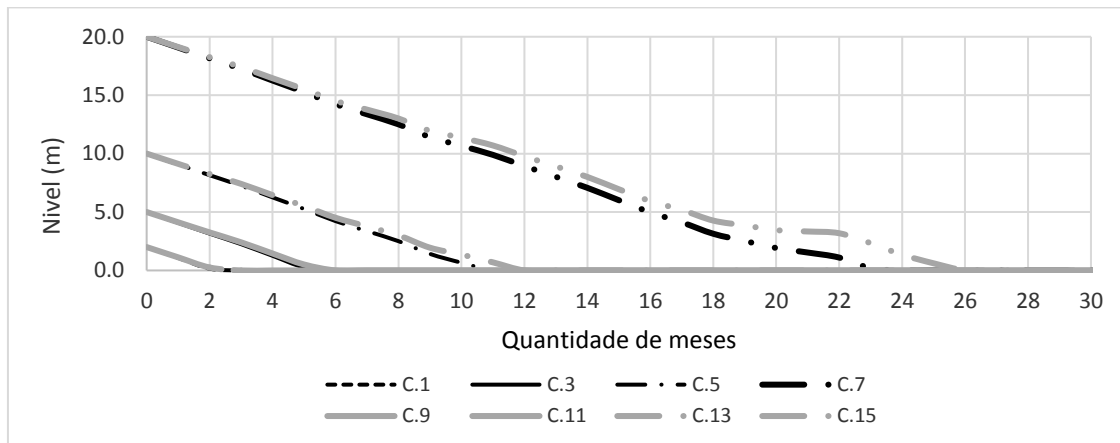


Figura 54: Variação do nível de água das lagoas nas simulações do segundo critério (seca 2014-2015) dos cenários de uso intensivo das indústrias.

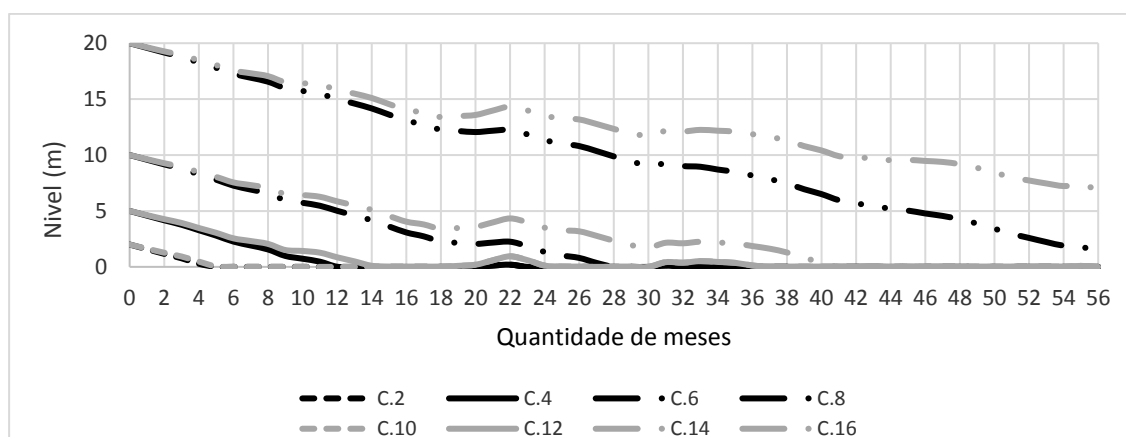


Figura 55: Variação do nível de água das lagoas nas simulações do segundo critério (seca 2014-2015) dos cenários de uso econômico das indústrias.

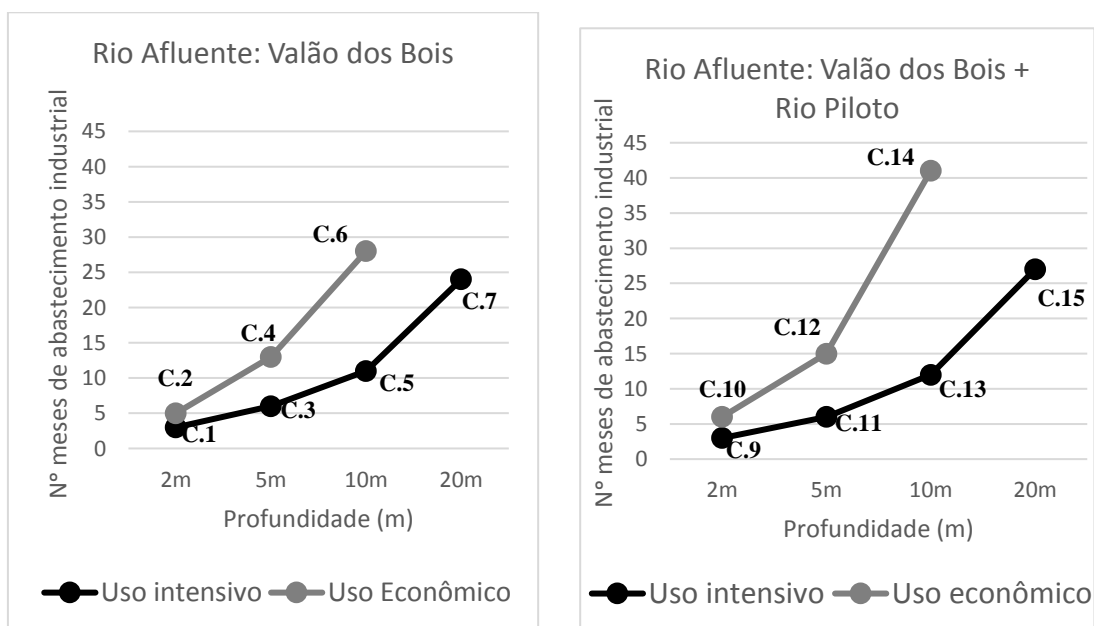


Figura 56: Curvas de profundidade média x Meses de abastecimento industrial para os cenários do período da Seca de 2014-2015. Cada resultado é identificado pelo seu cenário.

Sendo assim, a tabela 5 mostra os resultados dos critérios atendidos para cada cenário simulado. Para a próxima análise, avaliando o tempo de enchimento das lagoas, só serão considerados os cenários que atenderam aos critérios 1 e 2, sendo estes os cenários C.6, C.7, C. 8, C. 14, C.15 e C.16.

Tabela 24: Critérios 1 e 2 atendidos por cada cenário

C.	RIO AFLUENTE	PROF. LAGOAS	VAZÃO INDUSTRIAL	CRITÉRIOS ATENDIDOS
1	Valão dos Bois	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	-
2			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	-
3		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1
4			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1
5		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1
6			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1, 2
7		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1, 2
8			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1, 2
9	Valão dos Bois + rio Piloto	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	-
10			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1
11		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1
12			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1
13		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1
14			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1, 2
15		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1, 2
16			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1, 2

Após selecionar os cenários que atenderam aos critérios 1 e 2, foi feita uma análise do tempo de enchimento das lagoas representativo do tempo de recuperação de sua capacidade operacional, utilizando os critérios 3 e 4. Em ambos os critérios foi interrompido o uso pelas indústrias em determinado tempo e verificado o tempo necessário para encher as lagoas utilizando somente as vazões dos rios afluentes junto com os fenômenos de precipitação e evapotranspiração.

No caso do critério 3, considerando uma seca moderada, após seis meses de uso das lagoas pelas indústrias, as lagoas começam a encher e tem até 6 meses para poder voltar ao seu nível original, dando tempo para as lagoas se recuperarem até o próximo período de seca. Já o critério 4 considera a seca de 2014-2015, e após 20 meses de uso das lagoas, o abastecimento industrial para e começa seu enchimento. Nesse caso, o tempo máximo

considerado para as lagoas se recuperarem seria de 18 meses, pois o tempo de utilização foi mais de três vezes maior e, após uma seca prolongada, está sendo considerado, por hipótese, um verão normal (úmido), que garantiria mais tempo para a recuperação até a próxima possível demanda de seca.

A Tabela 25 apresenta os resultados de tempo, em meses, para o enchimento total das lagoas, tanto para o Critério 3 (Seca moderada) quanto para o Critério 4 (Seca 2014-2015). Além disso, as Figuras 57 e 58 mostram os gráficos da variação do nível de água utilizando os critérios 3 e 4, respectivamente.

Avaliando os cenários sob o critério 3 (seca moderada), observa-se que somente os cenários C.14 e C.16 conseguem a recuperação desejada em 6 meses, conseguindo estar novamente cheio antes do próximo período de seca. Esses cenários baixaram 2m de nível durante esses 6 meses de uso. Já os outros cenários desceram em torno de 2m (C.6 e C.8) e 5m (C.7 e C.15), demorando para encher 8 meses (C.6 e C.8), 14 meses (C. 15) e 22 meses (C.7).

Ao avaliar os cenários utilizando o critério 4 (seca 2014-2015), percebe-se que ao chegar em 20 meses de uso, os cenários nos quais as indústrias utilizam intensivamente a águas das lagoas baixaram em torno de 13 metros (C.7 e C. 15) e os cenários nos quais existe um uso econômico por parte das indústrias baixaram em torno de 7 metros (C. 6, C. 8, C. 14, C. 16). Os únicos cenários que conseguiram recuperar totalmente o nível durante o período da simulação foram os cenários C. 14 e C. 16 em 17 meses, atendendo ao critério.

Tabela 25: Tempo, em meses, para enchimento das lagoas, utilizando o critério 3 (seca moderada) e o critério 4 (seca 2014-2015)

C.	RIO AFLUENTE	PROF. LAGOAS	VAZÃO INDUSTRIAL	ENCHIMENTO DAS LAGOAS (MESES) CRITÉRIO 3	ENCHIMENTO DAS LAGOAS (MESES) CRITÉRIO 4
1	Valão dos Bois	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	-	-
2			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	-	-
3		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	-	-
4			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	-	-
5		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	-	-
6			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	8	>36
7		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	22	>36
8			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	8	>36
9	Valão dos Bois + rio Piloto	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	-	-
10			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	-	-
11		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	-	-
12			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	-	-
13		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	-	-
14			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	4	17
15		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	14	>36
16			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	4	17

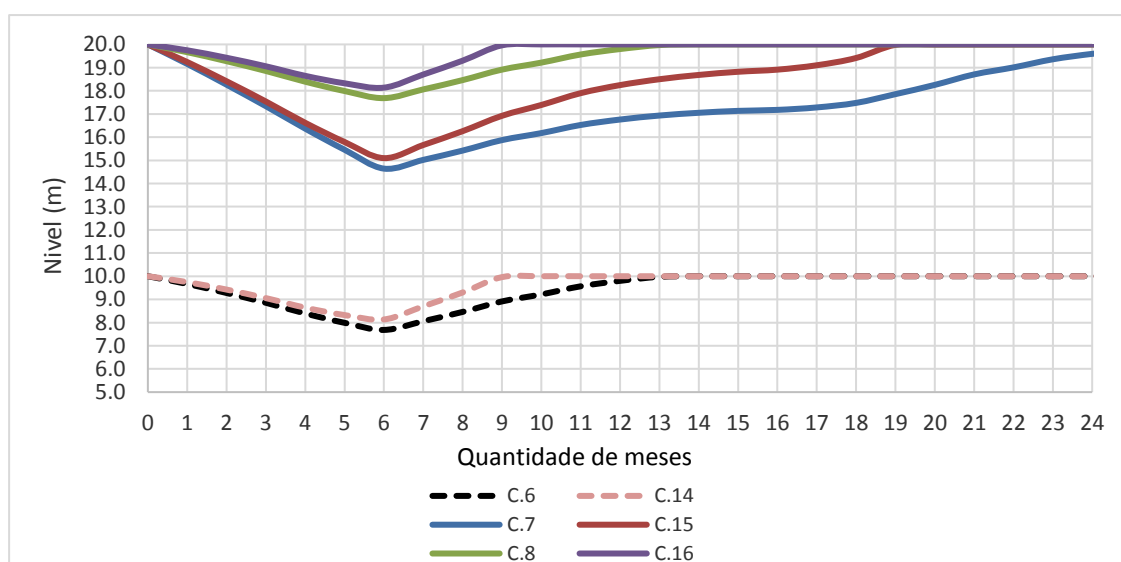


Figura 57: Variação do nível de água dos cenários selecionados utilizando o critério 3 (seca moderada). A partir de 6 meses de utilização pelas indústrias começa a encher.

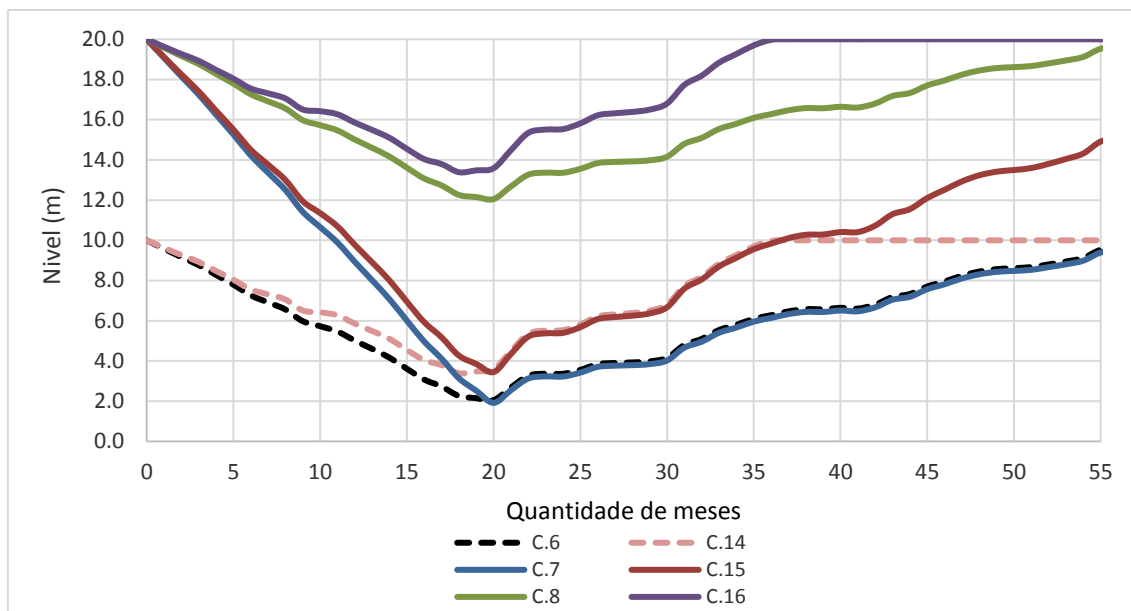


Figura 58: Variação do nível de água dos cenários selecionados utilizando o critério 4 (seca 2014-2015). A partir de 20 meses de utilização pelas indústrias começa a encher.

Por fim, a Tabela 26 mostra o resultado de todos os critérios atendidos por cada cenário. Conclui-se que os cenários que atendem aos quatro critérios são os C.14 e C.16, com as profundidades de 10m e 20m, respectivamente, nos quais se utiliza dois afluentes, Valão dos Bois + rio Piloto, para um enchimento mais rápido da reserva hídrica e uma utilização econômica por parte das indústrias durante o período de crise-hídrica, podendo passar até pelas seca mais severa do histórico de dados.

Porém, existem outras alternativas que atendem parcialmente os critérios como:

- Utilizar somente o Valão dos Bois ainda com a profundidade de 10m ou 20m e uso econômico por parte das indústrias, cenário C.6 e C.8, respectivamente, demorando praticamente o dobro do tempo para o enchimento das lagoas, porém passando pela crise severa;
- Utilizar as lagoas com profundidade de 20m, tanto utilizando somente o Valão dos Bois (C.7) quanto utilizando o Valão dos Bois + rio Piloto como afluente (C. 15), porém com uma utilização intensiva por parte das indústrias durante o período de seca. Ambos os cenários irão demorar mais de 1 ano para se recuperar durante uma seca moderada e mais de 3 anos para se recuperar durante uma seca severa, como foi o caso da seca de 2014-2015.

Tabela 26: Resumo de todos os critérios atendidos por cada cenário

C.	RIO AFLUENTE	PROF. LAGOAS	VAZÃO INDUSTRIAL	CRITÉRIOS ATENDIDOS
1	Valão dos Bois	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	-
2			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	-
3		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1
4			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1
5		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1
6			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1, 2
7		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1, 2
8			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1, 2
9	Valão dos Bois + rio Piloto	2m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	-
10			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1
11		5m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1
12			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1
13		10m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1
14			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1, 2, 3, 4
15		20m	Utilização intensiva (5,8m ³ /s)	1, 2
16			Utilização Econômica(2,9m ³ /s)	1, 2, 3, 4

É importante ressaltar algumas incertezas associadas ao balanço hídrico, sendo estas:

- A evaporação das lagoas foi estimada através de variáveis meteorológicas medidas longe da superfície de água.
- O próprio método para estimativa da evaporação depende de algumas variáveis difíceis de serem medidas, como a radiação e insolação, sendo aqui utilizados valores padrões da literatura.
- A série sintética de vazões afluentes foi criada a partir de um modelo de chuva-vazão, SMAP mensal, utilizando dados de vazão de uma estação (Av. Brasil) localizada em outra bacia (bacia do rio Campinho) e dados de precipitação de outra estação (Campo Grande) bem próxima, porém, não na mesma bacia dos dados de vazão.
- Para gerar a série sintética de vazões foi necessário utilizar uma curva-chave para se obter dados de vazão mensal. Essa curva-chave é uma equação matemática determinada empiricamente, que já apresenta incertezas associadas.
- O próprio modelo SMAP mensal, assim como o balanço hídrico de reservatório através da equação da continuidade, apresentam problemas de

representação intrínsecos, assim como todos os modelos que tentam representar matematicamente a natureza, como o uso de aproximações na representação de processos físicos, a substituição de propriedades variáveis espacialmente na bacia por valores concentrados, omissão de alguns processos que ocorrem e a utilização de algumas variáveis constantes ao longo do tempo.

- A série sintética encontrada para a bacia do rio Campinho foi regionalizada através da proporcionalidade entre áreas com as bacias do rio Piloto e Valão dos Bois, assumindo que elas possuem um mesmo comportamento hidrológico.

8 CONCLUSÕES

Uma grande quantidade de estudos internacionais relacionados a lagos de mineração, discute possibilidades de uso futuro destes lagos, apresentando uma visão mais empreendedora em relação à recuperação de áreas mineradas, mostrando possibilidades de benefícios para a economia, saúde e bem-estar da população no entorno, com vários exemplos, principalmente nos Estados Unidos, Austrália e Alemanha. A base de todo esse processo é uma mudança de mentalidade, através da incorporação de uma visão de transformação dessas áreas degradadas em uma oportunidade de inovar, frente a uma paisagem profundamente alterada.

Estudos brasileiros, apesar de registrarem áreas de mineração reabilitadas, pouco se referem a cavas de mineração com águas formando lagos. A maior quantidade de lagos de mineração formados no Brasil é oriunda da extração de areia e não apresenta um plano elaborado de recuperação, mas sim iniciativas pós-mineração tomadas pelo estado ou prefeituras municipais, viabilizando projetos públicos, como o caso do Parque Ecológico Costa e Parque Iguazu, em Curitiba - PR; o lago de Águas Claras, em Nova Lima -MG; e a Raia Olímpica da Universidade de São Paulo, em São Paulo-SP.

No que concerne ao conceito de segurança hídrica, existe uma mudança de definição ao longo dos anos. Durante a década de 90, que marca o início da utilização mais frequente desse conceito, a definição de segurança hídrica estava relacionada com problemas específicos de segurança alimentar, humana, militar e mais raramente ambiental. Já a partir dos anos 2000, a definição passou a ser mais integrada, passando a ser um termo essencial ao desenvolvimento sustentável, juntando as pessoas, a sociedade e a natureza em sua definição e focando em sustentabilidade, redução de vulnerabilidade, risco (assumindo que os riscos relacionados a água vão sempre existir) e resiliência. A definição da ANA (2015a) de segurança hídrica foi escolhida como referência para o desenvolvimento deste trabalho, pois além de ser uma definição nacional, o risco está incluído nesta definição, focando tanto nas pessoas, como na economia e no meio ambiente.

A crise hídrica de 2014/2015 acentuou diversas inseguranças hídricas já existentes na bacia do rio Guandu e foi fator fundamental para motivação do desenvolvimento desta proposta. Sendo assim, nesse contexto mais integrado do termo “segurança hídrica”, a bacia do rio Guandu possui diversas vulnerabilidades que foram tratadas nesse trabalho como: a extração irregular de areia no “Polígono de Piracema”, localizado entre Seropédica e Itaguaí; a intrusão salina na foz do rio Guandu, gerando dificuldade a captação de água

pelas indústrias do complexo industrial de Itaguaí/Santa Cruz, principalmente em épocas de escassez, nas quais a vazão de transposição do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu pode diminuir drasticamente; a poluição de rios onde não há infraestrutura de saneamento, recebendo efluentes do esgoto doméstico sem tratamento; e a falta de infraestrutura de drenagem de águas pluviais em várias áreas urbanas.

Tendo essa problemática como pano de fundo, o estudo coloca um foco mais direto na questão do aumento da disponibilidade hídrica da região, em uma proposta integradora que, entretanto, não implementa todas as soluções em detalhes para toda bacia, mas sim foca principalmente no município de Seropédica, no qual está inserida a maior parte das lagoas de mineração propostas como reserva hídrica para as indústrias do Baixo-Guandu e é a região que interfere diretamente na qualidade das águas afluentes às lagoas.

Essa região poderá servir de exemplo para a implementação de soluções de segurança hídrica nas demais regiões da bacia hidrográfica do Guandu, ou ainda em outras bacias semelhantes, aumentando assim a segurança hídrica para o abastecimento de águas na RMRJ e cumprindo as diretrizes associadas a segurança hídrica, propostas no Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDUI).

Além disso, ressalta-se que esse trabalho desenvolve somente uma proposta de utilização das cavas de areia, sendo esta como reserva hídrica industrial. Porém, as lagoas de mineração de areia têm o potencial de serem utilizadas para outras demandas.

A proposta de utilização das lagoas como reserva hídrica para as indústrias localizadas no Baixo-Guandu, incluindo áreas residenciais e recreacionais, se alinha com o planejamento do uso do solo sugerido pelo PDUI e é uma solução para a recuperação da área degradada, abandonada e ilegal de mineração de areia existente, dando um uso final para as lagoas de mineração de areia. A proposta também se alinha com alguns dos princípios e diretrizes do Plano Diretor do Município de Seropédica, que cita a recuperação das lagoas dos areais, como futuras áreas de lazer e outras atividades econômicas, e a melhoria do sistema de esgotamento sanitário.

A solução das lagoas proposta mitiga os principais pontos fracos e ameaças descritos na matriz SWOT construída durante esta pesquisa, conforme a opinião de especialistas consultados, acabando com a ilegalidade e abandono de algumas cavas, e diminuindo a possibilidade de contaminação do aquífero através de medidas estruturais de saneamento, além de aumentar a segurança na região. Ela tenta conciliar também com os pontos fortes identificados, através da possibilidade de desenvolvimento do projeto em paralelo com a

exploração das cavas de areia legais existentes, pois todas as cavas têm um período máximo de utilização. Também valoriza as oportunidades mais votadas da matriz SWOT, sendo estas, a valorização da paisagem, a criação de áreas de lazer e a criação de uma reserva hídrica local.

A proposta também se alinha com o crescimento futuro desses municípios, dando maior segurança para a introdução de novos empreendimentos industriais na região (sujeito à reavaliação do projeto, em função das maiores captações esperadas), gerando novas áreas residenciais e requalificando áreas existentes, próximas às lagoas, podendo levar a região a se tornar um complexo turístico, futuramente.

Ressalta-se a importância de uma análise mais detalhada de qualidade de água das lagoas, pois esse estudo somente descreve o resultado de estudos anteriores, alguns realizados há mais de 10 anos. Os estudos mostram que há uma variação dos componentes das águas subterrâneas de acordo com a existência ou não da atividade de extração de areia, sendo este um fator de mudança na química da água, junto com o regime de chuvas da região. Além disso, as águas das cavas foram enquadradas na classe I do CONAMA 357/2005 e foram classificadas como sulfatadas-cloretadas-sódicas, sendo o alumínio o maior limitante tóxico para o desenvolvimento de um ecossistema natural nesses lagos.

Em relação ao balanço hídrico, um dos principais desafios foi gerar uma série de vazões sintéticas para os rios afluentes às lagoas, Valão dos Bois e rio Piloto, pois, até hoje, não existe estação fluviométrica na bacia do rio da Guarda. Ao pesquisar na base de dados do SIGA Guandu⁷, observam-se poucas estações fluviométricas na bacia do rio Guandu como um todo, apesar de esta ser a bacia que abastece quase toda a região Metropolitana do Rio de Janeiro

Para a análise do período de tempo necessário para secar e encher as lagoas (reservatório) no caso de sua utilização pelas indústrias, foram determinados 16 cenários, com a combinação de algumas variáveis, sendo estas: vazão captada pelas indústrias (uso intensivo ou uso econômico), quantidade de rios afluentes nas cavas (utilizando somente o rio Valão dos Bois ou utilizando o rio Valão dos Bois + rio Piloto) e profundidade média das lagoas variável (2m, 5m, 10m e 20m). Esses valores de profundidade foram adotados tendo em vista a falta de informações precisas, com o objetivo de construir uma curva *profundidade média x meses de abastecimento industrial*, servindo de referência para o

⁷ <http://54.94.199.16:8080/siga-guandu/saibaMais>

planejamento do aproveitamento das cavas, a partir da investigação futura sobre a real capacidade de armazenagem destas.

Já para facilitar a escolha dos melhores cenários, alguns critérios foram adotados, sendo estes: critério 1 (a utilização das lagoas pelas indústrias para uma seca moderada deverá alcançar no mínimo 6 meses de uso, garantindo assim que as indústrias cheguem ao período úmido); critério 2 (a utilização das lagoas pelas indústrias durante a seca de 2014-2015 - seca extrema - deverá alcançar no mínimo 20 meses de uso, garantindo assim o abastecimento das indústrias durante todo o período de seca; critério 3 (considerando uma seca moderada, e após seis meses de uso das lagoas pelas indústrias, as lagoas começam a encher e tem até 6 meses para poder voltar ao seu nível original, dando tempo para as lagoas se recuperarem até o próximo período de seca); critério 4 (considerando a seca de 2014-2015 – seca extrema - e após 20 meses de uso das lagoas pelas indústrias, as lagoas começam a encher e tem até 18 meses para se recuperarem).

Assim, os critérios 1 e 2 analisam o tempo de uso industrial das lagoas durante uma seca e os critérios 3 e 4 analisam o tempo para as lagoas se recuperarem após uma seca. Com esta lógica, somente os cenários que atenderam aos critérios 1 e 2, foram analisados pelos critérios 3 e 4. Ressalta-se que esses critérios adotados são bem conservadores e rigorosos, com o objetivo de analisar qual seria a maior reserva hídrica necessária para um período de escassez.

Atendendo ao objetivo geral deste trabalho, a proposta de uso das cavas de mineração de areia de Seropédica se mostrou viável quantitativamente como uma reserva hídrica para a região do Baixo Guandu.

A partir dos resultados obtidos na simulação do balanço hídrico e da utilização desses critérios de análise é possível concluir que:

- Os cenários com as profundidades de 10m (volume de 153hm³) e 20m (volume de 306hm³), usando dois rios afluentes, Valão dos Bois + rio Piloto, e uma utilização econômica por parte das indústrias, atenderam a todos os critérios.
- Os cenários com as profundidades de 10m e 20m, com o uso do valão dos Bois e utilização econômica por parte das indústrias, passam pela seca mais severa. A recuperação seria o dobro do tempo de enchimento, comparado com a solução de dois afluentes.

- Com a utilização intensiva das lagoas, o maior volume suportaria a seca mais severa, independente do uso do rio Piloto. A recuperação seria o triplo do tempo de enchimento, comparado com o uso econômico.

Existe mais uma possibilidade de rio afluente para as lagoas, que não foi considerada nesse estudo, que seria o Valão do China, que, atualmente, recebe e conduz esgoto sanitário in natura dos bairros adjacentes às lagoas. Porém, com as medidas estruturais de saneamento esse rio poderia aumentar a contribuição de água para as lagoas em conjunto com os demais.

Por último, é importante reiterar que essa proposta somente é validada junto com uma intervenção integrada na região da bacia de drenagem das cavas de mineração, focada no esgotamento sanitário, drenagem, limpeza urbana, habitação e ordenação do uso do solo, através de uma revitalização urbana integrada à solução ambiental, de forma que a segurança hídrica, a requalificação ambiental e a revitalização urbana formem um conjunto de três pilares de sustentação da solução.

8.1 RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

- Implantação de estação fluviométrica e realização de medições de vazão nos rios Valão dos Bois e rio Piloto, a montante da entrada das lagoas, para a obtenção de dados básicos e uma curva-chave para esses rios.
- Levantamento da batimetria das lagoas, a fim de se obter uma curva cota-volume do reservatório.
- Implantação de estação meteorológica mais próxima as lagoas, aumentando a fidedignidade dos dados de chuva e dos dados atmosféricos utilizados para o cálculo da evaporação dos lagos, pois as variáveis climatológicas sobre a superfície terrestre são diferentes das variáveis sobre as lagoas.
- Instalação de tanques classe A próximos as lagoas para medição direta da evaporação.
- Instalação de poços de monitoramento do nível da água próximos as lagoas, para se avaliar melhor a interferência da evaporação das águas subterrâneas.

8.2 FUTUROS TRABALHOS

- Melhorar o balanço hídrico para a obtenção de resultados mais precisos, através da:

- Obtenção de uma série de vazões para o rio Valão dos Bois a montante do reservatório, utilizando um modelo de transformação chuva-vazão local;
 - Obtenção de uma curva cota-volume utilizando dados de batimetria das lagoas;
 - Inclusão do fluxo de águas subterrânea nessas lagoas.
 - Avaliar outros métodos para a estimativa da evaporação no lago e realizar comparações com dados reais obtidos através de tanques Classe A.
 - Adotar outros critérios de escolha, menos rigorosos e que atendam também outros possíveis usos das águas das cavas, como o caso da recreação, evitando o esvaziamento da lagoa.
- Analisar um estudo mais detalhado sobre a interferência do fluxo de água subterrâneo nas lagoas, avaliando as consequências para o Aquífero Piranema, o qual se localiza nessa região e é uma importante fonte de água para população no entorno.
 - Realizar novos estudos de qualidade de água em diversas lagoas em diferentes fases de uso, tanto sendo exploradas quanto já desativadas, comparando as diferenças de resultados entre elas, para uma avaliação mais completa e atual da potencialidade de uso dessas lagoas como reserva hídrica de abastecimento industrial. É de suma importância o estudo e o entendimento dos processos hidrogeológicos, geoquímicos e limnológicos que influenciam a qualidade da água desses lagos.
 - Utilizar um modelo para análise de qualidade de águas desses lagos.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 10703: Degradação do Solo**. 1989.

ABNT. **NBR 13030: Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. 1999.

ACCIOLY, S. M. de L. **Uso Futuro de Áreas Mineradas e o Meio Urbano : O Caso de Águas Claras**. 173 p. - Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG., 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Dispõe sobre as regras a serem adotadas para a operação do sistema hidráulico do Rio Paraíba do Sul, que compreende, além dos reservatórios localizados na bacia, também as estruturas de transposição das águas do Rio Paraíba do Sul para o sistema Guandu**. Resolução nº 211, de 26 de maio de 2003.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informes 2009 a 2018**. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>

_____. **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de agua. PANORAMA NACIONAL Volume 1**. 2010. ISBN: CDU 644.6 (81)(084.4).

_____. **Encarte Especial sobre a Crise Hídrica**. In: *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Informe 2014*. Brasília, DF, 2014a. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2015/EncarteEspecialSobreCriseHidrica.pdf>>. ISBN: 9788587685360, ISSN: 00802107, DOI: 10.5700/rausp1110.

_____. **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações**. Brasília, DF. 2014b

_____. **Dispõe sobre a redução temporária da vazão mínima afluyente à barragem de Santa Cecília, no rio Paraíba do Sul**. Resolução nº 700, de 27 de maio de 2014. 2014c

_____. **Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas**. Portaria nº 149, de 26 de março de 2015.

_____. **Plano de Ações Complementares para a Gestão da Crise Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Brasília, DF, 2015b.

_____. **Documento nº 00000.009582/2015-84**. Resolução nº 145, de 27 de fevereiro de 2015. 2015c

_____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2016**. Brasília, DF, 2016a. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. ISBN: 9788589629676.

_____. **Palestra Crise Hídrica Paraíba do Sul**. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 11 de novembro de 2016b.

_____. **Atlas esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília, DF. 2017

_____. **Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/paraiba-do-sul>>.

ANA/ DAEE/ IGAM/ INEA. **Dispõe sobre as condições de operação a serem observadas para o Sistema Hidráulico Paraíba do Sul, que compreende tanto os reservatórios localizados na bacia quanto as estruturas de transposição das águas do rio Paraíba do Sul para o Sistema Guandu**. Resolução nº 1382, de 07 de dezembro de 2015.

AGEVAP. **Relatório de Situação da Região Hidrográfica do Guandu**. Resende, RJ, 2015a. 78 p.

_____. **Relatório Final (Produto P6) - Sumário Executivo**. *Plano de Contingência para Abastecimento de Água (Guandu)*. Londrina, PR: DRZ - Geotecnologia e Consultoria S/S

Ltda, 2015b. p. 138.

_____. **Diagnóstico - TOMO I.** *Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, Guarda e Guandu Mirim (PERH Guandu)*. Rio de Janeiro, RJ: PROFILL, 2017a. p. 567.

_____. **Diagnóstico - TOMO II.** *Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, Guarda e Guandu Mirim (PERH Guandu)*. Rio de Janeiro, RJ: PROFILL, 2017b. p. 527.

_____. **Prognóstico.** *Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, Guarda e Guandu Mirim (PERH Guandu)*. Rio de Janeiro, RJ: PROFILL, 2017c. p. 345.

_____. **Relatório de Situação 2017 - Comitê Guandu.** Resende, RJ, 2017d. ISBN: 9789004310087, DOI: 10.15713/ins.mmj.3.

ALCANTARA, D. De. **Sobre as águas do Piranema: Potencialidades e Fragilidades na Ocupação de um Território em Transformação.** 1–19 p. - III Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo, Belém, Pará, Brasil, 2014.

ALCANTARA, D. De; SCHUELER, A. S. De. **Gestão das Águas e Sustentabilidade: Desafios Globais e Respostas Locais a partir do Caso de Seropédica, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.** *Cadernos MetrÓpole*, . 17, nº 33, p. 109–126, 2015. ISSN: 2236-9996, DOI: 10.1590/2236-9996.2015-3305.

ALOVISI JÚNIOR, V.; BEREZUK, A. G. **Análise Comparativa de Gestão de Recursos Hídricos em Portugal e no Brasil.** *Revista Recursos Hídricos*, v. 33, nº 1, p. 75–84, 2012. ISSN: 08701741, DOI: 10.5894/rh33n1-6.

ANDRADE, R. V. De. **Complexidade Dinâmica: Água, Expansão Urbana E Espaços Livres Públicos - O Processo de Construção da Paisagem do Parque Iguazu, Curitiba - PR.** 168 p. - Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo.

São Paulo, SP., 2009.

APAYDIN, A. **Dual Impact on the Groundwater Aquifer in the Kazan Plain (Ankara, Turkey): Sand-gravel Mining and Over-abstraction.** *Environmental Earth Sciences*, v. 65, n° 1, p. 241–255, 2012. ISSN: 18666280, DOI: 10.1007/s12665-011-1087-8.

BAKKER, K. **Water Security: Research Challenges and Opportunities.** *Science*, v. 337, n° 6097, p. 914–915, 2012. ISBN: 0036-8075, ISSN: 0036-8075, DOI: 10.1126/science.1226337.

BARBOSA, G. R.; MONSORES, A. L. M.; NUMMER, A. R.; MIRANDA, A. W. A.; CASTRO, D. R. Ma.; FILHO, D. T. **Aspectos Hidrodinâmicos dos Aquíferos Aluvionares a Oeste da Bacia do Rio Guandu, Município de Seropédica/Rio de Janeiro.** In: *XIII Congresso Brasileiros de Águas Subterrâneas*. 2004.

BAUER, A. M. **A Guide to Site Development and Rehabilitation of Pits and Quarries.** In: *Industrial Mineral Report 33*. Toronto, Ontario, 1970.

BEEK, E. Van; ARRIENS, W. L. **Water Security: Putting the Concept into Practice.** Estocolmo, Suécia: Global Water Partnership Technical Committee, 2014. ISBN: 9789187823077.

BERBERT, M. C. **A Mineração de Areia no Distrito de Itaguaí-Seropédica/RJ: Geologia dos Depósitos e Caracterização das Atividades de Lavra e dos Impactos Ambientais.** 186 p. - Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

BITAR, O. Y. **Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo.** 1–193 p. - Tese de Doutorado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 1997.

BLANCHETTE, M. L.; LUND, M. A. **Pit Lakes are a Global Legacy of Mining: an Integrated Approach to Achieving Sustainable Ecosystems and Value for Communities.** *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 23, p. 28–34, 2016.

ISSN: 18773435, DOI: 10.1016/j.cosust.2016.11.012.

BONZATO, B. de M.; FAVERO, J. M. Del; AROUCA, J. A. C.; CARBONARI, J. H. B. **Análise Ambiental de Unidades de Conservação Através dos Métodos SWOT e GUT: O Caso do Parque Estadual Restinga de Bertiooga.** *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 6, nº 1, p. 38–49, 2012.

BOWELL, R. J. **The Hydrogeochemical Dynamics of Mine Pit Lakes.** *Geological Society, London, Special Publications*, v. 198, nº 1, p. 159–185, 2002. ISBN: 03058719 (ISSN), ISSN: 0305-8719, DOI: 10.1144/GSL.SP.2002.198.01.11.

BRASIL. **Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.** Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989.

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos.** Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.** Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000.

BRASIL. **Estatuto da Cidade.** Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.

BRASIL. **Zoneamento Ecológico -Econômico do Brasil - ZEE.** Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002.

BRASIL. **Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico.** Lei nº 11.445, de 7 de janeiro de 2007.

BRASIL. **Código Florestal.** Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

BRASIL. **Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais.** 2013

BRAUN, R.; AMORIM, A. **Rapid “SWOT” Diagnosis Method for Conservation Areas.**

Scottish Geographical Journal, v. 131, n° 1, p. 17–35, 2015. ISSN: 1751665X, DOI: 10.1080/14702541.2014.937910.

BRITTO, A. L.; FORMIGA-JOHNSON, R. M.; ROBERTO, P.; CARNEIRO, F. **Abastecimento Público e Escassez Hidrossocial na MetrÓpole do Rio de Janeiro.** *Ambiente & Sociedade*, v. 19, n° 1, p. 183–206, 2016. DOI: 10.1590/1809-4422ASOC150159R1V1912016.

BUCHIANERI, V. C. **Geração da Série HistÓrica de Vazão por meio do Modelo Smap : SubsÍdio para o Plano de Manejo da Bacia do Rio Grande de Ubatuba .** 124 p. - Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2004.

CABREIRA, M. C. M. **Quantificação da Alteração no Balanço Hídrico devido a Cavas de Mineração utilizando lisímetros e Tanques de Evaporação.** 188 p. - Tese de Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2011.

CASTENDYK, D. N.; EARY, L. E.; BALISTRIERI, L. S. **Modeling and Management of Pit Lake Water Chemistry 1: Theory.** *Applied Geochemistry*, v. 57, p. 267–288, 2015. ISBN: 0883-2927, ISSN: 18729134, DOI: 10.1016/j.apgeochem.2014.09.004.

CASTRO, J. M.; MOORE, J. N. **Pit Lakes: their Characteristics and the Potential for their Remediation.** *Environmental Geology*, v. 39, n° 11, p. 1254–1260, 2000. ISBN: 0943-0105, ISSN: 09430105, DOI: 10.1007/s002549900100.

CAVALCANTI, R. N. **Mineração e Planejamento Ambiental. Estudo de caso: a Mineração de Areia no Município de Itaguaí-RJ.** 141 p. - Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas, SP, 1996.

CERHI/RJ. **Aprova nova definição das regiões hidrográficas do estado do rio de janeiro e revoga a resolução CERHI n° 18 de 08 de novembro de 2006.** Resolução n° 107, de 22 de maio de 2013.

CHAVES, A. P.; JOHNSON, B.; FERNANDES, F.; SIROTHEAU, G. J.; ROCHA LIMA, M. H.; BARRETO, M. L.; VILLAS BÔAS, R. C.; NAHASS, S. **Mineração e Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Brasil**. In: BARRETO, M. L. (Org.). Rio de Janeiro, RJ, 2001. 215 p. ISBN: 8572271600.

COPPE/UFRJ. **Ficha Resumo Individual de Ações dos Programas de Ações Prioritárias - PAPs - MS 13**. Rio de Janeiro, RJ, 2017.

CONAMA. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005.

CROSS, I. D. **The effects of Nutrients and Hydrology on Shallow Lake plankton at Attenborough Nature Reserve, Nottinghamshire**. 426 p. - Tese de Doutorado . Universidade de Nottingham, Inglaterra., 2009.

DIAMANTOPOULOU, P.; VOUDOURIS, K. **Optimization of Water Resources Management using SWOT Analysis: The Case of Zakynthos Island, Ionian Sea, Greece**. *Environmental Geology*, v. 54, n° 1, p. 197–211, 2008. ISSN: 09430105, DOI: 10.1007/s00254-007-0808-5.

DIAS, N. L. da C. **Estimativas Climatológicas de Evaporação em Lagos**. 194 p. - Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 1986.

DIAS, S.; PANAGOPOULOS, T.; LOURES, L. **Post-mining Landscape Reclamation : A Comparison between Portugal and Estonia**. *4th IASME/WSEAS International Conference on ENERGY, ENVIRONMENT, ECOSYSTEMS and SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, n° January, p. 440–445, 2008. ISBN: 9789606766718.

DOUPÉ, R. G.; LYMBERY, A. J. **Environmental risks associated with beneficial end uses of mine lakes in southwestern Australia**. *Mine Water and the Environment*, v. 24, n° 3, p. 134–138, 2005. ISBN: 1025-9112, ISSN: 10259112

DUNN, G.; COOK, C.; BAKKER, K.; ALLEN, D. **Defining and Assessing Water Security**. In: *Water Security Guidance Document*. Columbia Britânica, Canadá, 2011.

ELETROBOLT. **Estudos Hidrogeológicos dos Aquíferos Intergranulares a Oeste do Rio Guandu, Município de Seropédica/RJ**. Seropédica, Sociedade Fluminense de Energia Ltda., *Relatório de Consultoria Técnica*, 2003. 234 p.

FABBRO NETO, F. **Avaliação Ambiental Estratégica para Planos de Uso e Ocupação do Solo: um Estudo sobre o Plano Diretor Municipal**. 115 p. - Dissertação de Mestrado. Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2010.

FILHO, E. M.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. dos S.; SOARES, P. V. **O Uso Futuro das Áreas de Mineração de Areia no Sub-trecho compreendido entre Jacareí e Pindamonhangaba, SP e sua Inserção na Dinâmica Local e Regional**. In: *Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico*. Taubaté, Brasil, 2007.

GAGLIARDI, C. M. R. **Intervenções Urbanas e Dinâmica Local: o Processo de Requalificação do Centro Histórico de Gênova, Itália**. 233 p. - Doutorado em Ciências Sociais. PUC, São Paulo-SP, 2011.

GAMMONS, C. H.; HARRIS, L. N.; CASTRO, J. M.; COTT, P. a.; HANNA, B. W. **Creating Lakes from Open Pit Mines: Processes and Considerations, with Emphasis on Northern Environments**. In: *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2826*. 2009.

GONÇALVES, L. V. **Qualidade da Água em Lagos de Mineração - Estudos De Caso: Águas Claras e Riacho dos Machados**. 122 p. - Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2013.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Caderno Metropolitano - Modelar a Metrópole - Construindo um modelo para a metrópole**. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

_____. **Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado - Produto 11 - Relatório de Definição de Cenário (Parte 1)**. Rio, 2017a. 188 p.

_____. **Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado - Produto 14 - Relatório de Propostas Detalhadas**. Rio de Janeiro, 2017b. 109 p.

GREY, D.; SADOFF, C. W. **Sink or Swim? Water security for growth and development**. *Water Policy*, v. 9, n° 6, p. 545–571, 2007. ISBN: 13667017 (ISSN), ISSN: 13667017, DOI: 10.2166/wp.2007.021.

HALL, J. W.; BORGOMEIO, E. **Risk-based principles for defining and managing water security**. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, v. 371, n° 2002, p. 20120407, 2013. ISBN: 1364-503X, ISSN: 1364-503X, DOI: 10.1098/rsta.2012.0407.

HINWOOD, A.; TANNER, M. H.; PROF, A.; HEYWORTH, J. **Mine Voids Management Strategy (II): Review of Potential Health Risks Associated with Collie Pit Lakes**. Perth, Australia, 2010.

JAAKSON, R. **Recreation Design Alternatives for a Disturbed Urban Landform**. *Landscape Plann*, v. 8, p. 31–68, 1981.

JOHNSON, S. L.; WRIGHT, A. H. **Mine Void and Water Resource Issues in Western Australia (Report HG 9)**. Western Australia, 2003. ISBN: 1920687912.

JUNCOSA, R.; DELGADO, J.; PADILLA, F.; RDGZ-VELLANDO, P.; HERNÁNDEZ, H. **Improvements in Mero River Basin Water Supply Regulation Through Integration of a Mining Pit Lake as a Water Supply Source**. *Mine Water and the Environment*, v. 35, n° 3, p. 389–397, 2016. ISSN: 1025-9112, DOI: 10.1007/s10230-015-0378-9.

KOBIYAMA, M.; MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. **Áreas Degradadas e sua Recuperação**. In: *Informa Agropecuário v.22 n. 210*. Belo Horizonte, MG, 2001.

KUTER, N. **Reclamation of Degraded Landscapes due to Opencast Mining.** *Advances in Landscape Architecture*, p. 823–858, 2013. DOI: 10.5772/55796.

LIMPITLAW, D.; BRIEL, A. **Post-mining Land Use Opportunities in Developing Countries - A Review.** *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, v. 114, n° 11, p. 899–903, 2014. ISSN: 22256253.

LOPES, J. E. G. **Manual - Modelo SMAP.** 1999. 19 p.

LOPES, J.E.G.; BRAGA, B.P.F. & CONEJO, J.G.L. **SMAP –A simplified hydrologic model, applied modelling in catchment hydrology.** Littleton, V.P. Singh. 1982.

MAJER, J. **Fauna and land reclamation technology-a review of the history and need for such studies.** Cambridge University Press, Cambridge, England.1989

MARQUES, E. D. **Hidrogeoquímica nas Cavas de Extração de Areia na Região do Bairro Piranema - Distrito Areeiro de Seropédica-Itaguaí - RJ.** 117 p. - Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geoquímica, UFF, Niterói, RJ, 2006.

_____. **Impactos da Mineração da Areia da Bacia Sedimentar de Sepetiba, RJ: Estudo de suas Implicações sobre as Águas do Aquífero Piranema.** - Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Geoquímica da UFF, Niterói, RJ, 2010.

MARSZELEWSKI, W.; DEMBOWSKA, E. A.; NAPIÓRKOWSKI, P.; SOLARCZYK, A. **Understanding Abiotic and Biotic Conditions in Post-Mining Pit Lakes for Efficient Management: A Case Study (Poland).** *Mine Water and the Environment*, v. 36, n° 3, p. 418–428, 2017. ISBN: 0123456789, ISSN: 1025-9112, DOI: 10.1007/s10230-017-0434-8.

MARTINI, E. A. De. **Aplicação do Modelo SMAP para Avaliação de Impactos de Mudanças Climáticas: Um Estudo de Caso para a Bacia de Camargos (MG).** 63 p. - Monografia. Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

MASON, N.; CALOW, R. **Water Security: from Abstract Concept to Meaningful**

Metrics. An initial Overview of Options. In: *Working Paper 357*. Londres, Reino Unido, 2012.

MCCUEN, R. H. **Analysis and design.** 1998. 51–114 p. ISBN: 9781351412100, ISSN: 0583-1024, DOI: 10.1201/9780203737538.

MCCULLOUGH, C. D.; ETTEN, E. J. B. VAN. **Ecological Restoration of Novel Lake Districts: New Approaches for New Landscapes.** *Mine Water and the Environment*, v. 30, n° 4, p. 312–319, 2011. ISBN: 1025-9112, ISSN: 10259112, DOI: 10.1007/s10230-011-0161-5.

MCCULLOUGH, C. D.; LUND, M. A. **Opportunities for Sustainable Mining Pit Lakes in Australia.** *Mine Water and the Environment*, v. 25, n° 4, p. 220–226, 2006. ISBN: 10259112 (ISSN), ISSN: 10259112, DOI: 10.1007/s10230-006-0136-0.

MELO, M. C. **Segurança Hídrica para Abastecimento Urbano: Proposta de Modelo Analítico e Aplicação na Bacia do rio das Velhas, Minas Gerais.** 525 p. - Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

MELO, M. C. De; JOHNSON, R. M. F. **O Conceito Emergente de Segurança Hídrica.** *Sustentare*, v. 1, n° 1, p. 72–92, 2017. ISSN: 2526690X, DOI: 10.5892/st.v1i1.4325.

MIRANDA, N. M.; CATALDI, M.; ROQUE, N. **Simulação do Regime Hidrológico da Cabeceira do Rio São Francisco a Partir da Utilização dos Modelos SMAP e RegCM.** *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 40, p. 328–339, 2017.

MOLLEMA, P. N.; ANTONELLINI, M. **Water and (bio)chemical Cycling in Gravel Pit Lakes: a Review and Outlook.** *Earth-Science Reviews*, v. 159, p. 247–270, 2016. ISBN: 0012-8252, ISSN: 00128252, DOI: 10.1016/j.earscirev.2016.05.006.

NUCCI, J. C. **Área Degradada pela Extração de Areia: um Estudo da Derivação da Paisagem no Bairro do Umbará.** 116 p. - Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geografia, UFPA, Curitiba, PA, 2005.

PARROTTA, J. A. **The Role of Plantation Forests in Rehabilitating Degraded Tropical Ecosystems.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 41, nº 2, p. 115–133, 1992. ISSN: 0167-8809, DOI: 10.1016/0167-8809(92)90105-K.

PEÑA, H. **Desafíos de la Seguridad Hídrica en América Latina y el Caribe.** Santiago, Chile, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.cepal.org/handle/11362/40074>>. ISBN: 1680-9017, ISSN: 1680-9017.

PENMAN, H. L. **Natural evaporation from open water, bare soil and grass.** *Proc. R. Soc. Lond. A*, v. 193, n. 1032, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, L. S.; KAZAY, D. F.; NETO, E. Q. **A Crise Hídrica no Estado do Rio de Janeiro (2014-2015) e a Participação Social.** In: *V Seminário de Integração e Desenvolvimento Regional*. Toledo - PR, 2018.

PERHI-RJ. **PERHI-RJ - R3-A - Temas Técnicos Estratégicos - RT-01 - Estudos Hidrológicos e Vazões Extremas.** Rio de Janeiro, RJ, 2014a. ISBN: 9788563884091.

_____. **Relatório Gerencial. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: COPPETEC, 2014b. p. 69. ISBN: 9788563884091.

PIEDRAS, S. R. N.; POUHEY, J. L. O. F.; MORAES, P. R. R. **Uso de Áreas Degradadas pela Extração de Areia no Cultivo Intensivo de Pescado em Tanque-rede.** *Agrociência*, v. 11, nº 4, p. 467–470, 2005.

REIS, B.; BATISTA, G.; DIAS, A. **Recuperação de Área Degradada pela Extração de Areia no Vale do Paraíba Paulista.** Taubaté, SP, 2000.

RESENDE, A. S. De. **Uso de Leguminosas Arbóreas Fixadoras de Nitrogênio na Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração de Areia no Pólo Produtor de Seropédica.** 55 p. - Monografia, Instituto de Florestas, UFRRJ, Seropédica, RJ, 2006.

RIO DE JANEIRO. **Política Estadual de Recursos Hídricos.** Lei nº 3.239, de 2 de agosto de 1999.

RONDINO, E. **Áreas Verdes como Redesignação de Áreas Degradadas pela Mineração: Estudo de Casos nos Municípios de Ribeirão Preto, Itu e Campinas, Estado de São Paulo**. 126 p. - Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2005.

SANTOS, B. B. M. **Segurança Hídrica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: Contribuições para o Debate**. *Ambiente e Sociedade*, v. 19, nº 41, p. 103–120, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOC150132R1V1912016>.

SANTOS, W. J. L. Dos; MONTEIRO, Y. da C.; BEZERRA, S. L. de A. **Matriz SWOT como Ferramenta de Avaliação das Políticas Públicas Ambientais: Estudo de Caso sobre o Plano de Saneamento Ambiental da Baía de Guanabara**. In: *Simpósio Orçamento Público e Políticas Sociais*. Londrina - PR, 2017.

SCHULTZE, M.; BOEHER, B.; DUFFEK, A.; HERZSPRUNG, P.; GELLER, W. **Introduction of River Water as a Tool to Manage Water Quality in Pit Lakes**. In: *9th International Mine Water Association Congress (Oviedo, Spain)*. Oviedo, Espanha, 2005.

SCHULTZE, M.; GELLER, W.; BENTHAUS, F.-C.; JOLAS, P. **Filling and Management of Pit Lakes with Diverted River Water and with Mine Water — German Experiences**. *Pit Lake Design and Management Manual*. Perth, Australia: Australian Centre for Geomechanics, 2011. 107–120 p.

SCHULTZE, M.; POKRANDT, K. H.; HILLE, W. **Pit lakes of the Central German Lignite Mining District: Creation, Morphometry and Water Quality Aspects**. *Limnologica*, v. 40, nº 2, p. 148–155, 2010. ISBN: 0075-9511, ISSN: 00759511, DOI: 10.1016/j.limno.2009.11.006.

SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE. **Elaboração do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2016.

SEMADS/GTZ. **Projeto PLANAGUA - Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos da Macrorregião Ambiental 2 - Bacia da Baía de Sepetiba**. Rio de Janeiro: SEMADS,

2001. ISBN: 8587206079.

SEROPEDICA. **Plano Diretor Participativo do Município de Seropédica. Lei 328/06, de 3/9/2006.** Seropédica, 2006.

SILVA, P. M. D. O.; MELLO, C. R. De; SILVA, A. M.; COELHO, G. **Modelagem da Hidrógrafa de Cheia em uma Bacia Hidrográfica da Região Alto Rio Grande.** *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v. 12, nº 3, p. 258–265, 2008.

SNIS (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO). **Glossário de Indicadores.** 2016. Disponível em <www.snis.gov.br/> Acesso em: outubro de 2018.

SØNDERGAARD, M.; LAURIDSEN, T. L.; JOHANSSON, L. S.; JEPPESEN, E. **Gravel Pit Lakes in Denmark: Chemical and Biological State.** *Science of the Total Environment*, v. 612, p. 9–17, 2018. ISSN: 18791026, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.163.

SONDOTÉCNICA. **Relatório Síntese. Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, Guarda e Guandu Mirim (PERH Guandu).** Brasília: ANA (Agência Nacional de Águas), 2007. p. 144.

SPERLING, E. Von; JARIDM, F. A.; GRANDCHAMP, C. A. P. **Water Quality During the Filling of Deep Mining Lakes: Case Study of Aguas Claras Pit Lake - Mg.** *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 9, nº 3, p. 250–259, 2004. ISSN: 1413-4152, DOI: 10.1590/S1413-41522004000300011.

STATHOPOULOS, N.; ROZOS, D.; VASILEIOU, E. **Water Resources Management in Sperchios River Basin , Using Swot Analysis.** v. XLVII, nº 2, p. 779–788, 2013.

TOMAZ, P. **Método de Penman Combinado, 1948.** *Evapotranspiração.* 2013. p. 13.

TUBBS, D. **Ocorrência das Águas Subterrâneas – “Aquífero Piranema”- no Município de Seropédica, área da Universidade Rural e Arredores, Estado do Rio de**

Janeiro. FAPERJ (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro). Relatório Final de Pesquisa, 1999. 123p.

TUBBS, D.; YOSHINAGA, S. P. **A recarga artificial de aquíferos como estratégia para incrementar a disponibilidade hídrica e reduzir o impacto ambiental da extração da areia na região da Piranema, Bacia do Rio Guandu, Seropédica, RJ.** *9º Simpósio Brasileiro de Geologia do Sudeste*, 2005.

TUBBS, D.; DUARTE MARQUES, E.; O GOMES, O. V; VIEIRA SILVA-FILHO, E. **Impacto da Mineração de Areia sobre a Química das Águas Subterrâneas, Distrito Areeiro da Piranema, Municípios de Itaguaí e Seropédica, Rio de Janeiro.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41, nº 3, p. 472–485, 2011.

TUBBS FILHO, D.; ANTUNES, J. C. O.; VETTORAZZI, J. **Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim. Experiências para a gestão dos Recursos Hídricos.** Rio de Janeiro: INEA (Instituto Estadual do Ambiente), 2012. 340 p. ISBN: 9788563884107.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto alegre: ed. da universidade; ABRH; edusp, 1993.

UNESCO (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA EDUCAÇÃO, C. e C. **Water Security & the Global Water Agenda: a UN-Water Analytical Brief.** Ontario, Canada: United Nations University Institute for Water, Environment & Health, Canadá, 2013. ISBN: 9789280860382.

USIMINAS. **Diagnóstico Ambiental. Estudo de Impacto Ambiental de Instalação do Terminal Portuário para Embarque de Minério de Ferro da USIMINAS - Município de Itaguaí - RJ - Volume 1.** Itaguaí, RJ, Brasil: HAZTEC, 2010. p. 316.

VIANNA, H. C. **Potencial de Areia Feldspática no Distrito Areeiro de Itaguaí – Seropédica/RJ.** 28 p. - Monografia de Graduação em Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

VICENTE, J. F. **Caracterização Hidrogeológica de uma Área Experimental no Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro -Seropédica/RJ**. 144 p. - Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Civil, PUC, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

VILLELA, S.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, SP: McGraw-Hill, 1975.

WANG, Y.; BURLEY, J. B.; PARTIN, S. **Caso study: Post-mining Land-use Planning and Design: an Overview and Michigan**. v. 2, n° 2, p. 175–194, 2013.

WHEATER, H. S. **Water Security – Science and Management Challenges**. *Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future*, v. 366, n° June 2014, p. 23–30, 2014. ISBN: 9781907161445, ISSN: 2199-899X, DOI: 10.5194/piahs-366-23-2015.

YOUNG, G.; DEMUTH, S.; MISHRA, A.; CUDENNEC, C. **Hydrological Sciences and Water Security: An Overview**. *IAHS-AISH Proceedings and Reports*, v. 366, n° June 2014, p. 1–9, 2015. ISBN: 9781907161445, ISSN: 01447815, DOI: 10.5194/piahs-366-1-2015.

ZHAO, L. Y. L.; MCCULLOUGH, C. D.; LUND, M. A. **Mine Voids Management Strategy (I): Pit Lake Resources of the Collie Basin**. Perth, Australia, 2009.

ANEXOS

ANEXO 1: QUESTIONÁRIO DA MATRIZ SWOT

Questionário - Tese de Mestrado (COPPE/UFRJ)

O objetivo desse questionário é obter informações para montagem de uma matriz SWOT, que será usada na minha Dissertação de Mestrado (PROPOSTA DE SOLUÇÃO INTEGRADA PARA AS CAVAS DE AREIA DE SEROPÉDICA COMO ALTERNATIVA DE INCREMENTO DE SEGURANÇA HÍDRICA E RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA), analisando a região do Distrito Areeiro de Itaguaí/Seropédica em relação aos seus pontos fortes/fracos, potencialidades e fragilidades, com objetivos de aumentar a segurança hídrica local e requalificar o ambiente.

*Obrigatório

Contextualizando...

Antes de começar as perguntas, um resumo da região de estudo será apresentado, com vistas a definir um pano de fundo para a discussão.

A área de estudo, o Distrito Areeiro de Itaguaí-Seropédica, se localiza entre os municípios de Seropédica e Itaguaí, no chamado "Polígono de Piranema", marcado em vermelho na figura 1 (logo abaixo), na sub-bacia do rio da Guarda, a qual faz parte da bacia hidrográfica do rio Guandu – Região Hidrográfica (RH) II, conforme definição do PERHI – RJ (Plano Estadual de Recursos Hídricos). A transposição das águas da Bacia do rio Paraíba do Sul para a Bacia do rio Guandu é a maior singularidade da RH-II e apresenta algumas vulnerabilidades, com o a dependência em relação a bacia do rio Paraíba do Sul e a intrusão salina na foz do rio Guandu, dificultando a captação de água pelas indústrias do complexo industrial de Itaguaí/Santa Cruz, em tempos de escassez (como visto recentemente na crise hídrica de 2014/2015, considerada uma das piores secas dos últimos 85 anos de dados).

Dois rios drenam a região de estudo: o vale dos Bois e o vale do China, que carregam dejetos de diversos bairros de Seropédica, através de valas afluentes. Além disso, a área está localizada na região do Aquífero Piranema, sendo considerado um aquífero livre a semi-confinado, com níveis de água entre 2 m e 3,5 m abaixo da superfície do terreno.

A mineração nessa região acontece desde a década de 1960 em cava submersa, ou seja, à medida que a areia vai sendo retirada, o lençol freático surge do solo e forma grandes lagoas e é uma importante fonte de material para construção civil na região metropolitana do Rio de Janeiro. A área possui muitas cavas ilegais, abandonadas e muita degradação do meio ambiente. Em 2001 foi assinado pelos mineradores um Termo de Ajuste de Conduta (TAC) propondo medidas de recuperação das áreas degradadas e monitoramento. Porém, até hoje a região continua com os mesmos problemas, possuindo um alto grau de desinformação e clandestinidade, e a área das lagoas só tem aumentado.

A profundidade dessas lagoas é bem variável. Na literatura, existem dados que variam de 11m até 28m. As águas possuem natureza oligotrófica, com destaque para os baixos valores de fósforo e nitrogênio. De uma forma geral, as águas das cavas apresentam baixa concentração de elementos dissolvidos e baixos valores de pH. Entretanto, os íons alumínio e sulfato apresentam valores elevados. As águas das lagoas são classificadas como sulfatadas-cloretadas-sódicas.

O município de Seropédica é onde se localizam mais de 90% das lagoas do "Polígono de Piranema" e ele não possui nenhuma legislação específica para uso e ocupação do solo e parcelamento do solo, somente o zoneamento como parte integrante do Plano Diretor, no qual existe uma Zona de Interesse Mineral (ZIM). Essa região está numa posição estratégica, próxima de parques industriais, cortada por importantes rodovias (BR-116 – Via Dutra; BR-465; RJ-099 e o Arco Metropolitano) e próxima ao porto de Itaguaí, assim, é considerada um potencial eixo de crescimento, tanto em função desses grandes investimentos quanto à existência de estoque de terras (espaços livres de edificações ou urbanização). De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2016), o índice de atendimento total e urbano do município é 70,8% e somente 37,6% do volume de esgoto gerado no município é coletado enquanto que nenhuma parcela é tratada. Além disso, ocorrem inundações nas áreas urbanas próximas à área de estudo, devido a ocupação irregular das várzeas inundáveis; a ineficiência dos sistemas de drenagem; falta de manutenção regular; ao lançamento contínuo de efluentes e resíduos nas calhas dos rios; entre outros.

O Plano Diretor de Seropédica, criado em 2006, estabelece políticas de Planejamento Ambiental e de Saneamento Ambiental que visam a recuperação e preservação de áreas verdes, do solo e dos recursos hídricos com diretrizes relacionadas ao esgotamento sanitário, abastecimento de água e resíduos sólidos. Inclusive, um dos seus princípios é a recuperação das lagoas dos areais com o futuras áreas de lazer e outras alternativas econômicas, minimizando assim o passivo ambiental.

Figura 1: Delimitação da área de estudo – “Polígono de Piranema”.



Questionário - Informações básicas

1. **Nome:** *

2. **Profissão:** *

3. **Onde trabalha:** *

Questionário - Pergunta 1 de 4

Para cada pergunta você pode marcar quantos itens achar necessário e, se desejar, acrescentar outros. Ao final, é necessário escolher três itens mais importantes.

4. 1. Quais seriam os pontos fortes (forças) atualmente da região das cavas de mineração de areia de Seropédica em relação a economia, meio ambiente e ao território? *

Marque todas que se aplicam.

- a - Possui um material adequado para construção civil
- b - Gera emprego e renda
- c - Região com potencial de crescimento urbano e industrial
- d - Movimenta a indústria da construção civil na região Metropolitana do RJ
- e - Contribuição para arrecadação de impostos e tributos
- Outro: _____

5. Outros pontos fortes (opcional):

6. Escreva a letra dos três itens que você considera mais importantes: *

7. Justificativa (opcional):

Questionário - Pergunta 2 de 4

Para cada pergunta você pode marcar quantos itens achar necessário e, se desejar, acrescentar outros. Ao final, é necessário escolher três itens mais importantes.

8. 2. Quais seriam os pontos fracos (fraquezas) atualmente da região das cavas de mineração de areia de Seropédica em relação a economia, meio ambiente e ao território? *

Marque todas que se aplicam.

- a - Alteração do uso do solo
- b - Contaminação do ar por particulados finos
- c - Falta de monitoramento do nível do lençol freático
- d - Possibilidade de contaminação do aquífero
- e - Assoreamento
- f - Alteração da qualidade das águas dos corpos hídricos devido ao carreamento de sólidos
- g - Desmonoramento das bordas das lagoas de extração e decantação
- h - Degradação da qualidade de vida dos residentes nas circunvizinhanças
- i - Modificação do regime de fluxo subterrâneo e da qualidade das águas
- j - Descaracterização da paisagem
- k - Ilegalidade de algumas cavas
- l - Eliminação de solos cultiváveis
- m - Rebaixamento do lençol freático devido ao bombeamento e falta de monitoramento
- n - Interferência com área de expansão urbana
- Outro: _____

9. Outros pontos fracos (opcional):

10. Escreva a letra dos três itens que você considera mais importante: *

11. Justificativa (opcional):

Questionário - Pergunta 3 de 4

Para cada pergunta você pode marcar quantos itens achar necessário e se quiser, acrescentar outros. Ao final, é necessário escolher três itens mais importantes.

12. 3. Quais seriam as oportunidades futuras da região das cavas de mineração de areia de Seropédica em relação a economia, meio ambiente e ao território? *

Marque todas que se aplicam.

- a - Criação de áreas de lazer
- b - Criação de área residencial no entorno
- c - Criação de reservatórios
- d - Criação de um Parque Ecológico
- e - Valorização da paisagem
- f - Aumento do turismo
- g - Investimentos na área de saneamento
- h - Criação de Wetlands
- i - Possível reserva de água para disponibilidade hídrica local
- Outro: _____

13. Outras oportunidades (opcional):

14. Escreva a letra dos três itens que você considera mais importante: *

15. Justificativa (opcional):

Questionário - Pergunta 4 de 4

Para cada pergunta você pode marcar quantos itens achar necessário e se quiser, acrescentar outros. Ao final, é necessário escolher três itens mais importantes.

16. 4. Quais seriam as ameaças futuras da região das cavas de mineração de areia de Seropédica em relação a economia, meio ambiente e ao território? *

Marque todas que se aplicam.

- a - Contaminação das suas águas e solo através da falta de saneamento
- b - Abandono das cavas
- c - Término da reserva de areia
- d - Aumento da insegurança na região
- e - Proliferação de doenças
- Outro: _____

17. Outras ameaças (opcional):

18. Escreva a letra dos três itens que você considera mais importante: *

19. Justificativa (opcional):

Obrigada pela atenção!

20. Caso queira deixar algum comentário ou crítica construtiva, coloque abaixo:
