



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

**PEGADA HÍDRICA E ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE DO TRATAMENTO
DE ÁGUA NO BRASIL:
UM ESTUDO DE CASO DA ETA LARANJAL**

Daniel Magalhães de Carvalho

Maria Eduarda Miranda Berenguer

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador(es): Heloisa Teixeira Firmo

Rio de Janeiro

Março de 2016

**PEGADA HÍDRICA E ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE DO
TRATAMENTO DE ÁGUA NO BRASIL:
UM ESTUDO DE CASO DA ETA LARANJAL**

Daniel Magalhães de Carvalho

Maria Eduarda Miranda Berenguer

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinado por:

Prof. Heloisa Teixeira Firmo, D. Sc.

Prof. Mônica Maria Pena D. Sc.

Prof. Paulo Renato Barbosa D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Março de 2016

Berenguer, Maria Eduarda Miranda.
Carvalho, Daniel Magalhães de.

Título: Pegada hídrica e análise de sustentabilidade do tratamento de água no Brasil- Um estudo de caso da ETA Laranjal / Maria Eduarda Berenguer/ Daniel Magalhães de Carvalho – Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2016.

XIII , 139p. : il. 54; 29,7 cm.

Orientador: Heloisa Teixeira Firmo

Projeto de Graduação – UFRJ/POLI/Engenharia Ambiental,2016.

Referências bibliográficas : p. 112 – 120.

1. Pegada Hídrica. 2. Análise de Sustentabilidade. 3. Tratamento de Água. I. Firmo Teixeira, Heloisa. II.Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Engenharia Ambiental. III. Pegada hídrica e análise de sustentabilidade do tratamento de água no Brasil - Um estudo de caso da ETA Laranjal.

Dedicamos nosso trabalho a todos aqueles que nos auxiliaram para que cumpríssemos mais esta etapa em nossas vidas. Às nossas famílias, por serem nossa base e apoio para todos os momentos nos acompanhando sempre com afeto e dedicação. Aos nossos amigos, que tornaram essa jornada na faculdade mais leve e agradável a cada dia que passamos juntos. Aos nossos professores por compartilharem conosco o conhecimento e, em especial, à nossa orientadora e coordenadora que possibilitou a conclusão deste trabalho. Muito obrigado!

*“Se vi mais longe foi por estar de
pé sobre ombros de gigantes.”*

Isaac Newton

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Pegada Hídrica e Análise de Sustentabilidade do Tratamento de Água no Brasil:

Um Estudo de Caso da ETA Laranjal

Daniel Magalhães de Carvalho

Maria Eduarda Miranda Berenguer

Março/2016

Orientador: Heloisa Teixeira Firmo

Curso: Engenharia Ambiental

Diante do panorama atual onde a água, um bem tão valioso, torna-se cada vez mais escasso faz-se necessário aprimorar a gestão de recursos hídricos em todas as atividades humanas de forma a tornar seu uso sustentável. Este trabalho busca utilizar a ferramenta Pegada Hídrica como um instrumento de gestão de recursos hídricos em uma atividade de extrema importância na vida cotidiana, a produção de água potável. Esta ferramenta é capaz de mensurar todo o volume direto e indireto de água gasto ao longo do tratamento de água, assim como uma posterior avaliação de sustentabilidade do empreendimento em estudo.

O desenvolvimento do trabalho foi baseado em uma revisão bibliográfica com os principais conceitos associados ao tema do projeto, explicação sobre a metodologia e premissas adotados nos cálculos, reflexões acerca dos resultados encontrados além de propostas de melhorias para a Estação de Tratamento Laranjal.

Nas considerações finais é feito um resumo do que foi abordado em cada capítulo e é realizada uma análise final sobre a necessidade de maior preocupação à respeito da gestão de recursos hídricos em estações de tratamento de água. Uma vez que este estudo foi pioneiro em relação à utilização da Pegada Hídrica neste tipo de atividade espera-se que seja um incentivo para melhorias na estação estudada ou ainda para outros estudos futuros a fim de comparação de resultados.

Palavras Chave: Pegada Hídrica, Avaliação de Sustentabilidade, Tratamento de Água.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Water Footprint and Sustainability Evaluation of Brazil's Water Treatment:
A Case Study of Laranjal's Water Treatment Plant

Daniel Magalhães de Carvalho

Maria Eduarda Miranda Berenguer

March/2016

Advisor: Heloisa Teixeira Firmo

Course: Environmental Engineering

In the current situation the water, a valuable resource, becomes scarcer each day it is mandatory to improve the water resources management in every human activity in order to make its use sustainable. This project aims to use the Water Footprint as a water resource management tool in an extremely important daily activity, the production of fresh water. This tool is able to measure the direct and indirect volume of water consumed in water treatment, as well as assessing the plant's sustainability.

The development of this study was based on a review of literature on the key concepts related to the subject, explanation of the methodology used throughout the work such as the assumptions adopted, discussions of the results obtained and possible proposals for the improvement of the Laranjal's water treatment plant productive chain.

In the final considerations a resume of each chapter is presented. This part of the project also shows the final analysis about the need of a higher concern of water resources management in water treatment plants. Once this study was pioneer when in the matter of using the water footprint as a tool in this kind of activity it is expected that this project may become an incentive for new improvements in the plant or even for other studies as a comparison between different results.

Key Words: Water Footprint, Water Treatment, Sustainability evaluation.

Sumário

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xii
1. Introdução	1
1.1. Apresentação do tema	1
1.2. Objetivo	5
1.3. Justificativa	5
1.4. Metodologia	7
1.5. Estrutura de trabalho	7
2. Revisão Bibliográfica	9
2.1. A água	9
2.2. Pegada Hídrica	13
2.3. Tratamento de Água	24
3. Estudo de caso	34
3.1. Caracterização da Bacia Guapi-Macacu	34
3.2. Estação de Tratamento de Água Laranjal	45
4. Metodologia de Trabalho	53
4.1. Pegada Hídrica Processos	54
4.2. Pegada Hídrica Produto	64
4.3. Análise de sustentabilidade ambiental	67
5. Resultados	77
5.1. Resultados Pegada Hídrica Processos	77
5.2. Resultados Pegada Hídrica Produto	79
5.3. Resultados da Análise de Sustentabilidade	80
6. Discussão de Resultados	83
6.1. Resultados	83
6.2. Avaliação de Sustentabilidade	88

6.3. Propostas de melhorias na ETA Laranjal	94
6.4. Pegada Hídrica versus Análise de Ciclo de Vida.....	101
7. Considerações Finais.....	107
8. Bibliografia	112
Anexo I – Mapas evapotranspiração real e potencial entre Setembro/13 e Fevereiro/14	121
Anexo II – Série histórica de vazão e cota estação Parque da Ribeira.....	133

Lista de Figuras

Figura 1- Recursos hídricos renováveis per capita em m ³ /ano.....	1
Figura 2- Consumo indireto de água no cotidiano.	3
Figura 3 - Crescimento populacional e Demanda de água.	10
Figura 4 - Comércio de água virtual no mundo.....	14
Figura 5- As pegadas hídricas azul e verde em relação ao balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.....	17
Figura 6 - Objetivos do Milênio para o Desenvolvimento Sustentável no ano de 2030.	18
Figura 7 - Número de meses durante o ano nos quais a Pegada Hídrica azul excedeu a Disponibilidade Hídrica Azul para as principais Bacias Hidrográficas do mundo.	19
Figura 8 - Pegada Hídrica global do consumo pelos habitantes da França no período de 1996-2005.....	21
Figura 9- Esquemas típicos de tratamento de águas superficiais.	29
Figura 10 - Tratamento de água Convencional.	30
Figura 11- Esquema mostrando a operação de um filtro de gravidade.	32
Figura 12- Regiões hidrográficas Rio de Janeiro.	34
Figura 14- Localização Bacia Guapi-Macacu.	35
Figura 15- Área e volume das captações para irrigação em 1999.....	37
Figura 16- Indústrias porção leste da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara.....	38
Figura 17- Usos do Solo e cobertura da terra Bacia Guapi Macacu.....	40
Figura 18- Gráfico Área x Classes de uso da terra.....	42
Figura 19- Estações pluviométricas de coleta.....	43
Figura 20- Pluviosidade por Estação do Ano x Estações de Amostragem.....	44
Figura 21- Áreas de Influência Sistema Laranjal.....	45
Figura 22- Sistema Imunana Laranjal.....	46
Figura 23- Rio principais bacia Guapi-Macacu.....	47
Figura 24- Ponto de lançamento de efluentes.....	48
Figura 25- Planta complexo Imunana- Laranjal.....	49
Figura 26- Planta baixa da ETA nº 1 de Laranjal.....	51
Figura 27- Fases da avaliação de Pegada Hídrica.	53
Figura 28- Pegadas Hídricas de processos como a unidade básica para todas as outras pegadas hídricas.....	55
Figura 29 - Componentes da Pegada Hídrica Azul.	57

Figura 30- Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Setembro de 2013.....	60
Figura 31- Esquema de cálculo da pegada hídrica de um produto.....	65
Figura 32- Pegada Hídrica Água Potável.....	66
Figura 33- Mapa Estações Fluviométricas	72
Figura 34- Gráfico Série Histórica estação Parque da Ribeira.....	73
Figura 35- Gráfico Série Histórica consistida estação Parque da Ribeira.....	74
Figura 36- Gráfico das contribuições percentuais dos processos de tratamento por Pegada Hídrica.....	84
Figura 37- Gráfico contribuições percentuais Pegada Azul e Pegada Cinza sobre Pegada Hídrica Total.....	84
Figura 38- Gráfico Análise 1 de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul.....	89
Figura 39 - Gráfico Análise 2 de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul.....	90
Figura 40 - Gráfico Análise 1 de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Cinza.	92
Figura 41 - Gráfico Análise 2 de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Cinza.	92
Figura 42 - Esquematização do processo de separação por membranas de Donnan.....	98
Figura 43 - Esquematização do processo de separação por Eletrodialise.	100
Figura 44- Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Setembro de 2013.....	121
Figura 45- Mapa da Evaporação Real Mensal em Setembro de 2013.....	122
Figura 46- Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Outubro de 2013.....	123
Figura 47 - Mapa da Evaporação Real Mensal em Outubro de 2013.....	124
Figura 48 - Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Novembro de 2013.	125
Figura 49 - Mapa da Evaporação Real Mensal em Novembro de 2013.....	126
Figura 50 - Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Dezembro de 2013.....	127
Figura 51 - Mapa da Evaporação Real Mensal em Dezembro de 2013.	128
Figura 52 - Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Janeiro de 2014.....	129
Figura 53 - Mapa da Evaporação Real Mensal em Janeiro de 2014.	130
Figura 54 - Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Fevereiro de 2014.....	131
Figura 55- Mapa da Evaporação Real Mensal em Fevereiro de 2014.....	132

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Pegada Hídrica de diferentes commodities.	15
Tabela 2 - Associação entre os usos da água e os requisitos de qualidade.....	25
Tabela 3- Classificação de água natural para abastecimento público.	27
Tabela 4- Tecnologias de tratamento.....	28
Tabela 5- Pluviosidade por Estação do Ano.....	44
Tabela 6 - Qualidade das águas bacia Guapi-Macacu.	50
Tabela 7- Evapotranspiração Potencial, Real e Espelho d'água entre Set/13 e Fev/14..	61
Tabela 8- Áreas Superficiais dos Equipamentos.	61
Tabela 9- Concentração máxima de poluentes em águas de classe 2 e 3.	63
Tabela 10- Concentração média de poluentes	64
Tabela 11- Vazão mensal efluentes	64
Tabela 12- Volume médio de água potável na saída da ETA Laranjal 01	66
Tabela 13-Vazões $Q_{7,10}$, Q_{95} e DVA Estação Parque da Ribeira	69
Tabela 14- Estações Fluviométricas rios Guapiçu e Macacu	70
Tabela 15- Cotas Estação Parque da Ribeira.....	74
Tabela 16- Pegada Hídrica Azul Floculação	77
Tabela 17- Pegada Hídrica Azul Decantação	77
Tabela 18- Pegada Hídrica Cinza Decantação	78
Tabela 19- Pegada Hídrica Azul Filtração	78
Tabela 20- Pegada Hídrica Cinza Filtração.....	78
Tabela 21- Evaporação Floculação, Decantação e Filtração.....	78
Tabela 22- Carga média de poluentes.....	79
Tabela 23- Pegada Hídrica Cinza DBO, Fósforo Total e Alumínio Total	79
Tabela 24- Pegada Hídrica Produto.....	80
Tabela 25- Vazão calculada através da metodologia da Curva-Chave	80
Tabela 26- Disponibilidade de água azul bacia Guapi- Macacu	81
Tabela 27- Sustentabilidade Pegada Hídrica Azul	81
Tabela 28 - Vazão do Rio Alcântara.	82
Tabela 29 - Sustentabilidade da Pegada Hídrica Cinza.....	82
Tabela 30 - Pegada Hídrica da Água tratada após aplicação da reciclagem dos efluentes.	96

Tabela 31 - Comparação entre os custos operacionais de técnicas-chave de reúso e a prática convencional.....	101
--	-----

1. Introdução

1.1. Apresentação do tema

A água é fonte essencial para que a vida no planeta seja mantida. No entanto, este recurso precioso vem se tornando cada vez mais escasso e a demanda crescente. Isso se deve principalmente ao aumento populacional, ao crescimento da poluição em rios e lagos, às alterações antrópicas no ciclo hidrológico, e às mudanças climáticas.

Em algumas regiões do mundo a escassez de água já atingiu níveis críticos. A figura 1 mostra alguns países do continente africano já com escassez de água e outros, incluindo regiões da Ásia e Europa, enfrentando problemas de estresse hídrico. Ainda, de acordo com a agência das Nações Unidas, UNWATER (2013), no ano de 2025, 1.8 bilhões de pessoas viverão em países ou regiões com escassez de água total e 2/3 da população poderão enfrentar problemas de estresse hídrico.

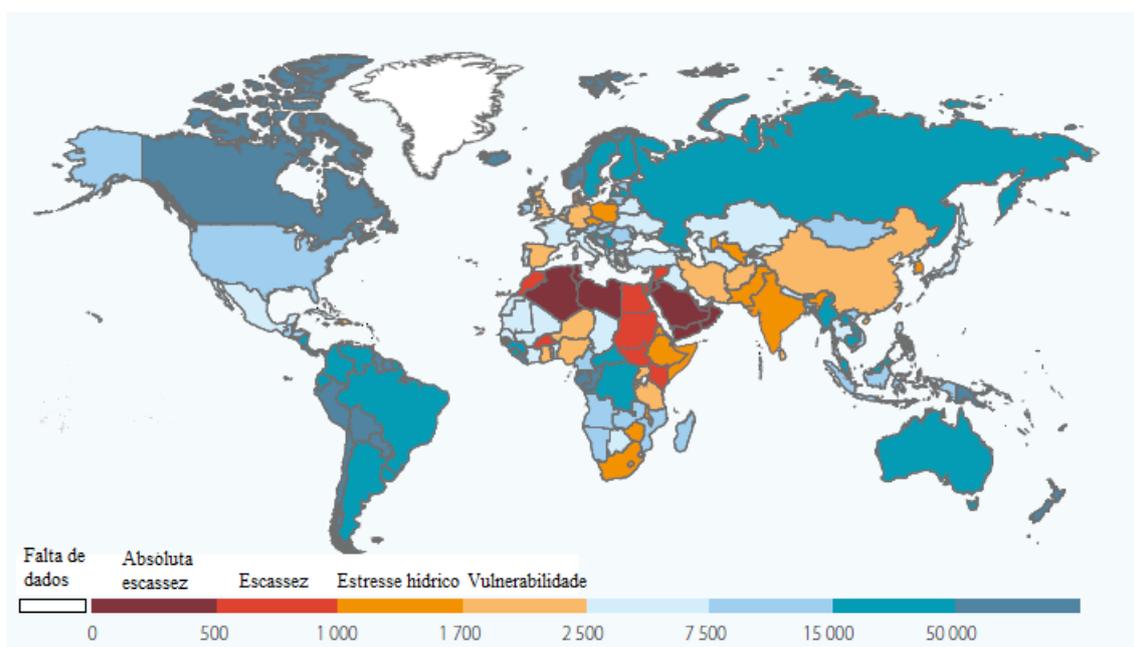


Figura 1- Recursos hídricos renováveis per capita em m³/ano.

Fonte: Adaptado de UNWATER (2015)

Hoje os padrões de consumo de água são insustentáveis. Isto porque, o crescimento populacional, a urbanização, os movimentos migratórios, a industrialização e o aumento dos níveis de produção e consumo resultaram em um aumento constante na demanda por recursos naturais. Estes processos também contribuíram para a poluição

dos recursos hídricos, reduzindo desta forma sua oferta e comprometendo a capacidade dos ecossistemas e do ciclo hidrológico da água de satisfazerem a demanda mundial crescente por água (UNWATER, 2015). É importante lembrar que a demanda de água não deve extrapolar a capacidade de renovação dos recursos hídricos.

Segundo UNWATER (2015) a relação entre o aumento da população mundial e a demanda por água potável não é linear uma vez que nas últimas décadas a demanda de água foi igual ao dobro do crescimento populacional.

. Estima-se, de acordo com o relatório das Nações Unidas (UN, 2015), que a população mundial chegará a 9,7 bilhões de pessoas em 2050 gerando uma preocupação maior referente à relação entre demanda e oferta de recursos hídricos do planeta Terra.

A situação fica ainda mais grave quando as vazões dos corpos hídricos vêm carregadas de nutrientes, contaminantes e sedimentos sendo a poluição um grande problema para muitos sistemas fluviais. De acordo com a WWF (2010) todos os dias no mundo dois milhões de toneladas de esgoto e outros efluentes são lançados nas águas e 70% dos resíduos industriais não tratados são eliminados diretamente nos corpos hídricos.

Desta forma, exemplos recentes de crise hídrica, tais como a do sistema Cantareira e do São Francisco demonstram a necessidade de uma gestão adequada de recursos hídricos. A problemática da água em 2014, no sistema Cantareira, a qual pertence a mais importante região financeira, industrial e comercial do país acabou alcançando a mídia. Além disso, no ano seguinte, 2015, de acordo com manchete publicada pelo jornal O Globo a seca no Rio São Francisco atingiu a situação mais crítica da história (GLOBO, 2015). O reservatório de Sobradinho chegou a 20% de sua capacidade de armazenamento correndo o risco de perder a capacidade de gerar energia e a navegação em uma das principais hidrovias do país foi reduzida em 70%.

Diante destes cenários, notou-se que a população brasileira está vivendo atualmente além da capacidade da natureza e que a água, apesar de renovável e bastante abundante nas terras brasileiras, é um recurso limitado.

No entanto, a pergunta que muitos se fazem é: É possível alcançar o desenvolvimento sustentável de forma que a natureza possa assegurar a todos os brasileiros o acesso à água?

O fato é que para esta pergunta não existe uma única resposta. Devido à divisão natural do recurso por bacias hidrográficas, o problema de disponibilidade hídrica deve ser entendido como um problema fortemente ligado ao aspecto geográfico local, e que, embora sua solução deva ser discutida desta forma, sua gestão e otimização da disponibilidade deve ser entendida cada vez mais como um recurso global, uma vez que os fluxos das mercadorias levam à sua alocação de maneira a manter a viabilidade econômica dos processos produtivos nos países.

Porém, a resolução desta questão pode ser iniciada através da percepção do uso da água. O consumo de água direto de um indivíduo geralmente é facilmente percebido. É sabido que a água é utilizada para tomar banho, cozinhar, beber, lavar louça, lavar roupa entre tantos outros. Mas quando se pensa no volume de água gasto por alguém é bastante difícil mensurá-lo e, ainda mais, se considerado o uso indireto de água. Muitos ficam ainda bastante surpresos quando o consumo de água é traduzido em números. A figura 2 ilustra alguns exemplos de consumo indireto, associado aos bens e serviços consumidos por um indivíduo, no cotidiano de água potável que na maioria das vezes não são conhecidos.

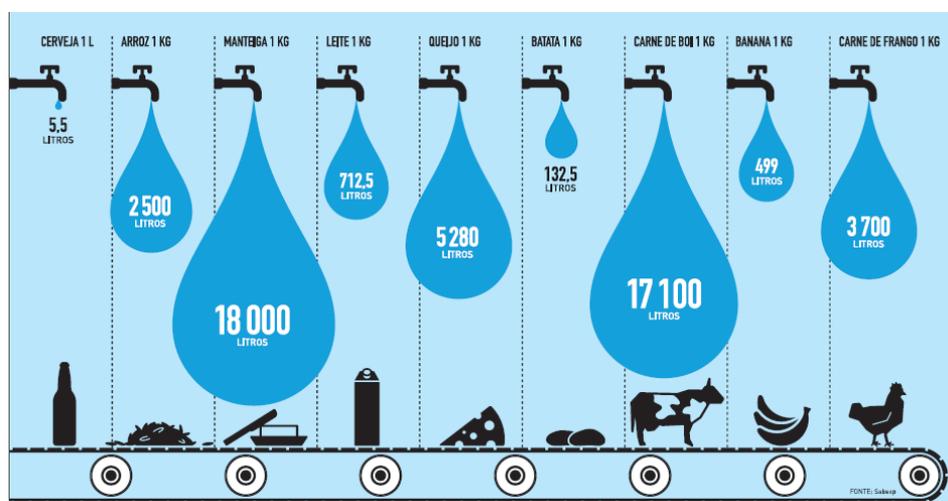


Figura 2- Consumo indireto de água no cotidiano.
Fonte: PLANETA SUSTENTÁVEL, 2013

Existem hoje algumas ferramentas de gestão que auxiliam o cálculo de quantificação do uso da água, e entre elas, encontra-se a Pegada Hídrica. Criada em 2002 por Arjen Hoekstra, esta ferramenta promove também uma maior transparência sobre o consumo de água, evidenciando os gastos “ocultos”, nos meios de produção e na cadeia de abastecimento de um produto final (HOEKSTRA, 2002). Acredita-se que

com uma maior disponibilidade de informações para público, as escolhas das pessoas se tornem cada vez mais ambientalmente conscientes.

A Pegada Hídrica é especificamente aplicada na questão da utilização dos recursos hídricos e representa o volume de água total gasto na cadeia produtiva de um bem ou serviço, bem como o consumo direto e indireto no processo de produção. A Pegada Hídrica funciona então como um indicador bem mais abrangente que o conceito tradicional e restrito de captação de água.

Este indicador é não só interessante do ponto de vista do consumidor assim como quando utilizada por produtores ou empresas. Além de conceder uma melhor compreensão de seus impactos no meio ambiente, a ferramenta permite que o produtor identifique as etapas de seu processo produtivo que poderiam passar a utilizar práticas mais eficientes.

Ademais, a Pegada Hídrica funciona ainda como uma interessante ferramenta de gestão para auxiliar os governos em tomadas de decisão. Muitos países buscam opções para reduzir a demanda de água assim como aumentar a oferta deste recurso. Desta forma, utilizando a Pegada Hídrica em suas estatísticas nacionais de água uma nação é capaz de obter uma base de informações que pode auxiliar a elaboração de planos nacionais e regionais de recursos hídricos coerentes com as políticas, reduzindo assim os conflitos pelos usos múltiplos da água.

Sendo a água um recurso limitado e, com o passar do tempo, menos abundante, acredita-se que no futuro este bem passará a ter um valor econômico mais alto. Uma vez isto se tornando realidade, processos que gastem menos recursos hídricos serão também menos custosos, refletindo em uma economia financeira para o produtor. Diante dos motivos expostos, atualmente algumas empresas, como a Coca-Cola e C&A Europe, em parceria com organizações ambientais já começaram a utilizar a metodologia da Pegada Hídrica como ferramenta de gestão (WFN, 2008).

Assim, este estudo buscar evidenciar a importância de uma boa gestão de uma planta de tratamento de água de maneira que seus processos possam no futuro se tornar mais eficazes.

1.2. Objetivo

Esse trabalho visa mostrar primeiro a importância desta ferramenta para que a mesma possa ser melhor compreendida e utilizada para conciliar uma atividade humana e o uso direto e indireto da água.

Ao longo do presente trabalho busca-se, então, calcular a Pegada Hídrica para produção de 1L de água potável na Estação de Tratamento Laranjal nº1, localizada no município de São Gonçalo, Rio de Janeiro.

Por fim, este estudo objetiva também fazer uma análise de sustentabilidade da Pegada Hídrica de todo o processo produtivo da ETA Laranjal, uma vez que os resultados obtidos através do uso desta ferramenta de gestão estão intimamente ligados com fatores locais como as características hídricas da região.

1.3. Justificativa

O Brasil se encontra em uma situação confortável em relação aos recursos hídricos se comparada sua disponibilidade hídrica per capita com o resto do mundo. Entretanto, 80% da disponibilidade hídrica brasileira está concentrada na Região Hidrográfica Amazônica, lugar onde se encontra uma baixa densidade populacional, além de menores demandas consuntivas (ANA, 2013).

No Brasil, além da região Nordeste, a qual é tradicionalmente afetada pela escassez hídrica, a região Sudeste vivencia essa mesma situação nos últimos anos. De acordo com ALMEIDA E BENASSI (2015), essa última região sofreu com a redução dos níveis de seus reservatórios a partir do ano de 2013, o que somado à grande densidade populacional e à carência de hábitos com manejos de conservação e aproveitamento da água, gerou um cenário de escassez hídrica.

Em meio a esse cenário de escassez, encontram-se a necessidade de suprir as diversas demandas possíveis de um corpo hídrico. Entre elas, o abastecimento humano é considerado como uso prioritário da água, segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei nº 9433/97 (BRASIL, 1997).

Nesse sentido, as Estações de Tratamento de Água (ETA) têm o relevante papel de suprir a demanda crescente da população com uma água confiável, apesar das maiores pressões geradas pelo aumento da poluição dos corpos hídricos e da redução nos níveis dos reservatórios na região Sudeste do país (ALMEIDA E BENASSI, 2015).

No entanto, vale ressaltar que na operação de uma ETA geralmente ocorrem perdas devido a gastos nos processos, como a lavagem de equipamentos, e possíveis vazamentos (FONTANA, 2004). De acordo com Di BENASSI *et al.* (1999), essas perdas podem chegar a 5% sobre a produção diária de água tratada em uma ETA. Ainda, FONTANA (2004) explica que através do tratamento e reutilização dos efluentes gerados na ETA, os volumes gastos nos processos podem ser reduzidos a um volume insignificante. Dessa forma, o impacto que a produção de água potável causaria, agravando a escassez já existente, se reduziria a um mínimo desejado.

Nesse contexto, a Avaliação de Pegada Hídrica surge como uma importante ferramenta a ser aplicada visando à ampliação da consciência acerca do uso da água e à melhora na gestão dos recursos hídricos. MEKKONEN *et al.* (2015) destaca que a pegada hídrica é um indicador multidimensional, pois mostra o volume de água explicitado pelos diferentes tipos de utilização (pegadas azul, verde e cinza), além da sua localização espaço-temporal. Logo, a Pegada Hídrica evidencia a apropriação dos recursos hídricos mundiais limitados e, conseqüentemente, oferece uma base para discussão de problemas relacionados ao uso sustentável, igualitário e eficiente da água.

Adicionalmente, segundo SEGAL e MCMILLAN (2009), para muitos processos produtivos a escassez hídrica significa um risco substancial tanto para suas próprias operações, como para a segurança de sua cadeia de suprimentos. Para a operação de uma ETA, essa realidade não é diferente, tendo em vista que seu produto é a água em si. Dessa forma, o cálculo de Pegada Hídrica permite visualizar quais são os processos mais intensivos no consumo dos diferentes tipos de água (azul, verde ou cinza) e em quais há um maior potencial de redução, seja com mudanças estruturais ou organizacionais (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Entretanto, o conceito de Pegada Hídrica e sua utilização como ferramenta de gestão de recursos hídricos ainda precisa ser melhor difundida não só no Brasil como no mundo. Nota-se que mesmo no meio acadêmico os estudos ainda são limitados, não tendo sido encontrado, durante a elaboração deste projeto, nenhum outro estudo sobre Pegada Hídrica em uma Estação de Tratamento de Água.

Desta forma, este é um trabalho pioneiro no Brasil, utilizando a ferramenta proposta por HOEKSTRA *et al.* (2011). Nesse sentido, tendo conhecimento dos processos produtivos em que há o maior potencial de redução de consumo de água, é possível realizar uma melhor gestão dos recursos hídricos utilizados.

O conceito de Pegada Hídrica e sua utilização como ferramenta de gestão de recursos hídricos ainda precisa ser melhor difundida não só no Brasil como no mundo. Nota-se que mesmo no meio acadêmico os estudos ainda são limitados, não tendo sido encontrado, durante a elaboração deste projeto, nenhum outro estudo sobre Pegada Hídrica em uma Estação de Tratamento de Água.

1.4. Metodologia

Inicialmente, é feita uma Revisão Bibliográfica sobre a ferramenta Pegada hídrica e suas aplicações, além de definir o contexto geral da ETA Laranjal. A fim de compreender melhor a situação da ETA em questão, foi realizada visita à sua planta, além de analisar informações presentes na Dissertação de Mestrado de Elisa Silva. Ademais, os dados de operação da estação utilizados no presente trabalho foram obtidos a partir desta dissertação (SILVA, 2015).

A metodologia adotada neste trabalho foi baseada nas indicações do “Manual de Avaliação de Pegada Hídrica” (The Water Footprint Assessment Manual) desenvolvido por HOEKSTRA *et al.* (2011). A metodologia se divide ainda em 3 partes: Pegada Hídrica de processos, Pegada Hídrica do produto e Análise de Sustentabilidade.

A definição do escopo e objetivos esclarecendo os limites do projeto além dos fatores usados e fórmulas de cálculo são determinados para cada uma das partes citadas da metodologia.

1.5. Estrutura de trabalho

O presente trabalho se divide em 7 capítulos que apresentam as seguintes abordagens:

Capítulo 1: Desenvolve a introdução do tema apresentado ao longo do estudo, assim como apresenta os objetivos específicos, justificativa para realização do projeto, metodologia adotada e estrutura do trabalho.

Capítulo 2: Aborda os aspectos conceituais e teóricos referentes a recursos hídricos e Pegada Hídrica embasando as questões que serão abordadas nos capítulos seguintes.

Capítulo 3: Apresenta informações mais detalhadas sobre a região da bacia hidrográfica em estudo, bacia Guapi-Macacu, e a Estação de Tratamento Laranjal.

Capítulo 4: Engloba toda a metodologia adotada no estudo de caso deste projeto, assim como as premissas e dados utilizados no desenvolver do trabalho.

Capítulo 5: Expõe todos os resultados dos cálculos da Pegada Hídrica para produção de 1L de água potável, assim como para os processos envolvidos no tratamento de água até ser obtido o produto final. Este capítulo também apresenta os resultados da análise de sustentabilidade da Pegada Azul e Pegada Cinza.

Capítulo 6: Capítulo voltado para as análises dos resultados encontrados, discussões sobre a metodologia adotada, proposta de melhorias no processo produtivo da estação e análise comparativa entre a ferramenta Pegada Hídrica e Análise de Ciclo de Vida.

Capítulo 7: Engloba as considerações finais do estudo, trazendo um breve resumo sobre os principais pontos levantados ao longo do trabalho e expectativas para uso futuro do projeto.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica referente a alguns conceitos importantes para o tema desenvolvido nesse trabalho.

A Revisão Bibliográfica engloba aspectos relevantes relacionados aos recursos hídricos. Primeiro esta sessão irá relatar a importância da água assim como a necessidade de uma boa gestão. Em seguida, o tema de gestão de recursos hídricos é abordado através do conceito da Pegada Hídrica, ferramenta utilizada ao longo de todo o trabalho. Por fim, explica-se como é realizada a escolha do tratamento de água adequado para uma bacia, assim como as características do tratamento convencional físico-químico.

2.1. A água

2.1.1. Contexto Global

A água é um dos recursos mais valiosos existentes no planeta. Essencial à vida e às demais atividades a ela relacionadas como indústria, agricultura, pecuária, geração de energia, saúde e higiene, transporte ou até mesmo lazer, a água deve ser preservada tanto quantitativa quanto qualitativamente.

O movimento contínuo da água que ocorre naturalmente é denominado ciclo hidrológico. A evaporação do mar e solo junto com a transpiração das plantas consiste na transformação da água no estado líquido para o estado gasoso resultando em aumento da umidade na atmosfera. A umidade acumulada forma nuvens que acabam eventualmente precipitando na forma de chuva, granizo, orvalho e neve. O volume de água precipitado pode escoar superficialmente ou infiltrar no solo gerando em seguida um escoamento subterrâneo. Ambos os fluxos de água fluem, então para o oceano que posteriormente evaporam novamente resultando na recirculação da água.

A capacidade de renovação do ciclo hidrológico da água e sua propriedade de autodepuração deram à população mundial uma falsa ideia de que a água é um recurso natural infinito. Esta sensação de reserva de água extremamente duradoura de um recurso 100% renovável associada ao fato deste bem natural ser praticamente “gratuito” aos olhos das pessoas, convergiram para um consumo desenfreado de água. Estima-se, segundo a FAO (2007), que no último século o consumo de água cresceu a um ritmo doze vezes superior ao da população mundial. Algumas estimativas dizem ainda que por

volta de 5% a 25% do consumo de água no mundo excede a capacidade de renovação dos recursos hídricos.

O aumento intensivo do consumo de água está associado a diversos fatores, dentre eles destacam-se 4 principais:

- Crescimento demográfico: resulta diretamente em um maior consumo de água devido a maior necessidade de alimentos e outros produtos, além de energia.

- Desenvolvimento econômico: quanto maior o poder de compra de uma população maior é a necessidade de consumo por novos produtos ou produtos mais sofisticados resultando em uma elevação do consumo de água.

- Políticas, Leis e sistema financeiro: determinam as tomadas de decisão de onde a água deverá ser prioritariamente utilizada.

- Mudanças Climáticas: interferem diretamente no ciclo hidrológico da água.

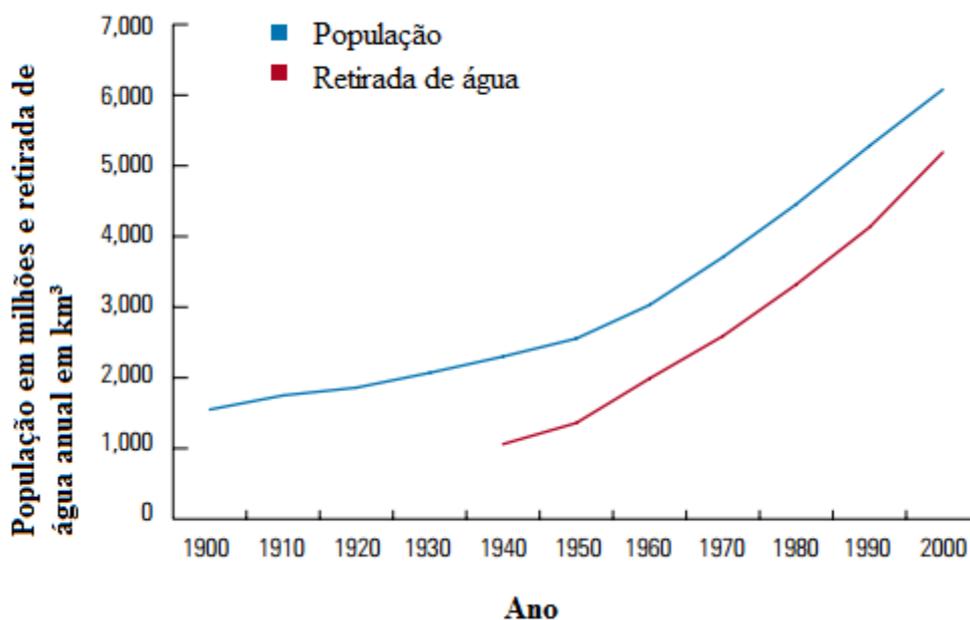


Figura 3 - Crescimento populacional e Demanda de água.
Fonte: WWAP-UNESCO,2003

Ademais, segundo a WWF (2010) a situação de escassez de água é ainda mais alarmante. Dentre a população mundial, aproximadamente 37%, ou 2,7 bilhões de pessoas, vivem em áreas com escassez de água durante ao menos um mês do ano e 1.1 bilhões de pessoas não possuem acesso à água potável. Além da falta de água o problema ainda se agrava com a poluição dos corpos d'água onde o efluente industrial e

doméstico de países em desenvolvimento, como o Brasil, muitas vezes é descartado sem passar por nenhum tipo de tratamento.

“O Brasil apresenta uma situação confortável, em termos globais, quanto aos recursos hídricos. A disponibilidade hídrica per capita, determinada a partir de valores totalizados para o País, indica uma situação satisfatória, quando comparada aos valores dos demais países informados pela Organização das Nações Unidas (ONU). Entretanto, apesar desse aparente conforto, existe uma distribuição espacial desigual dos recursos hídricos no território brasileiro. Cerca de 80% de sua disponibilidade hídrica está concentrada na RH Amazônica, onde se encontra o menor contingente populacional, além de valores reduzidos de demandas consuntivas.” (ANA, 2012)

Diante deste quadro complexo, a gestão dos recursos hídricos torna-se cada vez mais importante para que os desafios relacionados à água possam ser superados. Uma boa gestão necessita, portanto de ferramentas capazes de auxiliar na conciliação entre o crescimento constante da demanda por este recurso versus a oferta de água capaz de ser fornecida pela natureza. Conforme dito pelas Nações Unidas na Declaração do Milênio em 2000 para cessar com a exploração insustentável dos recursos hídricos é preciso desenvolver uma gestão estratégica da água em nível regional, nacional e local para assim promover acesso adequado e de qualidade a este recurso (PNUD,2000).

2.1.2. Gestão de Recursos Hídricos no Brasil

O Brasil concentra em seu território cerca de 12% da disponibilidade hídrica do planeta, sendo 80% do total concentrado na Região Amazônica. Em outras regiões do país, como a região semiárida a disponibilidade de água é baixa e irregular dificultando seu desenvolvimento.

A fim de gerenciar de maneira adequada essa grande quantidade de água e sua distribuição foi estabelecida em 1997 a “Lei das Águas” nº 9433 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos estabelecendo os fundamentos, os objetivos, as diretrizes e os instrumentos que embasam a gestão de recursos hídricos no Brasil. Também nesta época foi criado pela “Lei das Águas” o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL,1997).

Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos, a água é reconhecida como um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico. A política ainda prevê que a gestão deve ser efetuada sem dissociação entre os aspectos da qualidade e

quantidade proporcionando os usos múltiplos da água, considerando a bacia hidrográfica como unidade territorial e exercendo administração descentralizada.

Os instrumentos estabelecidos pela “Lei das Águas” são:

- I- Plano de recursos hídricos;
- II- Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III- Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.
- IV- Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- V- Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- VI- Compensação a municípios;

Os três primeiros instrumentos possuem um caráter de mecanismos de gestão utilizados para que seja feito um bom planejamento dos recursos hídricos de uma bacia. Entretanto, os três últimos funcionam como instrumentos regulatórios para que uma gestão adequada dos recursos seja mantida.

Porém, mesmo com todos estes instrumentos e um investimento superando os R\$300 milhões anuais, a gestão de recursos hídricos no território brasileiro ainda enfrenta diversos entraves operacionais. A Confederação Nacional da Indústria apontou em 2013 alguns desafios para a implementação da gestão utilizando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos como a ausência de regulamentação única nacional para definição de critérios para cobrança do uso da água, necessidade de melhorar a aplicação dos recursos arrecadados, urgência em qualificar os planos de Recursos Hídricos, entre outros (CNI,2013).

Ademais, o Brasil vem enfrentando algumas situações preocupantes quanto à gestão de suas águas. Em 2015 foi observada a pior seca jamais registrada na bacia do Rio São Francisco. A região Sudeste enfrentou problemas de baixos níveis em seus reservatórios como foi o caso do reservatório Cantareira, com a necessidade de utilizar seu volume morto para promover o abastecimento de São Paulo. Além disso, a população brasileira sofreu com uma crise energética, que apesar de atenuada pela crise econômica que levou à diminuição da demanda por energia, requereu o uso de termoelétricas e conseqüente aumento das tarifas de luz uma vez que o setor elétrico é dependente da energia gerada pelas hidrelétricas que vêm sendo prejudicadas pela redução das vazões dos rios.

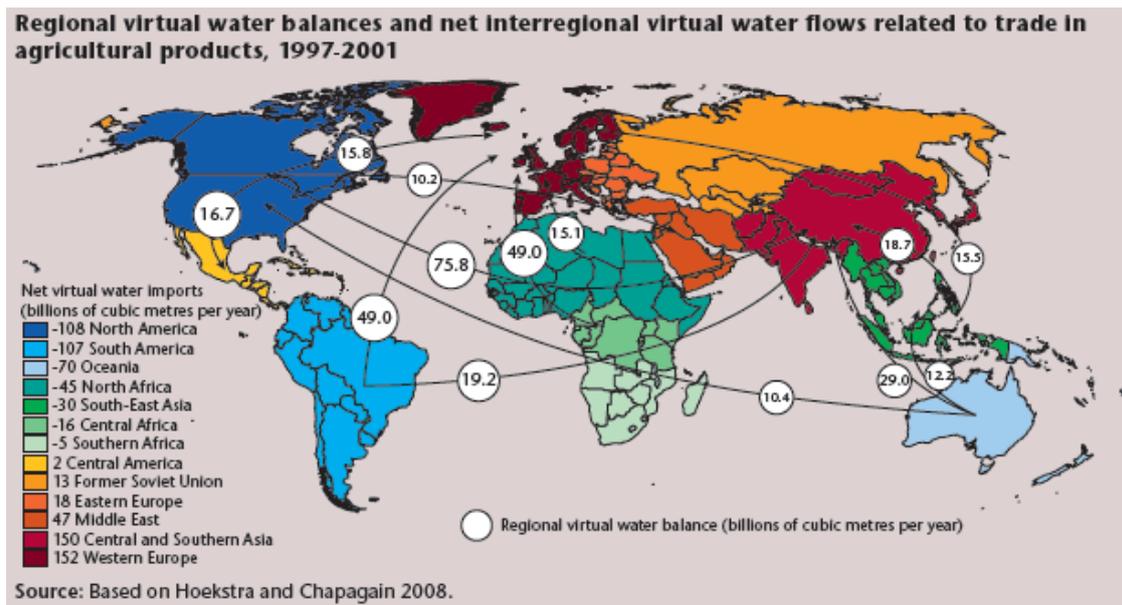
Sendo assim, por estes e outros cenários é possível notar que a Política Nacional de Recursos Hídricos ainda deve ser aprimorada para que seja alcançada uma gestão de excelência especialmente em um país rico em água como o Brasil.

2.2. Pegada Hídrica

2.2.1. Histórico

A grande diferença entre a oferta e demanda de água em muitos países, particularmente em regiões áridas e semiáridas, evidenciam a necessidade de uma boa gestão dos recursos hídricos. Entretanto, instituições responsáveis pela alocação e planejamento do uso de água no âmbito internacional, nacional e local não parecem ser robustas (ou informadas) o suficiente a fim de prover a liderança necessária para garantir que esse recurso escasso seja usado sustentavelmente (ALLAN, 1993). Nesse contexto, o professor Tony Allan introduziu, em 1993, o conceito de “água virtual”. Inicialmente, esse indicador foi utilizado para ilustrar o volume de água comercializado indiretamente através da compra e venda de commodities agrícolas, principalmente nas regiões do Oriente Médio e Norte da África (ALLAN, 2003). Ou seja, a água utilizada na produção dessas commodities seria contabilizada como uma água virtual incorporada ao produto e que, posteriormente, será transferida para uma localidade distinta através do comércio destas.

Dessa forma, um estudo realizado por HOEKSTRA e HUNG (2002) mostrou que, em 1999, Israel exportou 0.7 km³ de água virtual e importou 6.9 km³, enquanto o Egito apresentou uma importação líquida de água virtual de 15.3 km³ somente em produtos agrícolas. Como pode ser visto na Figura 4, os maiores exportadores de água virtual estão presentes na América do Norte (108 bilhões m³/ano) e do Sul (107 bilhões m³/ano). Dentre os maiores importadores, encontram-se o Oeste Europeu (152 bilhões m³/ano) e o Sul e Centro da Ásia (150 bilhões m³/ano).



*Figura 4 - Comércio de água virtual no mundo.
Fonte: HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2008*

Posteriormente, no sentido de aprimorar a conceituação de água virtual, o professor Arjen Hoekstra criou o conceito de pegada hídrica no ano de 2002. Esse conceito parte do princípio de que, ao saber o conteúdo de água dos produtos, será aumentada a conscientização do volume de água necessário para a produção de diversos bens, conseqüentemente, fornecendo a ideia de quais bens impactam mais o sistema hídrico e onde seria possível alcançar uma economia de água. Ou seja, o conceito de pegada hídrica introduzido pelo professor Hoekstra se refere ao conteúdo cumulativo de água virtual em todos os bens e serviços, em toda sua cadeia de produção, consumidos pelo indivíduo ou por todas as pessoas de um país (HOEKSTRA, 2002).

Ademais, segundo HOEKSTRA (2011), a Pegada Hídrica é um indicador de uso de água doce que busca não só o uso direto de água por parte de um consumidor ou produtor, mas também o seu uso indireto. Isto é, foge do conceito tradicional e restrito de apropriação do recurso, onde é medido apenas volume captado de água.

A Tabela 1 traz uma média global do cálculo de Pegada Hídrica de diversos produtos utilizados pela sociedade em seu cotidiano.

*Tabela 1 - Pegada Hídrica de diferentes commodities.
Fonte: Adaptado de HOEKSTRA, 2010*

Commodity	Unidade	Média Global da Pegada Hídrica (Litros)
Maçã ou Pêra	1 kg	700
Banana	1 kg	860
Carne de Boi	1 kg	15500
Cerveja	1 copo de 250 ml	75
Biodiesel de Soja	1 litro	14000
Etanol de Milho	1 litro	2600
Etanol de Beterraba	1 litro	1300
Etanol de Cana-de-açúcar	1 litro	200
Pão (trigo)	1 kg	5000
Repolho	1 kg	3900
Queijo	1 kg	24000
Frango	1 kg	140
Chocolate	1 kg	2700
Café	1 xícara de 125 ml	240
Algodão	1 camisa de 250 g	3000
Pepino	1 kg	240
Ovos	1 ovo de 60 grama	200
Carne de Carneiro	1 kg	4000
Couro (bovino)	1 kg	17000
Alface	1kg	130
Milho	1 kg	900
Manga	1 kg	1600
Leite	1 copo de 250 ml	250
Leite em Pó	1 kg	4600
Azeitona	1 kg	4400
Laranja	1 kg	460
Papel	1 A4 (80g/m ²)	10

Durante os anos 2000, o interesse nesse indicador cresceu rapidamente entre diferentes empresas, principalmente nas do ramo de alimentos e bebidas. Dessa forma, diversas companhias como a Unilever, SABMiller, Heineken, Coca-Cola, Nestle e Pepsico, se tornaram, cada vez mais, conscientes das suas dependências em relação a água e os riscos relacionados à sua escassez.

No ano de 2008, o professor Hoekstra, junto de lideranças globais de *business*, sociedade civil, organizações multilaterais e da academia, fundaram o Water Footprint Network (Rede da Pegada Hídrica). Com o objetivo de demonstrar como a Avaliação da Pegada Hídrica pode ajudar a superar os desafios relacionados ao uso insustentável da água, esta rede reúne organizações que estão preocupadas com a crescente escassez hídrica e aumento no nível de poluição e seus impactos nas pessoas e na natureza. Através dessa rede, as empresas parceiras de todos os setores – produtores, investidores, fornecedores e reguladores- além de ONGs e da academia, podem avançar mais

rapidamente na aplicação da Pegada Hídrica, por meio do compartilhamento de aprendizado e mantendo-se atualizadas com as informações mais recentes. (WFN, 2008)

2.2.2. Componentes da Pegada Hídrica

A Pegada Hídrica pode ser dividida em três componentes, expressos em unidades volumétricas de água, de acordo com suas fontes. São eles:

- Pegada Azul
- Pegada Verde
- Pegada Cinza

Conforme estabelecido por HOEKSTRA *et al.* (2011) a Pegada Azul refere-se ao uso consuntivo de água doce superficial e subterrânea. O consumo consuntivo indica que a água extraída não retorna ao sistema e assim fica indisponível para o uso na mesma região onde foi retirada. Dessa maneira, a pegada hídrica azul de um processo inclui a água azul evaporada, incorporada em produtos, devolvida para outra bacia hidrográfica ou mar, e a água retornada em outro período com diferentes características do momento em que o recurso hídrico foi extraído.

Pode-se dizer então de acordo com HOEKSTRA *et al.* (2011) que a pegada hídrica azul mensura a quantidade de água disponível em um certo período que é consumida, ou seja, que não retorna imediatamente para seu ponto de captação. Vale ressaltar apenas que uso consuntivo não significa que o recurso hídrico desaparece, uma vez que este permanece no ciclo hidrológico.

A Pegada Hídrica Verde refere-se à água proveniente do processo de precipitação (chuva, orvalho, neve, etc.) que fica estocada no solo ou temporariamente no topo das folhas da vegetação. Desta forma, esta água não gera escoamento superficial ou recarga dos aquíferos subterrâneos. Eventualmente, esta água irá se transformar em vapor d'água por meio do processo de evapotranspiração e retornará ao ciclo hidrológico novamente através do fenômeno da precipitação.

Após as duas descrições, as componentes Azul e Verde podem ser exemplificadas através do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica relacionado com a Pegada Hídrica de um produto agrícola ilustrado pela figura abaixo.

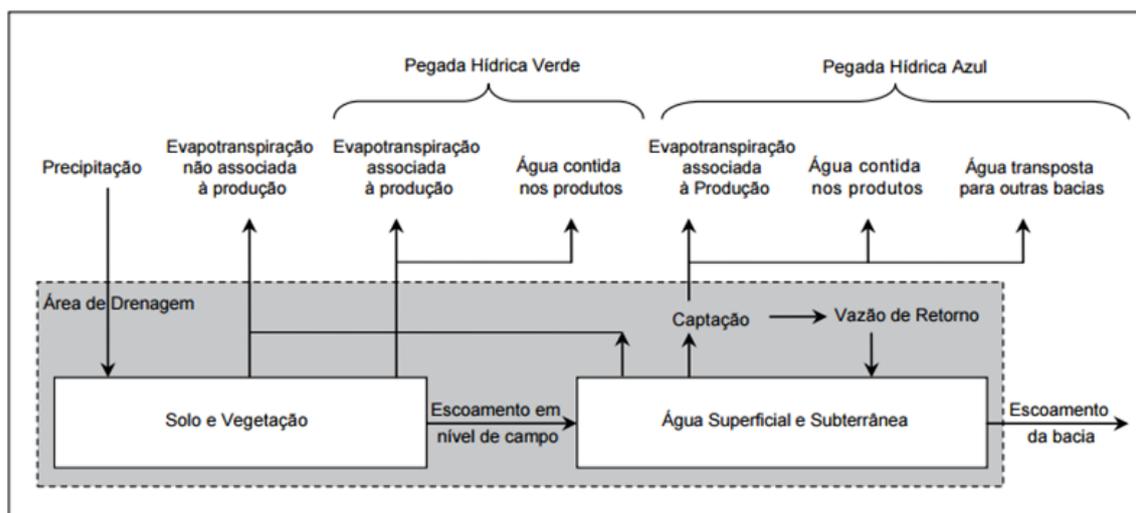


Figura 5- As pegadas hídricas azul e verde em relação ao balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.

Fonte: HOEKSTRA *et al.*, 2011

Por fim, a Pegada Cinza é o volume de água necessário para promover a diluição dos poluentes descartados em um corpo d'água tomando como base as condições naturais do mesmo e padrões de qualidade previamente estabelecidos. Sendo assim, a Pegada Cinza de um processo funciona como um indicador do grau de poluição associado a ele auxiliando à gestão para que a qualidade do corpo hídrico mantenha-se dentro dos padrões de qualidade requeridos.

2.2.3. Importância da Pegada Hídrica

Água doce é um recurso escasso. Sua disponibilidade ao longo do ano é limitada e a demanda é crescente. Adicionalmente, a pegada hídrica já excede níveis sustentáveis em diversos lugares e é distribuída desigualmente entre as pessoas (HOEKSTRA *et al.*, 2011). O relatório da UNWATER (2015), mostra que a escolha de seguir por caminhos de desenvolvimento insustentáveis e falhas de governança, geraram pressões imensas nos recursos hídricos, afetando sua qualidade e disponibilidade e, conseqüentemente, comprometendo sua capacidade de gerar benefícios econômicos e sociais. Além disso, a capacidade do planeta para suprir essa crescente demanda por água doce, está sendo ultrapassada e só será alcançado o desenvolvimento sustentável caso o balanço entre oferta e demanda seja restabelecido.

Tendo isso em vista, a preocupação de lideranças mundiais vem crescendo com os problemas que uma escassez hídrica a nível global poderia causar. Nesse sentido, toma-se como exemplo os Objetivos do Milênio para o Desenvolvimento Sustentável no

ano de 2030 elaborado pela ONU (2015) (Figura 6). Entre os dezessete objetivos, dois estão diretamente ligados ao uso sustentável da água: “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos” e “Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável”. Além disso, ao alcançar outros objetivos listados, seria possível conseguir uma melhora indireta na disponibilidade hídrica. Destes, destacam-se: “Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável”; “Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”; “Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos”; dentre outros. Portanto, se comparados com os Objetivos elaborados pela ONU (PNUD,2000) no ano de 2000 para serem alcançados até 2015, dentre os quais nenhum está diretamente ligado à conservação das águas, percebe-se esse crescimento na conscientização.



Figura 6 - Objetivos do Milênio para o Desenvolvimento Sustentável no ano de 2030.

Fonte: ONU, 2015

Dessa forma, a fim de ampliar a conscientização e melhorar o gerenciamento dos recursos hídricos, a Avaliação de Pegada Hídrica pode ser uma importante ferramenta a ser aplicada. MEKKONEN *et al.* (2015) destaca que a pegada hídrica é um indicador multidimensional, pois mostra o volume de água explicitado pelos diferentes tipos de utilização (pegadas azul, verde e cinza), além da sua localização espaço-temporal. Logo, a Pegada Hídrica evidencia a apropriação dos recursos hídricos mundiais limitados e, conseqüentemente, oferece uma base para serem discutidos problemas relacionados ao uso sustentável, igualitário e eficiente da água. A Figura 7 mostra um exemplo de como a Pegada Hídrica pode ser usada para descobrir os níveis de escassez em diferentes localizações. No estudo de HOEKSTRA *et al.* (2012) é comparada a Pegada Hídrica azul nas principais bacias hidrográficas¹ do mundo com a disponibilidade de água azul

¹ Pegada Hídrica azul de uma bacia hidrográfica é igual ao somatório das pegadas hídricas azuis dos consumidores da bacia e importação de água virtual menos a exportação de água virtual.

(i.e. escoamento natural através dos rios e águas subterrâneas menos a vazão ambiental) nas mesmas.

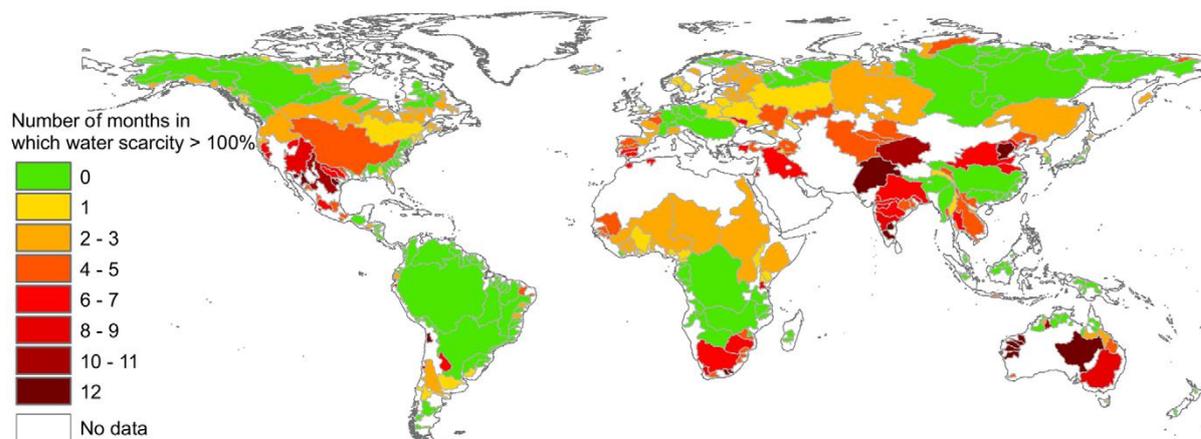


Figura 7 - Número de meses durante o ano nos quais a Pegada Hídrica azul excedeu a Disponibilidade Hídrica Azul para as principais Bacias Hidrográficas do mundo.

Fonte: HOEKSTRA et al., 2012

A conscientização em relação aos perigos da escassez hídrica deve ser papel de todas as esferas da sociedade (i.e. empresas, indústrias, governo e, também, da população). Deste modo, primeiro, será mostrada a importância da Pegada Hídrica para a população (consumidores).

Através do uso deste indicador, o indivíduo pode ter consciência do seu consumo direto e indireto de água e, conseqüentemente, o impacto que causa na disponibilidade de recursos hídricos. Além disso, a maior parte da pegada hídrica de uma pessoa geralmente advém do uso indireto da água, ou seja, um uso que está “escondido” nos bens que a mesma consome (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Posteriormente, tendo essa informação disponível, os consumidores poderiam pensar em maneiras de diminuir sua Pegada Hídrica, reduzindo seus impactos na natureza. HOEKSTRA *et al.* (2011) mostra que para reduzir o consumo direto de água, pode-se, por exemplo, substituir vasos sanitários e chuveiros por outros que economizem água, fechar a torneira ao escovar os dentes, não despejar medicamentos, tintas e outros poluentes diretamente na pia, etc. Já para o consumo indireto, existem duas estratégias para reduzir a Pegada Hídrica:

- Substituir produtos que têm uma grande pegada hídrica por outro que tenha uma menor como, por exemplo, comer menos carne e consumir roupas produzidas com tecidos sintéticos ao invés de algodão;

- Manter o mesmo padrão de consumo, mas buscar produtos que tenham relativamente uma menor pegada hídrica ou que sejam produzidos em áreas onde não há alta escassez de água.

Ambas as estratégias são importantes, entretanto a segunda depende que os consumidores tenham acesso a informações apropriadas sobre os produtos, logo, dependendo dos produtores. Como essa informação geralmente não está disponível atualmente, uma ação importante por parte dos consumidores é exigir uma maior transparência dos produtos e regulações criadas pelo governo (HOEKSTRA, 2010).

A respeito disso, visando a maior divulgação de fatos sobre os produtos e maior conscientização dos consumidores, Hoekstra et al. (2011) propõe a criação de selos de Pegada Hídrica em suas embalagens. Entretanto, deve-se considerar o que precisa ser exibido nesse selo. Por exemplo, seria possível o produtor expor a Pegada Hídrica total do seu produto, o que seria funcional somente para aumentar a conscientização entre consumidores, não para permitir uma comparação bem informada entre dois produtos. A fim de oferecer um detalhamento maior, poderiam ser especificados no selo os componentes da pegada (azul-verde-cinza), além de mencionar o grau ao qual a Pegada Hídrica do produto está relacionado com a violação dos requisitos de vazão ambiental local ou dos padrões de qualidade da água. Ademais, MANSON e EPPS (2014) afirma que selos podem oferecer incentivos para que governantes possam impor medidas como impostos ou restrições de importação baseados na Pegada Hídrica, mas que devem ser pensados cuidadosamente no seu projeto e meio de aplicação, pois podem causar implicações inesperadas em leis de comércio.

Em seguida, explica-se a importância de as nações calcularem as suas pegadas hídricas. HOEKSTRA e CHAPAGAIN (2007) mostra que muitos países consideram opções de reduzir a demanda de água, além de aumentar a oferta desse recurso. Entretanto, estes geralmente não consideram a dimensão global da gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, as nações não consideram explicitamente as opções de economizar água através da importação de produtos que consomem água intensivamente. Ademais, ao focar no consumo de água somente no próprio país, a maioria dos governos têm um ponto cego em relação ao consumo sustentável de sua nação. Ou seja, muitos países acabam externalizando suas pegadas hídricas, ao não se importarem se os produtos importados estão causando depleção ou poluição de águas

nos países produtores. Deste modo, o cálculo da Pegada Hídrica Nacional, conforme HOEKSTRA *et al.*(2001) demonstra, deveria ser um componente padrão nas estatísticas nacionais de água e oferecer uma base a fim de formular planos nacionais e regionais de recursos hídricos que sejam coerentes com as políticas nacionais a respeito do meio ambiente, agricultura, indústria, energia, comércio, relações e cooperação internacional.

Na Figura 8, observa-se a Pegada Hídrica global do consumo pelos habitantes da França, ou seja, inclui a origem do gasto de água de todos os produtos importados consumidos por franceses.

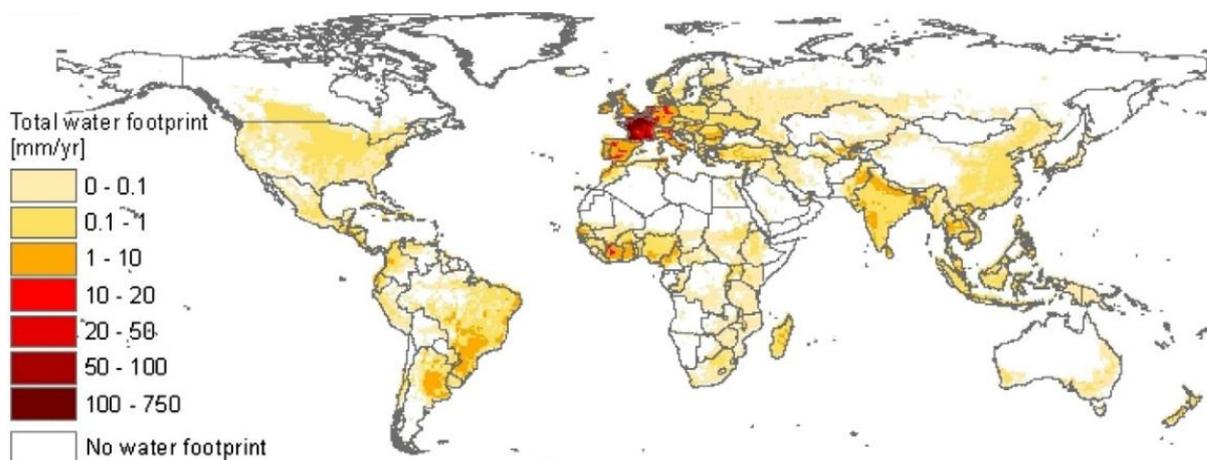


Figura 8 - Pegada Hídrica global do consumo pelos habitantes da França no período de 1996-2005.

Fonte: ERCIN et al., 2013

Além disso, a Pegada Hídrica poderá se constituir em importante indicador do preço da água, de forma a compensar pela escassez eventualmente provocada por produtos exportados, tomando-se o cuidado de não penalizar os produtores que perderiam mercado se o preço fosse muito alto, mas remunerando de forma justa aqueles produtos provenientes de áreas em situação de escassez hídrica.

Finalmente, visando a maior conscientização e redução efetiva dos impactos antrópicos sobre os recursos hídricos, é preciso avaliar e reduzir a Pegada Hídrica dos mais variados bens consumidos pelos seres humanos. Isto quer dizer, empresas produtoras devem calcular a Pegada Hídrica dos seus produtos e buscar a redução do consumo de água em sua operação, da poluição das águas (consumo direto) e da Pegada Hídrica da cadeia de suprimentos (consumo indireto).

Mas, porque isso seria interessante para as empresas? Primeiramente, como SEGAL e MACMILLAN (2009) explicam, para muitas empresas, a escassez de água significa um risco substancial tanto para suas próprias operações, como para a segurança de sua cadeia de suprimentos. Afinal, uma empresa de bebidas não suportaria a falta d'água ou uma fábrica de tecidos teria grandes problemas se não houvesse segurança quanto à produção de algodão. Em segundo lugar, de acordo com HOEKSTRA (2010), uma razão para contabilizar a Pegada Hídrica e formular medidas para reduzir a Pegada Hídrica corporativa é antecipar controles regulatórios por parte do governo. E, por último, consciência e estratégia ambiental é, regularmente, parte do que é conhecido como 'responsabilidade social corporativa'. Ou seja, reduzir a Pegada Hídrica pode ser parte de uma estratégia ambiental da empresa, assim como reduzir a Pegada de Carbono.

Hoje, empresas já se preocupam com o risco de perder seu acesso a uma fonte limpa de água e possíveis impactos financeiros ao processo produtivo. O estudo desenvolvido por THODE e CUNHA (2015) diz que este risco corporativo ao qual as companhias estão expostas pode estar associado a escassez de água e poluição dos corpos hídricos, às imposições regulatórias governamentais ou relacionados ao impacto da marca e/ou da imagem de uma companhia nas decisões de compra do consumidor. A ferramenta Pegada Hídrica pode auxiliar na avaliação da exposição de empresas ao risco corporativo relacionado com a água que ainda é um grande desafio.

Nesse sentido, HOEKSTRA (2008) propõe que as empresas busquem a “Água Neutra” (“Water Neutrality”), assim como o já conhecido “Carbono Neutro” (“Carbon Neutrality”). Para empresa, a Água Neutra seria usada como ferramenta para reduzir e compensar os impactos sociais e ambientais de sua Pegada Hídrica. Portanto, a ideia é estimular as empresas a tornar sua atividade “Água Neutra” através do investimento em tecnologias que economizem água, medidas que conservem os recursos hídricos, tratamento de efluentes e meios de suprir a demanda de quem não tem uma fonte d'água confiável. Em outras palavras, um empreendimento “Água Neutra” reduz e compensa as consequências ambientais e sócias adversas do seu consumo de água.

Adicionalmente, de modo a oferecer uma estrutura harmonizada para quantificação e reporte de Pegadas Hídricas pelas empresas foi desenvolvida ISO 14046:2014. Esta norma, de acordo com ISO (2014) sugere princípios, requisitos e orientações para realizar e reportar uma Avaliação de Pegada Hídrica como uma

avaliação independente ou como parte de uma avaliação ambiental mais abrangente. Dessa forma, é possível fornecer informações confiáveis e cientificamente consistentes para reportar os resultados da Pegada Hídrica e, portanto, meios de estimar o potencial impacto do consumo e poluição das águas e informar tomadores de decisão nas indústrias, governos e ONGs.

2.3. Tratamento de Água

2.3.1. Histórico do tratamento de água

A água é um material de extrema complexidade constituída por 33 substâncias distintas segundo RICHTER (2013). Alguns exemplos das substâncias que compõem a água são areia, silte, argila, algas, protozoários, cálcio, magnésio, ferro, hidrogênio, bicarbonato, carbonato, hidróxidos, cloretos, sulfatos, e outras. Este fato, desconhecido pela maior parte da sociedade gera a falsa ilusão de que a água encontra-se facilmente em seu estado de absoluta pureza. A água incorpora a si uma grande diversidade de impurezas devido às suas propriedades como transportadora de partícula e solvente universal. As impurezas podem ser as mais diversas, podendo estas ser inócuas ou bastante nocivas para a saúde humana resultando em doenças de transmissão hídrica, e são elas que definem, portanto, a qualidade da água de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas.

O nascimento do processo de tratamento de água para fins de abastecimento ocorreu na Escócia com a construção de um filtro lento por John Gibb. O Brasil também teve papel importante na história do tratamento de água. Em 1880, os primeiros filtros rápidos aplicados em abastecimento público do mundo foram instalados na cidade de Campos, no estado do Rio de Janeiro.

“O objetivo do tratamento de água é fornecer um produto potável- química e bacteriologicamente seguro para consumo humano.” (HAMMER, 1979).

Sendo assim, através do processo de tratamento três principais finalidades devem ser alcançadas:

- Higiênicas: remoção de micro-organismos e substâncias nocivas, redução de impurezas e compostos orgânicos;
- Estéticas: ajuste da cor, odor e sabor;
- Econômica: redução dureza, ferro e manganês, turbidez, corrosividade, entre outros.

2.3.2. Tratamento de água no Brasil

No Brasil, os requisitos de qualidade da água, e conseqüentemente o tratamento de água aconselhável para um corpo d'água, são função de seus usos previstos. A Lei

9433 de 1997, BRASIL (1997), referente à gestão de recursos hídricos no Brasil fundamenta em seu Art. 5^o que um dos instrumentos a ser utilizado na Política Nacional de Recursos Hídricos é o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água.

Sendo assim, o enquadramento do corpo hídrico do qual a água para tratamento será retirada também deve estar de acordo com os usos preponderantes mais restritivos atuais ou pretendidos ao longo do tempo, de maneira que o tipo de tratamento escolhido atenda as demandas dos usos presentes e futuros.

A Tabela 2 apresenta uma associação entre os principais requisitos de qualidade e correspondentes usos da água.

*Tabela 2 - Associação entre os usos da água e os requisitos de qualidade.
Fonte: VON SPERLING, 2005*

Uso geral	Uso específico	Qualidade Requerida
Abastecimento de água doméstico	-	<ul style="list-style-type: none"> • Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde • Isenta de organismos prejudiciais à saúde • Baixa agressividade e dureza • Esteticamente agradável (Baixa turbidez, cor, sabor e odor, ausência de macrorganismos)
Abastecimento Industrial	Água é incorporada ao produto (ex: alimento, bebidas, remédios)	<ul style="list-style-type: none"> • Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde • Isenta de organismos prejudiciais à saúde • Esteticamente agradável (Baixa turbidez, cor, sabor e odor, ausência de macrorganismos)
	Água entra em contato com o produto	<ul style="list-style-type: none"> • Variável com o produto
	Água não entra em contato com o produto (ex: refrigeração, caldeiras)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa dureza • Baixa agressividade
Irrigação	Hortaliças, produtos ingeridos crus ou com casca	<ul style="list-style-type: none"> • Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde • Isenta de organismos prejudiciais à saúde • Salinidade não excessiva
	Demais plantações	<ul style="list-style-type: none"> • Isenta de substâncias químicas prejudiciais ao solo e às plantações • Salinidade não excessiva
Dessedentação de animais	-	<ul style="list-style-type: none"> • Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde dos animais • Isenta de organismos prejudiciais à saúde dos animais
Preservação da flora e da fauna	-	<ul style="list-style-type: none"> • Variável com os requisitos ambientais da flora e da fauna que se deseja preservar

Uso geral	Uso específico	Qualidade Requerida
Aquicultura	Criação de animais	<ul style="list-style-type: none"> • Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde dos animais e dos consumidores • Isenta de organismos prejudiciais à saúde dos animais e dos consumidores • Disponibilidade de nutrientes
	Criação de vegetais	<ul style="list-style-type: none"> • Isenta de substâncias químicas tóxicas aos vegetais e aos consumidores • Disponibilidade de nutrientes
Recreação e lazer	Contato primário (contato direto com meio líquido; ex: natação, esqui, surfe).	<ul style="list-style-type: none"> • Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde • Isenta de organismos prejudiciais à saúde • Baixos teores de sólidos em suspensão e óleos e graxas
	Contato secundário (não há contato direto com o meio líquido; ex: navegação de lazer, pesca, lazer contemplativo)	<ul style="list-style-type: none"> • Aparência agradável
Geração de energia	Usinas hidrelétricas	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa agressividade
	Usinas nucleares ou termelétricas (ex: torres de resfriamento)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa dureza
Transporte	-	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa presença de material grosseiro que possa por em risco as embarcações
Diluição de despejos	-	-

Através da determinação dos usos preponderantes, enquadramento associado e características físicas, químicas e biológicas do corpo hídrico pode-se definir o tipo de tratamento da água requerido.

É importante ressaltar que as bacias que têm dentre os usos preponderantes da água o abastecimento de água doméstico e industrial necessitam passar por um processo de tratamento. Assim, antes de chegar ao destino final para consumo essa água necessita passar por um tratamento tal que suas características alcancem os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 2914/2011 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011).

“A PORTARIA Nº- 2.914, de 12 de Dezembro de 2011, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.” (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT (1995), considera através da NBR 12216/1992 – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público – os seguintes tipos de águas naturais para abastecimento público:

Tipo A - águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias sanitariamente protegidas, com características básicas definidas na Tabela 3 seguinte, e as demais satisfazendo aos padrões de potabilidade;

Tipo B - águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias não protegidas, com características básicas definidas na Tabela 3 seguinte, e que possam enquadrar-se nos padrões de potabilidade, mediante processo de tratamento que não exija coagulação;

Tipo C - águas superficiais provenientes de bacias não protegidas, com características básicas definidas na Tabela 3 seguinte, e que exijam coagulação para enquadrar-se nos padrões de potabilidade;

Tipo D - águas superficiais provenientes de bacias não protegidas, sujeitas a fontes de poluição, com características básicas definidas na Tabela 3 seguinte, e que exijam processos especiais de tratamento para que possam enquadrar-se nos padrões de potabilidade.

Tabela 3- Classificação de água natural para abastecimento público.

Fonte: Adaptado de RICHTER, 2013

Tipos		A	B	C	D
DBO 5 dias, (mg/l)	Média	até 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4,0	> 4,0
	Máxima, em qualquer amostra	1- 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes	Média mensal em qualquer mês	50 - 100	100-5000	5000 - 20000	>20000
	Máximo	>100 em menos de 5% das amostras	>5000 em menos de 20% das amostras	>20000 em menos de 5% das amostras	-
PH		5 - 9	5 - 9	5- 9	3,8 - 10,3
Cloretos		<50	50 - 250	250 - 600	>600
Fluoretos		<1,5	1,5 - 3,0	>3,0	-

Ademais, de acordo com a NBR águas receptoras de produtos tóxicos podem ser utilizadas para fins de abastecimento público desde que sejam realizados estudos especiais a fim de garantir os padrões de potabilidade. Neste caso os órgãos sanitários e

de saúde pública competentes devem autorizar o uso e realizar o controle. (ABNT, 1995)

O tratamento para cada tipo de água deve ser minimamente:

Tipo A- Processos D, E e F da Tabela 4 abaixo.

Tipo B – Tratamento simplificado: processos A, D, E e F da Tabela 4 abaixo. O processo A de Clarificação Simplificada deve compreender uma Decantação Simples para que as características da água se enquadrem nos padrões de potabilidade ou Filtração, precedida ou não de decantação, tal que o parâmetro de turbidez atinja um limite inferior a 40 UNT e de cor inferior a 20 unidades.

Tipo C- Tratamento físico-químico: processos B, D, E e F da Tabela 4 abaixo. O tratamento físico-químico inclui o processo de Coagulação, seguida ou não por Decantação além da filtração em filtros rápidos.

Tipo D- Processos B, D, E, F e G da Tabela 4 abaixo. O processo G engloba um tipo de tratamento complementar, além da determinada para águas do tipo C, de maneira que este seja apropriado de acordo com cada caso.

*Tabela 4- Tecnologias de tratamento.
Fonte: FIGUEIREDO, 2015*

Processo	Aeração	Coag.	Flocul.	Decant.	Filtraç.	Desinf.	pH	Fluoret.	TA
A									
B									
C									
D									
E									
F									
G									

- A:** Clarificação Simplificada
- B:** Clarificação físico-química (sem Decantação) ou Convencional – adição de coagulante
- C:** Remoção de Fe e Mn (águas subterrâneas)
- D:** Remoção de Patogênicos (cloração, radiação ultra violeta, ozonização)
- E:** Neutralização e remoção de dureza (adição de cal)
- F:** Promoção da saúde bucal (adição de flúor)
- G:** Tratamento avançado para remoção de odor e sabor (membranas, carvão ativado, etc.)

2.3.3. Tratamento Convencional Físico-Químico

A Estação de Tratamento Laranjal utilizada para o estudo de caso ao longo deste trabalho faz uso do tipo de tratamento denominado Convencional Físico-Químico. Os motivos que justificam a escolha deste tratamento serão melhor abordados adiante no Capítulo 4.

Assim, este item se dedica a uma explicação mais detalhada dos 7 processos envolvidos no tratamento Convencional Físico-Químico ilustrados nos esquemas da figura 9 e figura 10. São eles:

- 1- Coagulação
- 2- Floculação
- 3- Decantação
- 4- Filtração
- 5- Desinfecção
- 6- Fluoretação
- 7- Correção de PH

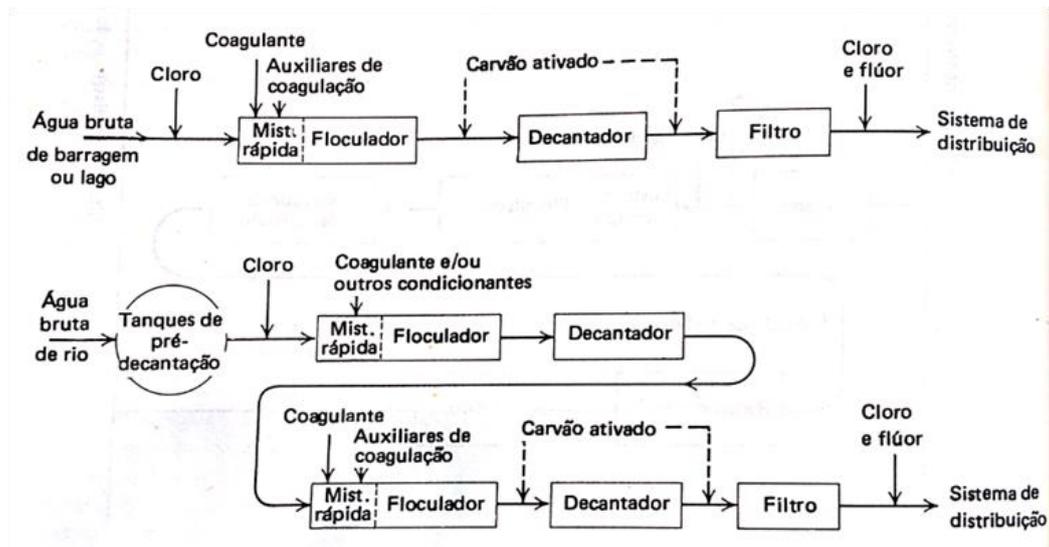


Figura 9- Esquemas típicos de tratamento de águas superficiais.

Fonte: HAMMER, 1979

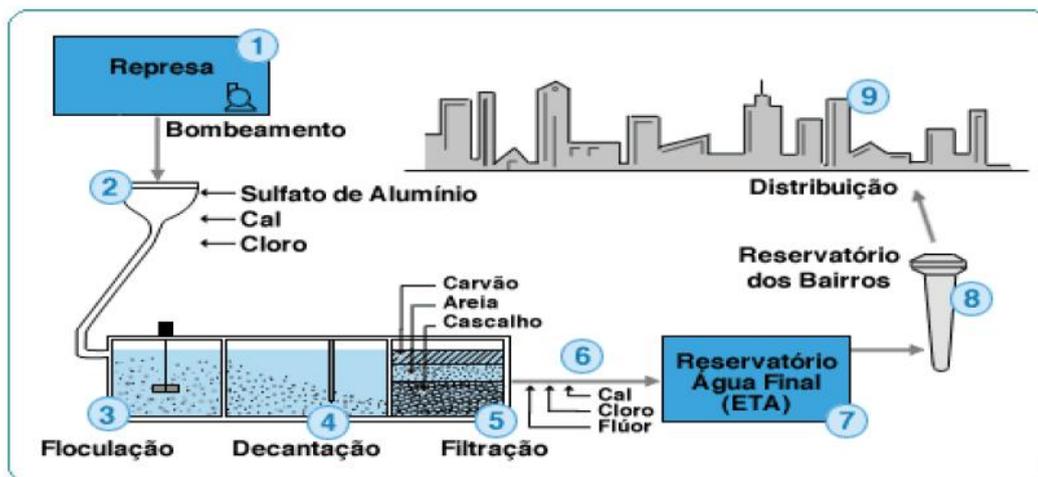


Figura 10 - Tratamento de água Convencional.

Fonte: FIGUEIREDO, 2015

A primeira parte do processo de tratamento de águas naturais é a clarificação química, que consiste nas etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração.

A coagulação é o processo no qual são reduzidas as forças repulsivas entre as partículas em suspensão, os colóides, através da introdução de um produto químico denominado coagulante. A dispersão do coagulante na água deve ocorrer rapidamente de forma que a distribuição do coagulante no tanque de mistura rápida fique equânime e uniforme. Podem ser usados como coagulantes diversos produtos com diferentes concentrações, variando entre uma média de 60 a 70 gramas por metro cúbico, dependendo das características de qualidade da água a ser tratada. Alguns exemplos de coagulantes são o Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), Cloreto Férrico ($FeCl_3$) e Policloreto de Alumínio (PAC). O coagulante deve ser aplicado na massa de água em um tempo muito curto, e, portanto, o tanque de mistura rápida deve ser uma região de grande turbulência. Esta turbulência pode ser gerada através de misturados mecânicos, câmaras com chicanas de fluxo horizontal ou vertical, ou por ressalto hidráulico. (RICHTER, 2013)

O processo de floculação consiste na aglomeração das partículas formando flocos através do efeito de transporte e fluxo. As partículas já desestabilizadas na etapa de coagulação, na floculação colidem formando aglomerados maiores para que possam sedimentar posteriormente. As colisões entre partículas são induzidas por seu movimento relativo, por gradientes de velocidade gerados na água ou por agitadores mecânicos. É importante ressaltar, que ao contrário da Coagulação, os tanques de Floculação devem possuir uma agitação mais devagar promovendo uma

mistura lenta, com o objetivo de estabelecer flocos decantáveis sem que estes se quebrem pela forte agitação da água. (RICHTER, 2013)

A eficiência das fases de coagulação e floculação de uma estação de tratamento de água pode ser verificada através da turbidez da água decantada e quantidade de coagulante consumido.

Em seguida, a água deve passar pela fase de decantação. A decantação é a remoção das partículas em suspensão pela ação da força da gravidade, separando as partículas de densidade superior à da água depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. Os decantadores podem ser circulares, retangulares ou quadrados desde que ocorra um movimento lento da água evitando curto-circuito. No tratamento de água para fins de abastecimento utilizam-se principalmente os decantadores de fluxo vertical ascendente, como os clarificadores de manto de lodos com ou sem recirculação. Neste tipo de decantador a água é introduzida no tanque com direção ascendente, tal que as partículas floculadas sedimentam no fundo e a parcela restante da água extravasa por um canal de descarga na superfície do tanque. O lodo acumulado no tanque é posteriormente retirado por um equipamento mecânico de remoção de lodo. Vale ressaltar que as partículas com velocidade inferior à taxa de aplicação não são removidas nesta fase do tratamento, e assim são carregadas para o processo seguinte, a Filtração. (RICHTER, 2013)

A Filtração tem o objetivo de remover os flocos não-decantáveis após a coagulação química e decantação. Essa separação sólido-líquido visa a remoção das impurezas da água ao passar por um meio poroso. O filtro utilizado no tratamento da água pode ser lento ou rápido, dependendo da velocidade com que a água atravessa o leito filtrante, assim como com fluxo ascendente ou descendente. O meio filtrante pode ser composto por grãos com diferentes granulometrias, dentre os quais os materiais mais usados são a areia e o antracito. O filtro pode ser também composto por uma camada de um único material, ou por camada dupla dependendo da taxa de filtração que será aplicada. Essa taxa é diretamente relacionada à qualidade da água, condições de operação, material utilizado e outras características que variam de local para local. A camada mais inferior do filtro é denominada fundo falso, composto por uma laje onde são instalados bocais distribuidores uniformemente espaçados. O fundo falso pode ser substituído também por pedregulho. Vale ressaltar, por fim, que para um funcionamento adequado dos filtros são exigidos

controles de nível de água e de vazão, evitando a colmatção do mesmo. (RICHTER, 2013) A figura 11 ilustra o processo de filtração em um filtro do tipo gravidade composto por meio filtrante de areia.

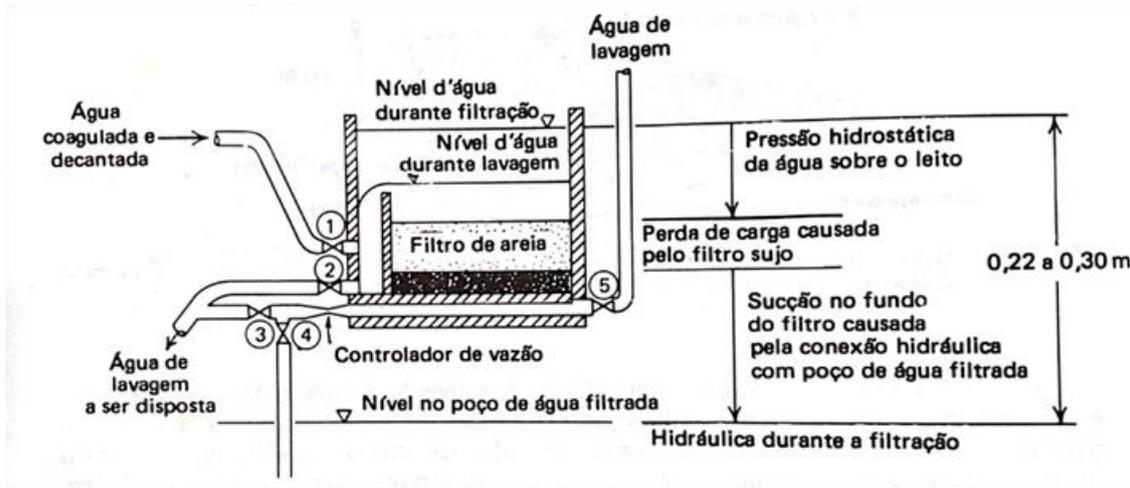


Figura 11- Esquema mostrando a operação de um filtro de gravidade.

Fonte: HAMMER, 1979

Após a Filtração, inicia-se o processo de Desinfecção. O tipo de tratamento mais comumente utilizado para promover a Desinfecção é a Cloração, visando destruir os organismos patogênicos e controlar a presença de microrganismos causadores de doenças. A reação entre o Cloro e a estrutura molecular das bactérias ou vírus inativa seus processos necessários à vida. Sendo assim, a desinfecção é necessária, pois não é possível assegurar que todos os microrganismos tenham sido removidos nos processos anteriores. Ademais, por se tratar de uma substância com forte poder oxidante, o Cloro é usado para remoção de Nitrogênio Amoniacal, Sulfeto de Hidrogênio, Ferro e Manganês. As duas últimas substâncias podem gerar gosto e odor desagradável para a água tratada, o que incomoda os consumidores do produto final. Para fins de tratamento de água pode ser utilizado Cloro líquido transformado posteriormente em gás, ou os Hipocloritos na forma seca. O Cloro também deixa um residual em solução, o que garante uma proteção do sistema de distribuição. (RICHTER, 2013)

Por fim, o último processo do Tratamento Convencional Físico-Químico é a Fluoretação. Esta etapa é utilizada como uma medida de saúde pública com o objetivo de prevenir a cárie dentária. Os três compostos mais usados são o fluoreto de sódio, o silicofluoreto de sódio e ácido fluossilícico. Vale ressaltar que não existe um sistema específico de fluoretação, e desta forma a dosagem de flúor aplicada

deve se relacionar com a vazão de água de cada estação respeitando os padrões de potabilidade. (RICHTER, 2013)

3. Estudo de caso

3.1. Caracterização da Bacia Guapi-Macacu

3.1.1. Caracterização Geral

A captação de água bruta para a Estação de Tratamento de Água do Laranjal é feita no canal de Imunana. Este canal artificial, para onde confluem os Rios Macacu e Guapiaçu, foi construído na década de 40 com o intuito de drenar as bacias adjacentes da baixada, frequentemente inundadas. Ambos os rios fazem parte da bacia hidrográfica Guapi/Macacu pertencente à sub-região Leste da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara. O estado do Rio de Janeiro está dividido, de acordo com INEA (2013) em 9 (nove) Regiões Hidrográficas, para fins de gestão de recursos hídricos, aprovadas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos em 2013. A figura 12 abaixo apresenta todas as 9 regiões hidrográficas do estado, sendo a região V – Baía de Guanabara - a que abrange os municípios de Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito, Tanguá, Itaboraí, São Gonçalo, Guapimirim e Magé e região metropolitana do Rio de Janeiro.

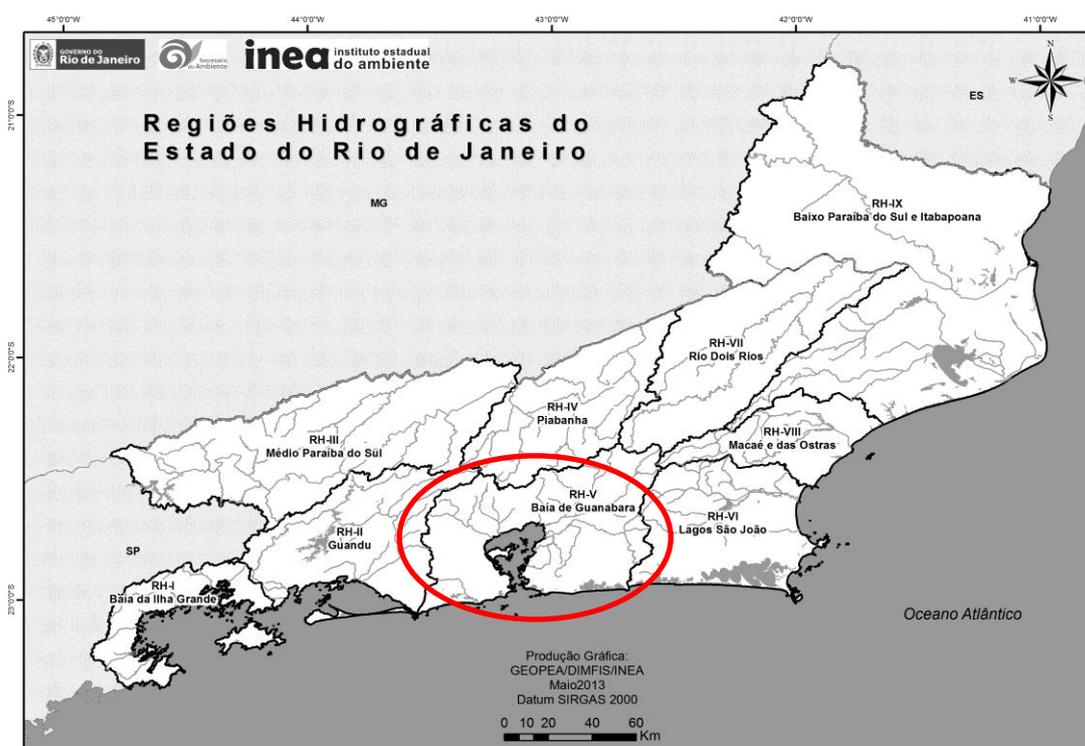


Figura 12- Regiões hidrográficas Rio de Janeiro.

Fonte: INEA, 2013

Segundo a CEDAE (2014) a Bacia Guapi/Macacu possui uma área de 1100km², perímetro de aproximadamente 199km e, seus rios principais Guapiaçu e Macacu possuem extensões de 40km e 70km respectivamente. Sua área é delimitada ao Norte e Noroeste pela Serra dos Órgãos, a Nordeste pela Serra de Macaé de Cima, a leste pela Serra da Botija e de Monte Azul e, ao Sul pela Serra do Sambé dos Garcias. A nascente do curso d'água principal está localizada na Serra da Boa Vista no município de Cachoeira de Macacu, enquanto sua foz encontra-se na Baía de Guanabara dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim.

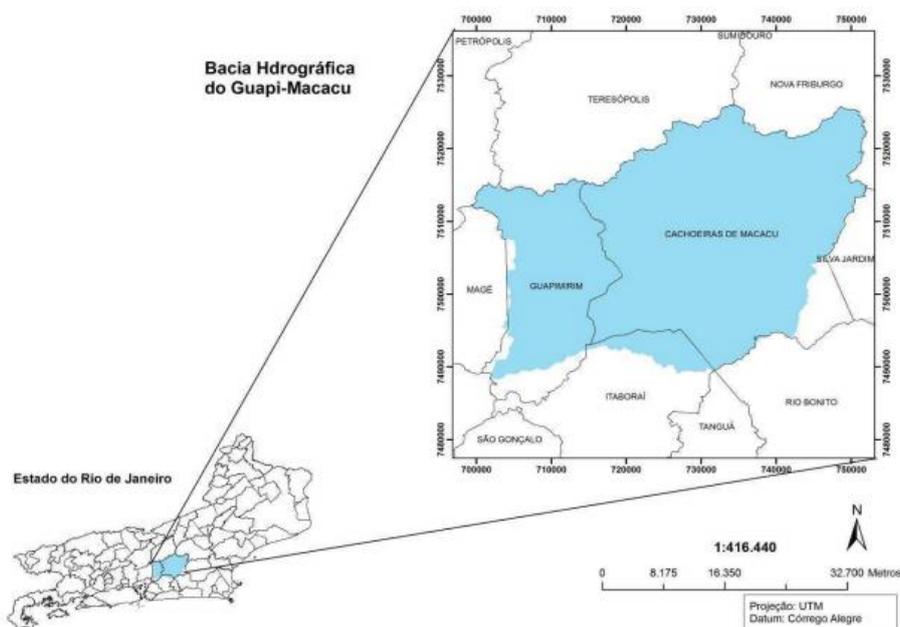


Figura 13- Localização Bacia Guapi-Macacu.

Fonte: FERREIRA, 2012

A região da bacia do Guapi-Macacu sofreu uma série de obras de engenharia entre os anos 1940 e 1960, que alteraram sua configuração de ocupação uma vez que através delas desviou-se o rio Macacu para o rio Guapimirim, isolando a bacia do rio Caceribu. Além das obras de drenagem e retificação dos rios principais, a região recebeu ainda obras para a construção de rodovias, sendo uma delas a BR-101 interligando o Rio de Janeiro à região dos lagos.

Desta forma, ao longo do tempo foram observadas intensas modificações nas paisagens ao longo da bacia. O crescimento urbano acelerado em conjunto com a

expansão dos sistemas produtivos da região e as consequentes obras para adaptação resultaram em severos impactos sob a natureza local. Alguns problemas enfrentados hoje na bacia são o assoreamento dos rios, erosão e piora na qualidade da água ligada ao lançamento de esgoto in natura.

3.1.2. Usos da água

Segundo o Estudo de Impacto Ambiental referente à implantação da Barragem do Rio Guapi-Açu, AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA (2013), os rios da bacia do Guapi-Macacu enquadram-se majoritariamente na Classe II. Este enquadramento foi determinado com base no estudo desenvolvido pela CONCREMAT (2007) que apresentou os dados para caracterização da qualidade das águas, apoiados no Plano Diretor de Recursos Hídricos da região Hidrográfica da Baía de Guanabara.

Conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, CONAMA (2005), em seu artigo 4º as águas doces classificadas como Classe II podem ser destinadas aos seguintes usos:

- a) Abastecimento de água com tratamento convencional para consumo humano;
- b) Proteção das comunidades aquáticas;
- c) Recreação com contato direto à água, como mergulho;
- d) Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) Atividade de pesca e aquicultura;

As águas do Complexo Hidrográfico Guapi-Macacu são utilizadas para todos os destinos previstos pela CONAMA (2005) expostos acima. Suas águas atendem principalmente ao abastecimento público de diversos municípios, dentre eles o de Cachoeira de Macacu, Guapimirim, Itaboraí, São Gonçalo, Ilha de Paquetá e Niterói. Ademais, os recursos também são utilizados para atividades industriais, irrigação, piscicultura, pesca, lazer entre outras de acordo com o relatório de Consumo e abastecimento de água nas bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu da EMBRAPA (BENAVIDES *et al.*, 2009).

Segundo dados do Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro, FUNDAÇÃO CEPERJ (2013), a soma dos consumos faturados para residências de São Gonçalo e Niterói chegou em 2010 a 143.974.000 m³ /ano de água. O abastecimento de

água pela rede distribuidora geral também é destinado para estabelecimentos comerciais, públicos e industriais sem captação própria.

Município	Área beneficiada pelas captações (ha)	Volume total mensal (m ³) (¹)
Cachoeiras do Macacu	644	578
Guapimirim	1350	1.170
Itaboraí	19	17
Total	2013	1.765

Fonte: Adaptado de Costa (1999, p. 113).

(¹) Foram utilizadas as taxas de evapotranspiração consideradas pela EMATER-Rio para os cálculos de projetos irrigação para toda a bacia, que são de 30 m³/dia. O valor de 25 m³/dia foi utilizado nos locais onde a pluviosidade é maior (mais próximos à serra).

Figura 14- Área e volume das captações para irrigação em 1999

Fonte: BENAVIDES et al., 2009

Além da rede geral de abastecimento de água tratada, existem ainda os consumidores que fazem captação direta da bacia do Guapi-Macacu, principalmente de águas superficiais. Um exemplo de captação direta dessa região são os grandes complexos industriais como a empresa Schincariol e a CCPL (Cooperativa Central dos Produtores de Leite Ltda) em Cachoeira de Macacu. O mapa abaixo demonstra os maiores complexos industriais da porção leste da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara até 2001.

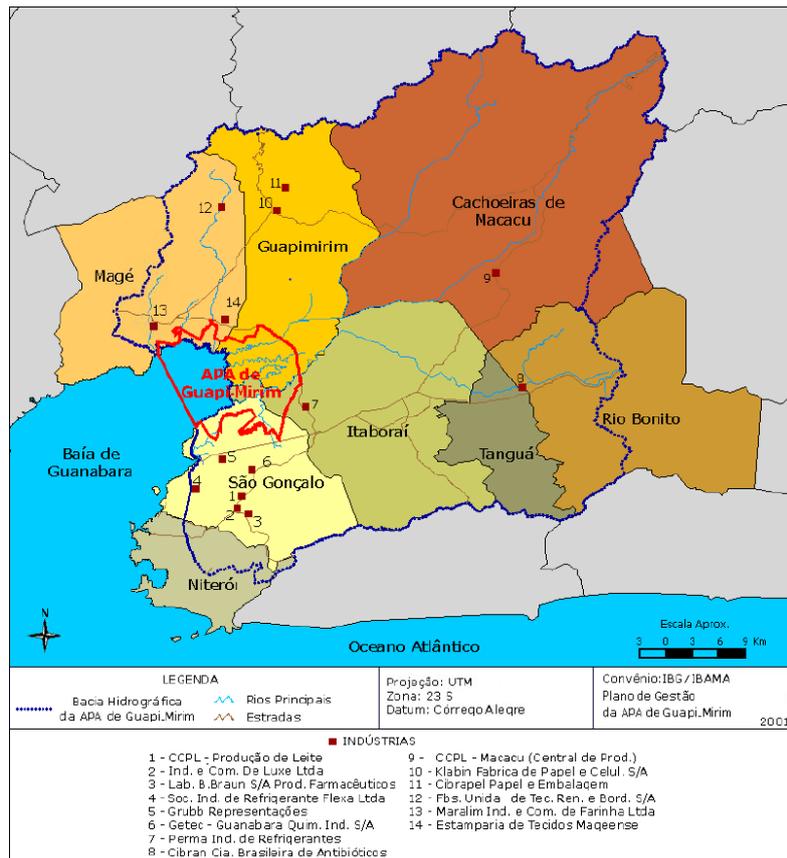


Figura 15- Indústrias porção leste da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara.

Fonte: MMA, 2001

Outros tipos comuns de uso direto são a irrigação de produções de lavoura e pecuária e captação de poços e nascentes para consumo.

Ademais a criação de peixes também é uma atividade comum da bacia hidrográfica do Guapi-Macacu. O empreendimento mais significativo de piscicultura da região é o das Casas Sendas, com captação na Vala de Sernambetiba, afluente do rio Guaxindiba/Alcântara.

3.1.3. Comitê de Bacia da Baía de Guanabara

O Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá, foi instituído em 2005 a partir de iniciativas da sociedade civil e dos usuários da água com o apoio da Secretaria de Estado de Recursos Hídricos. (CBBG, 2016)

Seu objetivo principal é proteger, conservar e recuperar os corpos d'água de forma que seja alcançado o uso sustentável destes recursos naturais. O Comitê procura

ainda proporcionar uma gestão integrada entre poder público, usuários e sociedade civil tal que os recursos hídricos da bacia sejam conservados e recuperados quanto aos aspectos de qualidade e quantidade.

São competências também do comitê elaborar o Plano Diretor de Recursos Hídricos do Comitê da Baía de Guanabara, propor o enquadramento dos corpos hídricos em classes, aprovar o plano de aplicação dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso das águas, entre outros.

O comitê engloba seis regiões hidrográficas distintas, possibilitando a estas regiões a se organizarem em subcomitês. São eles:

- Subcomitê Maricá-Guarapina
- Subcomitê Itaipu-Piratininga
- Subcomitê Oeste
- Subcomitê Lagoa Rodrigo de Freitas
- Subcomitê Jacarepaguá
- Subcomitê Leste

A Bacia Guapi-Macacu é gerenciada pelo Subcomitê Leste o qual inclui integralmente, os municípios de São Gonçalo, Itaboraí, Tanguá e Guapimirim, e, parcialmente, Rio Bonito, Magé, Cachoeiras de Macacu e Niterói.

3.1.4. Usos do Solo

Conforme estudo realizado pela EMBRAPA em 2008 (FIDALGO *et al.*, 2008), a área da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu pode ser dividida em 11 categorias com diferentes usos do solo como ilustrado pelo mapa a seguir.

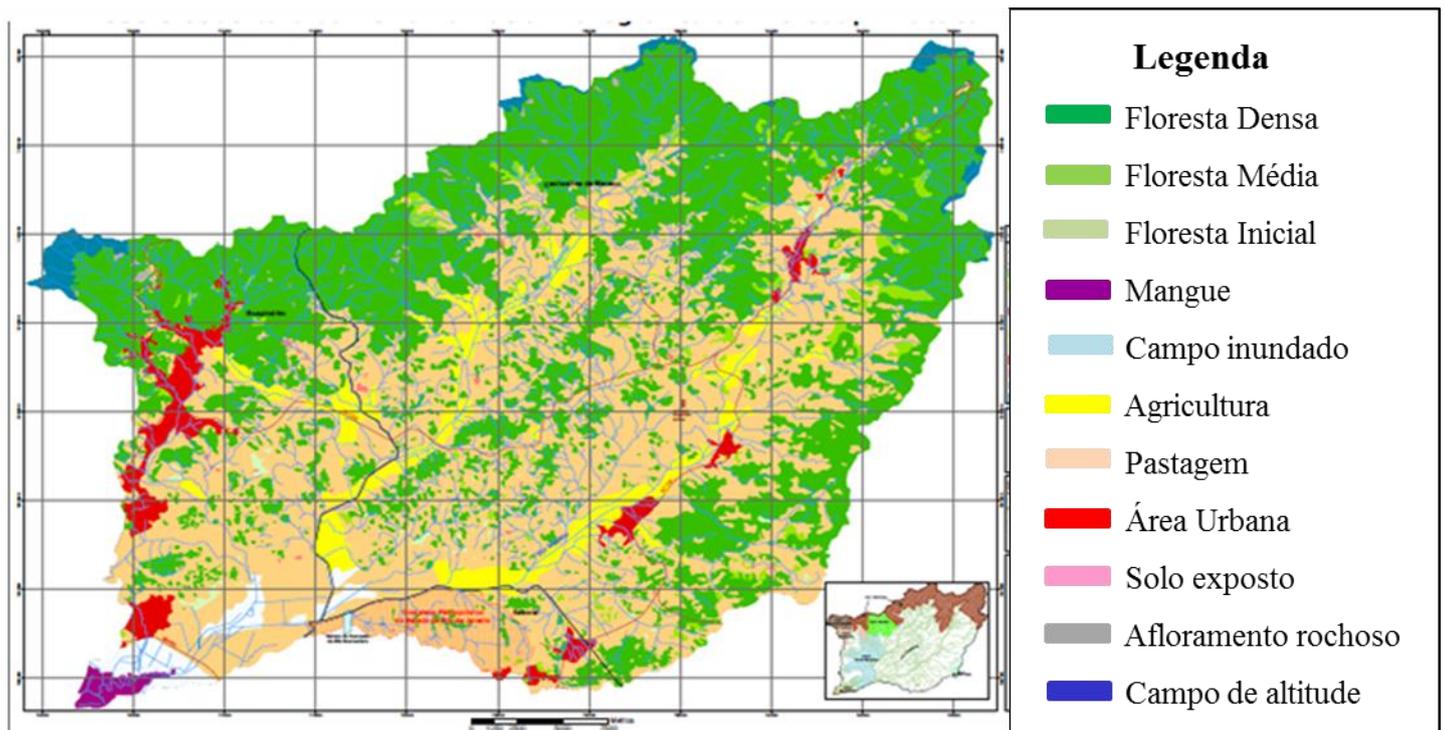


Figura 16- Usos do Solo e cobertura da terra Bacia Guapi Macacu

Fonte: FIDALGO et al.,2008

As categorias de uso do solo definidas pela Embrapa são:

- a) Floresta Densa (verde escuro) – vegetação em estágio avançado de regeneração apresentando fisionomia arbórea.
- b) Floresta média (verde) – vegetação em estágio médio de regeneração apresentando fisionomia arbustiva.
- c) Floresta inicial (verde claro) – vegetação em estágio inicial de regeneração apresentando fisionomia herbácea.
- d) Mangue (roxo) - Vegetação com influência flúvio-marinha onde desenvolve-se uma flora específica.
- e) Campo inundado (azul claro) - vegetação em área de alagamento constante ou periódico.
- f) Agricultura (amarelo) – área de produção agrícola sazonais ou permanentes.
- g) Pastagem (laranja) – campo com diferentes tipos de manejo, incluindo áreas abandonadas e degradadas.
- h) Área urbana (vermelho) - áreas com concentração de núcleo populacional.
- i) Solo exposto (rosa) – área onde cobertura vegetal foi removida.

- j) Afloramento rochoso (cinza) - vegetação ausente ou de baixa densidade com predominância de rochas expostas.
- k) Campo de altitude (azul escuro) - Vegetação típica de ambientes montano e alto-montano.

A partir do mapa observa-se o predomínio principal de duas classificações: Floresta densa e Pastagem. A vegetação natural concentra-se nas partes mais altas, região de serra, enquanto as pastagens e áreas degradadas ocupam as baixadas e recobrem os morros.

As áreas ligadas à agricultura concentram-se ao longo dos cursos dos rios e próximas a rodovias, uma vez que desta forma o acesso torna-se mais fácil.

Observa-se ainda uma região de manguezal na foz do rio Macacu ao desembocar na Baía de Guanabara e algumas áreas de alagamento sazonal.

Os núcleos de ocupação urbana observados no interior da bacia Guapi-Macacu são Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e Itaboraí.

Por fim, existem ainda as áreas onde a vegetação foi completamente removida, ocupadas por atividades como agricultura e mineração, ou ainda regiões que sofrem processos erosivos.

O gráfico abaixo mostra a relação do tipo de uso do solo com a área ocupada por cada categoria, o qual apresenta que 86% da área total da bacia do rio Guapi-Macacu é ocupada por floresta e pastagens. Entretanto, deve-se ressaltar que praticamente a metade da área da bacia (51,4%) encontra-se sob proteção legal através das Unidades de Conservação de Proteção Integral e de Uso Sustentável.

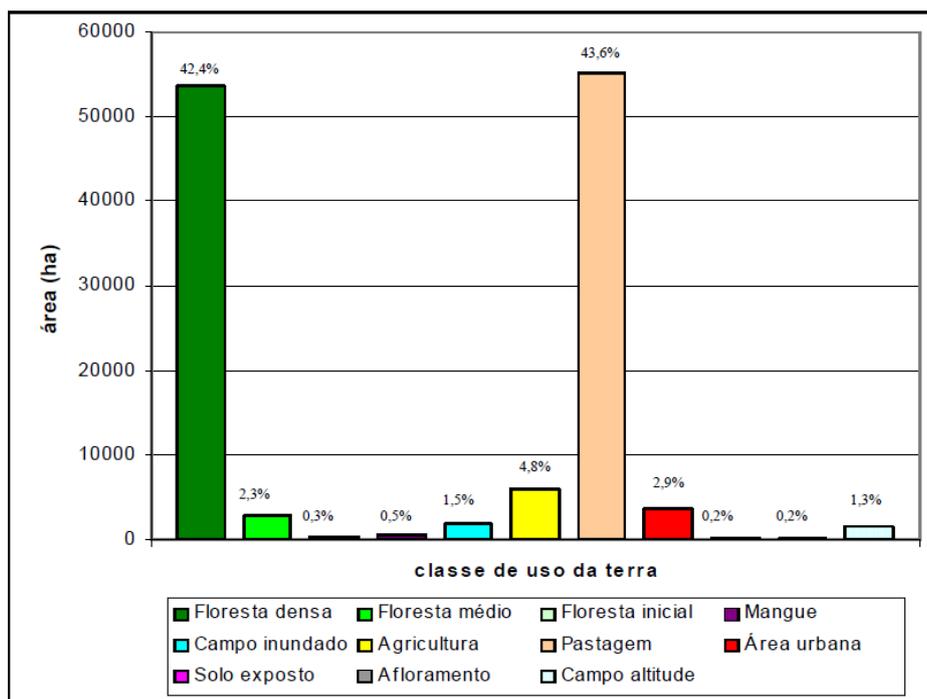


Figura 17- Gráfico Área x Classes de uso da terra

Fonte: FIDALGO et al., 2008

3.1.5. Clima

O clima da região da bacia Guapi-Macacu é caracterizado por ser quente e úmido e, de acordo com os dados do Plano de Manejo da APA Macacu, pode ser classificado como Tropical. Por se tratar de um clima tropical, os municípios compreendidos pela bacia apresentam em geral um verão quente, úmido e com chuvas intensas, enquanto o inverno é mais frio e seco.

As temperaturas médias na região variam entre 19 e 26°C, sendo Janeiro o mês mais quente e Julho o período mais frio do ano. As temperaturas na bacia também se alteram de acordo com a altitude, onde as mais altas, acima de 25°C, ocorrem geralmente em altitudes abaixo de 200m e as temperaturas mais amenas em áreas de maior elevação. A amplitude térmica na bacia é relativamente baixa, ficando em torno de 5°C.

A época mais úmida do ano na região da Bacia Guapi-Macacu é o verão conforme já mencionado e, portanto, é nesta estação que se concentram os maiores índices de pluviosidade, cerca de 340mm ao mês. Estima-se que a pluviosidade média anual da bacia é aproximadamente 1500mm nas áreas baixas e 2500mm nas escarpas da serra, com aproximadamente 140 dias chuvosos ao ano.

O mapa a seguir apresenta pontos de coleta de dados de chuva ao longo da área da bacia Guapi-Macacu. Os dados pluviométricos foram coletados pela empresa AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA (2013) durante a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental para Análise da Viabilidade Ambiental da Implantação da Barragem do Guapi-Açu. As coletas foram realizadas nas estações de pesquisa durante as quatro estações do ano (Verão, Outono, Inverno e Primavera) devido à diferença de interferências climatológicas durante o ano.



Figura 18- Estações pluviométricas de coleta

Fonte: AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2013

A tabela e gráfico a seguir mostram um resumo das amostras coletadas indicando a pluviosidade em mm de cada ponto de coleta para as 4 estações do ano. Os pontos de coleta foram divididos em 4 zonas de acordo com sua localização e relevo: Planícies e Maciços Costeiros, Sopé da Serra, Meia Encosta e Divisor. Para a estação do Garrafão só foram encontrados dados do Verão e Primavera.

Tabela 5- Pluviosidade por Estação do Ano

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados de AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2013

Zonas	Estações	Pluviosidade (mm)			
		Verão	Outono	Inverno	Primavera
Planícies e Maciços Costeiros	Horto Florestal	350	250	200	350
	Ilha do Modesto	320	280	240	350
	Itaboraí	450	200	140	370
	Rio Bonito	380	250	140	370
	Tanguá	480	270	180	420
	Sambetiba	510	250	180	430
Sopé da serra	Magé	750	280	180	550
	Escola da União	730	310	220	580
	Cachoeiras de Macacu	650	320	225	630
Meia Encosta	Andorinhas	930	420	300	790
	Fazenda Coqueiro	800	350	310	700
Divisor	Garrafão	1000	-	-	1000

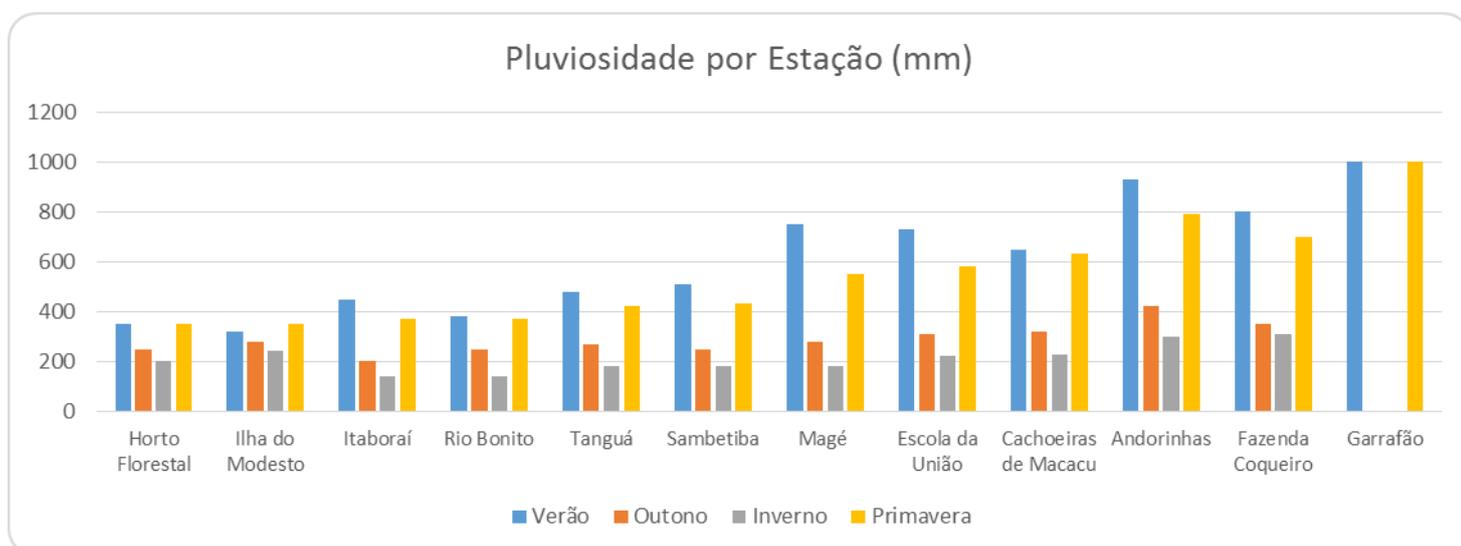


Figura 19- Pluviosidade por Estação do Ano x Estações de Amostragem.

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados de AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2013

Todas as zonas amostradas apresentaram o maior volume de precipitação no verão, seguido da Primavera. Vale ressaltar que a zona no Sopé da Serra apresenta

índices pluviométricos maiores que a zona de Planícies e Maciços Costeiros provavelmente devido a retenção de massas de ar frio pelas encostas.

É importante destacar também, que os ventos oceânicos praticam forte influência sobre a distribuição das chuvas. Nas localidades sob maior influência geralmente não existe um período preciso de seca, uma vez que as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano. Desta forma, os pontos de coleta Tanguá e Sambetiba por estarem já mais afastados do mar, começam a demonstrar características mais marcantes do clima Tropical Úmido com um verão chuvoso e inverno seco.

3.2. Estação de Tratamento de Água Laranjal

3.2.1. Caracterização geral da ETA

A CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgotos) é responsável pelo abastecimento de água de 64 municípios do Estado do Rio de Janeiro garantindo água potável para cerca de 12 milhões de pessoas. Dentre os sistemas de tratamento de água operados pela CEDAE a Estação de Tratamento do Laranjal (ETA), inaugurada em 1954, é o segundo maior, ficando apenas atrás do sistema Guandu.

O sistema Imunana- Laranjal é responsável pelo fornecimento de água potável para os municípios de Niterói, São Gonçalo, Ilha de Paquetá e Itaipuaçu produzindo 7000L/s para atender em torno de 1 milhão e quinhentas mil pessoas.

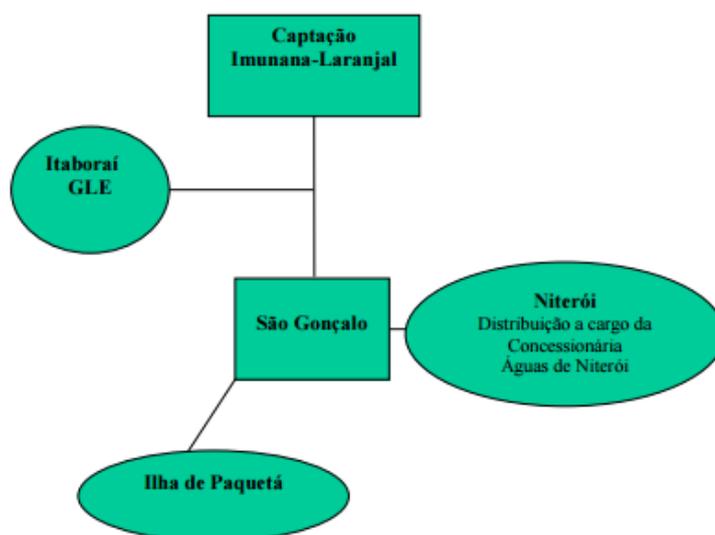


Figura 20- Áreas de Influência Sistema Laranjal
Fonte: CEDAE, 2015

O sistema de tratamento Laranjal-Imunana fica localizado no município de São Gonçalo na Rodovia Amaral Peixoto (RJ-104), Km 13,5, bairro Laranjal, Rio de Janeiro.

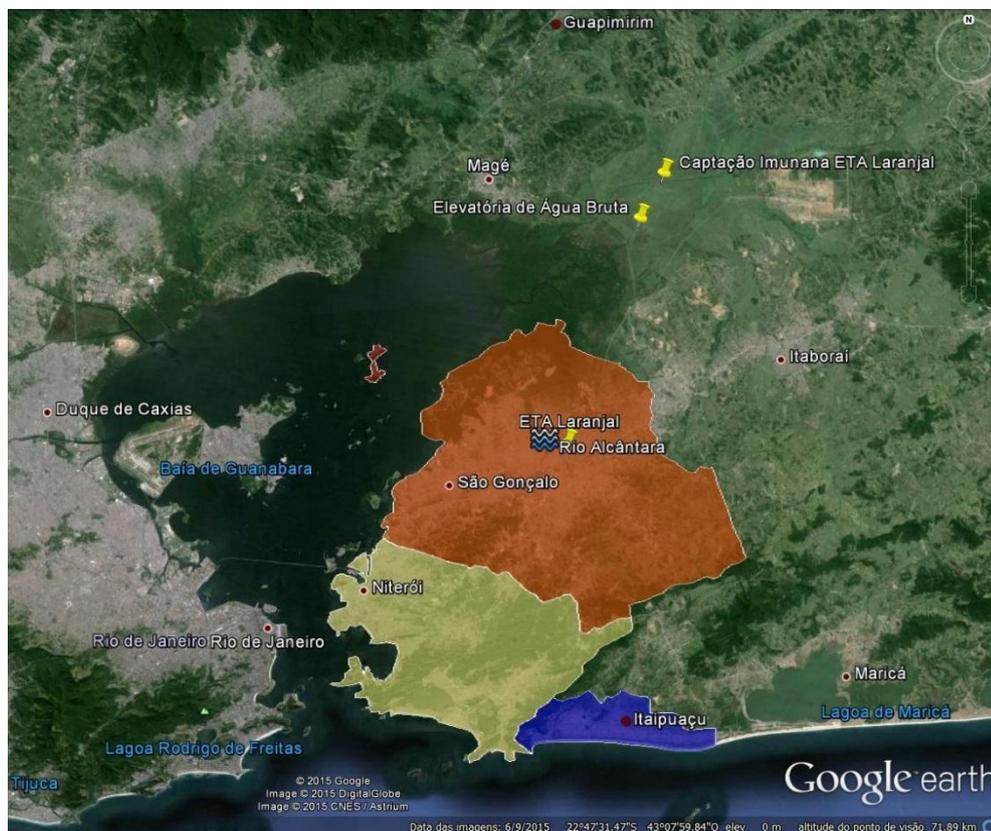


Figura 21- Sistema Imunana Laranjal

Fonte: SILVA, 2015

A captação de água, do tipo superficial, é feita na confluência dos Rios Macacu e Guapi-Açu, em Guapimirim, através do canal de Imunana. Os rios Macacu, Guapi-Açu e Soberbo estão ilustrados na figura 21 assim como o ponto de captação de água bruta, canal de Imunana, e localização da ETA Laranjal. Os principais usos preponderantes desta captação são o abastecimento de água doméstico e industrial além da irrigação. Assim, antes de chegar ao destino final para consumo essa água necessita passar por um processo de tratamento na ETA Laranjal para que suas características alcancem os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 2914/2011.

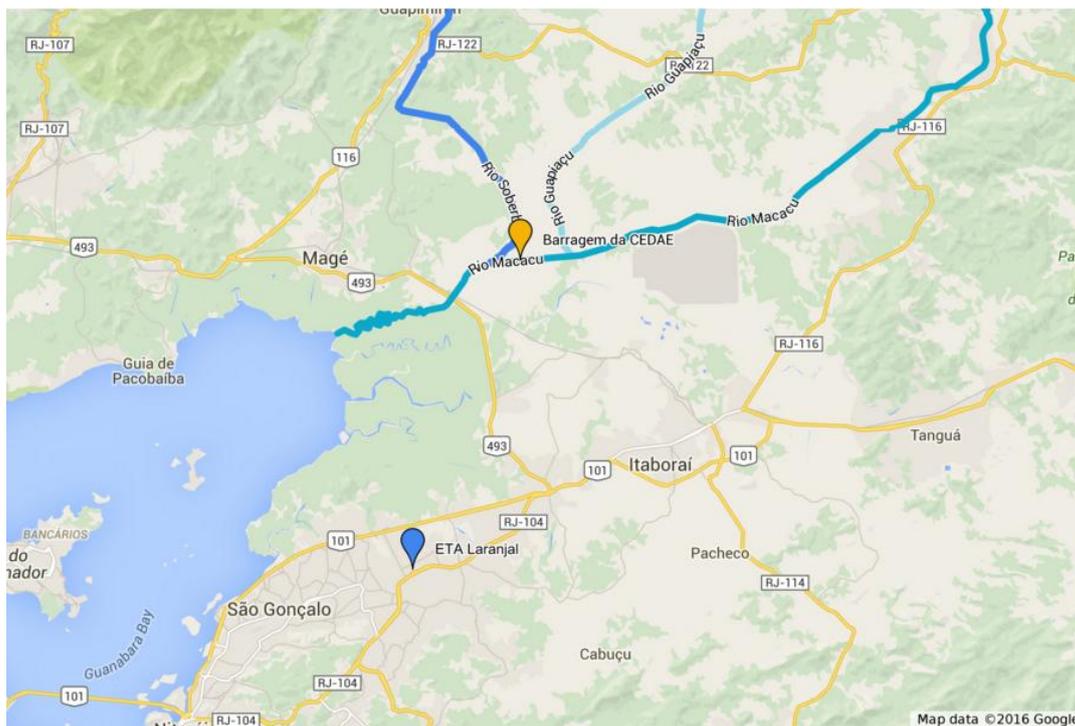


Figura 22- Rio principais bacia Guapi-Macacu

Fonte: Elaboração própria com uso da ferramenta My Maps

Os resíduos da estação por outro lado, são descartados em outro corpo d'água afluente, o Rio Alcântara. Os três rios são considerados segundo a resolução CONAMA 357/2005 como classe 2. A figura 23 abaixo mostra o ponto de lançamento dos efluentes do complexo Laranjal no Rio Alcântara localizado próximo à estação de tratamento.

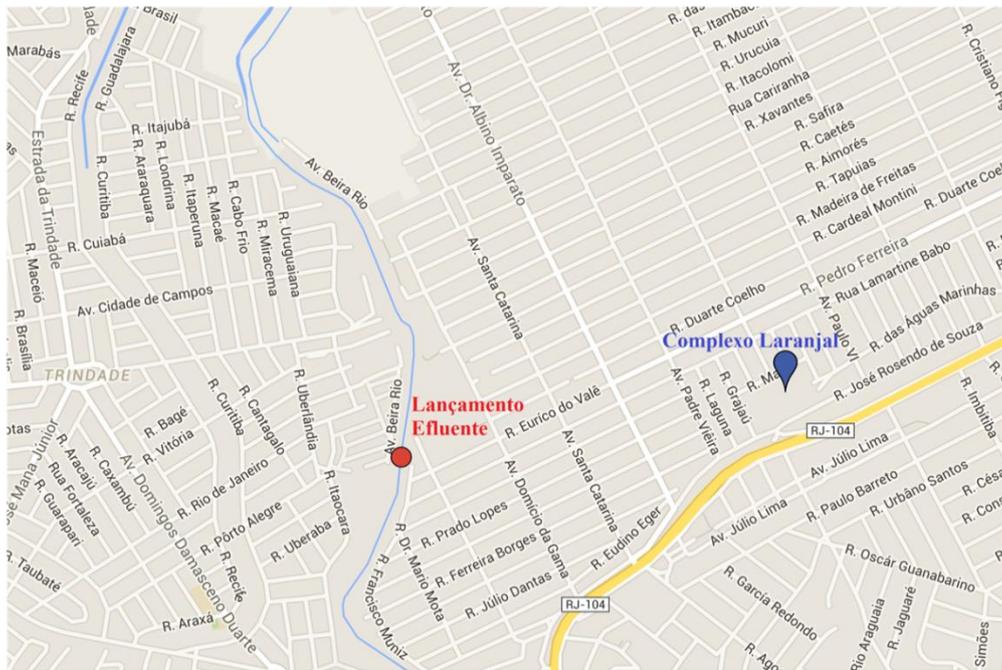


Figura 23- Ponto de lançamento de efluentes

Fonte: Elaboração própria com uso da ferramenta My Maps

O complexo Laranjal hoje é composto por três estações nomeadas de acordo com seu ano de instalação, ETA nº 1, ETA nº 2, ETA nº 3, inauguradas respectivamente em 1954, 1982 e 1998. A vazão nominal do complexo total é de $7 \text{ m}^3/\text{s}$, distribuída entre as três estações, sendo $3 \text{ m}^3/\text{s}$ na ETA nº 1 e $2 \text{ m}^3/\text{s}$ nas ETA nº 2 e 3.

O presente trabalho utilizará para o estudo apenas as informações isoladas da ETA nº 1, por ser a única estação dentre as três com disponibilidade de dados para o cálculo da Pegada Hídrica além de apresentar maior volume e vazão, consequentemente, maior consumo de água quando comparada com as demais.

*Tabela 6 - Qualidade das águas bacia Guapi-Macacu.
Fonte: CONCREMAT, 2007*

Bacia	Rios Principais	Pontos de Coleta	DBO (Mg/L)	OD (Mg/L)	Coli Fecais (NMP/ml)	Poluição Predominante
Guapi-Macacu	Guapi	GP - 600	2,0	4,7*	24.000*	Doméstica Agrotóxica Industrial
		GP - 601	2,0	6,4	24.000*	
	Macacu	MC - 967	<2,0	8,0	50.000*	
	Soberbo	SB - 998	9,6*	5,4	220.000*	
Padrão Classe 2			<5 mg/l	>5 mg/l	<1.000	

(*) Violação do Padrão CONAMA.

Observando os dados acima e comparando-os com os tipos de águas naturais para abastecimento público definidos pela NBR 12216/1992, nota-se que pela mediana encontrada de DBO as águas da bacia do presente estudo deveriam ser consideradas como Tipo B para os rios Guapi e Macacu, e tipo D para o rio Soberbo. Entretanto, se a análise for feita através do prisma da mediana de Coliformes, os três rios encontram-se acima de 20.000 NPM/100 ml, o que os classifica como Tipo D.

A qualidade da água dos rios da bacia está diretamente associada à ocupação antrópica e ao uso do solo do entorno. Desta forma, a expansão urbana e industrial associada ao lançamento de efluentes inadequados na região ao longo dos anos certamente influenciou para uma piora das características dos rios apresentadas na Tabela 6.

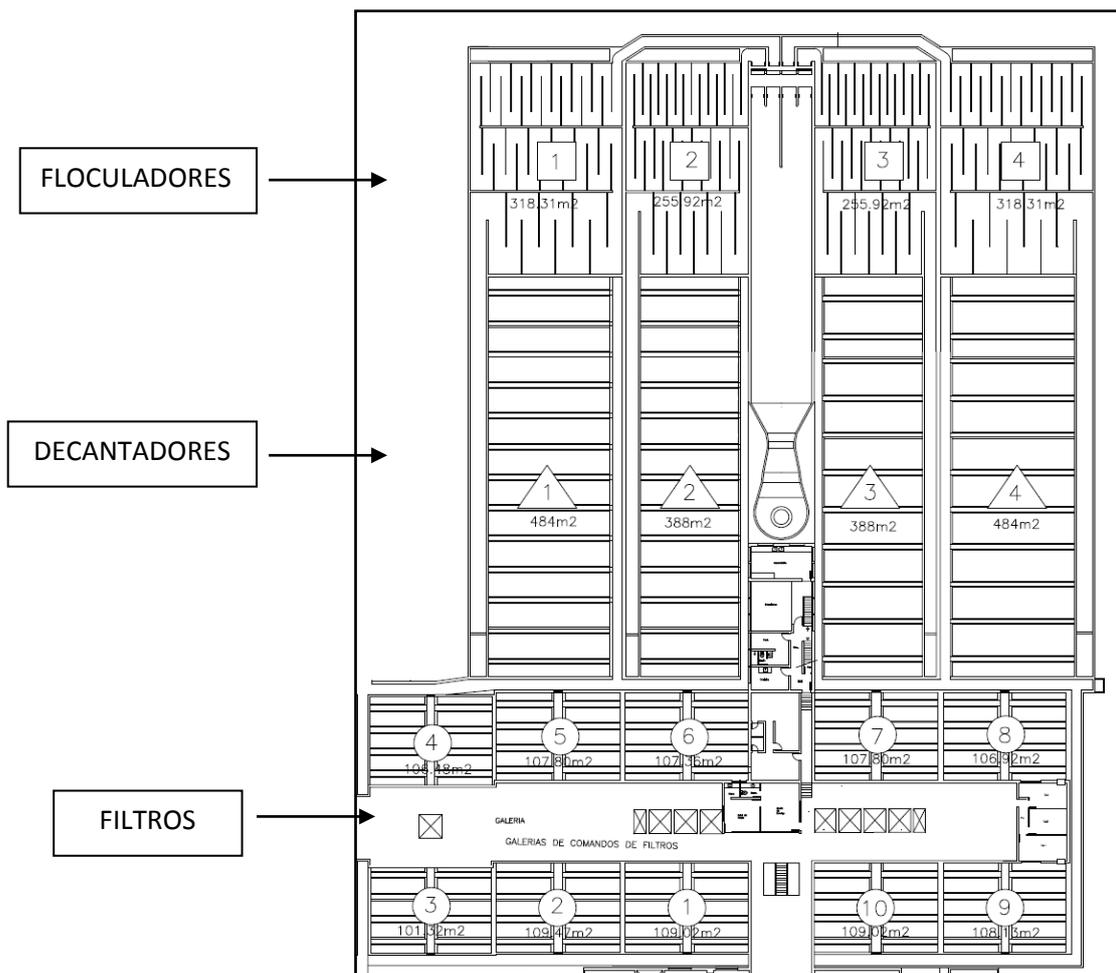
Assim, baseado na qualidade da água da bacia destinada ao abastecimento público a Estação de Tratamento do Laranjal utiliza como metodologia de tratamento da água a ser distribuída para os diversos municípios atendidos um Tratamento Convencional Físico-Químico. Este tratamento deve garantir o pleno atendimento dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 2914/2011.

3.2.3. Características do tratamento ETA Laranjal

Conforme dito, o tratamento na ETA nº 1 é do tipo convencional, englobando as etapas de coagulação (mistura rápida), floculação (mistura lenta), decantação, filtração rápida, desinfecção, correção do PH e fluoretação, garantindo que a qualidade da água atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 2914/2011.

A etapa de mistura rápida na ETA nº 1 é realizada em uma calha Parshall aonde são inseridos o coagulante Sulfato de Alumínio líquido e um Polímero Aniônico. Em seguida a água é direcionada para 4 sistemas de floculação-decantação passando primeiramente pelos floculadores hidráulicos onde ocorre a mistura lenta. As

dimensões destes floculadores são diferentes, sendo 2 com área superficial de 255,92m² e os outros 2 com área superficial de 318,31m². Após sair dos floculadores, a água segue em direção aos 4 decantadores de fluxo ascendente com módulos tubulares em PVC (lamelas). As áreas superficiais de 2 dos 4 decantadores é de 388 m² e os demais possuem área superficial de 484 m². A próxima etapa do tratamento é a filtração realizada em 8 filtros de areia de fluxo descendente com área superficial de 108 m², enquanto 2 filtros permanecem sempre em manutenção. Por fim, ao deixar os filtros, a água tratada passa pelos processos de desinfecção, correção de PH e fluoretação.



*Figura 25- Planta baixa da ETA nº 1 de Laranjal
Fonte: SILVA, 2015*

O consumo de água na estação ao longo do processo de tratamento da água bruta é de três tipos: Consumo direto, evaporação e consumo para diluição dos efluentes. O consumo de água direto na estação é feito para realizar a lavagem das unidades, incluindo a lavagem diária dos filtros e a lavagem mensal do decantador. Toda a estação é descoberta e, portanto existe a perda de água devido à evaporação do espelho d'água das unidades de maior dimensão. Os resíduos da estação possuem 3 origens, a descarga

de fundo diária do decantador durante 3 minutos, a água de lavagem dos filtros e a água de lavagem mensal dos decantadores. Sendo assim, estes resíduos ao serem lançados sem tratamento no rio Alcântara necessitam de uma determinada quantidade de água para que possam ser diluídos, configurando como um consumo indireto da estação.

Vale lembrar que outros tipos de consumo para o funcionamento da estação como a água que chega aos laboratórios, cozinha e banheiros não fazem parte do processo produtivo da água tratada. Desta forma, estes volumes de água consumidos não serão considerados no presente trabalho.

4. Metodologia de Trabalho

Conforme mostrado no Capítulo 3, a metodologia para o cálculo de Pegada Hídrica foi desenvolvido pelo Water Footprint Network, seus parceiros e cientistas da Universidade de Twente, na Holanda. Estes, num esforço conjunto, tornaram disponível o “Manual de Avaliação de Pegada Hídrica” (The Water Footprint Assessment Manual) com o intuito de democratizar o conhecimento acerca do tema e, conseqüentemente, difundir-lo. O manual apresenta o conceito de pegada hídrica e seus componentes, especificando normas para seu cálculo e avaliação. Portanto, toda a metodologia de cálculo de pegada hídrica apresentada nesse capítulo é baseada no manual desenvolvido por HOEKSTRA *et al.* (2011).

A avaliação completa da Pegada Hídrica envolve 4 etapas distintas:

- 1) Definição de escopo e objetivo
- 2) Contabilidade da Pegada Hídrica
- 3) Análise de Sustentabilidade da Pegada Hídrica
- 4) Formulação de resposta estratégica

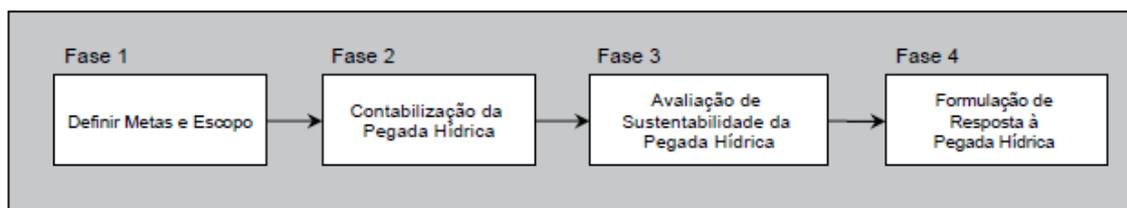


Figura 26- Fases da avaliação de Pegada Hídrica.

Fonte: HOEKSTRA et al., 2011

A primeira fase engloba, portanto a definição clara do objeto de interesse do estudo. O presente trabalho busca mensurar a Pegada Hídrica do produto final do tratamento de água na ETA Laranjal, ou seja, qual o volume de água gasto para que seja produzido 1L de água tratada. Desta forma, para que se alcance o valor da pegada de interesse é necessário que sejam calculadas também as pegadas dos processos de tratamento como será explicado mais adiante no capítulo. Os componentes da Pegada Hídrica utilizados, a escala de tempo, entre outras informações serão definidas também ao longo do capítulo.

Outra importante definição nesta fase é o objetivo final do estudo, que neste caso, é a própria quantificação do consumo de água para que seja possível a elaboração de uma

análise de sustentabilidade do tratamento assim como proposição de medidas para redução do consumo e perdas.

A etapa seguinte é a contabilização da Pegada Hídrica na qual os dados são coletados e as quantificações desenvolvidas. A base para o cálculo da Pegada Hídrica neste estudo são os processos unitários da produção de água tratada onde a soma resultante é a Pegada Hídrica do produto final. Vale lembrar que o nível de detalhamento na contabilização depende das decisões feitas na fase anterior de definição de escopo e objetivos.

A terceira fase consiste em uma avaliação de uma perspectiva ambiental, social e econômica. Desta forma, este capítulo abordará também a metodologia de obtenção de dados sobre disponibilidade hídrica do Canal de Imunana, onde ocorre a captação da água que chega a estação, para análise da sustentabilidade ambiental da Pegada Hídrica do tratamento da ETA Laranjal.

Por fim, a última etapa de Avaliação da pegada Hídrica seria a formulação de resposta estratégica, ou seja, encontrar soluções ou medidas mitigadoras para os problemas encontrados. Esta fase será melhor abordada no capítulo de Discussão dos resultados encontrados.

Sendo assim, este capítulo abordará primeiro a metodologia para cálculo da Pegada Hídrica dos processos ao longo do tratamento de água, assim como as premissas e parâmetros adotados no cálculo. Em seguida, será ilustrada a metodologia para o cálculo do produto final, sendo este, 1L de água potável. E, finalmente, o capítulo irá trazer a explicação sobre a obtenção de dados para realização da análise de sustentabilidade de acordo com a disponibilidade hídrica dos Rios Guapiaçu e Macacu.

4.1. Pegada Hídrica Processos

A Pegada Hídrica de uma etapa do processo produtivo é considerada como a unidade básica para o cálculo de todas as outras pegadas hídricas, conforme mostrado na Figura 27, e é expressa na forma de volume de água por unidade de tempo. Isso acontece devido ao “fato de que as pegadas hídricas dos processos são sempre e exclusivamente alocadas em um único produto final ou, quando um processo contribui para mais de um produto final, a pegada hídrica de um processo é dividida entre os diferentes produtos finais” (HOEKSTRA *et al.*, 2011). De posse dessa informação, é

possível calcular a pegada hídrica de um consumidor, somando a de todos os produtos consumidos e, conseqüentemente, de um grupo de consumidores. A partir da pegada hídrica de produtos, é possível, também, calcular a dos produtores e, portanto, de um grupo de produtores. Por último, somando a pegada hídrica de todos os processos que ocorrem em uma área delimitada, podemos calcular a pegada hídrica total dentro desta e realizar suas devidas análises como, por exemplo, a escassez hídrica numa região.

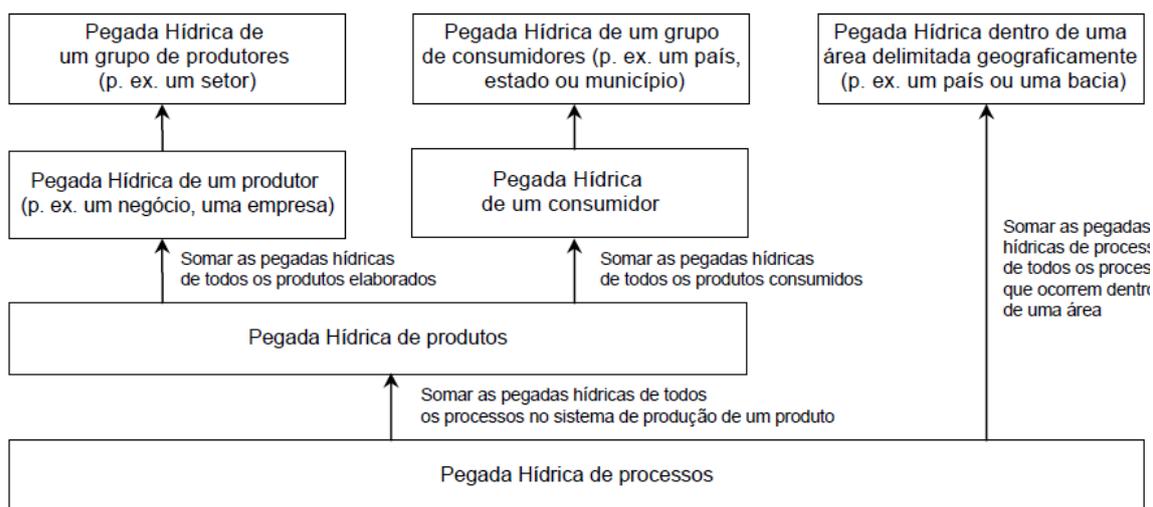


Figura 27- Pegadas Hídricas de processos como a unidade básica para todas as outras pegadas hídricas.

Fonte: HOEKSTRA *et al.*, 2011

No presente subitem, será introduzida metodologia de cálculo de Pegada Hídrica de Processos, especificando para as diferentes componentes (azul, verde e cinza) e evidenciando as particularidades e premissas do caso estudado.

4.1.1. Pegada Hídrica Azul

A água que é conhecida como *água azul* refere-se à água doce superficial ou subterrânea de uma bacia hidrográfica. A Pegada Hídrica Azul funciona como um medidor do volume de água consumido em um exato período de tempo que não é retornada imediatamente para a mesma bacia de captação. A partir da fórmula abaixo, proposta por HOEKSTRA *et al.* (2011), pode-se calcular a Pegada Hídrica Azul direta dos processos envolvidos na produção da água potável.

$$PH_{proc,azul} = \text{Evaporação da água azul} + \text{Incorporação da água azul} + \text{Vazão de retorno perdida [volume/tempo]}$$

Os valores das três componentes da equação são calculados para as três etapas onde há uso consuntivo de água no processo de tratamento, ou seja, floculação, decantação e

filtração. Sendo assim, este trabalho apresenta uma Pegada Hídrica Azul para cada um destes três processos.

A Pegada Hídrica Azul do floculador apenas conta com a primeira componente da equação, a evaporação. As duas outras parcelas podem ser consideradas nulas, uma vez que segundo SILVA (2015) a limpeza de floculadores não apresenta um volume de água produzido representativo.

$$PH_{floculação,azul} = \text{Evaporação do floculador [volume/tempo]}$$

Desta forma, o foco da Pegada Hídrica Azul fica restrito as etapas de sedimentação e filtração do tratamento de água.

O cálculo para Pegada Hídrica Azul do processo de sedimentação será igual à evaporação do tanque de decantação somada ao volume gasto com a limpeza mensal e descarga diária dos decantadores. O volume de água gasto com a limpeza mensal e aquele perdido com a descarga de fundo diária dos decantadores corresponde à componente de vazão de retorno perdida, já que os efluentes são lançados no Rio Alcântara fora da bacia Guapi-Macacu de onde a água foi retirada.

$$PH_{decantação,azul} = \text{Evaporação dos Decantadores} + (\text{Limpeza Mensal Decantadores} + \text{Descarga Diária Decantadores}) \text{ [volume/tempo]}$$

A parcela da equação correspondente à incorporação da água azul é igual a zero. Entende-se incorporação de água azul como sendo o volume de água que é assimilado pelo produto final ao longo de seu processo produtivo.

Sendo assim, neste estudo a água incorporada ao produto é aquela que passará por todas as etapas de tratamento, ou seja, é a vazão total de água tratada produzida pela ETA Laranjal 01. Se fosse considerada para o cálculo da Pegada Hídrica Azul a vazão de água bruta captada no canal de Imunana, como sendo a água incorporada, haveria dupla contagem, já que a vazão bruta inclui não só água tratada como a evaporada e também a perda na descarga de fundo diária.

Já que o processo de filtração é o último do tratamento de água no qual ocorrem perdas, pode-se considerar que a incorporação de água acontece nesta etapa. Logo, a incorporação é igual à vazão produzida pela estação que vai para a rede de abastecimento, sendo a vazão da rede igual ao total produzido menos a vazão destinada à lavagem de equipamentos.

Por fim, a Pegada Hídrica Azul do processo de filtração pode ser resumida pela equação a seguir.

$$PH_{\text{filtração, azul}} = \text{Evaporação dos filtros} + (\text{Água Tratada} - \text{Limpeza Decantador} - \text{Limpeza Filtros}) + \text{Limpeza Filtros} \text{ [volume/tempo]}$$

As Pegadas Hídricas Azul referente aos processos de floculação, decantação e filtração podem ser ilustradas pelo esquema abaixo.

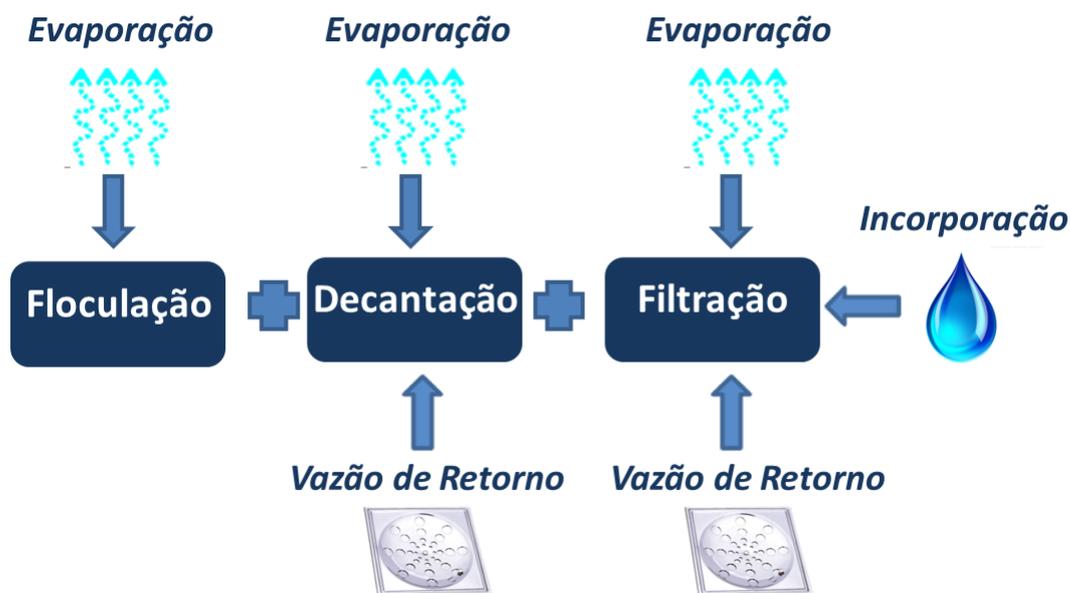


Figura 28 - Componentes da Pegada Hídrica Azul.
Fonte: Elaboração própria

4.1.2. Cálculo de evaporação

Conforme dito por HOEKSTRA *et al.* (2011) no Manual de Pegada Hídrica, geralmente um dos consumos mais expressivos no cálculo da Pegada Hídrica é a evaporação. Evaporação pode ser definida como o processo físico de passagem da água do estado líquido para o estado gasoso. Esta mudança de estado está vinculada diretamente com a energia fornecida pela radiação solar. Desta forma, variáveis como temperatura do ar, vento e pressão de vapor que impactam a radiação solar, também contribuem indiretamente para o processo de evaporação.

O conceito de evaporação pode ser classificado como real ou potencial. Evaporação potencial é aquela que deveria ocorrer se não houvessem interferências externas como características físicas do lago ou diferenças climáticas entre regiões. Sendo assim, a evaporação real leva em consideração as interferências externas não consideradas na evaporação potencial.

Outro conceito importante relacionado à evaporação é o termo evapotranspiração. Evapotranspiração, segundo ONS (2004) é a perda de água transferida para a atmosfera por evaporação do solo e transpiração da planta. A evapotranspiração também pode ser classificada como potencial ou real, sendo a evapotranspiração real sempre menor ou igual à evapotranspiração potencial, uma vez que a primeira inclui as condições de fatores atmosféricos e umidade do solo.

Em 1963, Bouchet formulou a hipótese da complementaridade a qual definia que a evapotranspiração real e potencial de uma larga superfície homogênea são complementares. Morton em 1983 apresentou o modelo “Complementary Relationship Areal Evaporation” (CRAE) baseado na equação de complementaridade de Bouchet. De acordo com o modelo de CRAE a evapotranspiração de solo saturado (ETS) pode ser calculada de acordo com a equação abaixo onde ETR é a evapotranspiração real (ETR) e ETP a evapotranspiração potencial (MORTON, 1983).

$$ETR + ETP = 2ETS$$

Esta mesma relação de complementaridade se aplica para o modelo “Complementary Relationship Lake Evaporation” (CRLE), onde a evapotranspiração de solo saturado é igual à evaporação do lago.

Ambos os modelos CRAE e CRLE foram testados por Morton para diferentes climas, bacias e rios com características distintas e os resultados foram bastante satisfatórios quando comparados com aqueles obtidos através da metodologia de Balanço Hídrico (ROQUE e SANSIGOLO, 2000).

O Balanço Hídrico propõe uma estimativa de evaporação baseada no princípio da conservação da massa de um lago, reservatório ou outro espelho d’água. Por conseguinte, ao se orientar pela equação da continuidade, o Balanço Hídrico geralmente é uma metodologia bastante precisa, sendo vulnerável apenas às dificuldades de medição de algumas variáveis.

Segundo ONS(2004) a evaporação, baseada na metodologia do Balanço Hídrico, pode ser calculada conforme equação abaixo.

$$E_o = \frac{I - Q}{A} + P - \frac{dV/dt}{A}$$

Onde:

E_o = evaporação

I = vazão total de entrada no reservatório

Q = vazão de saída reservatório

A = área do reservatório

P = precipitação sobre o reservatório

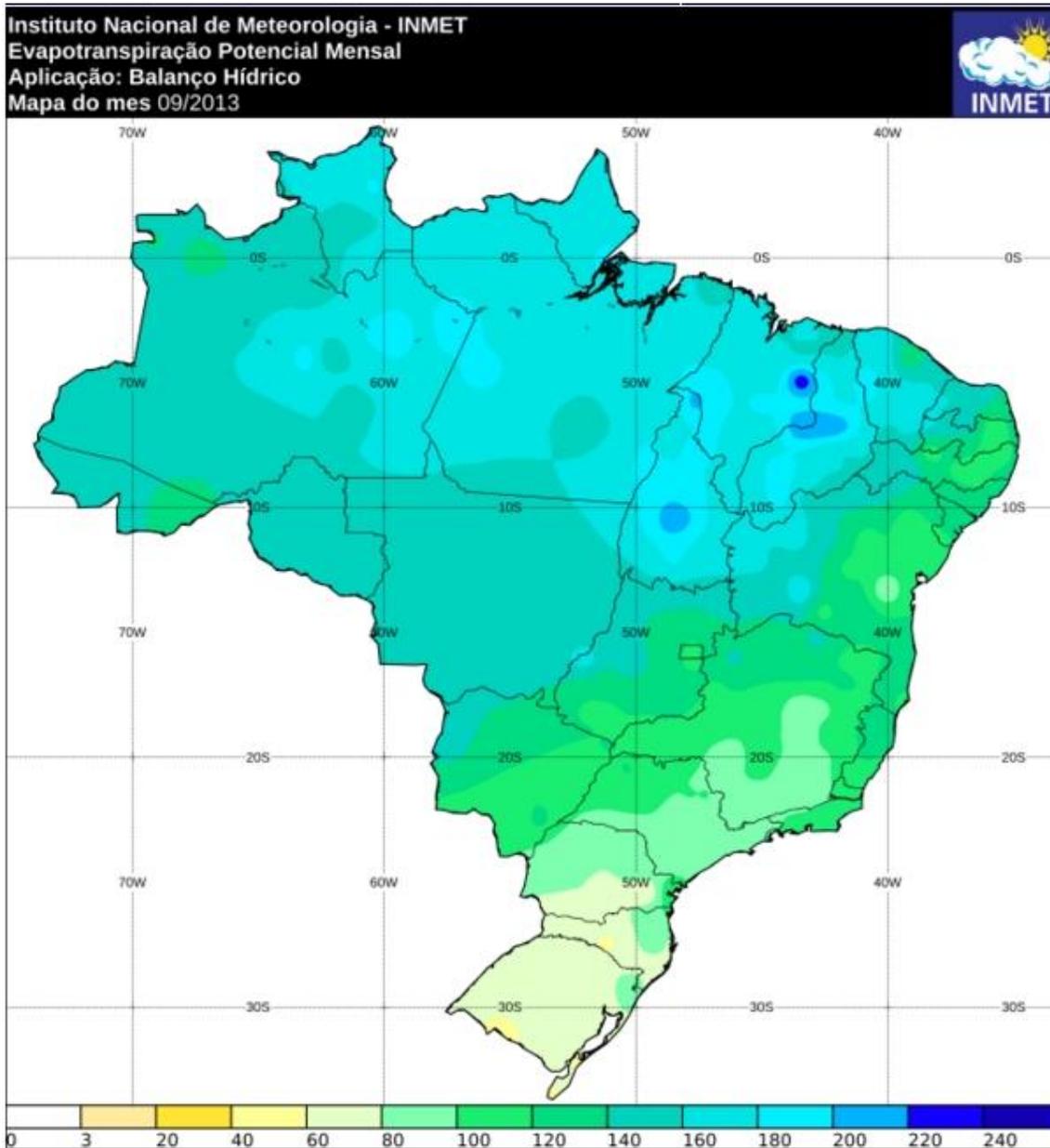
V = volume de água contido no reservatório

t =tempo

O modelo CRLE também já foi empregado em estudos elaborados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) a fim de determinar a evaporação líquida dos reservatórios de usinas hidrelétricas em diversas regiões do país. Os resultados de evaporação foram então utilizados pelo ONS em estudos de consistência e reconstituição de séries de vazões naturais nas principais bacias hidrográficas, o que demonstra a necessidade de adoção de um modelo bastante próximo da realidade.

A credibilidade do modelo CRLE, desenvolvido por Morton, associada à falta de dados de evaporação mais precisos sobre a região do estudo, levou a adoção deste modelo a fim de realizar o cálculo da parcela de evaporação da pegada hídrica azul dos processos de floculação, decantação e filtração da Estação de Tratamento de Água Laranjal número 01.

Os dados de evapotranspiração real e potencial foram obtidos no website do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) através de mapas do Boletim Agroclimatológico. Foram gerados mapas mensais no período de Setembro de 2013 a Fevereiro de 2014 tanto para evapotranspiração real quanto potencial em todo o país. Abaixo, encontra-se um exemplo de mapa ilustrando a evapotranspiração real e potencial no Brasil em Setembro/2013.



*Figura 29- Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Setembro de 2013.
 Fonte: INMET , 2015*

É possível observar pelo mapa acima que a evapotranspiração é apresentada em uma faixa de valores. Sendo assim, para fins de cálculo da pegada hídrica utilizou-se a média entre estes valores como sendo esta a evapotranspiração mensal. A faixa de valores usada por mês foi aquela que mais se aproximava da área onde a estação de tratamento está localizada.

Os mapas para os outros meses dentro do período de tempo de análise podem ser encontrados no Anexo I. A tabela 7 apresenta um resumo das observações levantadas com base nos mapas em anexo.

Tabela 7- Evapotranspiração Potencial, Real e Espelho d'água entre Set/13 e Fev/14
 Fonte: Elaboração própria baseado nos dados de INMET, 2015

Mês	Evapotranspiração Potencial (mm)			Evapotranspiração Real (mm)			Evaporação espelho d'água (mm)
	Min	Max	Média	Min	Max	Média	
09/2013	100	120	110	90	110	100	105
10/2013	120	140	130	90	110	100	115
11/2013	120	140	130	110	130	120	125
12/2013	140	160	150	130	150	140	145
01/2014	140	160	150	90	110	100	125
02/2014	120	140	130	50	70	60	95

A fim de determinar o volume evaporado dos tanques de floculação, decantação e filtros a coluna de água evaporada foi então multiplicada pela área do espelho d'água de cada um destes tanques.

$$\text{Volume}(m^3) = \text{Evaporação (mm)} \times \text{Área espelho d'água}(m^2)$$

As áreas utilizadas dos tanques de floculação, decantação e filtros foram aquelas apresentadas por SILVA (2015). Segue abaixo tabela resumo das áreas superficiais de cada equipamento.

Tabela 8- Áreas Superficiais dos Equipamentos.
 Fonte: Elaboração Própria

Equipamento	Quantidade	Área por equipamento (m ²)	Área total (m ²)
Floculador	2	255,92	511,84
	2	318,81	637,62
Decantador	2	388	776
	2	484	968
Filtro	8	108	864
Total			3757,46

4.1.3. Pegada Hídrica Verde

Água verde refere-se à água proveniente do processo de precipitação (chuva, orvalho, neve, etc.) que fica estocada no solo ou temporariamente no topo das folhas da vegetação, ou seja, não gera escoamento superficial ou recarga de aquíferos subterrâneos. A Pegada Hídrica verde, que é um indicador do consumo humano da água verde, pode ser calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$PH_{proc,verde} = \text{Evaporação de água verde} + \text{Incorporação de água verde [volume/tempo]}$$

Apesar dos reservatórios dos equipamentos onde ocorre o tratamento de água serem abertos e, portanto, a precipitação cair diretamente sobre eles, essa é uma “captação” de

água da chuva que escoaria ou recarregaria o aquífero subterrâneo. Por conseguinte, já que o uso consuntivo dessa água “captada” seria subtraído do escoamento superficial, os autores do manual recomendam que essa água seja considerada água azul.

Sendo assim, a Pegada Hídrica Verde neste estudo será nula, pois foram consideradas somente as pegadas diretamente ligadas aos processos de tratamento de água.

4.1.4. Pegada Hídrica Cinza

A Pegada Hídrica Cinza de um processo é um indicador do grau de poluição dos corpos hídricos associados a ele. Em outras palavras, pode ser definida como o volume de água doce necessária para assimilar a carga de poluentes baseado nas concentrações naturais e padrões de qualidade de água existentes. Dessa forma, a Pegada Hídrica Cinza é calculada dividindo a carga de um poluente (C , em massa/tempo) pela diferença entre o padrão de qualidade de água para esse poluente (concentração máxima aceitável c_{max} , em massa/volume) e sua concentração natural no corpo hídrico receptor (c_{nat} , em massa/volume).

$$PH_{proc,cinza} = \frac{C}{c_{max} - c_{nat}} \quad [volume/tempo]$$

Essa abordagem é interessante, pois o uso da água para assimilação de poluentes pode ser considerado um uso consuntivo, tendo em vista que esse volume utilizado para diluição não poderia ser usado novamente, já que o nível de poluição se encontra no limite permitido pela lei vigente (FERREIRA, 2014). Além disso, caso o efluente contenha alta concentração de poluente, a Pegada Hídrica Cinza calculada poderá exceder a vazão real do corpo hídrico uma vez que esse indicador não mostra ‘o volume de água poluída’ e, sim, o volume de água doce necessário para assimilar a carga poluidora presente no efluente.

No caso estudado, os efluentes mais significativos são os gerados pela limpeza dos decantadores e filtros, além da descarga diária do decantador, sendo estes despejados sem nenhum tratamento no Rio Alcântara. Este rio é caracterizado como um rio Classe 2 – Águas Doces de acordo com a resolução CONAMA 357/05 (NEGREIROS *et al.*, 2002). Dessa forma, os parâmetros c_{max} e c_{nat} serão definidos a partir dos valores encontrados nesta resolução. Os valores para a concentração natural do corpo hídrico receptor serão definidos a partir dos padrões para água de classe 2 e,

para a concentração máxima aceitável, será utilizado os padrões para águas de classe 3, pois caso o recurso hídrico seja enquadrado nessa última classe, ainda poderá ser utilizado para fins de abastecimento humano, irrigação e dessedentação de animais. Abaixo segue a tabela 9 comparando os valores máximos dos poluentes estudados para cada classe:

*Tabela 9- Concentração máxima de poluentes em águas de classe 2 e 3.
Fonte: CONAMA 357, 2005*

Parâmetro	Classe 2 (c_{nat})	Classe 3 (c_{max})
<i>DBO (mg/L)</i>	5,00	10,00
<i>Fósforo Total (mg/L)</i>	0,10	0,15
<i>Alumínio Total (mg/L)</i>	0,10	0,20

As cargas média de poluentes (C) geradas por cada processo foram obtidas a partir da dissertação de Silva (2015), onde cada um destes parâmetros foi determinado analiticamente de acordo com a metodologia baseada 22ª edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA e WEF, 2012), exceto para DBO cuja referência foi o Manual do Meio Ambiente (FEEMA/INEA, 1983). No estudo de Silva (2015), foram analisadas as concentrações dos poluentes citados na Tabela 9 presentes nos efluentes de limpeza dos decantadores e filtros, além da descarga diária do decantador entre os meses de Setembro de 2013 e Fevereiro de 2014. Como cada um dos três tipos de efluentes apresentam vazões mensais e concentrações de poluentes diferentes, o valor de C será calculado para cada um deles da seguinte forma:

$$C = [\text{poluente}] * Q_{\text{mensal}} \quad [\text{massa/tempo}]$$

Sendo, [poluente] a concentração média do poluente no período estudado e Q_{mensal} a vazão média do efluente no período estudado.

A carga de cada poluente foi determinada através das médias das concentrações de poluentes e médias de vazões para o intervalo de tempo considerado, uma vez que a diferença de volume de efluente gerado a cada lavagem e/ou descarga diária é desprezível. Assim, apesar da concentração de poluentes apresentar diferenças entre os meses de Setembro/13 a Fevereiro/14, quando se calcula a Pegada Hídrica Cinza de todo o período de estudo, conforme realizado neste trabalho, os meses de maior concentração compensam aqueles de menor.

As tabelas abaixo apresentam os dados de concentração média de poluentes e vazões mensais dos efluentes utilizados para o cálculo da carga poluidora.

Tabela 10- Concentração média de poluentes
Fonte:Elaboração própria baseada nos dados de SILVA, 2015

Concentração Média de poluentes			
Parâmetro	Lavagem de Filtros	Descarga Diária Decantador	Lavagem de Decantador
<i>DBO (mg/L)</i>	11,00	50,00	117,00
<i>Fósforo Total (mg/L)</i>	0,29	7,13	28,46
<i>Alumínio Total (mg/L)</i>	13,50	404,20	1189,10

Tabela 11- Vazão mensal efluentes
Fonte: Elaboração própria baseada nos dados de SILVA , 2015

Vazão Mensal (L/mês)		
Lavagem de Filtros	Descarga Diária Decantador	Lavagem de Decantador
103.358.262,98	28.177.897,08	15.063.267,68

Dessa forma, será calculada a Pegada Hídrica Cinza para cada um dos poluentes citados na Tabela 9 a fim de que seja determinado qual o mais crítico, ou seja, aquele que está associado à maior Pegada Hídrica Cinza específica dos poluentes, conforme aconselha o manual de HOEKSTRA *et al.* (2011).

4.2. Pegada Hídrica Produto

“A Pegada Hídrica de um produto é definida como o volume total de água que é utilizado direta ou indiretamente em seu processo produtivo. Sua estimativa é feita com base no consumo e na poluição da água em todas as etapas da cadeia produtiva.” HOESKTRA *et al.* (2011)

Neste estudo, o produto final do processo produtivo é a água potável. Sendo assim, para este trabalho a unidade funcional da Pegada Hídrica do produto adotada será L/L. Existem ainda outras diversas unidades funcionais que são utilizadas como m³/unidade, m³/\$ no caso de produtos industriais, litros/KWh para energia elétrica ou ainda litros/cal para dietas alimentares.

A Pegada Hídrica de um produto assim como a de processos é dividida entre as componentes verde, azul e cinza. Como o produto neste estudo não se trata de um produto agrícola a componente verde não será calculada, já que a água precipitada não

fica retida no solo e/ou plantas de forma a impedir a recarga dos aquíferos ou escoamento superficial, conforme explicado no subitem 4.1.

Para dar início ao cálculo da Pegada Hídrica de um produto é necessário entender como funciona todo o seu processo produtivo. Desta forma, é preciso identificar o sistema de produção e todas as etapas sequenciais que o consistem.

Conforme explicado na seção anterior sobre a Pegada Hídrica de processos, neste estudo o sistema produtivo compreende o momento em que a água bruta entrou na estação de tratamento proveniente do canal de captação até sua saída para a rede de abastecimento, incluindo o descarte de efluentes. Portanto, as etapas que serão consideradas para o cálculo da Pegada Hídrica da água potável, como já explicado no capítulo 3, serão a floculação, decantação e filtração.

Existem duas alternativas para o cálculo da Pegada Hídrica de um produto que são a soma das cadeias e o método sequencial cumulativo. A abordagem da soma das cadeias é mais simples, porém também mais restritiva, pois somente pode ser aplicada nos casos em que um sistema produtivo produz um único produto final. Neste trabalho, esta será a metodologia utilizada uma vez que o produto final é único, pois no fim de todos os processos, somente é produzida água tratada.

Neste caso, a pegada hídrica do produto está diretamente associada às etapas do processo no sistema produtivo. A Pegada Hídrica do produto final “p” é então o resultado do somatório das pegadas hídricas relevantes no sistema dividida pela quantidade produzida do produto “p”.

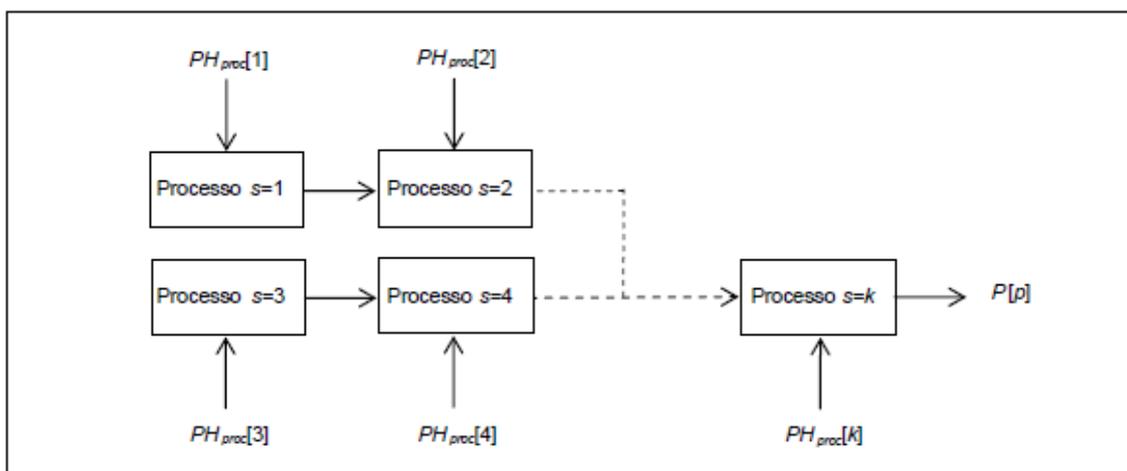


Figura 30- Esquema de cálculo da pegada hídrica de um produto.

Fonte: HOEKSTRA et al. , 2011

A fórmula abaixo expressa o cálculo de acordo com HOEKSTRA *et al.* (2011), onde $PH_{proc}[s]$ é a Pegada Hídrica do passo “s” do processo (volume/tempo) e $P(p)$ é a quantidade produzida do produto “p” (massa/tempo).

$$PH_{proc [p]} = \frac{\sum_{s=1}^n PH_{proc}[s]}{P[p]} \text{ [volume/massa]}$$

A figura abaixo ilustra o esquema de cálculo da Pegada Hídrica para produção de água tratada na ETA Laranjal nº1 apresentando as etapas de tratamento e Pegadas Hídricas dos processos, onde PH_1 refere-se a Pegada Hídrica da floculação, PH_2 é a Pegada Hídrica da Decantação e PH_3 é a Pegada Hídrica da Filtração.

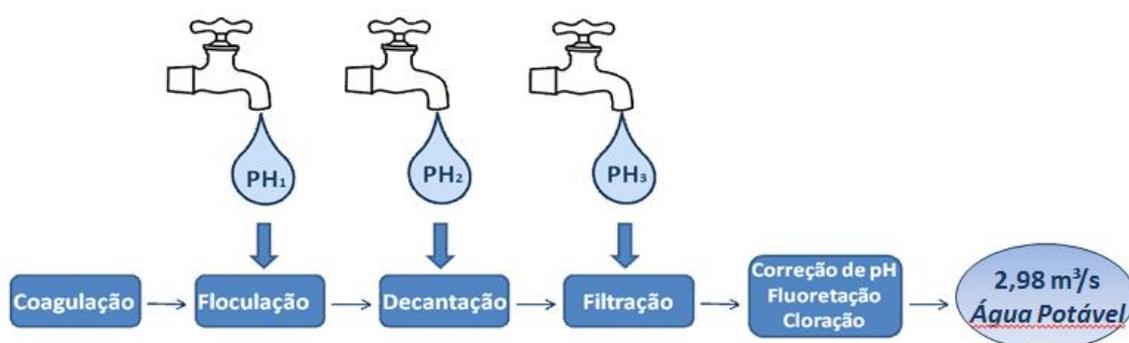


Figura 31- Pegada Hídrica Água Potável.
Fonte: Elaboração Própria

A Pegada Hídrica do produto final neste trabalho pode ser resumida pela equação abaixo.

$$PH_{\text{água potável}} = \frac{PH_{\text{floculação}}[m^3/mês] + PH_{\text{decantação}}[m^3/mês] + PH_{\text{filtração}}[m^3/mês]}{P[\text{água potável}]} \text{ [volume/massa]}$$

A quantidade de água produzida pela ETA Laranjal 01 foi obtida através de dados fornecidos por SILVA (2015). O volume de água potável que deixa a ETA é igual ao volume nominal médio da estação menos o volume médio mensal reservado para a limpeza dos equipamentos totalizando **7.735.338,47 m³/mês**.

Tabela 12- Volume médio de água potável na saída da ETA Laranjal 01
Fonte: Elaboração própria

Volume de água na saída da ETA (m³/mês)	
Vazão nominal	7.853.760,00
Lavagem equipamentos	118.421,53
Total	7.735.338,47

4.3. Análise de sustentabilidade ambiental

O conceito da pegada hídrica foi desenvolvido pelo professor Hoekstra em 2002 com foco voltado para o cálculo da apropriação direta e indireta da água pelo homem levando em consideração as cadeias de fabricação dos produtos assim como a quantidade de água necessária para a diluição dos poluentes gerados ao longo do processo produtivo.

No entanto, reconheceu-se, em 2008, a necessidade de comparar o consumo humano de água doce com a disponibilidade de água do corpo hídrico assim como sua capacidade de assimilação de efluentes. Sendo assim, neste ano, Hoekstra mencionou pela primeira vez a necessidade de incluir na avaliação da Pegada Hídrica uma análise de sustentabilidade, referida na época como avaliação de impacto. O Manual de Pegada Hídrica publicado em 2011 já possui uma sessão destinada a avaliação de sustentabilidade da Pegada Hídrica.

A comparação entre demanda e oferta dos recursos hídricos permite que seja feita uma avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica de um ponto de vista ambiental, comparando a pegada hídrica humana com a demanda que os recursos hídricos do planeta são capazes de suportar. Ademais, um estudo de sustentabilidade ambiental também pode ser elaborado de acordo com diversos pontos de vista, como geográfico, dos processos, do produto, do consumidor, da comunidade e etc.

Depois de calculada a Pegada Hídrica para produzir um litro de água tratada, este trabalho apresenta neste capítulo a análise ambiental geográfica de todo o Tratamento de Água da ETA Laranjal. Para tal análise são avaliadas a sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul e Cinza desde a entrada da água na estação até sua saída para a rede de abastecimento.

Sendo assim, a unidade geográfica adotada na avaliação de sustentabilidade é a bacia hidrográfica Guapi-Macacu onde é captada a água bruta para ser tratada na ETA Laranjal. A pegada hídrica do tratamento será considerada sustentável geograficamente se a mesma atender dois limites:

- 1- Disponibilidade de água azul → Pegada Azul
- 2- Padrões de qualidade da água em seu estado natural → Pegada Cinza

Esta avaliação de sustentabilidade não utilizará limites associados à Pegada Hídrica Verde uma vez que a mesma pode ser considerada nula por motivos já explicados na sessão 4.1.2.

4.3.1 Sustentabilidade ambiental da pegada hídrica azul

A pegada hídrica azul de uma bacia é definida como sendo a soma de todas as pegadas hídricas dos processos que ocorrem dentro desta bacia. Segundo HOEKSTRA *et al.* (2011) a pegada hídrica azul de uma bacia é insustentável do ponto de vista ambiental quando esta ultrapassa a disponibilidade de água azul da mesma bacia. A disponibilidade de água azul pode ser calculada de acordo com o Manual da Pegada Hídrica de HOEKSTRA *et al.* (2011) através da equação abaixo.

$$DA_{azul}[x,t] = Q_{nat}[x,t] - DAV[x,t] \quad [volume/tempo]$$

Onde,

- DA_{azul} é a disponibilidade de água azul de uma bacia x em determinado período de tempo t;

- Q_{nat} é o escoamento natural na bacia, ou seja, escoamento real somado a Pegada Hídrica Azul;

- DVA é a demanda de vazão ambiental.

Este estudo utiliza uma adaptação da metodologia proposta por Hoekstra, resultando em duas análises de sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul.

A primeira análise utiliza em substituição a Q_{nat} da equação de Hoekstra a vazão de escoamento real obtida por meio da elaboração da curva chave do posto fluviométrico Parque Ribeira, a montante do ponto de captação de água da ETA Laranjal 01, por razões explicadas a seguir. A metodologia referente à elaboração da curva chave também será apresentada mais adiante neste capítulo.

A segunda análise conta com o uso da Q_{95} do mesmo posto, obtida no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, como sendo a Q_{nat} .

Em ambas as análises a demanda de vazão ambiental da bacia será igual a 50% da $Q_{7,10}$, também do posto Parque Ribeira, conforme disposto na Portaria SERLA N° 567 (SERLA, 2007) do estado do Rio de Janeiro:

"Art. 10° - Para fins de cálculo de disponibilidade hídrica será utilizada a vazão de referência " $Q_{7,10}$ ", definida como a vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno, sendo a vazão ambiental mínima a ser mantida no corpo hídrico definida como 50% da $Q_{7,10}$. "

O valor da $Q_{7,10}$ para o posto fluviométrico Parque da Ribeira, assim como a Q_{95} , foram obtidas através da consulta ao Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, desenvolvido pela FUNDAÇÃO COPPETEC (2014) que contempla uma série de estudos hidrológicos e vazões extremas de todos os postos existentes no estado.

Tabela 13-Vazões $Q_{7,10}$, Q_{95} e DVA Estação Parque da Ribeira
Fonte: Elaboração Própria baseado em FUNDAÇÃO COPPETEC, 2014.

	Vazões Estação Parque da Ribeira (m³/s)
$Q_{7,10}$	1,83
DVA	0,915
Q_{95}	2,57

Sendo assim, as análises de sustentabilidade que serão realizadas neste trabalho podem ser resumidas pelas equações abaixo.

Primeira análise: $DA_{azul}[x, t] = Q_{real}[x, t] - 0,5 \times Q_{7,10}[x, t]$ [volume/tempo]

Segunda análise: $DA_{azul}[x, t] = Q_{95}[x, t] - 0,5 \times Q_{7,10}[x, t]$ [volume/tempo]

Onde, x corresponde à bacia Guapi-Macacu e t é a variação mensal no intervalo entre Setembro de 2013 e Fevereiro de 2014, para que seja utilizado o mesmo horizonte de tempo do cálculo da Pegada Hídrica Azul da ETA Laranjal.

No presente estudo a Pegada Hídrica Azul da bacia a ser considerada na análise de sustentabilidade será apenas aquela desenvolvida para a ETA Laranjal 01. Isto porque o objetivo da análise de sustentabilidade neste trabalho é observar o impacto da pegada hídrica da estação sobre a disponibilidade hídrica dos rios Macacu e Guapiaçu que se confluem no canal de Imunana.

Os dados hidrológicos de escoamento real utilizados para a primeira análise foram obtidos junto ao banco de dados HidroWeb, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). Foram pesquisadas no banco de dados HidroWeb todas as estações fluviométricas existentes ao longo dos rios Macacu, Guapiaçu e Canal de Imunana. A tabela 14 abaixo apresenta as estações identificadas.

Tabela 14- Estações Fluviométricas rios Guapiaçu e Macacu
Fonte: Elaboração própria baseado em dados do Hidroweb - ANA,2015

Código	Nome	Rio	Estado	Município	Responsável	Área de drenagem (km ²)
59242000	DUAS BARRAS	RIO GUAPIAÇU	RJ	DUAS BARRAS	INEA	83,1
59245000	QUIZANGA	RIO GUAPIAÇU	RJ	CACHOEIRAS DE MACACU	ANA	353
59245002	QUIZANGA	RIO GUAPIAÇU	RJ	CACHOEIRAS DE MACACU	INEA	353
59245004	SÃO JOSÉ DA BOA MORTE	RIO GUAPIAÇU	RJ	CACHOEIRAS DE MACACU	DNOS	353
59234000	CACHOEIRAS DE MACACU	RIO MACACU	RJ	CACHOEIRAS DE MACACU	INEA	0
59235000	CACHOEIRAS DE MACACU	RIO MACACU	RJ	CACHOEIRAS DE MACACU	ANA	151
59235002	CACHOEIRAS DE MACACU	RIO MACACU	RJ	CACHOEIRAS DE MACACU	INEA	149
59235004	CACHOEIRAS DE MACACU	RIO MACACU	RJ	CACHOEIRAS DE MACACU	DNOS	149
59237000	JAPUIBA	RIO MACACU	RJ	CACHOEIRAS DE MACACU	INEA	256
59237002	JAPUIBA (SANTANA DE JAPUIBA)	RIO MACACU	RJ	ITABORAÍ	DNOS	263
59240000	PARQUE RIBEIRA	RIO MACACU	RJ	CACHOEIRAS DE MACACU	ANA	289
59240500	PONTE DO PINHEIRO	RIO MACACU	RJ	CACHOEIRAS DE MACACU	DNOS	488
59248900	BARRAGEM DA CEDAE	CANAL DE IMUNANA	RJ	ITABORAÍ	INEA	1070
59255000	CANAL DE IMUNANA	CANAL DE IMUNANA	RJ	MAGÉ	ANA	1810

No entanto, de todos os postos encontrados e relatados acima apenas o posto fluviométrico Parque da Ribeira (59240000) apresentou dados de cota e vazão para o período de tempo de Setembro/2013 a Fevereiro/2014. Sem estes dados, se tornou inviável traçar a curva chave das demais estações e encontrar as vazões das mesmas para o intervalo de tempo estudado.

A estação Parque da Ribeira, no entanto, não é a mais próxima do ponto de captação da água para a ETA Laranjal 01 (22 km de distância) sendo o posto fluviométrico Barragem da Cedae (59248900) aquele de maior proximidade deste local.

Logo, considerou-se realizar um estudo de regionalização de vazões para que fosse calculada a vazão mais próxima da realidade fazendo-se uso do software SisCORV 1.0 desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH, 2008). Porém, devido à falta de dados no banco de informações do programa, os resultados encontrados foram duvidosos, não apresentando boa confiabilidade para o estudo. Por conseguinte, optou-se por não prosseguir com a utilização dos resultados da regionalização, e seguir apenas com a vazão encontrada pela metodologia da curva-chave do posto Parque Ribeira.

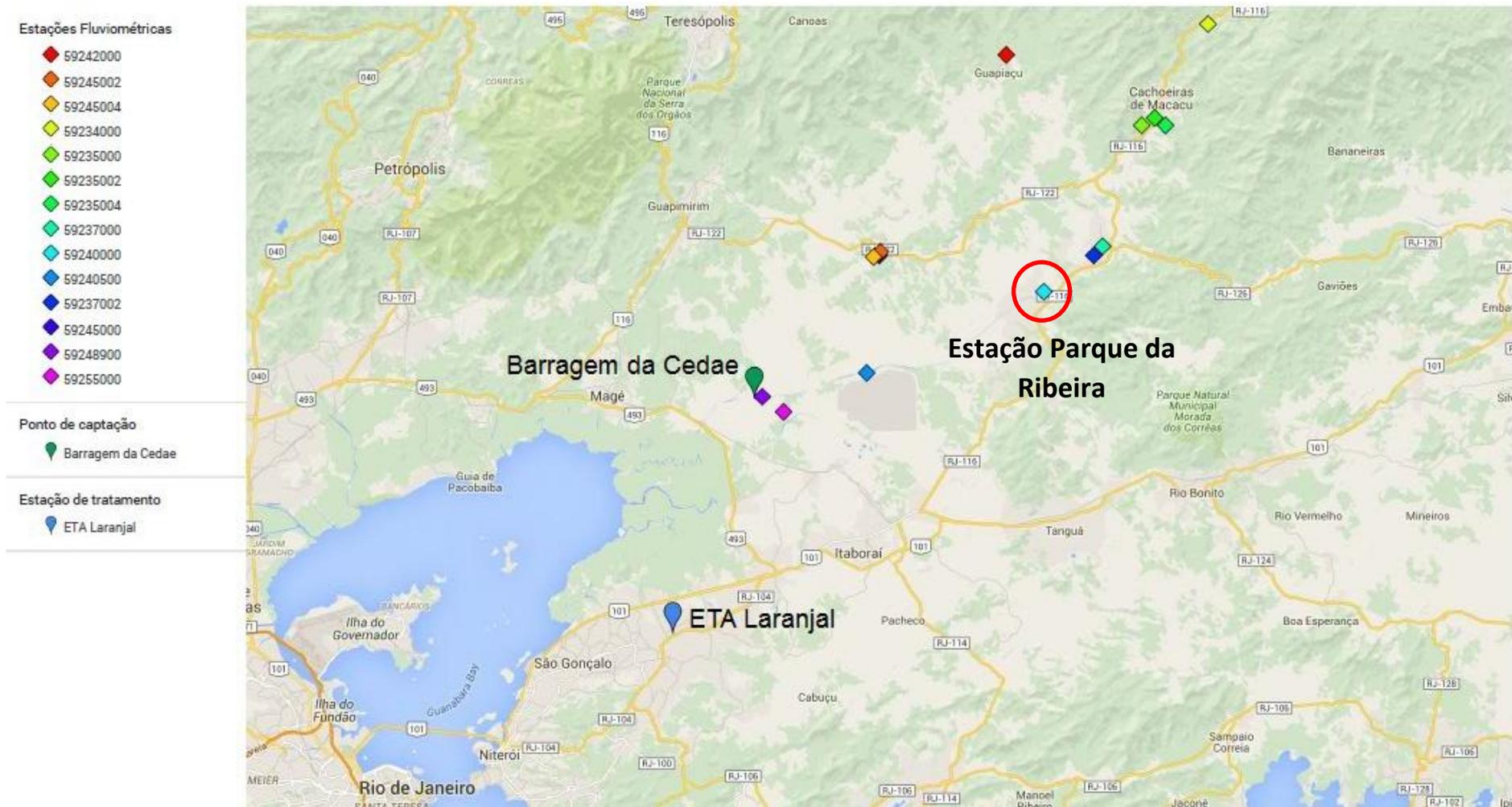


Figura 32- Mapa Estações Fluviométricas Fonte: Elaboração Própria utilizando ferramenta Mymaps

Baseado nas medições de descarga para a estação 59240000 realizou-se o ajuste da curva chave do posto através da equação potencial do tipo:

$$Q = a \times (H - h_0)^b$$

Onde Q é a vazão, em m³/s, a e b são parâmetros determinados para o local, H é a leitura de régua e h₀ é a leitura de régua correspondente ao nível zero da régua.

Em uma planilha de Excel foram inseridos todos os dados de vazão e cota do posto Parque da Ribeira, que possuía informações de Agosto/69 a Agosto/15. Inicialmente a equação potencial foi determinada a partir dos coeficientes h₀ igual a 1m, “a” igual a 10 e “b” igual a 1.

Os dados de descarga do posto também foram plotados em um gráfico onde o eixo das abscissas corresponde aos dados de vazão e o eixo das ordenadas às cotas. Traçou-se então a curva de tendência logarítmica de maneira a linearizar a equação. Desta forma foi possível identificar e desprezar os pontos que se apresentaram muito fora da tendência aferida, uma vez que os mesmos não mostravam assim boa confiabilidade para a determinação da curva-chave. Os pontos que apresentaram cotas negativas também foram desprezados já que provavelmente foram resultado de medições errôneas da lâmina d’água.

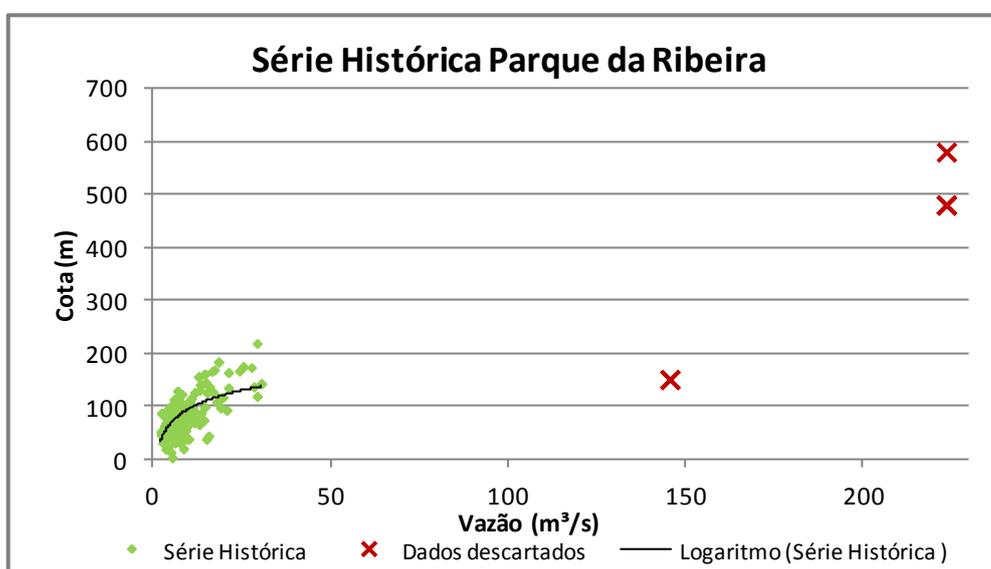


Figura 33- Gráfico Série Histórica estação Parque da Ribeira
Fonte: Elaboração Própria baseado em dados do Hidroweb - ANA,2015

A tabela com a série histórica de cota e vazão utilizada para a elaboração da curva-chave do posto Parque Ribeira pode ser encontrada no Anexo II. Este histórico

apresentado já desconsidera os pontos descartados e pode também ser observado no gráfico abaixo.

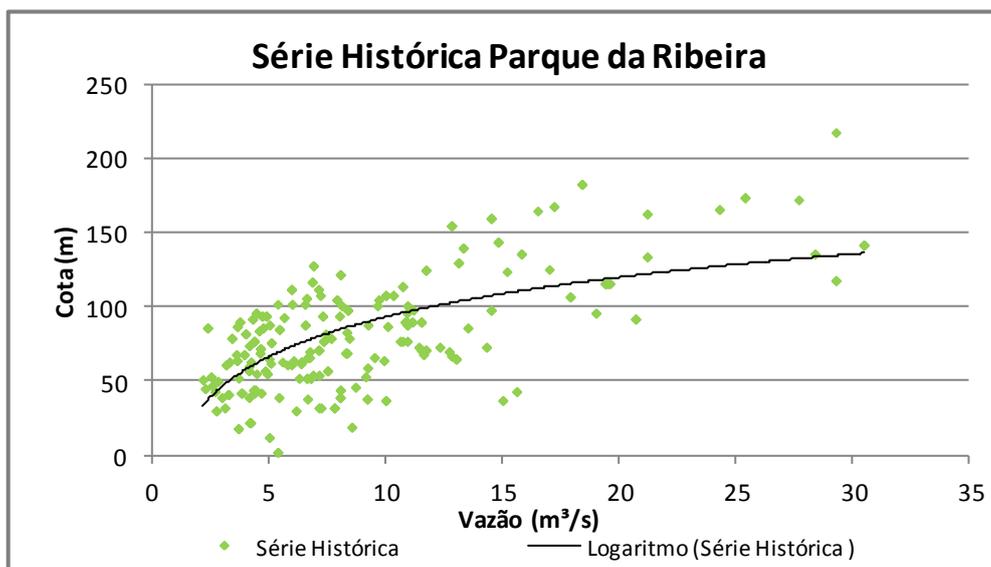


Figura 34- Gráfico Série Histórica consistida estação Parque da Ribeira
Fonte: Elaboração Própria

Fazendo uso da ferramenta Solver do Excel e utilizando “h0”, “a” e “b” como incógnitas variáveis foi possível determinar estas constantes de forma que a soma dos quadrados dos desvios fosse mínima, aproximando ao máximo os valores de vazão calculados com os valores reais medidos.

Sendo assim, a equação final da curva-chave para cálculo da vazão no posto de Parque da Ribeira ficou definida como sendo a abaixo.

$$Q_{calculada} = 0,0000472 \times (H - (-113,27))^{2,2935}$$

Os valores de cota usados no cálculo da vazão, entre Setembro de 2013 e Fevereiro de 2014, podem ser encontrados na tabela a seguir. Estas informações foram também obtidas no Sistema de Informações Hidrológicas, Hidroweb, da Agência Nacional de Águas.

Tabela 15- Cotas Estação Parque da Ribeira
Fonte: Elaboração própria baseada nos dados do Hidroweb - ANA, 2015

	Cota (m)
set/13	66
out/13	70
nov/13	88
dez/13	80
jan/14	66
fev/14	58

4.3.2. *Sustentabilidade ambiental da pegada hídrica cinza*

A sustentabilidade ambiental da pegada hídrica cinza, conforme exposto no início deste capítulo está diretamente relacionada ao limite dos padrões de qualidade da água em seu estado natural. Este limite implica que a bacia tenha capacidade suficiente, em um período específico de tempo, para diluir todos os resíduos que nela forem lançados.

Assim, o manual escrito por HOEKSTRA *et al.* (2011) recomenda que o indicador relevante para medir o impacto dos efluentes em uma bacia seja o Nível de Poluição da Água (NPA). Este indicador é definido por HOEKSTRA *et al.* (2011) como sendo igual a fração consumida da capacidade de assimilação de efluentes da bacia. O NPA pode ser calculado através da equação abaixo.

$$NPA[x, t] = \frac{\sum PH_{cinza} [x, t]}{Q_{real} [x, t]}$$

Onde $\sum PH_{cinza}$ é o somatório de todas as pegadas hídricas cinzas da bacia hidrográfica em estudo e Q_{real} é o escoamento real do rio principal da bacia.

O nível de poluição da água acima de 100% indica que a bacia não está sendo capaz de assimilar os resíduos e, com isso, seus padrões de qualidade natural foram violados. Quando esta situação ocorre entende-se que a Pegada Hídrica Cinza da bacia é insustentável.

Neste estudo será adotada uma metodologia bastante semelhante a aquela proposta pelo Manual de Pegada Hídrica. Assim, como realizado para a verificação da sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul, a Pegada Hídrica Cinza a ser considerada para o cálculo do NPA será apenas aquela obtida para as etapas de tratamento na ETA Laranjal 01, uma vez que o presente estudo busca verificar o impacto desta atividade específica sobre as condições naturais do corpo hídrico onde seus efluentes são lançados, o Rio Alcântara.

Entretanto, não há dados de medições realizadas visando à obtenção do Q_{real} do Rio Alcântara para nenhum período de tempo. Ademais, não há nenhuma estação fluviométrica na bacia Guaxindiba-Alcântara, onde o rio de interesse está localizado. Deste modo, a fim de calcular esse valor será feita a regionalização de vazões a partir da estação onde foram obtidos os dados para Avaliação de Sustentabilidade Ambiental da

Pegada Azul, estação Parque Ribeira (código: 59240000). Portanto, assim como descrito no subitem anterior, serão calculados dois Q_{real} , um considerando a vazão Q_{nat} obtida através da curva chave e outro utilizando a Q_{95} obtida no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (FUNDAÇÃO COPPETEC, 2014).

Com o intuito de regionalizar as vazões, será utilizada a metodologia de Vazão Específica. AGRA *et al.* (2003) explica que essa metodologia pode ser utilizada caso a bacia a ser regionalizada tenha característica muito próximas as da bacia com disponibilidade de dados e seja necessária uma resposta rápida e simplificada. Dessa forma, é calculada uma vazão específica q para a bacia com dados que, ao multiplicar pela área da bacia a ser regionalizada, obtêm-se o valor da vazão para a segunda. A vazão específica q é calculada através da seguinte equação:

$$q = Q_m/A$$

Sendo, Q_m a vazão média ao longo do período e A a área da bacia com dados.

Dessa forma, serão calculadas duas vazões específicas q_{nat} e q_{95} , considerando as vazões Q_{nat} e Q_{95} e utilizando a área de drenagem A da estação Parque Ribeira, equivalente a 289 km² (GPRH, 2008). Por fim, a área de drenagem do rio Alcântara, pela qual q_{nat} e q_{95} devem ser multiplicados, equivale a 130 km² (ANDRADE *et al.*, 2010)

Considerando as informações acima, a nova equação para cálculo do NPA das atividades desempenhadas pela ETA será da seguinte forma:

$$\text{Primeira análise: } NPA[t] = \frac{\sum PH_{proc,cinza}}{A_{Alcântara} * q_{nat}[t]}$$

$$\text{Segunda análise: } NPA[t] = \frac{\sum PH_{proc,cinza}}{A_{Alcântara} * q_{95}[t]}$$

5. Resultados

Este capítulo busca expor os resultados encontrados após aplicação da metodologia detalhada no capítulo 5. Os resultados serão divididos em subcapítulos de acordo com os tópicos já utilizados no capítulo anterior: Pegada Hídrica Processos, Pegada Hídrica Produto e Análise de Sustentabilidade.

5.1. Resultados Pegada Hídrica Processos

Conforme explicado anteriormente a Pegada Hídrica foi calculada para os três processos do tratamento da ETA Laranjal 01 que apresentam uso consuntivo de água. São eles: Floculação, Decantação e Filtração.

A etapa de tratamento Floculação apresentou uma Pegada Hídrica igual a **136,02 m³/mês**, sendo toda ela referente a componente evaporação da Pegada Hídrica Azul.

Tabela 16- Pegada Hídrica Azul Floculação

Fonte: Elaboração Própria

Pegada Hídrica Azul - Floculador (m³/mês)	
<i>Evaporação</i>	136,02
<i>Incorporação</i>	-
<i>Vazão de Retorno</i>	-
Total	136,02

Para a etapa de tratamento Decantação a Pegada Hídrica calculada foi de **5.903.695,06 m³/mês**. A parcela mais significativa deste resultado, 99%, foi proveniente do resultado da Pegada Cinza.

Tabela 17- Pegada Hídrica Azul Decantação

Fonte: Elaboração Própria

Pegada Hídrica Azul - Decantador (m³/mês)	
<i>Evaporação</i>	206,37
<i>Incorporação</i>	-
<i>Vazão de Retorno</i>	43.241,16
Total	43.447,54

*Tabela 18- Pegada Hídrica Cinza Decantação
Fonte: Elaboração Própria*

Pegada Hídrica Cinza- Decantador (m³/mês)	
<i>Descarga Diária</i>	2.277.901,20
<i>Lavagem</i>	3.582.346,32
Total	5.860.247,52

A Pegada Hídrica da terceira etapa com uso consuntivo, a Filtração, de acordo com os cálculos realizados é igual a **8.143.786,28 m³/mês**. Vale ressaltar que 97% do valor encontrado é referente à Pegada Hídrica Azul desta fase de tratamento.

*Tabela 19- Pegada Hídrica Azul Filtração
Fonte: Elaboração Própria*

Pegada Hídrica Azul - Filtro (m³/mês)	
<i>Evaporação</i>	102,24
<i>Incorporação</i>	7.735.338,47
<i>Vazão de Retorno</i>	103.358,26
Total	7.838.798,97

*Tabela 20- Pegada Hídrica Cinza Filtração
Fonte: Elaboração Própria*

Pegada Hídrica Cinza- Filtro (m³/mês)	
<i>Lavagem</i>	279.067,31
Total	279.067,31

Os resultados dos cálculos realizados para a determinação da evaporação mensal, uma das componentes da Pegada Hídrica Azul, de cada um dos processos podem ser observados na Tabela 21 abaixo.

*Tabela 21- Evaporação Mensal Floculação, Decantação e Filtração
Fonte: Elaboração Própria*

Mês	Evaporação Floculador (m³)	Evaporação Decantador (m³)	Evaporação Filtro (m³)
<i>09/2013</i>	120,69	183,12	90,72
<i>10/2013</i>	132,19	200,56	99,36
<i>11/2013</i>	143,68	218,00	108
<i>12/2013</i>	166,67	252,88	125,28
<i>01/2014</i>	143,68	218,00	108
<i>02/2014</i>	109,20	165,68	82,08
Média	136,02	206,37	102,24

A Pegada Hídrica Cinza é calculada de acordo com a carga média de poluentes de um efluente, conforme mostrado no capítulo 4. A tabela a seguir apresenta os

resultados encontrados dos poluentes DBO, Fósforo Total e Alumínio Total para os efluentes da estação de tratamento.

*Tabela 22- Carga média de poluentes
Fonte: Elaboração própria*

Carga Média de Poluente (mg/mês)			
Parâmetro	Lavagem de Filtros	Descarga Diária Decantador	Lavagem de Deacantador
<i>DBO</i>	1.136.940.892,78	1.408.894.854,00	1.762.402.318,56
<i>Fósforo Total</i>	29.973.896,26	200.908.406,18	428.700.598,17
<i>Alumínio Total</i>	1.395.336.550,23	11.389.505.999,74	17.911.731.598,29

A Pegada Hídrica Cinza foi determinada a partir de cada um dos valores encontrados acima com o objetivo de verificar qual o parâmetro mais crítico. A tabela 23 traz estes valores.

*Tabela 23- Pegada Hídrica Cinza DBO, Fósforo Total e Alumínio Total
Fonte: Elaboração Própria*

Pegada Hídrica Cinza (m³/mês)			
Parâmetro	Lavagem de Filtros	Descarga Diária Decantador	Lavagem de Deacantador
<i>DBO</i>	227.388,18	281.778,97	352.480,46
<i>Fósforo Total</i>	5.994,78	40.181,68	85.740,12
<i>Alumínio Total</i>	279.067,31	2.277.901,20	3.582.346,32

Como pode ser observado pelos resultados da Tabela 23, o parâmetro mais crítico foi o Alumínio Total para todos os efluentes e, portanto, estes serão os valores da Pegada Cinza.

5.2. Resultados Pegada Hídrica Produto

Com o intuito de efetuar o cálculo da Pegada Hídrica de um produto é necessário somar as pegadas hídricas associadas a cada processo da cadeia produtiva. Então, neste estudo foram somadas as pegadas das etapas de floculação, decantação e filtração a fim de obter a Pegada Hídrica Total para a produção de 1L de água potável. Seguem abaixo os resultados encontrados.

*Tabela 24- Pegada Hídrica Produto
Fonte: Elaboração Própria*

Pegada Hídrica do Produto (L/L de água potável)	
<i>Pegada Hídrica Azul</i>	1,02
<i>Pegada Hídrica Cinza</i>	0,79
<i>Pegada Hídrica Total</i>	1,81

5.3. Resultados da Análise de Sustentabilidade

5.3.1. Resultado sustentabilidade ambiental da Pegada Hídrica Azul

A análise de sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul foi baseada na disponibilidade de água que a bacia Guapi-Macacu tem a oferecer para as atividades da ETA Laranjal 01.

O capítulo 4 referente à metodologia aplicada explica que a avaliação da sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul foi dividida em duas análises. A primeira baseou-se na utilização da vazão real mensal do Posto Parque da Ribeira para encontrar a disponibilidade hídrica da bacia. A segunda análise, por outro lado, fez uso da vazão de 95% de permanência, sendo esta igual para todos os meses do período de tempo estudado.

Antes de encontrar o resultado da primeira análise fez-se necessário um estudo hidrológico referente às vazões da estação fluviométrica Parque da Ribeira. Isto porque, muitas vezes, os dados medidos não são coerentes com a realidade. Para tal, elaborou-se uma curva-chave do posto conforme detalhado anteriormente. As vazões calculadas para os meses entre Setembro/13 e Fevereiro/14 fazendo uso da curva-chave determinada podem ser observadas na Tabela 25.

*Tabela 25- Vazão calculada através da metodologia da Curva-Chave
Fonte: Elaboração Própria*

	Vazão calculada (m3/s)
<i>set/13</i>	6,96
<i>out/13</i>	7,32
<i>nov/13</i>	9,07
<i>dez/13</i>	8,27
<i>jan/14</i>	6,96
<i>fev/14</i>	6,27

Em seguida foi possível prosseguir com os cálculos de disponibilidade da bacia. Abaixo seguem os resultados encontrados de disponibilidade de água azul da bacia Guapi-Macacu para ambas as análises.

Tabela 26- Disponibilidade de água azul bacia Guapi- Macacu

Fonte: Elaboração própria

	Disponibilidade de Água Azul (m ³ /s)	
	Análise 1	Análise 2
set/13	6,04	1,66
out/13	6,40	1,66
nov/13	8,16	1,66
dez/13	7,35	1,66
jan/14	6,04	1,66
fev/14	5,35	1,66

De acordo com HOEKSTRA *et al.* (2011) a Pegada Hídrica Azul de uma bacia é sustentável quando esta é inferior a disponibilidade de água azul. A tabela abaixo traz os resultados encontrados sobre a sustentabilidade da bacia Guapi-Macacu.

Tabela 27- Sustentabilidade Pegada Hídrica Azul

Fonte: Elaboração Própria

	Disponibilidade de Água Azul (m ³ /s)		Pegada Hídrica Azul (m ³ /s)	Sustentabilidade	
	Análise 1	Análise 2		Análise 1	Análise 2
set/13	6,04	1,66	3,04	3,00	-1,39
out/13	6,40	1,66	3,04	3,36	-1,39
nov/13	8,16	1,66	3,04	5,12	-1,39
dez/13	7,35	1,66	3,04	4,31	-1,39
jan/14	6,04	1,66	3,04	3,00	-1,39
fev/14	5,35	1,66	3,04	2,31	-1,39

5.3.2. Resultado sustentabilidade ambiental da Pegada Hídrica Cinza

A fim de analisar a sustentabilidade ambiental da Pegada Hídrica cinza, foi necessária a utilização de uma metodologia de cálculo de regionalização de vazões para o Rio Alcântara, curso d'água onde os efluentes da ETA Laranjal 01 são despejados.

O capítulo 4 referente à metodologia aplicada explica que a avaliação da sustentabilidade da Pegada Hídrica Cinza foi dividida em duas análises. A primeira baseou-se na utilização na regionalização da vazão real mensal do Posto Parque da Ribeira para encontrar a vazão do Rio Alcântara. A segunda análise, por outro lado, fez uso da vazão de 95% de permanência para realizar a regionalização, sendo esta igual para todos os meses do período de tempo estudado.

Dessa forma, as vazões encontradas para o Rio Alcântara em ambas as análises encontram-se na Tabela 28 a seguir:

*Tabela 28 - Vazão do Rio Alcântara.
Fonte: Elaboração própria*

	Vazão Rio Alcântara (m ³ /s)	
	Análise 1	Análise 2
Sep-13	3,13	1,16
Oct-13	3,29	1,16
Nov-13	4,08	1,16
Dec-13	3,72	1,16
Jan-14	3,13	1,16
Feb-14	2,82	1,16

Posteriormente, foi realizado o cálculo do Nível de Poluição da Água (NPA) para ambas as análises. De acordo com Hoekstra et al. (2011), caso o NPA seja inferior a 100%, a capacidade de assimilação dos rios ainda não foi comprometida e, portanto, a atividade é sustentável. Dessa forma, a tabela abaixo traz os resultados para o NPA do Rio Alcântara.

*Tabela 29 - Sustentabilidade da Pegada Hídrica Cinza.
Fonte: Elaboração Própria*

	Vazão Rio Alcântara (m ³ /s)		Pegada Hídrica Cinza (m ³ /s)	NPA	
	Análise 1	Análise 2		Análise 1	Análise 2
Sep-13	3,13	1,16	2,37	76%	205%
Oct-13	3,29	1,16	2,37	72%	205%
Nov-13	4,08	1,16	2,37	58%	205%
Dec-13	3,72	1,16	2,37	64%	205%
Jan-14	3,13	1,16	2,37	76%	205%
Feb-14	2,82	1,16	2,37	84%	205%

6. Discussão de Resultados

O presente capítulo apresentará quatro avaliações a respeito do estudo realizado ao longo deste trabalho referente à Pegada Hídrica da Estação de Tratamento Laranjal 01.

A primeira avaliação consiste em uma análise qualitativa e quantitativa dos resultados encontrados tanto para a Pegada Hídrica dos processos de tratamento quanto a respeito da Pegada Hídrica calculada para o produto final, 1L de água tratada. Esta análise incluirá também uma crítica à metodologia adotada para realização dos cálculos.

A segunda análise contará com uma abordagem mais detalhada sobre a avaliação de sustentabilidade da Pegada Hídrica da ETA Laranjal, ilustrando de que forma as atividades da estação impactam a bacia hidrográfica em estudo.

O terceiro tópico deste capítulo propõe uma discussão a respeito de propostas de melhorias no processo produtivo da estação de tratamento com o objetivo de reduzir a Pegada Hídrica para produção de água potável.

Por fim, haverá ainda uma comparação entre a utilização da Pegada Hídrica e da Análise de Ciclo de Vida como ferramentas de gestão do uso da água.

6.1. Resultados

6.1.1. Análise qualitativa e quantitativa

O capítulo resultados apresentou os valores obtidos de Pegada Hídrica para cada um dos processos de uso consuntivo de água ao longo da cadeia produtiva da água potável. Ao comparar os valores obtidos entre a floculação, decantação e filtração nota-se que a decantação foi responsável por 95,5% do volume mensal de Pegada Cinza e a filtração contribui com 99,4% da Pegada Azul. A Pegada Hídrica da floculação quando comparada aos demais processos pode ser considerada desprezível. Quando se observa a Pegada Hídrica total da ETA Laranjal, 14.047.617,36 m³/mês correspondente ao somatório das pegadas dos três processos, a decantação gera um impacto de 42,1% e a filtração de 57,9%.

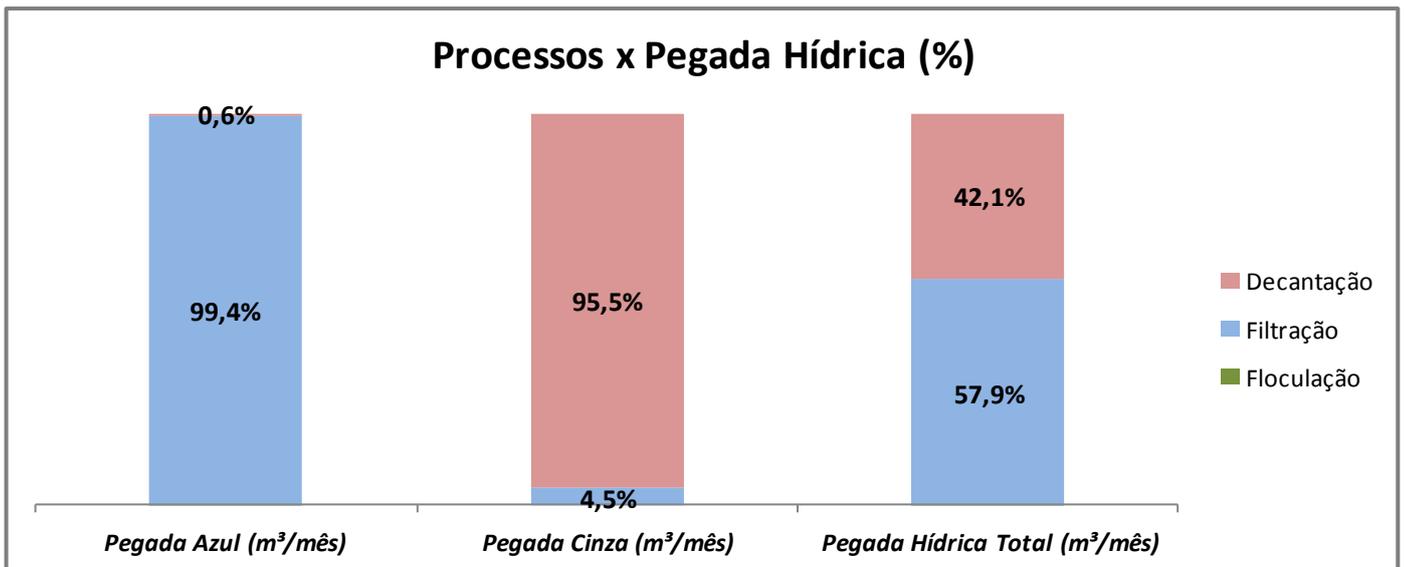


Figura 35- Gráfico das contribuições percentuais dos processos de tratamento por Pegada Hídrica.

Fonte: Elaboração Própria

Ademais, quando se volta o foco da análise para o impacto da Pegada Azul e Pegada Cinza sobre a Pegada Total do produto final é possível notar que a azul é aquela de maior representatividade. Isto ocorre, pois, a componente “incorporação de água” do cálculo da parcela azul da Pegada Hídrica é bastante elevada na filtração. Esta componente engloba a inclusão do próprio produto em produção, a água, na Pegada Hídrica Azul uma vez que a retirada da água da bacia de captação e futuro lançamento na rede de abastecimento impede que o recurso hídrico retorne para sua bacia de origem.

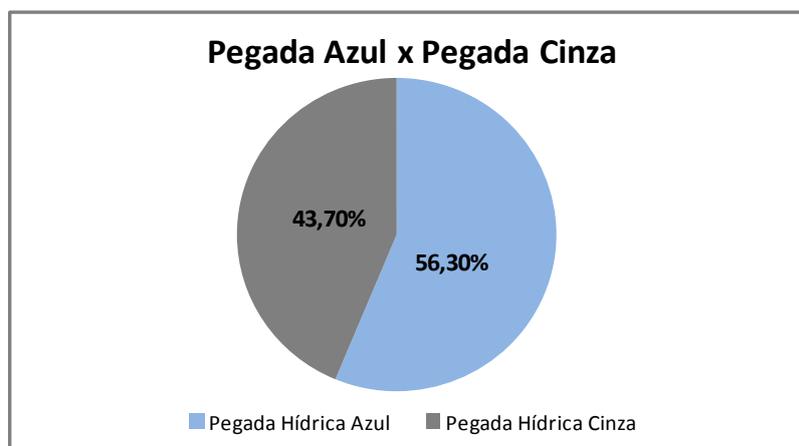


Figura 36- Gráfico contribuições percentuais Pegada Azul e Pegada Cinza sobre Pegada Hídrica Total

Fonte: Elaboração Própria

Já era estimado que a Pegada Hídrica Azul do produto final apresentasse um resultado superior a 1L água/ 1L de água potável, pois este seria o valor mínimo da Pegada Hídrica Total pertinente apenas à captação da água retirada da bacia Guapi-Macacu. O valor encontrado acima disso é relativo a todo o volume de água azul consumido ao longo do processo produtivo além daquele necessário para diluir os efluentes lançados sem tratamento no Rio Alcântara.

A Pegada Hídrica Total calculada neste estudo para a produção de 1L de água tratada foi igual a 1,81L/L de água potável. Conforme explicado, deste valor 1L ou 55% se refere à captação de água para tratamento. Do restante, apenas 1% diz respeito ao consumo de água azul, mesmo com a limpeza realizada diariamente nos 8 filtros em funcionamento. Os outros 44% da Pegada Total concerne à água necessária para diluir toda a carga poluidora dos efluentes da ETA Laranjal 01 pelo rio Alcântara.

Vale ressaltar ainda sobre o impacto da carga poluidora Alumínio sobre a Pegada Hídrica Cinza. Este produto químico é inserido no tratamento de água na etapa de coagulação a fim de neutralizar as cargas dos coloides. No entanto, nota-se que após as reações químicas fica retida uma concentração muito alta deste elemento químico nos efluentes da estação.

Quando este parâmetro é comparado com a carga poluidora de DBO do lodo do decantador, proveniente da descarga diária, sua concentração é oito vezes maior. Ainda, se comparada a carga poluidora destes dois parâmetros no efluente da lavagem mensal do decantador, a concentração de Alumínio é dez vezes superior à concentração de DBO. Ademais, ao verificar o contraste entre as concentrações de Alumínio e Fósforo nos efluentes da etapa de sedimentação nota-se que a carga de Alumínio chega a ser até 56 vezes mais elevada.

No entanto, essa concentração elevada de Alumínio reduz bastante após o processo de tratamento da decantação. Nota-se que o efluente da limpeza dos filtros, já apresenta uma concentração média de DBO e Alumínio próxima, sendo igual a 11mg/L e 13,50 mg/L respectivamente. Sendo assim, entende-se que a parcela mais elevada do Alumínio utilizado no processo de tratamento de água fica retido no lodo do decantador, sendo descartado na etapa da filtração apenas 0,84% da carga poluidora total deste produto químico.

6.1.2. Análise crítica

Durante o desenvolvimento deste trabalho alguns entraves para definição da metodologia adotada foram encontrados. Isto posto, algumas alternativas foram buscadas com o intuito de englobar no estudo o maior número de informações possíveis e encontrar uma Pegada Hídrica do produto mais próxima da realidade da ETA Laranjal 01.

Antes de tudo, é importante lembrar que o cálculo da Pegada Hídrica foi realizado com dados obtidos pelas amostras do estudo de SILVA (2015) coletadas entre Setembro/13 a Fevereiro/14. Assim, devido a diferenças de qualidade de água e climatológicas além de possíveis mudanças na operação da estação, alguns dados podem se apresentar distintos se comparados com amostras mais recentes ou de outros períodos. O presente estudo não pôde utilizar outros dados devido à falta de disponibilidade dos mesmos. Desta forma, o trabalho poderia se tornar mais rico e preciso caso as amostras fossem coletadas continuamente pela estação, de preferência diariamente, permitindo observar as disparidades entre meses e anos com maior precisão.

Além disto, referente aos poluentes presentes nos efluentes da estação, as amostras de SILVA (2015) contemplam os parâmetros DBO, Alumínio e Fósforo. No entanto, as amostras do poluente Fósforo não foram todas apresentadas no estudo, apenas foi possível obter a concentração média deste poluente ao longo do período em análise. Por conseguinte, não foi possível prosseguir com o cálculo mensal da Pegada Hídrica Cinza do Fósforo, o que implicou em um cálculo médio também das outras cargas poluidoras a fim de que fosse possível comparar as pegadas.

Depois de feito o levantamento da Pegada Cinza de cada um dos três poluentes, foi observado que o mais crítico, ou seja, aquele com maior potencial poluidor era o Alumínio. Porém, seria interessante realizar um monitoramento de uma gama maior de cargas poluidoras, tal que a garantia de que o Alumínio é o poluente mais crítico fosse maior. Alguns exemplos de potenciais poluidores seriam Nitrogênio, Sulfato, Ferro, Manganês, Níquel, Zinco e Chumbo. A CONAMA 357/2005 fornece em sua resolução os limites máximos destes poluentes que um rio, dependendo de sua classe, é capaz de diluir tornando viável a determinação da Pegada Hídrica Cinza dos mesmos.

A metodologia da Pegada Hídrica Azul também poderia apresentar uma menor incerteza com algumas modificações. A Pegada Hídrica Azul foi calculada para as etapas de floculação, decantação e filtração. A parcela evaporação da Pegada Azul foi definida através da análise de gráficos de evapotranspiração e utilizando a metodologia da complementaridade de Morton. Porém, a adoção de uma metodologia mais precisa como a denominada Tanque Classe A, a qual calcula uma taxa unitária de evaporação para o local exato de estudo, traria um resultado mais acurado. A utilização desta metodologia não foi possível uma vez que não foi encontrada nenhuma estação de monitoramento próxima da ETA Laranjal que possua esta tecnologia.

Assim como a Pegada Cinza, foi calculada a Pegada Azul média para o intervalo de tempo entre Setembro/13 e Fevereiro/14. Isto se deve ao fato dos dados de volume de efluente descartado terem sido fornecidos no trabalho de SILVA (2015) apenas através de uma média mensal de todo o período de estudo. Por conseguinte, o valor encontrado para a Pegada Hídrica Azul refere-se a uma média dos meses estudados, não apresentando as diferenças entre os meses avaliados.

Ainda, o cálculo da Pegada Hídrica do produto final e de seus processos de produção não incluiu a Pegada Hídrica dos insumos utilizados ao longo do tratamento e água. Isto ocorreu, pois não foi encontrada bibliografia que fornecesse as pegadas hídricas para os principais produtos consumidos pela ETA Laranjal, que seriam o Flúor, Cloro, Sulfato de Alumínio e Polímero Aniônico.

Por fim, durante a escolha do método de Avaliação de Sustentabilidade da Pegada Azul da bacia hidrográfica do Guapi-Macacu e da Pegada Cinza o maior desafio encontrado foi a obtenção de dados fluviométricos. Mesmo com a extensa base de dados fornecida pela Agência Nacional de Águas, muitos postos possuem somente dados antigos, pois não se encontram mais em funcionamento. Sendo assim, como já mencionado apenas um único posto da bacia Guapi-Macacu apresentou informações para o período entre Setembro/13 e Fevereiro/14 e não foi encontrado nenhum posto com disponibilidade de dados no rio Alcântara, seus afluentes ou no qual este deságua.

Outra dificuldade relacionada aos dados provenientes da ANA foi a consistência dos mesmos. Muitos dados apresentam erros de medição e desta forma foi necessário realizar um estudo hidrológico através da elaboração da curva-chave do posto utilizado

de forma a garantir que as vazões estivessem mais fiéis à realidade da série histórica analisada.

Uma última melhoria proposta para a Avaliação de Sustentabilidade da bacia hidrográfica Guapi-Macacu seria a obtenção das Pegadas Hídricas Azuis dos demais empreendimentos que utilizam a água desta bacia. Desta forma seria possível estimar a escassez hídrica da região conforme proposto por HOEKSTRA *et al.* (2011) no Manual de Pegada Hídrica.

Conclui-se então que são necessárias ainda algumas adaptações ao estudo proposto neste trabalho de maneira que os resultados obtidos sejam cada vez mais precisos e fiéis ao real.

6.2. Avaliação de Sustentabilidade

6.2.1. Análise de Sustentabilidade Ambiental Pegada Azul

Anteriormente, nos capítulos de metodologia e resultados, foi explicado que a Análise de Sustentabilidade Ambiental da Pegada Azul compreende dois cenários distintos. O primeiro fez uso da vazão real da bacia Guapi-Macacu para o intervalo de tempo entre Setembro/13 e Fevereiro/14 a fim de encontrar a disponibilidade hídrica. Por outro lado, o segundo cenário compreendeu o uso da vazão da bacia com 95% de permanência para determinação da disponibilidade de água azul.

Os resultados encontrados para a primeira análise demonstraram que a vazão real do rio principal da bacia Guapi-Macacu apresentou uma variação de até 2,81 m³/s, ou aproximadamente 30%, entre os 6 meses do intervalo de tempo estudado. A maior vazão real calculada foi igual a 9,07 m³/s para o mês de Novembro/2013 e a menor equivalente a 6,27 em Fevereiro/14. Logo, devido a essa oscilação da vazão real do rio a disponibilidade da bacia também varia entre os diferentes meses de um ano, ou mesmo entre os anos.

Mudanças na vazão de um curso hídrico podem estar associadas a diversos fatores como as condições meteorológicas, alterações no perfil batimétrico do rio, instalação de novos reservatórios, alterações nas demandas de captação direta de água como instalação de novos complexos industriais na bacia e maior volume usado para irrigação em períodos de seca, necessidade de aumento da oferta da rede de abastecimento de água resultando em maior volume de água captada, entre outros.

Sendo assim, o resultado desta primeira análise de disponibilidade de água azul não representa a realidade de um período qualquer de tempo, mas sim somente do intervalo estudado.

Através do gráfico abaixo, referente à primeira análise de sustentabilidade, observa-se que a Pegada Hídrica Azul da ETA Laranjal 01 é sustentável já que a Pegada Azul não é superior a disponibilidade da bacia entre Setembro/13 e Fevereiro/14.

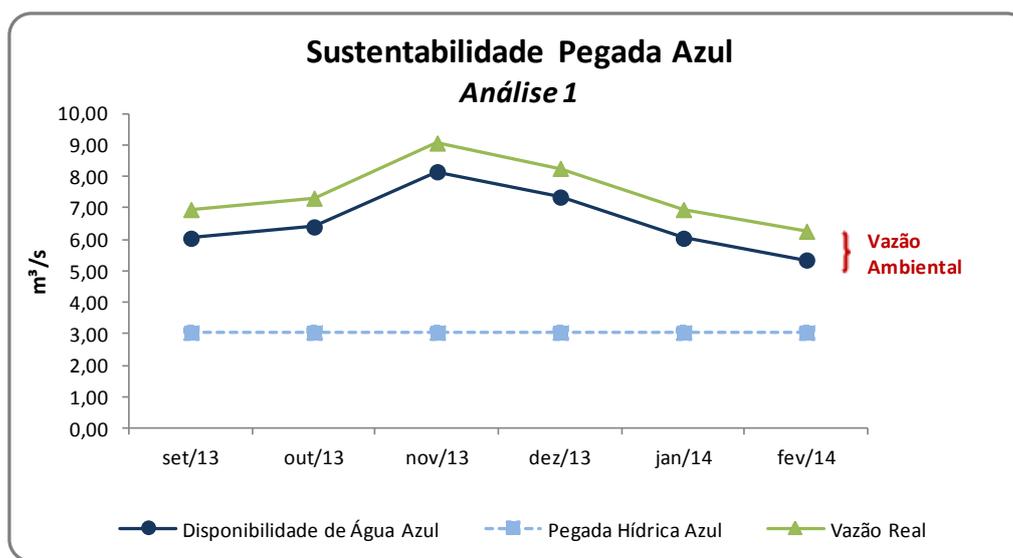


Figura 37- Gráfico Análise 1 de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul
Fonte: Elaboração Própria

Apesar das atividades da estação de tratamento terem se apresentado sustentáveis na primeira análise, estas são responsáveis pelo uso aproximado de 47% da disponibilidade de água azul da bacia Guapi-Macacu.

A segunda análise concernente à sustentabilidade da Pegada Azul mostrou-se bastante diferente dos resultados da Análise 1. A Análise 2 fez uso da Q_{95} como sendo a vazão real do rio principal da bacia Guapi-Macacu e portanto, configura-se como uma análise mais rígida. A Q_{95} é a vazão garantida durante 95% do período de tempo estudado, ou seja, a probabilidade desta vazão ser igualada ou ultrapassada é de 95%.

A vazão de 95% de permanência utilizada para esta análise de sustentabilidade foi determinada por estudos hidrológicos do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, os quais utilizaram um horizonte de tempo de Janeiro/70 até Dezembro/2005 para cálculo desta Q_{95} . Sendo assim, como se trata de um período de

tempo muito extenso, e conseqüentemente com uma grande oscilação da vazão do rio por possíveis motivos já expostos, era presumido que a Q_{95} fosse inferior às vazões calculadas na primeira análise de sustentabilidade.

O gráfico abaixo mostra que nesta segunda análise de sustentabilidade a Pegada Hídrica Azul da ETA Laranjal 01 é insustentável, visto que esta é maior que a disponibilidade de água azul da bacia hidrográfica. A Pegada Hídrica Azul da estação chega a ser próxima do dobro da disponibilidade hídrica, 84% superior. Quando feita a comparação entre a Pegada Hídrica Azul e a Q_{95} , esta representa 84% daquela.

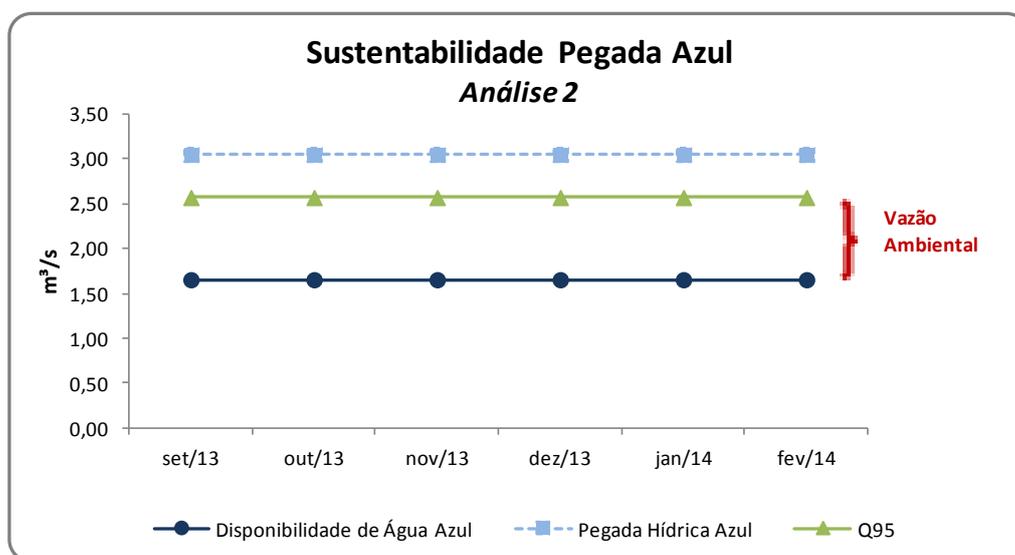


Figura 38 - Gráfico Análise 2 de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul.
Fonte: Elaboração Própria

Ademais, deve-se lembrar de que as Pegadas Hídricas dos demais empreendimentos que fazem uso da água da bacia Guapi-Macacu não estão sendo levadas em conta nas análises de sustentabilidade deste trabalho.

Desta forma, não é possível garantir que a bacia hidrográfica em estudo seja sustentável e nem mesmo que a mesma não esteja passando por um problema de estresse hídrico, mesmo para a análise que faz uso das vazões reais do curso d'água principal da bacia.

É válido ressaltar que a bacia Guapi-Macacu já passou por dois períodos críticos de estiagem em 2003 e 2007 os quais afetaram o abastecimento de água feito pelo sistema Imunana-Laranjal. De acordo com o documento ISSN 1517-2627 publicado

pela Embrapa em 2009 o abastecimento de água chegou a ser interrompido para alguns municípios devido à falta de nível suficiente de água na barragem da CEDAE para que a mesma pudesse operar (BENAVIDES *et al.*, 2009).

A captação de água no canal de Imunana é superficial e por isso a vazão que chega a estação fica ainda mais vulnerável aos períodos de seca. Este problema poderia ser amenizado através da implantação de uma tomada d'água flutuante, a qual é capaz de continuar a adução mesmo com grandes variações no nível d'água.

Os dois cenários críticos de secas apresentados demonstram mais uma vez que a sustentabilidade da bacia hidrográfica está diretamente relacionada com o estado hídrico da bacia em um momento exato. O fato de no período de tempo estudado a análise de sustentabilidade ter se apresentado positiva, não significa que esta é necessariamente a realidade da bacia em todos os instantes. Desta forma, a segunda análise realizada neste trabalho com base na Q_{95} representa de maneira mais fiel todo o histórico hidrológico da bacia Guapi-Macacu.

6.2.2. Análise de Sustentabilidade Ambiental Pegada Cinza

Conforme definido no capítulo 4, a Análise de Sustentabilidade Ambiental da Pegada Cinza envolve dois tipos de cenários. Sendo o primeiro obtido utilizando a regionalização da vazão real no posto fluviométrico Parque Ribeira para o intervalo compreendido entre Setembro/13 e Fevereiro/14 visando encontrar a vazão do Rio Alcântara. Enquanto isso, a segunda análise leva em consideração a regionalização da vazão no posto com 95% de permanência a fim de determinar a vazão do Rio Alcântara.

Sendo assim, como a vazão do Rio Alcântara foi calculada a partir dos dados apresentados para a Análise de Sustentabilidade Ambiental da Pegada Azul, as mesmas críticas acerca da variação de vazão e suposições que explicariam esse fato podem ser adotadas.

Através do gráfico abaixo, referente à Análise 1, pode-se observar que a Pegada Hídrica Cinza da ETA Laranjal 01 é sustentável, tendo em vista que o NPA nunca ultrapassa a marca de 100%. Ou seja, o corpo hídrico não teve sua capacidade de assimilação de poluentes comprometida no período compreendido entre Setembro/13 e Fevereiro/14.

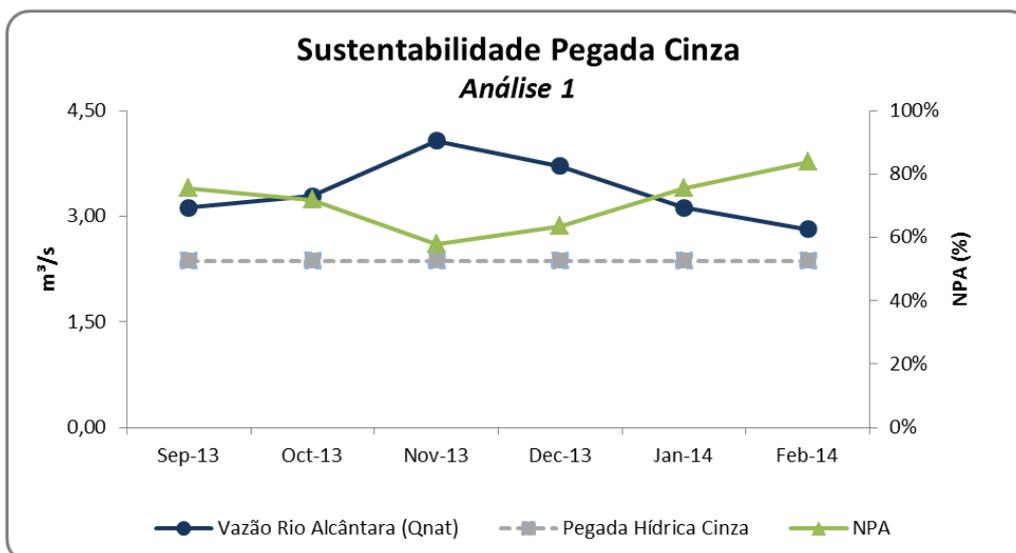


Figura 39 - Gráfico Análise 1 de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Cinza.
Fonte: Elaboração Própria

Novamente, como os dados para vazão do Rio Alcântara foram calculados baseados com base na Q₉₅ da estação Parque Ribeira para a Análise 02, as avaliações a respeito desses dados podem ser consideradas similares aos apresentados para Análise de Sustentabilidade Ambiental da Pegada Azul.

Desta maneira, o gráfico abaixo mostra que a Pegada Hídrica Cinza da ETA Laranjal 01 é insustentável, de acordo com a segunda análise de sustentabilidade. Nesse caso, a Pegada Hídrica Cinza é cerca de duas vezes maior que vazão do Rio Alcântara, ultrapassando a capacidade de assimilação de poluentes do corpo hídrico.

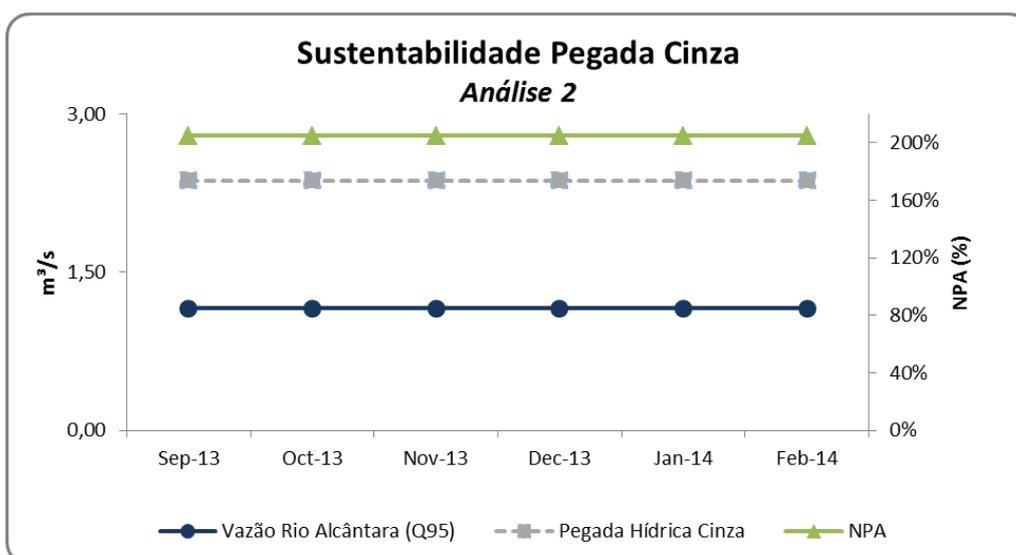


Figura 40 - Gráfico Análise 2 de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Cinza.
Fonte: Elaboração Própria

Assim como na Análise de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul, as figuras 39 e 40 mostradas refletem apenas a parcela de poluentes pela qual a ETA Laranjal 01 é responsável. Ou seja, não levam em consideração outros possíveis empreendimentos/residências que lançam seus efluentes no mesmo curso d'água. Como mostra NEGREIROS *et al.* (2002), os rios da bacia Guaxindiba/Alcântara sofrem com o despejo sem tratamento esgotos vindos das áreas densamente povoadas de São Gonçalo e Niterói. Adicionalmente, diversas indústrias potencialmente poluidoras são encontradas nessa bacia, como a Sociedade Indústria de Refrigerantes S/A - FLEXA, a Guanabara Química Industrial S/A - GETEC, o Laboratório B.BRAUN S/A Produtos Farmacêuticos e a CCPL – Niterói.

Ainda, se realizado o cálculo da vazão de outorga requerida pelo Rio Alcântara para diluir toda a carga de Alumínio despejada pela estação de tratamento em seu curso seria necessária uma vazão de 118,32 m³/s. Esta magnitude de vazão requerida torna-se inviável uma vez que a vazão com 95% de permanência deste rio é 100 vezes menor aproximadamente 1,16m³/s. Esta vazão de outorga de diluição foi calculada de acordo com a equação abaixo para cada um dos efluentes da estação considerando como parâmetro analisado o Alumínio Total.

$$Q_{diluição} = Q_{efluente} \times \frac{(C_{efluente} - C_{máx})}{(C_{máx} - C_{nat})}$$

Onde,

$Q_{efluente}$ é a vazão do efluente que contém o parâmetro de qualidade analisado.

$C_{efluente}$ é a concentração do parâmetro de qualidade no efluente.

$C_{máx}$ é a concentração máxima permitida para o parâmetro de qualidade no manancial onde é realizado o lançamento.

C_{nat} é a concentração natural do parâmetro de qualidade no manancial onde é realizado o lançamento.

Consequentemente, por mais que a análise 1 tenha mostrado que a atividade foi sustentável durante o período estudado, de uma forma geral, o lançamento de efluentes sem tratamento da ETA Laranjal 01 contribui significativa e negativamente na qualidade do já degradado Rio Alcântara.

6.3. Propostas de melhorias na ETA Laranjal

6.3.1. Mudanças na operação

Após a análise de todos os resultados obtidos para o indicador de Pegada hídrica da ETA Laranjal e posterior avaliação da sustentabilidade na bacia na qual o empreendimento está inserido, será possível analisar propostas de melhoria já existentes em relação à operação feitas por SILVA (2015), além de propor novas medidas.

Conforme explicitado no capítulo 7.1, 55% do valor total da pegada hídrica vem da incorporação de água no produto, ou seja, a própria água potável produzida. Dessa forma, não é possível reduzir o volume de água incorporada no produto, afinal, é necessário, pelo menos, 1L de água bruta para se produzir 1L de água potável. Em outras palavras, a menor Pegada Hídrica de produto possível, nesse caso, é de 1L/L de água potável.

Por conseguinte, a fim de alcançar o objetivo de reduzir a Pegada Hídrica da produção de água potável, duas abordagens podem ser adotadas, simultaneamente ou não: reduzir a necessidade de captação de água e reduzir a carga de poluentes despejados nos rios.

Primeiramente, seguindo a primeira abordagem, não é possível reduzir a captação de água sem que seja realizada nenhuma alteração estrutural, afinal, consequentemente haveria uma redução na oferta de água para a população. Para que seja possível reduzir o volume de água captado sem causar prejuízos à população, é necessário ou diminuir a demanda, através da redução de perdas no sistema de abastecimento, ou a redução do uso consuntivo nos processos de tratamento de água, através do controle de evaporação ou reuso dos efluentes gerados. Entretanto, não será aprofundado o primeiro meio de reduzir a captação, pois envolve mudanças em áreas externas à Estação de Tratamento.

Uma das formas de reduzir a necessidade de captação de água é o controle do volume de água evaporado durante o tratamento. Contudo, a evaporação é responsável por apenas 0,003% da Pegada Hídrica dos processos de tratamento de água. Nestas condições, qualquer melhoria nesse sentido ocasionaria uma redução insignificante no valor final da Pegada Hídrica, não justificando os possíveis custos para adotar tal medida. Possivelmente, se for feita uma análise econômica da adoção de medidas de redução de evaporação, comparando o montante economizado através da redução de

água captada e os custos para adoção, esta seria justificada. Todavia, como a redução na Pegada Hídrica será mínima, essa avaliação se torna desnecessária no presente estudo.

Outra forma de reduzir o volume de água captado, através da redução do uso consuntivo desse recurso, seria a reciclagem dos efluentes gerados na limpeza dos equipamentos. HOEKSTRA *et. al.* (2011) define que reciclagem de efluentes é a reutilização de água no mesmo lugar onde estes foram gerados e para a mesma finalidade, enquanto que reuso de efluentes seria a reutilização destes em outros lugares e, possivelmente, para outras finalidades. Desta maneira, a reciclagem dos efluentes seria responsável pela redução da componente Vazão de Retorno Perdida da Pegada Hídrica Azul dos processos de tratamento.

A fim de seguir a segunda abordagem, seria necessária a construção de uma Estação de Tratamento de Efluentes visando à redução da carga de poluentes das águas residuais da lavagem dos equipamentos antes do despejo no Rio Alcântara. Entretanto, devido à reduzida área disponível para construção de novas instalações, essa solução seria inviável. Tendo isto em vista, uma alternativa para atingir esse objetivo também seria a reciclagem desses efluentes, de forma que os volumes lançados no rio Alcântara sejam nulos ou reduzidos, porém com a mesma concentração.

Existem diversas formas de reciclagem de água em processos e, conforme SILVA (2015) propõe, exigem uma área útil reduzida se comparado a uma Estação de Tratamento de Efluentes. Desta maneira, SILVA (2015) estuda a aplicação de um sistema de reciclagem dos efluentes que aplica diferentes soluções para os resíduos gerados nos decantadores (efluentes com um teor de sólidos e concentrações de poluentes mais elevadas) e filtros (efluentes com características mais próximas às da água bruta). No caso do decantador, os efluentes gerados pela sua Lavagem e Descarga Diária, são destinados a um adensador e, posteriormente, a um centrifugador onde ocorrerá uma separação parcial entre as fases líquidas e sólidas do efluente. Desta maneira, a fase líquida vinda de cada um desses processos será recirculada ao início do tratamento de água e a fase sólida gerada será destinada a um aterro sanitário. Já para os efluentes da Lavagem dos filtros, é proposta a homogeneização com mistura constante seguida pela recirculação ao processo de tratamento de água.

O potencial de redução da Pegada Hídrica da água potável produzida pela ETA Laranjal é altíssimo, levando em consideração a redução de ambas as pegadas azul e

cinza. Sendo a primeira, por redução das perdas nos processos e, a segunda, devido à interrupção no despejo de efluentes diretamente no rio Alcântara. SILVA (2015) calcula que as perdas no processo se reduziriam em 99,5%, totalizando 859m³/mês, sendo estas associadas à fase sólida gerada ao fim dos processos de adensamento e centrifugação e destinados a um aterro sanitário. Além disso, SILVA (2015) afirma que essa água circulada, por conter uma maior concentração de hidróxidos, poderia otimizar o processo de clarificação, gerando uma economia com produtos químicos (coagulante e floculante). Dessa forma, a nova Pegada Hídrica da água potável da ETA Laranjal seria:

Tabela 30 - Pegada Hídrica da Água tratada após aplicação da reciclagem dos efluentes.

Fonte: Elaboração Própria

Pegada Hídrica do Produto (L/L de água potável)	
<i>Pegada Hídrica Azul</i>	1,0002
<i>Pegada Hídrica Cinza</i>	-
<i>Pegada Hídrica Total</i>	1,0002

6.3.2. Recuperação de Coagulantes

Conforme mostrado no capítulo 6, atualmente uma carga altíssima de alumínio é despejada diretamente no Rio Alcântara de forma constante. Esse poluente faz parte do coagulante utilizado na ETA Laranjal que é convertido em hidróxido de alumínio insolúvel no processo de coagulação (PRAKASH *et. al*, 2004) e incorporado aos efluentes gerados nos processos de tratamento para, posteriormente, ser despejado no corpo hídrico. Através da aplicação da reciclagem dos efluentes gerados, não haveria mais o problema da poluição do curso d'água, afinal haveria a recirculação da parcela líquida, enquanto parcela sólida seria enviada para um aterro sanitário. Dessa forma, parte do alumínio utilizado como coagulante seria recirculado através da parcela líquida dos efluentes, apesar de outra estar concentrada na parcela sólida e, conseqüentemente, seria perdida ao dispô-la em um aterro.

KEELEY *et al.* (2012) mostra que há um grande benefício no reuso dos efluentes e disposição dos resíduos sólidos em aterros, mas essa estratégia falha na valorização dos constituintes presentes no lodo. Sendo assim, uma abordagem

potencialmente mais compensadora seria a recuperação e reuso do próprio coagulante presente no lodo, o que reduziria o volume de resíduo produzido, além da redução de cerca de 70% do uso de coagulante virgem (PRAKASH e SENGUPTA, 2003). Entretanto, técnicas de recuperação de coagulante, no caso estudado, um composto de alumínio, precisam superar diversos desafios para serem amplamente difundidos. Por exemplo, para o reuso na produção de água potável, é necessária a adequada purificação do coagulante recuperado visando estar de acordo com os padrões químicos requisitados para esse fim (KEELEY *et al.*, 2012). Ademais essas técnicas precisam se mostrar economicamente viáveis em relação ao simples uso do coagulante comercial para ser interessante ao empreendedor.

KEELEY *et al.* (2014) mostra que a primeira fase para qualquer técnica de recuperação de coagulante é a solubilização do lodo de uma ETA de forma a transformar o alumínio que está na forma insolúvel hidróxido de alumínio em um composto solúvel. O método mais utilizado é a solubilização em meio ácido utilizando ácido sulfúrico, afinal este é o que apresenta o melhor custo-benefício entre os métodos disponíveis. Contudo, como resultado da solubilização, são formados também compostos orgânicos potencialmente contaminantes. Portanto, a fim de utilizar a solução contendo o coagulante recuperado para o tratamento de água, é necessário separar o metal do contaminante. Deste modo, previne-se a contaminação da água tratada pela dosagem de coagulante recuperado. Caso o objetivo da solubilização seja a utilização em Estações de Tratamento de Esgoto, não é necessária a realização de nenhum outro processo.

Sendo assim, as diversas técnicas aplicáveis de recuperação de coagulante diferem-se na forma pela qual é realizada a separação entre o metal e os contaminantes. Em um estudo realizado por KELLEY *et al.* (2014), são mostradas diversas tecnologias que cumprem esse objetivo, sendo que será ilustrado abaixo somente três, para os quais foi feita uma análise de viabilidade econômica por KEELEY *et al.* (2012):

- *Ultrafiltração* – são utilizadas membranas que oferecem uma barreira física para que, através de diferença pressão, sejam capazes de separar o alumínio dos contaminantes, afinal o primeiro apresenta um tamanho mais reduzido que o segundo, de forma geral. De modo otimizado, essa técnica é capaz de recuperar 94% do alumínio e remover 78% da Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Além disso, a ultrafiltração tem o benefício de ser um método fácil e bastante estudado. Entretanto, problemas como a colmatção dos poros, alta demanda energética e baixa seletividade dos compostos filtrados se mostram como pontos negativos da técnica.

- *Membrana Donnan* – essa é uma membrana separadora de íons (ou cátions, no caso da recuperação de coagulantes) e o fluxo através da mesma é definido pelos gradiente eletroquímico e por suas características. Sendo assim, a separação do metal é causada pelo princípio de exclusão co-iônica de Donnan. Ou seja, a solução de recuperação, contendo uma concentração de ácido maior que a entrada de lodo, cria um gradiente de concentração de H^+ através da membrana. Sendo assim, esta membrana separadora de cátion permite os íons H^+ a difundir através dela a fim de alcançar equilíbrio termodinâmico. Já os co-íons sulfato, são rejeitados pela membrana, criando o gradiente eletroquímico. Deste modo, os metais são transportados no sentido contrário do seu gradiente de concentração, já que o movimento do íon metálico através da membrana é dominado pelo potencial eletroquímico. Assim, é possível recuperar soluções com altas concentrações de metais e, como os contaminantes orgânicos são amplamente rejeitados pela membrana, baixas concentrações dos mesmos. Segue abaixo a esquematização do processo:

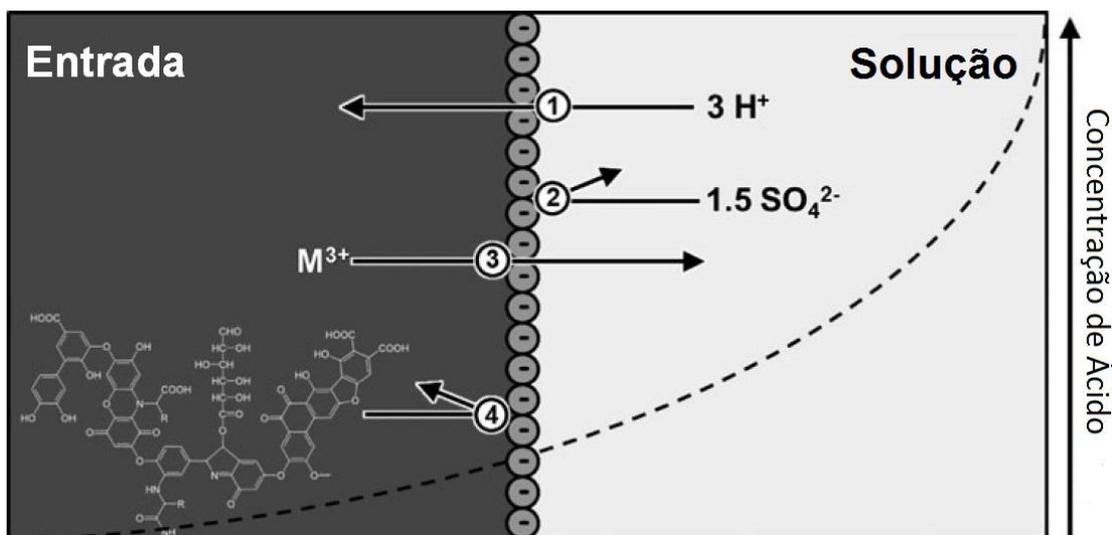


Figura 41 - Esquematização do processo de separação por membranas de Donnan.

Fonte: Adaptado de KEELEY et al., 2014

Como vantagens, as membranas de Donnan apresentam uma maior seletividade em relação aos contaminantes, além de uma baixa demanda energética e

ausência de colmatção dos poros. Entretanto, devido à cinética do processo, é necessária uma área específica de membrana alta (120cm²/L de lodo), já que o tempo de difusão recomendado é de 24 horas, demandando um maior gasto. Dessa forma, o custo benefício do processo é questionável. Ademais, o processo gera um novo lodo altamente acidificado que necessitará de uma neutralização antes de ser disposto corretamente.

- *Eletrodialise* – esse processo utiliza o mesmo conceito das membranas separadoras de íons, entretanto neste são utilizados cargas elétricas nas extremidades para induzir o movimento dos íons e cátions nas soluções. Dessa forma, não se depende mais do gradiente eletroquímico, sendo possível aproveitar da maior seletividade em relação aos contaminantes de processos como a Diálise de Donnan, associado a um maior controle sobre a cinética e os custos do processo, além de uma reduzida área de membranas. Entretanto, até o momento essa técnica não foi utilizada para recuperação de coagulantes usados em ETAs, sendo utilizada apenas para recuperação de cátions (níquel, cobre, alumínio e ácidos) nas indústrias de galvanização e anodização. Além disso, é reconhecido que essa técnica apresenta uma grande demanda energética e sofre, também, com o problema de colmatção, sendo estes os maiores desafios a serem superados para maior implantação da mesma. Segue abaixo a esquematização do processo:

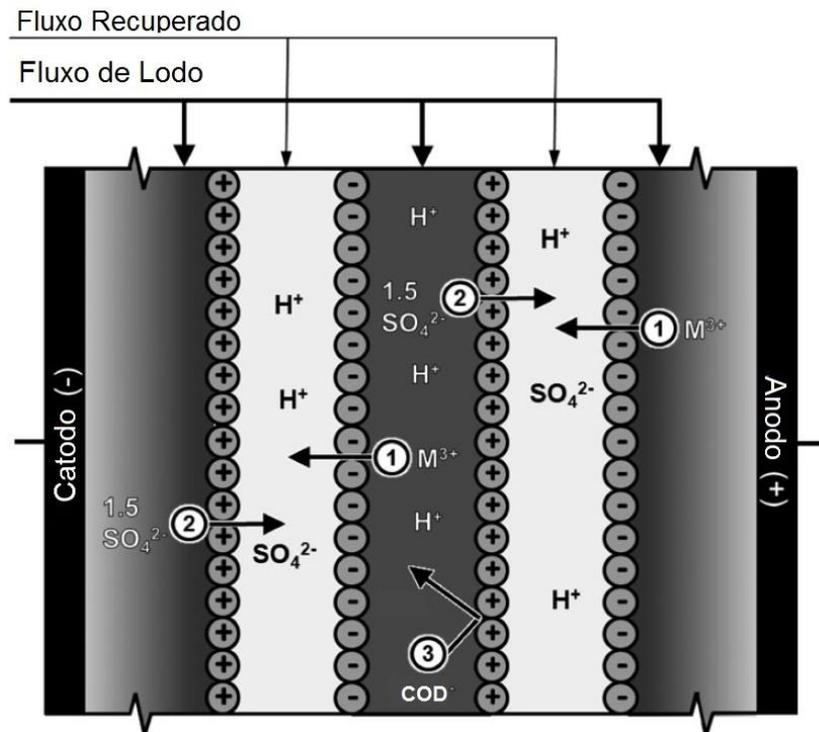


Figura 42 - Esquemática do processo de separação por Eletrodialise.
 Fonte: Adaptado de KEELEY et al., 2014

Conforme citado anteriormente, KEELEY *et al.* (2012) realizou uma análise de viabilidade econômica levando em consideração as três técnicas mostradas acima, além da possibilidade de utilização do coagulante no tratamento de esgotos somente com a solubilização, se comparado com a prática convencional – compra de coagulantes virgens. Nesta análise, foram considerados os custos relacionados à solubilização, uso de produtos químicos em geral, eletricidade (se aplicável), membrana e taxas para disposição em aterros para os processos de purificação do coagulante. No caso da dosagem do coagulante não purificado, foram considerados apenas os gastos com a solubilização do lodo, transporte da ETA para ETE, além da taxa de aterro para disposição dos rejeitos. Já para a prática convencional, compra e dosagem de coagulantes virgens, foi considerado o preço do coagulante comercial e taxas para disposição em aterros.

A partir dessa análise, foi possível concluir que, exceto pelo uso de membranas Donnan, todos os métodos alternativos apresentam um custo operacional menor que o apresentado pela prática convencional. O resumo dos valores obtidos apresenta-se na tabela abaixo:

Tabela 31 - Comparação entre os custos operacionais de técnicas-chave de reuso e a prática convencional.

Fonte: Adaptado de KEELEY et al., 2014

Custos operacionais dos coagulantes £/1.000 mols de M3+ recuperado ou comprado	Filtração por pressão	Membrana Donnan	Eletrodialise	Dosagem na ETE	Prática convencional
Solubilização Ácida	20	20	36	20	
Produtos químicos (Limpeza, ácido de diálise)	2	20	2		
Eletricidade	3		8		
Membrana	26	34	11		
Taxas do aterro	10	10	10	10	20
Transporte entre estações				20	
Coagulante comercial					60
Total	61	84	67	50	80

Entretanto, esse estudo foi realizado utilizando dados locais e premissas específicas para o país de estudo, no caso, a Inglaterra. Dessa forma, não é possível afirmar que serão encontrados os mesmos valores caso seja aplicada alguma das técnicas de recuperação de coagulante na ETA estudada. Consequentemente, seriam necessários maiores estudos acerca da aplicação dessas tecnologias, apesar de KEELEY *et al.* (2012) demonstrar que é possível alcançar uma economia, não só de recursos materiais como financeiros, em um caso específico.

6.4. Pegada Hídrica versus Análise de Ciclo de Vida

Com o passar dos anos, cada vez mais cresce a preocupação da população mundial sobre a disponibilidade de água doce. A água, um bem natural essencial para manutenção da vida humana e dos ecossistemas e em muitos locais escassa, deveria ser usada, portanto, com maior cautela a cada dia. Diante deste cenário, a mensuração do uso da água no ciclo de vida de produtos e processos torna-se de extrema importância para uma boa gestão dos recursos hídricos conforme mostrado ao longo desse trabalho. Assim, existem hoje algumas metodologias e ferramentas, além da Pegada Hídrica já apresentada, que auxiliam nos estudos de avaliação de consumo de água para que o desafio relacionado à utilização racional dos recursos hídricos seja alcançado. Alguns exemplos são:

- a) *Pegada Hídrica* – metodologia utilizada ao longo do presente trabalho focada em medir o volume de água usado direto ou indiretamente em toda cadeia de um produto, de um processo, de uma nação, um indivíduo, etc...
- b) *Análise de Ciclo de Vida (ACV)* - ferramenta de análise de sistemas utilizada para mensurar as diversas intervenções ambientais e sociais de um produto ao longo de toda sua cadeia produtiva.

- c) *Water Sustainability Planner/Tool* – desenvolvida pela Global Environmental Management Initiative(GEMI) essas ferramentas (Planner e Tool) consistem em plataformas online que auxiliam a empresa a entender sua relação com o consumo de água apresentando riscos e possíveis ações, assim como a relação com a bacia hidrográfica local.
- d) *Global Water Tool* - possibilita um mapeamento do uso da água nas atividades de uma empresa e avalia os riscos relativos aos usos diretos e nas cadeias de suprimentos.
- e) *Water Impact Index* – desenvolvida pela empresa Veolia, esta ferramenta se baseia na quantidade de água utilizada, no nível de estresse sobre os recursos hídricos e na qualidade da água considerando todo o ciclo de vida de uma atividade. Esta ferramenta busca auxiliar as empresas a planejarem projetos a longo prazo com uma abordagem sustentável.

No entanto, no Brasil estas ferramentas, mesmo que muito úteis para empresas, entidades públicas e consumidores, ainda são bem pouco utilizadas. Destacam-se mesmo que ainda com algumas ressalvas a Pegada Hídrica e a Análise do Ciclo de Vida (ACV) por englobarem na análise toda a cadeia produtiva de um processo ou produto.

A Pegada Hídrica muitas vezes é comparada com a Pegada de Carbono já bastante utilizada ao redor do mundo. No entanto, ao contrário da Pegada de Carbono os somatórios dos consumos de água (azul, verde e cinza) de diferentes produtos e serviços não podem ser comparados. Isto porque a pegada hídrica não necessariamente é expressa em uma mesma unidade para todos os produtos. Desta forma não é possível utilizar para efeito comparativo 40L de água para produção de uma fatia de pão com 75L de água para produção de um copo de cerveja.

Ademais, o conceito de pegada hídrica pode ser mal interpretado. Um produto ou processo com uma pegada hídrica menor, não necessariamente causa menos impacto social e ambiental, uma vez que a magnitude do impacto está intrinsecamente relacionada com o estresse hídrico da fonte de água. Desse modo seria preciso incorporar a essa medida volumétrica fatores de caracterização do estresse hídrico local, incluindo assim a relação de demanda e oferta no cálculo da Pegada Hídrica.

No entanto, de acordo com HOEKSTRA *et al.* (2011) a Pegada Hídrica apesar de não apresentar informações a respeito das condições hídricas locais, esta inclui dados

sobre o impacto indireto da fonte de retirada da água que pode vir a contribuir para o estresse hídrico. Esta informação não é apresentada em fatores característicos, mas sendo o cálculo da Pegada Hídrica dividido entre azul, verde e cinza, ele permite saber onde se encontra o consumo mais intensivo de água ao longo do processo produtivo, e, portanto, onde provavelmente existe um impacto mais significativo. Caso o maior consumo esteja na pegada azul, deve-se checar uma maneira de reduzir o consumo direto de água. Já se o maior volume de água utilizado está na pegada verde, então deve-se tornar mais eficiente o uso de água na produção agrícola da matéria prima. Mas se a pegada cinza for a de maior impacto, então é necessário reduzir os parâmetros acima do padrão de lançamento no corpo hídrico de destino. Portanto em áreas que sofrem com escassez hídrica, saber onde do processo deve ser a principal atuação para aumentar a eficiência do uso da água e reduzir desperdícios é de extrema importância.

Segundo HOEKSTRA *et al.* (2011) o principal objetivo da Pegada Hídrica é ser uma ferramenta que auxilie na gestão de recursos hídricos. Sendo assim a característica volumétrica desta ferramenta é de fundamental importância e caso a Pegada Hídrica fosse transformada em um agregado de índices de impacto esta característica essencial para uma boa gestão seria perdida.

No caso da Análise de Ciclo de Vida (ACV), esta é definida segundo a ISO 14040 (ISO, 2006) como uma avaliação técnica dos aspectos e potenciais impactos ambientais associados ao sistema de um produto. O estudo de ACV, apesar de ser uma importante ferramenta de gestão capacitada para mensurar o impacto de um produto ou serviço ao longo de toda sua cadeia produtiva de acordo com MULLER (2012) ela não aborda de maneira detalhada e abrangente o uso da água e as consequências de seu esgotamento. A Análise de Ciclo de Vida é amplamente aceita ao redor do mundo, porém geralmente está focada para o consumo de energia ou emissão de gases causadores do efeito estufa, sendo mesmo o uso direto de água superficial ou subterrânea muitas vezes negligenciado durante o ciclo de vida de um produto. (BERGER e FINKBEINER, 2010)

A Análise de Ciclo de Vida é fundamentada na elaboração de um inventário do uso de água, o qual se baseia no princípio da subtração do volume de efluentes líquidos gerado do volume total de entrada de água natural no processo produtivo, o qual inclui informações espaciais e/ou de qualidade da água bastante limitadas. O banco de dados

de um inventário de Análise de Ciclo de Vida normalmente inclui somente o local de origem do recurso hídrico e onde este é descartado.

Desta forma, se um estudo de ACV aponta para um problema ambiental potencial relacionado ao consumo de água, é necessário que uma análise mais detalhada seja elaborada. Esta análise adicional deve levar em consideração por exemplo as condições hídricas locais e identificar possíveis medidas mitigadoras.

Ainda de acordo com MULLER (2012), a Pegada Hídrica inclui informações sobre a evapotranspiração da água da chuva no cálculo da Pegada Verde enquanto a ACV não contempla dados a respeito. A Pegada Hídrica também possui como uma de suas componentes a Pegada Cinza associada a poluição das águas e a ACV, todavia necessita de diversas categorias de impacto para que juntas forneçam informações sobre a qualidade da água.

A Pegada Hídrica engloba uma perspectiva completa do ciclo de vida do produto, podendo desta forma evidenciar o total de água utilizado na produção do mesmo. Sendo assim, esta metodologia pode ser utilizada como suporte a Inventários ou Análises de Ciclo de Vida dando maior enfoque a utilização dos recursos hídricos, ou ainda individualmente como foi feito ao longo deste estudo quando o foco da análise é exclusivamente o consumo de água, o que a torna bastante versátil dependendo do objetivo do estudo.

Logo, a Pegada Hídrica pode ser considerada então como um avançado inventário do uso de água uma vez que leva em consideração em seus cálculos o consumo de água verde e cinza, enquanto inventários originais apenas utilizam o consumo de água direto, a Pegada Hídrica Azul.

HOEKSTRA *et al.* (2009) propõe 3 maneiras de utilização da Pegada Hídrica associadas a Análise de Ciclo de Vida, são elas:

- 1) Water Footprint Accounting – utilizada na fase de elaboração do Inventário de Ciclo de Vida engloba o volume de água consumido ou poluído por unidade de produto e assim, busca a utilização da água de forma sustentável e eficiente.
- 2) Water Footprint Impact Assessment – utilizada para elaboração da Análise de Ciclo de Vida inclui diversas variáveis mensuráveis de impacto

ambiental, social e econômico procurando reduzir os impactos locais do consumo de água.

- 3) Aggregated Water Footprint Impact Assessment – Este uso é totalmente voltado para a Análise de Ciclo de Vida e busca encontrar impactos ambientais de um produto no formato de índice, agregando-os.

Em 2007, foi formado um grupo de projeto denominado WULCA sob a direção do programa de meio ambiente das Nações Unidas e da Sociedade de Toxicologia Ambiental e Iniciativa de Ciclo de Vida. Este grupo, formado por pesquisadores de diferentes países da América do Norte, Europa e Austrália, busca desenvolver um método de inventário integrado para análise, comparação e divulgação da eficiência de produtos e processos a respeito do consumo de água potável.

De acordo com o grupo WULCA (2014), a Pegada Hídrica funciona como um método que identifica uma fração dos impactos de atividades humanas relacionados a água. A quantificação de tais impactos é feita através das categorias de impacto da tradicional Análise de Ciclo de Vida (eutrofização, acidificação, eco-toxicidade, etc...).

Este mesmo grupo desenvolveu então um indicador denominado AWARE, utilizado para representar a disponibilidade remanescente de água por área de um corpo hídrico após a retirada do volume para consumo humano e manutenção do ecossistema. Este indicador busca mostrar o potencial de privação do recurso hídrico tanto para os seres-humanos quanto para a natureza. Em uma segunda etapa o indicador é comparado com a média mundial.

A partir do uso da Pegada Hídrica, empresas ou entidades envolvidas podem conhecer melhor a pressão exercida por suas atividades sobre a disponibilidade de água e assim tomar decisões com o objetivo de compensar as interferências de maneira mais efetiva. Na prática, a utilização da ferramenta pode ainda melhorar o desempenho de processos através do uso de insumos que consomem menos água ou com a implementação de projetos que estimulem o reuso resultando em um consumo direto inferior ao anteriormente adotado e assim convergir para um benefício inclusive econômico. A Pegada Hídrica possui ainda grande potencial para permitir que os consumidores fiquem atentos aos impactos de suas escolhas de compra e assim, tomarem decisões de consumo com maior responsabilidade.

Por fim, diversas pesquisas ainda estão sendo realizadas com o intuito de desenvolver um indicador que permita uma melhor compreensão e gestão de um recurso tão fundamental quanto a água e que possa ser utilizado ao redor do mundo.

7. Considerações Finais

É notável a necessidade de uma maior preocupação com as águas disponíveis na forma de um recurso para a manutenção da vida em nosso planeta. Com o amplo crescimento da população nas próximas décadas, esperando-se chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, a pressão sobre recursos naturais, como a água, se tornará ainda maior (UN, 2015). Ademais, aliado ao consumo direto dos recursos hídricos, está o despejo de efluentes oriundos de atividades humanas em corpos d'água, alterando sua qualidade, modificando sua possibilidade de usos e, possivelmente, causando morte de diversas espécies animais. Um relatório da WWF (2010) afirma que todos os dias dois milhões de toneladas de esgoto são lançados nas águas do mundo e 70% dos resíduos industriais não tratados são lançados diretamente nos corpos hídricos.

Tendo isso em vista, surge a necessidade de uma melhor compreensão do modo como utilizamos os recursos hídricos do nosso planeta, de forma que seja possível utilizá-los de maneira sustentável, ou seja, sem comprometer sua disponibilidade para as gerações futuras. Deste modo, o presente estudo visou entender melhor como funciona uma das possíveis ferramentas utilizadas na Gestão de Recursos Hídricos e aplica-la numa atividade de extrema importância na vida cotidiana dos seres humanos, a produção de água potável. Posteriormente, foi possível analisar a sustentabilidade dos processos envolvidos no tratamento de água, relacionando-os à disponibilidade deste recurso nas bacias impactadas pelo empreendimento a ser estudado.

Nesse sentido, primeiramente este estudo buscou mostrar o contexto da água em nosso planeta, explicando como o ciclo hidrológico pode causar uma falsa ideia de que este é um recurso infinito e, portanto, passível de um uso indiscriminado. FAO (2007) confirma que esse é um pensamento errado ao mostrar que de 5% a 25% do consumo de água no mundo excede a capacidade de renovação dos recursos hídricos. Em seguida, revelou-se necessário um melhor entendimento do contexto da gestão desse recurso no Brasil, a fim de saber como este país atua para a conservação desse bem, o qual apresenta duas realidades opostas em seu território: escassez e abundância de água.

De forma a entender melhor como aplicar Avaliação de Pegada Hídrica, este estudo mostrou seu contexto histórico, seus conceitos-chave, além da sua relevância. Inicialmente, esse conceito foi concebido como uma forma de ilustrar o volume de água

comercializado através do comércio de commodities agrícolas, principalmente nas regiões do Oriente Médio e Norte da África (ALLAN, 1993). Atualmente, o criador do conceito, professor A. Hoekstra, junto de lideranças globais fundaram o Water Footprint Network (WFN) de forma a difundir a aplicação, além de demonstrar a importância da sua utilização por parte de organizações e da academia.

Como exemplos de sua importância, podemos citar: para pessoas, uma maior conscientização sobre seu consumo e identificação de meios de redução da sua Pegada Hídrica; para nações, o melhor entendimento das externalidades causadas pela importação de bens de outros países, além da formulação de políticas nacionais e regionais de recursos hídricos mais coerentes com a realidade; para empresas, melhor compreensão dos riscos relacionados a escassez hídrica e possibilidade de elaboração de estratégias para contornar esse problema, além de se antecipar possíveis controles regulatórios por parte do governo (HOEKSTRA *et al.*,2011).

Adicionalmente, foi necessário compreender como funcionam os processos convencionais de tratamento de água em uma ETA, a fim de aplicar a metodologia de cálculo de Pegada Hídrica desenvolvida por HOEKSTRA *et al.* (2011). Dessa forma, foram analisados os processos de tratamento da ETA Laranjal 01, situada no município de São Gonçalo – RJ, buscando quantificar tanto o seu consumo direto de água, quanto os volumes e composição de seus efluentes nos processos mais representativos – i.e. floculação, decantação e filtração – buscando aplicar a metodologia citada anteriormente. Ademais, visando analisar a sustentabilidade desse empreendimento na região, foi necessário conhecer o contexto da mesma, ou seja, analisar suas características geográficas gerais, como uso da água e solo e clima, por exemplo.

Dessa forma, conhecendo os processos de tratamento de água na ETA Laranjal e utilizando os dados disponíveis em SILVA (2015), foi possível utilizar a metodologia de cálculo de Pegada Hídrica para o período de Setembro de 2013 até Fevereiro de 2014. Além disso, para o cálculo da Pegada Hídrica Azul, se fez necessária a utilização do Modelo CRLE, explicado por ONS (2004), para estimar o volume de água evaporado. Para a análise de sustentabilidade da bacia, como não foi possível obter os valores das Pegadas Hídricas dos demais empreendimentos presentes na mesma, foi necessário realizar uma análise relativa somente à ETA Laranjal 01. Ou seja, foi relacionada somente a Pegada Hídrica desta Estação com a vazão do rio de onde sua

água é captada (Pegada Azul) e do rio onde seus efluentes são despejados (Pegada Cinza). Ademais, de forma a realizar a Análise de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul, foram utilizadas duas vazões de referência de forma separada, uma considerando a vazão real medida por um posto fluviométrico e a Q_{95} determinada no Plano Estadual de Recursos Hídricos. Já para a Pegada Hídrica Cinza, devido à falta de dados de vazão para os rios da bacia onde o efluente da ETA é despejado, foi necessário realizar a regionalização de vazões utilizando a metodologia de Vazão Específica (AGRA et al., 2003).

Após o cálculo das Pegadas Hídricas dos processos, constatou-se que a filtração é a que apresenta a maior Pegada Hídrica Azul, principalmente devido à incorporação de água, ou seja, a produção da água potável em si. Para a Pegada Hídrica Cinza, o processo mais representativo foi a decantação, tendo em vista sua grande demanda de água para limpeza, associada à alta carga de poluentes presente no efluente gerado, em especial o alumínio. Enquanto isso, a Pegada Hídrica da floculação foi ínfima se comparada com os demais processos.

Para a Pegada Hídrica do Produto, foi calculado que são necessários 1,81L de água para se produzir 1L de água potável. Desse valor, como era de se esperar, 1L é referente à água incorporada ao produto, ou seja, a própria água potável produzida. Os outros 0,81L abrangem a evaporação e água utilizada para lavagem de equipamentos (Pegada Azul) e volume de água utilizado para diluição dos efluentes lançados no corpo hídrico (Pegada Cinza), sendo 97% desse valor referente à componente Cinza da Pegada Hídrica. Em outras palavras, o despejo de efluentes sem tratamento no corpo hídrico representa 44% da Pegada Hídrica Total ou 97% da Pegada Hídrica desconsiderando a incorporação de água no produto.

Posteriormente, ao realizar a Análise de Sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul e Cinza, nota-se um comportamento similar para ambas. Ao utilizar a Vazão Real na análise, pode-se observar que, considerando apenas a ETA Laranjal 01 fazendo uso do rio, a atividade foi sustentável durante o período avaliado. Entretanto, se considerada a Q_{95} dos rios como vazão de referência, conclui-se a insustentabilidade em ambas as análises. Como a segunda análise representa um espectro temporal maior, pode-se inferir que esta representa uma tendência quanto à sustentabilidade das bacias em si,

tendo em vista as diversas crises vividas na última década, onde a o abastecimento de água da região foi afetado.

Ao analisar os valores obtidos, podem-se observar diversas melhorias a serem realizadas de forma a tornar o resultado mais acurado. Alguns exemplos são o monitoramento contínuo dos dados de vazão e composição dos efluentes, a disponibilidade de informações para o uso de metodologia de cálculo de evaporação melhor para esse caso, maior disponibilidade de dados de vazão dos rios estudados quantitativa e qualitativamente e a aplicação da metodologia para outros empreendimentos da região

Em seguida, foram apresentadas propostas de melhorias na operação da ETA Laranjal 01 de forma a reduzir sua Pegada Hídrica, além de trazer outros benefícios. SILVA (2015) propôs a reciclagem dos efluentes na estação, o que reduziria o volume de água utilizado para lavagem dos equipamentos, além da carga de poluentes despejados nos rios. Caso a ETA já tivesse adotado a reciclagem dos efluentes durante o período estudado, a Pegada Hídrica da Água Tratada seria 1,002 L/L de água potável produzida, uma redução de 46% no valor encontrado anteriormente. Adicionalmente, foi mostrada uma alternativa de recuperação do alumínio utilizado como coagulante e que é descartado, seja diretamente no rio como é feito atualmente ou no lodo da ETA, caso seja implantada a reciclagem dos efluentes. Dessa forma, a grande quantidade de alumínio que é descartada poderia ser recuperada através de técnicas que já são amplamente difundidas, porém para outras finalidades. Entretanto, deve-se avaliar a viabilidade econômica dessa possibilidade ser implantada no local estudado, apesar de pesquisa anterior demonstrar sua viabilidade na realidade inglesa (KEELEY *et al.*, 2014).

Adiante, foi realizada a comparação da Avaliação de Pegada Hídrica com relação a outros indicadores relacionados à gestão de recursos hídricos, especialmente a Análise de Ciclo de Vida (ACV). Hoekstra et al. (2011) explica que, apesar da Pegada Hídrica não apresentar informações a respeito das condições hídricas locais, esta inclui dados sobre o impacto indireto na fonte de retirada da água que pode vir a contribuir para o estresse hídrico, dentre outras vantagens e desvantagens. Já a ACV é uma importante ferramenta de gestão de impactos de um produto por englobar diversos aspectos, não só o uso da água. Entretanto, esta não aborda de maneira detalhada e

abrangente o uso da água e as consequências de seu esgotamento, da forma como a Pegada Hídrica faz. Deste modo, caso o impacto de um produto sobre os recursos hídricos for definido como significativo, ambas as metodologias poderiam ser usadas de forma complementar visando uma melhor representação desse impacto na ACV.

Como este foi um estudo pioneiro em relação à utilização dessa metodologia em Estações de Tratamento de Água, espera-se que seja um incentivo para uma maior preocupação com a gestão de recursos hídricos dessa atividade. Diversas ações podem representar um avanço nesse sentido, como: a implantação da continuidade desse estudo e busca de melhorias na própria estação; a pesquisa de partes relacionadas a este estudo, por exemplo, avaliação de metodologias de cálculo de evaporação ou adoção de recuperação de coagulantes; ou a utilização da mesma metodologia em outras ETAs de forma a comparar os resultados obtidos e estabelecer o estado da arte dessa atividade.

Desta maneira, são propostos alguns possíveis trabalhos futuros visando à complementação deste e consequente ampliação do conhecimento sobre o tema no meio acadêmico. Destes, pode-se citar: avaliação de cenários futuros a partir de dados obtidos no presente estudo; ampliação da base de dados de forma a realizar uma análise mais confiável; análise das Pegadas Hídricas dos insumos utilizados nos processos (e.g. sulfato de alumínio, energia) visando considerar a parcela de consumo indireto de água nessa atividade; e análise das Pegadas Hídricas dos demais empreendimentos da região a fim de realizar a avaliação de sustentabilidade da Bacia Guapi-Macacu como um todo.

8. Bibliografia

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2012. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2012. Brasília, 432 p., 2012. Disponível em: http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2012_inf.pdf

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2013. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013. Brasília, 432 p., 2013. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projpro/index.html.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2015, Hidroweb - Sistemas de Informações Hidrológicas, Disponível em: www.hidroweb.ana.gov.br; Acesso em 07/01/2016

ALLAN, J.A., 1993, “Fortunately there are Substitutes for Water Otherwise our Hydro-political Futures would be Impossible”. In: *Priorities for Water Resources Allocation and Management*. London, United Kingdom: ODA: 13–26.

ALLAN, J.A., 2003, “Virtual Water - the Water, Food, and Trade Nexus Useful Concept or Misleading Metaphor?” IWRA, **Water International**, Volume 28, Number 1. London, United Kingdom

ALMEIDA, D.L.; BENASSI, R.F, 2015. “Crise hídrica e de energia elétrica entre 2014-2015 na região Sudeste”. **Revista Hipótese**, Itapetininga, v. 1, n.2, p. 65-76. Disponível em: <http://itp.ifsp.edu.br/ojs/index.php/HIP/article/view/88/44>.

AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2013, **EIA/RIMA para Análise da Viabilidade Ambiental da Implantação da Barragem do Rio Guapi-Açu com vistas a ampliação da Oferta de Água para a região do Conleste Fluminense, localizado no Município de Cachoeiras de Macacu/RJ**, Rio de Janeiro.

ANDRADE, T. A. G., RIBEIRO, J. C.de F., SILVA, E. R., MATTOS, U. A. O., NASCIMENTO, E. A., 2010. “A integração de políticas públicas na ação contra enchentes em bacias hidrográficas antropizadas: o caso do município de São Gonçalo, RJ”. In: VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro. Disponível

em:

<http://www.eng.uerj.br/publico/anexos/1281057384/Aintegracao depoliticaspUBLICAS.pdf>.

APHA, AWWA e WEF, 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Ed. 22.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 1995, “NBR 12.216. Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público”

BENAVIDES, Z. C.; CINTRÃO, R. P.; FIDALGO, E. C. C.; PEDREIRA, B. da C. C. G.; PRADO, R. B., 2009, “Consumo e abastecimento de água nas bacias hidrográficas dos rio Guapi-Macacu e Caceribu- RJ”, Embrapa Solos. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/664475/consumo-e-abastecimento-de-agua-nas-bacias-hidrograficas-dos-rios-guapi-macacu-e-caceribu-rj>
Acesso em: 09/11/2015

BERGER, M., FINKBEINER, M., 2010. “Water Footprinting: How to Address Water Use in Life Cycle Assessment?”. *Sustainability*, V. 2, pp. 919-944.

BRASIL, 1997, “Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997.” **Diário Oficial da União**

CEDAE, 2015, **Informativo anual sobre a qualidade da água distribuída para a população do estado do Rio de Janeiro de Janeiro a Dezembro de 2014**. Disponível em: http://www.cedae.com.br/Portals/0/relatorio_anual/2014/FR2014_ETA_Laranjal.pdf
f Acesso em: 19/10/15.

COMITÊ DE BACIA DA BAÍA DE GUANABARA (CBBG), 2016. Disponível em: <http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/>. Acesso em: 30/01/2016

CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S.A., 2007. **Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro: estudo de impacto ambiental - EIA. Rio de Janeiro**

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI), 2013, Água, indústria e sustentabilidade. Brasília, 224p.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CERHI), 2013. “Resolução CERHI-RJ Nº 107, 22 DE MAIO DE 2013.” **Diário Oficial do Estado**

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA), 2005, “Resolução nº 357, de 17 de março de 2005”. **Diário Oficial da União**, nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Brasília, DF.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), 2011, “Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011”. **Diário Oficial da União**.

DI BERNARDO, L., SCALIZE, P.S., SOUZA FILHO, A. G., 1999. Água de lavagem de filtros rápidos. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água**. ABES, Rio de Janeiro, Brasil, 169-202.

ERCIN, A.E., MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y., 2013, “Sustainability of national consumption from a water resources perspective: The case study for France”, **Ecological Economics**, ed. 88, pp. 133-147.

FEEMA (atual INEA), INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, 1983, **Manual do Meio Ambiente: métodos**. Dicomt, v.2, Rio de Janeiro.

FERREIRA, C.E. , 2012, *Sistema de Suporte à decisão espacial aplicado à análise da vulnerabilidade dos recursos hídricos na bacia Guapi-Macacu / RJ*. Tese de MSc., Centro de Tecnologia e Ciências/UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FERREIRA, F. F., 2014, *Pegada Hídrica da Geração de Energia Hidrelétrica no Brasil – Um estudo de caso da AES Tietê SA*. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FIDALGO, E. C. C., PEDREIRA, B. da C. C. G., ABREU, M. B. de, MOURA, I. B. de, GODOY, M. D. P., 2008, “Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Guapi-Macacu”, **Embrapa Solos**. Disponível em :<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/340064/uso-e-cobertura-da-terra-na-bacia-hidrografica-do-rio-guapi---macacu> Acesso em: 07/11/2015

FIGUEIREDO, I.C., 2015. Notas de aula do curso de Tratamento de Água. Escola Politécnica – UFRJ. Dhrima – Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

FIRMO, H.T., 2015. Notas de aula do curso de Gestão dos Recursos Hídricos. Escola Politécnica – UFRJ. Dhrima – Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

FONTANA, A.O, 2004. *Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador como Solução para Redução de Volume de Lodo de Decantadores e Reuso de Água de Lavagem de Filtros – Estudo de Caso – ETA Cardoso*. 2004. 164 f. Tese (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2007, Disponível em: <https://www.fao.org.br/h2o.asp> Acesso em: 15 de Novembro de 2015

FUNDAÇÃO CEPERJ, 2013, Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/Anuario2013/ApresentacaoInfraSaneamento.html> Acesso em : 31/01/2016

FUNDAÇÃO COPPETEC, 2014. Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/GESTAODEAGUAS/InstrumentosdeGestodeRecHid/PlanosdeBaciaHidrografica/index.htm>.

GLOBO, O, 2015, Seca no Rio São Francisco atinge situação mais crítica da história. Disponível em: <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2015/06/seca-no-rio-sao-francisco-atinge-situacao-mais-critica-da-historia.html>. Acesso em: 03/03/2016.

GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS (GPRH), 2008. SisCoRv 1.0: Sistema Computacional para regionalização de vazões. Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br/index.php?area=softwares>. Acesso em: 07/01/2016

HAMMER, M. J., 1979. **Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos**. Rio de Janeiro, Brasil, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

HOEKSTRA, A. Y., 2002, “Virtual water trade: An Introduction.” **Value of Water Research Report Series**, No 11. Delft, The Netherlands: IHE.

HOEKSTRA, A. Y., A. K. CHAPAGAIN., 2008, **Globalization of Water: Sharing the Planet’s Freshwater resources**. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2008.

HOEKSTRA, A. Y., LEENES, W. G., MEER, T. H., 2009. “Reply to Pfister and Hellweg: Water footprint accounting, impact assessment, and life-cycle assessment”. **PNAS**, V. 106. Disponível em: <http://www.pnas.org/content/106/40/E114.full>.

HOEKSTRA, A.Y. , CHAPAGAIN, A.K., 2007, “Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern”, **Water Resources Management**, ed. 21, pp. 35-48.

HOEKSTRA, A.Y., 2008, “Measuring Your Water Footprint: What’s Next in Water Strategy” **Leading Perspectives**, pp. 12-19.

HOEKSTRA, A.Y., 2010, “The water footprint: water in the supply chain”, **The Environmentalist**, v. 93, pp. 12-13

HOEKSTRA, A.Y., HUNG, P.Q., 2002, “Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows Between Nations in Relation to International Crop Trade.” **Value of Water Research Report Series No 11**. Delft, The Netherlands: IHE.

HOEKSTRA, A.Y., MEKONNEN, M.M., CHAPAGAIN, A.K., MATHEWS, R.E, RICHTER, B.D., 2012. “Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability”, **PLoS ONE**, ed. 32688.

HOEKSTRA, A.Y; CHAPAGAIN, A. K; ALADAYA, M.M; MEKONNEN, M.M., 2011, *The Water Footprint Assessment Manual*. In: ISBN: 978-1-84971-279-8 hardback, London • Washington, DC.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA), 2013. Regiões Hidrográficas do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.inea.antigo.rj.gov.br/recursos/photos/Mapa_DOT2_ResRH.jpg

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), 2015. Mapas do Boletim Agroclimatológico. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=agrometeorologia/boletimAgroclimatologico>. Acesso em: 09/01/2016

ISO, 2006, “ISO 14040:2006 – Life Cycle Assessment”

ISO, 2014, “ISO 14046:2014 – Water Footprint”

JEFFERIES, D., MUÑOZ, I., HODGES, J., KING, V. J., ALDAYA, M., ERCIN, A. E., CANALS, L. M., HOEKSTRA, A. Y., 2012. “Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine”. **Journal of Cleaner Production**, V. 33, pp. 155-166.

JESWANI, H. K., AZAPIC, A., 2011. “Water footprint: methodologies and a case study for assessing the impacts of water use”. **Journal of Cleaner Production**, V. 19, pp. 1288- 1299.

KEELEY, J., JARVIS, P., S. J. JUDD, S.J., 2012, “An economic assessment of coagulant recovery from water treatment residuals”. **Desalination**, V, 287 pp. 132–137

KEELEY, J., JARVIS, P., S. J. JUDD, S.J., 2014, “Coagulant Recovery from Water Treatment Residuals: A Review of Applicable Technologies”. **Environmental Science and Technology**, V. 44, pp. 2675–2719.

MANSON, L., EPPS, T., 2014, “Water Footprint Labelling and WTO Rules.” **Review of European, Comparative & International Environmental Law**, v. 23.

MEKONNEN, M.M., PAHLOW, M., ALDAYA, M.M., ZARATE, E., HOEKSTRA, A.Y., 2015. “Sustainability, Efficiency and Equitability of Water Consumption and Pollution in Latin America and the Caribbean”. **Sustainability**, v. 7, p. 2086-2112. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/2/2086/html>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011, “Portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011. Dispões sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.” Diário Oficial da União

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2001. **Plano de Manejo da Área de proteção ambiental de Guapimirim**

MORTON, F.I., 1983, “Operational Estimates of Lake Evaporation”, **Journal of Hydrology**, v. 66, pp. 77-100.

MULLER, G. T., 2012. *Emprego da Pegada Hídrica e da Análise de Ciclo de Vida para a avaliação do uso da água na cadeia produtiva do biodiesel de soja*. Tese de

MSc., Instituto de Pesquisas Hidráulicas/ UFRGS. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

NEGREIROS, D.H., ARAUJO, F.P., COREIXAS, M.A, 2002. **Nossos Rios**. Instituto Baía de Guanabara, Niterói, RJ, 34p. Disponível em: http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/publicatiop/nossos-rios-estudo-do-instituto-baia-de-guanabara-ibg/wppa_open/.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS), 2004. Evaporações líquidas nas Usinas hidrelétricas. Disponível em: http://www.ons.org.br/download/operacao/hidrologia/rel_evapora%C3%A7%C3%A3o_08_02_2006.pdf

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU), 2015, Agenda 2030. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>

PEDREIRA, B. da C. C. G., FIDALGO, E.C.C., PRADO, R.B, CINTRÃO, R. P., BENAVIDES, Z.C., 2009. “Demanda e Oferta de Água nas Bacias Hidrográficas Guapi-Macacu e Caceribu em Área de Mata Atlântica – RJ.” In: *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Campo Grande.

PEDREIRA, B. da C. C. G.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; CINTRÃO, R. P.; BENAVIDES, Z. C., 2010, “Síntese do cenário contemporâneo da oferta e consumo de água nas bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu”, **Embrapa Solos**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/publicacao/881984/sintese-do-cenario-contemporaneo-da-oferta-e-consumo-de-agua-nas-bacias-hidrograficas-dos-rios-guapi-macacu-e-caceribu> Acesso em: 07/11/2015

PFISTER, S., KOEHLER, A. HELLWEG, S., 2009. “Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA”. **Environmental Science and Technology**, V.43, pp. 4098- 4104.

PLANETA SUSTENTÁVEL, 2013, A água que você não vê. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/download/stand2-painel4-agua-virtual.pdf>. Acesso em: 16/01/2016.

PRAKASH, P., HOSKINS, D., SENGUPTA, A.K., 2004, “Application of homogeneous and heterogeneous cation-exchange membranes in coagulant recovery from water treatment plant residuals using Donnan membrane process”, **Journal of Membrane Science** V. 237.

PRAKASH, P., SENGUPTA, A.K., 2003, “Selective coagulant recovery from water treatment plant residuals using Donnan membrane process”, **Environ. Sci. Technol.**, V. 37.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD), 2000, Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/odm.aspx>

RICHTER, C. A., NETTO, J. M. de A., 2013. **Tratamento de água: Tecnologia Atualizada**. São Paulo, Brasil, Edgard Blucher.

ROQUE, R. de O., SANSIGOLO, C. A., 2000, “Estimativas de Evaporação do Lago de Taquaruçu, SP pelo Modelo Conceitual de Morton”, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, pp. 21-28. Disponível em: https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/22f148ce26f4e5a9d508bd7734f96507_75cc3f987c18cad93de4b90aaba2f0aa.pdf

SEGAL, R., MACMILLAN, T., 2009. “Water Labels on Food: Issues and Recommendations”. Food Ethics Council. Brighton, UK. Disponível em: http://www.foodethicscouncil.org/uploads/publications/waterlabels_0.pdf.

SILVA, E. R. A., 2015. *Avaliação Estratégica para a Recuperação das Águas Residuais da ETA Laranjal/RJ*. Tese de MSc., Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RIOS E LAGOA (SERLA) ATUAL INEA, 2007, “PORTARIA SERLA N° 567, de 07 de maio de 2007.” **Diário Oficial de Estado**.

THODE, B. de A.X.; CUNHA, T.V. 2015, *Avaliação de Riscos Hídricos Corporativos – Aplicação das Ferramentas Water Risk Filter e Aqueduct*. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

UNESCO – WWAP, 2003, **Water for People Water for Life: The United Nations World Water Development Report**, Barcelona, Berghahn Books. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001297/129726e.pdf#page=27>

UNITED NATIONS (UN), 2015, World Population Prospects: Methodology of the United Nations Population Estimates and Projections - 2015 Revision. Disponível em: http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2015_Methodology.pdf. Acesso em: 17/01/2016.

UNITED NATIONS INTER-AGENCY COORDINATION MECHANISM FOR ALL FRESHWATER ISSUES (UNWATER), 2013, Water Scarcity factsheet. Disponível em: <http://www.unwater.org/publications/publications-detail/en/c/204294>. Acesso em: 16/01/2016.

UNITED NATIONS INTER-AGENCY COORDINATION MECHANISM FOR ALL FRESHWATER ISSUES (UNWATER), 2015, Water for a sustainable world: The United Nations World Water Development Report 2015. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>.

VON SPERLING, M., 2005, *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3 ed. Belo Horizonte.

WATER FOOTPRINT NETWORK (WFN), 2008, Disponível em: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>. Acessado em: 06 de Dezembro de 2015.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF), 2010, Planeta Vivo Relatório 2010: Biodiversidade, biocapacidade e desenvolvimento. Disponível em: http://assets.wwfbr.panda.org/downloads/08out10_planetavivo_relatorio2010_completo_n9.pdf.

WULCA, 2014. Disponível em: <http://www.wulca-waterlca.org/index.html>. Acesso em: 05/03/2016.

Anexo I – Mapas evapotranspiração real e potencial entre Setembro/13 e Fevereiro/14

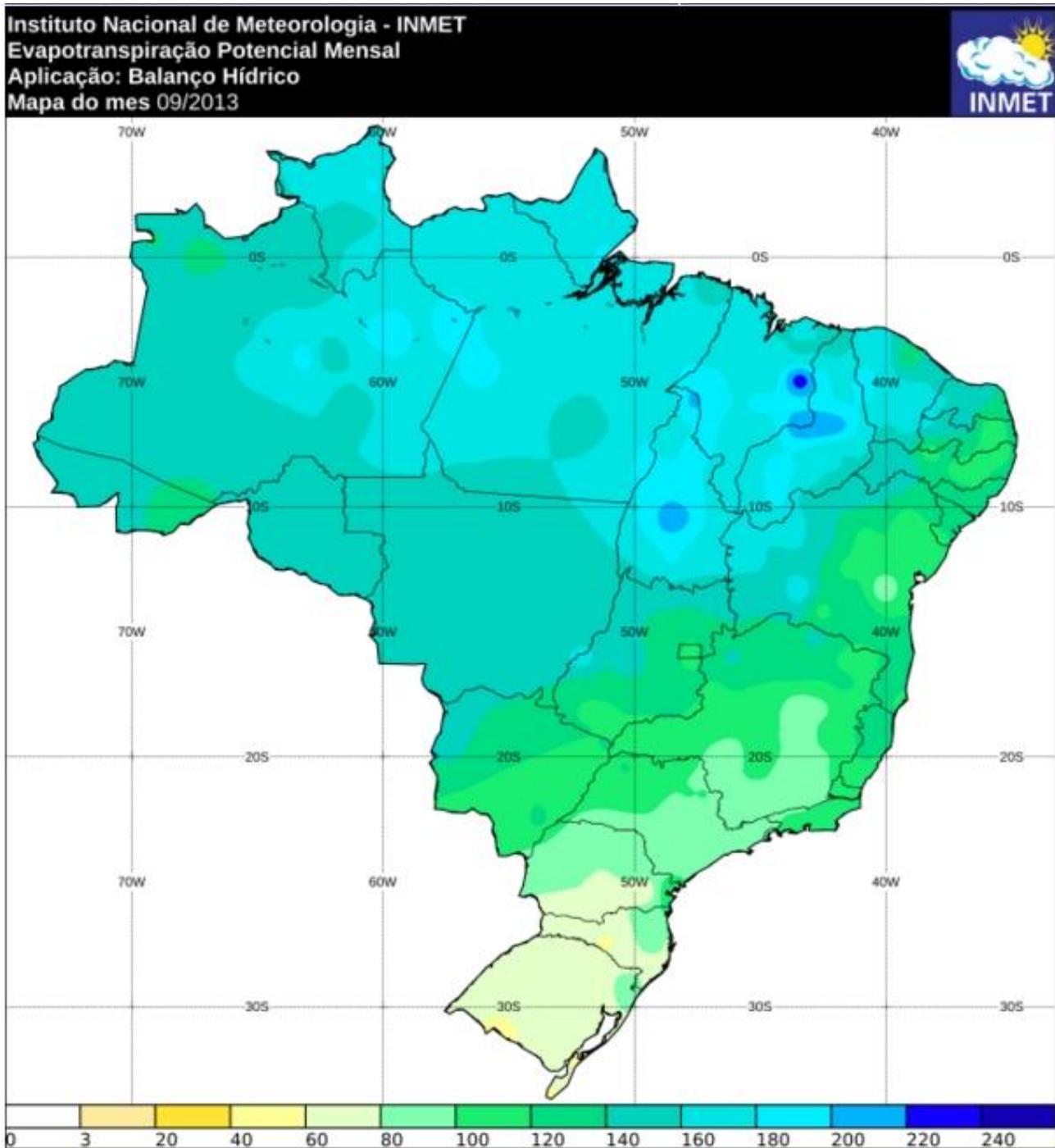
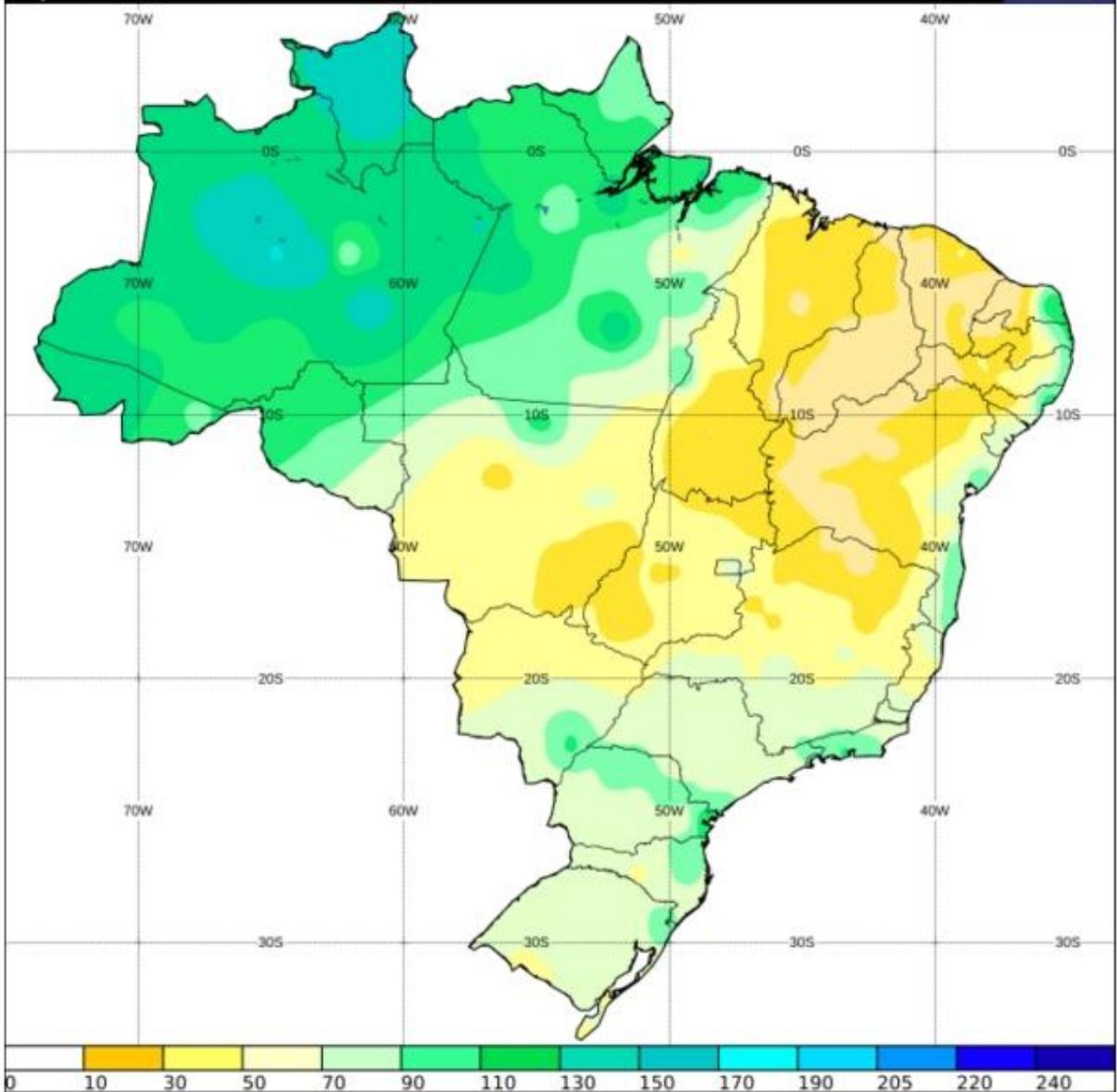
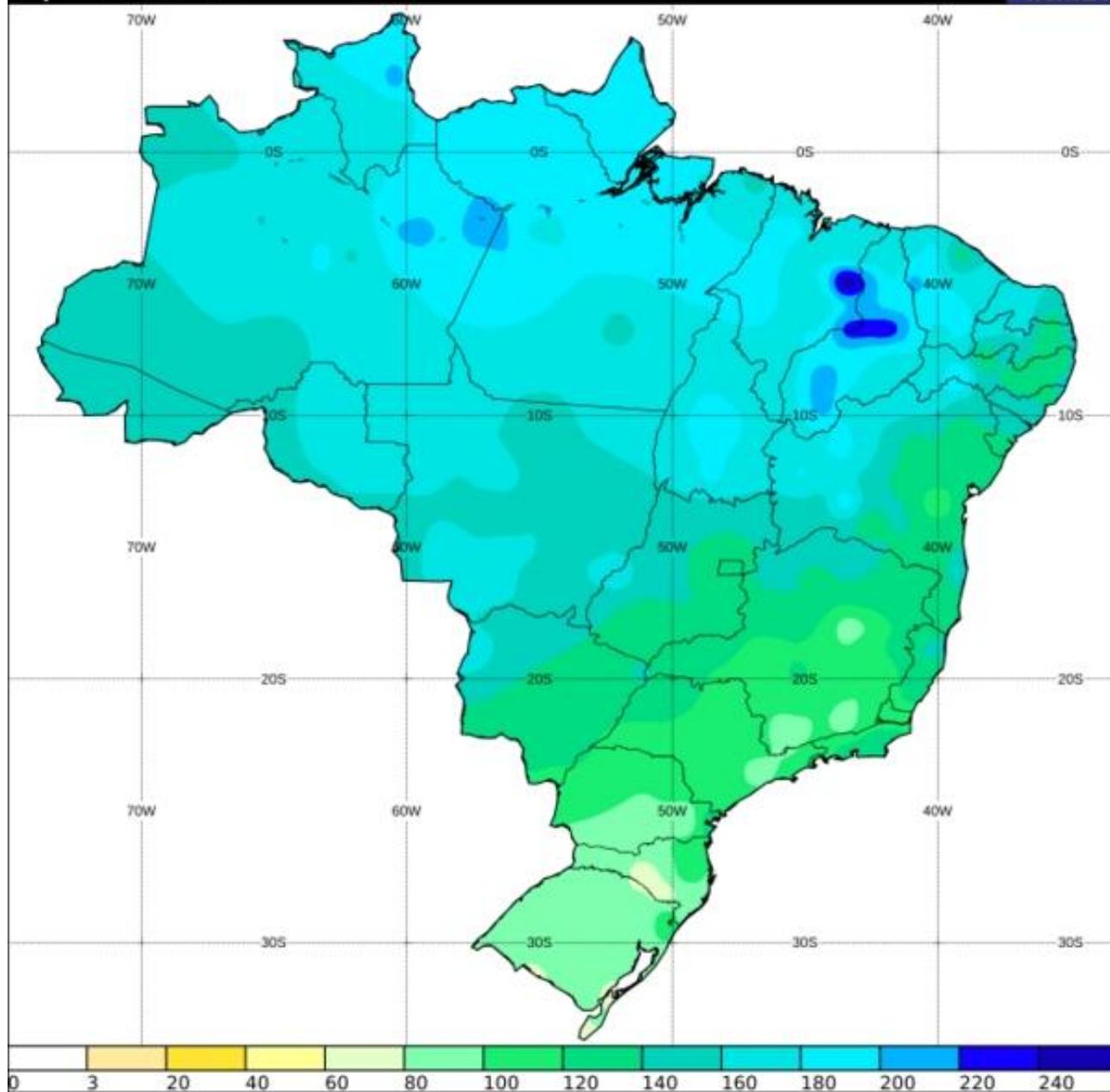


Figura 43- Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Setembro de 2013.

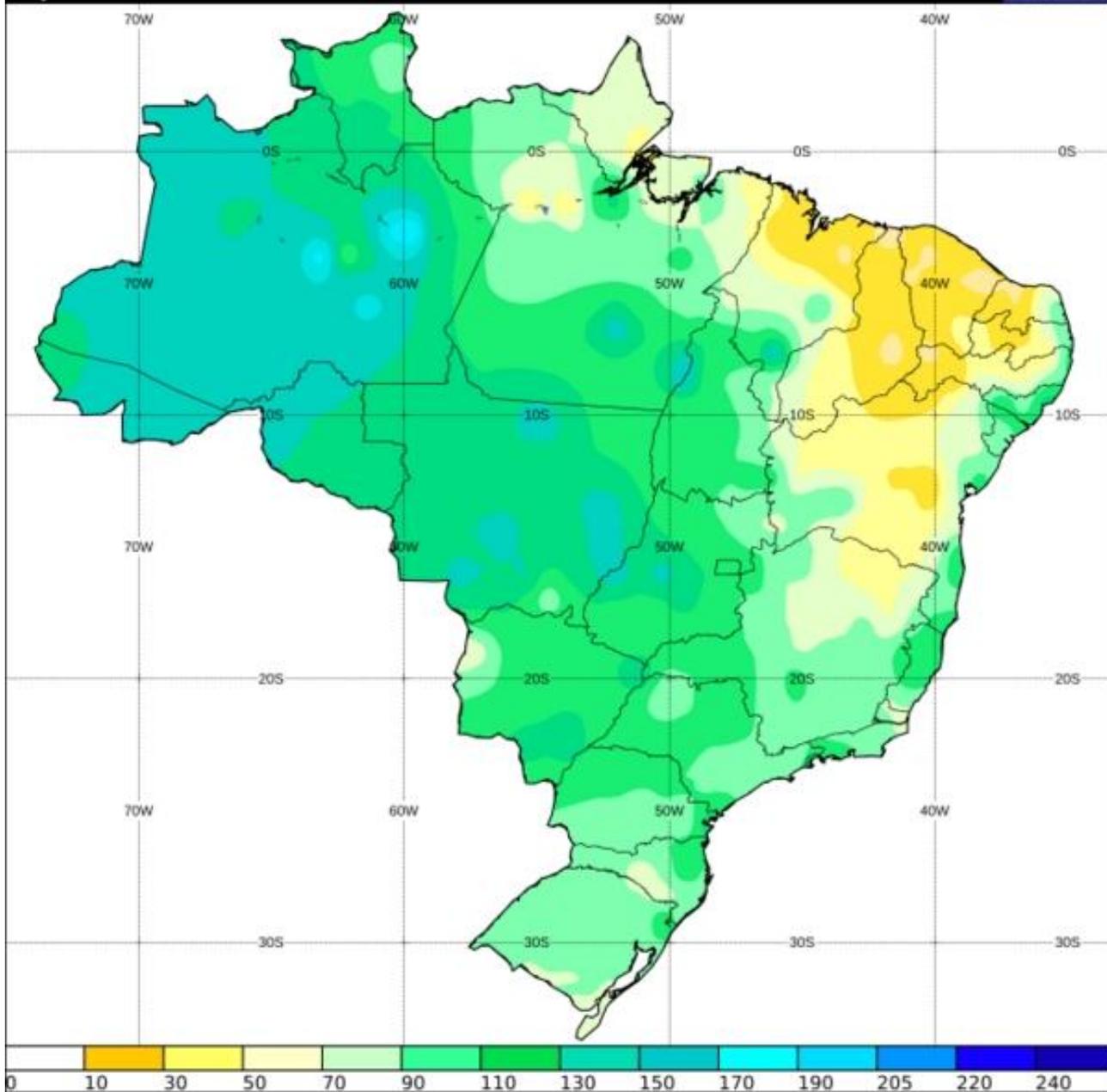
Fonte: INMET, 2015



*Figura 44- Mapa da Evaporação Real Mensal em Setembro de 2013.
Fonte: INMET, 2015*



*Figura 45- Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Outubro de 2013.
Fonte: INMET, 2015*



*Figura 46 - Mapa da Evaporação Real Mensal em Outubro de 2013.
Fonte: INMET, 2015*

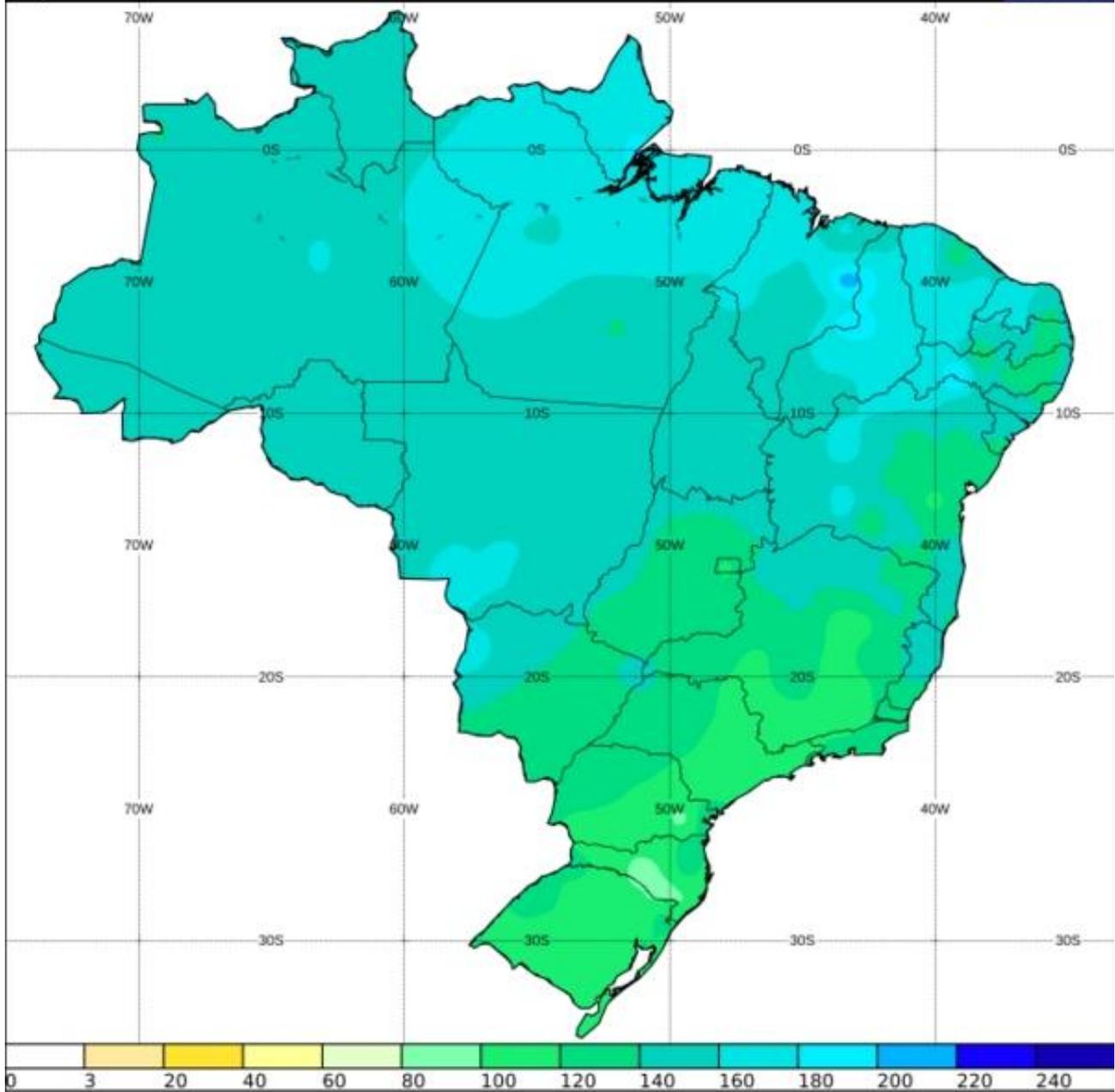


Figura 47 - Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Novembro de 2013.
Fonte: INMET, 2015

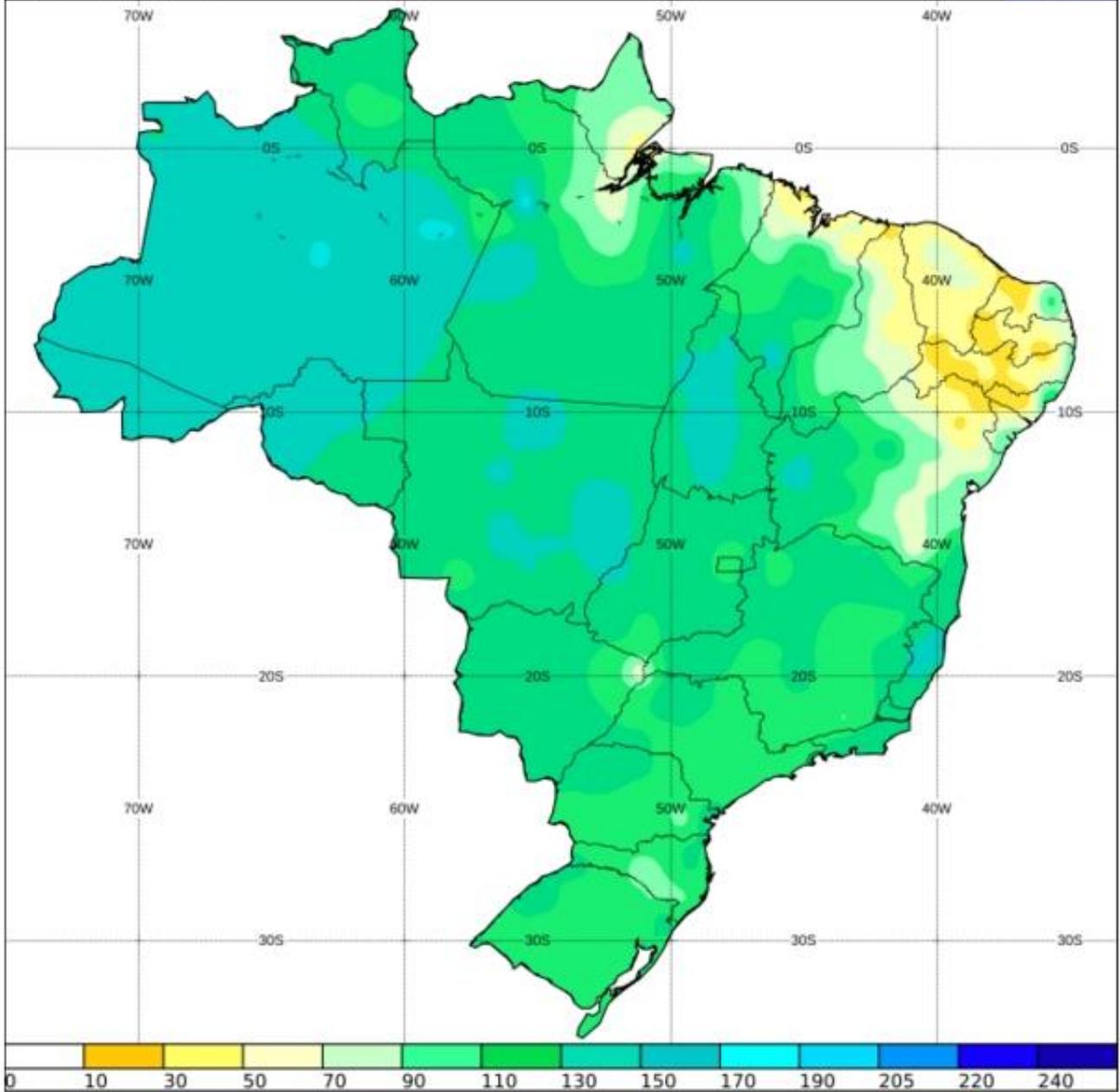


Figura 48 - Mapa da Evaporação Real Mensal em Novembro de 2013.
Fonte: INMET, 2015

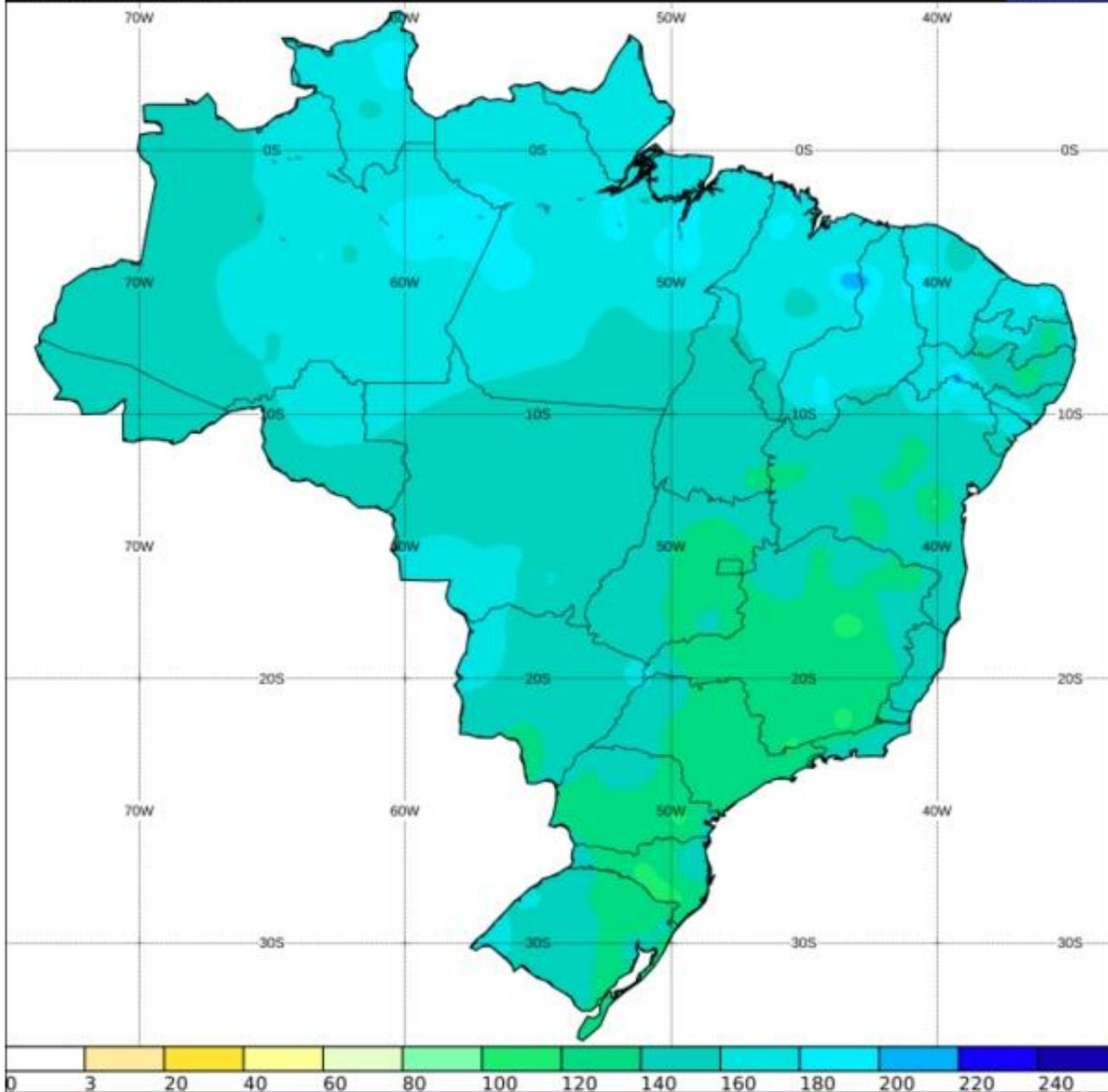


Figura 49 - Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Dezembro de 2013.
Fonte: INMET,2015

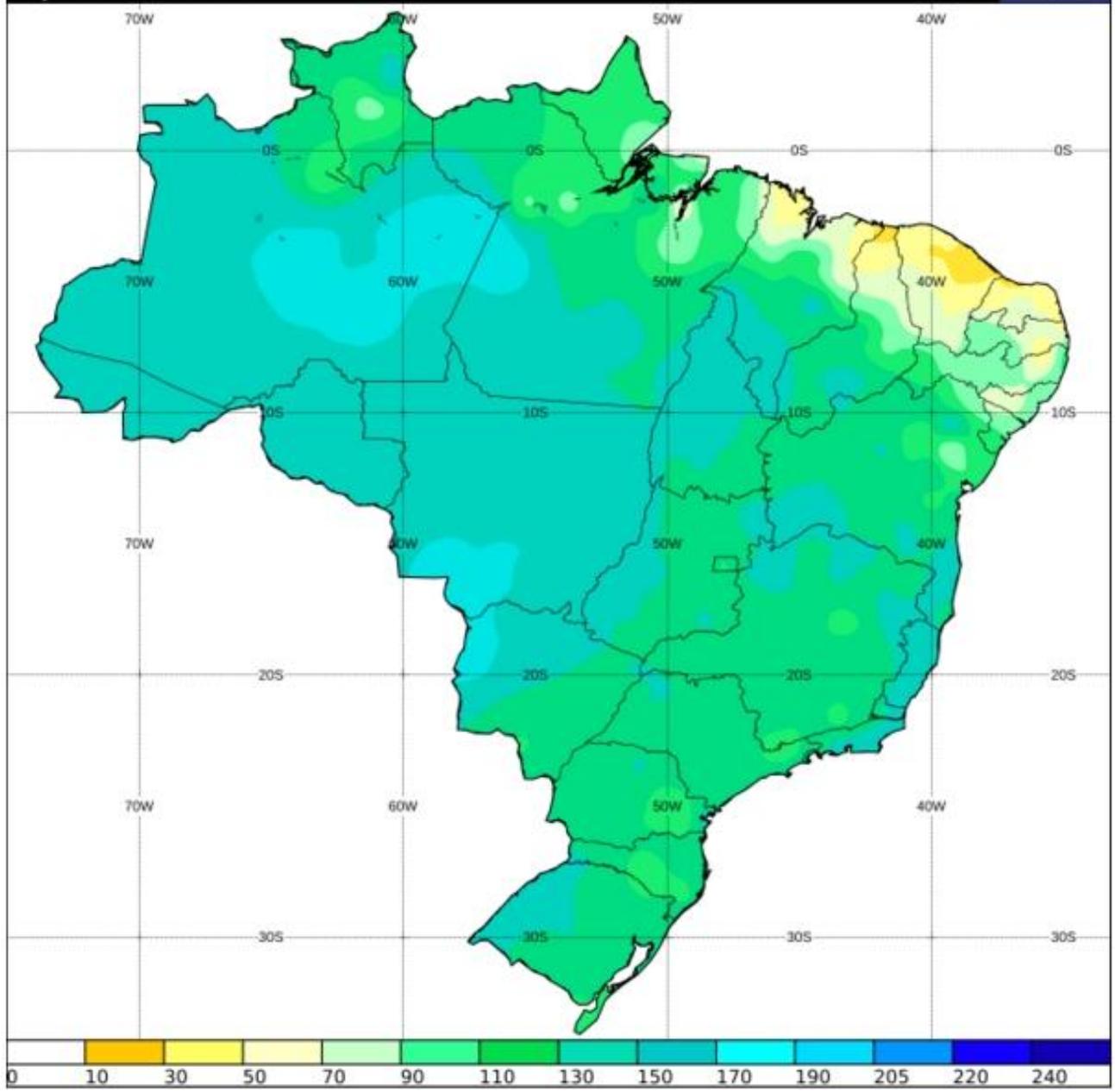


Figura 50 - Mapa da Evaporação Real Mensal em Dezembro de 2013.
Fonte: INMET,2015

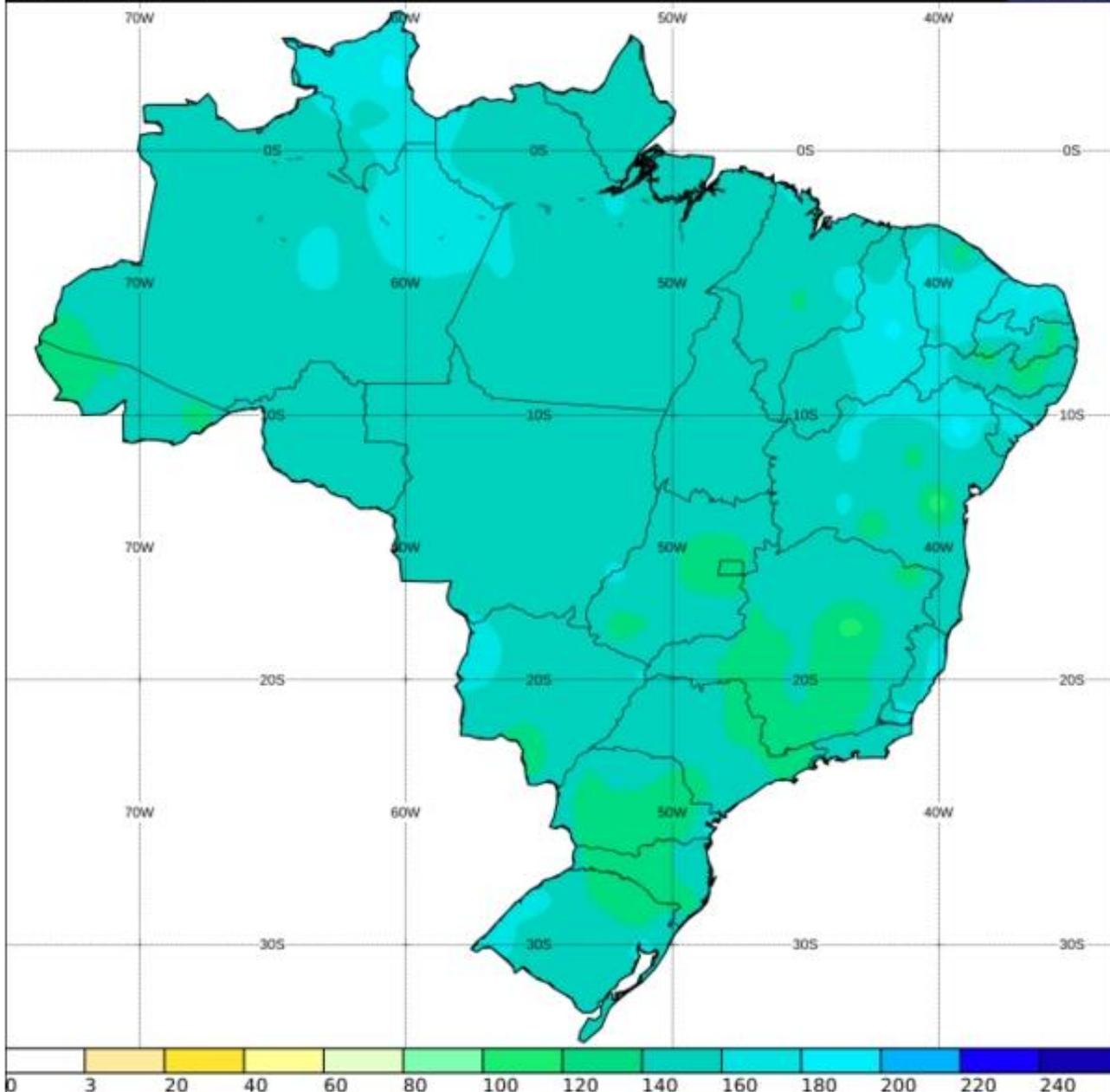
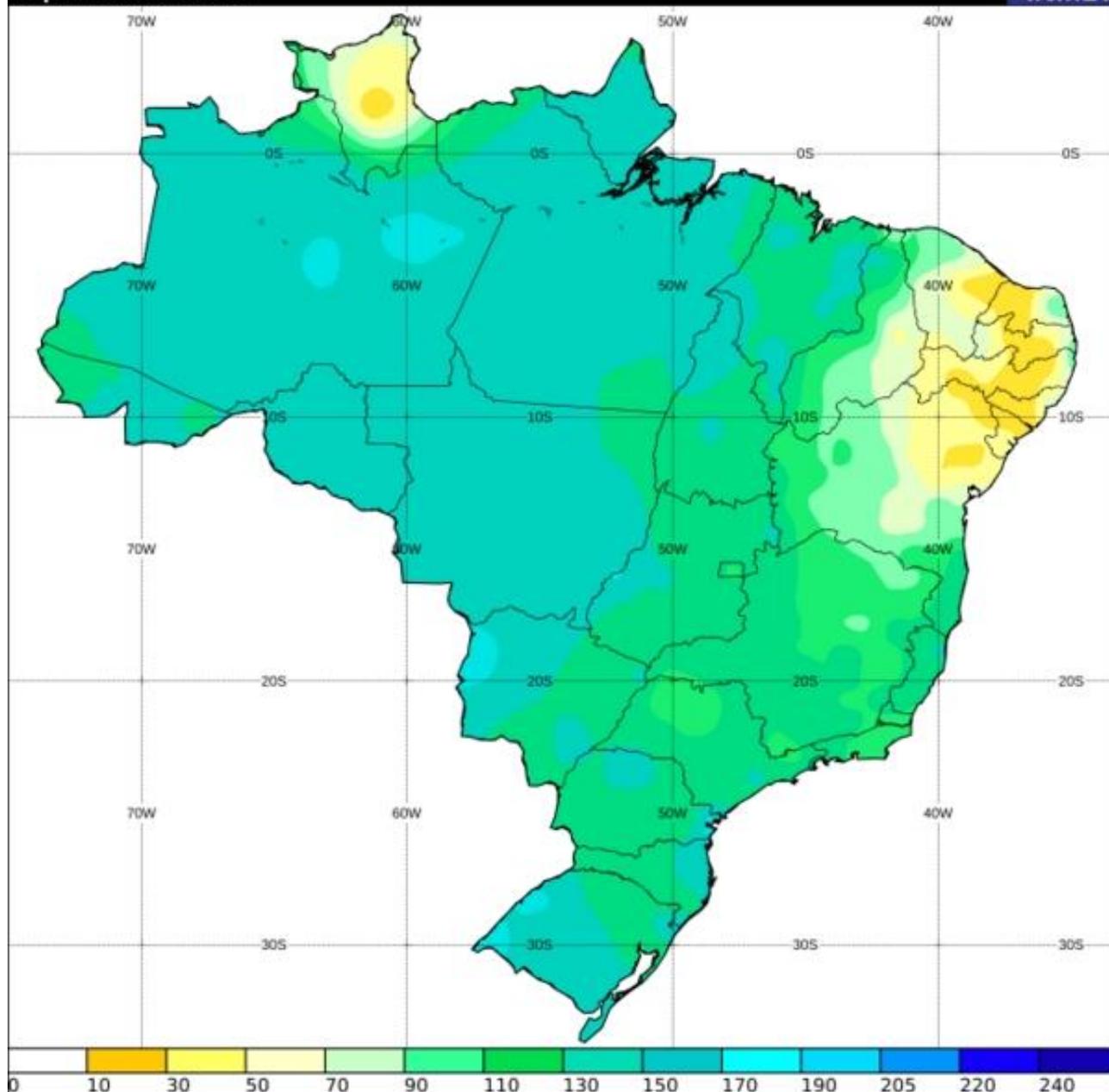


Figura 51 - Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Janeiro de 2014.
Fonte: INMET,2015



*Figura 52 - Mapa da Evaporação Real Mensal em Janeiro de 2014.
Fonte: INMET, 2015*

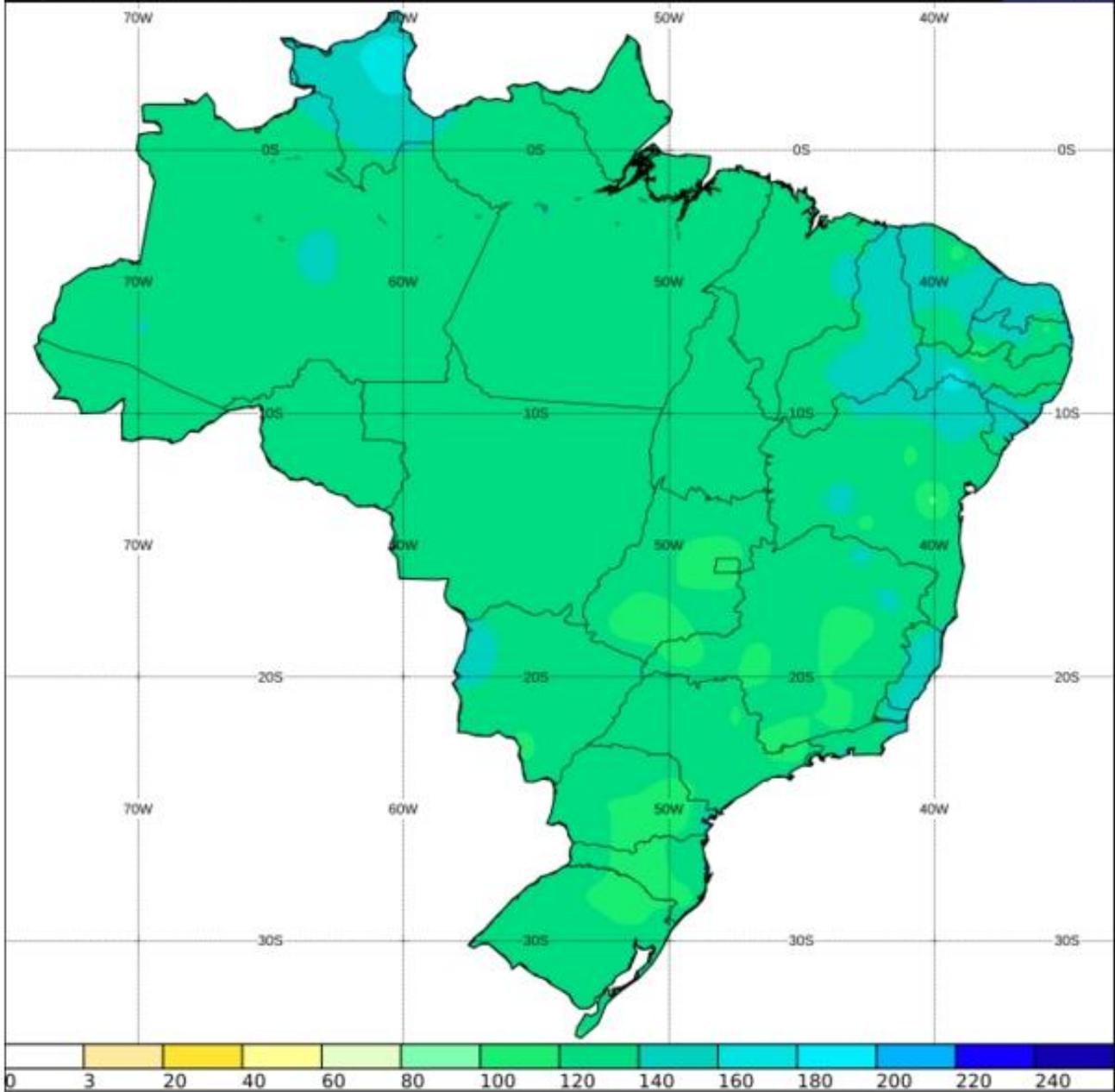
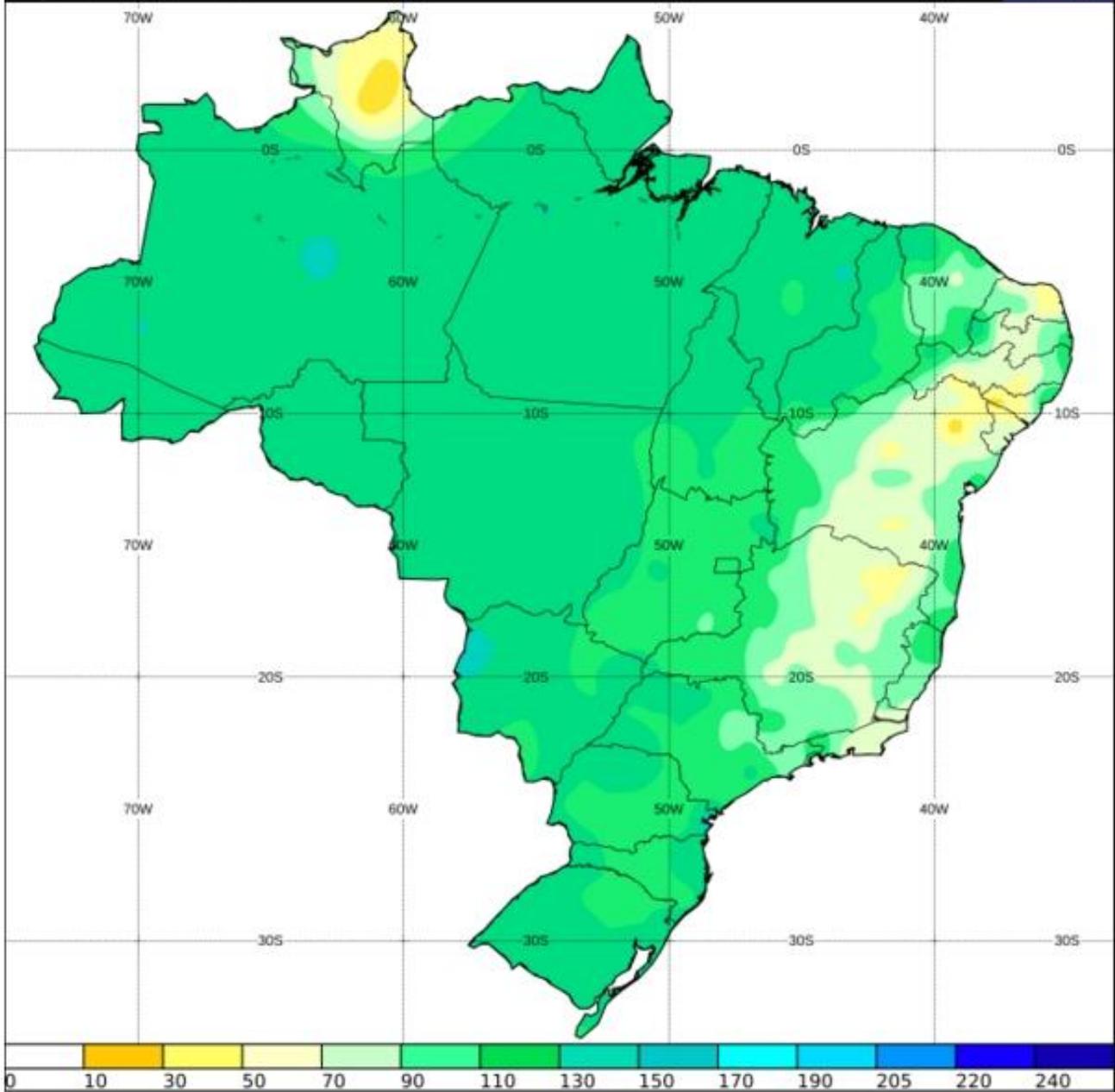


Figura 53 - Mapa da Evaporação Potencial Mensal em Fevereiro de 2014.
Fonte: INMET, 2015



*Figura 54- Mapa da Evaporação Real Mensal em Fevereiro de 2014.
Fonte: INMET, 2015*

Anexo II – Série histórica de vazão e cota estação Parque da Ribeira

Data	Cota (m)	Vazão (m ³ /s)
19/08/1969	42	3,81
19/08/1969	42	3,77
19/08/1969	42	3,77
19/08/1969	42	3,81
20/08/1969	41	3,2
20/08/1969	41	3,23
20/08/1969	41	3,2
20/08/1969	41	3,23
28/08/1969	39	2,94
28/08/1969	39	2,94
25/10/1972	77	7,31
25/10/1972	79	7,63
25/10/1972	77	7,31
25/10/1972	79	7,63
25/10/1972	77	7,31
25/10/1972	79	7,63
25/10/1972	77	7,31
25/10/1972	79	7,63
25/10/1972	77	7,31
25/10/1972	79	7,63
27/11/1972	116	19,4
27/11/1972	116	19,5
27/11/1972	116	19,4
27/11/1972	116	19,6
27/11/1972	116	19,5
27/11/1972	116	19,4
27/11/1972	116	19,5
27/11/1972	116	19,4
27/11/1972	116	19,4
27/11/1972	116	19,5
27/11/1972	116	19,6
20/12/1972	90	10,8
20/12/1972	90	11,5
20/12/1972	90	10,9
20/12/1972	90	11,5
20/12/1972	90	11,5
20/12/1972	90	11,5
20/12/1972	90	10,9
20/12/1972	90	11,5
20/12/1972	90	11,5
20/12/1972	90	10,8

Data	Cota (m)	Vazão (m ³ /s)
27/01/1973	142	30,5
27/01/1973	136	28,4
27/01/1973	142	30,5
27/01/1973	136	28,4
27/01/1973	142	30,5
27/01/1973	142	30,5
21/02/1973	77	10,7
21/02/1973	77	10,9
21/02/1973	77	10,6
21/02/1973	77	10,6
21/02/1973	77	10,7
21/02/1973	77	10,9
21/03/1973	69	8,32
21/03/1973	69	8,26
21/03/1973	69	8,27
21/03/1973	69	8,26
21/03/1973	69	8,27
21/03/1973	69	8,32
23/05/1973	73	12,3
23/05/1973	73	11,4
23/05/1973	73	11,4
23/05/1973	73	12,3
11/07/1973	44	4,38
11/07/1973	44	4,3
11/07/1973	44	4,37
11/07/1973	44	4,31
11/07/1973	44	4,38
11/07/1973	44	4,3
11/07/1973	44	4,37
11/07/1973	44	4,31
18/01/1974	71	11,5
18/01/1974	71	11,7
18/01/1974	71	11,5
18/01/1974	71	11,7
18/01/1974	71	11,7
18/01/1974	71	11,5
18/01/1974	71	11,7
18/01/1974	71	11,5
13/02/1974	54	6,85
13/02/1974	54	7,11

Data	Cota (m)	Vazão (m³/s)
13/02/1974	54	6,85
13/02/1974	54	7,11
13/02/1974	54	6,85
13/02/1974	54	6,85
13/02/1974	54	7,11
13/02/1974	54	7,11
20/03/1974	42	4,34
20/03/1974	42	4,63
20/03/1974	42	4,63
20/03/1974	42	4,34
17/05/1974	52	6,76
17/05/1974	52	6,59
17/05/1974	52	6,76
17/05/1974	52	6,59
17/05/1974	52	6,76
17/05/1974	52	6,76
17/05/1974	52	6,59
17/05/1974	52	6,59
22/07/1974	39	4,11
22/07/1974	39	4,11
16/09/1974	32	3,07
16/09/1974	32	3,07
22/11/1974	52	6,26
22/11/1974	52	6,26
16/12/1974	96	19
16/12/1974	96	19
17/01/1975	64	9,9
17/01/1975	64	9,9
20/02/1975	67	12,8
20/02/1975	67	12,8
17/03/1975	73	14,3
17/03/1975	73	14,3
16/05/1975	32	7,11
16/05/1975	32	7,11
15/07/1975	12	4,98
15/07/1975	12	4,98
12/11/1975	37	15
12/11/1975	37	15
12/02/1976	86	13,5
12/02/1976	86	13,5
10/04/1976	53	9,11
10/04/1976	53	9,11
20/06/1976	30	6,13
20/06/1976	30	6,13

Data	Cota (m)	Vazão (m³/s)
22/08/1976	70	12,7
22/08/1976	70	12,7
11/10/1976	19	8,52
11/10/1976	19	8,52
13/12/1976	43	15,6
13/12/1976	43	15,6
20/06/1977	68	11,6
20/06/1977	68	11,6
16/08/1977	59	9,2
16/08/1977	59	9,2
25/10/1977	46	8,68
25/10/1977	46	8,68
16/12/1977	134	21,2
16/12/1977	134	21,2
17/02/1978	66	9,49
17/02/1978	66	9,49
14/04/1978	39	5,39
14/04/1978	39	5,39
13/06/1978	38	6,62
13/06/1978	38	6,62
18/08/1978	22	4,13
18/08/1978	22	4,13
14/12/1978	32	7,2
14/12/1978	32	7,2
09/02/1979	118	29,3
09/02/1979	118	29,3
09/02/1979	218	29,3
09/02/1979	118	29,3
07/07/1979	2	5,34
07/07/1979	2	5,34
07/07/1979	2	5,34
07/07/1979	102	5,34
13/10/1979	94	4,85
13/10/1979	94	4,67
13/10/1979	94	4,85
13/10/1979	94	4,67
13/10/1979	94	4,85
13/10/1979	94	4,67
13/10/1979	94	4,67
13/10/1979	94	4,85
05/12/1979	144	14,8
05/12/1979	140	13,3
05/12/1979	144	14,8
05/12/1979	140	13,3

Data	Cota (m)	Vazão (m³/s)
05/12/1979	140	13,3
05/12/1979	144	14,8
05/12/1979	144	14,8
05/12/1979	140	13,3
14/02/1980	130	13,1
14/02/1980	130	13,1
14/02/1980	130	13,1
14/02/1980	130	13,1
26/03/1981	88	10,9
26/03/1981	88	10,9
26/03/1981	88	10,9
26/03/1981	88	10,9
21/05/1981	62	6,34
21/05/1981	62	6,34
21/05/1981	62	6,34
21/05/1981	62	6,34
22/09/1981	30	2,7
22/09/1981	30	2,704
22/09/1981	30	2,7
20/11/1981	63	6,35
20/11/1981	63	6,35
20/11/1981	63	6,35
20/11/1981	63	6,35
19/01/1982	98	14,5
19/01/1982	98	14,5
19/01/1982	98	14,5
19/01/1982	98	14,5
16/03/1982	107	17,9
16/03/1982	107	17,9
16/03/1982	107	17,892
21/05/1982	57	7,48
21/05/1982	57	7,48
21/05/1982	57	7,48
21/05/1982	57	7,48
19/09/1982	18	3,65
19/09/1982	18	3,65
19/09/1982	18	3,65
19/09/1982	18	3,65
15/11/1982	22	4,17
15/11/1982	22	4,17
15/11/1982	22	4,17
15/11/1982	22	4,17
11/02/1983	44	8,03
11/02/1983	44	8,03

Data	Cota (m)	Vazão (m³/s)
11/02/1983	44	8,03
11/02/1983	44	8,03
14/04/1983	39	8,02
14/04/1983	39	8,02
14/04/1983	39	8,02
14/04/1983	39	8,02
21/07/1983	65	13
21/07/1983	65	13
21/07/1983	65	13
21/07/1983	65	13
20/10/1983	92	20,7
20/10/1983	92	20,7
20/10/1983	92	20,7
20/10/1983	92	20,7
14/01/1984	32	7,77
14/01/1984	32	7,77
14/01/1984	32	7,77
14/01/1984	32	7,77
23/03/1984	37	9,98
23/03/1984	37	9,98
23/03/1984	37	9,98
23/03/1984	37	9,98
14/05/1984	38	9,18
14/05/1984	38	9,18
14/05/1984	38	9,18
14/05/1984	38	9,18
15/08/1984	117	6,82
15/08/1984	117	6,82
15/08/1984	117	6,82
15/08/1984	117	6,82
13/10/1984	86	2,33
13/10/1984	86	2,33
13/10/1984	86	2,33
13/10/1984	86	2,33
19/01/1985	168	17,2
19/01/1985	168	17,2
18/03/1985	183	18,4
18/03/1985	183	18,4
18/03/1985	183	18,4
18/03/1985	183	18,4
26/05/1985	128	6,87
26/05/1985	128	6,87
26/05/1985	128	6,87
26/05/1985	128	6,87

Data	Cota (m)	Vazão (m³/s)
16/08/1985	90	3,71
16/08/1985	90	3,71
16/08/1985	90	3,71
16/08/1985	90	3,71
15/10/1985	92	4,26
15/10/1985	92	4,26
15/10/1985	92	4,26
15/10/1985	92	4,26
25/01/1986	122	8,03
25/01/1986	122	8,03
25/01/1986	122	8,03
25/01/1986	122	8,03
20/03/1986	112	7,09
20/03/1986	112	7,094
20/03/1986	112	7,09
21/05/1986	96	4,41
21/05/1986	96	4,41
21/05/1986	96	4,41
21/05/1986	96	4,41
18/08/1986	79	3,37
18/08/1986	79	3,37
18/08/1986	79	3,37
18/08/1986	79	3,37
21/10/1986	87	3,61
21/10/1986	87	3,61
21/10/1986	87	3,61
21/10/1986	87	3,61
26/01/1987	160	14,5
26/01/1987	160	14,5
26/01/1987	160	14,5
26/01/1987	160	14,5
26/01/1987	160	14,5
26/01/1987	160	14,5
03/04/1987	112	5,93
03/04/1987	112	5,93
03/04/1987	112	5,93
03/04/1987	112	5,93
29/05/1987	125	11,7
29/05/1987	125	11,7
29/05/1987	125	11,7
29/05/1987	125	11,7
15/08/1987	82	3,96
15/08/1987	82	3,96
15/08/1987	82	3,96

Data	Cota (m)	Vazão (m³/s)
15/08/1987	82	3,96
01/11/1987	86	4,71
01/11/1987	86	4,71
01/11/1987	86	4,71
01/11/1987	86	4,71
19/01/1988	108	9,98
19/01/1988	108	9,98
19/01/1988	108	9,98
19/01/1988	108	9,98
18/03/1988	155	12,8
18/03/1988	155	12,8
18/03/1988	155	12,8
18/03/1988	155	12,8
18/03/1988	155	12,8
18/03/1988	155	12,8
18/03/1988	155	12,8
18/08/1989	88	6,52
18/08/1989	88	6,52
18/08/1989	88	6,52
18/08/1989	88	6,52
27/09/1992	114	10,7
27/09/1992	114	10,7
27/09/1992	114	10,7
27/09/1992	114	10,7
03/11/1993	85	5,41
03/11/1993	85	5,41
03/11/1993	85	5,41
03/11/1993	85	5,41
01/04/1994	136	15,8
01/04/1994	136	15,8
01/04/1994	136	15,8
01/04/1994	136	15,8
02/07/1994	105	7,88
02/07/1994	105	7,88
02/07/1994	105	7,88
02/07/1994	105	7,88
06/10/1994	77	4,33
06/10/1994	77	4,33
06/10/1994	77	4,33
06/10/1994	77	4,33
25/03/1995	108	7,17
25/03/1995	108	7,17
23/06/1995	106	6,58
23/06/1995	106	6,58
22/09/1995	102	5,96

Data	Cota (m)	Vazão (m³/s)
22/09/1995	102	5,96
25/11/1995	101	9,62
25/11/1995	101	9,62
23/03/1996	166	24,3
23/03/1996	166	24,3
24/08/1996	74	4,12
24/08/1996	74	4,12
11/11/1996	94	7,99
11/11/1996	94	7,99
24/03/1997	98	8,35
24/03/1997	98	8,35
24/03/1997	98	8,35
24/03/1997	98	8,35
12/06/1997	76	5,06
12/06/1997	76	5,06
12/06/1997	76	5,06
12/06/1997	76	5,06
12/09/1997	68	3,9
12/09/1997	68	3,9
12/09/1997	68	3,9
12/09/1997	68	3,9
08/12/1997	108	10,3
08/12/1997	108	10,3
08/12/1997	108	10,3
08/12/1997	108	10,3
26/03/1998	174	25,4
26/03/1998	174	25,4
26/03/1998	174	25,4
26/03/1998	174	25,4
19/06/1998	72	4,6
19/06/1998	72	4,6
19/06/1998	72	4,6
19/06/1998	72	4,6
29/09/1998	64	3,59
29/09/1998	64	3,59
29/09/1998	64	3,59
29/09/1998	64	3,59
11/12/1998	94	7,27
11/12/1998	94	7,27
11/12/1998	94	7,27
11/12/1998	94	7,27
25/03/1999	101	8,09
25/03/1999	101	8,09
18/06/1999	69	4,58

Data	Cota (m)	Vazão (m³/s)
18/06/1999	69	4,58
19/09/1999	88	4,99
19/09/1999	88	4,99
08/12/1999	93	5,61
08/12/1999	93	5,61
10/04/2000	102	6,51
10/04/2000	102	6,51
07/07/2000	63	3,27
07/07/2000	63	3,27
16/09/2000	68	3,57
16/09/2000	68	3,566
06/12/2000	163	21,2
06/12/2000	163	21,2
21/06/2001	84	4,54
21/06/2001	84	4,54
20/09/2001	51	2,13
20/09/2001	51	2,13
07/12/2001	53	2,48
07/12/2001	53	2,48
07/05/2002	65	4,97
07/05/2002	65	4,97
23/08/2002	43	2,65
23/08/2002	43	2,65
28/11/2002	57	4,103
28/11/2002	57	4,103
06/03/2003	60	4,11
06/03/2003	60	4,11
05/07/2003	47	2,53
05/07/2003	47	2,53
24/09/2003	63	4,19
24/09/2003	63	4,19
15/07/2004	61	3,12
15/07/2004	61	3,12
25/09/2004	45	2,23
25/09/2004	45	2,23
13/12/2004	105	9,677
13/12/2004	105	9,677
29/08/2005	50	2,772
29/08/2005	50	2,772
31/07/2006	66	6,703
31/07/2006	66	6,703
21/05/2007	66	6,623
21/05/2007	66	6,623
28/09/2007	57	4,801

Data	Cota (m)	Vazão (m³/s)
28/09/2007	57	4,801
31/03/2008	165	16,5
23/06/2008	88	9,217
23/06/2008	88	9,217
06/10/2008	70	6,712
06/10/2008	70	6,712
20/07/2009	71	7,08
20/07/2009	71	7,08
05/11/2009	101	10,91
05/11/2009	101	10,91
20/02/2010	79	8,41
20/02/2010	79	8,41
08/06/2010	90	11,1224
08/06/2010	90	11,1
08/06/2010	90	11,1224
19/09/2010	55	4,8935
19/09/2010	55	4,89
19/09/2010	55	4,8935
03/12/2010	87	10,0594
03/12/2010	87	10,0594
28/03/2011	83	8,3069
28/03/2011	83	8,31
06/07/2011	71	7,118
06/07/2011	71	7,12
17/10/2011	125,5	16,9978
27/02/2012	64	6,0203
18/04/2012	82	7,4
18/07/2012	61	5,7539
22/10/2012	55	4,4351
22/04/2013	96	10,8838
22/07/2013	61	5,9337
06/11/2013	124	15,1796
14/04/2014	172,5	27,7061
21/07/2014	63	5,5405
03/11/2014	62	5,04
23/04/2015	98	11,1643
03/08/2015	52	3,6637

