

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO

CLAUDILENE SILVA

REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS PELA INDÚSTRIA:
UM ESTUDO DE CASO DO AQUAPOLO AMBIENTAL

SÃO PAULO

2019

CLAUDILENE SILVA

**REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS PELA INDÚSTRIA:
UM ESTUDO DE CASO DO AQUAPOLO AMBIENTAL**

Trabalho Aplicado apresentado a Escola de Administração de
Empresas da Fundação Getúlio Vargas de São Paulo, como
requisito para a obtenção do título de Mestre em Gestão para
Competitividade.

Linha: Sustentabilidade

Orientador: Professor Doutor André Pereira de Carvalho

SÃO PAULO

2019

Silva, Claudilene.

Reutilização de águas residuais urbanas pela indústria: um estudo de caso do Aquapolo Ambiental / Claudilene Silva. - 2019.

118 f.

Orientador: André Pereira de Carvalho.

Dissertação (mestrado profissional MPGC) – Fundação Getulio Vargas, Escola de Administração de Empresas de São Paulo.

1. Água - Reutilização. 2. Águas residuais - Aspectos ambientais. 3. Indústria petroquímica - Aspectos ambientais. I. Carvalho, André Pereira de. II. Dissertação (mestrado profissional MPGC) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo. III. Fundação Getulio Vargas. IV. Título.

CDU 628.11

CLAUDILENE SILVA

REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS PELA INDÚSTRIA:
UM ESTUDO DE CASO DO AQUAPOLO AMBIENTAL

Trabalho aplicado apresentado à Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão para a Competitividade.

Campo do Conhecimento: Sustentabilidade

Data de Aprovação:

27/09/2019.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Pereira de Carvalho (Orientador)
FGV-EAESP

Dr. Sérgio França Leão
Consultor Sênior – Fronteira Sustentável Consultoria

Prof. Dr. Jorge Juan Soto Delgado
FGV-EAESP

Milhões de crianças morrem a cada ano no mundo, vítimas de doenças derivadas ou ocasionadas pela falta de saneamento básico e acesso a água potável, este trabalho é dedicado a elas, com a esperança de um mundo onde todos possam viver em condições dignas.

AGRADECIMENTOS

*“Pai e mãe
Ouro de mina
Coração
Desejo e sina
Tudo mais
Pura rotina
Jazz...
Tocarei em seu nome
Pra poder
Falar de amor...”
(Djavan)*

Início meus agradecimentos dedicando este refrão da música Sina de Djavan às pessoas mais importantes em minha vida: meu pai, Osvaldo Santana Silva, e minha mãe, Maria de Lourdes Silva. Onde estiverem, que Deus os ilumine e lhes dê muita paz!

Me sinto realizada em terminar mais uma etapa relevante de minha vida, porém se me fosse dada a oportunidade de escolher algo que me faria muito feliz, com certeza e sem pestanejar, pediria a Deus um minuto apenas para sentir outra vez o abraço, o cheiro e o conforto do seu colo, mãe. Pediria um minuto para dizer: “Pai, obrigada por ter sido meu melhor amigo.”

Agradeço a Deus por tudo, principalmente por minha família, pois sem eles nada seria possível. Agradeço aos meus irmãos e irmãs que compartilharam comigo nossa história de vida e por nossa união.

Agradeço aos professores da Fundação Getúlio Vargas, pelo profissionalismo, qualidade nas informações e principalmente pela generosidade em nos ensinar elementos técnicos com um ingrediente diferenciado: a generosidade!

Em especial agradeço aos professores Mario Monzonni e Ana Carolina, por nos brindar momentos únicos e inesquecíveis.

A minha parceira “007”, Giovana Kill, pela amizade e companheirismo durante a trajetória do mestrado, onde unimos forças na “dupla improvável” e fizemos esta caminhada incrível.

À T2, uma turma que emergiu em sentimentos sustentáveis e fez a diferença em cada um do grupo.

Aos entrevistados das empresas Aquapolo e Braskem, pela atenção, presteza e generosidade em fornecer dados fieis à realidade e me proporcionar a oportunidade de trazer aqui um caso que poderá contribuir positivamente para a coletividade.

Em especial à entrevistada do Aquapolo, Silvia Maria da Silva Boffa, pela atenção e presteza em fornecer informações fidedignas do Aquapolo, muito obrigada! Que Deus lhe retribua pela boa vontade.

Aos professores da banca Sérgio Leão e Jorge Soto por estarem na banca a contribuir com a melhoria deste Trabalho Aplicado.

Aos companheiros de trabalho Fábio Barbosa Uchôa de Melo e Otávio dos Anjos, pelo apoio e compreensão neste período.

E, finalmente, ao professor André Carvalho, pela paciência e generosidade comigo neste processo de orientação, muito obrigada!

“O pensar é para o homem, o que voar é para os pássaros”
“Quem conheceu a alegria da compreensão conquistou um amigo infalível para a vida”
(Albert Einstein)

RESUMO

Em indústrias químicas e petroquímicas, o consumo de água doce no processo de resfriamento em torres de refrigeração demanda grandes volumes e é essencial para o funcionamento da produção, o que torna este setor um considerável concorrente no abastecimento público de água doce.

Ao mesmo tempo, existem alternativas eficientes para a reutilização de águas residuais em atividades com grande demanda hídrica, permitindo diminuir ou até mesmo eliminar o consumo de água potável e, conseqüentemente, contribuindo para o incremento da disponibilidade de água potável para a população em grandes áreas urbanas.

O objetivo deste estudo é compreender de que forma uma empresa de tratamento de águas residuais, o Aquapolo, contribui para garantir o abastecimento do polo petroquímico Capuava, num contexto de crescente estresse hídrico na região metropolitana de São Paulo.

Utilizando-se da metodologia de estudo de caso, a análise do caso indica que a técnica de reutilização de águas residuais em indústrias petroquímicas localizadas em polo industriais em grandes centros urbanos, contribui para a redução da concorrência na utilização de água potável entre indústria e sociedade, na conservação dos recursos hídricos e para a melhoria do meio ambiente, porque minimiza a necessidade de captação de água em corpos d'água de outras bacias hidrográficas.

Tais alternativas devem ser melhor analisadas e seus aspectos positivos utilizados como modelos a serem replicados, respeitando as necessidades e especificidades locais.

Palavras-chave: reutilização de águas residuais; eficiência hídrica; conservação da água; indústria petroquímica.

ABSTRACT

The freshwater consumption for cooling processes is essential for production and demands large volumes in the chemical and petrochemical industry making it a relevant consumer in the public freshwater market.

The literature review demonstrates the dilemmas facing humanity regarding water, and how water availability directly impacts quality of life and economic and social development.

Because of the dependency relationship that mankind has with water, to feed, hydrate, sanitize and produce consumer goods, the increase in demand for water grows rapidly, reinforcing the emerging need to implement a more efficient management in water use, in a scenario where the uses of water for irrigation and industrial processes are pointed out as those that most compete with the human supply.

The aim of this study is to understand how a wastewater treatment company, Aquapolo, contributes to ensure the supply of the Capuava petrochemical complex, in a context of increasing water stress in the metropolitan region of São Paulo.

Using the case study methodology, the case analysis indicates that the wastewater reuse technique in petrochemical industries located in industrial centers in large urban centers contributes to the reduction of competition in the use of drinking water between industry and society, in conserving water resources and improving the environment, because it minimizes the need for water abstraction in bodies of water in other watersheds.

Such alternatives shall be better analyzed, and their positive aspects used as models to be replicated, respecting local needs and specificities.

Keywords: reuse of wastewater; water efficiency; water conservation; water reuse in the petrochemical industry

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas.
AQUAPOLO	Aquapolo Ambiental S.A.
AQUASTAT	Sistema de Informação sobre o uso de água na agricultura e meio rural da FAO.
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento.
CEF	Caixa Econômica Federal.
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
CDP	Carbon Disclosure Project.
CNQ	Confederação Nacional do Ramo Químico.
DEA	Data Envelopment Analysis – Análise Envoltória de Dados.
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto.
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais.
EUA	Estados Unidos da América.
FABHAT	Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê.
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura.
FI-FGTS	Fundo de investimento do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço.
FMI	Fundo Monetário Internacional.
GRI	Global Reporting Initiative.
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico.
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano.
IICA	Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura
ISEL	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.
OMS	Organização Mundial de Saúde.
ONU	Organização das Nações Unidas.
OR	Osmose Reversa.
PE	Polietileno.
PIB	Produto Interno Bruto.

PLANASA	Plano Nacional de Saneamento.
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos.
PP	Polipropileno.
PVC	Policloreto de vinila.
RA	Relatório Anual.
RECAP	Refinaria de Capuava.
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo.
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A.
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
SPE	Sociedade com Propósito Específico.
TA	Trabalho Aplicado.
TMBR	Tubular membrane bioreactor (Biorreator de membrana tubular).
UNICEF	United Nations Children's Fund [Fundo das Nações Unidas para a Infância].

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porcentagem de utilização de fontes de águas seguras no mundo.	20
Figura 2 – Porcentagem de consumo de água mundial por setores.....	22
Figura 3 – Vista do Rio Jari, afluente do Rio Amazonas - Amapá/Brasil (2019).....	45
Figura 4 – Classificação dos principais rios brasileiros quanto à relação entre as vazões captadas e disponíveis	60
Figura 5 – Precipitação média anual na RMSP	61
Figura 6 – Metodologia de Pesquisa.....	67
Figura 7 – Vista aérea do Aquapolo Ambiental	76
Figura 8 – Linha do tempo das datas marcos do Aquapolo Ambiental.....	77
Figura 9 – Tanque Blend	82
Figura 10 – Ultrafiltração de água no processo Aquapolo.....	83
Figura 11 – Osmose Reversa	84
Figura 12 – Fases da água em tratamento no Aquapolo produto de entrada [Esgoto tratado e produto de saída Blend]	85
Figura 13 – Matriz de Materialidade da Braskem, 2018	93
Figura 14 – Análise de Temas Relevantes Braskem, 2018	94

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Consumo mundial de água conforme uso.....	22
GRÁFICO 2 – Crescimento populacional na RMSP entre 2011 e 2050	51
GRÁFICO 3 - Evolução do tratamento de esgoto da RMSP no período de 1992 a 2015.....	55
GRÁFICO 4 – Cadeia da Ecoeficiência das Operações da Braskem.....	91

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Ranking do Índice de Desenvolvimento Humano por Região Metropolitana – censo 2010	48
TABELA 2 – Estações de tratamento de água na Região Metropolitana de São Paulo, respectiva produção e população atendida.....	53
TABELA 3 - Indicador de Falkenmark para caracterização de estresse hídrico.....	56
TABELA 4: Nível de estresse hídrico superficial nas regiões hidrográficas brasileiras.....	57
TABELA 5 – Consumo médio de água industrial clientes do Aquapolo.....	85

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Sistemas produtores de Água na RMSP com principais mananciais e cidades atendidas	54
QUADRO 2 - Situações relevantes para diferentes métodos de pesquisa	65
QUADRO 3 – Resumo das entrevistas realizadas para o estudo de caso	70
QUADRO 4 – Descrição geral das unidades do sistema Aquapolo.....	81
QUADRO 5 - Síntese da análise do caso Aquapolo à luz da literatura.....	99

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa	20
1.2 Questão de Pesquisa	23
1.3 Objeto	26
1.4 Organização do Trabalho Aplicado	26
2. REVISÃO DE LITERATURA	28
2.1 Recursos Hídricos	28
2.2 Reutilização de Águas Residuais	33
2.3 Reutilização de Águas Residuais na Indústria	36
2.4 Eficiência Hídrica	40
3. ANÁLISE SETORIAL - ÁGUA E SANEAMENTO NO MUNDO	43
3.1 Água e Saneamento no Brasil	44
3.2 Água e Saneamento em São Paulo	48
3.2.1 Abastecimento de Água Potável na RMSP	51
3.2.2 Coleta e Tratamento de Esgoto na RMSP	54
3.2.3 Crise Hídrica na Região Metropolitana de São Paulo	55
3.2.4 Bacia Hidrográfica da Região do ABC Paulista	57
3.2.5 Contexto da Indústria Petroquímica	61
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	64
4.1 Critérios para Escolha do Caso	68
4.2 Estratégia de Coleta de Dados	69
4.3 Conteúdo das Entrevistas	72
5. ESTUDO DO CASO	73
5.1 O Polo Petroquímico Capuava	73
5.2 O Aquapolo	75
5.2.1 A Conversão de Água Residual em Água de Reuso Industrial	80
5.2.2 Destinação dos Resíduos Sólidos	85
5.2.3 Investimentos e Viabilidade Financeira	86
5.2.4 Inovação	86
5.2.5 Desempenho	87
5.2.5.1 Análise de Eficiência e Controle de Qualidade	88
5.2.6 Balanço Hídrico Regional	88

5.2.7 Braskem – Consumidor Majoritário	89
5.3 Análise do caso Aquapolo à luz da literatura de reutilização de águas residuais	95
6. CONCLUSÕES.....	102
6.1 Resposta ao Problema de Pesquisa	103
6.2 Limitações e Recomendações	105
7. REFERÊNCIAS.....	107
8. ANEXOS.....	117

1. INTRODUÇÃO

Os efeitos do aquecimento global afetam o atendimento às necessidades humanas com maior intensidade a cada ano e, ao longo do tempo, vão impondo impactos negativos que alteram a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico.

Além da alteração na qualidade de vida, podendo gerar pobreza e impactos negativos na saúde da população (FALKENMARK, 1990) a escassez hídrica pode modificar, ou até mesmo extinguir, o desenvolvimento econômico, podendo inviabilizar a permanência de ativos industriais em locais com racionamento ou estresse hídrico (ALFARRA *et al.*, 2011).

Dentre os principais serviços ecossistêmicos utilizados de maneira insustentável, citados pelo *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), a água é abordada como elemento impactado no excesso de quantidade extraída do meio ambiente, bem como na degradação de sua qualidade.

Em Davos, cidade Suíça, todos os anos, os principais líderes empresariais e políticos do mundo realizam o Fórum Econômico Mundial, oportunidade em que debatem e analisam estratégias sobre os principais temas com potencial de impactar negativamente o desenvolvimento econômico no mundo. Durante uma sequência de oito anos, a economia foi apontada por especialistas como principal risco para o bem social, no entanto, na edição de 2015, cerca de 900 especialistas identificaram a crise hídrica como o risco com maior potencial negativo para a humanidade. A água foi apontada como o recurso natural capaz de engendrar a concorrência pelas armas de destruição em massa e principal veículo de disseminação de doenças infecciosas (ROCCARO; VERLICCHI, 2018).

O Ano de 2015 ficou marcado pelo evento internacional que levou os 193 estados membros da Organização das Nações Unidas (ONU) a concordarem unanimemente com o conteúdo da Agenda 2030 para a Sustentabilidade no planeta e introduzirem 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável 2015-2030, quando ocorreu o comprometimento de todos em deslocar o mundo para o caminho da sustentabilidade, não deixando ninguém para trás e, assim, buscando a inclusão (HERRERA, 2019).

Os problemas acarretados pela má gestão dos recursos hídricos no mundo não é tema recente na ONU; iniciativas anteriores, como os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

(ODM), já haviam sido implementadas, porém, apesar dos resultados positivos, muitas pessoas, principalmente em países em desenvolvimento, não foram agraciadas com o combate à pobreza, inclusão social e impactos positivos da sustentabilidade (ROY; PRAMANICK, 2019).

As ações para promover o acesso à água potável e ao saneamento básico afetam diretamente no combate à pobreza e na inclusão social, por se tratar de uma necessidade humana básica para a sobrevivência com dignidade e estar intrinsecamente relacionado à manutenção da qualidade de vida. Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) se conectam e a universalização do acesso à água potável e ao saneamento impacta diretamente na erradicação da pobreza, na inclusão social e na sustentabilidade dos ecossistemas da terra (NHAMO; NHEMACHENA; NHAMO, 2019).

O crescimento econômico, o aumento populacional e a expansão industrial trazem, entre outras consequências, o aumento do consumo de produtos industrializados, incremento no consumo da água e geração de efluentes (ABIQUIM, 2016). No Brasil, o crescimento demográfico e industrial nas grandes áreas urbanas acelerou o processo de escassez hídrica, potencializando o racionamento no abastecimento público de água potável (FÉRES; REYNAUD; THOMAS, 2015).

A Agência Nacional de Águas (ANA) vem registrando, a partir do ano de 2012, uma redução gradual e progressiva dos índices pluviométricos do semiárido brasileiro e das grandes aglomerações urbanas do Rio de Janeiro e São Paulo, o que está desencadeando prejuízos consideráveis ao abastecimento humano de água potável, gerando cortes drásticos de abastecimento no período de crise hídrica de 2014 e 2015 (MARENGO *et al.*, 2015).

Perante o cenário de escassez, cortes no fornecimento de água, carência nas estruturas de sistemas de coleta e tratamento de esgoto – um cenário de crise –, torna-se clara e emergente a necessidade de encontrar soluções para conservação da água. As técnicas de reutilização de águas residuais passam a figurar como práticas racionais que contribuem para proteção e conservação dos recursos hídricos, e devem ser usadas para reduzir o consumo e os custos com o tratamento de água (HANSEN; RODRIGUES; AQUIM, 2016).

Ações independentes e coletivas vêm tomando dimensões nos mercados, e iniciativas como o *Carbon Disclosure Project* (CDP) trazem uma perspectiva de que esforços

para conservação dos recursos naturais possam garantir que as gerações futuras tenham esses mesmos recursos para atender às suas necessidades básicas.

O desenvolvimento econômico e a sustentabilidade trazem uma ideia de oposição e, entre eles, estão os limites naturais e a crescente demanda por utilização desses recursos, o que levou a ciência a trazer teorias de equalização desta polarização (PURDY, 2015).

O sustencentrismo é a teoria que sugere um equilíbrio entre tecnocentrismo¹ e ecocentrismo², e preconiza o desenvolvimento sustentável, no qual possam coexistir entre si homem e natureza de forma harmônica, o que sugere que as atividades econômicas possam ser desenvolvidas respeitando a capacidade de suporte dos ecossistemas (PURDY, 2015).

Iniciativas que buscam resolver questões diversas, como econômicas, ambientais e sociais são postas em prática, e a reutilização de águas residuais tem sido vista como uma solução em centros industrializados para equalizar o fornecimento de água entre indústria e sociedade.

As indústrias químicas localizadas no polo petroquímico Capuava, Braskem, Oxiten, Cabot e outras, utilizam água industrial para resfriamento em torres de resfriamento e caldeiras provenientes de um sistema de tratamento de águas residuais da própria região do ABC Paulista, o que diminui a concorrência com o abastecimento da população local (AQUAPOLO, 2019).

Neste contexto, é de interesse de todos, empresas, órgãos ambientais e principalmente da sociedade, compreender como empresas de tratamento de águas residuais podem contribuir para a redução da demanda por água em áreas com grande concentração industrial e aglomerações humanas, a fim de reduzir os impactos negativos desse cenário sobre a gestão e utilização de recursos hídricos.

A principal motivação deste trabalho é compreender as potencialidades de contribuição do caso Aquapolo para que possa ser utilizado em outras situações semelhantes, já que, entre 2012 e 2014, a produção inicial de água industrial seria de 56.160 m³ /dia com

¹ Ideia que a tecnologia está sobre o meio ambiente.

² Linha filosófica com valores centrados na natureza e opostas ao antropocentrismo.

previsões atingir 86.400 m³/ dia, tornando-se a quinta maior instalação de reutilização de águas residuais do mundo (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2013).

1.1 Justificativa

As questões e os dilemas relacionados ao uso da água e à escassez hídrica no mundo, são apontados em fóruns e encontros de importantes organismos internacionais, como o principal risco ao desenvolvimento econômico e à qualidade de vida (WORLD ECONOMIC FORUM, 2015).

O relatório da Organização Mundial de Saúde (OMS), divulgado em 2019, que avaliou dados de evolução do acesso à água potável, no período de 2000 a 2017, demonstrou que a população que utiliza água proveniente de fontes seguras aumentou de 61 para 71% em todo o mundo. Todavia, ainda existe uma parcela em torno de 29% da humanidade que acessa a água por vias não consideradas seguras, ficando assim exposta às mazelas dessa prática.

A figura 1 mostra a porcentagem de segurança que os países atingiram na gestão dos recursos hídricos, sendo que para o Brasil os dados não são suficientes para classificação:

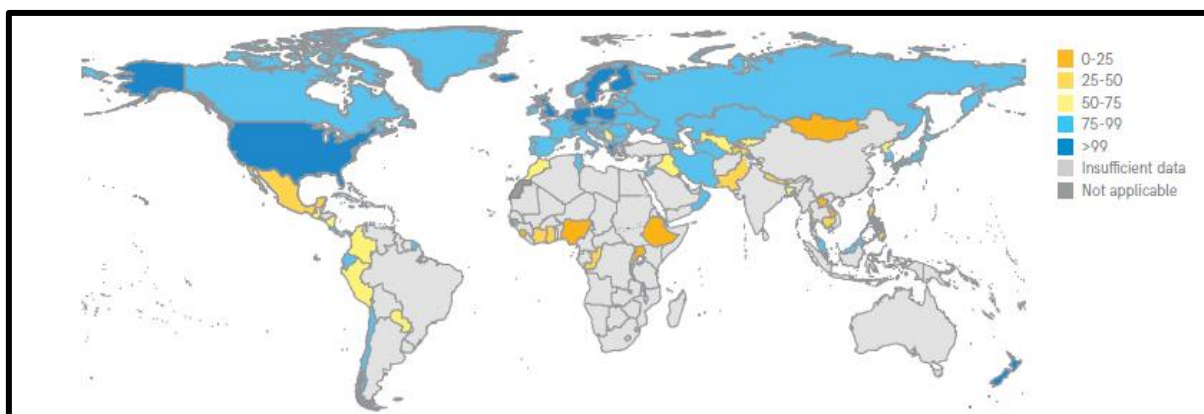


FIGURA 1 – Porcentagem de utilização de fontes de águas seguras no mundo.
Fonte: OMS 2019.

As projeções do crescimento populacional mundial prospectam para 2030 uma população girando em torno de 9,4 a 10,2 bilhões de habitantes e, para 2050, algo entre 9,6 e 13,2 bilhões de pessoas no globo terrestre (ONU, 2017a). O incremento populacional no planeta

impacta diretamente no aumento da demanda pela utilização dos recursos naturais e não naturais, gerando a necessidade do aumento na produção da indústria petroquímica global e regional.

A indústria ocupa posição em destaque na utilização de recursos hídricos no mundo e, com a globalização houve também aumento da demanda hídrica em países em desenvolvimento pela transferência de demanda industrial em direção a esses países. E em decorrência dessa transferência, há aumento significativo na extração de água e consequente aumento da demanda sobre os corpos d'água, muitas vezes associada ao lançamento de dejetos em efluentes não tratados conforme padrões legais de lançamentos (ZHAO et al., 2019).

Dentro dos diversos tipos de indústria, o segmento petroquímico utiliza recursos hídricos intensamente, pois seus processos demandam grandes volumes de água doce com padrão de qualidade específico para uso em processos em torres de resfriamento e caldeiras (HANSEN; SIQUEIRA RODRIGUES; AQUIM, 2019). No Brasil, dados de um inventário recente, feitos para o setor, indicam que aproximadamente 4,75 m³ de água são usados para cada tonelada de produtos químicos produzidos no país, e para reduzir os indicadores dessa utilização, as petroquímicas vêm considerando a questão de reutilização de águas residuais.

Na figura 2, está o gráfico que mostra a porcentagem de consumo de água por setores nas regiões do planeta, indicando que o setor industrial possui representatividade neste consumo, e ocupa o segundo lugar entre os setores mais consumidores:

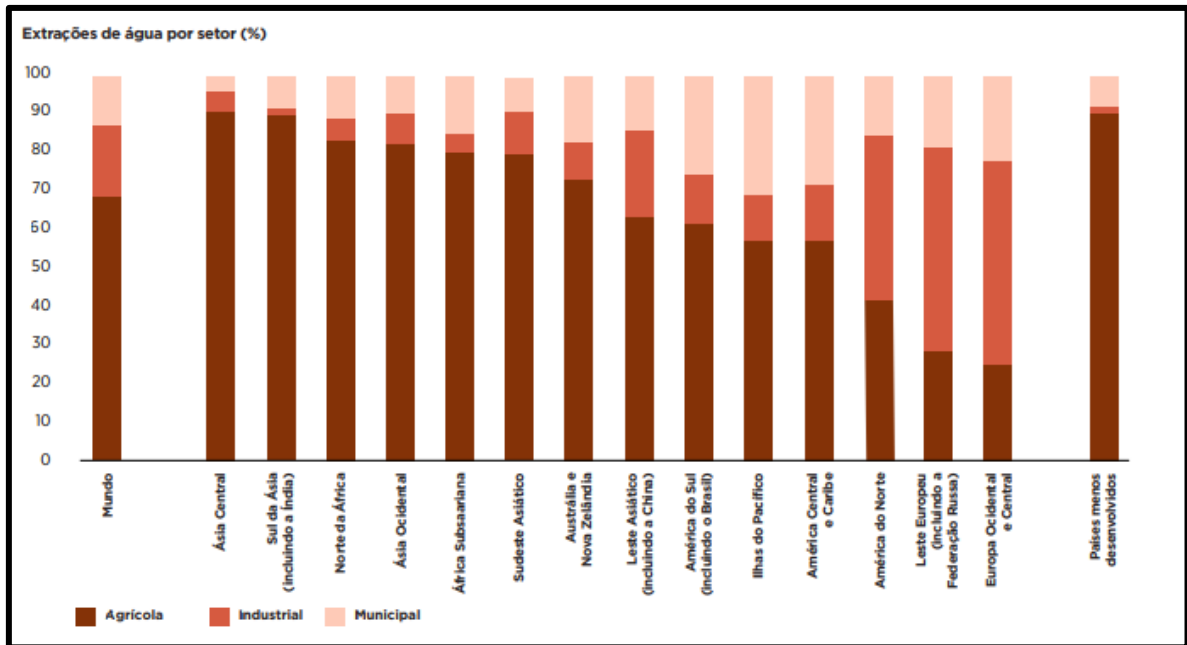


FIGURA 2: Porcentagem de consumo de água mundial por setores

Fonte: FAO. AQUASTAT (2011)

No gráfico 1, está demonstrada a proporção de consumo de água no mundo, agrupados em três grandes setores: agricultura, indústria e uso doméstico.

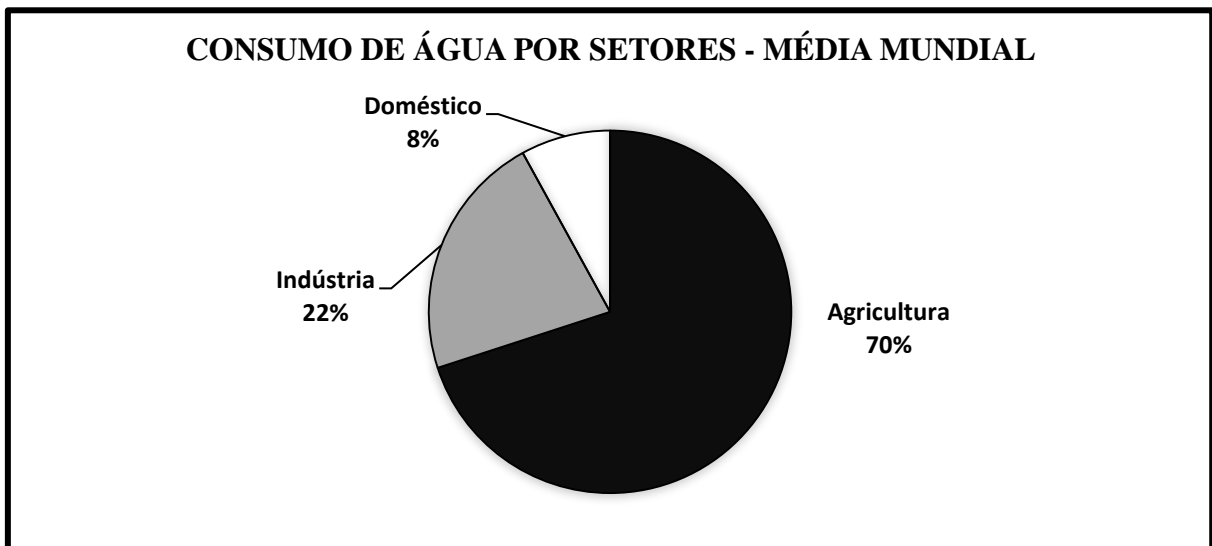


GRÁFICO 1 - Consumo mundial de água conforme uso

Fonte: Ministério do Meio Ambiente.

No Brasil, a indústria petroquímica ocupa um lugar em destaque, sendo que a Braskem, maior produtor de resinas termoplásticas das Américas (ILES; MARTIN, 2013), é o principal consumidor de água industrial produzida no Projeto Aquapolo Ambiental – 90% do produto –, em decorrência do consumo expressivo em torres de resfriamento.

Nos anos de 2014 e 2015, a crise hídrica vivida na RMSP demonstrou que a vulnerabilidade do sistema de abastecimento público dessa região está intrinsicamente ligada à alta dependência do sistema Cantareira e à falta de efetividade nas políticas públicas de gestão e governança dos recursos hídricos (LEÃO; STEFANO, 2019).

Neste contexto, estudar a conformação do caso de fornecimento de água industrial, proveniente do tratamento de águas residuais para as indústrias químicas do polo petroquímico Capuava, vislumbra a possibilidade de encontrar opções e soluções para a reutilização de águas residuais que contribuam com o incremento da disponibilidade hídrica.

A unidade de análise neste estudo de caso, o Aquapolo, é apontando na literatura como um caso proeminente e de relevante contribuição para a gestão dos recursos hídricos na região do ABC Paulista (NEVER; STEPPING, 2018).

1.2 Questão de Pesquisa

Impactos negativos no abastecimento de água, decorrentes do processo de escassez hídrica e seus resultados ao meio ambiente, configuram um dos desafios mais importantes para a humanidade desvelar neste século. As próximas décadas serão fortemente impactadas com as questões de desigualdade no acesso à água potável, coleta e tratamento de esgoto e alterações climáticas. Essas previsões serão potencializadas pelos cenários de escassez hídrica que se intensificam em todo o mundo, e dentro do conjunto de ações mitigadoras, a reutilização de águas residuais compõe uma das alternativas que irão propiciar o aumento da oferta de água para atendimento à crescente demanda de consumo (PINTILIE *et al.*, 2016).

Conforme dados Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) divulgado em 2016, no Brasil: (i) 16,7% da população não tem acesso à água potável; (ii)

47,64% não tem acesso a coleta e (iii) 46% do esgoto do país não recebe tratamento para ser lançados nos corpos d'água³.

Além dos problemas de infraestrutura, investimentos e políticas públicas, questões ambientais, como redução de índices pluviométricos e a utilização de água em processos industriais, como os de resfriamento em indústrias petroquímicas, contribuem para intensificar os efeitos da escassez hídrica em períodos de seca. Assim sendo, a indústria petroquímica, em função das altas perdas por evaporação, utiliza grandes volumes de água doce e figura como um dos principais concorrentes no abastecimento público de água (MARENGO *et al.*, 2015).

O propósito principal deste Trabalho Aplicado (TA) é compreender como uma empresa de tratamento de águas residuais contribui para garantir o abastecimento do polo petroquímico Capuava na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Todavia, atrelado ao objetivo principal deste TA, está o objetivo secundário, e não menos importante, que é construir com o conhecimento e divulgação de práticas de reutilização de águas residuais, ora apontadas na literatura clássica como técnica com potencial contribuição para a conservação das águas naturais e incremento da disponibilidade hídrica em todos os continentes do planeta

Busca-se, portanto, responder à seguinte questão de pesquisa:

De que forma uma empresa de tratamento de águas residuais, o Aquapolo, contribui para garantir o abastecimento do polo petroquímico Capuava na Região Metropolitana de São Paulo?

Buscando compreender os fenômenos que compõem o caso, houve um esforço em examinar temas que auxiliam na resposta principal desta pesquisa: cenários de disponibilidade e escassez hídrica; crescimento populacional, saneamento básico e escassez hídrica na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e reutilização de águas residuais.

No contexto desta pesquisa, buscou-se, através da literatura disponível, uma melhor compreensão e definição do termo “águas residuais”, e em um trabalho publicado pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Monte e Albuquerque, águas residuais são definidas como:

³ Disponível em www.snis.gov.br, consultado em 09/07/2019

As águas residuais urbanas são águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais e pluviais coletadas para a rede de pública de drenagem. As águas residuais urbanas resultam, portanto, da utilização de água que foi captada e tratada para assegurar o abastecimento de água potável às populações e às atividades económicas ligadas ao comércio e à indústria.

Após a sua transformação em água residual, a água captada na natureza (subterrânea ou superficial) retorna ao meio natural, através da sua descarga em águas superficiais – doces e costeiras – ou da sua infiltração no solo, desejavelmente após tratamento adequado (MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).

Em uma recente pesquisa realizada na cidade de Marrakesh, para avaliar a forma mais sustentável na reutilização de águas residuais na atividade agroflorestal, a definição para o termo é dada como águas oriundas de efluentes tratados e que atendam aos parâmetros exigidos na legislação para descarte em corpos d'água (MOUSSAOUI *et al.*, 2019).

A definição para águas residuais dada pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) é:

Água que não tem valor imediato para a finalidade para a qual foi usada ou para o propósito ao qual foi produzida devido a sua qualidade, quantidade ou quando ela está disponível. No entanto, a água residual de um usuário pode ser usada como suprimento para outro usuário em outro local. A água de resfriamento não é considerada água residual⁴.

A escolha deste caso encontra justificativa na constatação através da revisão da literatura, que é emergente a necessidade de implantar ações robustas e estruturantes, e que visem solucionar o dilema da escassez hídrica em diversas localidades do planeta, principalmente em áreas com grandes aglomerações urbanas nos grandes centros do Brasil.

E diante das desigualdades, falta de acesso à água potável e saneamento básico encontradas no território nacional, entende-se que as soluções devem ser perseguidas a fim de garantir equidade no abastecimento humano, qualidade de vida, fomento ao desenvolvimento econômico e justiça social.

⁴ Disponível em http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/glossary/search.html?lang=es&_p=100&submitBtn=-1&keywords=Agua+residual&subjectId=-1&termId=-1&submit=Buscar; consultado em 07/07/2019

1.3 Objeto

A indústria química do Brasil ocupa a 6ª posição no *ranking* internacional e, no Brasil, a BRASKEM lidera o mercado sendo a maior do segmento (ABIQUM, 2018).

O processo de produção nas indústrias químicas e petroquímicas requer grandes volumes de água para os processos de resfriamento e operação de caldeiras, locais onde a alta taxa de evaporação demanda abastecimento com fluxo contínuo de água industrial (ROCCARO; VERLICCHI, 2018).

Entre 2014 e 2016, a Braskem, principal consumidora de águas residuais do Aquapolo, consumiu 25 milhões de m³ de águas residuais provenientes do Aquapolo, maior empreendimento para a produção de água de reuso industrial da América Latina, liberando um volume equivalente a 10 mil piscinas olímpicas para o consumo de água potável para a região do ABC, em São Paulo⁵.

O objeto principal neste estudo de caso é o Aquapolo Ambiental, produtor de água industrial para o polo petroquímico Capuava, proveniente de água residual do tratamento da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ABC SABESP.

1.4 Organização do Trabalho Aplicado

Neste subitem é apresentada a organização das informações deste Trabalho Aplicado, que está distribuído em oito capítulos descritos a seguir.

O primeiro capítulo traz a introdução do estudo de caso, contextualiza o problema do uso da água e da escassez hídrica no planeta, apresenta a pergunta de pesquisa a ser respondida, descreve o objeto deste estudo de caso e os objetivos almejados no trabalho. Neste capítulo, também é apresentada a justificativa que endereçou a escolha deste estudo de caso único.

⁵ Informações retiradas do site da Braskem, disponível em <https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-no-abc-adota-circuito-fechado-de-reuso-de-agua-e-descarte-de-efluentes>. Acessado em 07/07/2019.

O segundo capítulo descreve a fundamentação teórica, compreendendo a revisão de literatura relevante em quatro blocos de domínios conceituais: (i) os recursos hídricos no mundo; (ii) a reutilização de águas residuais; (iii) reutilização de águas residuais na indústria, destacando a reutilização dessas águas na indústria petroquímica; e (iv) a eficiência hídrica em estações de tratamento de águas residuais.

O terceiro capítulo apresenta a análise setorial, sobre a gestão dos recursos hídricos, a escassez e a reutilização de águas residuais, no mundo, no Brasil, no estado de São Paulo e principalmente na RMSP, com destaque para o setor da indústria petroquímica.

No quarto capítulo, está descrita a metodologia de pesquisa aplicada neste trabalho: a estratégia e a abordagem de pesquisa, bem como as técnicas empregadas na coleta e análise dos dados.

No quinto capítulo está a contextualização do objeto: Aquapolo Ambiental, onde é apresentado o histórico e razões de sua concepção.

No sexto capítulo, são apresentadas as análises dos objetivos da pesquisa, as contribuições da pesquisa, recomendações à empresa focal, as limitações e sugestões para pesquisas futuras.

E, finalmente, os capítulos sétimo e oitavo onde estão listadas, respectivamente, referências bibliográficas e anexos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, é apresentada a revisão de literatura que deu suporte às reflexões sobre o estudo de caso ora analisado. A compreensão do cenário mundial atual e do histórico sobre os dilemas e questões relacionadas à interação da humanidade com os recursos hídricos, a gestão desses recursos em diversos locais do planeta, a reutilização de águas residuais em usos diversos e no setor industrial, guiaram este estudo.

2.1 Recursos Hídricos

A humanidade convive com o paradoxo de habitar um planeta onde 70,8% da superfície é coberta por água, e ter disponível para consumir somente 0,3% do total de 2,2% de água doce existente no globo terrestre (ANA, 2007).

No ano de 1977, a Conferência das Nações Unidas para a Água deu considerável contribuição para o fortalecimento e coordenação de cooperação internacional no estudo e avaliação dos recursos hídricos. Também estimulou o desenvolvimento de investigações nacionais e atraiu a atenção do público em geral, governos, agências de planejamento e tomadores de decisão para muitos problemas de gestão e também desenvolvimento futuro nas ciências hidrológicas (SHIKLOMANOV, 1999).

Na década de 1990, cientistas do Instituto Hidrológico do Estado de São Petersburgo, Rússia, estudaram o aumento da utilização da água no mundo em função do forte incremento das diversas fontes de consumo, identificando que a indústria ocupa o segundo lugar na utilização de recursos hídricos no mundo, perdendo apenas para o setor agrícola (SHIKLOMANOV, 1999).

Perspectivas no aumento da utilização da água em algumas partes do mundo, como a África, Ásia e grande parte do Brasil, em decorrência do aumento do uso agrícola, doméstico e industrial, são apontadas por pesquisadores em um estudo denominado *World Water in 2025* (ALCAMO; HENRICHS; RÖSCH, 2000), que indicam o incremento do estresse hídrico no futuro e orientam para um planejamento de gestão hídrica emergente.

Dados da Food and Agriculture Organization (FAO, 2010) disponíveis no banco de dados AQUASTAT, demonstram que, no ano de 2003, 3.856 km³ de água doce foram retirados do meio ambiente para fins domésticos, industriais e globais. Em função da grande produção de alimento, 70% deste volume foi destinado à utilização no setor agrícola, seguido do setor industrial com utilização de 19% e uso doméstico com 11% da demanda. Em cada país ou região, essa utilização irá variar conforme o cenário social e econômico local; na Europa, o setor industrial lidera o consumo com 55% da demanda (FLÖRKE *et al.*, 2013).

A água é um recurso vital, com valor econômico e impacto direto não somente na produção de alimentos, mas também na economia. É um elemento essencial para a conservação ecológica, pois as vidas animal e vegetal dependem da água para manter sua existência. Regiões com intensos processos de escassez hídrica recorrem à importação de produtos que utilizam grandes quantidades de água para sua produção, e de forma indireta contribuem para os impactos negativos nos recursos dos locais onde são produzidos, e a este processo dá-se o nome de consumo de água virtual. Em decorrência dessa transferência de água virtual, o crescimento econômico no mundo impacta a gestão de recursos hídricos global e local, já que, com a globalização, os produtos transitam de país a país, mas os impactos locais decorrentes dessa produção estão crescendo em todos os continentes (CUI *et al.*, 2018).

Com o objetivo de melhorar a avaliação global do uso da água, um estudo com o *WaterGAP3* foi preparado para o cálculo de retorno dos usos domésticos e industriais a partir do ano 1950 para 177 países. Simulações de modelos foram realizadas em escala nacional para estimar as retiradas de água para o consumo humano, bem como para o resfriamento de água necessária em processos industriais. Além disso, a quantidade de águas residuais não tratadas geradas pelos setores doméstico e industrial foi modelada, e os resultados demonstraram que tais usos aumentaram de 300 km³, em 1950, para 1.345 km³ em 2010, 12% dos quais foram consumidos e 88% devolvidos em corpos de água (FLÖRKE *et al.*, 2013).

A quantidade de efluentes domésticos e industriais aumentou consideravelmente nas últimas décadas, e somente a metade deste volume foi devidamente tratada para descarte na natureza. Como consequência, os impactos desse descarte inadequado no meio ambiente são desastrosos, causando contaminação do solo e dos corpos d'água, o que desencadeia doenças e

mortalidade em torno do mundo, o que torna a redução dessas descargas de águas residuais não tratadas uma das ações prioritárias a empreender (FLÖRKE *et al.*, 2013).

Os impactos negativos no abastecimento de água, decorrentes do processo de escassez hídrica e seus resultados ao meio ambiente, configuram um dos mais importantes desafios para a humanidade desvelar neste século. As próximas décadas serão fortemente impactadas com as questões de desigualdade no acesso à água potável, coleta e tratamento de esgoto e alterações climáticas. Esse conjunto de previsões potencializa os efeitos da escassez hídrica, e a reutilização de águas residuais compõe o conjunto de alternativas que irão propiciar o aumento na disponibilidade de água para atender o processo crescente na demanda de consumo (PINTILIE *et al.*, 2016).

Os efeitos da escassez hídrica desencadeiam consequências danosas à qualidade de vida, podendo afetar negativamente o potencial econômico de um país ou região; o exemplo clássico a ser citado é a Jordânia que tem sua economia limitada pelo cenário de escassez hídrica que assola a região (ALFARRA *et al.*, 2011).

Perante o panorama de escassez hídrica que afeta diversas regiões do mundo, é de extrema importância que governos e sociedade desenvolvam planos completos de mitigação dos efeitos da falta de água. Nesses planos, devem estar incluídos indicadores de escassez hídrica e medidas essenciais para a gestão dos recursos hídricos, nos quais técnicas de mitigação e adaptação a estes cenários são indispensáveis. No geral, os modelos de gestão da água utilizam apenas dados históricos e atuais referentes às condições hidrológicas combinados ao estado de sistemas de armazenagem, faltando uma sistemática que avalie a eficácia das medidas de mitigação e adaptação ao processo de escassez hídrica (WANG *et al.*, 2019)

O histórico dos efeitos da escassez hídrica no mundo tornou a reutilização de águas residuais uma das matérias mais proeminentes em questões técnicas e políticas públicas, nas quais governos, empresas e população vêm despertando sua preocupação com as diversas formas de conservação da água (ALFARRA *et al.*, 2011).

A importância da reutilização de águas residuais já vem sendo abordada por estudiosos do tema há algumas décadas como incremento das fontes de captação de água para usos diversos. Em 2009, o *2030 Water Resources Group* já podia prever o aumento da taxa de exploração da água para usos diversos, com a finalidade de atender às necessidades anuais da

população global, passaria em 2030 para 6.900 bilhões de m³, o que representa um percentual 64% superior ao que se tem de fonte total de água acessível e com fonte confiável para utilização segura no mundo (MARYAM; BÜYÜKGÜNGÖR, 2017).

Além do cenário de escassez hídrica, aumento na demanda de água decorrente do crescimento população, a contaminação difusa tem causado a perda de fontes de água subterrânea em função da falta de controle em despejos industriais contaminados e águas residuais municipais que não são tratadas de forma satisfatória e, mesmo assim, são lançadas nos corpos d'água mundo afora (MARYAM; BÜYÜKGÜNGÖR, 2017).

Centros urbanos em países como Brasil e Índia enfrentam problemas semelhantes e com baixas taxas de coleta e tratamento de esgoto. Nesses países, a água está se tornando escassa nas regiões dos grandes centros devido às crescentes pressões da urbanização, crescimento econômico e impactos das alterações climáticas e aquecimento global (NEVER; STEPPING, 2018).

Em termos gerais, em território brasileiro, existe um fator de morosidade que não promove as diligências com a velocidade necessária para as questões de saneamento básico. Quando comparamos com padrões internacionais, tais cenários são traduzidos em baixos índices de cobertura, principalmente nas regiões mais carentes do país. O crescimento da cobertura do abastecimento urbano de água ocorreu na década de 1970, quando foi implementado o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), através de uma política de empresas estatais para o fonecimento deste serviço (DA SILVA E SOUZA; DE FARIA; MOREIRA, 2007).

A necessidade de governança responsável na questão hídrica se intensifica a cada dia e traz à tona a necessidade de aumentar o portfólio de fontes de captação, para se obter o aumento necessário na disponibilidade hídrica aos diversos usos. O reúso de água passa por uma temática tecnológica, econômica e social em um campo onde a tecnologia e a ciência pressionam por novas fontes de água. E, nessa trajetória, avanços tecnológicos na gestão de águas residuais despontam como soluções a serem adotadas no conjunto de ações necessárias e estruturantes (ALDACO-MANNER; MOHTAR; PORTNEY, 2019).

O processo de escassez hídrica vem aumentando a cada ano em áreas como o território europeu, onde, ao menos, 17% da população sofre com os impactos da escassez

hídrica. Uma das respostas ao aumento da escassez hídrica vem sendo implantada e as Estações de Tratamento de Água de Residuais (ETAR) são projetadas para minimizar os danos ambientais decorrentes do aumento das cargas de águas residuais provenientes das atividades municipais e industriais (PINTILIE *et al.*, 2016).

O índice de estresse hídrico de um país pode ser avaliado pela relação entre vazão total de retirada e quantidade de água doce renovável. Valores inferiores a 10% indicam um estresse hídrico baixo, porém valores que estão entre 10 e 20% já demonstram que a disponibilidade reduzida de água pode restringir o desenvolvimento econômico local. Um índice de estresse hídrico acima de 20% demonstra que são necessários esforços e políticas públicas que equilibrem oferta e demanda, além de ações que possam resolver o conflito entre usos concorrentes (BIXIO *et al.*, 2006).

Regiões semiáridas, áreas costeiras e áreas com intensa urbanização e industrialização são afetadas por variações sazonais e escassez hídrica. Países suscetíveis à seca podem sofrer impactos ambientais, sociais e econômicos, tendo em vista que a água representa valor vital e econômico. Nesta perspectiva, os municípios ficam com a responsabilidade de resolver a questão do incremento da demanda por água doce e da concorrência por diversos usos: doméstico, industrial, agrícola, turístico e outros concorrentes (BIXIO *et al.*, 2006).

Confrontados com esses problemas de escassez, está demonstrado que é necessário o desenvolvimento de estratégias para melhorar a gestão do uso da água em suas diferentes aplicações. O crescimento da consciência ambiental trouxe consigo uma visão da necessidade de conservar e preservar os recursos hídricos, além da clareza de que estes são limitados e possuem valor econômico para todos os usos (GUTTERRES *et al.*, 2010).

Neste sentido, há a certeza de que é necessário desenvolver estratégias que melhorem o desenvolvimento tecnológico que dará suporte à gestão integrada da água, e as técnicas de reutilização de águas residuais são opções que podem contribuir para uma gestão mais eficaz dos diversos usos da água (GUTTERRES *et al.*, 2010).

A experiência em conviver com os impactos e problemas advindos da escassez hídrica, levou países como Austrália, Israel e o estado norte-americano da Califórnia a desenvolver estratégias e programas de reutilização de águas residuais por reconhecerem o papel benéfico que essa reutilização pode representar na gestão integrada da água

(HOCHSTRAT *et al.*, 2006); a Austrália, por se tratar de um país com baixa disponibilidade hídrica, trata mais que 92% das águas residuais produzidas (LYU *et al.*, 2016).

E apesar do Fórum Econômico Mundial ter incluído a escassez hídrica dentro do grupo classificado como riscos sistêmicos globais que mais foram apontados nas pesquisas sobre percepção de risco para empresas, governos, organizações não governamentais internacionais, sociedade civil e academia científica, a água ainda é vista pelo setor industrial como um recurso infinito e com baixo custo associado e, neste sentido, ainda não é utilizada de forma eficiente. Todavia, a evolução dos custos com a água doce e seu tratamento, associados aos processos de escassez, alteraram a percepção social em direção à sua conservação (ZHANG *et al.*, 2018).

O aumento na demanda por água é exponencial e diversos estudos apontam para um futuro com cenário crítico nas questões de disponibilidade e abastecimento no mundo, o que demonstra claramente a necessidade emergente de implantação de uma gestão mais eficiente no seu uso em todos os continentes do planeta (WANG *et al.*, 2019).

2.2 Reutilização de Águas Residuais

O desenvolvimento e o incremento da reutilização de águas residuais no planeta, surgem a partir de uma constância de disposição final destas águas no meio ambiente, sem nenhum tratamento, para um nível de inovação e modernização das técnicas de tratamento (HOCHSTRAT *et al.*, 2006).

A reciclagem de água deve ser incorporada como parte integrante da gestão dos recursos hídricos e, neste sentido, operadores das questões relacionadas à água, como governos regionais e locais, projetistas e empresas de água devem incorporar, não somente os requisitos legais, mas também questões de sustentabilidade, observando uso da terra, o abastecimento humano, a geração de energia e a possível reutilização de águas residuais. Essas alternativas em projetos de recursos hídricos devem ser apresentadas e especificadas no período de análise econômica para que sua viabilidade esteja dentro dos pressupostos econômicos (MEDELLÍN-AZUARA; BURLEY; LUND, 2011).

Em 1958, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (United Nations, 1958), antecipando previsões que visavam à necessidade de alterar as políticas ortodoxas de gestão dos recursos hídricos no mundo, principalmente em áreas carentes, sugeriu, através de uma visão de conservação, que nenhuma água com boa qualidade fosse contaminada por água de qualidade inferior. E as águas com restrições na qualidade, como esgotos domésticos, efluentes industriais, efluentes de sistemas de tratamento de água deveriam, sempre que possível, ser consideradas fontes alternativas para usos menos restritivos (HESPANHOL, 2008).

E conforme Hespanhol (2008):

O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e a gestão da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água.

O Relatório Global da Água das Nações Unidas de 2017 menciona a questão da reutilização de águas residuais e explica que essa ainda é uma fonte não explorada para apoiar as políticas de aumento na disponibilidade hídrica, incremento da demanda e controle da poluição das águas. Pesquisas científicas demonstram que a reutilização de águas residuais pode satisfazer diferentes necessidades: pedidos de irrigação, fins industriais, demandas potáveis e usos civis (CHEN *et al.*, 2014).

Todavia o processo de tratamento é atrelado às tecnologias disponíveis e dependem da evolução das técnicas para avançar. Os padrões de tratamento para reutilização ou mesmo para descarte de efluentes em locais sensíveis são conhecidos como tecnologias avançadas de recuperação e têm o objetivo de reduzir nutrientes, sólidos suspensos, micro-organismos e outros poluentes e, desta forma, garantir que a água recuperada tenha qualidade suficiente para ser reutilizada de forma segura e legal (SALGOT; FOLCH, 2018).

A reutilização de águas ainda consiste em uma fonte com grande capacidade não explorada e oferece potencialmente a possibilidade de transformar a condição humana através de uma relação mais consciente com o ciclo da água, podendo torná-lo mais sustentável dentro de uma economia circular em que captar, tratar, consumir, coletar, tratar e eliminar coletar, possam fazer parte desse círculo de forma sustentável, reduzindo os impactos negativos ao meio ambiente (ROCCARO; VERLICCHI, 2018).

Usos mais nobres, como abastecimento humano e dessedentação animal, seguem requisitos de qualidade mais rígidos que visam garantir a saúde humana. No entanto, a reutilização em processos industriais requerem padrões de qualidade que atendam a requisitos técnicos que visam garantir as exigências dos processos, a eficiência de produção e integridade das máquinas e equipamentos (SALGOT; FOLCH, 2018).

Impactos negativos no meio ambiente, incluindo a redução da qualidade dos recursos hídricos naturais, aumento na demanda por água, mudanças climáticas e poluição dos corpos d'água, demonstram claramente que é necessário explorar todas as outras fontes possíveis para obter o incremento de disponibilidade hídrica, antes de utilizar águas de superfície e as subterrâneas por serem recursos limitados. As águas residuais, que constituem efluentes passíveis de tratamento e nova utilização, são consideradas cada dia mais uma fonte complementar, e seus benefícios econômicos, sociais e ambientais já foram demonstrados em diversos locais do planeta (ADEWUMI; ILEMOBADE; ZYL, 2010).

A reutilização de águas residuais pode representar uma técnica importante na gestão dos recursos hídricos e oferecer uma opção ecologicamente correta para o gerenciamento de águas residuais, reduzindo os impactos ambientais associados às descargas dessas águas em corpos d'água ou no solo nu. Além disso, a reutilização pode fornecer um suprimento alternativo para muitas atividades que não exigirem a qualidade da água potável. As restrições mais significativas para reutilização incluem os riscos potenciais para a saúde pública, pois se utilizadas sob circunstâncias não regulamentadas, as águas residuais, ainda que tratadas, podem ser prejudiciais aos seres vivos, especialmente humanos. Essas águas são, assim, uma opção viável para outros uso, como atividades urbanas, na irrigação de jardins e lavagens de vias, no reuso agrícola e industrial, já que não oferecem riscos à saúde humana (ADEWUMI; ILEMOBADE; ZYL, 2010).

Desde a década de 1960, diversos estudos e publicações científicas alertam para os impactos negativos oriundos das mudanças climáticas, sendo que uma das mais proeminentes e percebidas por toda a humanidade são as violações ao ciclo da água, com ocorrências de inundações e escassez hídrica acentuada, além da poluição dos meios aquáticos. E como resposta a esses impactos negativos no ciclo da água e a evolução das técnicas nas últimas três

décadas em todo o mundo, a reutilização de águas residuais tem sido considerada como parte essencial da gestão sustentável dos recursos (TRAM VO *et al.*, 2014).

Nas grandes cidades da América Latina a reutilização de água vem se tornando cada vez mais imperativa, principalmente porque o processo de urbanização não apresenta uniformidade, o que gera a necessidade iminente de uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos. Em regiões metropolitanas com grandes aglomerações de pessoas, este processo é mais intenso e a necessidade de desenvolver estratégias para aumentar as fontes de captação e formas de reutilização compõem os maiores desafios aos órgãos responsáveis pelo abastecimento público (SADR *et al.*, 2018).

Todavia há um consenso científico de que as mudanças climáticas afetam os recursos hídricos tanto na quantidade como na qualidade, exercendo também reflexos no que tange às questões de fenômenos, como ondas de calor e chuvas intensas para os próximos anos. Essas alterações do ciclo da água, em função das mudanças climáticas, representam riscos que podem afetar o abastecimento de infraestruturas de tratamento de águas residuais e devem ser observadas ações que minimizem esses impactos negativos (HERNÁNDEZ-SANCHO; MOLINOS-SENANTE; SALA-GARRIDO, 2011).

2.3 Reutilização de Águas Residuais na Indústria

Apesar do cenário de escassez hídrica estar em processo de aceleração no mundo e a necessidade de reutilização de águas residuais estar despontando com uma solução necessária e imediata, projetos de reutilização passam por diversos questionamentos quando se trata de reutilização para consumo humano ou produção agrícola, como o nível de qualidade aceitável para captação destas águas, capacidade instalada das unidades industriais de tratamento e, o mais preocupante, os custos de aceitação pública, o que coloca a reutilização destas águas para o uso em processos industriais, como a opção mais viável perante a opinião pública (ROCCARO; VERLICCHI, 2018).

Tradicionalmente a resistência da opinião pública em aceitar a reutilização de águas residuais para abastecimento humano direciona este reuso para algumas atividades específicas,

como irrigação na agricultura, recarga de águas subterrâneas e aquíferos, usos em áreas urbanas para lavagens de ruas e irrigação de jardins, recreação, e processos industriais nos quais o resfriamento é uma das expressivas demandas de utilização de água. A regulamentação para reutilização de águas passa por processos de incremento e sofisticação em todo o planeta e os requisitos mínimos de qualidade para a utilização destas águas no setor agrícola seguem tal tendência, deixando a indústria na posição de mais eficaz consumidor para estas águas (ROCCARO; VERLICCHI, 2018).

A partir de critérios estabelecidos em função da prioridade para usos que demandem vazões elevadas com níveis menores de exigências de tratamento em processos industriais, deve-se concentrar o programa de reuso industrial em torres de resfriamento (HESPANHOL, 2008).

Conforme descreve Hespanhol e Gonçalves (2005), as aplicações de água de reuso na indústria são basicamente as seguintes:

- como fluido de resfriamento ou aquecimento; nesses casos, a água é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitam de resfriamento em razão da geração de calor, ou então pelas condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento;
- como matéria-prima em processos industriais;
- uso como fluido auxiliar, tais como preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículos, ou ainda, para as operações de lavagem;
- uso para geração de energia: para esse tipo de aplicação, a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia, potencial ou térmica, da água, em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica;
- como descarga em vasos sanitários e mictórios;
- na construção civil, cabines de pintura, combate a incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa.

O Brasil possui uma regulamentação com responsabilidades compartilhadas entre as esferas federal, estadual e municipal e com diferentes graus de cooperação público-privada no setor de águas residuais (NEVER; STEPPING, 2018).

As indústrias, além de seu poder econômico, figuram dentro da classe de usuários com grande consumo de recursos hídricos e, neste sentido, carregam maior parcela de

responsabilidade no aspecto de sustentabilidade. Conforme Hart (1997, p. 76), é das empresas a responsabilidade de garantir um mundo mais sustentável, pois estas sempre serão os motores econômicos do mundo.

Nos processos de produção em indústrias químicas e petroquímicas, a água consiste em recurso essencial para o bom funcionamento. Sistemas de resfriamento e operação de caldeiras são alguns dos vários processos nos quais a água é usada intensivamente, e as torres de resfriamento estão entre os maiores consumidores de água doce em processos industriais devido à grande perda por evaporação (HANSEN; RODRIGUES; AQUIM, 2016).

Já no início da industrialização havia uma certa compreensão sobre o ciclo dos materiais e recursos naturais, e a percepção de que sua reutilização reduz impactos negativos e fomenta o desenvolvimento e criação de novos negócios e oportunidades (DESROCHERS, 2004).

O conceito de economia circular vem sendo melhor utilizado e possui estrita ligação com os princípios de reduzir, reutilizar e reciclar, abordando, não somente o ciclo de produtos e matérias, mas também a aplicação desses princípios para a melhor gestão e utilização dos recursos naturais, onde a reutilização de águas desponta com relevância ambiental e social (TISSERANT et al., 2017).

Dentro de uma abordagem do *triple bottom line* para a sociedade, a economia e o meio ambiente, decisões e soluções para aplicação nos sistemas de tratamento de águas residuais urbanas devem buscar empregar soluções sustentáveis para a gestão dos recursos hídricos urbanos. A sustentabilidade neste setor vem passando por diversos estudos que visam entender as melhores práticas de gestão e sustentabilidade, e, neste sentido, diversificar e avançar em projetos multidisciplinares que, de forma integrada, abarquem a melhor solução ambiental praticável à realidade de cada local (ASHLEY et al., 2008).

Com o objetivo de diversificar e inovar para buscar projetos multidisciplinares e sustentáveis, Barbieri descreve os conceitos de organizações inovadoras e organizações sustentáveis:

“Organização inovadora é a que introduz novidades de qualquer tipo em bases sistemáticas e colhe os resultados esperados” (BARBIERI, 2007, p. 88) e organização sustentável é a que simultaneamente procura ser eficiente em termos econômicos, respeitar a capacidade de suporte do meio ambiente e ser instrumento de justiça social,

promovendo a inclusão social, a proteção às minorias e grupos vulneráveis, o equilíbrio entre os gêneros etc. (BARBIERI, 2007, p. 98-99).

O conflito aparente entre os dois conceitos de organizações descritos por Barbieri, em função do significado de bases sistemáticas ser a realização de inovações com autonomia, intencionalidade e proatividade, e, neste contexto, se tornar sinônimo de degradação ambiental e social, pode ser desmistificado através do entendimento de que uma organização inovadora dentro dos preceitos sustentável não é aquela que traz inovações de qualquer natureza, ou a qualquer custo, mas sim inovações que se enquadrem nos requisitos das múltiplas dimensões da sustentabilidade (BARBIERI *et al.*, 2011).

E tais requisitos são descritos por Barbieri como:

Não basta, para as empresas, apenas inovar constantemente, mas inovar considerando as três dimensões da sustentabilidade, a saber:

- dimensão social – preocupação com os impactos sociais das inovações nas comunidades humanas dentro e fora da organização (desemprego; exclusão social; pobreza; diversidade organizacional etc.);
- dimensão ambiental – preocupação com os impactos ambientais pelo uso de recursos naturais e pelas emissões de poluentes;
- dimensão econômica – preocupação com a eficiência econômica, sem a qual elas não se perpetuariam. Para as empresas essa dimensão significa obtenção de lucro e geração de vantagens competitivas nos mercados onde atuam.

O atendimento a essas dimensões torna o processo de inovação mais sofisticado e exigente, o que requer da organização um maior esforço para atender tecnicamente esse requisito. Isso leva novas perspectivas para a gestão da inovação.

Os benefícios da reutilização de águas residuais são demonstrados em diversas partes do mundo e possuem relevância social, ambiental e econômica, os quais é possível dar destaque para o setor industrial – que neste contexto desfruta de uma característica de águas residuais, que é estabilidade e constância do fornecimento de água industrial, se apresentado superior e mais eficiente quando comparada com águas de chuva ou captadas em outras fontes (CHEN *et al.*, 2014).

Fatores específicos de alta demanda de água doce nos processos industriais combinados às externalidades de baixa qualidade das águas nos corpos d'água, escassez hídrica e concorrência com o abastecimento público, resultaram em uma iniciativa de tratamento de águas residuais entre indústrias e fornecedores de água no polo Capuava. A implementação da

solução na reutilização de água foi desenvolvida a partir de padrões de qualidade específicos determinados pela indústria petroquímica, resultando no maior projeto de tratamento de águas residuais da América Latina, o Aquapolo (SADR *et al.*, 2018).

2.4 Eficiência Hídrica

O conceito de ecoeficiência está relacionado à conexão de indústrias com os preceitos do desenvolvimento sustentável. As estações de tratamento de águas residuais (ETAR) são infraestruturas importantes para a redução da poluição das águas e constituem instrumentos relevantes para proteção e conservação dos meios aquáticos. O desempenho e a eficiência na operação dessas estruturas são intrinsecamente relacionados à capacidade de remoção dos contaminantes das águas tratadas, consumo de energia e qualidade dos mananciais de lançamento (HU *et al.*, 2019).

Sobretudo em países em desenvolvimento, o fator principal para o crescimento econômico é a produção industrial e, em consequência disso, há um incremento substancial nas emissões de poluentes e aumento de consumo dos recursos naturais, com destaque para os recursos hídricos. Consequentemente, ocorre um conflito de interesse entre as questões ambientais e o crescimento econômico, nos quais análises cruzadas entre esses fatores demonstram a importância da ecoeficiência na produção industrial, na qual alguns governos, como a China, para fomentar ações de proteção aos recursos hídricos, implantaram mecanismos via recolhimento de impostos para melhorar a eficiência na gestão dos recursos hídricos (FUJII; MANAGI, 2013).

Os sistemas de tratamento de água convencionais são utilizados em grande escala, porém não removem as altas taxas de concentrações de sais geralmente presente em águas residuais, o que dificulta a reutilização destas águas para os processos de resfriamento em indústrias petroquímicas, pois os parâmetros de condutividade especificados devem ser respeitados para garantir a segurança das operações (HANSEN; RODRIGUES; AQUIM, 2016).

A osmose reversa (OR) é uma das técnicas mais adequadas e de importância crucial para a retirada de sais da água do mar; e, a partir da década de 1960, vem crescendo sua

aplicação em áreas com necessidade de dessalinização para suprir as necessidades advindas do processo de escassez hídrica. Apesar de se caracterizar por uso intenso de energia, a técnica de OR vem passando por avanços tecnológicos e sendo aprimorada, o que tem levado ao aumento da eficiência produtiva, tendo em vista que neste tipo de tecnologia é possível a retirada dos sais e o alcance dos parâmetros de condutividade almejados para os recursos hídricos após este tratamento (LI *et al.*, 2013).

O processo crescente de escassez hídrica, potencializado pelo desenvolvimento econômico nas próximas décadas, indica a intensificação da crise hídrica no mundo. Este complexo cenário mundial preocupa as indústrias petroquímicas, cujos processos de produção estão associados à intensa utilização de água doce (MUNIRASU; HAIJA; BANAT, 2016). Associado ao alto consumo de água, esses sistemas demandam uma qualidade específica para a água, pois alguns parâmetros como a condutividade e presença de sais, se não forem atendidos, podem danificar e reduzir a vida útil dos equipamentos (WANG *et al.*, 2014).

Nos processos industriais a água é usada em inúmeras aplicações, o que pode exigir diferentes padrões de qualidade para cada aplicação. Processos de resfriamento de torres e alimentação de caldeiras são exemplos de utilização nas indústrias químicas e petroquímicas que demandam grandes volumes de água com padrões de qualidade específicos, o que atualmente vem sendo obtido pelas unidades industriais de tratamento de águas residuais através de processos de osmose reversa combinados a outros processos (QUEVEDO *et al.*, 2012).

Neste sentido, as petroquímicas necessitam buscar alternativas que possam garantir não somente a quantidade, mas também a qualidade dos recursos hídricos necessários à manutenção de seus processos. Para atender a esta crescente necessidade, novas tecnologias vêm sendo estudadas e novas soluções são encontradas (HANSEN; RODRIGUES; AQUIM, 2016). Algumas dessas tecnologias já são amplamente usadas, como a Osmose Reversa (OR) que já teve aplicação em várias indústrias dos setores: (i) alimentícios, (ii) químico, (iii) têxtil, (iv) eletroquímica, (v) de papéis e (vi) petroquímicas (SHENVI; ISLOOR; ISMAIL, 2015).

Pesquisas em busca de novas tecnologias vêm sendo realizadas com o objetivo de atender a essa demanda, sendo que a aplicação da técnica de separação por membranas já vem sendo aplicada em diversos contextos, despontando como uma opção que tende a ser

amplamente aplicada pelas indústrias petroquímicas, especialmente após os tratamentos convencionais de águas residuais (VENZKE *et al.*, 2018). Além da separação por membranas, outras técnicas vêm sendo utilizadas para a produção de água com elevado padrão de qualidade exigido pela indústria – osmose reversa (RO) e a reversão de eletrodialise (EDR) – são as mais promissoras tecnologias empregadas para essa finalidade (WANG *et al.*, 2014).

Polos industriais são mecanismos de relevante contribuição para a economia de países emergentes como o Brasil e podem chegar a representar mais da metade do produto interno bruto (PIB). Nestes polos, as estruturas de tratamento de águas residuais são importantes organismos que contribuem com a conservação e redução da poluição dos corpos d'água locais; e, quanto maior a eficiência destes processos, maior a contribuição na melhoria da gestão do uso de água (HU *et al.*, 2019).

As estruturas da indústria no setor da água variam em todo o mundo em função das operações realizadas, o volume de águas tratadas, a quantidade e tipo de clientes que utilizam os serviços, a extensão do envolvimento do setor privado, o escopo de concorrência – se houver –, a regulamentação dos serviços prestados, e principalmente, a especificação técnica do produto, que terá influência na tecnologia a ser utilizada para garantir um produto que atenda às especificações técnicas (ABBOTT; COHEN, 2009)

3. ANÁLISE SETORIAL - ÁGUA E SANEAMENTO NO MUNDO

A ONU adverte que diariamente milhões de toneladas de esgoto não tratados corretamente, oriundos de diversas atividades humanas, como uso doméstico, agricultura e indústria, são lançados *in natura* nos corpos d'água de todo o planeta. E em consequência destas ações, por ano, morrem mais pessoas do que em todas as classes de violências cometidas no mundo, incluindo as mortes em guerras (ONU, 2017b).

Em virtude de ser essencial para a manutenção de qualquer espécie de vida, a água contaminada impacta negativamente os ecossistemas naturais, afeta a qualidade e a quantidade da produção de alimentos e altera a biodiversidade dos ambientes. O lançamento de esgotos não tratados é uma das principais causas de poluição e redução da qualidade das águas dos rios e áreas costeiras em todo o planeta (DE MELO *et al.*, 2019), e, ao ser despejada sem tratamento nos mares, danifica as áreas costeiras e prejudica a atividade pesqueira (ONU, 2017b).

Por constituir elemento essencial para a vida na Terra e o Homem depender da água para alimentar-se, hidratar-se, higienizar-se e produzir bens de consumo, em muitos locais do mundo, a disponibilidade de água *per capita* vem diminuindo; uma das explicações lógicas para este fenômeno é a crescente proporção de população global em relação à água disponível em muitas partes do mundo. A população global aumentou de 2 bilhões em 1950 para 7,4 bilhões atualmente, o que leva à redução da disponibilidade global de água *per capita* (LAKSHMI; FAYNE; BOLTEN, 2018).

O aumento populacional no planeta impacta diretamente as questões de abastecimento de água e saneamento, tanto quanto o agravamento de urbanização sem planejamento em decorrência da migração de pessoas para as cidades em busca de trabalho. O século XX passou por processos intensos de movimentação de pessoas; em 1900, apenas 13% da população mundial vivia em áreas urbanas. No início dos anos 2000 esse número quadruplicou chegando a 49,4% da população que passa a ocupar apenas 2,8% do território global, com estimativa de que, em 2050, esse número chegue aos quase 70% (TUNDISI *et al.*, 2015).

O Brasil como maior país da América do Sul possui dados superlativos quando se trata do sul do continente americano: (i) 48% do território, (ii) 50% da população, (iii) 59% do

produto interno bruto (PIB) da região, (iv) 75% da industrialização, (v) 2/3 da agricultura regional em suas terras, (vi) 42% da produção de petróleo e (vii) 3/4 dos investimentos em infraestrutura regional giram dentro de seu território (FUCCILLE, 2014), o que o coloca como maior consumidor de recursos hídricos da região e também detentor do maior projeto de reutilização de águas residuais da América Latina (NEVER; STEPPING, 2018).

3.1 Água e Saneamento no Brasil

O Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão geográfica, e possui, localizado em seu território, 60% da bacia do rio Amazonas que faz o escoamento de volumes que giram em torno de 1/5 do volume total da água do planeta. O país está em uma posição privilegiada na quantidade de água doce disponível no mundo, pois detém sozinho 13% de toda a disponibilidade hídrica. No entanto, junto a este privilégio, carrega a responsabilidade institucional de gerir de forma responsável o uso destes recursos (ANA, 2007).

Detém aproximadamente 2/3 do manancial subterrâneo existente na área dos países do Mercosul, porém a distribuição geográfica deste recurso não é proporcional em todas as regiões, sendo que 81% de toda a água disponível está localizada na região norte, que abriga apenas 5% da população do país (MARENGO *et al.*, 2015). Na figura 3 é apresentada, como exemplo dos caudais dos rios da Amazônia, a vista rio Jari, afluente do rio Amazonas – Amazônia Legal Amapá/ Brasil.



FIGURA 3 – Vista do Rio Jari, afluente do Rio Amazonas - Amapá/Brasil (2019)

Fonte: a autora (2019)

Segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2015, a população do Brasil passou de 90 milhões no ano de 1970 para 205 milhões em 2015; sendo que na década de 1970 a população urbana era de 55% e nos anos 2000 chegou aos 84%. Notadamente as dificuldades de abastecimento de água potável, saneamento básico e construção de obras de engenharia para a manutenção destes serviços tornam-se desafios a serem alcançados pelos governos municipais, estaduais e federal (LIMA; LOMBARDO; MAGAÑA, 2018).

Apesar dos resultados positivos aferidos nas metas especificadas no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, conforme relatório, *ODS 6 no Brasil: Visão da ANA sobre os Indicadores*, em função da disponibilidade de recursos hídricos (ANA, 2019) e de possuir 13% de toda água doce disponível no planeta, o país vive o dilema de ainda não ter alcançado a universalização do acesso à água potável para sua população, ofertando-a a apenas 83,3% da população no ano de 2016 (SISN, 2017).

Não obstante, também possui índices ainda mais insatisfatórios nos quesitos de coleta e tratamento de esgoto, sendo 51,9% e 44,9% respectivamente, o que significa lançar 5,2

bilhões de m³ de esgoto *in natura*, por ano, nos corpos d'água do território nacional. Estima-se que aproximadamente 4 milhões de brasileiros não possuem acesso ao banheiro e obviamente defecam ao ar livre, o que fere a dignidade humana e afeta o meio ambiente (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017), demonstrando a fragilidade do sistema de saneamento nacional.

No modelo de serviços públicos desenhado na década de 1970, denominado PLANASA, foi definido que a responsabilidade pela gestão das águas, bem como a coleta e tratamento de esgotos e o abastecimento público de água potável ficaria a cargo dos governos municipais. Todavia, nos últimos, este setor passou por uma reestruturação na esfera dos serviços públicos, nos quais o governo investiu em programas de crescimento em todo o país, o que ajudou a melhorar as questões relevantes do acesso universal a serviços de qualidade e ao desenvolvimento econômico e financeiro (BARBOSA; BRUSCA, 2015).

No entanto, casos de contaminação dos corpos d'água são frequentemente divulgados nos meios de comunicação, em uma tentativa de informar e conscientizar a população sobre pesquisas e estudos de contaminações das águas. Em fevereiro de 2019, o *site* da gazetaweb.com divulgou um estudo feito pelo Instituto Trata Brasil sobre a contaminação do lençol freático no estado de Alagoas, norte do Brasil⁶. Nesse trabalho, é esclarecido que esgotos sem tratamento nas cidades são fontes potenciais de poluição dos aquíferos e que, no estado de Alagoas, apenas 26% das 2,42 milhões de pessoas que vivem em área urbana contam com cobertura de esgoto, segundo o Atlas Esgoto – Despoluição de Bacias Hidrográficas, publicado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2017).

Além da problemática da não universalização do acesso à água potável e tratamento de esgoto, o Brasil figura como um dos países com alta demanda industrial, sendo que somente no setor químico ocupa a 6ª posição no *ranking* internacional (ABIQUIM, 2018), o que, junto com os outros setores da indústria e agricultura, aumenta a demanda no abastecimento hídrico.

E, neste contexto de secas, crises de desabastecimento, estresse hídrico, poluição dos corpos d'água, vai nascendo a percepção global da urgência de se criar esforços conjuntos na questão de conservação e proteção dos recursos hídricos. Comunidades, empresas e setores público devem unificar objetivos e assumir o desafio de melhorar a qualidade das águas dos

⁶ Disponível em: <https://gazetaweb.globo.com/porta/especial.php?c=70330>, acessado em 19/02/2019.

corpos d'águas em todo o planeta, sob pena de sofrer as duras consequências por não agirem assertivamente implantando soluções eficazes para a solução destes problemas (ONU, 2017b).

A migração da população rural para centros urbanos geralmente ocorre por questões econômico-sociais, em um processo no qual as pessoas buscam trabalho e melhores condições de vida. A expansão da urbanização, especialmente nos grandes centros da América do Sul, não coexistiu com os investimentos necessários em infraestrutura, não havendo, por exemplo, a criação de habitações planejadas com estrutura de saneamento básico. Áreas com intenso processo de industrialização, como a RMSP, sofrem impactos negativos gerados pelo crescimento desordenado da população, que migra para essas áreas em busca de trabalho e melhores condições de vida. Neste contexto, os aspectos de abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgotos são diretamente impactados e os governos devem aplicar políticas públicas associadas a técnicas que minimizem tais problemas ambientais (DOS SANTOS; DIAS; BALESTIERI, 2016).

Um estudo feito através da iniciativa da Câmara Temática de Água do CEBDS (CTÁgua), denominado Gerenciamento de riscos hídricos no Brasil e o setor empresarial: desafios e oportunidades, foi divulgado em março de 2015 e demonstra a relevância da segurança hídrica para os negócios e como as questões hídricas afetam a sociedade e a economia (CEBDS, 2015).

Dados relevantes são descritos neste relatório que estão transcritos a seguir:

No mundo, a captação de água triplicou nos últimos 50 anos. Estima-se que 20% das reservas subterrâneas são explorados acima de sua capacidade de recuperação natural. Além disso, 2,5 bilhões de pessoas não têm acesso a saneamento e US\$ 109 bilhões do Produto Interno Bruto (PIB) global são perdidos devido à seca, mostrando que as questões hídricas afetam diretamente a sociedade e a economia.

O Brasil, mesmo detendo a maior reserva de água doce disponível do mundo, enfrenta sérios problemas. No Nordeste, a população convive com a seca há anos. No Sudeste, onde se concentram os principais polos de negócios e as maiores regiões metropolitanas, a crise hídrica, vivenciada em 2014 e 2015, aponta para a necessidade de mudança dos padrões de consumo e aprimoramento da gestão dos recursos hídricos.

Essa situação é agravada ainda mais pelo desperdício de 37% da água já tratada por conta das perdas na distribuição. Além disso, 61% dos esgotos não são tratados e impactam na qualidade da água disponível, contribuindo para o cenário de estresse hídrico.

3.2 Água e Saneamento em São Paulo

A região sudeste do Brasil concentra 75% dos municípios com melhores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) do país. O estado de São Paulo ocupa a segunda posição na classificação nacional e a segunda melhor posição para a classificação das Regiões Metropolitanas, com IDH de 0,789 e 0,794, respectivamente (IPEA, 2010). A classificação do IDH por Regiões Metropolitanas é apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, na qual a RMSP está classificada com o segundo lugar de melhor IDH.

Região Metropolitana	IDH	Classificação Nacional
Florianópolis	0,815	1º
São Paulo	0,794	2º
Distrito Federal e Entorno	0,792	3º
Campinas	0,792	4º
Curitiba	0,783	5º
Vale do Paraíba e Litoral Norte	0,781	6º
Baixada Santista	0,777	7º
Belo Horizonte	0,774	8º
Grande Vitória	0,772	9º
Rio de Janeiro	0,771	10º
Goiânia	0,769	11º
Vale do Rio Cuiabá	0,767	12º
Sorocaba	0,762	13º
Porto Alegre	0,762	14º
Grande São Luiz	0,755	15
Salvador	0,743	16º
Recife	0,734	17º
Natal	0,733	18º
Fortaleza	0,732	19º
Belém	0,729	20º
Grande Teresina	0,721	21º
Manaus	0,720	22º
Maceió	0,702	23º
Petrolina-Juazeiro	0,660	24º

TABELA 1: Ranking do Índice de Desenvolvimento Humano por Região Metropolitana – censo 2010

Fonte: a autora, a partir dos dados do IBGE (2010)

São Paulo é o estado com a maior concentração populacional do Brasil e o mais industrializado, abrigando cerca de 25% da população do país com maior concentração na RMSP – quase 21 milhões de habitantes –, o que representa 48% da população do estado⁷. O crescimento da região com intensa atividade industrial impactou diretamente as questões ambientais, afetando o aumento da demanda por água potável e investimentos para expansão de estruturas de saneamento básico. Como resultado desse processo intenso de industrialização, iniciou-se um processo de conscientização social voltado aos efeitos da poluição, o que levou o governo e a população a uma maior preocupação com as questões ambientais (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2013).

No século XIX, durante o ciclo do café, o estado de São Paulo assumiu o protagonismo do crescimento econômico e seu desenvolvimento superou o resto do país, mantendo este cenário até os dias atuais. A capital sempre foi o palco principal do processo de enriquecimento, seguida pelos municípios vizinhos São Bernardo, Diadema, São Caetano do Sul, Santo André, Mogi das Cruzes, Guarulhos e Osasco; e, por estes, motivos recebe, a cada ano, a migração de pessoas de outros estados e países em busca de trabalho e melhores condições de vida (LIMA; RUEDA, 2018).

Os impactos decorrentes das alterações climáticas irão afetar fortemente a região da Mata Atlântica, onde está inserida a RMSP, potencializando os mecanismos negativos decorrentes desse processo. Tais questões associadas às pressões por desenvolvimento econômico, crise hídrica e insuficiência na infraestrutura de saneamento básico irão propiciar um cenário desfavorável ao meio ambiente, com muitos desafios nas questões urbanas da RMSP (MARQUES *et al.*, 2018).

A RMSP possui uma geografia social fortemente marcada pela presença de corpos d'água, onde os rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí dão contorno à crescente heterogeneidade espacial, em uma região marcada pela divisão de um grande centro urbano com boa infraestrutura de energia, água e tratamento de resíduos; uma periferia em expansão, marcada pela propagação de bairros densos com processos de autoconstrução e eventual consolidação. Enquanto a dinâmica da desigualdade corresponde a uma divisão estrita entre centro e periferia, a cidade

⁷ <http://www.perfil.seade.gov.br/#>.

permanece marcada pelas histórias de desenvolvimento desigual, na qual a população carente foi obrigada a migrar para áreas verdes e de proteção ambiental, em um processo de habitação sem planejamento. Sob o ponto de vista histórico e ambiental, a desigualdade na RMSP tem sérias implicações em relação à poluição e à degradação dos corpos d'água (MILLINGTON, 2018).

O índice de coleta de esgotos nessa bacia hidrográfica é de 86% com o tratamento abrangendo 65% do total coletado, sendo que a SABESP opera 8 das estações de tratamento de esgotos, representando 72% das águas residuais tratadas em todo o estado. No entanto, existem alguns municípios cujos sistemas de tratamento de água não são operados pela SABESP e cujos sistemas de coleta e tratamento são insuficientes, o que prejudica a qualidade das águas que correm nos corpos d'água desta região. Além disso, cabe ressaltar que, apesar dos níveis elevados de coleta e descarte correto de resíduos sólidos domésticos na RMSP, o restante não coletado e descartado corretamente, por se tratar de uma região altamente povoada, é significativo e contribui para a poluição das águas (SILVA-SÁNCHEZ; JACOBI, 2012).

Estima-se que, em torno de 30% de toda a carga poluidora produzida na bacia hidrográfica da RMSP é enviada diretamente aos corpos d'água das bacias dos rios Tietê, Tamanduateí e Pinheiros (RUTKOWSKI *et al.*, 2010).

Ambientalmente os cursos d'água estão em uma situação crítica, sequela causada por um conjunto de fatores que vão desde o desmembramento desordenado do solo nas periferias urbanas e insuficiência dos serviços públicos nas questões de saneamento básico, até a inércia do poder público durante anos, por falta de planejamento e gestão eficaz, e por omissão na fiscalização. Reverter a degradação ambiental urbana é complexo e exige o fortalecimento de uma construção social, na qual a articulação de teorias, agendas, sujeitos e potencialidades, em torno de alianças e cooperação, se faz indispensável (JACOBI, PEDRO R.; FRACALANZA, ANA P.; SILVA-SÁNCHEZ, 2015).

No gráfico 2 está representada a curva de crescimento populacional da RMSP entre 2011 e 2050.

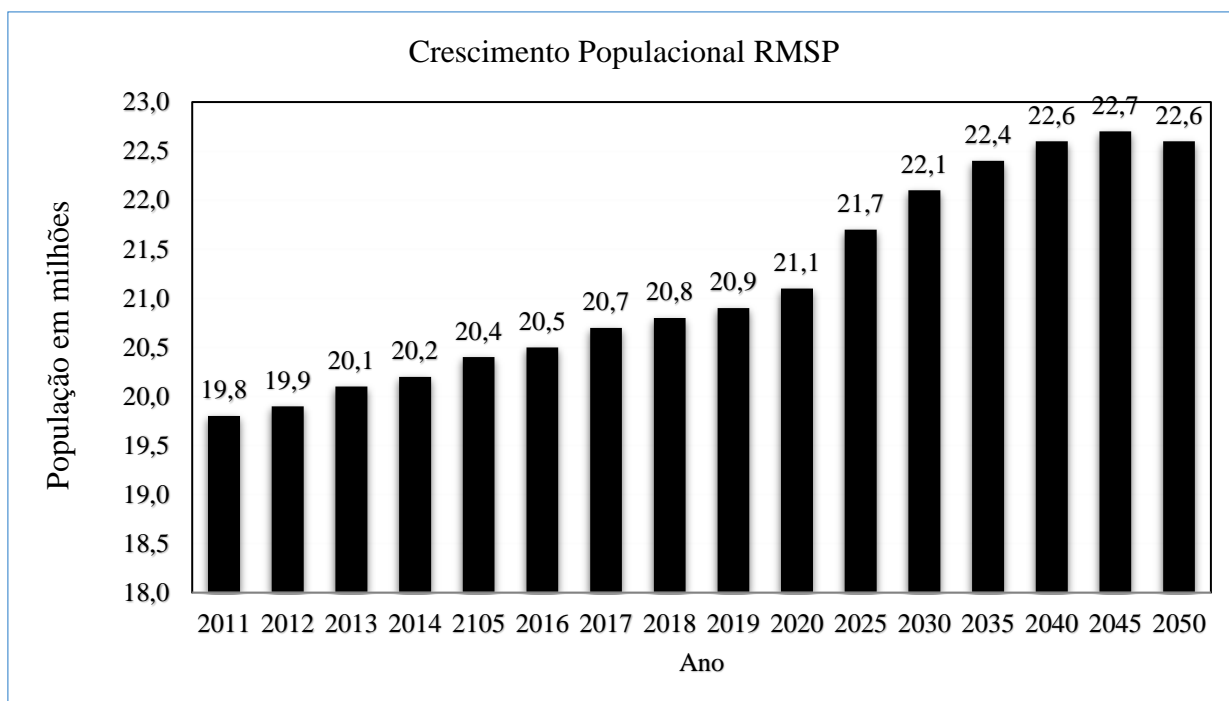


GRÁFICO 2 – Crescimento populacional na RMSP entre 2011 e 2050

Fonte: site da SEADE – Portal de Estatística do Estado de São Paulo (2019).

As previsões de crescimento populacional na RMSP apontam para um incremento consecutivo até o ano de 2045, apresentando decréscimo e estabilização somente em 2050.

Esses dados sugerem a necessidade de investimento para expandir as estruturas de abastecimento público de água potável e de coleta e tratamento de esgoto para atender à crescente demanda destes serviços e atender aos objetivos dos ODS. O Brasil compõe o grupo de 193 estados membros que aprovaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e, a partir deste compromisso, assumiu a responsabilidade de buscar a universalização do abastecimento de água potável e do acesso à coleta e tratamento de esgotos (HERRERA, 2019).

3.2.1 Abastecimento de Água Potável na RMSP

Composta por 39 municípios, incluindo a capital São Paulo – onde está localizado o centro financeiro do país –, a RMSP é a maior conurbação da América do Sul, abrangendo uma área de aproximadamente 1.500 km², abrigando aproximadamente 21 milhões de habitantes. A região está sobre a bacia do rio Tietê que fornece água para uso doméstico e

industrial, porém não possui vazão suficiente para atender à demanda total. O complemento do abastecimento de água da RMSP é retirado do Piracicaba-Capivari-Jundiaí (PCJ) bacia hidrográfica que abastece o sistema Cantareira (EMPINOTTI; BUDDS; AVERSA, 2019).

Três grandes sistemas produtores de água abastecem a RMSP: o Cantareira, o Guarapiranga-Billings e o Alto Tietê, sendo que a abrangência da RMSP é praticamente sobre o território da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, que tem uma área de 5.900 km², com 37% dela ocupada por moradias sem planejamento. Em decorrência das alterações ocorridas pelas obras hidráulicas e urbanização não planejadas, originaram-se, nesta região, regimes hidráulico e hidrológico complexos, tornando mais difícil a gestão dos recursos hídricos nestas localidades (JACOBI; FRACALANZA; SILVA-SÁNCHEZ, 2015).

Considerado um dos maiores sistemas de produção de água do mundo, o sistema Cantareira produz 33 mil litros/segundo para o abastecimento humano, através de uma estrutura composta por quatro reservatórios de água: (i) represa Jaguari-Jacaré, localizada entre Bragança Paulista e Joanópolis; (ii) represa de Piracaia; (iii) represa Nazaré Paulista; e (iv) represa Engenheiro de Paiva Castro. Estas represas são interligadas por túneis e suas águas são tratadas nas oito Estações de Tratamento de Água (ETA) da SABESP, sendo a Guaraú a maior e mais importante (CÔRTEZ *et al.*, 2015).

O sistema Cantareira é classificado como um dos maiores sistemas produtores de água do mundo e responde pelo abastecimento 9 milhões de habitantes na RMSP o que equivale a quase 45% da população da região metropolitana (LEÃO, STEFANO, 2019).

Sistema Produtor	Produção (m³/s)	População Atendida (a)
Alto Cotia	1,2	0,41
Alto da Boa Vista	14,0	3,70
Baixo Cotia	0,9	0,42
Casa Grande	4,0	2,06
Guaraú (b)	33,0	9,00
Ribeirão da Estiva	0,1	0,04
Rio Grande	5,0	1,20
Taiácupeba	15,0	3,30

TABELA 2 – Estações de tratamento de água na Região Metropolitana de São Paulo, respectiva produção e população atendida

Fonte: Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico, (2015)

(a) Milhões de habitantes, documento copiado em sua totalidade.

(b) Estação de tratamento do Sistema Cantareira.

A concepção do sistema Cantareira teve início na década de 1960, quando o governo do estado de São Paulo colocou as questões de aproveitamento dos recursos hídricos do Alto Tietê como prioridade a partir da importância deste sistema para o abastecimento público da RMSP. As obras de construção do sistema Cantareira iniciaram-se na década de 1960 e, oito anos após isso, atingiu sua plena capacidade, gerando algo em torno de 11 mil litros/segundo (PORTO; PORTO; PALERMO, 2014).

No quadro 1, são listados os sistemas produtores de água da RMSP com seus principais mananciais e cidades atendidas. Os grupos de cidades destacadas em negrito possuem cidades que pertencem à região do ABC Paulista, onde está inserido o polo petroquímico Capuava, que é atendido pelo fornecimento de água industrial produzida no Aquapolo Ambiental.

Sistema	Principais Mananciais	Sedes Urbanas Atendidas
Cantareira	Represas Jaguari, Jacaré, Atibainha, Cachoeira e Paiva Castro	Barueri, Caieiras, Cajamar, Carapicuíba, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guarulhos, Osasco, São Caetano do Sul, São Paulo
Guarapiranga	Represas Guarapiranga e Billings (Itaquaquecetuba) e Rio Capivari	Cotia, Embu, Itapeverica da Serra, São Paulo, Taboão da Serra
Alto Tietê	Represas Paraitinga, Ponte Nova, Jundiaí, Biritiba-Mirim e Taiaçupeba	Arujá, Ferraz de Vasconcelos, Itaquaquecetuba, Guarulhos, Mauá, Mogi das Cruzes, Poá, Suzano, São Paulo
Rio Claro	Rio Claro – Represa Ribeirão do Campo	Mauá, Ribeirão Pires, Santo André, São Paulo
Rio Grande	Represa Billings – Braço do Rio Grande	Diadema, Santo André, São Bernardo do Campo
Alto Cotia	Represas Pedro Beicht e Cachoeira da Graça	Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Vargem Grande Paulista
Baixo Cotia	Rio Cotia – Isolinas	Barueri, Itapevi, Jandira
Ribeirão da Estiva	Ribeirão da Estiva	Rio Grande da Serra
Sistemas Isolados	Mananciais Superficiais / Mistos	Biritiba-Mirim, Juquitiba, Mairiporã, Pirapora do Bom Jesus, Salesópolis, Santana de Parnaíba, São Lourenço da Serra

QUADRO 1 – Sistemas produtores de Água na RMSP com principais mananciais e cidades atendidas

Fonte: Projeto Tietê 3ª etapa – SABESP.

3.2.2 Coleta e Tratamento de Esgoto na RMSP

Com uma população de 11.253.503 pessoas, densidade demográfica de 7.398,26hab/km² e PIB *per capita* de 57.071,43 reais (IBGE, 2010) o município de São Paulo, é a segunda capital com melhores índices de tratamento de esgoto, conforme dados divulgados pelo Ministério das Cidades, possui um indicador de atendimento urbano de esgoto de 97% e indicador de água tratada por água consumida em 61,96%.

A partir de uma mobilização social pela recuperação do Rio Tietê, com 1,2 milhão de assinaturas, São Paulo inicia, em 1992, uma fase de investimentos com aporte de 1,1 bilhão para o período de 1992 a 1998, sendo 900 milhões aportados pelo Programa do Banco

Interamericano de Desenvolvimento (BID) e 200 milhões vindos de outras fontes (SABESP, 2015).

Os investimentos na melhoria do saneamento básico ocorreram em diversas frentes e somente a bacia do rio Tietê recebeu mais de 1 bilhão de reais em investimentos na década de 1990, o que reflete na evolução da coleta e tratamento de esgoto da RMSP, que estão representados no gráfico a seguir.

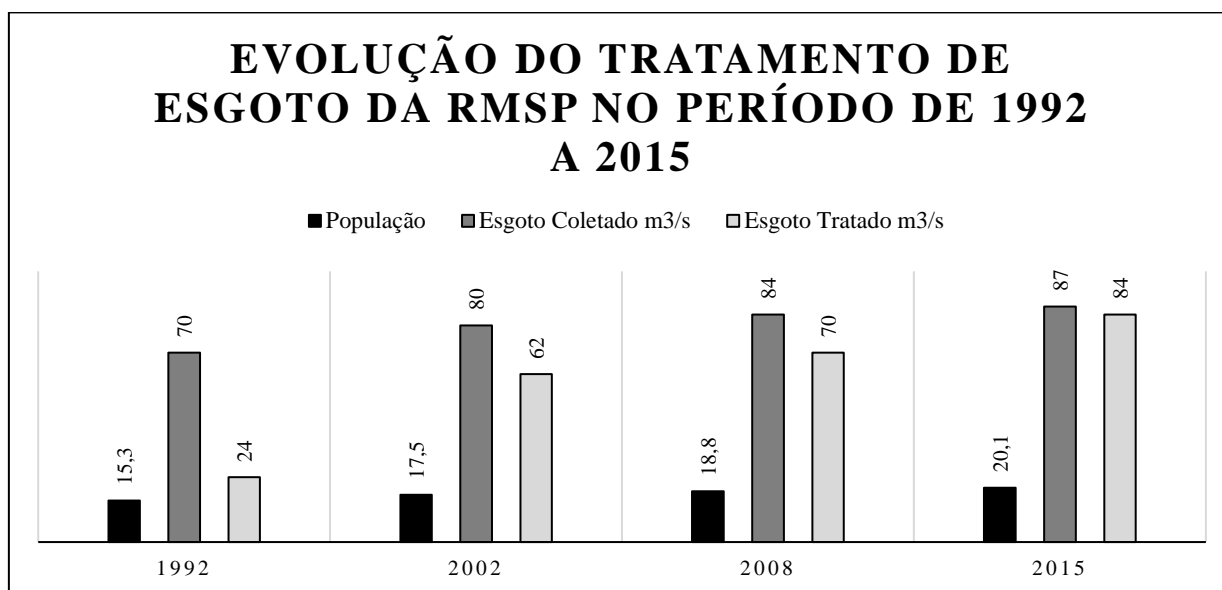


GRÁFICO 3 - Evolução do tratamento de esgoto da RMSP no período de 1992 a 2015

Fonte: Projeto Tietê 3ª etapa – SABESP.

3.2.3 Crise Hídrica na Região Metropolitana de São Paulo

O Sudeste do Brasil já experimentou o cenário de estresse hídrico, vivendo um período de seca sazonal nos anos de 1953, 1971 e 2000. São Paulo, apesar de possuir um importante sistema de abastecimento de água, o Cantareira, com capacidade de fornecimento de 33 mil litros/segundo, abastecendo quase 50% de sua população, vivenciou um cenário de crise hídrica com impactos negativos significativos nos verões de 2013, 2014 e 2015 (MARENGO *et al.*, 2015).

O Estado de São Paulo, por possuir a maior concentração industrial do país, melhor produto interno bruto (PIB) e melhores índices de desenvolvimento humano (IDH), recebe todos os anos milhares de pessoas de outros estados e de outros países em busca de trabalho e melhores condições de vida (KELMAN, 2015). Esse constante aumento na demanda por água potável, a existência de uma infraestrutura de tratamento de águas insuficiente, os fatores culturais da população brasileira – que não possui o hábito de cuidar dos recursos hídricos –, em conjunto com baixos índices pluviométricos nos períodos de chuvas dos anos 2013, 2014 e 2015 conformaram a pior crise hídrica registrada para a Região Metropolitana de São Paulo (MARENGO *et al.*, 2015).

Nesse período, a população da RMSP passou pelo desabastecimento público, no qual bairros e regiões sofreram cortes e racionamento de água (EMPINOTTI; BUDDS; AVERSA, 2019).

O indicador de Falkenmark, adotado pela Organização das Nações Unidas, é uma das metodologias adotadas para analisar a relação entre a quantidade anual de recursos hídricos renováveis e população regional e permite avaliar o nível de estresse hídrico regional (LIMA, 2018). E na tabela 3, estão descritos os indicadores de Falkenmark para a caracterização de estresse hídrico em uma localidade.

Recurso Renovável Anual de Água (m³/hab./ano)	Estresse Hídrico
< 500	Escassez absoluta
500 – 1000	Escassez crônica
1000 – 1700	Estresse regular
>1700	Estresse ocasional (local)

TABELA 3 - Indicador de Falkenmark para caracterização de estresse hídrico

Fonte: Lima (2018)

No Brasil temos os indicadores de stress hídrico superficial apresentado para as bacias hidrográficas, e na tabela 4 estão descritos estes dados.

Regiões hidrográficas	Disponibilidade Hídrica Superficial I (m³/s)	População (milhões de habitantes)		Disponibilidade Hídrica Específica (m³/hab./ano)	Nível de estresse hídrico superficial
Amazônia	65.617	11	5%	191.000	Abundância
Tocantins-Araguaia	3.098	9	4%	11.000	Abundância
Paraguai	1.023	3	2%	10.000	Abundância
Uruguai	550	4	2%	4.000	Confortável
Atlântico Nordeste Ocidental	397	7	3%	2.000	Estresse ocasional
Parnaíba	325	4	2%	2.000	Estresse ocasional
São Francisco	875	16	7%	2.000	Estresse ocasional
Paraná (a)	4.390	66	32%	2.000	Estresse ocasional
Atlântico Leste	271	17	8%	1.000	Escassez crônica
Atlântico Sudeste	1.325	30	15%	1.000	Escassez crônica
Atlântico Sul	513	14	7%	1.000	Escassez crônica
Atlântico Nordeste Oriental	218	26	13%	260	Escassez absoluta

TABELA 4: Nível de estresse hídrico superficial nas regiões hidrográficas brasileiras

Fonte: Ministério das Indústrias

(a) Bacia hidrográfica onde está localizada a região do ABC Paulista

A região hidrográfica do rio Paraná, onde está localizado o polo Petroquímico Capuava, no ABC Paulista, apresenta dados de disponibilidade hídrica que indicam estresse ocasional, apontando para a necessidade urgente de estruturação de políticas públicas que busquem uma governança voltada para uma gestão eficaz dos recursos hídricos. Ações de conservação e proteção de nascentes associadas a obras de engenharia com a melhoria na infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto devem ser priorizadas para garantir uma melhor gestão das águas.

3.2.4 Bacia Hidrográfica da Região do ABC Paulista

O polo petroquímico do ABC Paulista está localizado em uma região limítrofe com os municípios que compõem o grande ABC Paulista, com alta densidade demográfica, áreas de preservação ambiental da represa Billings⁸ e Serra do Mar (PALLEROSI; KERBAUY, 2010).

O curso d'água do Tamanduateí faz parte do trinômio definido por Langenbuch, em 1971, que propiciou a estruturação do polo industrial na região do ABC Paulista, e outrora seu abastecimento era feito através da captação de água na bacia do Tamanduateí em seu efluente córrego dos Meninos. No entanto, a década de 1980 foi crucial para a deterioração da qualidade da água desses corpos d'água, levando ao aumento dos custos pela baixa na qualidade dos recursos hídricos captados, o que chegou a provocar danos nas tubulações e equipamentos, dentre eles grandes corrosões nas paredes das tubulações (PALLEROSI; KERBAUY, 2010).

A região do ABC Paulista está localizada dentro da Região Hidrográfica do Paraná, que ocupa 10% do território nacional e abrange sete estados: São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Distrito Federal. Possui uma área de aproximadamente 879.873 km², e sua importância no cenário econômico nacional é de grande relevância, tendo em vista que as atividades econômicas nessa região são as mais importantes do país, com destaque para os principais polos industriais. No entanto, a contrapartida vem com a maior demanda de recursos hídricos do Brasil (ANA, 2015).

Dos 1.507 municípios da Região Hidrográfica do Paraná, 256 possuem mais que 50 mil habitantes e, dentre as cidades em destaque, com população acima de 400 mil, estão dois municípios do ABC Paulista: Santo André, com aproximadamente 676 mil habitantes; e São Bernardo do Campo, com aproximadamente 752 mil habitantes (ANA, 2015).

É uma região hidrográfica com densidade populacional chegando a 69,7 hab./km², o que significa mais que três vezes a média nacional de 22,4 hab./km². Possui um total de 61,3 milhões de habitantes (IBGE, 2010) e apresenta alta diversidade de atividades econômicas com

⁸ Seminário Billings 2002 – Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, recuperação e uso sustentável da Bacia Hidrográfica da Billings. Disponível em <http://www.bibliotecadigital.abong.org.br/handle/11465/1196>

significativo parque industrial, constituindo-se uma das regiões com maior desenvolvimento econômico do país (ANA, 2015).

Fatos pretéritos ao período de formação da Sociedade com Propósito Específico (SPE) Aquapolo e relacionados a fatores de desenvolvimento econômico, influenciaram na conformação da densidade populacional da grande região metropolitana de São Paulo. A distribuição das atividades econômicas nos municípios brasileiros demonstra a envergadura da Região Metropolitana de São Paulo, já que a presença de indústrias que puxam diversos serviços conforma um cenário padronizado e comum às regiões industrializadas (LIMA; LOMBARDO; MAGAÑA, 2018).

Nesse diapasão, temos os principais temas para a gestão das águas na Região Hidrográfica do Paraná e que afetam diretamente a região do polo industrial do ABC Paulista: (i) degradação da qualidade dos corpos d'águas; na grande RMSP os mananciais de abastecimento de água sofrem intenso processo de ocupação, resultante da expansão da mancha urbana dos municípios que fazem parte da Grande São Paulo; (ii) uso competitivo entre indústria e abastecimento urbano; (iii) vulnerabilidade às inundações; (iv) intensidade de uso de recursos hídricos para irrigação, expansão da cultura de cana-de-açúcar; (v) uso competitivo para geração de energia; (vi) conflito entre geração de energia e ecossistemas aquáticos; (vii) transposição do rio Tietê para Piracicaba via sistema Cantareira; e (viii) degradação da qualidade da água pela suinocultura e lançamentos clandestinos em cursos d'água (ANA, 2015).

Notadamente é possível inferir que a reutilização de águas residuais se consolidou como uma solução tecnológica capaz de compor uma cadeia de processos que estão qualificados para aumentar a oferta de água para o abastecimento público, bem como satisfazer às necessidades industriais em uma bacia hidrográfica pressionada pelo crescimento econômico e industrial (LIMA; LOMBARDO; MAGAÑA, 2018).

Em decorrência de suas dimensões continentais, diferenças de clima e diversidade de biomas, com diferenças significativas na cobertura vegetal, o Brasil apresenta eventos naturais opostos em suas regiões. Ainda que a seca, historicamente se mostre marcante na região nordeste do país, em 2014 e 2015 foi possível observar a seca em São Paulo, principalmente na RMSP, cheias na Amazônia e o período mais severo de secas dos últimos 50 a 60 anos no nordeste, que iniciou em 2010 apresentando tendência de permanecer em 2016.

Na figura 4 está demonstrada a razão entre a vazão de retirada para usos consuntivos e a disponibilidade hídrica do corpo d'água:

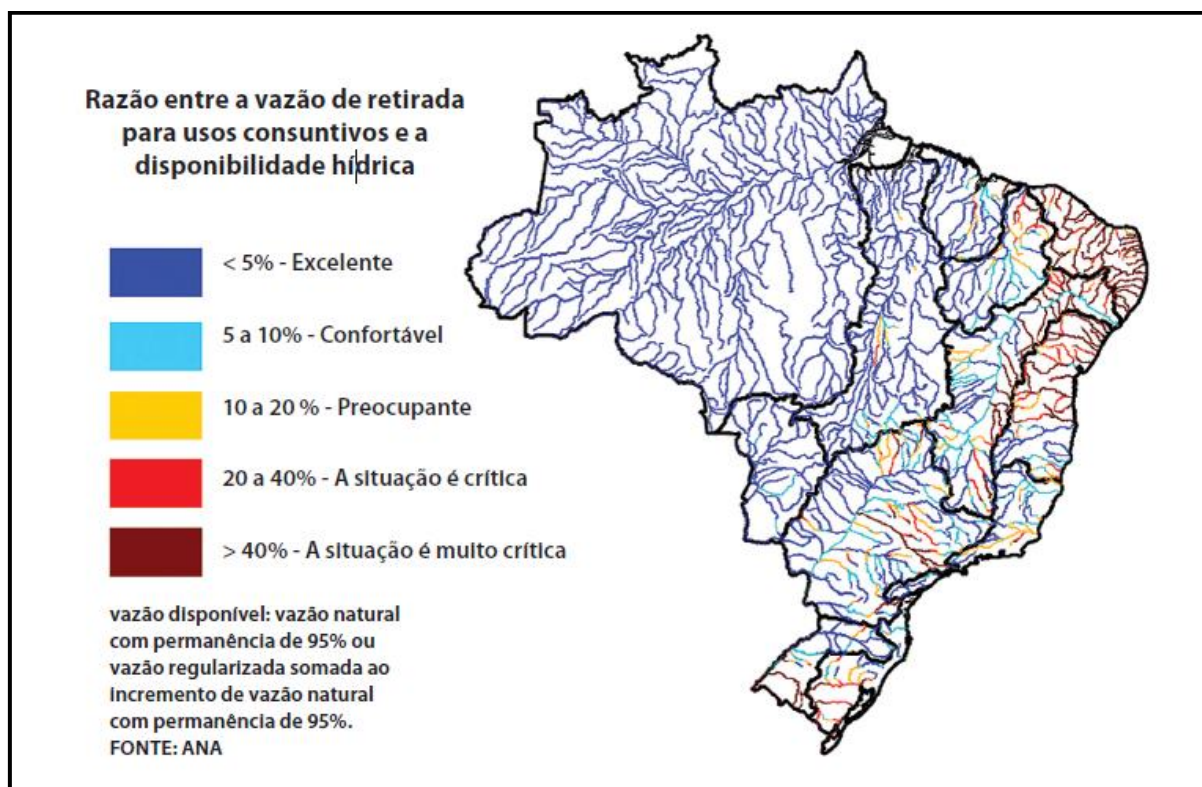


Figura 4 - Classificação dos principais rios brasileiros quanto à relação entre as vazões captadas e disponíveis

Fonte: Artigo Dossiê Crise Hídrica, (2015)

Neste cenário, e conforme classificação dos principais rios brasileiros apresentados pela ANA, é possível observar que na região sudeste do Brasil, os rios já apresentam disponibilidade hídrica classificada como preocupante, crítica ou muito crítica, na qual o cenário de criticidade se intensifica nos grandes centros com grandes aglomerações de pessoas e indústrias. Uma das regiões mais afetadas por esses fatores é a RMSP.

Na figura 5, está demonstrada a precipitação média anual desta região.

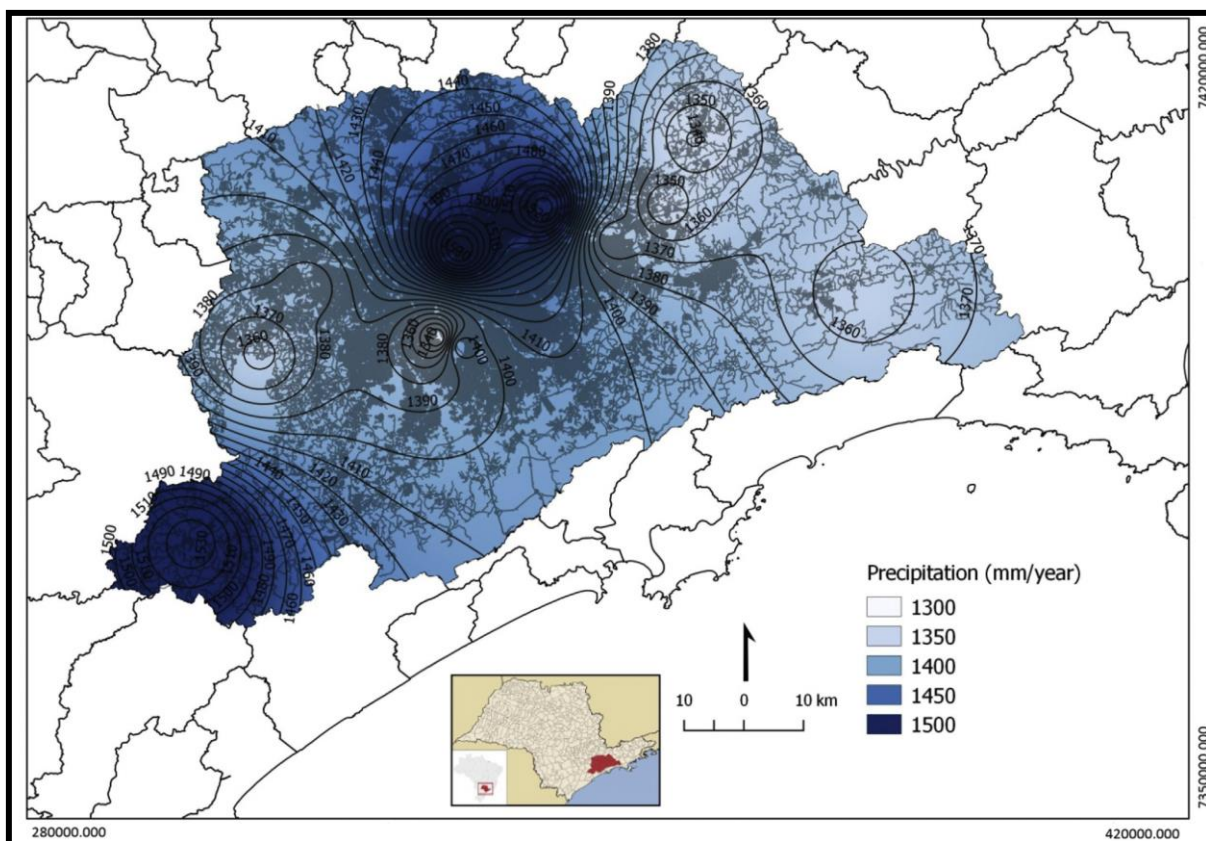


Figura 5 - Precipitação média anual na RMSP

Fonte: Urban Water Supply, (2018)

Na RMSP, em função do relevo e topografia as precipitações mais representativas são de origem convectiva, devido a injeção de umidade trazida pela brisa do mar e a existência de ilhas de calor. O crescimento populacional em sinergia com o aumento das temperaturas, potencializa a ocorrência mais frequente de intensa precipitação nestas áreas com o agravante de não serem precipitações bem distribuídas ao longo do ano (LIMA; LOMBARDO; MAGAÑA, 2018).

3.2.5 Contexto da Indústria Petroquímica

A liderança petroquímica no mundo, até final da primeira década de 2000, era delineada em função do desenvolvimento econômico dos países; no entanto, as perspectivas de esgotamento dos recursos fósseis em um período de 40 anos, e a previsão de esgotamento total

de 60% dos poços em até 15 anos, trouxe novos contornos a este cenário. O futuro desse setor agora passa a estar entrelaçado com disponibilidades e custos das fontes da matéria-prima, além do acesso ao mercado, que determinaram a nova estrutura da indústria petroquímica no mundo (BASTOS, 2009).

Atualmente a indústria química é considerada líder no mercado mundial, sendo que o segmento petroquímico é um dos mais significativos com importância na cadeia produtiva, onde ocorre a produção de elementos que compõem a base produtiva de diversos setores industriais. A indústria global de resinas plásticas é formada por organizações químicas de diversas nacionalidades que se integram de forma vertical, onde, na cadeia produtiva, existe uma dependência mútua entre as indústrias (DE VARGAS MORES *et al.*, 2018).

Apesar da tímida e limitada participação dos países latino-americanos no desenvolvimento e na consolidação da indústria petroquímica no mundo, o panorama mundial de tornar a Europa, Estados Unidos da América (EUA) e Ásia em importadores de líquidos de produtos petroquímicos indica novas oportunidades para a região, seja pela via do comércio exterior, seja pela internacionalização de suas empresas, eventualmente por meio de uma atuação regionalizada e podendo também envolver parcerias (BASTOS, 2009).

A história da petroquímica no Brasil começa no início dos anos 1950, quando um novo produto passou a ter uma demanda intensiva no Brasil: o plástico. Em meio ao clima desenvolvimentista e modernizador do período, o consumo crescia rapidamente, sinalizando a necessidade de estabelecer uma indústria nacional capaz de atendê-lo. Até então, o país supria suas necessidades com importações. Atualmente, os principais polos petroquímicos, integrados às centrais de matérias-primas são: Polo de Capuava (SP), Polo de Camaçari (BA), Polo de Triunfo (RS) e Polo de Duque de Caxias (RJ) (RODRIGUES CEZÁRIO *et al.*, 2015).

O Brasil é um país emergente com importante contribuição na economia mundial, através da exportação de recursos naturais classificados como commodities, além de ser considerado um dos países mais industrializados do mundo (DE SOUZA RAMSER *et al.*, 2019), sendo que, no ano de 2015, o setor gerou divisas correspondentes a 22,7% do PIB, com uma cifra em R\$ 1,3 trilhão (ANA, 2017). Outrossim, para que essa engrenagem funcione, a indústria de transformação ocupa o segundo lugar por ser o maior consumidor de recursos hídricos, ficando atrás apenas da agricultura irrigada (ANA, 2017).

A indústria petroquímica no Brasil ocupa a oitava posição no *ranking* mundial em faturamento, com 112 bilhões de dólares. O país é único na América Latina com expressiva participação internacional, dentre os treze primeiros colocados. E apesar do déficit na balança comercial ter incrementado 20,6 bilhões de dólares em 25 anos, passando de 1,5 bilhão em 1991 para 22,6 bilhões de dólares em 2016, a produção nacional teve um incremento de quase 50% (ABIQUIM, 2016), o que possibilita uma inferência acerca do aumento da captação de recursos hídricos para dar suporte ao aumento desta produção.

Os estados do Sudeste: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, concentram a maior industrialização do país e possuem os parques industriais mais modernos e diversificados, com destaque à indústria química e automobilística. O setor responde por 10% da produção nacional e ocupa o terceiro lugar em expressividade de setor industrial nacional (ANA, 2017).

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Estudos de casos constituem uma importante estratégia de pesquisa por contribuírem com a construção de conhecimentos estruturados que possam servir de referência para a aplicação em outros casos similares (DESLAURIERS, 1991).

Conforme Yin (2015, p. 17), estudos de casos são úteis quando investigados profundamente e representem fenômenos contemporâneos com potencial de aplicação real e seu conteúdo seja de interesse coletivo. Em estudos de casos únicos a justificativa encontra suporte em sua relevância social ou ambiental.

O Aquapolo surgiu como resposta à melhoria no desempenho em relação ao uso da água no polo petroquímico Capuava, e é denominado como um sistema massivo de reutilização de águas residuais, que através de biorreatores e membranas de ultrafiltração, trata e fornece água industrial ao Capuava (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2013). É considerado um projeto bem-sucedido e que está em operação há vários anos e umas das maiores usinas de tratamento de águas residuais para reuso da América Latina (SADR et al., 2018).

Em geral a pesquisa qualitativa não se atenta à representatividade numérica, e sim ao enraizamento da compreensão de um grupo social ou uma organização, através de investigação profunda de sua construção (GOLDENBERG; MELLOUL; ZOLLER, 1996).

Exploratória ou explicativa é a classificação dada a esta classe de pesquisa, já que proporciona a possibilidade de compreender, através da análise expandida de dados, os constructos do problema. Tem como objetivo principal fornecer maior intimidade com o problema-dilema, deixando-o mais compreensível para a construção das hipóteses. No geral nestes cenários de pesquisa ocorrem a pesquisa para o levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que vivenciaram situações práticas com o problema pesquisado, ou análise de exemplos que estimulem a compreensão. A pesquisa exploratória geralmente é empregada em pesquisas bibliográficas e estudos de caso (GIL, 2008).

Yin (2015, pag. 09) sugere cinco principais métodos de pesquisa: (i) experimentos, (ii) levantamentos, (iii) análise de arquivos, (iv) pesquisas históricas e (v) estudos de caso. Para a definição de qual melhor estratégia de pesquisa a ser usada, devem ser observadas as três condições a saber:

- (i) tipo de questão de pesquisa proposto;
- (ii) extensão de controle que o pesquisador tem sobre eventos comportamentais efetivos;
- (iii) grau de enfoque em acontecimentos históricos em oposição a acontecimentos contemporâneos.

No quadro 2 são apresentadas as três condições e como elas se relacionam com os cinco métodos de pesquisa:

Estratégia	Forma da questão de pesquisa	Exige controle sobre eventos comportamentais?	Focaliza acontecimentos contemporâneos?
Experimento	como, por quê?	sim	sim
Levantamento	quem, o quê, onde, quantos, quando?	não	sim
Análise de Arquivos	quem, o quê, onde, quantos, quando?	não	sim/não
Pesquisa Histórica	como, por quê?	não	não
Estudo de Caso	como, por quê?	não	sim

QUADRO 2 - Situações relevantes para diferentes métodos de pesquisa

Fonte: Yin (2015, p. 10)

E conforme metodologia apresentada, para atingir o propósito deste trabalho, através da pesquisa buscou-se:

- 1) Compreender “como” uma empresa de tratamento de águas contribui para garantir o abastecimento do polo petroquímico Capuava num contexto de crescente estresse hídrico na região metropolitana de São Paulo (ABC);
- 2) Estar claro que o pesquisador não possui controle sobre comportamentos ligados ao caso pesquisado;
- 3) O caso estudado ocorre sobre fatos contemporâneos, e que surgiu como resposta mitigadora de impactos negativos oriundos do cenário de escassez hídrica sobre a sociedade e o meio ambiente local;

- 4) Que a melhor estratégia de pesquisa é o estudo de caso, pois o enfoque é compreender como o processo ocorreu, não exige controle de eventos comportamentais e está focalizando acontecimentos contemporâneo.

A coerência na metodologia de pesquisa deve ser convergente com o problema de pesquisa e método a ser usado, uma vez que o caminho a ser percorrido deverá ajustar-se aos dados e aos procedimentos de verificação e análise da unidade de estudo. Neste sentido, algumas premissas devem ser observadas, onde os sujeitos selecionados na pesquisa, devem ser conhecedores do tema estudado e deverá haver interação entre coleta e análise de dados. Neste contexto a interação entre coleta, análise de dados e triangulação com referencial teórico pode demonstrar e validar a eficácia entre objeto estudado e habilidade do autor na escrita e conclusão do relatório final (MORSE; OLSON; SPIERS, 2002).

E ainda, conforme Gil (2008, p. 27-29), as pesquisas estão divididas quanto ao objetivo específico e podem ser classificadas em três níveis:

- (i) **pesquisas exploratórias:** têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. De todos os tipos de pesquisas, estas são as que apresentam menor rigidez no planejamento. Habitualmente envolvem levantamento bibliográfico documental, entrevistas não padronizadas e estudos de casos. Procedimentos de amostragem e técnicas quantitativas de coleta de dados não são costumeiramente aplicados nestes casos.
- (ii) **pesquisas descritivas:** quando se pretende descrever as características de um fenômeno ou de uma população, estabelecer as relações entre variáveis ou mesmo determinar a natureza dessas relações
- (iii) **pesquisas explicativas:** são aquelas pesquisas que tem como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

E nesta trajetória para alcançar o objetivo principal deste estudo de caso, utilizou-se a pesquisa exploratória, já que este nível de pesquisa proporciona a possibilidade de compreender, através da análise expandida de dados, os constructos do problema. No geral

nestes cenários de pesquisa, a compreensão dos fatos se dá através de levantamento bibliográfico, análise de dados, entrevistas com pessoas que vivenciaram situações práticas com o problema pesquisado. A pesquisa exploratória geralmente é empregada em pesquisas bibliográficas e estudos de caso (GIL, 2008).

A construção da metodologia utilizada nesta pesquisa, baseou-se nas técnicas apresentadas na literatura clássica sobre pesquisa científica. Casos únicos e com relevância são passíveis de serem estudados ou testados em teorias bem formuladas (YIN, 2001).

Será aplicada a metodologia de pesquisa qualitativa, dentro dos preceitos de pesquisa positivista com abordagem dedutiva através de estudo de caso com natureza exploratória (YIN, 2015).

A figura 6 apresenta um resumo da metodologia de pesquisa utilizada como ferramenta para realização deste estudo de caso:

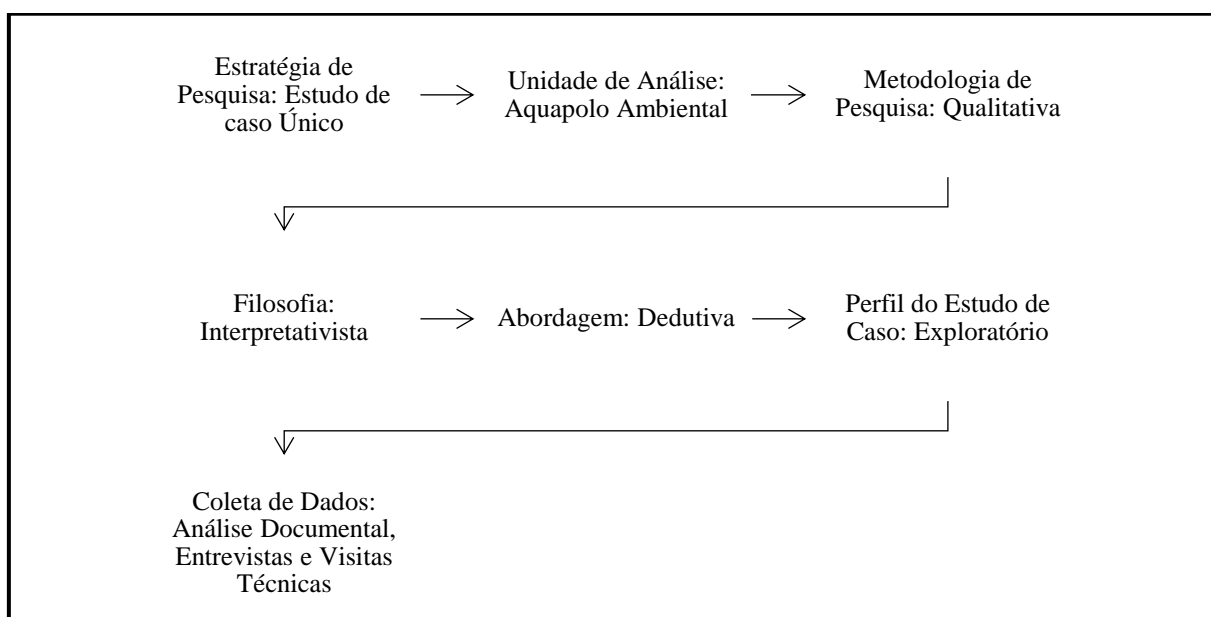


FIGURA 6 – Metodologia de Pesquisa

Fonte: a autora, elaboração a partir da literatura (2019)

Na pesquisa qualitativa um dos objetivos é produzir conhecimentos estruturados, de pequena ou grande envergadura, mas que seja apto a render informações hodiernas e que possam ser aplicadas em outras situações similares (DESLAURIERS, 1991). Esta pesquisa

visa conhecer o fornecimento de água no polo petroquímico Capuava, a fim de identificar práticas que possam ser replicadas em outros polos petroquímicos inseridos em regiões em regiões com alta densidade demográfica impactadas por cenários de escassez hídrica.

4.1 Critérios para Escolha do Caso

O Aquapolo foi selecionado como principal objeto deste estudo por se tratar da maior planta de tratamento para reutilização de águas residuais do Brasil e por ter sido idealizado para atendimento a demanda de consumo do Polo, já que a elevada demanda para consumo de água potável da RMSF coloca em risco o simultâneo o fornecimento de água tratada nos volumes demandados pelo Polo Petroquímico de Capuava. No período da crise hídrica, a vantagem foi a manutenção de fornecimento, mesmo em meio à crise hídrica, além das razões listadas abaixo:

- a) Produzir água para utilização industrial a partir de esgoto tratado equivalente ao abastecimento de uma cidade com 500 mil habitantes;
- b) Contribuir para redução da concorrência no abastecimento de água entre a indústria local e a demanda para atender ao consumo humano.

E conforme descreve Yin (2015, p. 54) a escolha de um estudo caso único é justificada quando o caso é especial, e possui relevante contribuição para o coletivo, representando uma referência que pode ser usada como exemplo para outras situações similares. Quando for o caso algo raro que valha ser estudado por estas características ou quando for algo novo, representando um fenômeno ainda não conhecido pela ciência e que justifique ser estudo.

O Aquapolo é denominado na literatura como um caso de relevante contribuição social, para o meio ambiente e para a economia local, por constituir o maior sistema produtor de água industrial do Brasil, maior da América do Sul e está listado dentre os dez maiores do mundo. Seu pioneirismo em tratamento de águas residuais contribui positivamente para reduzir os impactos negativos na gestão e utilização dos recursos hídricos na região do ABC Paulista, o que o faz um modelo de sucesso que pode ser replicado em outras localidades similares.

4.2 Estratégia de Coleta de Dados

Entrevistas qualitativas, observações diretas, pesquisas documentais devem demonstrar transparência, confiabilidade dos dados coletados e relevância do caso. Estas características são fundamentais para que as informações coletadas tenham credibilidade e possam servir como base probatória para subsidiar as respostas adequadas na questão de pesquisa (ZAHLE, 2018).

Neste estudo de caso foram empreendidos esforços para buscar a maior transparência na coleta dos dados, e para compor a base de dados desta pesquisa foram realizadas as seguintes etapas de trabalho:

- a) Coleta dos dados através de entrevistas e avaliação documental;
- b) Visitas técnicas para compreensão do processo de produção da água industrial;
- c) Compreensão dos motivos históricos e objetivos da implantação do projeto;
- d) Interpretação dos dados conforme fundamentação teórica na literatura disponível;
- e) Comparação dos resultados ao Aquapolo com as fundamentações teóricas da literatura disponível.

Definir o conjunto de diretrizes que irão compor a perspectiva metodológica em que o pesquisador irá ancorar sua pesquisa, é parte importante e que integra os trabalhos científicos (GIL, 2008).

Para compor o acervo de informações necessárias à pesquisa do caso, foram realizadas entrevistas, com roteiros definidos afim de propiciar a compreensão dos fatos que levaram à compreensão. Além das entrevistas realizadas pessoalmente foram feitas visitas presenciais para compreensão do processo de tratamento de águas residuais e levantamento de dados da Braskem que consome cerca de 90% do produto produzido no Aquapolo. A análise de evidências coletadas em estudos de casos consiste no diferencial da escolha desta estratégia de pesquisa, pois geralmente as evidências coletadas possuem amplitude na variedade, e os documentos, artefatos, vídeos, relatos em entrevistas irão propiciar ao pesquisador uma visão

ampliada dos fatos, trazendo ao pesquisador a oportunidade de aprofundar através dos dados coletados (YIN, 2015).

O quadro 3 apresenta um resumo das entrevistas realizadas para a composição deste estudo. Todos os entrevistados autorizaram formalmente a citação de seus nomes e os contatos foram além das entrevistas com fornecimento de dados via e-mail, conversas telefônicas e por WhatsApp. No início dos trabalhos e coletas de dados o foco foi na coleta via profissionais da Braskem, por se tratar do maior cliente, o que levou através do Gerente de Projetos da Braskem a contatar os profissionais do Aquapolo e em dar sequência nos trabalhos com estes profissionais.

Empresa	Local da Entrevista	Cargo do Entrevistado	Data	Forma
Braskem	Escritório São Paulo	Diretor de Sustentabilidade	14/01/2019	presencial
Braskem	Escritório São Paulo	Gerente de Sustentabilidade Braskem	14/01/2019	presencial
Braskem	Escritório São Paulo	Especialista em água	14/01/2019	presencial
Braskem	Unidade Q 3 CK	Gerente de Projetos	03/04/2019	presencial
Aquapolo	Escritório Adm Aquapolo (ETE ABC)	Diretor Presidente	05.05.2019	presencial
Aquapolo	Escritório Adm Aquapolo (ETE ABC)	Diretor	05.05.2019	presencial
Aquapolo	Unidade Industrial de Tratamento Aquapolo (ETE ABC)	Especialista de Apoio Operacional	11.06.2019	presencial
Aquapolo	Unidade Industrial de Tratamento Aquapolo (ETE ABC)	Técnico de Produção de Água	11.06.2019	presencial

QUADRO 3 – Resumo das entrevistas realizadas para o estudo de caso

Fonte: a autora (2019)

Na fase de coleta de dados foram realizadas entrevistas e visitas de campo para compreensão dos processos internos do Aquapolo. No entanto foram utilizadas outras fontes para a compreensão do caso, tais como: relatórios anuais da Braskem, vídeos institucionais do Aquapolo, documentos pertinentes ao processo de licenciamento ambiental do Aquapolo, sites do Aquapolo ambiental e da Braskem, sites de associações como ABIQUIM e sites de empresas relacionadas ao caso como a SABESP.

Entre janeiro e junho de 2019 foram realizadas visitas nas unidades da Braskem e escritório corporativo e no Aquapolo, localizado dentro da ETE ABC SABESP, para a coleta dos dados e realização das entrevistas.

Inicialmente, para a concepção inicial do TA, em 14/01/2019, foram entrevistados na sede de Braskem em São Paulo, o Diretor e o Gerente de Sustentabilidade, e em oportunidades após a entrevista inicial, foram realizados contatos via e-mail, ligações e “*WhatsApp*” para coleta de informações que surgiram após as entrevistas.

Em 03/04/2019 na BRASKEM, unidade Q3 ABC, localizada no Município de Mauá, foi realizada entrevista com o gerente de projetos da BRASKEM Alberto Amano, que apresentou a relação entre BRASKEM e Aquapolo, confirmando dados levantados anteriormente em documentos públicos e acrescentando informações acerca da relação da Braskem com o Aquapolo.

Em 05.05.2019 no horário de 16:00 às 17:40 ocorreu a primeira entrevista e visita ao Aquapolo, localizada em Nova Heliópolis, dentro da SABESP ETE ABC. Estavam presentes nesta entrevista inicial, os representantes da diretoria da empresa, Márcio da Silva José e Fernando Gomes da Silva, que a partir daí passaram a ser ponto focal na coleta de dados do Aquapolo.

Em 11.06.2019 ocorreu a visita técnica ao Aquapolo com o acompanhamento dos profissionais Silvia Maria da Silva Boffa e Vanderson Olímpio Costa Silva, onde através de observações diretas aos processos de produção e estruturas instaladas, em conjunto com as explicações técnicas foi possível consolidar o conhecimento sobre as etapas de produção no Aquapolo.

4.3 Conteúdo das Entrevistas

As entrevistas foram conduzidas de forma a compreender os processos e as fases de concepção, estudo de viabilidade, construção e operação do Aquapolo.

As questões das entrevistas nas duas instituições foram estruturadas dentro do contexto do estudo de caso e buscaram compreender o cenário em que o Aquapolo se conformou, os motivos que levaram à sua criação, os clientes, o fornecimento de água industrial, as quantidades fornecidas, o processo de produção.

Nos anexos A e B deste estudo de caso são apresentados os temas que orientaram as entrevistas e questões sobre o estudo de caso.

5. ESTUDO DO CASO

As informações apresentadas ao longo do estudo de caso, quando sem citações, referem-se a informações coletadas junto aos profissionais entrevistados. Algumas informações são apresentadas com citação direta a funcionários para explicitar o conteúdo coletado de forma primária.

Águas residuais constituem um recurso renovável com grande potencial para reuso com múltiplos benefícios coletivos. A reutilização destas águas constitui uma prática em evolução em todo mundo, e podem contribuir para o aumento da disponibilidade hídrica em áreas impactadas pela escassez. Estas técnicas oferecem soluções viáveis dentro do conjunto de ações que mitigam os efeitos das alterações climáticas e contribuem para a redução dos problemas de escassez e piora da qualidade das águas naturais. Sendo assim, a reutilização de águas residuais possui diversas aplicações, dentre elas destacam o setor agrícola e **industrial** (GISI et al., 2017).

5.1 O Polo Petroquímico Capuava

O polo petroquímico Capuava foi o primeiro a surgir no Brasil com início da sua instalação em 1972, e está localizado na fronteira dos municípios do ABC Paulista – Santo André, São Caetano do Sul e Mauá, com a capital São Paulo. Consiste em uma importante fonte de renda para o estado, respondendo por 27% do recolhimento estadual. É composto por uma refinaria de petróleo de primeira geração, a RECAP – Refinaria Capuava, e várias outras unidades petroquímicas de segunda geração, além de outras empresas instaladas em função da necessidade de prestação de serviços para estas indústrias (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2013).

Abrangendo uma área aproximada de 125 hectares, é composto pela unidade da Petrobrás, Refinaria Capuava (RECAP) que abastece com matéria prima as indústrias de segunda geração, para produção de nafta, polietileno e polipropileno, substâncias intermediárias usadas como material de manufatura (DE FREITAS et al., 2010).

A região onde está instalado o polo petroquímico Capuava é ambientalmente frágil, com áreas remanescentes de floresta tropical, rios caudalosos com importância no contexto de abastecimento urbano da região. Atrelado a estes fatores o crescimento da economia local gerou a expansão e aumento da densidade populacional, impactando negativamente na contaminação dos corpos d'água, principalmente o rio Tamanduateí (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2013). Este cenário levou o órgão ambiental do estado, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a solicitar das indústrias ali instaladas, soluções que corrigissem e minimizassem tais impactos, principalmente na gestão dos recursos hídricos (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2013).

Em 17 anos o polo petroquímico mais que dobrou sua produtividade passando de 6,0103 t/dia em 1990 para 14,3300 t/dia em 2007. Em 2005 sua expansão coincidiu com as renovações das LO's (Licenças de Operações) das indústrias locais, o que ajudou a CETESB a intensificar suas ações de controle ambiental (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2013).

Conforme Alberto Amano, Gerente de Projetos da Braskem, em anos pretéritos a 2008, as indústrias do polo Capuava enfrentavam experiências negativas com a má qualidade biológica da água coletada no rio Tamanduateí, sendo que a década de 60, quando o polo iniciava sua conformação, as indústrias eram abastecidas pelas águas captadas no rio Tamanduateí, através de tomada d'água localizada junto a unidade da Petrobrás, Refinaria de Capuava. As águas captadas eram submetidas a processo convencional de tratamento. Nas décadas de 1970 a 1990 a qualidade das águas captadas apresentou considerável deterioração em sua qualidade - em decorrência dos lançamentos de dejetos domésticos e industriais à montante. Além dos lançamentos clandestinos, o rio Tamanduateí teve sua vazão reduzida o que gerou insuficiência no abastecimento das indústrias ali instaladas, obrigando a utilização de volumes disponíveis do manancial e compra de água potável da SAMA, concessionária pública de água de Mauá.

Ainda conforme informações de Alberto Amano, em decorrência desses fatos o processo de produção na Braskem estava prejudicado, pois os recursos hídricos fornecidos pela RECAP apresentavam baixa qualidade nos parâmetros biológicos, o que comprometia as tubulações causando oxidação nas paredes internas, levando à diminuição da vida útil destes sistemas em 75 % [de 8 para 2 anos].

5.2 O Aquapolo

O Aquapolo é considerado o mais proeminente e amplo exemplo de tratamento e venda de águas residuais para utilização industrial no Brasil (NEVER; STEPPING, 2018).

Localizado no bairro Nova Heliópolis, está fisicamente instalado dentro da ETE ABC da SABESP, no município de São Paulo, foi concebido em uma iniciativa entre a SABESP e Foz do Brasil como resposta à necessidade de garantir o fornecimento contínuo de água industrial para as indústrias do polo petroquímico Capuava ⁹.

No início de 2009, a Foz do Brasil foi formada pelo grupo Odebrecht, passando a chamar-se Odebrecht Ambiental. Em seguida, SABESP e Odebrecht Ambiental em parceria com a Quattor, dão início ao estudo de viabilidade do projeto SPE Aquapolo Ambiental S.A, com o propósito específico de tratar águas residuais coletadas nos municípios da região do ABC Paulista, transformando em água no padrão industrial, definido pelo próprio consumidor, para reutilização no polo petroquímico de Capuava.

Os principais usos da água industrial nas linhas de produção do polo Capuava são para: (i) processos de resfriamento, (ii) produção de vapor, e, (iii) e limpeza de torres de resfriamento e caldeiras (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2013).

A concepção do projeto iniciou com a Petroquímica Quattor e em seu Relatório Ambiental de 2009, a SABESP declarou os avanços nas condições contratuais e que a previsão contratual era de fornecimento de até 1 m³/s de água de reuso ao Grupo Petroquímico Quattor, com a possibilidade de fornecimento para as demais empresas do Polo Petroquímico de Capuava (SABESP, 2009).

Em 2010 a Braskem conclui a negociação para a aquisição da Quattor e passa a figurar em seu lugar no andamento da concepção do Aquapolo Ambiental¹⁰.

A construção da unidade industrial do Aquapolo (Figura 7) começou em 2010 (SABESP, 2010) com o objetivo de iniciar sua operação no ano de 2011, antecipando-se a uma

⁹ Dados disponíveis em <https://www.aquapolo.com.br/quem-somos/sobre-o-aquapolo/>, consultado em 13/07/2019

¹⁰ Disponível em <https://www.braskem.com.br/historia>

situação prevista pelos empreendedores de escassez hídrica na grande São Paulo, e que colocava em risco as operações industriais no polo Capuava.



FIGURA 7 – Vista aérea do Aquapolo Ambiental

Fonte: Aquapolo (2019)

O Aquapolo se consolidou através de um contrato com natureza jurídica de “*Supply Agreement*” entre as partes, e com a garantia de fornecimento de água de reuso industrial por um período de 41 anos ¹¹.

A viabilidade do projeto foi verificada à época de sua concepção não somente pelas partes que o constituíram, mas também com a participação ativa da Braskem, que se consolidou como principal cliente e consumidor da água industrial produzida no Aquapolo, se comprometendo contratualmente a utilizar em torno de 90% da produção.

¹¹ Informações disponíveis em <https://www.aquapolo.com.br/quem-somos/sobre-o-aquapolo/>, consultado em 07.07.2019.

Apoiados em uma modalidade contratual (*pure project finance*), através de um formato de demanda firme “*take-or-pay*”, criaram a SPE Aquapolo Ambiental, com propósito específico de fornecimento de água industrial (IICA, 2018). O contrato do Aquapolo foi firmado com as empresas do polo petroquímico Capuava, Braskem Unib 3 Especialidade, Braskem Unib 3 e Polibutenos, Braskem PE 7, Braskem PP4, White Martins Capuava, White Martins Mauá, Oxicap, Oxitenio Petroquímica, Cabot e Oxitenio Química ¹².

Conforme afirmação dos diretores da SPE, Márcio da Silva José e Fernando Gomes da Silva, esta modalidade contratual consolidou o Aquapolo em um negócio autosustentável.

O Aquapolo em operação há menos de uma década possui marcos importantes deste período e na figura 8 apresenta-se sua linha de tempo, resumindo este período de atuação.

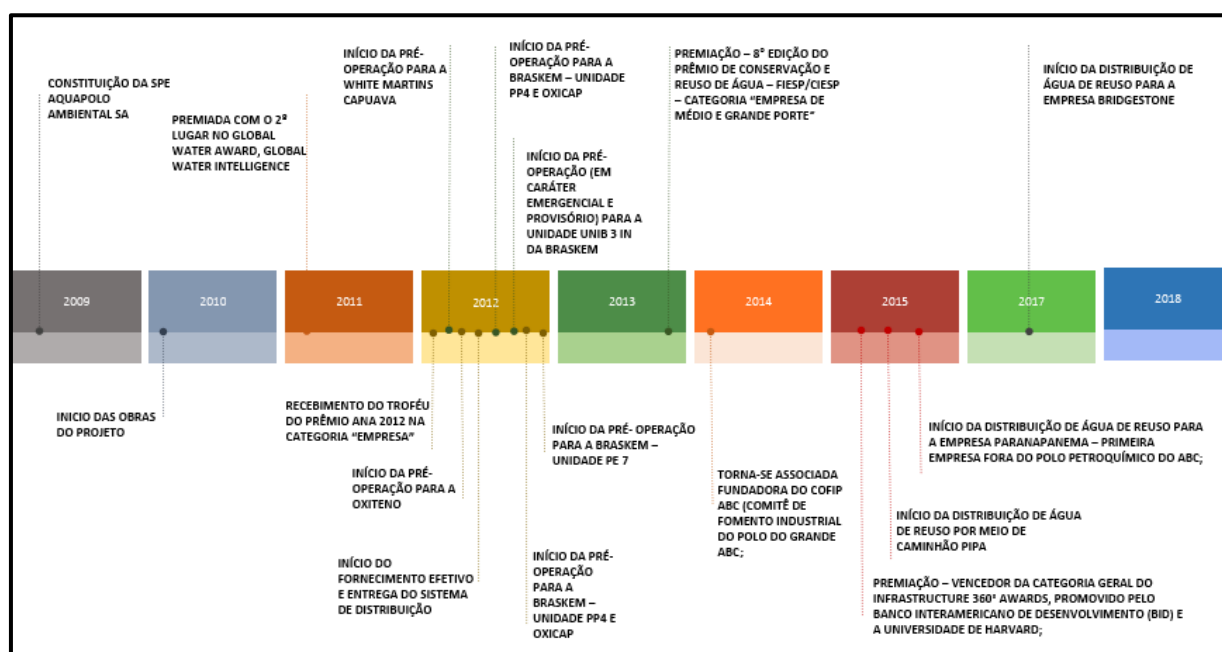


FIGURA 8 - Linha do tempo das datas marcos do Aquapolo Ambiental

Fonte: Aquapolo (2019)

Considerado pioneiro e maior empreendimento da América do Sul, na produção de água industrial de reuso, está entre os maiores produtores desta modalidade do mundo, com

¹² Disponível em: [http://premio.ana.gov.br/Edicao/2014/projeto-detalle.aspx?id=11&\\$ListID=A2CB8C6D-6FE2-4E67-BD57-5254DBCF88DD#](http://premio.ana.gov.br/Edicao/2014/projeto-detalle.aspx?id=11&$ListID=A2CB8C6D-6FE2-4E67-BD57-5254DBCF88DD#), acessado em 13/07/2019.

capacidade instalada para tratar até 1000 litros/segundo de água industrial, o que representa o abastecimento de uma população/cidade com 500 mil habitantes.

Para garantir o atendimento aos clientes no polo petroquímico Capuava, o Aquapolo possui um ativo com área construída de 15 mil m², uma adutora de água tratada com extensão de 17km e tanque para reservar água de reuso com capacidade para 70.000 m³ que atende à especificação do cliente quanto à qualidade da água industrial entregue e constância nos volumes fornecidos.

A distribuição da água é feita através de uma adutora de 17 km que leva a água tratada da unidade industrial do Aquapolo Ambiental, passando pelos municípios de Santo André, São Caetano do Sul e um trecho de Mauá, chegando até os clientes localizados no polo petroquímico (AQUAPOLO, 2019).

A partir desta capacidade instalada transforma o esgoto, previamente tratado na (ETE) do ABC, em água industrial com características físico-químicas especificadas contratualmente.

Conta ainda com uma rede de distribuição de 3,6 km e com todo este aparato gera uma economia de 2,58 bilhões de litros por mês que seriam captados das empresas de fornecimento de água potável, SAESA (Sistema de Água, Esgoto e Saneamento Ambiental), SAMA (Saneamento Básico do Município de Mauá) SEMASA (Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André) e SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) ou do rio Tamanduateí¹³.

Altamente mecanizado, o trabalho desenvolvido pelo Aquapolo começa ainda nas Estações Elevatórias da SABESP, que após o tratamento convencional de 2.000 litros/segundo de esgoto coletado nos municípios do ABC Paulista, desvia 25% desta vazão que seria despeja no Córrego dos Meninos, para bombeamento no poço de captação do Aquapolo.

Quando necessário os profissionais especialistas em tratamento de água do Aquapolo visitam os seis decantadores secundários da ETE ABC e, por meio de inspeção visual de dados de turbidez definem os dois pontos onde serão captadas as vazões de água residual,

¹³ www.aquapolo.com.br

insumo para abastecimento da Estação Elevatória de Baixa Carga, ponto inicial das fases de tratamento para produção da água industrial¹⁴.

Com a operação do Aquapolo, 650 litros/segundo do esgoto previamente tratado na ETE ABC é desviado para um tratamento específico em uma fase de remoção dos sólidos, através do processo de ultra filtração por membranas, com tecnologia avançada para a retenção dos sólidos. Após estas etapas o líquido segue para a osmose reversa, ou inversa, em tubulações com membranas de alta pressão, onde ocorre a separação de minerais e desinfecção final, estando apto à utilização industrial (SABESP, 2019).

Ao longo da adutora existe a possibilidade de fornecimento para outros clientes localizados fora do polo petroquímico, o que já aconteceu no ano de 2015 com a primeira expansão de fornecimento, sendo agregadas ao portfólio de clientes as empresas Bridgestone, Paranapanema e Hydro.

Conforme Alberto Amano, até o início da operação do Aquapolo, as indústrias do polo Capuava recebiam água da RECAP, que por sua vez fazia a captação no rio Tamanduateí, tratava a água respeitando os parâmetros convencionais e distribuía para o conglomerado de indústrias. No entanto, conforme cenário de degradação das águas do rio Tamanduateí, em sua qualidade e quantidade, a água fornecida ao Polo comprometia a vida útil das redes de tubulação, em decorrência da má qualidade nos parâmetros biológicos. Para melhorar a qualidade destas águas, a Braskem optou por comprar da concessionária de água um volume de água potável na ordem de 30% do total utilizado.

O cenário de escassez hídrica, crescimento demográfico e degradação dos cursos d'água somados à falta de legislação federal que regulamenta a reutilização de águas residuais no Brasil, levou muitas indústrias a iniciarem o planejamento e implantação de diretrizes próprias para especificação de padrões de utilização. O Aquapolo é considerado o mais destacado exemplo no Brasil que resultou na reutilização de águas residuais a partir de um padrão de qualidade definido entre cliente e fornecedor, com aplicação de tecnologias avançadas a fim de atingir o padrão de qualidade exigido contratualmente (SADR et al., 2018).

¹⁴ Informações coletadas na visita do dia 11.06.2019 no Projeto Aquapolo

Marcio da Silva José e Fernando Gomes da Silva afirmam que os volumes de água industrial produzidos são consumidos principalmente pelas quatro unidades industriais da Braskem localizadas no ABC Paulista, que juntas respondem por 90% do consumo de toda a produção, o que corresponde a 500 litros/segundo.

5.2.1 A Conversão de Água Residual em Água de Reuso Industrial

A partir da coleta, o esgoto é direcionado para a ETE ABC, onde passa pelo tratamento secundário convencional; parte deste efluente que normalmente seria descartada no córrego dos Meninos é captada de forma individual pelos 6 decantadores existentes e, por gravidade, é levada até a estação elevatória de baixa carga, onde é bombeada para a unidade de tratamento preliminar, passando por filtros de discos com a função de reter sólidos com dimensões igual ou superior a 400 *microns*.

O efluente filtrado é direcionado ao TMBR que consiste no tratamento por um reator biológico terciário, seguido de ultrafiltração. Na fase tratamento biológico ocorre a remoção de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica, através de processos anóxico e aeróbico. Em seguida o efluente é direcionado para os módulos de membrana de ultrafiltração com poros de 0,05 *microns*, que são responsáveis por reter sólidos e bactérias por meio de filtração.

Em intervalos constantes ocorre a retro lavagem e limpeza química, processos responsáveis pela conservação e manutenção dos módulos; o líquido permeado do TMBR tem sua qualidade monitorada através de medidores *online* e, quando a qualidade da água não atende aos parâmetros especificados pelo polo petroquímico, é utilizado o processo de osmose reversa.

A desinfecção é efetuada ao final do processo com a aplicação de dióxido de cloro, e neste momento a água de reuso é bombeada pela estação elevatória de alta carga até o Polo Petroquímico de Capuava e a outros clientes. E, como parte da estratégia de abastecimento contínuo, o Aquapolo possui um reservatório com capacidade de armazenar 70.000 m³.

O processo completo desmembrado em fases compactas, para simplificação do entendimento das fases do processo de tratamento das águas residuais no Aquapolo, é apresentado no Quadro 4 que traz uma descrição geral, iniciando na fase primária, passando pela fase terciária e descrevendo até os sistemas de apoio no Centro de Controle Operacional.

Estas macros fases do processo de tratamento de águas residuais resumem as principais etapas do tratamento e demonstram as estruturas complexas e tecnológicas necessárias ao alcance da qualidade exigida nas unidades industriais consumidoras.

TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
PRIMÁRIO	<ul style="list-style-type: none"> Elevatória de baixa carga para captação do efluente secundário da ETE ABC;
	<ul style="list-style-type: none"> Filtros de discos para retenção de partículas > 400µm.
TERCIÁRIO	<ul style="list-style-type: none"> Reator biológico aeróbio com câmara anóxica, promovendo a remoção de matéria orgânica residual e compostos nitrogenados;
	<ul style="list-style-type: none"> Tanques de Membranas constituídos por 63 módulos de membranas de ultrafiltração, distribuídos uniformemente em 9 tanques de membrana com 256 m³ cada. Estas membranas, com poros de 0,05 micron, são responsáveis por reter os sólidos, poluentes e bactérias restantes;
	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de osmose reversa, para remoção de sais e consequente redução da condutividade da água. O volume de permeado das osmose quando misturado com as vazões de água ultrafiltrada atinge a condutividade exigida pelas indústrias;
	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de desinfecção de dióxido de cloro com dosagem em pontos estratégicos da unidade.
ADUÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Estação elevatória de alta carga com três conjuntos de motobombas centrífugas horizontais. A vazão máxima de cada conjunto é de 1350 m³/h;
	<ul style="list-style-type: none"> Adutora de aço carbono com 17 km de extensão e 900 mm de diâmetro, que também passa pelos municípios de São Paulo, São Caetano do Sul, Santo André e Mauá. Os seguintes métodos executivos foram implementados na instalação da adutora: Vala a Céu aberto, Pipe Jacking, Tunnel Liner, Adutora apoiada em blocos, e Travessias Aéreas;
	<ul style="list-style-type: none"> Tanques de armazenamento 70.000 m³, de forma a evitar interrupções no fornecimento e abastecer o cliente em situações contingenciais.
	<ul style="list-style-type: none"> Construção de rede de distribuição interna de água de reuso dentro do Polo Petroquímico, interligando a torre de equilíbrio às indústrias. Tal rede é composta por tubulações que variam entre 100 e 900 mm, sendo sua extensão de 3.600 m.
APOIO	<ul style="list-style-type: none"> Centro de Controle Operacional através da implantação de um sistema de supervisão e controle baseado em software supervisor SCADA e Controladores Lógicos Programáveis (CLP's)

QUADRO 4 – Descrição geral das unidades do sistema Aquapolo

Fonte: Água e Indústria, experiências e desafios, pags. 55 e 56

Na Figura 9, é apresentado o reservatório denominado Blend, onde ocorre a mistura com água de Osmose Reversa e ajuste de parâmetros como pH e dióxido de cloro.



FIGURA 9 – Tanque Blend

Fonte: a autora, em 11.06.2019

Além dos tanques de blend, ainda possuem tanques de armazenamento 70.000 m³, concebidos com o objetivo de evitar interrupções no fornecimento, e como tanque reserva que propicia o abastecimento dos clientes em emergência, mantendo assim o atendimento contínuo previsto em cláusula contratual.

A figura 10 apresenta o desenho esquemático da ultrafiltração de água no processo Aquapolo. Nesta fase, dentro das membranas de ultrafiltração com poros de 0,05 microns, são retidos os sólidos, poluentes e bactérias imperceptíveis a olho nu, por meio da filtração, o que garante a finalização do tratamento através da retenção destes elementos restantes.

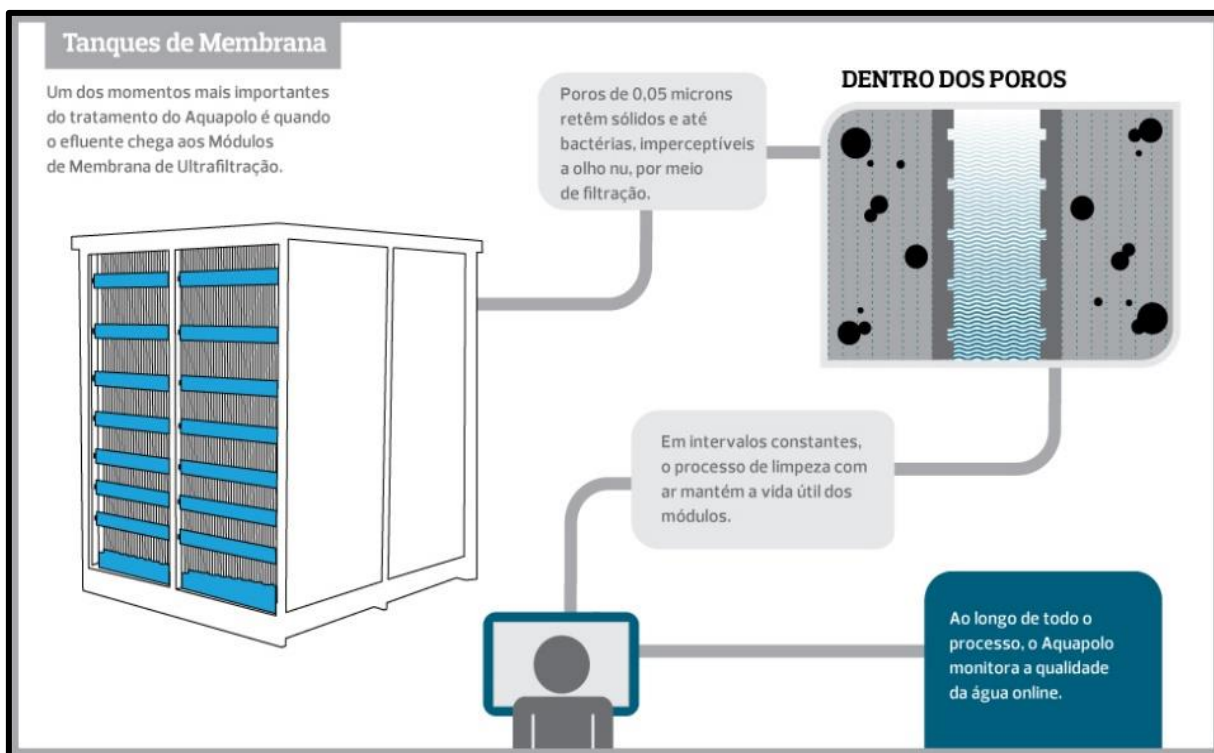


FIGURA 10 - Ultrafiltração de água no processo Aquapolo

Fonte: Aquapolo (2019)

A figura 11 mostra a área onde estão instalados os sistemas de Osmose Reversa da operação do Aquapolo para remoção de sais e consequente redução da condutividade da água, onde o volume de permeado das osmose quando misturado com as vazões de água ultrafiltrada atinge a condutividade exigida pelas indústrias e garante a operação sem prejuízos à vida útil dos equipamentos.



FIGURA 11 – Osmose Reversa

Fonte: a autora, (2019)

Na figura 12, estão ilustradas as fases da água desde a entrada como esgoto tratado pela SABESP até o *blend*.



Figura 12 – Fases da água em tratamento no Aquapolo produto de entrada [Esgoto tratado e produto de saída Blend]

Fonte: a autora, (2019)

Na tabela 5, são representadas as quantidades de água industrial, de consumo dos clientes do Aquapolo, em metros cúbicos por mês:

Cientes	Volume médio de consumo em m ³ /mês
Braskem unidades ABC Paulista	855.000
Outros clientes	95.000
Total	950.000

TABELA 5 – Consumo médio de água industrial clientes do Aquapolo

Fonte: Aquapolo

Estes dados demonstram que as quantidades fornecidas para as unidades da Braskem no ABC Paulista são expressivas, o que torna a Braskem a fonte mais importante de receita para o Aquapolo.

5.2.2 Destinação dos Resíduos Sólidos

Os principais resíduos sólidos produzidos na atividade de produção do Aquapolo são os filtros cartuchos que recebem destinação final conforme legislação ambiental, e o lodo, resíduo proveniente do processo de tratamento de água, que representa a maior quantidade de resíduos sólidos gerados no processo de tratamento do Aquapolo.

O lodo produzido no processo de tratamento do Aquapolo é destinado juntamente com o lodo gerado na ETE ABC e é processado no lodário.

Além do lodo, o esgoto doméstico, advindo das atividades humanas do Aquapolo, e a água de retro lavagem do sistema são direcionadas para o processo primário na ETE SABESP ABC, não ocorrendo destinação deste tipo de resíduo, já que é redirecionado ao sistema de tratamento de águas residuais.

5.2.3 Investimentos e Viabilidade Financeira

O Aquapolo indica, conforme sua rentabilidade e lucro (AQUAPOLO, 2018), que empresas de tratamento de águas residuais para reuso industrial são viáveis, com a recuperação total dos custos em contextos específicos (IICA, 2018).

Para viabilização e construção do Aquapolo, o contrato foi estruturado somente sob garantias do projeto na modalidade (*pure project finance*), apoiado em um formato de demanda firme “*take-or-pay*”, acordo de compra no qual o comprador deve pagar pelo consumo, mesmo que depois não faça uso do produto (IICA, 2018).

Em função deste modelo e desenho contratual, o negócio se mostra viável, cobrindo suas despesas gerais, além do financiamento aportado para sua construção.

As empresas participantes da SPE à época de sua formação e construção, Odebrecht Ambiental (51%) e SABESP (49%) aportaram 10% do valor total do investimento que foi na ordem de 100 milhões de dólares, sendo que os 90% restantes tiveram origem em um financiamento junto aos fundos da Caixa Econômica Federal (CEF) via FI-FGTS.

5.2.4 Inovação

O processo de tratamento de águas residuais no Aquapolo inicialmente segue as fases do processo de tratamento de esgoto convencional, inclusive começa pela passagem do líquido pelo gradeamento para retirada de materiais sólidos. Após passar pelas fases tradicionais de tratamento o efluente filtrado é direcionado ao TMBR que consiste no tratamento por um reator biológico terciário, seguido de ultrafiltração.

Na fase tratamento biológico ocorre a remoção de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica por meio dos processos anóxico e aeróbico, e na sequência inicia-se a etapa inovadora do processo, na qual o efluente é direcionado para os módulos de membrana de ultrafiltração com poros de 0,05 microns, que são responsáveis pela retenção de sólidos. A inovação consiste na remoção dos sais dissolvidos, que são removidos nos sistemas de osmose reversa (OR), exercendo grande impacto positivo no processo de produção de água industrial de alta qualidade, garantindo aos clientes do polo petroquímico Capuava uma água com excelentes padrões para utilização segura em processos de resfriamento

5.2.5 Desempenho

Em 2015 o Aquapolo inicia sua expansão para clientes fora do polo petroquímico Capuava, com a inclusão das empresas Paranapanema. Em maio de 2016 tem início a distribuição de água de reuso para a Bridgestone, também localizada fora do polo petroquímico. Na sequência, o Aquapolo passa a fornecer para a empresa Hidro.

Contudo, a capacidade instalada da unidade industrial de tratamento de águas de reuso do Aquapolo é para tratamento de 1000 litros/segundo e sua utilização gira em torno de 50% a 60%, restando um potencial a ser aproveitado.

Entre 2011 e 2017 o percentual de reuso de água da Braskem melhorou 39%, e, desde 2014 utilizou cerca de 30 milhões de m³ de água de reuso por meio do Aquapolo Ambiental, volume equivalente a 12 mil piscinas olímpicas.

Pela primeira vez, a Braskem está listada no "A List" do CDP WATER, que reconhece as melhores empresas de capital aberto no mundo em relação ao gerenciamento do uso da água. Foi a única empresa brasileira a obter a nota máxima no ranking de Água do CDP, consolidando-se como uma empresa referência em gerenciamento de recursos hídricos e em

contribuição para a transição para uma economia sustentável. Este resultado foi impactado pela reutilização de água feita através do Aquapolo.

5.2.5.1 Análise de Eficiência e Controle de Qualidade

A eficiência do processo e do sistema de entrega do produto do Aquapolo, ora denominado água industrial, é assegurada pelo método de controle de perdas, no qual o próprio sistema de controle disponibiliza ferramentas de sinalização das perdas.

Conforme Silvia Maria da Silva Boffa, a qualidade do produto é controlada através de análises periódicas programadas, mediante parâmetros previstos em contrato., Alguns parâmetros são analisados *online* e continuamente, com instrumentos calibrados periodicamente, como condutividade e pH. São parâmetros com alto impacto no produto fornecido, tendo em vista que a salinidade da água pode danificar os equipamentos de resfriamento nas indústrias. Outros parâmetros como óleos e graxas são controlados semanalmente, os surfactantes mensalmente, analisados em laboratório externo e acreditado pelo Inmetro, de forma a garantir a imparcialidade do controle. Já os parâmetros como Sólidos Suspensos Totais (SST) são controlados diariamente através da equipe própria presente no local.

Perante definições contratuais não é possível ter falhas no fornecimento ou divergências nos parâmetros de qualidade da água entregue. Paradas programadas ou não, são suportadas através dos tanques de reserva com capacidade de 70.000 m³ instalados no Aquapolo, ou em casos emergenciais através do abastecimento alternativo da SABESP, que funciona como opção para situações de contingência.

5.2.6 Balanço Hídrico Regional

O balanço hídrico da região não é afetado pela operação do Aquapolo, ou seja, os 25% de volume da água residual retirados do tratamento da ETE ABC SABESP se mantêm circulando nos processos do polo petroquímico, com retorno de 65% para a atmosfera através das perdas em evaporação. Esta captação não “devolvida” ao córrego não afeta o abastecimento

de água dos municípios à jusante do ponto de lançamento no corpo d'água. Foi realizada uma busca desta informação nos órgãos ambientais municipais e estaduais para triangulação desta informação, porém não foram identificados pareceres que confirmem ou neguem. Também foram realizadas exaustivas buscas na web, em jornais e outras fontes, não sendo possível a confirmação destes dados.

5.2.7 Braskem – Consumidor Majoritário

Primeira do ranking petroquímico da América Latina (Goldberg, 2002), a Braskem é uma indústria brasileira formada pela junção de seis empresas do grupo Odebrecht e grupo Mariani (BRASKEM, 2019).

Fundada em 16 de agosto de 2002, emprega hoje cerca de 8.000 funcionários no mundo, e é considerada em tempos atuais, a maior produtora de resinas termoplásticas das Américas e a maior produtora de polipropileno nos Estados Unidos (BRASKEM, 2019).

Em seu portfólio de produtos comercializados estão as resinas polietileno (PE), resinas de polipropileno (PP) e policloreto de vinila (PVC). Em sua cadeia produtiva estão os insumos químicos, eteno, soda, propeno, cloro, solventes butadieno, benzeno, tolueno, e também o polietileno verde, produto de matéria prima totalmente renovável produzida a partir da cana-de-açúcar (NICOLLETTI et al., 2019).

Conta com um ativo de 41 unidades industriais, sendo 29 instaladas em território brasileiro, nos estados de Alagoas, Bahia, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo, 5 nos Estados Unidos da América, 2 unidades na Alemanha e 4 no México, com capacidade de produção de mais de 16 milhões de toneladas/ano de resinas termoplásticas e outros produtos químicos¹⁵.

É uma empresa que integra os riscos climáticos ao seu sistema de riscos empresariais em todo o mundo: em 2017, trinta e três ações de adaptação foram aprovadas e treze

¹⁵ <https://www.braskem.com.br/perfil>

implementadas apenas nas unidades do Brasil. Além de serem inerentes às ações estratégicas da empresa, a maioria das medidas de adaptação são de médio e longo prazo. No âmbito das ações de adaptação, o alcance dentro da empresa é global, e o valor realizado é demonstrado sob as lentes climáticas para diversas atividades do negócio. Neste sentido o planejamento estratégico para 2025 e 2030 considera materialidades como o estresse hídrico em localidades onde foi planejado aumentar a produção (NICOLLETTI et al., 2019).

5.2.7.1 Política de Sustentabilidade

Após cinco anos de sua criação, no ano de 2007, a Braskem assume o compromisso com os princípios estabelecidos pelo Pacto Global da Organização das Nações Unidas (ONU) tornando-se signatária (BRASKEM, 2012).

Como empresa do setor químico, a Braskem é a única petroquímica no Brasil que possui integração na primeira e segunda fase de geração de resinas termoplásticas. Deslindando vantagens competitivas na escala de produção e eficiência operacional.

A primeira geração produz os petroquímicos básicos como eteno e propeno a partir da nafta, do gás natural e do etano. Esses compostos são fundamentais para a segunda geração, que envolve a fabricação de resinas termoplásticas (PE, PP e PVC), utilizadas posteriormente pela terceira geração, as empresas de transformação (CNQ, 2015).

No esforço de atender a todas suas necessidades produtivas, a Braskem possui foco permanente de atuação embasados em sua Política de Sustentabilidade (temas materiais permanentes) associados aos impactos dos seus negócios por meio dos seus investimentos, operações, produtos, processos, serviços e relacionamentos. E declara em seu relatório de sustentabilidade de 2010, oito anos após sua fundação que:

Na contribuição para o desenvolvimento sustentável:
A atuação da Braskem é pautada, desde sua fundação, em 2002, por princípios do desenvolvimento sustentável. Entendemos que uma empresa com tais práticas é ecologicamente saudável, economicamente viável e socialmente justa. A Braskem vem buscando o aperfeiçoamento de seu modelo de negócios nessa direção.

Nos temas que se relacionam com a Política de Sustentabilidade da Braskem (BRASKEM, 2018), é possível notar que dentro da ecoeficiência das operações, a água é um tema material encarado com prioridade para atendimento das metas especificadas dentro objetivos empresariais: (i) manter o índice de consumo de água (m³/t) abaixo da média do consumo da indústria química mundial, ou seja, 26,64 m³/t (dados de 2014) e (ii) aumentar gradativamente o percentual de reuso de água, em 2020 para 25%; em 2025 para 30%; e em 2030, para 50% (BRASKEM, 2019).

Utilizando o Princípio da Materialidade da *Global Reporting Initiative* (GRI), em 2009, a análise de materialidade da empresa identificou dentre outros temas a **eficiência hídrica**, em um contexto que vislumbrava a visão 2020 e abarcava os próximos anos de uma década. Esta análise englobou temas que refletem em impactos econômicos, ambientais e sociais, conforme diretrizes da GRI.

Gráfico 03 - Cadeia da Ecoeficiência das Operações da Braskem



GRÁFICO 4 – Cadeia da Ecoeficiência das Operações da Braskem

Fonte: a autora, a partir de Braskem (2019)

Em 2004, dois anos após sua fundação, a eficiência hídrica já era apontada como tema estratégico para o negócio no Relatório Anual (BRASKEM, 2004) e em 2017 na Matriz de Materialidade o tema é abordado em um patamar de risco considerável para a eficiência geral do negócio (BRASKEM, 2017).

A Braskem, em função de sua política de sustentabilidade, já havia iniciado um exercício de gestão de riscos com abordagem sistêmica não apenas para São Paulo, mas para sua operação em todo o país e no ano de 2009, em conjunto com a SABESP, antecipando-se à crise hídrica dos anos de 2013 a 2015, deu início a concepção do projeto do Aquapolo Ambiental. Então, para além da inovação tecnológica do Aquapolo e do papel da Sabesp, o Aquapolo é resultado de um exercício de gestão de riscos feito internamente pela Braskem.

Na Matriz de Materialidade da Braskem de 2018 (Figura 13), são apresentados os temas mais críticos à governança empresarial. Dentre os temas ambientais, a água foi identificada como materialidade em destaque quanto à gestão empresarial, pois apresenta risco alto para as operações da indústria petroquímica. E dentre os critérios de análise dos temas, a água está classificada como uma criticidade alta.

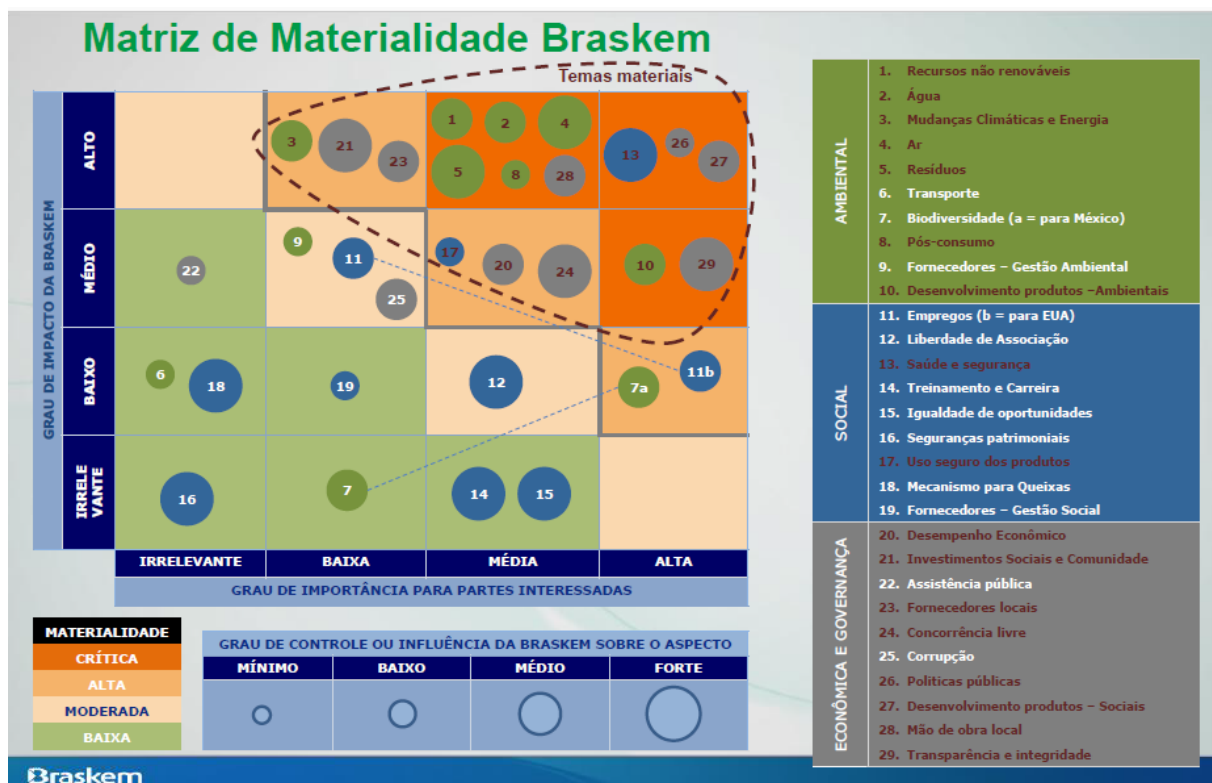


FIGURA 13 – Matriz de Materialidade da Braskem, 2018

Fonte: Braskem (2019)

Braskem havia feito um exercício de gestão de riscos com abordagem sistêmica não apenas para São Paulo, mas para sua operação em todo o país.

A análise dos temas relevantes para a Braskem é apresentada de forma compilada na figura 12, onde a água aparece com alto impacto para as operações da petroquímica, uma vez que os processos de produção em indústrias petroquímicas são consumidores de grandes volumes de água para resfriamento e utilização em caldeiras, o que coloca estas indústrias em uma posição de dependência de significativas demandas de água doce.

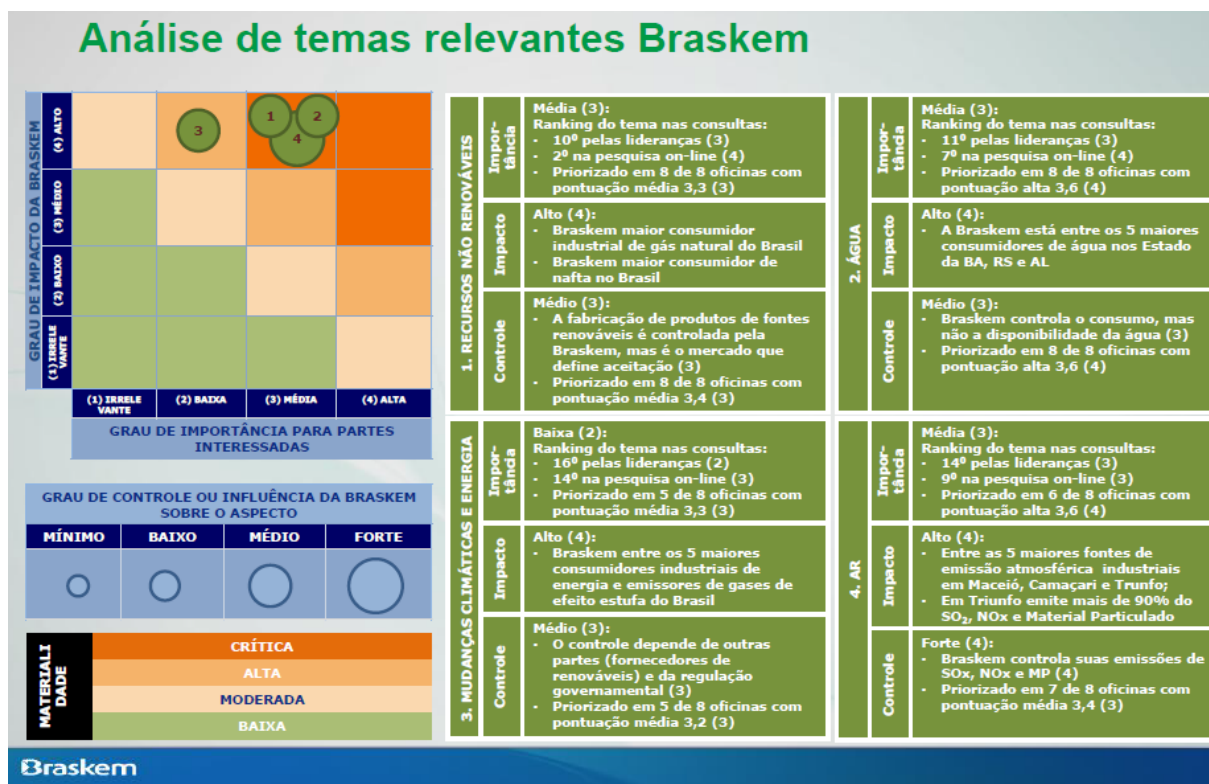


FIGURA 14 – Análise de Temas Relevantes Braskem, 2018

Fonte: Braskem (2019)

Os impactos de utilização de água se classificam como alto e críticos às operações das unidades da Braskem, o que demanda ações constantes de gestão e governança do tema, a fim de garantir a sustentabilidade empresarial, tendo em vista que a Braskem detém o controle do consumo e não da disponibilidade de água. E conforme explicado por Alberto Amano, Gerente de Projetos da Braskem, a partir da viabilização do Aquapolo, na região do ABC Paulista, o fornecimento de água industrial se tornou mais seguro e menos exposto a riscos, o que levou a um alívio no período de escassez hídrica na região durante os anos de 2013, 2014 e 2015.

5.2.7.2 Investimentos

Identificado nos anos iniciais de operação da empresa como tema material de relevância, os investimentos nas questões de conservação da água da Braskem tiveram início em 2013 e foram focados em colocar em operação dois projetos de reuso de água residuais, o

Aquapolo na região do ABC em São Paulo, e o Água Viva, na Bahia. A partir destes investimentos a empresa deixou de utilizar um total de 13 bilhões de litros de água que seriam extraídos do meio ambiente, quantidade suficiente para abastecer cerca de 178 mil pessoas.

No ano de 2014, a empresa participa pela primeira vez do *Water Disclosure*, iniciativa do *Carbon Disclosure Project* (CDP) e segue para o a triênio de 2015 a 2017 com projetos de investimentos na área de meio ambiente na ordem de R\$ 68 milhões, reduzindo cerca de R\$ 33 milhões com custos por meio de melhorias de eficiência hídrica (BRASKEM, 2014).

Em 2015, a Braskem lidera, em parceria com a Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A (SANASA), o Movimento Menos Perda Mais Água com foco na distribuição de água nas grandes cidades, iniciativa do Pacto Global da ONU alinhada com o ODS-6 (Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos) (BRASKEM; SANASA, [s.d.]) .

No ano de 2016, a Braskem fez um estudo profundo sobre o risco de escassez hídrica em 8 bacias hidrográficas, sendo 4 estudos concluídos em 2017. Esses estudos permitiram mapear as operações que estão em áreas de risco potencial de escassez hídrica desde o curto prazo até o horizonte de 2040. Desta forma foi possível planejar a melhor forma de tratar os riscos e oportunidades identificadas na busca de fontes alternativas de fornecimento de água em áreas de escassez hídrica (BRASKEM, 2017).

Conforme Alberto Amano, no período de 2014 a 2015, marcado pela escassez hídrica na região da grande São Paulo, o Aquapolo se consolida e fica conhecido como um caso de sucesso no aspecto de adaptação às mudanças climáticas, ao permitir a operação regular na região do ABC Paulista, contribuindo na redução da captação de água dos rios e o aumento da disponibilidade de água da concessionária pública para a população local.

5.3 Análise do caso Aquapolo à luz da literatura de reutilização de águas residuais

Na literatura clássica sobre recursos hídricos e reutilização de águas residuais, os autores descrevem que o crescimento da utilização de água nas atividades humanas está

ocorrendo de forma acelerada, causando impactos negativos no abastecimento público e no meio ambiente, apontando a indústria como um setor em destaque nessa utilização.

Shiklomanov (1999) descreve que no início dos anos 1990 um estudo sobre o incremento na utilização da água no mundo, feito pelo Instituto Hidrológico do Estado de São Petersburgo, Rússia, identificou o setor industrial como o segundo maior consumidor de água do planeta. Alcamo, Henrichs e Rösch (2000), em um estudo denominado *World Water in 2025*, apontam a perspectiva de ocorrências de escassez hídrica no mundo em decorrência do aumento da utilização do uso de água na indústria, dentre outros.

Para Hansen; Rodrigues; Aquim (2016), na produção em indústrias químicas e petroquímicas, a água consiste em recurso essencial para o bom funcionamento, onde os sistemas de resfriamento e operação de caldeiras são alguns dos vários processos nos quais a água é usada intensivamente, e as torres de resfriamento estão entre os maiores consumidores de água doce em processos industriais devido à grande perda por evaporação. As unidades da BRASKEM, no ABC Paulista, consomem aproximadamente 90% da água industrial produzida pelo Aquapolo Ambiental deixando de concorrer com o abastecimento público local e de captar água nos corpos d'água da região.

Conforme Florke et al., (2013) em 2003 cerca de 3.856 km³ de água doce foram retirados do meio ambiente para fins domésticos, **industriais** e globais, e outros autores como Cui *et al.* (2018), Pintilie *et al.*, (2016) e Wang *et al.*, (2019) afirmam que há uma necessidade emergente de se implantar esforços conjuntos entre sociedade civil, setor industrial e governos para implantação de políticas públicas e ações de governança que busquem conservar os recursos hídricos em todos os continentes. Esforços que busquem a conservação, a mitigação dos impactos negativos nos corpos d'água e adaptação a cenários de escassez hídrica são recomendados pela maioria dos pesquisadores.

O histórico da escassez hídrica no mundo levou ao desenvolvimento e ampliação da utilização das técnicas de reutilização de águas residuais, fazendo com que estas tecnologias despontassem como uma solução viável no conjunto de ações de conservação dos recursos hídricos, além de transformá-las em uma das matérias mais proeminentes em questões técnicas e de políticas públicas.

Neste sentido, conforme descreve Gutterres et al., (2010) no meio científico há a certeza de que é necessário desenvolver estratégias que melhorem o desenvolvimento tecnológico e a gestão integrada desse recurso e as técnicas de reutilização de águas residuais figuram como opções que podem contribuir para a gestão correta dos diversos usos da água.

As técnicas de tratamento de águas residuais em funcionamento no Aquapolo, são inovadoras e possuem tecnologias avançadas, capazes de retirar as grandes concentrações de sais presentes nas águas residuais oriundas do esgoto da região do ABC Paulista, e oferecem segurança hídrica para as operações nas plantas petroquímicas do polo Capuava, sendo que estes parâmetros passam por controles constantes e rígidos.

Hespanhol e Gonçalves (2005), descrevem as aplicações em que águas de reuso podem ser utilizadas no setor industrial e uma destas aplicações, onde os volumes utilizados são exaustivos, são em processos de resfriamento com grandes perdas por evaporação e em que os padrões de potabilidade não são exigidos. O principal cliente do Aquapolo utiliza a água industrial em seus processos de resfriamento e as perdas por evaporação giram em torno de 60% a 65%, demandando uma necessidade contínua de fornecimento de água doce.

O Aquapolo é uma fonte de suprimento alternativo para as atividades industriais do polo petroquímico Capuava porque a água utilizada em processos de resfriamento e operações de caldeiras não necessitam apresentar padrões de qualidade de água potável. Adewumi, Ilemobade e Zyl (2010) descrevem este cenário e afirmam que a indústria é um setor com grande potencial para reutilização de águas residuais, haja visto que estas águas ainda que tratadas não podem ser usadas para atender às necessidades básicas humanas, por representarem risco à saúde pública.

O cenário de escassez hídrica não afeta somente as necessidades básicas de fornecimento de água para a população, mas também pode acarretar problemas econômicos. Como exemplo clássico de impacto negativo na economia por questões de escassez hídrica, Alfara et al. (2011) cita a Jordânia que não avança no desenvolvimento econômico em decorrência do intenso processo de escassez hídrica vivido neste país.

Conforme relato de Alberto Amano, no período de crise hídrica ocorrido na RMSP, nos anos de 2014 e 2015, as indústrias do polo petroquímico Capuava não sofreram desabastecimento e tiveram seu fornecimento de água industrial mantido em volumes normais,

sem impactos negativos na produção, pois o Aquapolo manteve o tratamento de águas residuais em volumes satisfatórios através do recebimento perene de esgotos na ETE da SABESP

Conforme descrito por Chen *et al.*, (2014) os benefícios da reutilização de águas residuais são demonstrados em diversas partes do mundo e possuem relevância social, ambiental e econômica, destacando-se o setor industrial que neste contexto desfruta de um benefício específico da reutilização de águas residuais: a estabilidade e constância do fornecimento de água industrial, superior e mais eficiente quando comparado com abastecimento por águas de chuva ou captadas em outras fontes. Outrossim, nos períodos de escassez hídrica as fontes de captação de água são diversificadas para garantir prioritariamente o abastecimento humano, e assim a produção de esgotos não sofre redução significativa, gerando uma oferta constante de água residual para a reutilização.

O Aquapolo atende ao objetivo principal de sua concepção ao oferecer estabilidade e constância no fornecimento de água industrial, com qualidade garantida. No entanto sua operação também impactou positivamente a sociedade, sendo que as indústrias do polo petroquímico Capuava, abastecidas pelo Aquapolo, deixaram de concorrer com a população local em uma quantidade de água equivalente ao abastecimento de uma cidade com 500 mil habitantes.

A maioria dos autores da revisão de literatura enfocam a necessidade de se adotar uma gestão integrada dos recursos hídricos em todos os continentes do planeta, inclusive dividem esta responsabilidade entre governos, população e setor privado, reiterando que a gestão voltada para a conservação da água é emergente, já que a escassez hídrica combinada com os processos de contaminação dos corpos d'água colocam em risco não somente a saúde e dignidade humana, mas também o desenvolvimento social e econômico.

Para melhor visualização dos resultados encontrados na análise do caso comparando com as abordagens da literatura científica, apresenta-se no Quadro 5 a síntese da análise dos critérios aplicados ao Aquapolo Ambiental.

Fatores facilitadores do reuso	Autores que citam estes fatores	Aquapolo – atendimento ao fator
Qualidade da água produzida	Hespanhol (2008), Adewumi, Ilemobade e Zyl (2010); Quevedo <i>et al.</i> , (2012), Chen <i>et al.</i> , (2014), Salgot; Folch (2018); Roccaro; Verlicchi, (2018).	atende
Escala de utilização	Hespanhol e Gonçalves (2005), Adewumi, Ilemobade e Zyl (2010), Quevedo <i>et al.</i> , (2012), Flörke <i>et al.</i> , (2013), Chen <i>et al.</i> , (2014), Hansen; Rodrigues; Aquim (2016), Cui <i>et al.</i> , (2018).	atende
Economicidade	Não foram encontradas informações sobre este item na literatura científica	atende parcialmente
Estabilidade no fornecimento	Quevedo <i>et al.</i> , (2012), Chen <i>et al.</i> , (2014);	atende
Inovação	Hochstrat <i>et al.</i> , 2006, Hespanhol (2008), Barbieri (2007),	atende
Tecnologias avançadas	Abbott; Cohen, (2009), Gutterres <i>et al.</i> , (2010); Salgot; Folch (2018); Venzke <i>et al.</i> , (2018)	atende
Proximidade da estação de tratamento ao complexo industrial	Não foram encontradas informações sobre este item na literatura científica	atende
Processo de financiamento (<i>pure project finance</i> ” + <i>take-or-pay</i> ”)	Não foram encontradas informações sobre este item na literatura científica	atende
Cliente dispostos a pagar mais caro	Não foram encontradas informações sobre este item na literatura científica	atende
Gestão integrada de recursos hídricos	Ashley <i>et al.</i> , (2008), Hespanhol (2008), Adewumi; Ilemobade; Zyl (2010), Hernández-Sancho; Molinos-Senante; Sala-Garrido, (2011), Chen <i>et al.</i> , (2014), Tram Vo <i>et al.</i> , 2014, Pintilie <i>et al.</i> , (2016), Tisserant <i>et al.</i> , (2017), Roccaro; Verlicchi, (2018), Salgot; Folch (2018), Cui <i>et al.</i> (2018), e Wang <i>et al.</i> , (2019)	atende

QUADRO 5 - Síntese da análise do caso Aquapolo à luz da literatura

Fonte: a autora (2019)

Conforme apresentado no quadro 5, alguns fatores identificados nas pesquisas e que foram importantes no caso do Aquapolo, não foram encontrados na literatura disponível, no entanto tiveram relevância para a viabilização, construção e operação deste empreendimento. Os parágrafos seguintes trazem uma análise destes fatores sob este o ponto de vista.

Ainda que, na fase de implantação do projeto, há um investimento de capital nas obras, após a construção, os resultados financeiros alcançados pelo empreendimento demonstraram que os custos foram recuperados e que houve uma boa margem de lucro para as empresas sócias, o que tornou o Aquapolo Ambiental um empreendimento sustentável. Apesar do custo da água industrial não ser baixo e da necessidade de um cliente aceitar pagar mais caro por esta água em um período de 41 anos, outros fatores como a estabilidade no fornecimento e garantia de entrega de um produto dentro da qualidade especificada, a relação de custo benefício ficou demonstrado nos períodos de escassez hídrica ocorridos na RMSP nos anos de 2013 a 2015, através da estabilidade do fornecimento.

Dentre os temas materiais identificados na Braskem com impactos significativos em suas operações, a água foi classificada na Matriz de Materialidade da empresa crítica e com alto grau de impacto em suas operações, o que levou a empresa a buscar soluções para garantir o abastecimento de suas unidades, principalmente em locais mais suscetíveis à incidência de escassez hídrica. E em resposta ao risco de desabastecimento foram realizados estudos e investimentos em projetos voltados a manter a segurança hídrica das operações, e para as unidades localizadas no ABC Paulista, a Braskem participou ativamente na concepção e busca de financiamentos para viabilizar a construção do Aquapolo Ambiental.

A localização da ETE SABESP próxima ao polo petroquímico, trouxe uma razão econômica diferenciada na composição final dos custos de implantação do Aquapolo Ambiental, sendo necessário desembolsar menos recursos financeiros para as obras, por se tratar de uma adutora, para distribuição da água industrial, com apenas 17km de extensão. E conforme explicou Jorge Soto, diretor de sustentabilidade da Braskem, este impacto financeiro positivo teve relevância na tomada de decisão para a implantação deste empreendimento.

A estruturação do Aquapolo somente foi possível sob garantias do projeto, através da modalidade de financiamento denominada, *pure project finance*, apoiado em um contrato de demanda firme, *take-or-pay*, acordo de compra no qual o comprador deve pagar uma taxa

mínima, definida contratualmente, ainda que não faça uso do produto, e no caso do Aquapolo esta modalidade contratual firmada com a Braskem se estende por um período de 41 anos.

Em um estudo feito pelo Ministério das Cidades, para a elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reuso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil, divulgada em janeiro de 2018, é esclarecido que esta oportunidade não é comum no Brasil e não é necessariamente aplicável a outras modalidades e/ou outros projetos de reuso em regiões de estresse hídrico, devido principalmente ao fato de que o principal beneficiário de um projeto de reuso não ser necessariamente o usuário, necessitando assim da presença de um beneficiário desta utilização, que no caso do Aquapolo é a Braskem.

6. CONCLUSÕES

A indústria é apontada como um dos três maiores consumidores de água no mundo, perdendo apenas para o setor agrícola, e, como parte importante e com altos impactos nesse cenário, deve buscar alternativas para alcançar a segurança hídrica em seus processos aliada a um padrão de qualidade mínimo. Dentro dos preceitos de sustentabilidade empresarial, deve colaborar com o equilíbrio ambiental e social das regiões em que está inserida, desenvolvendo soluções técnicas que possam contribuir com o abastecimento de água para a utilização em processos industriais, almejando sempre aliviar a concorrência com a população nas questões de abastecimento hídrico.

Em polos industriais instalados em grandes centros com grandes aglomerações populacionais, as questões de abastecimento hídrico vêm se intensificando ao longo dos anos, e o desabastecimento humano e paradas de atividades industriais, são impactos negativos na qualidade de vida da população local.

Neste estudo, constatou-se que a principal empresa a viabilizar o Aquapolo é uma indústria petroquímica que, por sua vez, através de investimentos em pesquisas, identificou os potenciais riscos de desabastecimento e buscou, através de novas tecnologias, a consolidação do Aquapolo que se tornou um dos maiores sistemas produtores de água industrial do país.

A Braskem, indústria do setor petroquímico atuou de forma ativa na concepção do projeto e na viabilização do Aquapolo e figura como principal consumidor da água industrial produzida em sua planta industrial. Através da modalidade contratual (*pure project finance*), com um formato de demanda firme “*take-or-pay*”, firmado entre Braskem e Aquapolo, transformou este último em uma empresa economicamente sustentável.

Barbieri (2007) explica que uma organização inovadora é aquela que a que introduz novidades de qualquer tipo em bases sistemáticas e colhe resultados esperado. Onde uma organização sustentável busca simultaneamente ser eficiente também e termos econômicos. Ao viabilizar a concepção e implantação do Aquapolo Ambiental, a Braskem atua como parte principal desta operação e traz inovação ao setor de tratamento de águas residuais no Brasil, e usufrui dos benefícios desta inovação, já que recebe água de forma perene em suas unidades do

AB Paulista com qualidade especificada, além de ter garantida a vida útil de seus equipamentos não correu risco de desabastecimento nos períodos de escassez hídrica vividos na RMSP.

6.1 Resposta ao Problema de Pesquisa

De que forma uma empresa de tratamento de águas residuais, contribui para garantir o abastecimento do polo petroquímico Capuava na região metropolitana de São Paulo?

O Aquapolo Ambiental cumpre seu objetivo principal e contribui para garantir o abastecimento contínuo e com a qualidade especificada contratualmente por meio do tratamento contínuo de águas residuais em sua planta instalada dentro da ETE ABC SABESP.

Com uma tecnologia inovadora e uma estrutura com capacidade instalada para o tratamento de até 1.000 litros/segundo e tanques com capacidade para reservar até 70.000 m³ de água industrial, o Aquapolo garante o fornecimento contínuo para seus clientes no polo petroquímico Capuava. Seu diferencial encontra-se nas tecnologias inovadoras de osmose reversa e membranas de ultrafiltração, fases indispensáveis para produzir água industrial dentro dos requisitos especificados contratualmente pelos clientes, com rígido padrão de qualidade, principalmente quanto à condutividade e presença de sais.

Conforme descrevem Hansen, Rodrigues e Aquim (2016) os sistemas de tratamento de água convencionais são utilizados em grande escala, porém não removem satisfatoriamente as concentrações de sais geralmente presente em águas residuais, o que dificulta a reutilização destas águas para os processos de resfriamento em indústrias petroquímicas, especialmente quanto a parâmetros de condutividade.

Tecnicamente o Aquapolo é definido como uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) e na literatura clássica, autores como Pintilie *et al.*, (2016), descrevem estas estruturas como projetadas para minimizar os danos ambientais decorrentes do aumento das cargas de águas residuais provenientes das atividades municipais e industriais. Desta feita, o Aquapolo contribui para minimizar os impactos sociais, já que fornece continuamente e com a qualidade necessária a água industrial para as indústrias no polo petroquímico Capuava.

As indústrias petroquímicas são consumidoras de grandes quantidades de água, notadamente nos processos de resfriamento em que o consumo de água se dá em função das perdas por evaporação, levando assim a uma necessidade constante de abastecimento de água doce. Além da necessidade de utilização de grandes e constantes volumes de água, nestes processos a água deve atender aos parâmetros de qualidade, observados principalmente a condutividade e presença de sais. São especificações cruciais para a manutenção da vida útil dos equipamentos, haja visto que no resfriamento a evaporação é constante e em caso de presença de sais estes depositam nas estruturas causando danos e redução da vida útil.

Geralmente os sistemas urbanos são geridos de forma linear, e a quebra desta linearidade, criando alguns ciclos de uso, direcionando o modelo para algo mais circular, reduzindo a necessidade de se buscar água em corpos d'água de outras bacias hidrográficas, com incremento dos impactos ambientais para abastecimento de água, permitindo para que os setores públicos possam investir em melhorias de eficiência no uso de água dentro das cidades, é uma das principais contribuições que este modelo de tratamento de águas residuais traz para a gestão integrada de recursos hídricos.

Contudo, sob o aspecto da reutilização de águas residuais, o bom resultado aferido com a operação do Aquapolo Ambiental, demonstra que em contextos similares a reutilização destas águas se torna viável e compõe uma importante ferramenta na gestão integrada dos recursos hídricos, tanto no âmbito industrial quanto no público. Autores como Ashley et al., (2008), Hespanhol (2008), Adewumi; Ilemobade; Zyl (2010), Hernández-Sancho; Molinos-Senante; Sala-Garrido, (2011), Chen et al., (2014), Tram Vo et al., 2014, Pintilie et al., (2016), Tisserant et al., (2017), Roccaro; Verlicchi, (2018), Salgot; Folch (2018), Cui et al. (2018), e Wang et al., (2019), apontam as diversas formas de contribuição para uma boa gestão dos recursos hídricos, e todos apontam as técnicas de reutilização de águas residuais como importante ferramenta a compor o conjunto de ações para a gestão e conservação das águas.

Há um consenso entre os autores, Hespanhol e Gonçalves (2005), Adewumi, Ilemobade e Zyl (2010), Quevedo et al., (2012), Flörke et al., (2013), Chen et al., (2014), Hansen; Rodrigues; Aquim (2016) e Cui et al., (2018), de que polos petroquímicos situados em regiões com intensa aglomeração populacional, larga escala de utilização de água doce, e com a necessidade de uma água doce que atenda a um rígido padrão de qualidade, configuram um

cenário propício à implantação de estações de tratamento de águas residuais, sendo o caso Aquapolo um exemplo de sucesso no polo petroquímico Capuava.

Conforme descrevem Quevedo et al., (2012) e Chen et al., (2014), para as indústrias petroquímicas a estabilidade no fornecimento de água industrial, dentro das características necessárias, representa a segurança das operações, já que os sistemas de resfriamentos são essenciais para a manutenção contínua dos processos produtivos.

Para os autores, Abbott; Cohen, (2009), Gutterres et al., (2010); Salgot; Folch (2018) e Venzke et al., (2018), as estações de tratameto de águas residuais, são sistemas de tratamento de água que necessitam, além de inovação, tecnologias avançadas capazes de remover substâncias e elementos que podem comprometer a vida útil dos equipamentos de resfriamento industrial. No Aquapolo Ambiental a qualidade da água industrial fornecida é alcançada através das tcnologias avançadas empregadas na fase de Osmose Reversa e Membranas de ultrafiltração, técnicas apontadas pelos autores como tecnologias capazes de atender a esta demanda específica.

O atendimento aos padrões de qualidade da água industrial fornecida pelo Aquapolo às industrias do polo petroquímico Capuava, foi demonstrado nas entevistas, sendo reconhecido pelo profissionais entrevistados na Braskem como fator de sucesso para o empreendimento.

6.2 Limitações e Recomendações

A unidade industrial de tratamento de águas residuais do Aquapolo não utiliza totalmente a sua capacidade instalada de produção, o que limita as receitas do negócio. O uso pleno da capacidade seria benéfico para a sociedade e o meio ambiente, haja visto que na região existem outras industrias com potencial para a utilização de águas de reuso produzidas no Aquapolo. Os impactos da reutilização de águas residuais nas indústrias petroquímicas são positivos para a população, que passa a ter uma quantidade maior de água potável disponível para o abastecimento público.

Em regiões altamente povoadas e vizinhas a polos petroquímicos, como a região do ABC Paulista, a reutilização de águas residuais é um ativo ambiental, econômico e social relevante, haja visto que regiões densamente povoadas vêm sofrendo com os impactos dos

processos de escassez hídrica a cada dia mais. Na RMSP muitas cidades e bairros passaram pelo desconforto do desabastecimento na crise hídrica dos anos de 2014 e 2015.

Diante desta subutilização da infraestrutura instalada do Aquapolo, que possui capacidade instalada para tratamento de 1.000m^3 por segundo de águas residuais, e sua utilização efetiva gira em torno de 65% deste volume, recomenda-se que uma ações conjuntas de gestão envolvendo atores públicos e privados, tanto o governo estadual, quanto os governos municipais e indústrias da região devem conjuntamente buscar soluções para viabilizar sua completa utilização, tendo em vista que a escassez hídrica ocorrida no período de 2013 a 2015 na RMSP indica a necessidade emergente de ações conjuntas que garantam a segurança hídrica e o abastecimento humano.

Um estudo sobre a gestão dos recursos hídricos na RMSP, realizado pela Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê (FABHAT), demonstrou que as outorgas nesta região, mesmo após o período da crise hídrica dos anos 2013 a 2015, continuam a crescer, corroborando com o conceito da necessidade emergente de uma gestão de recursos hídricos voltada para ações que priorizem outras formas de obtenção de água para o setor privado e preservem os mananciais da RMSP (FABHAT, 2017).

Apesar de ter uma excelente saúde econômica, o Aquapolo fornece 90% de seu produto para somente um cliente, a Braskem, estando assim, atrelado a saúde empresarial desta empresa, tornando-se vulnerável e dependente. Uma das principais recomendações é que as fontes de receitas sejam diversificadas através da ampliação da carteira de clientes na região do polo Capuava. A viabilidade econômica do Aquapolo desmistifica o paradigma de que o tratamento de águas residuais é inviável e demonstra que os investimentos em estações de tratamento de águas residuais podem trazer benefícios econômicos às partes interessadas.

Resguardadas as especificidades locais, observada a necessidade de incremento das fontes de fornecimento de água industrial, havendo viabilidade econômica, onde a proximidade da ETE ao local de fornecimento e existência de empreendedores que tenham acesso à tecnologia e que queiram assumir a busca de financiamentos para viabilizar o negócio, o modelo do Aquapolo pode ser replicado em outros polos petroquímicos.

7. REFERÊNCIAS

- ABBOTT, M.; COHEN, B. Productivity and efficiency in the water industry. *Utilities Policy*, v. 17, n. 3–4, p. 233–244, 2009.
- ABIQUIM. O Desempenho da Indústria Química Brasileira em 2016, ABIQUIM, Edição, coordenação: Gerencia de Comunicação ABIQUIM, s.d.
- ABIQUIM. O desempenho da indústria química brasileira. O desempenho da indústria química brasileira em 2018, v. 1, p. 5, 2018.
- ADEWUMI, J. R.; ILEMOBADE, A. A.; ZYL, J. E. VAN. Resources , Conservation and Recycling Treated wastewater reuse in South Africa : Overview , potential and challenges. “Resources, Conservation & Recycling”, v. 55, n. 2, p. 221–231, 2010.
- ALCAMO, J.; HENRICHS, T.; RÖSCH, T. World Water in 2025 World Commission on Water for the 21 Century. *Systems Research*, n. 2, p. 1–49, 2000.
- ALDACO-MANNER, L.; MOHTAR, R.; PORTNEY, K. Analysis of four governance factors on efforts of water governing agencies to increase water reuse in the San Antonio Region. *Science of the Total Environment*, v. 647, p. 1498–1507, 2019.
- ALFARRA, A. et al. A Framework for Wastewater Reuse in Jordan: Utilizing a Modified Wastewater Reuse Index. *Water Resources Management*, v. 25, n. 4, p. 1153–1167, 2011.
- ANA. GEO Brasil Recursos Hídricos. Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil, 2007.
- ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Regiões Hidrográficas Brasileiras | Edição Especial, Agência Nacional das Águas. 2015.
- ANA. Água na Indústria: Uso e Coeficientes Técnicos. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), 2018.
- ANA. ODS 6 no Brasil - Visão da ANA sobre os Indicadores. Agência Nacional das Águas, 2019.

AQUAPOLO. Demonstrações Financeiras. EY Building a better working world - relatório de auditor Independente, 2018.

ASHLEY, R. et al. Making Asset Investment Decisions for Wastewater Systems That Include Sustainability. *Journal of Environmental Engineering*, v. 134, n. 3, p. 200–209, 2008.

BARBIERI, J. C. et al. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. *Revista de Administração de Empresas*, v. 50, n. 2, p. 146–154, 2011.

BARBOSA, A.; BRUSCA, I. Governance structures and their impact on tariff levels of Brazilian water and sanitation corporations. *Utilities Policy*, v. 34, p. 94–105, 2015.

BASTOS, V. D. Desafios da petroquímica brasileira no cenário global. *Biblioteca Digital BNDES Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior*, v. 29, p. 359–392, 2009.

BIXIO, D. et al. Wastewater Reuse in Europe. *Desalination*, v. 187, n. February 2005, p. 89–101, 2006.

BRASKEM. Relatório Anual 2004, s.d.

BRASKEM. Relatório Anual Braskem 2012 - ESTRATÉGIA DE CRESCIMENTO, NOVOS DESAFIOS E CONQUISTAS, s.d.

BRASKEM. Relatório Anual 2014, s.d.

BRASKEM. Relatório Anual 2017, s.d.

BRASKEM. Política Empresarial - Política Global de Desenvolvimento Sustentável, www.braskem.com.br, 2018, s.d.

BRASKEM; SANASA. Menos Perda Mais Água. UN Global Compact, Rede Brasil; PNUD, p. 1–13, s.d.

BRASKEM. Análise de temas relevantes 2019, disponível em: https://www.braskem.com.br/portal/Principal/arquivos/imagens/analise_de_temas_relevantes_pt.pdf. Acessado em 11 de março de 2019.

BRASKEM. Matriz de Materialidade Braskem, 2019. disponível em: <https://www.braskem.com.br/materialidade-sustentabilidade>. Acessado em 11 de março de 2019.

CEBDS. Gerenciamento de riscos hídricos no Brasil e o setor empresarial: desafios e oportunidades. CTÁGUA, v. 1, p. 01–56, 2015.

CHEN, Z. et al. A comprehensive framework for the assessment of new end uses in recycled water schemes. *Science of the Total Environment*, v. 470–471, p. 44–52, 2014.

CNQ. Panorama da Indústria Petroquímica e de Fertilizantes. www.cnq.org.br, publicação da CNQ-CUT (Confederação Nacional do Ramo Químico), p. 1–40, 2015.

CÔRTEZ, P. L. ; et al. Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. *Estudos Avançados da Universidade de São Paulo*, v. 3, n. 2, p. 54–67, 2015.

CUI, X. et al. Regional suitability of virtual water strategy: Evaluating with an integrated water-ecosystem-economy index. *Journal of Cleaner Production*, v. 199, p. 659–667, 2018.

DA SILVA E SOUZA, G.; DE FARIA, R. C.; MOREIRA, T. B. S. Estimating the relative efficiency of Brazilian publicly and privately owned water utilities: A stochastic cost frontier approach. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 43, n. 5, p. 1237–1244, 2007.

DE FREITAS, C. U. et al. Can living in the surroundings of a petrochemical complex be a risk factor for autoimmune thyroid disease? *Environmental Research*, v. 110, n. 1, p. 112–117, 2010.

DE MELO, M. G. et al. Sewage contamination of Amazon streams crossing Manaus (Brazil) by sterol biomarkers. *Environmental Pollution*, v. 244, p. 818–826, 2019.

DE SOUZA RAMSER, C. A. et al. The importance of principal components in studying mineral prices using vector autoregressive models: Evidence from the Brazilian economy. *Resources Policy*, v. 62, n. October 2018, p. 9–21, 2019.

DE VARGAS MORES, G. et al. Sustainability and innovation in the Brazilian supply chain of green plastic. *Journal of Cleaner Production*, v. 177, p. 12–18, 2018.

DESLAURIERS, J.-P. Recherche qualitative, guide pratique , par Jean-Pierre Deslauriers, Montréal, McGraw-Hill, 1991. Service Social Université Laval, 1991.

DESROCHERS, P. Industrial symbiosis: The case for market coordination. *Journal of Cleaner Production*, v. 12, n. 8–10, p. 1099–1110, 2004.

DOS SANTOS, H. T. M.; DIAS, R. A.; BALESTIERI, J. A. P. Application of factorial analysis to a Brazilian metropolitan region considering the Millennium Development Goals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 59, p. 276–291, 2016.

EMPINOTTI, V. L.; BUDDS, J.; AVERSA, M. Governance and water security: The role of the water institutional framework in the 2013–15 water crisis in São Paulo, Brazil. *Geoforum*, v. 98, n. December 2017, p. 46–54, 2019.

FABHAT. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2016: Bacia Hidrográfica do Alto Tietê -UGHRI-06. p. 84, 2017.

FALKENMARK, M. Global water issues confronting humanity. *Journal of Peace Research*, v. 27, n. 2, p. 177–190, 1990.

FÉRES, J.; REYNAUD, A.; THOMAS, A. Originally published by Ipea in June 2007 as number 1285a of the series Texto para Discussão. IPEA, n. 1285, 2015.

FLÖRKE, M. et al. Domestic and industrial water uses of the past 60 years as a mirror of socio-economic development: A global simulation study. *Global Environmental Change*, v. 23, n. 1, p. 144–156, 2013.

FUCCILLE, A. O Brasil e a América do Sul: (re)pensando a segurança e a defesa na região Brazil and South America. v. 1, p. 112–146, 2014.

FUJII, H.; MANAGI, S. Determinants of eco-efficiency in the Chinese industrial sector. *Journal of Environmental Sciences*, v. 25, p. S20–S26, 2013.

GIL, A. C. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. v. 264, 2008.

GISI, S. DE et al. Wastewater Reuse. [s.l.] Elsevier, 2017. v. 4

GOLDENBERG, L. C.; MELLOUL, A. J.; ZOLLER, U. The “short cut” approach for the reality of enhanced groundwater contamination. *Journal of Environmental Management*, v. 46, n. 4, p. 311–326, 1996.

GUTTERRES, M. et al. Water reuse in tannery beamhouse process. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 15, p. 1545–1552, nov. 2010.

HANSEN, E.; RODRIGUES, M. A. S.; AQUIM, P. M. DE. Wastewater reuse in a cascade based system of a petrochemical industry for the replacement of losses in cooling towers. *Journal of Environmental Management*, v. 181, p. 157–162, 2016.

HANSEN, É.; SIQUEIRA RODRIGUES, M. A.; DE AQUIM, P. M. Characterization of aqueous streams in a petrochemical industry: A study for the reuse of industrial effluents. *Journal of Water Process Engineering*, v. 27, n. Nov.2018, p. 99–109, 2019.

HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, R. Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach. *Science of the Total Environment*, v. 409, n. 14, p. 2693–2699, 2011.

HERRERA, V. Reconciling global aspirations and local realities: Challenges facing the Sustainable Development Goals for water and sanitation. *World Development*, v. 118, p. 106–117, 2019.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. *Base de Dados da FGV*, v. 27, n. 2, p. 20, 2008.

HOCHSTRAT, R. et al. Assessing the European wastewater reclamation and reuse potential - A scenario analysis. *Desalination*, v. 188, n. 1–3, p. 1–8, 2006.

HU, W. et al. Eco-efficiency of centralized wastewater treatment plants in industrial parks: A slack-based data envelopment analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 141, n. Jul. 2018, p. 176–186, 2019.

IICA. Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil. Ministério das Cidades, 2018.

- ILES, A.; MARTIN, A. N. Expanding bioplastics production: Sustainable business innovation in the chemical industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 45, p. 38–49, 2013.
- IPEA. Região Metropolitana de São Paulo IDHM. Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras, p. 01–07, 2010.
- JACOBI, PEDRO R.; FRACALANZA, ANA P.; SILVA-SÁNCHEZ, S. Governança da água e inovação na política de recuperação de recursos hídricos na cidade de São Paulo. *Caderno Metrópole*, p. 1–22, 2015.
- KELMAN, J. Water Supply to the Two Largest Brazilian Metropolitan Regions. *Aquatic Procedia*, v. 5, n. Sep.2014, p. 13–21, 2015.
- LAKSHMI, V.; FAYNE, J.; BOLTEN, J. A comparative study of available water in the major river basins of the world. *Journal of Hydrology*, v. 567, n. Mar., p. 510–532, 2018.
- LEÃO, R. S.; STEFANO, L.. Making concrete flexible: Adapting the operating rules of the Cantareira water system (São Paulo, Brazil). *Water Security*, 2019.
- LI, W. et al. A novel hybrid process of reverse electrodialysis and reverse osmosis for low energy seawater desalination and brine management. *Applied Energy*, v. 104, p. 592–602, 2013.
- LIMA, E. P. DA C. Água e Indústria - Experiências e Desafios /MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Coordenação Geral MINISTÉRIO, 2018.
- LIMA, G. N. DE; LOMBARDO, M. A.; MAGAÑA, V. Urban water supply and the changes in the precipitation patterns in the metropolitan area of São Paulo – Brazil. *Applied Geography*, v. 94, n. Sep.2017, p. 223–229, 2018.
- LIMA, G. N. DE; RUEDA, V. O. The urban growth of the metropolitan area of Sao Paulo and its impact on the climate. *Weather and Climate Extremes*, v. 21, n. May, p. 17–26, 2018.
- LYU, S. et al. Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. *Journal of Environmental Sciences (China)*, v. 39, p. 86–96, 2016.
- MARENGO et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, n. 106, p. 31, 2015.

MARQUES, G. et al. Mainstreaming climate adaptation in the megacity of São Paulo , Brazil. *Cities*, v. 72, n. Sep. 2017, p. 237–244, 2018.

MARYAM, B.; BÜYÜKGÜNGÖR, H. Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: Opportunities and challenges. *Journal of Water Process Engineering*, v. 30, n. Nov.2016, p. 100501, 2017.

MEDELLÍN-AZUARA, J.; BURLEY, N.; LUND, J. R. Guidelines for Preparing Economic Analysis for Water Recycling Projects Prepared for the State Water Resources Control Board. n. Apr., University of California, Davis Center for Watershed Sciences, 2011.

MILLINGTON, N. Producing water scarcity in São Paulo , Brazil : The 2014-2015 water crisis and the binding politics of infrastructure. *Political Geography*, v. 65, n. May 2017, p. 26–34, 2018.

MONTE, H. M.; ALBUQUERQUE, A. Reutilização de águas residuais. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. 2010.

MORSE, J. M.; OLSON, K.; SPIERS, J. Verification Strategies for Establishing Reliability and Validity in Qualitative Research. p. 13–22, 2002.

MUNIRASU, S.; HAIJA, M. A.; BANAT, F. Use of membrane technology for oil field and refinery produced water treatment - A review. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 100, n. Jun. 2018, p. 183–202, 2016.

NEVER, B.; STEPPING, K. Comparing urban wastewater systems in India and Brazil: Options for energy efficiency and wastewater reuse. *Water Policy*, p. 1129–1144, 2018.

NHAMO, G.; NHEMACHENA, C.; NHAMO, S. Is 2030 too soon for Africa to achieve the water and sanitation sustainable development goal? *Science of the Total Environment*, v. 669, p. 129–139, 2019.

NICOLLETTI, M. et al. Social and organizational learning in the adaptation to the process of climate change: The case of a Brazilian thermoplastic resins and petrochemical company. *Journal of Cleaner Production*, v. 226, p. 748–758, 2019.

ONU. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables United Nations New York, 2017.

ONU. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO. 2017.

PALLEROSI, G. G.; KERBAUY, M. T. M. O Reuso de Água no Polo Petroquímico do ABC Paulista e o Paradigma das Tecnologias Ambientais. p. 1–20, 2010.

PINTILIE, L. et al. Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study. *Journal of Cleaner Production*, v. 139, p. 1–14, 2016.

PORTO, R. L.; PORTO, M. F. A.; PALERMO, M. Ponto de vista – A ressurreição do volume morto do sistema Cantareira na Quaresma. *Revista DAE*, v. 62, n. 197, p. 18–25, 2014.

PURDY, J. Book Review Coming Into the Anthropocene. n. 91, 2015.

QUEVEDO, N. et al. Filtration demonstration plant as reverse osmosis pretreatment in an industrial water treatment plant. *DES*, v. 286, p. 49–55, 2012.

RIBEIRO, F. D. M.; KRUGLIANSKAS, I. Improving environmental permitting through performance-based regulation: A case study of Sao Paulo State, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 46, p. 15–26, 2013.

ROCCARO, P.; VERLICCHI, P. Wastewater and reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, v. 2, p. 61–63, 2018.

RODRIGUES CEZÁRIO, W. et al. The energy revolution in the USA and the pre-salt reserves in Brazil: Risks and opportunities for the Brazilian petrochemical industry. *Futures*, v. 73, p. 1–11, 2015.

ROY, A.; PRAMANICK, K. Analysing progress of sustainable development goal 6 in India: Past, present, and future. *Journal of Environmental Management*, v. 232, n. November 2018, p. 1049–1065, 2019.

SABESP. Relatório de Sustentabilidade Sabesp 2009. Relatório Anual de Sustentabilidade, n.

19, p. 01–83, 2009.

SABESP. Relatório de Sustentabilidade 2010. [s.l: s.n.].

SABESP. Projeto Tietê. GOVERNO DE SÃO PAULO, v. PROJETO TI, p. 22, 2015.

SADR, S. M. K. et al. A multi expert decision support tool for the evaluation of advanced wastewater treatment trains : A novel approach to improve urban sustainability. *Environmental Science and Policy*, v. 90, n. Aug., p. 1–10, 2018.

SALGOT, M.; FOLCH, M. Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, v. 2, p. 64–74, 2018.

SHENVI, S. S.; ISLOOR, A. M.; ISMAIL, A. F. A review on RO membrane technology: Developments and challenges. *Desalination*, v. 368, p. 10–26, 2015.

SHIKLOMANOV, I. A. World Water Resources. A new appraisal and assessment for the 21st century. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, p. 40, 1999.

SILVA-SÁNCHEZ, S.; JACOBI, P. R. Políticas de recuperação de rios urbanos na cidade de São Paulo: possibilidades e desafios. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 14, n. 2, p. 119, 2012.

TISSERANT, A. et al. Solid Waste and the Circular Economy: A Global Analysis of Waste Treatment and Waste Footprints. *Journal of Industrial Ecology*, v. 21, n. 3, p. 628–640, 2017.

TRAM VO, P. et al. A mini-review on the impacts of climate change on wastewater reclamation and reuse. *Science of the Total Environment*, v. 494–495, p. 9–17, 2014.

TUNDISI, J. G. et al. Urban Water Challenges in the Americas - A perspective from the Academies of Sciences. p. 622, 2015.

VENZKE, C. D. et al. Increasing water recovery rate of membrane hybrid process on the petrochemical wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 117, p. 152–158, 2018.

WANG, F. H. et al. Bench-scale and pilot-scale evaluation of coagulation pre-treatment for

wastewater reused by reverse osmosis in a petrochemical circulating cooling water system. *Desalination*, v. 335, n. 1, p. 64–69, 2014.

WANG, H. et al. Proactive water shortage mitigation integrating system optimization and input uncertainty. *Journal of Hydrology*, v. 571, n. July 2018, p. 711–722, 2019.

WORLD ECONOMIC FORUM. Global Risks 2015, 10th Edition is published by the World Economic Forum within the framework of The Global Competitiveness and Benchmarking Network. Global Risks 2015 10th Edition, v. 10th Editi, p. 1–69, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Launch version July 12 Main report Progress on Drinking Water. Sanitation and Hygiene. 2017.

YIN, R. K. Estudo de Caso Planejamento e Métodos. Editora Saraiva. 5^a edição 2015.

ZAHLE, J. Data, epistemic values, and multiple methods in case study research. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, n. Nov., p. 1–8, 2018.

ZHANG, K. et al. Ecologically Inspired Water Network Optimization of Steel Manufacture Using Constructed Wetlands as a Wastewater Treatment Process. *Engineering*, v. 4, n. 4, p. 567–573, 2018.

ZHAO, X. et al. Accounting global grey water footprint from both consumption and production perspectives. *Journal of Cleaner Production*, v. 225, p. 963–971, 2019.

8. ANEXOS

ANEXO A – Roteiro de questões orientadoras para entrevistas da Braskem através da revisão de literatura

- Histórico da Braskem no ABC Paulista;
- Política de Sustentabilidade da Braskem;
- Processo produtivo nas unidades da Braskem no polo petroquímico Capuava;
- Danos às tubulações com redução da vida útil em função da baixa qualidade da água recebida e captada antes da operação do Aquapolo;
- Histórico de captação de água para operações das unidades da Braskem localizadas no ABC Paulista, observadas as limitações de fornecimento quanto à quantidade e qualidade dos recursos hídricos;
- Visão da Braskem sobre a questão da gestão dos recursos hídricos na região do ABC Paulista;
- Impactos da crise hídrica nas operações da Braskem;
- Estratégia de governança da empresa nas questões de gestão dos recursos hídricos;
- Aquisição da PQU pela Braskem;
- Concepção, planejamento e viabilização do Aquapolo Ambiental;
- Investimentos no projeto Aquapolo;
- Participação na concepção e planejamento do Projeto Aquapolo;
- Segurança hídrica alcançada após a operação do Projeto Aquapolo Ambiental – continuidade de entrega em quantidade contratadas e com qualidade especificada em contrato;
- Qualidade da água industrial adquirida do Aquapolo.

**ANEXO B – Roteiro de perguntas orientadoras para entrevistas do Aquapolo
orientadas através da revisão de literatura**

- Histórico da concepção, planejamento, estudo de viabilidade e construção do projeto Aquapolo;
- Clientes do polo petroquímico de Capuava, explanação, importância e fornecimento de água industrial;
- Processo de produção de água industrial, armazenamento e distribuição aos clientes dentro e fora do polo petroquímico Capuava;
- Viabilização do projeto, investidores e principal cliente – Braskem;
- Modelo de financiamento para obras do Aquapolo Ambiental;
- Modalidade contratual com a Braskem;
- Prêmios e reconhecimentos internacionais;
- Limitações do projeto Aquapolo;
- Localização do Aquapolo dentro da ETE ABC Paulista da SABESP;
- Empresas fundadoras do Aquapolo – SABESP e Foz do Brasil;
- Alteração dos acionistas;
- Expansão do escopo de fornecimento para clientes fora do polo petroquímico Capuava;
- Balanço hídrico regional;
- Sustentabilidade do projeto Aquapolo;
- Geração de resíduos na produção de água industrial;
- Destinação dos resíduos gerados na produção de água industrial;
- Captação e conversão da água residual produzida pela SABESP em água industrial entregue aos clientes dentro e fora do polo petroquímico Capuava;
- Osmose Reversa – o processo;
- Biorreatores – o processo;
- Membranas de ultrafiltração – o processo.