UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO–USP
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL

Amanda Arenales

**Avaliação da resiliência de uma empresa
de saneamento frente às mudanças
climáticas - Estudo de caso do
município de Araraquara/SP**

São Carlos
2019

Amanda Arenales

**Avaliação da resiliência de uma empresa
de saneamento frente às mudanças
climáticas - Estudo de caso do
município de Araraquara/SP**

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental, Programa Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Ciências da Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Tadeu Fabrício Malheiros

São Carlos

2019

Trata-se da versão corrigida da dissertação. A versão original se encontra disponível na EESC/USP que aloja o Programa de Pós-Graduação de Ciências da Engenharia Ambiental.

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

A484a Arenales, Amanda
Avaliação da resiliência de uma empresa de
saneamento frente às mudanças climáticas - Estudo de
caso do município de Araraquara/SP / Amanda Arenales;
orientador Tadeu Fabrício Malheiros. São Carlos, 2019.

Dissertação (Mestrado) - Programa de
Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da
Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2019.

1. Saneamento. 2. Mudanças Climáticas. 3.
Resiliência. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **AMANDA ARENALES**.

Título da dissertação: "Avaliação da resiliência de uma empresa de saneamento frente às mudanças climáticas – estudo de caso do município de Araraquara/SP".

Data da defesa: 27/08/2019.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Tadeu Fabricio Malheiros (Orientador)**

APROVADA

(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Titular **Tercio Ambrizzi**

APROVADA

(Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas/IAG-USP)

Dr. **Alisson Gomes de Moraes**

APROVADA

(Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo/SABESP)

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:

Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

*Este trabalho é dedicado ao meu querido esposo Helder,
por todo amor, apoio, paciência e, principalmente, incentivo para que eu não desistisse e
pudesse realizar este sonho.*

Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer à Deus, por ter estar ao meu lado em TODOS os momentos (bons e ruins), me dado força e me guiado sempre! Sem a sua misericórdia e amor incondicional de Pai, esse sonho não teria sido realizado. Me faltam palavras para expressar a gratidão que sinto por Ti, Deus!

Ao meu querido esposo, Helder, por ser tão importante na minha vida. Me incentivando e me fazendo acreditar que posso mais do que imagino. Muito obrigada pelas incansáveis revisões e conselhos durante a elaboração deste trabalho. Este trabalho só pôde ser concretizado por causa do seu companheirismo, amizade, compreensão e amor. É especialmente à você que dedico este trabalho com todo o meu coração, sem você nada disso teria sido possível.

Ao professor Tadeu, meu orientador, agradeço imensamente por toda confiança desde o primeiro momento, paciência, empenho e reflexões valiosas durante nossas reuniões. Muito obrigada por me ter corrigido quando foi necessário e por sempre motivar a fazer meu melhor.

À professora Maria Gamboa por ter sido fundamental na primeira aproximação com o Departamento Autônomo de Água e Esgotos de Araraquara. Muito obrigada!

Aos funcionários do DAAE Araraquara, especialmente o senhor Fernando e ao senhor Donizette, meu muito obrigada por aceitarem a participar da pesquisa! A atenção e o comprometimento com que me receberam foram essenciais para realização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudos e auxílio para a participação de eventos, que financeiramente tornaram possível o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores Evert, Andreza, Gizele, Cris e Patrícia agradeço pela oportunidade de realizar as atividades desenvolvidas no Centro de Educação Física, Esportes e Recreação (CEFER), incluindo a meditação e ioga. Essas que me acalmaram e me proporcionaram um bem estar durante todo o progresso desta pesquisa.

Aos secretários do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (PPG/SEA) e Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais (PROFCIAMB), Nelson, José Luis e a Daniela por serem tão solícitos em todos os momentos que precisei.

À todos funcionários da Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo (EESC/USP) que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho. Particularmente, àqueles que sempre irradiavam meu dia de alegria com simples “BOM DIA!” ao me servir o almoço no restaurante universitário ou entrar no laboratório que eu estava para limpar.

Ao professor Sílvio Rainho Teixeira, por ter me acompanhado durante a graduação me mostrando esse universo incrível da pesquisa científica. Nunca me esquecerei dos congressos que participamos, dos artigos que escrevemos, dos churrascos e feijoadas em sua residência, das conversas dentro e fora do laboratório que propiciaram um ambiente agradável e muito compensador.

À professora Elisa, Márcia e Iarinha, por todo apoio, carinho e incentivo durante o momento mais difícil da minha vida. A realização e a conclusão deste trabalho só é possível devido o amor e força que recebi de vocês. Meu muito obrigada!

À minha mãe, Vilma, deixo um agradecimento especial por todas as lições de amor! Meu muito obrigada por mostrar quando eu era apenas uma criança a importância do estudo, mesmo não tendo a mesma oportunidade no passado.

À minha irmã querida, Alanna, por seu apoio ilimitado e, aos meus lindos sobrinhos, Heitor e Arthur, todo este trabalho foi desenvolvido pensando em vocês, à quem eu amo infinitamente!

As minhas amigas do mestrado, Camila e a Denise, pelos bons momentos que passamos juntas que fizeram meu trabalho mais leve. Sou muito grata à vocês por dividirem comigo as angústias e alegrias. Foi muito maravilhoso poder contar com vocês!

Por fim, mas não menos importante, agradeço à todos que contribuíram de alguma maneira para o desenvolvimento deste trabalho. Principalmente, aos meus colegas do Núcleo de Pesquisa e Extensão em Sustentabilidade (NUPS), pelos bons momentos de descontração e as discussões produtivas.

*“Have I not commanded you? Be strong and courageous.
Do not be afraid; do not be discouraged,
for the Lord your God will be with you wherever you go.”(Joshua 1:9)*

Resumo

Arenales, Amanda. **Avaliação da resiliência de uma empresa de saneamento frente às mudanças climáticas - Estudo de caso do município de Araraquara/SP.** 118 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2019.

Esta pesquisa tem por objetivo a adaptação de um modelo de avaliação da resiliência do sistema de abastecimento de água frente às mudanças climáticas (cenário de seca) aplicada ao estudo de caso do município de Araraquara/SP. Há consenso mundial de que os impactos das mudanças climáticas irão afetar o setor de saneamento devido à escassez ou concentração de chuvas. Alguns dos problemas que podem ocorrer são: danos físicos à infraestrutura de esgotos e águas, contaminação dos mananciais e mudanças na sazonalidade. Diante da intensificação dos prejuízos no setor de saneamento, vale ressaltar a necessidade da resiliência a longo prazo dos serviços de abastecimento de água e esgoto. Para alcançar o objetivo proposto, o modelo *The Argonne Laboratory Resilience Index* foi modificado com foco no sistema de abastecimento de água com captação superficial, considerando um cenário de seca, visando suprir a necessidade por ferramenta deste tipo. No seu processo de adequação foram consideradas: características locais, a universalização ao acesso a água, o clima, além das políticas nacionais existentes. Para o cálculo da resiliência são propostas 90 perguntas separadas em cinco níveis hierárquicos. Após a aplicação do modelo junto a autarquia do município de Araraquara/SP, o índice de resiliência obtida foi de 24,84%. Embora seja um valor relativamente baixo, foi constatado que vêm sendo desenvolvidas diversas atividades que irão contribuir para o aumento da sua resiliência. Apesar dos resultados serem promissores quanto a acurácia do modelo, foi observado que este necessita de contínuo estudo e adaptação para que se torne mais preciso e ao mesmo tempo possa representar outros cenários.

Palavras-chave: Saneamento, Mudanças Climáticas, Resiliência.

Abstract

Arenales, Amanda. **Resilience Assessment of an water and sanitation company against climate change - Case study of the Araraquara city/SP**. 118 p. Master Thesis – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, 2019.

This research project aims to adapt a model for the assessment of resilience of the water supply system against climate changes (drought scenario) applied to the study case of the Araraquara/SP city. There is a worldwide consensus that the impacts of climate changes will affect the water and sanitation sector due to scarcity or concentration of rainfall. Some of the problems that may occur are: physical damage to the infrastructure of sanitation and water, contamination of water sources, as well as changes in seasonality. Against the intensifying losses in the water and sanitation sector, it is worth emphasizing the need for long-term resilience of water and sanitation services. In order to reach the proposed objective, the Argonne Laboratory Resilience Index was modified with focus on the surface water supply system considering a drought scenario to meet the need for this type of tool. In its adequacy process, were considered: the local characteristics, the universalization of access to water, the climate, and the existing national policies. For the calculation of resilience, 90 questions are proposed at five hierarchical levels. After applying the model to the Araraquara/SP city, the resilience index obtained was 24.84%. Although it is a relatively low score, was verified that several activities are being developed that will contribute to increase its resilience. Despite the promising results regarding the accuracy of the model, it was observed that this model requires continuous study and adaptation in order to becomes more precise and at the same time be able to represents others scenarios.

Keywords: Water and Sanitation, Climate Change, Resilience.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Consequências das mudanças climáticas sobre o Serviço de Abastecimento de Água e Esgoto Sanitário (SAA&ES) em cenário de seca. . . .	24
Figura 2 – Diagrama simplificado de um S.A.A.	29
Figura 3 – Diagrama simplificado sobre o efeito estufa	31
Figura 4 – Pontos críticos da resiliência	33
Figura 5 – Função do desempenho de um sistema antes, durante e após os impactos das alterações climáticas.	35
Figura 6 – Localização geográfica do município de Araraquara/SP.	39
Figura 7 – Procedimentos metodológicos utilizados na adaptação do modelo. . . .	42
Figura 8 – Procedimentos realizados para a estruturação e adequação do modelo. .	44
Figura 9 – Percentual das respostas obtidas ao aplicar o questionário.	49
Figura 10 – Quantidade de perguntas com o grau de importância acima de cinco (em verde) e abaixo (em lilás).	50
Figura 11 – Relevância percentual dos setores do quarto nível.	51
Figura 12 – Relevância percentual dos setores do terceiro nível.	52
Figura 13 – Relevância percentual dos setores do segundo nível.	52
Figura 14 – Relevância percentual dos setores do primeiro nível.	53
Figura 15 – Percentual de resiliência obtida no quarto nível	54
Figura 16 – Percentual de resiliência obtida no terceiro nível.	55
Figura 17 – Percentual de resiliência obtida no segundo nível.	56
Figura 18 – Percentual de resiliência total do DAAE Araraquara.	57
Figura 19 – Comparação das análises 1 e 2 no quarto nível.	58
Figura 20 – Comparação das análises 1 e 2 no terceiro nível.	59
Figura 21 – Comparação das análises 1 e 2 no segundo nível.	60
Figura 22 – Comparação das análises 1 e 2 no primeiro nível.	60

Lista de tabelas

Tabela 1 – Índices de água, esgoto e perdas.	28
Tabela 2 – Exemplos de ações a serem desenvolvidas no sistema de abastecimento de água para aumentar a resiliência.	34
Tabela 3 – Relação dos trabalhos mais relevantes encontrados na literatura.	36
Tabela 4 – Relação dos quatro primeiros níveis do modelo proposto.	48

Lista de siglas

ASCOM Assessoria de comunicação

ARES - PCJ Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

DATASUS Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde

DAAE Departamento Autônomo de Água e Esgotos de Araraquara

ETA Estação de Tratamento de Água

GEE Gases do Efeito Estufa

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ONGs Organizações Não Governamentais

ODS Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

PNMC Política Nacional sobre Mudança do Clima

RMSP Região Metropolitana de São Paulo

Seade Sistema Estadual de Análise de Dados

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SAA&ES Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário

S.A.A. Sistema de Abastecimento de Água

SP São Paulo

ANLRI *The Argonne National Laboratory Resilience Index*

UGRHIs Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Sumário

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Objetivos	26
1.2	Contribuições e Relevância do Trabalho	26
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1	Saneamento Básico	27
2.1.1	Sistema de Abastecimento de Água	29
2.2	Mudanças Climáticas	30
2.3	Resiliência e o Sistema de Abastecimento de Água	33
2.4	Trabalhos Correlacionados	35
3	ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE ARARAQUARA/SP	39
4	MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1	Classificação da Pesquisa	41
4.2	Procedimentos Metodológicos	41
4.2.1	Etapa 1: Revisão da Literatura	42
4.2.2	Etapa 2: Estruturação e Adequação do Modelo	43
4.2.3	Etapa 3: Mobilização dos Atores	45
4.2.4	Etapa 4: Coleta de Dados	45
4.2.5	Etapa 5: Validação e Análise dos Resultados	45
4.2.6	Etapa 6: Capacitação de Potenciais Usuários	46

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1	Análise 1: Setores Prioritários para a Autarquia	49
5.2	Análise 2: Aplicação do modelo	53
5.3	Dados qualitativos dos resultados obtidos	57
6	CONCLUSÕES	61
7	TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS	67

APÊNDICES 73

APÊNDICE A	–	MODELO DE AVALIAÇÃO DE RESILIÊNCIA	75
APÊNDICE B	–	QUESTÕES DO QUINTO NÍVEL	81
APÊNDICE C	–	GRAU DE IMPORTÂNCIA DAS PERGUNTAS	89
APÊNDICE D	–	CARTA DE APRESENTAÇÃO DO PROJETO	97
APÊNDICE E	–	ARTIGO 1: ECONOMIA CIRCULAR COMO FATOR CHAVE DE RESILIÊNCIA NO SETOR DE SANEAMENTO	101
APÊNDICE F	–	TRABALHO 2: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE RESILIÊNCIA DE UMA EMPRESA DE SANEAMENTO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: IMPORTÂNCIA E DESAFIOS	113

Capítulo 1

Introdução

Em julho de 2017, a Organização Mundial de Saúde estimou que no mundo cerca de 2,1 bilhões de pessoas não tinham acesso a água potável, e mais do que o dobro não possuíam sistemas de esgotamento sanitário adequados (WHO, UNICEF, 2017). A ausência dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário gera consequências sociais, ambientais e econômicas. Isto porque impede o desenvolvimento socioeconômico, altera o equilíbrio dos ecossistemas, causa doenças devido à má qualidade ou falta de água (PHILIPPI JR.; MARTINS, 2005).

Segundo o Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) (BATES et al., 2008), o setor de saneamento será fortemente impactado com a variabilidade e/ou mudança climática, podendo essa ter origem em processos naturais internos ou forças externas, assim como por ações antropogênicas.

Vale ressaltar a diferença entre mudanças climáticas e variabilidade climática. A mudança climática é uma alteração contínua que pode ser identificada estatisticamente por mudanças na média meteorológica e/ou na variabilidade das propriedades do clima (temperatura, precipitação ou ventos) a longo prazo. Enquanto, que a variabilidade climática se refere ao dinamismo anual do clima com relação ao valor médio a longo prazo (BATES et al., 2008; MSG, 2010).

Há consenso nacional e internacional de que os impactos das mudanças climáticas irão afetar de modo não uniforme os sistemas de infraestrutura, produtivo e naturais (BATES et al., 2008; AMCOW, GPW, 2013; GEX-CIM, 2015). Essas mudanças irão alterar a intensidade e a frequência das chuvas podendo causar, no setor de saneamento, diversos impactos devido à escassez ou concentração de chuvas (BATES et al., 2008).

Problemas antigos poderão ser agravados e novas dificuldades surgirão devido à vulnerabilidade dos recursos hídricos frente às variabilidades e mudanças climáticas. Isto irá aumentar os riscos sobre a estrutura física dos sistemas de águas e de seus serviços associados afetando, principalmente, a população mais carente e inviabilizando a

sustentabilidade da própria empresa prestadora (BATES et al., 2008; EPA, 2015).

Alguns dos principais problemas esperados incluem danos à infraestrutura de redes de água; redução da recarga de águas subterrâneas devido longos períodos de seca; aumento na competição entre os usos; contaminação mananciais; alteração na vazão e na qualidade de água dos mananciais; redução da diluição dos poluentes; eutrofização nos reservatórios; aumento do consumo de produtos químicos utilizado pelas empresas de saneamento; efluentes mais concentrados; diminuição da disponibilidade de água para a geração de hidroeletricidade, como apresentado na Figura 1 (OLIVEIRA; MATOS; MONTEIRO, 2015; BATES et al., 2008; EPA, 2015).

Figura 1 – Consequências das mudanças climáticas sobre o Serviço de Abastecimento de Água e Esgoto Sanitário (SAA&ES) em cenário de seca.

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Um conceito chave para se conceber um modelo de avaliação do sistema de saneamento em relação às variabilidades e mudanças climáticas é o da **resiliência**. Esta se refere à capacidade de um sistema social ou ecológico de resistir, absorver, acomodar e se recuperar dos efeitos de perturbações (climáticas) de maneira eficaz, bem como preservar sua função e estrutura básicas.

Em outras palavras, a resiliência mostra o quanto um sistema é capaz de se reorganizar, aprender e se adaptar (AMCOW, GPW, 2013; GEX-CIM, 2015; WALKER; SALT, 2006). Portanto, é importante o desenvolvimento de resiliência do setor de saneamento para que assim os impactos das mudanças climáticas sejam reduzidos. Essa resiliência poderá ser alcançada baseada em estratégias de caráter político-institucional, técnico, ambiental, econômico e social (PAGELEER, 2009).

No Brasil, a proposta para o fortalecimento da resiliência de diversos setores (como por exemplo: recursos hídricos, povos e população vulneráveis, saúde, desastres naturais, infraestrutura, etc.), diante das mudanças climáticas, vem por meio da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, isto é, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)

juntamente com o Plano Nacional de Adaptação à Mudança Climática. Esses visam incentivar a implementação de ações para a adaptação e mitigação que contribuam para a diminuição dos efeitos adversos ocasionado pelas mudanças climáticas (BRASIL, 2009; MMA & GF, 2016). Essas estratégias são integradas e propõem a participação das três esferas do governo (federal, estadual e municipal), bem como o setor produtivo, o meio acadêmico e a sociedade civil organizada (BRASIL, 2009; MMA & GF, 2016).

No centro do Estado de São Paulo estão localizadas as Bacias Hidrográficas do Rio Mogi-Guaçu e do Rio Tietê-Jacaré (CBH-MOGI, 2018; CBH-TJ, 2018). Na divisa de ambas está situado o município Araraquara cuja autarquia responsável pelo SAA&ES é o Departamento Autônomo de Água e Esgotos de Araraquara, ou DAAE Araraquara (PMA, WALM, 2014). Este município é o terceiro mais populoso da UGRHIs nº 13, com 221 mil habitantes e, portanto é um dos maiores consumidores dos recursos hídricos (abastecimento público de água e a diluição de efluentes) (CBH-TJ, 2018).

Araraquara é um município com situação crítica quando se analisa o balanço da demanda com a disponibilidade de água superficial. Como consequência, ocorre o aumento da demanda por água subterrânea (CBH-TJ, 2018). Além disso, a bacia hidrográfica do Mogi-Guaçu compreendi apenas uma parte da área rural da cidade (CBH-MOGI, 2018). Diante disso, é possível perceber que o município pode ter sua situação agravada devido aos efeitos das mudanças climáticas, como ocorreu Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), no período de 2013 a 2015.

A situação vivenciada pelo Sistema Cantareira evidencia a vulnerabilidade dos sistemas de saneamento quanto a variabilidade climática. Desde o início de maio de 2013, o sistema se encontrava com o nível de água abaixo do normal, porém, somente em janeiro de 2014, a SABESP anunciou a crise hídrica, sendo este evento o mais seco desde 1961 (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2016). Devido a isso, foi necessário realizar racionamento de água em todas as regiões do Estado de São Paulo, assim a população dos bairros mais altos e periféricos foram as mais impactadas, chegando a ficar até 20 horas sem abastecimento (LEITE, 2016; LOBEL, 2017).

Além dos usuários residenciais, a crise hídrica também prejudicou os produtores rurais causando a diminuição na produção agrícola e a morte de animais. Outros setores, como o industrial e de geração de energia, sofreram com falta de água e muitas vezes precisaram interromper suas atividades (MARTINS, 2015). Em março de 2016, a chuva acima da média no manancial mudou o cenário crítico e aumentou para 51,5% o nível de água no Sistema Cantareira (SABESP, 2016).

Nesse contexto, é possível verificar que a autarquia de Araraquara já vem encontrando dificuldades com o seu abastecimento por meio da captação superficial. Devido a isso, essa pesquisa busca solucionar como medir a resiliência do DAAE Araraquara considerando as características locais, ambientais, econômica e políticas. Sendo assim, espera

que esse modelo irá proporcionar um direcionamento em quais setores são necessários maiores investimentos e atenção para diminuir a vulnerabilidade que a empresa possui diante de um evento extremo.

Além disso, busca-se compreender como esse modelo de avaliação poderá ser utilizado em momentos de tomada de decisão. Desse modo, este trabalho busca responder as seguintes perguntas: Como está o DAAE Araraquara em termos de resiliência diante dos efeitos da mudança do clima? Como o conceito de resiliência para o setor de saneamento pode ajudar na tomada de decisão? Como medir/avaliar a resiliência do DAAE Araraquara diante de um período de seca ocasionado pelas variabilidade climática? Quais são os fatores que devem ser considerados?

1.1 Objetivos

Este projeto de pesquisa tem por objetivo adaptar um modelo de avaliação da resiliência do sistema de abastecimento de água frente a um possível cenário de seca ocasionado pelas mudanças climáticas aplicado ao estudo de caso do município de Araraquara/SP.

1.2 Contribuições e Relevância do Trabalho

Devido ao risco de intensificação de prejuízos no setor de saneamento diante dos possíveis cenários de mudanças climáticas, é importante ressaltar a necessidade da resiliência a longo prazo dos sistemas de abastecimento de água e esgoto. Desse modo, se torna propício a realização de um planejamento, investimento e cumprimento de medidas com o objetivo de gerenciar os recursos hídricos de maneira sustentável.

Diante disso, esse trabalho possui uma grande importância, pois tem por objetivo o desenvolvimento de um modelo de avaliação de resiliência do sistema de abastecimento de água aplicado ao estudo de caso no município de Araraquara/SP. Tal abordagem se faz necessária já que não se tem conhecimento de métodos que realizem essa avaliação para o município do caso de estudo. Nesse sentido, esse trabalho busca nortear o DAAE Araraquara para tomar decisões de maneira eficaz, eficiente e pontual.

Portanto, esse projeto é justificável por sua contribuição na construção de conhecimentos a serem aplicados na realidade do DAAE Araraquara. Além disso, o cálculo da resiliência irá favorecer não apenas a autarquia, mas também as iniciativas públicas e privadas, bem como a população.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Saneamento Básico

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) devem orientar as políticas nacionais e as atividades de cooperação internacional até 2030. Essa agenda possui 17 objetivos e 169 metas que envolvem diversas temáticas, algumas delas são: erradicação da pobreza, saúde, educação, energia, água e saneamento (UN, 2017). O objetivo 6 da ODS busca assegurar a disponibilidade, gestão sustentável da água e esgotamento sanitário para todos. Para atingir esse objetivo são apontadas várias metas, das quais se destacam: a universalização ao acesso a água potável e esgotamento sanitário; aprimoramento da gestão da água e esgotamento sanitário; melhorar a qualidade da água e aumentar a reciclagem e reutilização segura em âmbito mundial (UN, 2017).

Como estão esses dados no Brasil¹? Essas metas serão alcançadas? Em 2016, segundo os dados divulgados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento² (SNIS), os índices médios de atendimento total de abastecimento de água, atendimento total de rede de esgotos e, o tratamento total dos esgotos gerados no Brasil eram de 83,3%, 51,9% e 44,9%, respectivamente. Esses índices mostram que ainda há um desafio no Brasil para alcançar as metas da ODS, sendo que esses valores representam que a falta de acesso aos SAA&ES é caracterizada, principalmente, pelas desigualdades regionais e

¹ O saneamento básico no Brasil é definido pela Lei nº 11.445/2007 como “conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; drenagem e manejo de águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas” (BRASIL, 2007). Entretanto, o foco dessa pesquisa será nos Serviços de Abastecimento de Água (S.A.A.). O acesso a esse tipo de serviço é um direito essencial para a qualidade de vida da população e um meio ambiente equilibrado. A ausência desses serviços acarretará impactos no setor de saúde pública, meio ambiente, economia, social e desenvolvimento (PHILIPPI JR.; MARTINS, 2005; GALVÃO JUNIOR, 2009).

² É importante ressaltar que os índices de atendimento com rede foram calculados com base nas respostas que os prestadores de serviços forneceram ao SNIS em 2016. Sendo que, dos 5.570 municípios do Brasil 5.171 municípios forneceram informações sobre o abastecimento de água e para o esgoto sanitário o número de municípios participantes foi de 4.084.

econômicas (SNIS, 2018).

De acordo com o diagnóstico divulgado pelo SNIS é possível verificar que o atendimento referente ao acesso por meio de rede geral de abastecimento de água apresenta diferenças regionais, como mostrado na Tabela 1. Por exemplo, o índice de abastecimento de água por rede na região sudeste é de 91,2%, enquanto apenas, 55,4% dos municípios da região norte possuem acesso a esse serviço. Dentre os estados dessa região Amapá é aquele com o menor índice médio de atendimento urbano, sendo este abaixo dos 40% de atendimento (SNIS, 2018).

Tabela 1 – Índices de água, esgoto e perdas de água na distribuição.

Região	Atendimento com rede (%)				Perdas de esgotos gerados (%)	Tratamento de água na distribuição (%)
	Água		Coleta de esgotos			
	Total	Urbana	Total	Urbana		
Norte	55,4	67,7	10,5	13,4	18,3	47,3
Nordeste	73,6	89,3	26,8	34,7	36,2	46,3
Sudeste	91,2	96,1	78,6	83,2	48,8	34,7
Sul	89,4	98,4	42,5	49,0	43,9	36,3
Centro-Oeste	89,7	97,7	51,5	56,7	52,6	35,
Brasil	83,3	93,0	51,9	59,7	44,9	38,1

Fonte: Adaptado de SNIS (2018).

Além disso, nota-se a conservação das diferenças regionais para o índice de atendimento com rede de coleta de esgoto, ou seja, a região Norte apresenta o menor percentual (10,5%) e a região Sudeste o maior (78,6%). Com relação aos estados apenas o Distrito Federal e três estados (São Paulo, Minas Gerais e Paraná) apresentam esse índice médio de atendimento urbano acima de 70%, enquanto aqueles que apresentam seus índices abaixo de 10% são Amazonas, Amapá e Rondônia. Quanto ao índice de tratamento dos esgotos gerados, percebe-se que as Regiões Centro-Oeste (52,6%) possuem o melhor índice, enquanto que a Região Norte trata apenas 18,3% do esgoto gerado (SNIS, 2018).

Outro aspecto importante que mostra a eficiência do SAA&ES é o índice de perdas de água. Sendo este caracterizado pela diferença entre o volume disponibilizado da estação de tratamento de água e o volume consumido. O índice médio de perdas é de 38,1% no Brasil, sendo que a região com o menor índice é a Região Sudeste (34,7%) e a Região Norte (47,3%) é a que apresenta o maior índice (SNIS, 2018).

A melhor gestão dos serviços de abastecimento de água e esgoto pode beneficiar diversos setores, como por exemplo: saúde, social, meio ambiente, energia, dentre outros. Além disso, irá colaborar para o alcance do desenvolvimento da resiliência frente as mudanças climáticas e impactos de desastres naturais (AMCOW, GPW, 2013).

2.1.1 Sistema de Abastecimento de Água

De acordo com a Portaria n° 2914 de 12 de dezembro de 2011, as obras de engenharia, desde a zona de captação até as ligações prediais, que visam fornecer água potável utilizando redes de distribuição a uma determinada comunidade sem riscos à saúde é denominada Sistema de Abastecimento de Água (S.A.A.) para consumo humano (BRASIL, 2011). Conforme apresentado na Figura 2, esse sistema contempla as unidades de captação, estação elevatória, adução (água bruta ou água tratada), tratamento, reservatórios, redes de distribuição e ramal domiciliar (GOMES, 2004; PHILIPPI JR.; MARTINS, 2005):

Figura 2 – Diagrama simplificado de um Sistema de Abastecimento de Água.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

- **Manancial:** é a responsável pelo fornecimento da água que será processada. Existem dois tipos de mananciais: superficial (córregos, rios, represas, lagos e todos os meios de captação e contenção de águas pluviais) e subterrâneo (lençol freático ou aquíferos livres).
- **Captação:** é onde ocorre a retirada da quantidade necessária e suficiente de água do manancial para atender a demanda da comunidade. Este processo pode ser superficial ou subterrâneo.
- **Adução:** é o transporte da água (bruta ou tratada) por meio de linhas adutoras entre o manancial, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição. Dependendo das distâncias entre as unidades e as cotas, a condução da água pode ocorrer por gravidade e/ou recalque (por meio de estações elevatórias).
- **Tratamento:** é o procedimento no qual a água bruta é tratada para possuir a qualidade requerida para consumo humano e atender o padrão de potabilidade. As tecnologias de tratamento destinadas ao consumo humano são: filtração em múltiplas etapas (FIME), dupla filtração, filtração direta ascendente, filtração direta descendente, floto-filtração e tratamento em ciclo completo (BERNARDO; DANTAS, 2005).

- **Reservatório:** possui as funções de armazenar a água tratada e manter determinada pressão na rede de distribuição, bem como permitir o abastecimento contínuo e/ou controle de equilíbrio.
- **Rede de Distribuição:** é formada por um conjunto de tubulações, conexões e peças especiais, que formam uma rede para distribuir a água dos reservatórios em quantidade, qualidade e pressão suficiente até uma determinada região.
- **Ramal domiciliar:** são as interligações do encanamento da rede de distribuição até o estabelecimento consumidor de água.

As unidades que compõem esse sistema podem apresentar vulnerabilidades frente a uma variabilidade climática. Durante um período de seca, por exemplo, o sistema de abastecimento de água pode não conseguir atender a demanda de uma determinada região devido a variação no fluxo de um manancial superficial. Devido a isso, é importante a construção de reservatórios que possam armazenar água para períodos com maior escassez (VESILIND, 2013). Além disso, essa alteração na vazão irá proporcionar o aumento do consumo de produtos químicos para o tratamento de água, especialmente os utilizados nos processos de coagulação, floculação e desinfecção (OLIVEIRA; MATOS; MONTEIRO, 2015).

Outro ponto que apresenta fragilidades, é o fornecimento de energia elétrica, este que pode ser suspenso devido aos períodos de estiagem impactando negativamente o funcionamento de todo o sistema de abastecimento de água, caso esse não possua outra forma fonte para a obtenção de energia (WHO, 2009).

2.2 Mudanças Climáticas

Mudança climática é uma alteração continua do clima que pode ser estatisticamente quantificada por mudanças na sua média meteorológica e/ou na variabilidade de propriedades (temperatura, precipitação ou ventos) a longo prazo, isto é, décadas a milhões de anos. Outro conceito importante a ser apresentado é o de variabilidade climáticas, que se refere ao dinamismo anual do clima com relação ao valor médio a longo prazo (BATES et al., 2008; MSG, 2010).

O clima e o tempo são determinados pelo equilíbrio da energia absorvida, e emitida, pela Terra na forma de radiação infravermelha de onda longa, podendo ser alterado por meio de fatores naturais, bem como fatores antropogênicos (STOTT et al., 2001). Um dos fatores naturais mais evidente que causa o alteração no clima é a orbita da Terra e seu eixo em relação ao Sol (OLIVEIRA; NOBRE, 2008).

O efeito estufa, outro importante fator natural, é responsável pelo aquecimento da Terra de modo a possibilitar a manutenção da vida, sem ele a temperatura terrestre seria muito fria. Como apresentado na Figura 3, esse efeito faz com que uma parte da radiação de onda longa emitida pelo Sol seja absorvida pela superfície terrestre e pelos oceanos enquanto que, uma outra parte é refletida para o espaço (setas em amarelo). Consequentemente, essa radiação é absorvida principalmente por meio do vapor d'água e dióxido de carbono (CO_2) (WATSON et al., 1990).

Figura 3 – Diagrama simplificado sobre o efeito estufa com e sem a intensificação dos gases do efeito estufa.

Fonte: Adaptado de Watson et al. (1990).

O desenvolvimento das atividades antropogênicas, acentuadas após a Revolução Industrial, está provocando um maior aquecimento da baixa atmosfera, intensificando o efeito estufa (STOTT et al., 2001). Essas atividades, de origem humana, têm aumentado a concentração de alguns gases na atmosfera, tais como: CO_2 , metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), que são denominados Gases do Efeito Estufa (GEE) (IPCC, 2014b; TAYLOR; PENNER, 1994).

Conforme exemplificado na Figura 3, uma parte da radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre não consegue passar pela atmosfera devido a maior concentração dos gases do efeito estufa. Sendo, portanto novamente refletida em direção a Terra e absorvida pela camada de gases presente na atmosfera (setas em vermelho). Com isso, a temperatura média da Terra aumenta ocasionando o aquecimento global e, consequentemente, as mudanças climáticas (WATSON et al., 1990).

Além desses fatores, a desertificação ou desflorestamento influenciam na quantidade de energia absorvida pela superfície da Terra devido a alteração na refletividade da

crosta terrestre. Outros eventos que podem alterar o clima são: as mudanças no ozônio da estratosfera, devido aos clorofluorcarbonetos (*CFCs*) cuja origem é exclusivamente devido a atividade industrial; e aerossóis de sulfato presentes na atmosfera, advindos principalmente das erupções vulcânicas, bem como emitido pela queima de combustíveis fósseis (STOTT et al., 2001; TAYLOR; PENNER, 1994). Vale ressaltar, que mesmo sem nenhuma influência externa, o clima possui uma variabilidade natural com o passar do tempo (WATSON et al., 1990).

Segundo o 5º relatório do IPCC (IPCC, 2014b), as atividades humanas têm interferido direta ou indiretamente no sistema climático. Muitos estudos apresentam resultados de dados coletados por meio de, observações empíricas, resultados experimentais, modelos estatísticos (descritivos e de simulações), que as mudanças climáticas representam riscos tanto para os sistemas humanos, bem como para os sistemas naturais (SCHLEUSSNER et al., 2016; IPCC, 2014b). Alguns dos riscos relacionados as alterações climáticas são: eventos extremos (SCHIERMEIER, 2018) (ondas de calor (KING et al., 2016; PARENTE et al., 2018), precipitações intensa (PALL et al., 2011; FISCHER; KNUTTI, 2016; DOTTORI et al., 2018) e estiagem (SHAH; MISHRA, 2016)); ecossistemas marinhos, especialmente polar e recife de corais (HOEGH-GULDBERG et al., 2007; DELEVAUX et al., 2018; WU et al., 2018; BEAUGRAND et al., 2015; DOLAN et al., 2018); sistemas de produção e segurança alimentar (HASEGAWA et al., 2018); e a elevação do nível do mar (VOUSDOUKAS et al., 2018).

Os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário também sofrem com as incertezas provenientes da variabilidade climática (WHO, 2009; NHAMO; NHEMACHENA; NHAMO, 2019; HOWARD et al., 2010). Especificamente no cenário de seca, ocorre a redução da disponibilidade de água podendo levar à secagem de poços (WHO, 2009; IPCC, 2014a; KHAN et al., 2015). Além disso as distâncias que deverão ser percorridas para a coleta de água serão maiores e a qualidade da água será afetada (WHO, 2009; DELPLA et al., 2009; HOWARD et al., 2010; LUH et al., 2017; IPCC, 2014a; KHAN et al., 2015). Um exemplo indireto do efeito da variabilidade climática são as interrupções no fornecimento de energia elétrica que podem inviabilizar a universalização do SAA&ES (WHO, 2009).

As Américas Central e Latina vêm apresentando diversos indicadores de uma iminente seca. Vários pontos dessas regiões já sofrem secas intensas devido ao aumento da área de cobertura dos sistemas de água encanada, que já atingem aproximadamente 75%, situação que acompanha a expansão das áreas urbanas (WHO, 2009; HOWARD et al., 2010). Tais dados mostram a urgência em se pensar em métodos para um melhor planejamento tanto do uso da água quanto da expansão territorial (WHO, 2009; HOWARD et al., 2010; DIAO et al., 2016). Além disso, empresas de saneamento precisam estar preparadas para que não sejam afetadas em uma situação dessas. Assim, a aferição da resiliência vem a ser um passo inicial para a mitigação dos danos que possam vir a serem causados.

2.3 Resiliência e o Sistema de Abastecimento de Água

O conceito de resiliência vem da ecologia, onde foi definido em 1973 pelo ecólogo Holling como sendo uma medida de como um sistema mantém suas características essenciais de estrutura e função após sofrer perturbações (HOLLING, 1973). A definição sugere que o equilíbrio em sistemas ecológicos ocorre apenas dentro de uma escala limitada de tempo e espaço, ressaltando que nesses sistemas as mudanças não são lineares, portanto o equilíbrio não é permanente (BUSCHBACHER, 2014).

A definição de Holling pode ser estendida para a área de saneamento, pois diante de um cenário de mudanças climáticas os recursos hídricos, e as infraestruturas de saneamento serão fortemente impactados (BRITTO; FORMIGA-JOHNSSON, 2010). Portanto, esses sistemas devem ser capazes de se adaptarem e resistir às mudanças climáticas. A resiliência poderá ser maior ou menor de acordo com a qualidade da infraestrutura urbana e pelas estruturas governamentais que coordenam, planejam, gerenciam e implementam políticas e serviços públicos (MARTINS, 2010).

Sendo assim, a Figura 4 mostra que resiliência às mudanças climáticas de um sistema de abastecimento de água refere-se à capacidade do sistema de “projetar”, “operar”, “recuperar”, “aprender”, “adaptar” e “manter” seus serviços em situações de alterações dos regimes de chuva. Desse modo, tendo como base esses pontos críticos é possível mitigar os efeitos das alterações climáticas e impactos na sua estrutura, bem como favorecer a rápida recuperação na provisão dos serviços (EPA, 2015).

Figura 4 – Pontos críticos da resiliência que são essenciais para um S.A.A.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Um sistema resiliente possui várias características importantes que o torna preparado para enfrentar os perigos causados pelas alterações climáticas com flexibilidade, agilidade e rapidez. Tais características servem como meios para o próprio sistema desenvolver atividades que o ajudem a retornar ao seu estado de equilíbrio anterior (EPA, 2015). A Tabela 2, apresenta as ações necessárias que devem ser desenvolvidas em um sistema de abastecimento de água visando diminuir sua vulnerabilidade, considerando um cenário de seca e os atributos da resiliência.

Tabela 2 – Exemplos de ações a serem desenvolvidas no sistema de abastecimento de água para aumentar a resiliência.

Atributos da Resiliência	Exemplo de atividades que devem ser desenvolvidas no sistema de abastecimento de água
Projetar	<ul style="list-style-type: none"> • Realização de um planejamento das suas atividades considerando um cenário de seca. • Realização de reuniões com a sociedade, bem como com a reguladora, prefeito do município e ONGs que visem cumprir e aprimorar seu compromisso de atingir o ODS 6 diante de uma situação adversa.
Operar	<ul style="list-style-type: none"> • Realização de treinamento para que seus funcionários consigam trabalhar em situações adversas. • Realização de manutenção dos equipamentos e monitoramento hidrológico visando não parar de operar durante um evento adverso.
Adaptar	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar produtos que possam ser facilmente substituídos por outros produtos. • Possuir geradores.
Recuperar	<ul style="list-style-type: none"> • Possuir reserva financeira para a realização de obras emergenciais. • Possuir equipamentos reservas.
Aprender	<ul style="list-style-type: none"> • Observar como outras empresas superaram os impactos causados por variabilidade climática. • Compartilhar informações com empresas do ramo relacionadas aos impactos causados pela variabilidade climática.
Manter	<ul style="list-style-type: none"> • Possuir meios para manter o fornecimento de água tratada durante períodos de estiagem. Por exemplo, caminhões pipa. • Possuir parcerias com outras empresas para não deixar de realizar suas atividades com qualidade e continuidade devido a uma situação de emergência.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A Figura 5 representa a resiliência de um sistema de abastecimento de água ao longo de um período. Considerando um sistema operando em seu estado normal até o

momento t_e , no qual ocorre um evento de alteração climática, por exemplo um período de estiagem, o seu desempenho decai até atingir um estado mínimo (t_d). Supondo que em tal momento tenham sido desenvolvidas ações para minimizar os impactos negativos, o sistema começa a se recuperar (t_a) atingindo um estado estável em t_r (EPA, 2015).

Figura 5 – Função do desempenho de um sistema antes, durante e após os impactos das alterações climáticas.

Fonte: Adaptado de EPA (2015).

Ao analisar a figura, percebe-se que para se obter um sistema resiliente é necessário minimizar o tempo ($t_r - t_e$) e a magnitude absoluta das diferenças de desempenho ($F(t_0) - F(t_d)$), bem como maximizar o desempenho do sistema após a sua recuperação $F(t_r)$, para que após isso seu estado recuperado seja o mais próximo possível do seu estado original $F(t_0)$ até $F(t_e)$ (EPA, 2015). Os atributos da resiliência irão fazer com que o sistema de abastecimento de água tenham os impactos causado pela variabilidade climática sejam minimizados, fazendo com que sua recuperação seja mais rápida.

2.4 Trabalhos Correlacionados

No decorrer desta pesquisa foram consultadas diversas propostas para medir, de maneira direta ou indireta, a resiliência de um sistema de abastecimento de água (HASHIMOTO; STEDINGER; LOUCKS, 1982; FISHER et al., 2010; LIU; CHEN; NAKATO, 2012; AMARASINGHE et al., 2016; SHIN et al., 2018). Os modelos propostos nesses trabalhos foram analisados considerando alguns pontos importantes apresentados a seguir:

- **Reprodutibilidade:** o modelo pode ser aplicado em situações similares;
- **Facilidade de compreensão:** o modelo não apresenta fórmulas complexas e pode ser facilmente utilizado e interpretado pelo usuário, sem exigir grandes conhecimentos matemáticos e estatísticos;
- **Adaptação:** é possível realizar alterações no modelo de modo que este seja mais robusto para a situação no qual este esteja sendo aplicado;
- **Representatividade:** o modelo consegue absorver as particularidades de cada local.

Esses pontos são sumarizados na Tabela 3 para um rápido entendimento das características dos trabalhos mais relevantes. Em seguida, ao longo desta seção é apresentado um resumo trabalhos mais relevantes.

Tabela 3 – Relação dos trabalhos mais relevantes encontrados na literatura.

Autores	Reprodutibilidade	Facilidade de compreensão	Adaptação	Representatividade
HASHIMOTO et al. (1982)	✓			
FISHER et al. (2010)	✓	✓	✓	✓
LIU et al. (2012)	✓		✓	
AMARASINGHE et al. (2016)				✓

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

De todos os trabalhos pesquisados o primeiro com o objetivo de classificar e avaliar o desempenho de um sistema de recursos hídricos foi publicado em 1982, sob o nome de *Robustness of Water Resources Systems* (HASHIMOTO; STEDINGER; LOUCKS, 1982). Nele, Hashimoto et al. (1982) quantificaram a resiliência por meio de um modelo estatístico no qual, quanto maior a probabilidade de recuperação rápida e satisfatória da funcionalidade de um sistema, após uma falha ocorrer, maior seria sua resiliência. Os autores reportam que a sua validação foi feita por meio da aplicação do modelo proposto em um reservatório de água. É observado que as informações obtidas, por meio do cálculo da resiliência, devem ser utilizadas para complementar outros critérios de avaliação, como por exemplo, custos de projetos e impactos sociais e ambientais.

Pesquisadores do *Argonne National Laboratory* desenvolveram um método, conhecido por *The Argonne National Laboratory Resilience Index* (ANLRI), para estimar e promover a comparação da resiliência para a infraestrutura crítica e dos seus subconjuntos (FISHER et al., 2010). Essa metodologia avalia três componentes-chave da resiliência: “Robustez”; a “Capacidade de superação” e; a “Recuperação”. O índice de resiliência para a infraestrutura crítica é calculado com base em mais de 1500 variáveis coletadas. Esses dados estão organizados em cinco níveis hierárquicos de acordo com os componentes-chave e, para

cada um é atribuído um peso determinado por especialista. Esse método foi desenvolvido para auxiliar o governo americano com o objetivo de combiná-lo com outros índices para proporcionar uma visão mais ampla dos possíveis riscos, melhorando assim, as ferramentas de tomada de decisão.

O artigo *Resilience Assessment of Water Resources System*, publicado em 2012, propõe que a medida de resiliência baseada na lei de Hooke (LIU; CHEN; NAKATO, 2012). Essa lei possui uma similaridade com a resiliência na mecânica, que busca analisar a capacidade de um objeto retornar a sua forma anterior após sofrer uma deformação. Os autores propuseram então um método quantitativo para estimar a resiliência do sistema de recursos hídricos, considerando a dinâmica do sistema sócio-ecológico. A validação foi realizada em cada cidade da província de Zhejiang (China). Os autores constataram um resultado favorável, porém ressaltam a importância de se ter um modelo adaptado para cada caso e, as dificuldades de se realizar tal medição.

A resiliência de um sistema de abastecimento de água em relação a variação da precipitação, afetada pelas mudanças climáticas, foi foco do trabalho *Quantitative Assessment of Resilience of a Water Supply System Under Rainfall Reduction Due to Climate Change* (AMARASINGHE et al., 2016). Neste, foi proposto que a resiliência fosse obtida por meio de indicadores que relacionassem, a funcionalidade do serviço de abastecimento com um determinado limiar de falha juntamente com a capacidade total de atendimento. Assim, o sistema será considerado resiliente de acordo com a sua capacidade de absorver as disrupções e o seu potencial de redução no uso da água. Para mostrar o potencial de utilização dos indicadores propostos foi realizado um estudo de caso no estado de Queensland (Austrália), onde foi comprovado que a resiliência obtida foi capaz de identificar condições críticas no sistema.

Como pôde ser observado, resumidamente na Tabela 3, os modelos brevemente apresentados anteriormente possuem a sensibilidade de identificar pontos em que o sistema apresenta vulnerabilidades e precisa de maior atenção para que assim, o mesmo se torne mais resiliente diante de eventos adversos (SHIN et al., 2018). Além disso, é mostrado que independente do modelo selecionado, se faz necessário uma adaptação, na qual devem ser consideradas as características: locais, climáticas, econômicas, etc. Essa adaptação é extremamente necessária, pois uma única definição matemática desses conceitos não será apropriada e útil para todas as situações (HASHIMOTO; STEDINGER; LOUCKS, 1982).

Dentre os modelos estudados, o ANLRI é o que melhor atende as características desse projeto (FISHER et al., 2010), conforme é apresentado na Tabela 3 e também justificado nos parágrafos anteriores. Assim, ele foi adaptado de modo a considerar as particularidades do cenário local. Na Seção 4.2.2 o processo de estruturação e adequação do modelo será apresentado em maiores detalhes.

Capítulo 3

Estudo de Caso: Município de Araraquara/SP

O município de Araraquara está localizado no interior do estado de São Paulo (Figura 6) ($21^{\circ}47'40''$ de latitude sul e $48^{\circ}10'32''$ de longitude oeste), na região sudeste do Brasil, com uma área de $1.003,625\text{km}^2$ (IBGE, 2010).

Figura 6 – Localização geográfica do município de Araraquara/SP.

Fonte: Abreu (2006).

O clima do município é tropical de altitude e apresenta invernos secos. O índice pluviométrico médio anual é de 1.352mm , sendo fevereiro o mês mais quente com temperatura média de $24,1^{\circ}\text{C}$ e o mês com temperatura média mais baixa é julho, com $18,2^{\circ}\text{C}$ (PMA, WALM, 2014).

Araraquara se encontra na área de abrangência das Unidades de Gerenciamentos de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré (UGRHIs nº 13) e Mogi-Guaçu (UGRHIs nº 9). Os cursos d'água que passam pelo município são: o rio Anhumas, rio Chibarro, rio Cabeceiras, rio Araraquara, córrego Ouro e o Ribeirão das Cruzes. Esses pertencem as bacias hidrográficas do rio Mogi-Guaçu (a leste, afluente do rio Pardo) e a do rio Jacaré-Guaçu (a oeste, do afluente do rio Tietê) (PMA, WALM, 2014).

Neste município o Departamento Autônomo de Água e Esgotos de Araraquara (DAAE Araraquara) é uma autarquia criada em 2 de junho de 1969. Ele é responsável pela prestação de serviços de coleta, tratamento e distribuição de água; coleta, afastamento e tratamento de esgoto; bem como o manejo de resíduos sólidos e limpeza urbana (PMA, WALM, 2014). Segundo esta autarquia, o índice de abastecimento de água é de 100% e o índice de coleta e afastamento é de 99,9% (apenas 2 bairros de chácaras de recreio não possuem coleta e afastamento de esgotos); e, o índice de tratamento de esgoto sanitário urbano é de 100%, com 82% de eficiência média na remoção de matéria orgânica (PMA, WALM, 2014; ARES-PCJ, 2014).

O sistema de abastecimento do município de Araraquara é misto, isto é, a captação de água ocorre por meio de mananciais subterrâneos e superficiais. O volume total captado é de $3.683m^3/h$ do qual: aproximadamente 65% é realizado por meio da captação profunda no aquífero Guarani e; 35% corresponde aos mananciais superficiais. Tal situação ocorre devido a escassez de mananciais superficiais e também pelo comprometimento das fontes existentes.

O volume referente a captação superficial é decorrente de três mananciais distintos: Represa das Cruzes, Ribeirão Anhumas e Córrego do Paiol. O município possui duas Estações de Tratamento de Água (ETA): Fonte e a Paiol, onde são realizados o tratamento completo (coagulação, floculação, decantação, filtração, bem como desinfecção e fluoretação). O volume decorrente da captação subterrânea é obtido por meio dos 21 poços profundos que se encontram distribuídos pela cidade.

Vale ressaltar que, o objetivo deste trabalho será analisar a resiliência do DAAE Araraquara considerando apenas o abastecimento de água de captação superficial frente às mudanças climáticas. Além disso, o município está em fase de contratação de terceiros para a elaboração de um plano de segurança hídrica. Sendo assim, este trabalho poderá vir auxiliar nesse planejamento.

Materiais e Métodos

4.1 Classificação da Pesquisa

Este projeto possui características de uma pesquisa aplicada, pois buscou-se desenvolver um conhecimento que foi destinado ao uso do DAAE Araraquara (GIL, 2008; CERVO; BERVIAN, 1996; COLLIS; RUSSEY, 2005). Visto que, o presente trabalho tem por objetivo adaptar um modelo de avaliação de resiliência da autarquia, foi definida uma abordagem tanto quantitativa quanto qualitativa (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006). Assim, buscou-se não apenas medir as variáveis que dão resiliência à operadora de saneamento (nesse caso, o DAAE Araraquara), mas também entendê-las.

Como estratégia de pesquisa e, visando alcançar o objetivo proposto, o DAAE Araraquara foi utilizado como estudo de caso (GIL, 2008). Este tipo de estudo, segundo Yin, busca fazer uma investigação empírica de um fenômeno moderno dentro da realidade do seu contexto (YIN, 2018). Portanto, esse método foi escolhido devido a necessidade de verificar a aplicabilidade do modelo de avaliação de resiliência.

4.2 Procedimentos Metodológicos

O método de abordagem foi dividido em seis etapas (Figura 7), descritas a seguir:

1. Revisão da literatura;
2. Estruturação e adequação do modelo;
3. Mobilização dos atores;
4. Coleta de dados;
5. Validação do modelo e análise dos resultados; e,
6. Modelo finalizado.

Ao final de algumas dessas etapas foram realizadas reuniões com todos os atores envolvidos para discutir a continuidade da pesquisa e possíveis adaptações.

Figura 7 – Procedimentos metodológicos utilizados na adaptação do modelo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

É necessário ressaltar que, esse protótipo foi desenvolvido de maneira iterativa, conforme é sugerido na Figura 7. A sua validação se deu com a aplicação do modelo no DAAE Araraquara, responsável pelo serviço de saneamento neste município. Após as análises e reunião com os parceiros, foram realizadas novas adequações do modelo visando uma maior robustez e confiabilidade.

4.2.1 Etapa 1: Revisão da Literatura

Esta etapa tem como objetivo conhecer a problemática a ser resolvida, construindo assim um referencial teórico para a melhor compreensão das contribuições mais relevantes acerca do objeto de estudo (CERVO; BERVIAN, 1996). Além disso, o desenvolvimento de material que sustente o tópico da pesquisa propiciando o seu avanço científico, se faz necessário (COLLIS; RUSSEY, 2005). Assim, foi primordial uma revisão contínua da literatura por meio de pesquisas em livros, artigos de revistas científicas nacionais e internacionais, jornais, *websites*, etc.

A revisão bibliográfica foi utilizada para verificar as implicações de uma variabilidade climática sobre as operadoras do serviço de abastecimento de água e esgoto, bem como as práticas que podem tornar este setor mais resiliente diante de um evento extremo. Para isso, as seguintes bases de dados foram utilizadas: *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*. As palavras-chave da pesquisa incluíram termos como: “resilience”, “water and sanitation”, “climate change”, “water crises”, “climate change and sanitation” e “resilience of water and sanitation sector”. Além disso foram utilizadas variações dessas, bem como em língua portuguesa.

É necessário ressaltar que, apesar da Etapa 1 ser exclusiva da revisão da literatura, nesse momento ela serve como um ponto inicial, porém sua realização se faz necessária nas demais etapas.

4.2.2 Etapa 2: Estruturação e Adequação do Modelo

Dado o escopo deste trabalho, o método proposto foi desenvolvido de modo que seu foco fosse o sistema de abastecimento de água de captação superficial. Dessa maneira, o modelo contém os pontos críticos para medir a resiliência do sistema, como foi discutido na Seção 2.3.

Os pontos críticos da resiliência (“projetar”, “operar”, “adaptar”, “recuperar”, “aprender” e “manter”) foram incorporados no modelo em forma de questões. Essas são apresentadas como subitens de três componentes-chave do modelo adaptado: a “robustez” (habilidade de manter as operações e funções importantes); a “capacidade de superação” (habilidade de se preparar, responder e manter os serviços) e; a “recuperação”(a capacidade de retornar os serviços a níveis aceitáveis de maneira rápida e eficiente).

Deste modo, os cinco níveis apresentados no ANLRI foram adaptados, seguindo a sistemática apresentado na Figura 8 para que seus componentes pudessem mensurar corretamente a resiliência desse sistema no contexto a ser explorado. Para isso, no seu processo de adequação, algumas temáticas foram consideradas, como por exemplo: o déficit da universalização ao acesso a água, o clima e as políticas existentes. Assim, os indicadores de resiliência que se encontram no quinto nível estão estruturados em forma de questionário (apresentado no Apêndice B), o qual apresenta questões diferenciadas do modelo ANLRI.

Além disso, foi realizada uma revisão crítica do modelo proposto por meio de uma comparação entre os métodos: “Modelo de indicadores do grupo Balaton”; “Pontos de alavancagem sistêmica” e “Princípios de Gibson” (MEADOWS, 1998; MEADOWS, 1999; GIBSON, 2006).

Figura 8 – Procedimentos realizados para a estruturação e adequação do modelo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Uma referência cruzada foi feita com o objetivo de tornar o modelo proposto mais robusto e completo. Desse modo, foi possível verificar se ele possui interdisciplinaridade e integrabilidade do conceito de sustentabilidade, bem como se é possível constatar a priorização da qualidade de vida da população mesmo em situações adversas. Para atender esses requisitos, os princípios que faltavam foram inseridos por meio de questões que pudessem representar tais características.

4.2.2.1 Cálculo da Resiliência

A resposta esperada para cada pergunta do quinto nível será 1 ou 0, ou seja, se a autarquia realiza ou não determinada ação que irá favorecer a resiliência da empresa. Além da resposta, para cada pergunta desse nível, é possível ser estipulado um peso (entre 0 e 10) que está relacionado com o seu grau de importância. Este peso deve ser determinado por um especialista, visando que nem todas as perguntas possuem o mesmo nível de importância do ponto de vista da resiliência. O cálculo da resiliência é obtido de acordo com a média ponderada, apresentada na Equação 1:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n_q} (q_i \cdot p_i)}{n_q \cdot 10} \cdot 100, \quad (1)$$

na qual:

- R : é a resiliência percentual resultante;
- q_i : é a i -ésima questão;
- p_i : é o i -ésimo peso;
- n_q : é o número de questões avaliadas em um determinado setor ou subsetor da operadora.

Se o usuário não quiser utilizar os pesos, estes devem ser definidos como 1 e, a Equação 1 converge para a média aritmética das respostas. É importante ressaltar que, para um melhor aproveitamento da resposta do modelo, é necessária a análise de cada um dos subsetores, ou seja, outros níveis da hierarquia.

4.2.3 Etapa 3: Mobilização dos Atores

A mobilização dos atores envolvidos foi por meio de encontros e entrevistas durante desenvolvimento do modelo. Essa atividade foi de grande importância, pois nela foram realizadas consultas de opinião, principalmente em momentos de tomada de decisão e coleta de dados (apresentada na Seção 4.2.4). Os atores mobilizados foram os funcionários do Departamento Autônomo de Água e Esgotos (DAEE) de Araraquara.

Essas mobilizações, previamente agendadas por *e-mails*, tiveram por objetivo apresentar o projeto de pesquisa, construir e remodelar a teoria, bem como discutir e avaliar as componentes do modelo e os dados coletados. Desse modo, foi possível tornar a participação dos atores efetiva durante o processo de desenvolvimento do modelo (TOZONI-REIS, 2010; BRANDÃO; BORGES, 2007; PHILIPPI JR. et al., 1999). Essas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto, bem como para aumentar sua precisão.

Com o modelo pronto, este foi apresentado e aplicado aos atores da operadora por meio de um questionário *on-line* disponível para o preenchimento. A coleta dos dados e a sua manipulação é tratada na Etapa 4, Seção 4.2.4.

4.2.4 Etapa 4: Coleta de Dados

Os dados coletados foram obtidos de fontes primárias e/ou secundárias (COLLIS; RUSSEY, 2005; GIL, 2008). Portanto, uma parte desses foram obtidos após a finalização do esboço do modelo por meio da aplicação do questionário *online* junto aos atores do DAAE Araraquara. Pois esses possuem os conhecimentos necessários para responder de maneira adequada as questões (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006).

Os outros dados foram coletados por meio de consultas em sites de órgãos oficiais, tais como: o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), e a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (Fundação Seade).

4.2.5 Etapa 5: Validação e Análise dos Resultados

A validação ocorreu por meio do cálculo do índice de resiliência da autarquia. Em casos, onde o índice obtido for inferior a 100%, as respectivas perguntas em que a

operadora não atendeu aos requisitos solicitados devem ser recuperadas para que em um segundo momento elas possam ser discutidas em reunião.

De acordo com o estabelecido em reunião, se necessário, o modelo deverá passar por uma nova etapa de adaptação com o objetivo de ajustá-lo, de modo que este represente com maior fidelidade a realidade da operadora. Essa “Readaptação” é representada por meio do fluxo iterativo apresentado na Figura 7. Após as remodelagens necessárias, o modelo é considerado pronto para indicar os pontos que apresentam fragilidades e necessitam de ajustes para tornar o sistema mais resiliente de acordo com a variabilidade climática. Desse modo, é possível a elaboração de um planejamento mais eficaz que vise aumentar a resiliência da operadora.

Vale ressaltar, que o retrabalho do modelo se dará para atender os requisitos necessários para que este possa representar a resiliência da operadora. Por outro lado, este também deverá ser modificado para que possa refletir a realidade da companhia em estudo, assim, em momento algum o modelo será apenas adaptado com foco na pontuação a ser atingida.

4.2.6 Etapa 6: Capacitação de Potenciais Usuários

Após a adaptação do modelo proposto, este poderá ser divulgado e readaptado para outras realidades. Com isso, sugere-se os seguintes passos:

1. Apresentação do modelo mostrando como foi desenvolvido, quais são suas dimensões, o funcionamento do sistema de pontuação e a sua relevância para momentos de tomada de decisão dentro da operadora;
2. Apresentação de algum outro ator que já utilizou o modelo, expondo sua experiência ao utilizá-lo, destacando: a sua facilidade de operação; suas considerações acerca das dificuldades durante a coleta de dados e; por fim, o quanto os resultados obtidos auxiliaram em momentos de tomada de decisão.

Capítulo 5

Resultados e Discussões

Conforme apresentado na Tabela 4, o modelo de resiliência, proposto por Fisher et al. (2010), possui três componentes-chave que são “Robustez”, “Capacidade de superação” e “Recuperação”. O modelo buscou medir e avaliar a resiliência do DAAE Araraquara por meio da utilização 90 questões, como apresentado no Trabalho 2 (Apêndice F). Para isso, o modelo inclui questões que buscam captar características que são relevantes para cenário local, como por exemplo: o clima e déficit da universalização ao acesso a água, como pode ser observado no modelo completo (Apêndice A).

Com todas as modificações que foram realizadas é possível verificar que o modelo possui embasamento teórico que permite medir a resiliência da autarquia, bem como sua sustentabilidade. Sendo que, as questões foram estruturadas de maneira a verificar se a autarquia consegue manter a qualidade e a continuidade do serviço de abastecimento de água durante uma crise hídrica. Portanto, o modelo apresenta características que o tornam promissor, possibilitando seu uso.

O primeiro contato com os atores do DAAE Araraquara foi por meio de uma carta (apresentada no Apêndice D), na qual foi solicitada uma reunião com os atores da autarquia para apresentação do projeto. A primeira reunião foi realizada na sala de Planejamento Estratégico da autarquia e estavam presentes: o gerente de planejamento estratégico; o gerente de controle de perdas; o gerente de engenharia; e, representantes da universidade.

Após essa reunião, foi realizado a coleta de dados conforme foi descrito na Etapa 4 (Subseção 4.2.4). O Apêndice B apresenta as questões com resultado de acordo com a seguinte legenda de cores:

- **Verde:** respostas positivas (1);
- **Vermelho:** respostas negativas (0);
- **Azul:** respostas parcialmente positivas. Se tratam de situações onde a empresa

ou já desenvolve algo naquele sentido ou, atende parcialmente ao requisito dependendo da intensidade do evento ou prioridade da empresa em um dado momento (0,5).

Tabela 4 – Relação dos quatro primeiros níveis do modelo proposto.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Resiliência	Robustez	Redundância	Manancial
			Adução
			Tratamento
			Reservatório
			Rede de distribuição
			Ramal domiciliar
		Prevenção	Mitigando os danos
			Proteção de dependências
		Manutenção das funções essenciais	Planejamento
	Capacidade de superação	Treinamento	Plano contínuo de treinamento
			Plano de segurança
			Sistema de teste
		Consciência	Vulnerabilidade
			Compartilhamento de informação
		Medidas de proteção	Comunicação e notificação
			Plano inicial e preparação
			Energia elétrica
		Reserva	Produtos
			Financeiro
		Resposta	Planejamento
			Segurança
		Novos recursos	Produtos similares
			Suporte
		Locais alternativos	Equipamentos
			Modo alternativo de obter produtos
	Recuperação	Restauração	Perdas devido a desastres naturais
			Características de restauração
		Coordenação	Coordenação interna
			Coordenação externa

Fonte: Adaptado de Fisher et al. (2010).

Embora inicialmente não se tenha determinado considerar a variação “depende”, após a aplicação do questionário e a reunião com os atores percebeu-se a importância de se considerá-la, visto a diversidade no nível dos danos que um evento adverso pode causar. Portanto, além das respostas positivas (valor 1) e negativas (valor 0), aquelas cuja resposta foi “depende” foram consideradas com uma pontuação de 0,5. Para facilitar a visualização das respostas, o gráfico apresentado na Figura 9 foi elaborado.

Figura 9 – Percentual das respostas obtidas ao aplicar o questionário.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

É possível verificar que 38,89% das ações que envolvem as questões do quinto nível do modelo vem sendo de alguma maneira desenvolvida. Como pode ser observado, a maioria (52,22%) das questões apresentadas no quinto nível do modelo, obtiveram respostas negativas. Além disso, é possível observar que 8,89% do questionário teve “depende” como resposta, recebendo assim uma pontuação de 0,5.

Para melhor interpretação dos dados coletados, estes foram analisados em duas análises distintas:

- **Análise 1:** análise dos setores prioritários de acordo com autarquia estudada;
- **Análise 2:** cálculo da resiliência.

A análise 1 e análise 2 serão apresentadas, respectivamente, nas Seções 5.1 e 5.2. Ao final desse capítulo será realizada a comparação dos resultados obtidos nas duas análises.

5.1 Análise 1: Setores Prioritários para a Autarquia

Para poder analisar a resiliência da autarquia, foi solicitado Aos atores que avaliassem as perguntas quanto ao seu grau de relevância. Todas as perguntas deveriam receber

um valor entre 0 e 10 (de menor para maior importância), o Apêndice C apresenta as questões e os seus respectivos graus de importância. Com o objetivo de analisar o nível de adequação modelo do ponto de vista dos especialistas, foi realizada a contagem das perguntas que tiveram um grau de importância acima de cinco. Na Figura 10 é possível verificar que 78 perguntas foram classificadas com grau de importância maior que 5, enquanto que apenas 13 ficaram abaixo desse valor.

Figura 10 – Quantidade de perguntas com o grau de importância acima de cinco (em verde) e abaixo (em lilás).

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Para analisar quais setores a autarquia assume ser de maior relevância, foi considerada uma situação hipotética na qual todas as questões do quinto nível obtiveram respostas positivas, ou seja, valor 1. Desse modo, ao aplicar a Equação 1 foi possível fazer uma análise aprofundada dos graus de importância.

Os gráficos apresentados nesta seção mostram a porcentagem de relevância (em verde) de cada setor de acordo com a opinião da autarquia. A Figura 11 ilustra os resultados obtidos para cada um dos setores do quarto nível. Nele é possível verificar que 100% das questões de setores como “Coordenação externa”, “Equipamentos”, “Suporte”, “Planejamento”, “Financeiro”, “Energia elétrica”, “Compartilhamento de informação”, “Comunicação e notificação”, “Plano inicial e preparação”, “Planejamento”, “Plano contínuo de treinamento”, “Plano de segurança”, “Sistema de teste”, e, “Mitigando os danos” obtiveram grau de importância 10 em todas as questões do quinto nível. Mostrando que o questionário desenvolvido, além de possuir uma fundamentação teórica consistente, expressa uma grande significância e representatividade nas atividades desenvolvidas dentro da autarquia.

Figura 11 – Relevância percentual (em verde) dos setores do quarto nível.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Na Figura 12 é apresentado a relevância dos setores presentes no terceiro nível do modelo. Dentre eles, os setores “Respostas”, “Medidas de proteção”, “Treinamento”, e, “Manutenção das funções essenciais” indicando um percentual de 100% dentro do modelo. Desse modo, como pode ser observado, as questões apresentadas no quinto nível e com alto grau de importância passam a interferir nos níveis com maior abstração.

Figura 12 – Relevância percentual (em verde) dos setores do terceiro nível.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Os setores do segundo nível do modelo, conforme apresentado na Figura 13, não obtiveram uma relevância de 100%, no entanto dois deles apresentam uma relevância acima de 80%. Isso ocorre, pois os setores deste nível são influenciados pelo grau de importância estipulado nos níveis posteriores que não são considerados no momento como prioritários para a autarquia. Com isso, é possível observar os setores como “Treinamento”, “Consciência”, “Medidas de proteção”, “Reserva” e “Respostas” possuem alto grau de importância, o que consequentemente contribui para que a componente “Capacidade de superação” possua uma maior relevância para a autarquia dentre as componentes do segundo nível.

Figura 13 – Relevância percentual (em verde) dos setores do segundo nível.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O gráfico apresentado na Figura 14 mostra a propagação do grau de importância no mais alto nível de abstração, ou seja, o valor obtido para cada questão do quinto nível propaga para os outros. Assim, é possível constatar que o grau de importância fornecido pela autarquia interfere no resultado final de resiliência que será obtido.

Figura 14 – Relevância percentual dos setores (em verde) do primeiro nível.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Ao analisar o primeiro nível do modelo, é possível verificar que apesar das 90 questões terem sido construídas baseada na fundamentação teórica aproximadamente 75% delas possuem um alto grau de relevância para a realidade da empresa. Vale ressaltar, que restante das questões (aproximadamente 25%) possuem relevância, porém seu grau de importância possui um valor menor que 5.

5.2 Análise 2: Aplicação do modelo

Nesta Seção serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação do modelo no DAAE Araraquara, conforme é apresentado no Anexo B (página 81). É possível verificar no gráfico, apresentado na Figura 15, que alguns subsetores do quarto nível do modelo obtiveram 0% de resiliência. Um desses subsetores é o de “Energia elétrica”, visto que a operadora não é auto-suficiente e, em caso de ausência de energia elétrica seus serviços de abastecimento de água podem ser interrompidos. Diante disso, o DAAE Araraquara realizou alguns estudos para verificar a possibilidade de obter energia de outras fontes como biogás e/ou solar. Porém, devido ao alto custo, ficou constatado que por enquanto a empresa não poderia investir nesse projeto.

Outro subsetor com índice de resiliência 0% é o de “Compartilhamento de informação”. Nesse foi constatado que não existe o compartilhamento de informações sobre mudanças climáticas e seus possíveis impactos dentro do DAAE Araraquara bem como entre outras operadoras da bacia. Sabe-se que a difusão de informações auxilia no aprendizado e adaptação aos eventos extremos, melhorando assim o desempenho da autarquia.

Nos subsetores de “Equipamento” e “Comunicação e notificação”, a operadora obteve o índice de resiliência máximo (100%). Visto que ela realiza manutenção de seus equipamentos e possui equipamentos reservas com o objetivo de não interromper seus serviços caso algum equipamento venha a falhar. Além, disso, a autarquia possui uma Assessoria de Comunicação (ASCOM) que tem como função de comunicar todos os afetados

de forma clara e passível de compreensão qualquer problema que ocorra nos serviços de abastecimentos aos consumidores.

Figura 15 – Percentual de resiliência (em verde) obtida no quarto nível

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Na Figura 16, é possível observar o percentual de 0% de resiliência no subsetor de “Manutenção das funções essenciais”, isto se deve ao fato de que a autarquia nunca sofreu impactos decorrentes da crise hídrica. Logo, ela nunca precisou realizar nenhum planejamento visando esse tipo de situação. Como já foi apresentado, anteriormente, 65% do seu abastecimento do município é proveniente de águas subterrâneas o que, até o presente momento, faz com que o DAAE Araraquara seja de certo modo privilegiado. Durante a crise hídrica ocorrida entre 2014-2016, o abastecimento da cidade não passou por momentos críticos. Entretanto, devido a uma solicitação da Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (ARES - PCJ) o município terá que elaborar um “Plano de segurança hídrica”.

Além dos subsetores de “Medidas de proteção” e “Locais alternativos”, o subsetor “Coordenação”, no terceiro nível, é outro que merece destaque. Apesar de ainda apresentar uma resiliência de 38,89% (Figura 16), as atividades que estão em desenvolvimento fortalecem a sua resiliência, como por exemplo o estabelecimento de políticas internas que, mesmo diante de danos ocasionados por eventos extremos, priorizam a universalização, bem como a continuidade e qualidade dos seus serviços. Outra prioridade é a busca por melhorias no sistema de abastecimento considerando as metas do ODS 6. Para isso, são realizadas reuniões com a sociedade, reguladora, prefeito e ONGs nas quais são discutidas quais são as melhores ações para atingir tais objetivos.

Figura 16 – Percentual de resiliência (em verde) obtida no terceiro nível.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Dentre os três componentes-chave da resiliência, o DAAE Araraquara apresentou o melhor índice no item “Recuperação”, com o índice de 40,00% (Figura 17). Isso mostra que existem algumas iniciativas na autarquia para sua rápida recuperação, como o fornecimento de água por meio de caminhões-pipa quando ocorre a interrupção dos serviços. Entretanto, ainda existem pontos com fragilidades que precisam ser trabalhadas para que os impactos de um evento extremo sejam totalmente mitigados e/ou prevenidos. É possível verificar que ainda não existem políticas que visem a punição ou a restrição do uso indevido de água como, por exemplo, a não utilização de água potável durante um evento extremo ou políticas que incentivem o uso de água de reúso.

Figura 17 – Percentual de resiliência (em verde) obtida no segundo nível.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Neste segundo nível o menor índice alcançado foi da componente “Robustez”, com um percentual de 17,07%. Nesta, é possível verificar que a autarquia precisa desenvolver alguns setores de modo a conseguir se preparar e proteger seu sistema de abastecimento de água frente aos possíveis impactos de uma crise hídrica. A questão da energia elétrica, por exemplo, é um ponto importante e que na sua ausência levaria à interrupção dos serviços.

Na componente “Capacidade de superação” é possível verificar o índice de 28,24%. Este que pode ser melhorado com: ações de preparação e treinamento dos funcionários visando uma melhor atuação em situações com impactos de mudanças climáticas; compartilhamento de informações; planejamento; dentre outras. Assim a autarquia irá desenvolver habilidades para se preparar, responder e gerenciar os possíveis danos causados por um evento extremo. Ao fortalecer essa componente consequentemente as outras duas componentes-chave (“Robustez” e “Recuperação”) da resiliência estarão sendo fortalecidas.

O índice de resiliência total do DAAE Araraquara foi de 24,84%, podendo ser melhor observado na Figura 18. Esse valor representa a capacidade do sistema de abastecimento de água manter seus serviços diante de um evento climático (cenário de seca) de acordo com as atividades que são desenvolvidas até o presente momento.

Figura 18 – Percentual de resiliência total (em verde) do DAAE Araraquara.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Embora, os resultados observados não são os melhores, é possível verificar que o DAAE Araraquara vem desenvolvendo ações, como o “Plano de segurança hídrica”, que poderá proporcioná-la uma maior capacidade de: projetar; operar; recuperar; e adaptar de maneira mais eficiente de modo que seu índice de resiliência aumente.

5.3 Dados qualitativos dos resultados obtidos

As Seções 5.1 e 5.2 apresentaram os resultados das análises 1 e 2. Nesta seção estas análises foram comparadas, de modo a facilitar a compreensão da situação atual do DAAE Araraquara considerando a situação ideal dada pelos atores da autarquia. Vale ressaltar que, o grau de importância utilizado em ambas as análises é o mesmo. Entretanto, no primeiro caso foi simulada uma situação na qual todas as atividades eram realizadas e, no segundo foram utilizados os dados reais fornecidos pela autarquia.

A Figura 19, apresenta a relação das atividades realizadas (em rosa) e as atividades que precisam ser executadas (em azul) com relação aos setores prioritários da autarquia. Ao observar o setor de “Manancial” é possível verificar que as atividades desenvolvidas atingem uma porcentagem de 23%, faltando apenas 3% para alcançar uma situação ideal segundo o grau de importância estipulado pela autarquia. Entretanto, existem situações nas quais a diferença entre o ideal e o obtido pelo DAAE chega a 100%, como pode ser observado nos setores: “Mitigando os danos”, “Planejamento”, “Plano contínuo de treinamento”, “Sistema de teste”, “Compartilhamento de informação”, “Plano inicial e preparação”, “Energia elétrica”, e “Suporte”. Essa diferença é reflexo da ausência de ações que podem aumentar a resiliência em tais setores, mostrando assim pontos que necessitam imediata atenção e investimento.

Figura 19 – Comparação das análises 1 e 2 no quarto nível.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Os dados apresentados no gráfico da Figura 20 mostram que apenas o setor “Manutenção das funções essenciais” não possui ação alguma que contribua para resiliência, entretanto esse mesmo setor é considerado de grande importância para a empresa. Observa-se também, que a diferença entre as curvas possuem uma distância menor entre elas, isso ocorre por que o terceiro nível possui um detalhamento menor que o quarto. Assim, é possível verificar que as ações que são desenvolvidas na empresa em setores específicos dão resiliência para a autarquia quando analisada em um contexto mais amplo, diminuindo a diferença entre a situação real e a almejada.

Figura 20 – Comparação das análises 1 e 2 no terceiro nível.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

De acordo com a comparação das análises 1 e 2 no segundo nível, ilustrada na Figura 21, é possível verificar que a autarquia ainda não alcançou a meta que ela considera ideal conforme o grau de importância estipulado. Entretanto, a diferença entre o obtido e o esperado não possui uma amplitude muito grande, como acontece nos níveis posteriores, onde essa diferença chega a 100%.

A componente “Capacidade de superação” é a que possui a maior diferença entre as situações analisadas, totalizando 63,23%. Essa discrepância se deve a não realização de atividades que irão reduzir a vulnerabilidade de alguns setores como: “Energia elétrica” e “Compartilhamento de informação”, dentre outros.

Figura 21 – Comparação das análises 1 e 2 no segundo nível.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O DAAE Araraquara possui uma resiliência de 24,84%, como exibido na Figura 22. Se a autarquia desenvolvesse todas as atividades questionadas no modelo e, considerando o grau de importância estipulado pelos atores envolvidos sua resiliência seria de 75,22%. Pode se notar que, os atores já consideram importantes a grande maioria das atividades questionadas no modelo que irão possibilitar uma maior resiliência para a empresa diante de um cenário de seca. É possível verificar que a autarquia em seus planejamentos possui projetos a médio e longo prazo que irão diminuir sua vulnerabilidade, e, conseqüentemente aumentar o índice obtido na análise 2.

Figura 22 – Comparação das análises 1 e 2 no primeiro nível.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

É importante reforçar que este modelo deve ser adaptado para a realidade da autarquia, pois de acordo com essa os setores deverão ser analisados. Assim, é possível considerar quais são os setores que dentro da autarquia possui maior relevância e precisam de maior atenção.

Capítulo 6

Conclusões

O clima está mudando, principalmente, em decorrência das pressões antrópicas. Com isso, os serviços de abastecimento de água provavelmente serão fortemente impactados com os períodos mais longos de seca. Devido a isso, a população e a autarquia poderão sofrer com as interrupções no fornecimento de água e prejuízos econômicos, por exemplo.

Com base nos recentes artigos e relatórios do IPCC, sobre os possíveis impactos relacionados às mudanças climáticas, se faz necessário planejar estratégias de prevenção e proteção do sistema de abastecimento de água. De fato, esse sistema é essencial para o bem-estar da sociedade, por isso é de suma importância a sua adaptação às condições climáticas com o objetivo de diminuir a vulnerabilidade social e econômica.

Nesse contexto, é de extrema importância a existência de uma ferramenta que permita avaliar quais setores são mais vulneráveis frente às variabilidades climáticas e o que contribui para essa vulnerabilidade. Assim, os atores envolvidos poderão planejar, implementar e gerenciar as ações para que o sistema se torne mais sustentável e resiliente diante de um contexto de incertezas.

Visto a ausência de uma ferramenta que possa medir e avaliar a resiliência de uma operadora de saneamento no cenário nacional, esse projeto de mestrado buscou propor uma solução que preencha essa lacuna. Assim, foram estudadas as ferramentas já existentes a nível mundial, bem como as características dos SAA&ES e do clima brasileiro, visando a compreensão do contexto nacional.

O modelo *The Argonne National Laboratory Resilience Index* - ANLRI que foi desenvolvido pelo *Argonne National Laboratory* para estimar a resiliência da infraestrutura crítica e seus subsetores sofreu modificações. Desse modo, foi possível incorporar os pontos citados anteriormente para que o modelo proposto ficasse melhor moldado ao cenário no qual ele foi aplicado. Assim, é possível responder as questões propostas no final da Seção 1 (página 26). Portanto, o presente trabalho realizou adaptações no ANLRI, visto que este possui características importantes que facilitaram sua reprodutibilidade, tais como

facilidade de compreensão e alta representatividade.

Essas adaptações foram realizadas visando a aplicação do modelo para avaliar a resiliência do sistema de abastecimento de água do município de Araraquara, considerando seu abastecimento superficial e o cenário de seca. Durante esse processo, foram incorporadas no modelo questões de sustentabilidade ao incluir os princípios presente no “Modelo de indicadores de Balaton”, “Pontos de alavancagem sistêmica” e “Princípios de Gibson”. Assim, os seis pontos críticos da resiliência (“projetar”, “operar”, “recuperar”, “aprender”, “adaptar” e “manter”), mostrados anteriormente, foram inseridos no questionário de maneira direta ou indiretamente.

Com o modelo adaptado para as condições na qual o DAAE Araraquara se encontra, é possível verificar que com a sua aplicação a autarquia é capaz de avaliar quais são os setores prioritários, bem como a resiliência do sistema de abastecimento de água (da captação ao ramal domiciliar). Permitindo assim, um melhor planejamento e direcionamento dos investimentos de suas atividades.

De modo a averiguar quais são os setores prioritários da autarquia analisou-se os graus de importância das questões. Com isso, observou-se que mais de 70% das questões são consideradas de grande importância, obtendo o valor 10. Se destacaram os setores de “Coordenação externa”, “Equipamentos”, “Suporte”, “Planejamento”, “Financeiro”, “Energia elétrica”, “Compartilhamento de informação”, “Comunicação e notificação”, “Plano inicial e preparação”, “Planejamento”, “Plano contínuo de treinamento”, “Plano de segurança”, “Sistema de teste”, e, “Mitigando os danos”. Esses apresentam questões que verificam ações que podem ser realizadas a curto prazo ou longo prazo, como por exemplo, possuir caminhões pipas para o atendimento da população em caso de um evento adverso ou a existência de um projeto de para obtenção e utilização de energia solar ou biogás.

Os setores que apresentam as maiores fragilidades são “Suporte”, “Financeiro”, “Energia elétrica”, “Plano inicial e preparação”, “Compartilhamento de informação”, “Sistema de teste”, “Plano contínuo de treinamento”, “Planejamento” e, “Mitigando Danos”. Assim, as informações obtidas podem ser utilizadas na elaboração e planejamento de projetos futuros para esses e outro setores, como o “Plano de segurança hídrica”, bem como pode servir de justificativa para investimentos como a obtenção de energia solar ou biogás.

As análises apresentadas neste estudo elucidam que o cálculo da resiliência com o uso do modelo proposto facilita a visualização (por meio de pontos atribuídos a cada questão) de quais componentes possuem maior vulnerabilidade. Com isso, o DAAE Araraquara pode compreender melhor quais são os setores que precisam de maior atenção e investimentos.

O modelo possibilitou também a análise da diferença entre os setores que a autarquia considera de grande relevância no momento e as ações que vêm sendo desenvolvidas. Desse

modo, foi possível verificar que o DAAE Araraquara atualmente possui uma pontuação de 24,84% de resiliência e almeja atingir um índice de 75,49%. É necessário ressaltar que a autarquia vem desenvolvendo ações que visam impactar significativamente a resposta de algumas perguntas aumentando assim sua resiliência. A elaboração do “Plano de segurança hídrica” e os “Estudos sobre a obtenção de energia solar” são exemplos de algumas dessas atividades que estão sendo realizadas.

Outro ponto positivo do modelo proposto está relacionado com a facilidade obter as respectivas respostas para as perguntas propostas. Apesar da quantidade de perguntas, quando questionados sobre a dificuldade em obter as respostas, os atores envolvidos relataram que não houve dificuldade alguma.

É necessário enfatizar, que o modelo não indica qual a tomada de decisão que precisa ser realizada para que ocorra o aumento da resiliência. Entretanto, é possível averiguar quais pontos devem ser tratados com maior atenção, auxiliando os gestores na avaliação dos pontos mais críticos no momento em que o modelo foi aplicado.

Por fim, os resultados apresentados aqui representam a resiliência parcial do DAAE Araraquara. Visto que, o modelo foi desenvolvido e aplicado considerando apenas a captação por meio das águas superficiais. Essa forma de abastecimento representa 35% do total de água utilizada no serviço de abastecimento do município.

Capítulo 7

Trabalhos Futuros

O modelo de avaliação de resiliência apresentado nesse trabalho é um modelo preliminar e que deve continuar sendo desenvolvido. A avaliação da resiliência é uma tarefa muito complexa que melhor se define nos detalhes. Desse modo, existe a necessidade de adaptações para cada caso, visto que não é possível ter um modelo único com perguntas fixas que poderá ser utilizado em todas as situações.

Alguns pontos são importantes para que o desenvolvimento desse modelo alcance uma maior acurácia em seus resultados. Um desses pontos é a participação de uma equipe multidisciplinar como por exemplo: meteorologistas, engenheiros, gestores e hidrologistas. Além disso, é necessário que ocorra a sua aplicação em outras cidades para um maior refinamento no grau de importância das perguntas, pois este influenciará no índice de resiliência.

Para promover uma abordagem mais detalhada dos eventuais problemas a serem levantados é necessário especificar ainda mais as perguntas que compõem o quinto nível. Além disso, é essencial a expansão do modelo de modo a considerar o abastecimento por meio de águas subterrâneas e cenários como inundações. Outro ponto importante, é a avaliação do comportamento econômico e social do município para que assim se analise as demandas, bem como o uso e a ocupação do solo.

Referências

- ABREU, R. L. de. **Map locator of São Paulo's Araraquara city**. 2006. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SaoPaulo{_}Municip{_}Araraqua>. Acesso em: 06 de maio de 2019.
- AMARASINGHE, P.; LIU, A.; EGODAWATTA, P.; BARNES, P.; MCGREE, J.; GOONETILLEKE, A. Quantitative assessment of resilience of a water supply system under rainfall reduction due to climate change. **Journal of hydrology**, Elsevier B.V., v. 540, p. 1043–1052, 2016.
- (AMCOW; GPW) CONSELHO MINISTERIAL AFRICANO SOBRE A ÁGUA e PARCERIA MUNDIAL PARA A ÁGUA. **Segurança da água e desenvolvimento resiliente às alterações climáticas. Documento técnico de referência**. Nigéria/África, 2013. 149 p.
- (ARES-PCJ) Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Relatório de fiscalização técnica dos sistemas de água e esgoto do município de Araraquara**. Americana/SP, 2014. 1–55 p.
- BATES, B.; KUNDZEWICZ, Z.; WU, S.; PALUTIKOF, J. **Climate change and water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Genebra/Suíça, 2008. 1–214 p.
- BEAUGRAND, G.; EDWARDS, M.; RAYBAUD, V.; GOBERVILLE, E.; KIRBY, R. R. Future vulnerability of marine biodiversity compared with contemporary and past changes. **Nature climate change**, v. 5, p. 695–704, 2015.
- BERNARDO, L. D.; DANTAS, A. D. B. Tecnologias de tratamento. In: **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos/SP: RiMa Editora, 2005. cap. 2, p. 5–40.
- BRANDÃO, C. R.; BORGES, M. C. A pesquisa participante: um momento da educação popular. **Revista de Educação Popular**, v. 6, p. 51–62, 2007.
- BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007. Diretrizes nacionais para o saneamento básico**. [S.l.]: Diário da República, 2007. 1–86 p.
- BRASIL. **Lei Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)**. [S.l.]: Diário da República, 2009.
- BRASIL. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. [S.l.]: Diário da República, 2011.

- BRITTO, A. L.; FORMIGA-JOHNSON, R. M. Mudanças climáticas , saneamento básico e governança da água na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. In: **V Encontro nacional da Anppas**. Florianópolis/SC: [s.n.], 2010. p. 1–17.
- BUSCHBACHER, R. A teoria da resiliência e os sistemas socioecológicos : Como se preparar para um futuro imprevisível? **Boletim regional, urbano e ambiental**, v. 09, n. 2003, p. 11–24, 2014.
- (CBH-MOGI) Comitê da bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2018 (ano base 2017)**. [S.l.], 2018. 1–155 p.
- (CBH-TJ) Comitê da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré. **Plano da bacia hidrográfica Tietê-Jacaré - Relatório II**. [S.l.], 2018. 1–326 p.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 4. ed. São Paulo/SP: Markon books, 1996. 2009 p.
- COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. **Theoretical and applied climatology**, v. 125, n. 3-4, p. 769–784, 2016.
- COLLIS, J.; RUSSEY, R. **Pesquisa em administração: Um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação**. Porto Alegre/RS: Bookman, 2005. 349 p.
- DELEVAUX, J. M. S.; JUPITER, S. D.; STAMOULIS, K. A.; BREMER, L. L.; WENGER, A. S.; DACKS, R.; GARROD, P.; FALINSKI, K. A.; TICKTIN, T. Scenario planning with linked land-sea models inform where forest conservation actions will promote coral reef resilience. **Scientific reports**, Springer US, v. 8, n. 1, p. 1–21, 2018.
- DELPLA, I.; JUNG, A.; BAURES, E.; CLEMENT, M.; THOMAS, O. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. **Environment international journal**, Elsevier Ltd, v. 35, p. 1225–1233, 2009.
- DIAO, K.; SWEETAPPLE, C.; FARMANI, R.; FU, G.; WARD, S.; BUTLER, D. Global resilience analysis of water distribution systems. **Water research**, Elsevier Ltd, v. 106, p. 383–393, 2016.
- DOLAN, A. M.; De Boer, B.; BERNALES, J.; HILL, D. J.; HAYWOOD, A. M. High climate model dependency of Pliocene Antarctic ice-sheet predictions. **Nature communications**, Springer US, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2018.
- DOTTORI, F.; SZEWCZYK, W.; CISCAR, J.-C.; ZHAO, F.; ALFIERI, L.; HIRABAYASHI, Y.; BIANCHI, A.; MONGELLI, I.; FRIELER, K.; BETTS, R. A.; FEYEN, L. Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming. **Nature climate change**, Springer US, 2018.
- (EPA) ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Systems measures of water distribution system resilience**. Cincinnati/OH, 2015. 1–59 p.
- FISCHER, E. M.; KNUTTI, R. Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. **Nature climate change**, Nature publishing group, v. 6, n. 11, p. 986–992, 2016.

FISHER, R.; BASSETT, G.; BUEHRING, W.; COLLINS, M.; DICKINSON, D.; EATON, L.; HAFFENDEN, R.; HUSSAR, N.; KLETT, M.; LAWLOR, M.; MILLER, D.; PETIT, F.; PEYTON, S.; WALLACE, K.; WHITFIELD, R.; PEERENBOOM, J. **Constructing a resilience index for the enhanced critical infrastructure protection program**. Oak Ridge/TN, 2010. 1– 44 p.

GALVÃO JUNIOR, A. C. Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. **Revista panamericana de salud publica/ Pan american journal of public health**, v. 25, n. 6, p. 548–556, 2009.

(GEX-CIM) GRUPO EXECUTIVO DO COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA. **Plano nacional de adaptação à mudança do clima (PNA)**. Brasília/DF, 2015. I, 67 p.

GIBSON, R. B. Beyond the pillars: Sustainability assessment as a framework for effective integration of social, economic, and ecological considerations in significant decisions making. **Journal of environmental assessment policy and management**, v. 8, n. 3, p. 259–280, 2006.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo/SP: Editora Atlas S.A, 2008. 216 p.

GOMES, H. P. Elementos básicos para a elaboração de projetos de abastecimento de água. In: **Sistemas de abastecimento de água: Dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias**. 2. ed. João Pessoa/PB: [s.n.], 2004. cap. 1, p. 11–46.

HASEGAWA, T.; FUJIMORI, S.; HAVLÍK, P.; VALIN, H.; BODIRSKY, B. L.; DOELMAN, J. C.; FELLMANN, T.; KYLE, P.; KOOPMAN, J. F.; LOTZE-CAMPEN, H.; MASON-D'CROZ, D.; OCHI, Y.; Pérez Domínguez, I.; STEHFEST, E.; SULSER, T. B.; TABEAU, A.; TAKAHASHI, K.; TAKAKURA, J.; MEIJL, H. van; ZEIST, W. J. van; WIEBE, K.; WITZKE, P. Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. **Nature climate change**, Springer US, v. 8, p. 699–705, 2018.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria. **Water resources**, v. 18, n. 1, p. 14–20, 1982.

HOEGH-GULDBERG, O.; MUMBY, P. J.; HOOTEN, A. J.; STENECK, R. S.; GREENFIELD, P.; GOMEZ, E.; HARVELL, C. D.; SALE, P. F.; EDWARDS, A. J.; CALDEIRA, K.; KNOWLTON, N.; EAKIN, C. M.; IGLESIAS-PRIETO, R.; MUTHIGA, N.; BRADBURY, R. H.; DUBI, A.; HATZIOLOS, M. E. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. **Science**, v. 318, p. 1737–1742, 2007.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, p. 1–23, 1973.

HOWARD, G.; CHARLES, K.; POND, K.; BROOKSHAW, A.; HOSSAIN, R.; BARTRAM, J. Securing 2020 vision for 2030 : climate change and ensuring resilience in water and sanitation services. **Jornal of water and climate change**, p. 1–15, 2010.

(IBGE) INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 05 de abril de 2019.

(IPCC) INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of working Group II to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** New York/USA, 2014.

(IPCC) INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: Synthesis report. contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)].** Geneva/Switzerland, 2014. 1–169 p.

KHAN, S. J.; DEERE, D.; LEUSCH, F. D. L.; HUMPAGE, A.; JENKINS, M.; CUNLIFFE, D. Extreme weather events : Should drinking water quality management systems adapt to changing risk profiles? **Water research**, Elsevier Ltd, v. 85, p. 124–136, 2015.

KING, A. D.; BLACK, M. T.; MIN, S.-K.; FISCHER, E. M.; MITCHELL, D. M.; HARRINGTON, L. J.; PERKINS-KIRKPATRICK, S. E. Emergence of heat extremes attributable to anthropogenic influence. **Geophysical research letters**, v. 43, p. 3438–3443, 2016.

LEITE, F. **Cantareira volta a nível anterior à crise.** 2016. O Estado de S. Paulo p. Disponível em: <<https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,cantareira-volta-a-nivel-anterior-a-crise,10000075130>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

LIU, D.; CHEN, X.; NAKATO, T. Resilience assessment of water resources system. **Water resources management**, v. 26, n. 13, p. 3743–3755, 2012.

LOBEL, F. **Robusto, sistema Cantareira volta a nível anterior à crise da água.** 2017. Disponível em: <<http://folha.com/no1854755>>. Acesso em: 20 de abril 2018.

LUH, J.; ROYSTER, S.; SEBASTIAN, D.; OJOMO, E.; BARTRAM, J. Expert assessment of the resilience of drinking water and sanitation systems to climate-related hazards. **Science of the total environment**, Elsevier B.V., v. 592, p. 334–344, 2017.

MARTINS, R. **A seca já começou a afetar a economia.** 2015. Disponível em: <<https://www.cartacapital.com.br/revista/835/a-seca-da-economia-4105.html>>. Acesso em: 18 de junho de 2018.

MARTINS, R. D. Governança climática nas cidades: Reduzindo vulnerabilidades e aumentando resiliência. **Revista geográfica acadêmica**, v. 4, p. 5–18, 2010. ISSN 16787226.

MEADOWS, D. **Indicators and information systems for sustainable development.** [S.l.], 1998. 1–95 p.

MEADOWS, D. H. Leverage points: Places to intervene in a system. **The sustainability institute**, p. 1–21, 1999.

(MMA & GF) MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E GOVERNO FEDERAL. **Plano nacional de adaptação à mudança climática.** Brasília/DF, 2016. 1–59 p.

- (MSG) MICHIGAN SEA GRANT. **Climate variability and climate change**. Michigan, 2010. Disponível em: <<http://www.miseagrant.umich.edu/wp-content/blogs.dir/1/files/2012/05/11-703-Climate-Variability-and-Climate-Change-2013update.pdf>>. Acesso em: 22 de abril de 2018.
- NHAMO, G.; NHEMACHENA, C.; NHAMO, S. Science of the total environment is 2030 too soon for Africa to achieve the water and sanitation sustainable development goal? **Science of the Total Environment**, Elsevier B.V., v. 669, p. 129–139, 2019.
- OLIVEIRA, G. S. de; NOBRE, C. A. Mudanças Climáticas. In: **Mudanças Climáticas e Mudanças Socioambientais Globais: reflexão sobre alternativas de futuro**. Brasília - DF: UNESCO, IBECC, 2008. cap. 1, p. 15–32.
- OLIVEIRA, R. P. de; MATOS, J. S.; MONTEIRO, A. J. Managing the Urban Water Cycle in a Changing Environment. **Water Utility Journal**, v. 9, p. 1 – 9, 2015.
- PAGELER, M. **Perspectives on water and climate change adaptation: Local government perspective on adapting water management to climate change**. [S.l.], 2009. 4–13 p.
- PALL, P.; AINA, T.; STONE, D. A.; STOTT, P. A.; NOZAWA, T.; HILBERTS, A. G. J.; LOHMANN, D.; ALLEN, M. R. Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. **Nature**, v. 470, n. 7334, p. 382–386, 2011.
- PARENTE, J.; PEREIRA, M. G.; AMRAOUI, M.; FISCHER, E. M. Heat waves in Portugal: Current regime, changes in future climate and impacts on extreme wildfires. **Science of the total environment**, Elsevier B.V., v. 631-632, p. 534–549, 2018.
- PHILIPPI JR., A.; MAGLIO, I. C.; COIMBRA, J. d. Á. A.; ROBERTO. **Municípios e meio ambiente: Perspectivas para a municipalização da gestão ambiental no Brasil**. São Paulo/SP: Associação Nacional de Municípios e Meio Ambiente (ANAMMA), 1999. 1 – 203 p.
- PHILIPPI JR., A.; MARTINS, G. Águas de abastecimento. In: **Saneamento, saúde e ambiente. Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri/SP: Editora Manole Ltda., 2005. cap. 5, p. 117–180.
- (PMA) Prefeitura Municipal de Araraquara e (WALM) Engenharia e tecnologia ambiental. **Plano municipal de saneamento básico**. Araraquara/SP, 2014. 1–376 p.
- (SABESP) COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO. **Sistema equivalente: Para o sistema equivalente do Cantareira são considerados os reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha**. 2016. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/mananciais/BalancoHEq.aspx>>. Acesso em: 25 de abril de 2018.
- SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de pesquisa**. 3. ed. São Paulo/SP: McGraw-Hill, 2006. 583 p.
- SCHIERMEIER, Q. Climate as culprit. **Nature**, Munich - Germany, p. 1–3, 2018.
- SCHLEUSSNER, C. F.; LISSNER, T. K.; FISCHER, E. M.; WOHLAND, J.; PERRETTE, M.; GOLLY, A.; ROGELJ, J.; CHILDERS, K.; SCHEWE, J.; FRIELER, K.; MENGEL, M.; HARE, W.; SCHAEFFER, M.; HARE, W.; SCHAEFFER, M. Differential climate

- impacts for policy-relevant limits to global warming: The case of 1.5°C and 2°C. **Earth system dynamics**, v. 7, n. 2, p. 327–351, 2016.
- SHAH, H. L.; MISHRA, V. Hydrologic changes in Indian subcontinental river basins (1901–2012). **Journal of hydrometeorology**, v. 17, n. 10, p. 2667–2687, 2016.
- SHIN, S.; ID, S. L.; JUDI, D. R.; PARVANIA, M.; MCPHERSON, T.; BURIAN, S. J. A systematic review of quantitative resilience measures for water infrastructure systems. **Water**, v. 10, p. 1–25, 2018.
- (SNIS) SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2016**. Brasília/DF, 2018. 1–220 p.
- STOTT, P. A.; TETT, S. F. B.; JONES, G. S.; ALLEN, M. R.; INGRAM, W. J.; MITCHELL, J. F. B. Attribution of twentieth century temperature change to natural and anthropogenic causes. **Climate dynamics**, v. 17, p. 1–21, 2001.
- TAYLOR, k. E.; PENNER, J. E. Response of the climate system to atmospheric aerosols and greenhouse gases. **Nature**, v. 369, p. 734–737, 1994.
- TOZONI-REIS, M. F. d. C. **Metodologia de pesquisa**. 2. ed. Curitiba/PR: IESDE Brasil S. A., 2010. 192 p.
- (UN) UNITED NATIONS. **Progress towards the Sustainable Development Goals**. [S.l.], 2017. 1–19 p.
- VESILIND, P. A. Fornecimento e tratamento de água. In: **Introdução a engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo/SP: Cengage Learning, 2013. cap. 9, p. 179–220.
- VOUSDOKAS, M. I.; MENTASCHI, L.; VOUKOUVALAS, E.; BIANCHI, A.; DOTTORI, F.; FEYEN, L. Climatic and socioeconomic controls of future coastal flood risk in Europe. **Nature climate change**, Springer US, p. 1–9, 2018.
- WALKER, B.; SALT, D. **Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world**. Washington/USA: Island press, 2006. 174 p.
- WATSON, R. T.; RODHE, H.; OESCHGER, H.; SIEGENTHALER, U. Greenhouse gases and aerosols. In: **Climate Change: The IPCC scientific assessment**. New York - USA: Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990. cap. 1, p. 1–40.
- (WHO, UNICEF) WORLD HEALTH ORGANIZATION AND UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND. **Progress on drinking water, sanitation and hygiene**. Suíça, 2017. 1 – 116 p.
- (WHO) WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Summary and policy implications Vision 2030 : the resilience of water supply and sanitation in the face of climate change**. Geneva/Switzerland, 2009. 1–48 p.
- WU, H. C.; DISSARD, D.; DOUVILLE, E.; BLAMART, D.; BORDIER, L.; TRIBOLLET, A.; Le Cornec, F.; PONS-BRANCHU, E.; DAPOIGNY, A.; LAZARETH, C. E. Surface ocean pH variations since 1689 CE and recent ocean acidification in the tropical South Pacific. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2018.
- YIN, R. k. **Case study research and applications: design and methods**. 6. ed. Los Angeles/USA: SAGE, 2018. 352 p.

Apêndices

APÊNDICE A

Modelo de avaliação de resiliência

O modelo de avaliação de resiliência completo é
apresentado a seguir.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
	Robustez	Redundância	Manancial	Durante um evento extremo consegue abastecer as necessidades do município?
				Possui ações de recuperação/preservação dos mananciais?
				Precisa importar água para suprir as necessidades da cidade?
				Faz monitoramento hidrológico em seus mananciais?
				A empresa possui mais de um manancial?
			Captação	O número de geradores existentes é suficiente?
				Possui geradores?
				Realiza reparos proativos?
				Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.
				As bombas utilizadas conseguem manter sua função contínua durante um evento extremo?
			Adução	As bombas utilizadas conseguem manter sua função contínua durante um evento extremo?
				Possui geradores?
				O número de geradores existentes é suficiente para o sistema de adução?
				Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.
				Realiza reparos proativos nas estações?
			Tratamento	O número de ETAs existentes são suficientes para o abastecimento de toda a população do município?
				Realiza constantemente as análises de qualidade da água?
				Possui geradores?
				O número de geradores existentes são suficientes para todas as ETAs do município?
				As bombas utilizadas conseguem manter sua função contínua durante um evento extremo?
				Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.
				Com a capacidade dos reservatórios existentes, a empresa consegue atender a população por uma semana durante um evento extremo?
			Reservatório	Realiza reparos proativos?
				Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.
				A empresa realiza reparos proativos?
			Redes de distribuição	Possui um plano de controle sobre as perdas de água distribuída?
				Existe o monitoramento da pressão?
				É possível manter a pressão constante durante um evento extremo?
				Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.
				Os serviços de abastecimento são contínuos?

	Ramal domiciliar	<p>Durante um evento extremo a empresa possui um plano para que o abastecimento não seja interrompido?</p> <p>A empresa consegue atender 100% da população do município?</p> <p>Existe algum plano visando manter qualidade da água dentro dos padrões estabelecidos para o abastecimento mesmo durante uma crise?</p>
Prevenção	Mitigando os danos	Existe algum planejamento que permitirá que os serviços de abastecimento não seja interrompido por mais de 5 dias?
		Visto o período de estiagem ocorrido entre 2014 e 2016 a empresa vem desenvolvendo ações que visam minimizar o possível impacto de um novo período de estiagem?
	Proteção de dependências	Existe um meio de comunicação eficiente entre os funcionários durante um evento extremo?
		A infraestrutura da empresa possui um design pensando em não permitir danos as mesmas diante de eventos extremos?
		Existe um local em que os produtos químicos podem ser armazenados estrategicamente em caso de um evento extremo?
Manutenção das funções essenciais	Planejamento	<p>Após a água ser tratada existe um lugar em que a mesma pode ficar reservada por um longo período sem sua contaminação?</p> <p>Existem ações planejadas e já testadas que serão executadas em caso de uma situação emergencial?</p> <p>Existe um planejamento para que ocorra a continuidade dos serviços em situações adversas?</p>
Treinamento	Plano contínuo de treinamento	A empresa fornece treinamento para todos os funcionários visando um evento extremo?
		Existe uma periodicidade nos treinamentos?
		Existe algum treinamento visando a não interrupção dos serviços devido a falta de energia elétrica?
	Plano de segurança	Existe um plano de segurança hídrica?
		Em caso de um evento extremo a empresa consegue realizar ações imediatas que irão minimizar o impacto de tal evento?
		Existe um plano de segurança para funcionários diante de eventos adversos?
	Sistema de teste	A empresa já realizou alguma ação/planejamento visando a falta de energia?
		A empresa já simulou/realizou racionamento visando testar uma situação de estiagem em que o serviço de distribuição de água fosse interrompido?

Resiliência

Capacidade de superação

Consciência	Vulnerabilidade	A empresa consegue atender a demanda das áreas com maior vulnerabilidade?
		Em caso de eventos extremos é possível atender a população de aglomerados subnormais?
	Compartilhamento de informação	A empresa se preocupa em conscientizar os funcionários sobre as mudanças/variabilidade climáticas?
		Existe compartilhamento de informações entre as empresas de saneamento sobre possíveis medidas para mitigar os impactos causados por um evento extremo?
Medidas de Proteção	Comunicação e notificação	Existe compartilhamento de informações entre as empresas de saneamento sobre as mudanças climáticas e seus possíveis impactos no setor de saneamento?
		As ações a serem tomadas como resposta é comunicada a todos os afetados de forma clara e passível de compreensão?
	Plano inicial e preparação	Existe algum setor para monitorar e comunicar possíveis eventos extremos?
		Existe uma equipe multidisciplinar responsável pelo por planos de ações/políticas a médio e longo prazo que visem mitigar os impactos das mudanças climáticas?
Reserva	Energia elétrica	A empresa realiza workshops e eventos que visam a sensibilização da comunidade quanto ao uso consciente da água?
		Existe algum projeto de para obtenção e utilização de energia renovável? Ex: solar ou biogás.
	Produtos	A empresa de energia possui mais de um tipo de fonte de energia que consegue atender suas necessidades no caso de ausência de energia elétrica?
		Em uma situação emergencial a empresa possui o plano de ação com relação ao armazenamento dos produtos químicos?
Respostas	Financeiro	Existe uma quantidade suficiente de materiais (cloro, tubos, etc) essenciais para que o abastecimento de água não seja interrompido diante de um evento adverso?
		A empresa consegue continuar seu atendimento caso uma crise afete sua economia?
	Planejamento	Em uma situação de crise hídrica, a empresa consegue não ser afetada financeiramente?
		As respostas a um evento extremo fazem parte de um plano de ação emergencial desenvolvido dentro da empresa?

		O planejamento das atividades não sofre interrupção devido a um evento extremo?
Novos recursos	Segurança	<p>A empresa possui uma equipe de emergência que pode ser acionada em casos extremos?</p> <p>A equipe de emergência recebe treinamentos juntamente com todos os funcionários visando solucionar problemas que são decorrentes das mudanças climáticas?</p>
	Produtos similares	Em casos emergenciais é possível a substituição dos produtos químicos utilizados normalmente por produtos similares?
Locais alternativos	Suporte	Devido a um evento extremo a empresa possui parceria com outra empresa para não deixar de realizar suas atividades com qualidade e responsabilidade?
		Existe algum planejamento logístico da empresa caso alguma de suas sedes, estações de tratamento sejam afetadas?
	Equipamento	A empresa faz manutenção dos seus equipamentos?
		Existem equipamentos reserva ou maneira de realizar a conserto de modo que a empresa não perca sua capacidade de manter a função essencial em caso dano devido a um evento extremo?
	Modo alternativo de obter produtos	Existem outras regiões que a água possa ser obtida em caso de um evento extremo?
		Existem outros fornecedores de produtos químicos?
Restauração	Perdas devido a desastre naturais	A empresa consegue prever as perdas que podem ocorrer diante de um período longo de estiagem?
		A empresa mantém seus serviços de fornecimento de água mesmo diante de um evento extremo?
		A população do município não foi afetada negativamente devido a interrupção dos serviços de fornecimento de água devido a eventos extremos?
	Características de restauração	Em uma situação de crise financeira decorrente dos efeitos de um evento extremo a empresa consegue comprar novos materiais para que assim volte ao seu estado de atendimento normal?
		A empresa realiza reuniões com a comunidade e outros atores para que assim decidam juntos a melhor maneira de retorno as atividades normais considerando os princípios de sustentabilidade?

Recuperação	Coordenação		Enquanto a restauração dos setores que realizam o abastecimento de água não ocorre, a população tem o abastecimento por outros meios que não seja o convencional? Ex: caminhões pipas.
		Coordenação interna:	Existe alguma política interna da empresa que priorize as questões da universalização, bem como a garantia da continuidade e qualidade dos serviços mesmo frente a eventos extremos?
			A empresa aplica multas para quem gastar mais que um limite de água previamente estabelecido, bem como realiza fiscalização para verificar se há desperdício de água?
			A empresa possui alguma política de punição e restrições para o uso indevido de água? Por exemplo: lavar carros ou calçadas em períodos de estiagem ou não utilizando água potável.
			A empresa possui alguma política de incentivo a redução do consumo?
			A empresa se reúne com a sociedade, bem como com a reguladora, prefeito do município e ONGs buscando cumprir e aprimorar seu compromisso de atingir o ODS 6 mesmo diante de uma situação adversa?
			A empresa visa melhorias contínuas no sistema de abastecimento de água considerando as metas do ODS 6 e as alterações climáticas de modo a fornecer oportunidades para que as próximas gerações tenham acesso a esse abastecimento independente da situação climática?
			Existe alguma política que incentive o uso de água de reúso quando possível?
		Coordenação externa	Frente a impacto causado por um evento extremo a empresa consegue manter os serviços mínimos de abastecimento. Por exemplo, possui um número suficiente de caminhões pipas?
			Existe alguma regulamentação, no âmbito municipal para o consumo e comercialização da água de reúso?

APÊNDICE B

Questões do Quinto Nível

As questões a seguir compõem o quinto nível do modelo,
apresentado na Tabela 4.

Nível 4	Nível 5	Realiza ações relacionadas ao nível 5 (0 ou 1)
Manancial	Durante um evento extremo consegue abastecer as necessidades do município?	0,5
	Possui ações de recuperação/preservação dos mananciais?	1
	Precisa importar água para suprir as necessidades da cidade?	0
	Faz monitoramento hidrológico em seus mananciais?	1
	A empresa possui mais de um manancial?	1
Captação	O número de geradores existentes é suficiente?	0
	Possui geradores?	0
	Realiza reparos proativos?	1
	Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.	0
	As bombas utilizadas conseguem manter sua função contínua durante um evento extremo?	0,5
Adução	As bombas utilizadas conseguem manter sua função contínua durante um evento extremo?	0,5
	Possui geradores?	0
	O número de geradores existentes é suficiente para o sistema de adução?	0
	Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.	0
Tratamento	Realiza reparos proativos nas estações?	1
	O número de ETAs existentes são suficientes para o abastecimento de toda a população do município?	0,5
	Realiza constantemente as análises de qualidade da água?	1
	Possui geradores?	0
	O número de geradores existentes são suficientes para todas as ETAs do município?	0
	As bombas utilizadas conseguem manter sua função contínua durante um evento extremo?	0,5
	Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.	0

Reservatório	Com a capacidade dos reservatórios existentes, a empresa consegue atender a população por uma semana durante um evento extremo?	0
	Realiza reparos proativos?	1
	Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.	0
Redes de distribuição	A empresa realiza reparos proativos?	1
	Possui um plano de controle sobre as perdas de água distribuída?	1
	Existe o monitoramento da pressão?	1
	É possível manter a pressão constante durante um evento extremo?	0,5
	Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.	0
Ramal domiciliar	Os serviços de abastecimento são contínuos?	1
	Durante um evento extremo a empresa possui um plano para que o abastecimento não seja interrompido?	0
	A empresa consegue atender 100% da população do município?	1
	Existe algum plano visando manter qualidade da água dentro dos padrões estabelecidos para o abastecimento mesmo durante uma crise?	0
Mitigando os danos	Existe algum planejamento que permitirá que os serviços de abastecimento não seja interrompido por mais de 5 dias?	0
	Visto o período de estiagem ocorrido entre 2014 e 2016 a empresa vem desenvolvendo ações que visam minimizar o possível impacto de um novo período de estiagem?	0
Proteção de dependências	Existe um meio de comunicação eficiente entre os funcionários durante um evento extremo?	1
	A infraestrutura da empresa possui um design pensando em não permitir danos as mesmas diante de eventos extremos?	0
	Existe um local em que os produtos químicos podem ser armazenados estrategicamente em caso de um evento extremo?	1
	Ápos a água ser tratada existe um lugar em que a mesma pode ficar reservada por um longo período sem sua contaminação?	1

Planejamento	Existem ações planejadas e já testadas que serão executadas em caso de uma situação emergencial?	0
	Existe um planejamento para que ocorra a continuidade dos serviços em situações adversas?	0
Plano contínuo de treinamento	A empresa fornece treinamento para todos os funcionários visando um evento extremo?	0
	Existe uma periodicidade nos treinamentos?	0
	Existe algum treinamento visando a não interrupção dos serviços devido a falta de energia elétrica?	0
Plano de segurança	Existe um plano de segurança hídrica?	0
	Em caso de um evento extremo a empresa consegue realizar ações imediatas que irão minimizar o impacto de tal evento?	1
	Existe um plano de segurança para funcionários diante de eventos adversos?	0
Sistema de teste	A empresa já realizou alguma ação/planejamento visando a falta de energia?	0
	A empresa já simulou/realizou racionamento visando testar uma situação de estiagem em que o serviço de distribuição de água fosse interrompido?	0
Vulnerabilidade	A empresa consegue atender a demanda das áreas com maior vulnerabilidade?	1
	Em caso de eventos extremos é possível atender a população de aglomerados subnormais?	1
Compartilhamento de informação	A empresa se preocupa em conscientizar os funcionários sobre as mudanças/variabilidade climáticas?	0
	Existe compartilhamento de informações entre as empresas de saneamento sobre possíveis medidas para mitigar os impactos causados por um evento extremo?	0
	Existe compartilhamento de informações entre as empresas de saneamento sobre as mudanças climáticas e seus possíveis impactos no setor de saneamento?	0
Comunicação e notificação	As ações a serem tomadas como resposta é comunicada a todos os afetados de forma clara e passível de compreensão?	1

	Existe algum setor para monitorar e comunicar possíveis eventos extremos?	1
Plano inicial e preparação	Existe uma equipe multidisciplinar responsável pelo por planos de ações/políticas a médio e longo prazo que visem mitigar os impactos das mudanças climáticas?	0
	A empresa realiza workshops e eventos que visam a sensibilização da comunidade quanto ao uso consciente da água?	0
Energia elétrica	Existe algum projeto de para obtenção e utilização de energia renovável? Ex: solar ou biogás.	0
	A empresa de energia possui mais de um tipo de fonte de energia que consegue atender suas necessidades no caso de ausência de energia elétrica?	0
Produtos	Em uma situação emergencial a empresa possui o plano de ação com relação ao armazenamento dos produtos químicos?	0
	Existe uma quantidade suficiente de materiais (cloro, tubos, etc) essenciais para que o abastecimento de água não seja interrompido diante de um evento adverso?	1
Financeiro	A empresa consegue continuar seu atendimento caso uma crise afete sua economia?	0
	Em uma situação de crise hídrica, a empresa consegue não ser afetada financeiramente?	0
Planejamento	As respostas a um evento extremo fazem parte de um plano de ação emergencial desenvolvido dentro da empresa?	0
	O planejamento das atividades não sofre interrupção devido a um evento extremo?	1
Segurança	A empresa possui uma equipe de emergência que pode ser acionada em casos extremos?	1
	A equipe de emergência recebe treinamentos juntamente com todos os funcionários visando solucionar problemas que são decorrentes das mudanças climáticas?	0

Produtos similares	Em casos emergenciais é possível a substituição dos produtos químicos utilizados normalmente por produtos similares?	1
Suporte	Devido a um evento extremo a empresa possui parceria com outra empresa para não deixar de realizar suas atividades com qualidade e responsabilidade?	0
	Existe algum planejamento logístico da empresa caso alguma de suas sedes, estações de tratamento sejam afetadas?	0
Equipamento	A empresa faz manutenção dos seus equipamentos?	1
	Existem equipamentos reserva ou maneira de realizar a conserto de modo que a empresa não perca sua capacidade de manter a função essencial em caso dano devido a um evento extremo?	1
Modo alternativo de obter produtos	Existem outras regiões que a água possa ser obtida em caso de um evento extremo?	0,5
	Existem outros fornecedores de produtos químicos?	1
Perdas devido a desastre naturais	A empresa consegue prever as perdas que podem ocorrer diante de um período longo de estiagem?	1
	A empresa mantém seus serviços de fornecimento de água mesmo diante de um evento extremo?	1
	A população do município não foi afetada negativamente devido a interrupção dos serviços de fornecimento de água devido a eventos extremos?	1
Características de restauração	Em uma situação de crise financeira decorrente dos efeitos de um evento extremo a empresa consegue comprar novos materiais para que assim volte ao seu estado de atendimento normal?	0,5
	A empresa realiza reuniões com a comunidade e outros atores para que assim decidam juntos a melhor maneira de retorno as atividades normais considerando os princípios de sustentabilidade?	0

	Enquanto a restauração dos setores que realizam o abastecimento de água não ocorre, a população tem o abastecimento por outros meios que não seja o convencional? Ex: caminhões pipas.	1
Coordenação interna:	Existe alguma política interna da empresa que priorize as questões da universalização, bem como a garantia da continuidade e qualidade dos serviços mesmo frente a eventos extremos?	1
	A empresa aplica multas para quem gastar mais que um limite de água previamente estabelecido, bem como realiza fiscalização para verificar se há desperdício de água?	0
	A empresa possui alguma política de punição e restrições para o uso indevido de água? Por exemplo: lavar carros ou calçadas em períodos de estiagem ou não utilizando água potável.	0
	A empresa possui alguma política de incentivo a redução do consumo?	0
	A empresa se reúne com a sociedade, bem como com a reguladora, prefeito do município e ONGs buscando cumprir e aprimorar seu compromisso de atingir o ODS 6 mesmo diante de uma situação adversa?	1
	A empresa visa melhorias contínuas no sistema de abastecimento de água considerando as metas do ODS 6 e as alterações climáticas de modo a fornecer oportunidades para que as próximas gerações tenham acesso a esse abastecimento independente da situação climática?	1
	Existe alguma política que incentive o uso de água de reúso quando possível?	0
Coordenação externa	Frente a impacto causado por um evento extremo a empresa consegue manter os serviços mínimos de abastecimento. Por exemplo, possui um número suficiente de caminhões pipas?	1
	Existe alguma regulamentação, no âmbito municipal para o consumo e comercialização da água de reúso?	0

APÊNDICE C

Grau de Importância das Perguntas

A seguir será apresentado as questões referente ao quinto nível do modelo e seus, respectivos, graus de importância.

Nível 4	Nível 5	Grau de importância da pergunta (0 a 10)
Manancial	Durante um evento extremo consegue abastecer as necessidades do município?	1
	Possui ações de recuperação/preservação dos mananciais?	5
	Precisa importar água para suprir as necessidades da cidade?	1
	Faz monitoramento hidrológico em seus mananciais?	5
	A empresa possui mais de um manancial?	1
Captação	O número de geradores existentes é suficiente?	1
	Possui geradores?	5
	Realiza reparos proativos?	5
	Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.	9
	As bombas utilizadas conseguem manter sua função contínua durante um evento extremo?	9
Adução	As bombas utilizadas conseguem manter sua função contínua durante um evento extremo?	9
	Possui geradores?	9
	O número de geradores existentes é suficiente para o sistema de adução?	9
	Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.	9
Tratamento	Realiza reparos proativos nas estações?	5
	O número de ETAs existentes são suficientes para o abastecimento de toda a população do município?	1
	Realiza constantemente as análises de qualidade da água?	1
	Possui geradores?	1
	O número de geradores existentes são suficientes para todas as ETAs do município?	1
	As bombas utilizadas conseguem manter sua função contínua durante um evento extremo?	9
	Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.	9

Reservatório	Com a capacidade dos reservatórios existentes, a empresa consegue atender a população por uma semana durante um evento extremo?	10
	Realiza reparos proativos?	1
	Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.	9
Redes de distribuição	A empresa realiza reparos proativos?	5
	Possui um plano de controle sobre as perdas de água distribuída?	5
	Existe o monitoramento da pressão?	5
	É possível manter a pressão constante durante um evento extremo?	9
	Possui mais de um tipo de fonte de energia? Exemplo: solar ou biogás.	9
Ramal domiciliar	Os serviços de abastecimento são contínuos?	1
	Durante um evento extremo a empresa possui um plano para que o abastecimento não seja interrompido?	10
	A empresa consegue atender 100% da população do município?	1
	Existe algum plano visando manter qualidade da água dentro dos padrões estabelecidos para o abastecimento mesmo durante uma crise?	10
Mitigando os danos	Existe algum planejamento que permitirá que os serviços de abastecimento não seja interrompido por mais de 5 dias?	10
	Visto o período de estiagem ocorrido entre 2014 e 2016 a empresa vem desenvolvendo ações que visam minimizar o possível impacto de um novo período de estiagem?	10
Proteção de dependências	Existe um meio de comunicação eficiente entre os funcionários durante um evento extremo?	5
	A infraestrutura da empresa possui um design pensando em não permitir danos as mesmas diante de eventos extremos?	10
	Existe um local em que os produtos químicos podem ser armazenados estrategicamente em caso de um evento extremo?	1
	Ápos a água ser tratada existe um lugar em que a mesma pode ficar reservada por um longo período sem sua contaminação?	5

Planejamento	Existem ações planejadas e já testadas que serão executadas em caso de uma situação emergencial?	10
	Existe um planejamento para que ocorra a continuidade dos serviços em situações adversas?	10
Plano contínuo de treinamento	A empresa fornece treinamento para todos os funcionários visando um evento extremo?	10
	Existe uma periodicidade nos treinamentos?	10
	Existe algum treinamento visando a não interrupção dos serviços devido a falta de energia elétrica?	10
Plano de segurança	Existe um plano de segurança hídrica?	10
	Em caso de um evento extremo a empresa consegue realizar ações imediatas que irão minimizar o impacto de tal evento?	10
	Existe um plano de segurança para funcionários diante de eventos adversos?	10
Sistema de teste	A empresa já realizou alguma ação/planejamento visando a falta de energia?	10
	A empresa já simulou/realizou racionamento visando testar uma situação de estiagem em que o serviço de distribuição de água fosse interrompido?	10
Vulnerabilidade	A empresa consegue atender a demanda das áreas com maior vulnerabilidade?	10
	Em caso de eventos extremos é possível atender a população de aglomerados subnormais?	5
Compartilhamento de informação	A empresa se preocupa em conscientizar os funcionários sobre as mudanças/variabilidade climáticas?	10
	Existe compartilhamento de informações entre as empresas de saneamento sobre possíveis medidas para mitigar os impactos causados por um evento extremo?	10
	Existe compartilhamento de informações entre as empresas de saneamento sobre as mudanças climáticas e seus possíveis impactos no setor de saneamento?	10
Comunicação e notificação	As ações a serem tomadas como resposta é comunicada a todos os afetados de forma clara e passível de compreensão?	10

	Existe algum setor para monitorar e comunicar possíveis eventos extremos?	10
Plano inicial e preparação	Existe uma equipe multidisciplinar responsável pelo por planos de ações/políticas a médio e longo prazo que visem mitigar os impactos das mudanças climáticas?	10
	A empresa realiza workshops e eventos que visam a sensibilização da comunidade quanto ao uso consciente da água?	10
Energia elétrica	Existe algum projeto de para obtenção e utilização de energia renovável? Ex: solar ou biogás.	10
	A empresa de energia possui mais de um tipo de fonte de energia que consegue atender suas necessidades no caso de ausência de energia elétrica?	10
Produtos	Em uma situação emergencial a empresa possui o plano de ação com relação ao armazenamento dos produtos químicos?	10
	Existe uma quantidade suficiente de materiais (cloro, tubos, etc) essenciais para que o abastecimento de água não seja interrompido diante de um evento adverso?	5
Financeiro	A empresa consegue continuar seu atendimento caso uma crise afete sua economia?	10
	Em uma situação de crise hídrica, a empresa consegue não ser afetada financeiramente?	10
Planejamento	As respostas a um evento extremo fazem parte de um plano de ação emergencial desenvolvido dentro da empresa?	10
	O planejamento das atividades não sofre interrupção devido a um evento extremo?	10
Segurança	A empresa possui uma equipe de emergência que pode ser acionada em casos extremos?	5
	A equipe de emergência recebe treinamentos juntamente com todos os funcionários visando solucionar problemas que são decorrentes das mudanças climáticas?	10
Produtos similares	Em casos emergenciais é possível a substituição dos produtos químicos utilizados normalmente por produtos similares?	5

Suporte	Devido a um evento extremo a empresa possui parceria com outra empresa para não deixar de realizar suas atividades com qualidade e responsabilidade?	10
	Existe algum planejamento logístico da empresa caso alguma de suas sedes, estações de tratamento sejam afetadas?	10
Equipamento	A empresa faz manutenção dos seus equipamentos?	10
	Existem equipamentos reserva ou maneira de realizar a conserto de modo que a empresa não perca sua capacidade de manter a função essencial em caso dano devido a um evento extremo?	10
Modo alternativo de obter produtos	Existem outras regiões que a água possa ser obtida em caso de um evento extremo?	10
	Existem outros fornecedores de produtos químicos?	1
Perdas devido a desastre naturais	A empresa consegue prever as perdas que podem ocorrer diante de um período longo de estiagem?	5
	A empresa mantém seus serviços de fornecimento de água mesmo diante de um evento extremo?	5
	A população do município não foi afetada negativamente devido a interrupção dos serviços de fornecimento de água devido a eventos extremos?	5
Características de restauração	Em uma situação de crise financeira decorrente dos efeitos de um evento extremo a empresa consegue comprar novos materiais para que assim volte ao seu estado de atendimento normal?	10
	A empresa realiza reuniões com a comunidade e outros atores para que assim decidam juntos a melhor maneira de retorno as atividades normais considerando os princípios de sustentabilidade?	10
	Enquanto a restauração dos setores que realizam o abastecimento de água não ocorre, a população tem o abastecimento por outros meios que não seja o convencional? Ex: caminhões pipas.	5

Coordenação interna:	Existe alguma política interna da empresa que priorize as questões da universalização, bem como a garantia da continuidade e qualidade dos serviços mesmo frente a eventos extremos?	5
	A empresa aplica multas para quem gastar mais que um limite de água previamente estabelecido, bem como realiza fiscalização para verificar se há desperdício de água?	10
	A empresa possui alguma política de punição e restrições para o uso indevido de água? Por exemplo: lavar carros ou calçadas em períodos de estiagem ou não utilizando água potável.	10
	A empresa possui alguma política de incentivo a redução do consumo?	10
	A empresa se reúne com a sociedade, bem como com a reguladora, prefeito do município e ONGs buscando cumprir e aprimorar seu compromisso de atingir o ODS 6 mesmo diante de uma situação adversa?	10
	A empresa visa melhorias contínuas no sistema de abastecimento de água considerando as metas do ODS 6 e as alterações climáticas de modo a fornecer oportunidades para que as próximas gerações tenham acesso a esse abastecimento independente da situação climática?	10
	Existe alguma política que incentive o uso de água de reúso quando possível?	10
Coordenação externa	Frente a impacto causado por um evento extremo a empresa consegue manter os serviços mínimos de abastecimento. Por exemplo, possui um número suficiente de caminhões pipas?	10
	Existe alguma regulamentação, no âmbito municipal para o consumo e comercialização da água de reúso?	10

APÊNDICE D

Carta de apresentação do projeto

Apresentação de projeto de pesquisa aplicado
e solicitação de parceria.

São Carlos, 08 de fevereiro de 2019

Ao Sr. **Donizete Simioni**

Superintendente do Departamento Autônomo de Água e Esgotos/Araraquara (DAAE/Araraquara)
Departamento Autônomo de Água e Esgotos/Araraquara (DAAE/Araraquara)

Assunto: **Apresentação de Projeto de Pesquisa Aplicado e solicitação de parceria**

Prezado Senhor,

O tema de como as operadoras de saneamento irão ser afetadas pelas mudanças climáticas está ganhando prioridade no contexto nacional e internacional, assim entendemos que a universidade deve contribuir com pesquisas aplicadas nessa temática.

Nesse sentido, está sendo desenvolvido o projeto de mestrado “Avaliação da resiliência de uma operadora de saneamento frente às mudanças climáticas”, na Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo (EESC/USP), pela Eng.^a Amanda Arenales sob orientação do professor Tadeu Fabrício Malheiros.

O projeto de pesquisa tem como objetivo desenvolver um sistema de avaliação da resiliência de uma operadora de saneamento frente às mudanças climáticas. Entendemos ser uma ferramenta importante no planejamento estratégico das operadoras de saneamento.

Como este projeto de pesquisa é aplicado é importante que a operadora tenha uma participação ativa na concepção e na aplicação da ferramenta a ser desenvolvida para gerar um produto que tenha utilização no dia a dia da mesma. Ou seja, que essa pesquisa não seja apenas uma coleta de dados do município, mas que seja um produto que tenha util. Os resultados esperados irão contribuir significativamente para análise de risco e de exposição da operadora frente às mudanças climáticas. Sendo assim, será possível a operadora definir medidas mais eficientes de adaptação, reduzindo a sua vulnerabilidade e aumentando sua resiliência.

Nesse sentido, gostaríamos de convidar o Departamento Autônomo de Água e Esgotos/Araraquara (DAAE/Araraquara) para ser parceiro desse projeto de pesquisa aplicada para a construção de uma plataforma de avaliação de resiliência de operadora de serviços de saneamento. Sugerimos agendar uma reunião para dialogarmos e decidirmos sobre a melhor estratégia para o encaminhamento dessa parceria.

Ficamos no aguardo de uma data para a reunião de apresentação.

Amanda Arenales

Mestranda do Programa de Pós-Graduação
de Ciências em Engenharia Ambiental (PPG/SEA)

Prof. Dr. Tadeu Malheiros (EESC/USP)

Anexo 1

Projeto de Pesquisa de mestrado: Avaliação da resiliência de uma operadora de saneamento frente às mudanças climáticas Pesquisadora: Eng.^a Amanda Arenales

Este projeto de pesquisa tem por objetivo o desenvolvimento de um sistema de avaliação da resiliência do setor de saneamento frente às mudanças climáticas. Há consenso nacional e internacional de que os impactos das mudanças climáticas irão afetar o setor de saneamento, devido à escassez ou concentração de chuvas¹. Alguns dos problemas que podem ocorrer são: danos físicos à infraestrutura de esgotos e águas, contaminação dos mananciais, mudanças na sazonalidade^{2,3,4,5}. Diante da intensificação dos prejuízos no setor de saneamento, vale ressaltar a necessidade da resiliência a longo prazo dos serviços de abastecimento de água e esgoto. A resiliência desse setor se refere-se à capacidade do sistema de projetar, operar e manter seus serviços em situações de alterações dos regimes de chuva. Para alcançar o objetivo proposto, este projeto está dividido em seis etapas: (1) revisão da literatura; (2) estruturação e adequação do *framework*⁶; (3) mobilização dos atores; (4) coleta de dados; (5) validação da ferramenta e análise dos resultados; e, (6) capacitação dos potenciais usuários. Até o presente momento, foi implementado um protótipo do modelo que poderá suprir a ausência de uma ferramenta que meça a resiliência da operadora de saneamento no cenário nacional. A próxima etapa será sua aplicação utilizando dados obtidos junto a uma operadora de saneamento.

Referências bibliográficas de apoio:

1. KOHLITZ, J. P.; CHONG, J.; WILLETTS, J. Climate change vulnerability and resilience of water, sanitation, and hygiene services: a theoretical perspective. **Journal of water sanitation and hygiene for development**, 2017. v. 7, n. 2, p. 181–195, 2017.
2. BATES, B. et al. **Climate change and water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change**. Geneva, 2008. 1–214 p.
3. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Systems measures of water distribution system resilience**. Cincinnati/OH, 2015. 1–59 p.
4. HOWARD, G. et al. Climate change and water and sanitation: Likely impacts and emerging trends for action. **The annual review of environment and resources**, 2016. p. 253–278, 2016.
5. OLIVEIRA, R. P. de; MATOS, J. S.; MONTEIRO, A. J. Managing the urban water cycle in a changing environment. **Water utility jornal**, 2015. v. 9, p. 1–9, 2015.
6. FISHER, R. et al. **Constructing a resilience index for the enhanced critical infrastructure protection program**. Oak Ridge/TN, 2010. 1–44 p.

JM

APÊNDICE E

**Artigo 1: Economia circular como fator
chave de resiliência no setor de
saneamento**

Primeiro artigo,
submetido para a “Revista DAE”, no dia 06/08/2019.

Economia circular como fator chave de resiliência no setor de saneamento.

Amanda Arenales, Adriana Lagrotta Leles, Aldo Roberto Ometto, Tadeu Fabricio Malheiros

Resumo

Há consenso nacional e internacional de que as mudanças climáticas irão afetar o setor de saneamento, com o aumento de danos à infraestrutura dos serviços de água e esgoto; redução da recarga de águas subterrâneas devido longos períodos de seca; alteração na vazão e na qualidade de água dos mananciais; redução da diluição dos poluentes; eutrofização nos reservatórios; efluentes mais concentrados; aumento do consumo de produtos químicos utilizado pelas empresas de saneamento; entre outros. Diante da intensificação dos prejuízos no setor de saneamento, vale ressaltar a necessidade da resiliência a longo prazo dos serviços de abastecimento de água e esgoto. Este trabalho tem por objetivo discutir como os princípios da economia circular podem atuar como fator chave no planejamento do setor de saneamento, tornando-o mais resiliente frente a essas alterações climáticas. O cenário a ser analisado é composto pela Estação Produtora de Água de Reúso Capivari II, localizada no município de Campinas/SP. Para alcançar o objetivo proposto, analisou-se a aplicação de alguns princípios do modelo de economia circular e as principais propostas de indicadores de avaliação no setor de saneamento. Os resultados mostraram que com a aplicação de alguns princípios da economia circular é possível tornar o setor de saneamento mais resiliente nas dimensões econômica, social, institucional e ambiental.

Palavras chaves: Saneamento, Mudanças Climáticas, Resiliência.

Abstract

There is national and international consensus that the climate changes will affect the water and sanitation sector, with increased damage to the infrastructure of its services, reduction of the recharge of groundwater due to long periods of drought, changes in flow and quality of springs of water, decreasing of the dilution of pollutants, eutrophication in the reservoirs, more concentrated effluents, increased consumption of chemicals used by sanitation companies; among others. Against the intensifying losses in the water and sanitation sector, it is worth emphasizing the need for long-term resilience of the services. This paper aims to discuss how the principles of circular economy can act as a key factor in planning of the water and sanitation sector, making it more resilient to these climate change. The scenario to be analyzed is composed by the Capivari II Water Reuse Station (Estação Produtora de Água de Reúso Capivari II), located in the municipality of Campinas/SP. To reach the proposed objective, the application of some principles of the circular economy model were analyzed, as well as, the main proposals of evaluation indicators in the water and sanitation sector. The results showed that with the application of some principles of the circular economy it is possible to make the water and sanitation sector more resilient in the economic, social, institutional and environmental dimensions.

Keywords: Water and Sanitation, Climate Change, Resilience.

Introdução

Em julho de 2017, a Organização Mundial de Saúde estimou que no mundo cerca de 2,1 bilhões de pessoas não tinham acesso a água potável e, 4,5 bilhões não possuíam acesso ao saneamento básico (WHO, UNICEF, 2017). Em 20015, o Brasil possuía os índices médios de: 83% de abastecimento de água; 50,3% de rede de esgotos e; 42,7% dos esgotos gerados eram tratados (SNIS, 2018). A falta do acesso aos serviços de saneamento é principalmente caracterizada pelas desigualdades regionais e econômicas (SNIS, 2018).

A ausência dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário possuem consequências sociais, ambientais e econômicas. Isto por que, impedem o desenvolvimento socioeconômico, alteram o equilíbrio dos ecossistemas e causam doenças devido à má qualidade ou à falta de água (PHILIPPI JR.; MARTINS, 2005).

Visando ampliar as taxas de cobertura dos serviços de saneamento, em 2014 a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou o programa Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) com metas para 2030. Essa agenda possui 17 objetivos e 169 metas que envolvem diversas temáticas, algumas delas são: erradicação da pobreza, saúde, educação, energia, água e saneamento (UNDP, 2017). O objetivo 6 da ODS busca assegurar a disponibilidade e, gestão sustentável, da água e saneamento para todos. Para atingir esse objetivo são apontadas várias metas, das quais se destacam: a universalização ao acesso a água potável e saneamento; aprimoramento da gestão da água e saneamento; melhorar a qualidade da água e aumentar a reciclagem e reutilização segura em âmbito mundial (UN, 2017). Porém, com as mudanças climáticas aumenta-se o risco de não ser possível alcançar a universalização.

Existe um consenso nacional e internacional que os impactos das mudanças climáticas irão afetar de modo não uniforme os sistemas de infraestrutura, produtivo e naturais (BATES et al, 2008; AMCOW, GPW, 2013; GEX-CIM, 2015). Essas alterações climáticas impõem mais riscos sobre a estrutura física dos sistemas de águas urbanas e de prestação dos serviços de saneamento. Alguns dos principais problemas são: danos físicos à infraestrutura de esgotos e águas, contaminação dos mananciais e transbordamento de sistemas unitários de saneamento (BATES et al, 2008; EPA, 2015).

Estima-se também que a demanda global por água até 2030 aumentará 40% e, em países em desenvolvimento, esse aumento será de 50% (WRG, 2009; UNESCO, 2015). O déficit da relação entre a demanda e a oferta é em função do crescimento da população, das atividades industriais e agropecuárias (SANASA, 2017; UNESCO, 2015). Além disso, as mudanças

climáticas poderão agravar essa estatística de demanda e oferta, aumentando as pressões existentes sobre os recursos hídricos (UNESCO, 2009).

A resiliência é a capacidade de um sistema social ou ecológico de resistir, absorver, acomodar e se recuperar dos efeitos de perturbações de maneira eficaz, bem como preservar sua função e estruturas básicas (AMCOW, GPW, 2013; WALKER; SALT, 2006). Esse conceito pode ser aplicado ao setor de saneamento para o planejamento de ações que reduzam os impactos das mudanças climáticas no sistema como um todo. Essa resiliência poderá ser alcançada baseada em estratégias de caráter político-institucional, técnico, ambiental, econômico e social (PAGELER, 2009). Como por exemplo, ações que visam a redução de perda de água tornam o setor de abastecimento mais resiliente diante de uma crise hídrica. Tais atuações proporcionam ganhos ambientais, bem como econômicos (SANASA, 2018b).

Assim, percebe-se que o enfoque da economia circular pode fazer parte da solução desse problema, pois ao invés de seguir o modelo linear (pegar → fazer → descartar) ela possui princípios que visam a maior utilidade e valorização dos produtos por meio dos ciclos de vida (HAWKINS, 2015). No setor de saneamento os princípios de reúso, energia renovável, redução, dentre outros podem contribuir na resiliência do sistema frente as alterações climáticas (EMF & MC, 2014).

O modelo de economia linear atualmente usado na gestão das águas na maioria das empresas de saneamento é ineficiente, o que o torna insustentável (ANTOLOVICH, 2015). Esse modelo, é baseado no processo: captação da água em um corpo hídrico → tratamento → distribuição → uso → sistema de coleta e tratamento de esgoto e, por fim, lançamento do esgoto tratado no corpo receptor (SPERLING, 1996).

Portanto, se faz necessário repensar como fazer essa gestão de maneira sustentável. Uma solução é o modelo da economia circular, que dentre seus princípios visa o uso e a redução da pressão sobre os recursos naturais por meio do reúso. Nas empresas de saneamento o reúso dos recursos pode fortalecê-las e torná-las mais resilientes frente os potenciais impactos negativos causados pelas mudanças climáticas e a crescente demanda da água.

Objetivo

Esse trabalho visa discutir como os princípios da economia circular podem atuar como fator chave no planejamento do setor de saneamento, tornando-o mais resiliente frente a essas alterações climáticas. O cenário a ser analisado é composto pela Estação Produtora de Água de Reúso (EPAR) Capivari II, localizada no município de Campinas/SP.

Materiais e métodos

A metodologia desse trabalho contempla uma revisão bibliográfica da teoria de economia circular, saneamento, resiliência e mudanças climáticas. Além disso, foram analisados os relatórios de sustentabilidade da empresa de saneamento “Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A” (SANASA) para verificar como os princípios da economia circular estão tornando a empresa mais resiliente frente as alterações climáticas.

Saneamento na cidade de Campinas

O município de Campinas está localizado no interior do estado de São Paulo, na região sudeste do Brasil. Ela possui uma área de 794,571 km² e 1.080.113 habitantes (IBGE, 2010). A empresa responsável pelo abastecimento de água, coleta, afastamento e tratamento de esgoto é a SANASA. Segundo a empresa, o índice de abastecimento de água é de 99,81% e o índice de coleta e afastamento de esgoto urbano é de 96,05, com 95% de tratamento do esgoto coletado (SANASA, 2018c).

As bacias naturais de esgotamento no município de Campinas são Atibaia, Quilombo e Capivari (SANASA, 2018a). Elas foram subdivididas em 22 estações de tratamento de esgoto, possuindo uma diversidade nos seus processos, atingindo o nível secundário (SANASA, 2018a). São exceções a Estação de Produção de Água de Reúso (EPAR) Capivari II e a ETE Capivari I, sendo que na primeira foi implantado o nível terciário de tratamento e a segunda possui câmara anóxica para a remoção de nitrogênio (SANASA, 2018a).

Estação de Produção de Água de Reúso – Capivari II

Em abril de 2012, entrou em operação a Estação de Produção de Água de Reúso (EPAR) Capivari II, que utiliza uma das tecnologias mais modernas do mundo. Sua área de cobertura compreende a região centro-oeste do município de Campinas/SP, um total de 72 bairros. O tratamento do esgoto doméstico e até 18m³/h de contribuição de efluentes industriais com a produção de água de reúso emprega o sistema de biorreatores com membranas (MBR) (SANASA, 2015).

As membranas utilizadas são de ultrafiltração (porosidade nominal de 0,04µm), submersas e com fibras ocas constituídas de bilhões de poros microscópicos, representando assim uma barreira física para as impurezas (SANASA, 2015). Essa tecnologia permite a remoção de matéria carbonácea, nitrogênio e fósforo, bem como garante a remoção da maioria

dos vírus e bactérias, com baixo consumo de produtos químicos, produzindo uma água com 99% de pureza (SANASA, 2017).

O sistema utilizado na EPAR Capivari II possui a capacidade para tratar uma vazão média de 725 L/s de esgoto. Parte da água tratada é armazenada em reservatório subterrâneo para depois ser distribuída por caminhões tanques e o excedente é lançado no rio Capivari, enquanto o mercado não compra tudo (SANASA, 2015).

No Brasil, a Portaria 54 do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos estabelece o uso da água não potável, porém não regulamenta o seu reúso (BRASIL, 2005; SANASA, 2017). A Resolução Conjunta SVDS/SMS Nº 9/2014, da legislação de Campinas, estabelece os possíveis usos não potáveis da água de reúso no município, tais como: reúso para fins urbanos (irrigação paisagística de jardins; parques; controle de poeira em obras de aterro; controle de incêndios pelo corpo de bombeiros; lavagem automatizada de caminhões de coleta seletivas, dentre outros) e industriais (processos, atividade e operações industriais) (SANASA, 2015).

Economia circular e saneamento

Na natureza o mecanismo de transferência da água é a: precipitação → escoamento superficial → infiltração → evaporação e transpiração. Esse sistema é denominado *ciclo hidrológico*, sendo, portanto, um sistema circular (SPERLING, 1996). Atualmente, esse ciclo sofre alterações para atender as necessidades humanas e passa a se comportar como o modelo linear.

Esse modelo de economia linear na gestão dos recursos hídricos é insustentável e já vem mostrando sinais de sua fragilidade, uma vez que para seu funcionamento utiliza grande quantidade de energia, custo elevado, e baseia-se na permanente busca de novas fontes, elevando assim seu custo e alta dependência de disponibilidade de água na bacia (ANTOLOVICH, 2015). Visando a resiliência desse setor, é preciso uma transformação do presente modelo em um de economia circular que tornará a gestão da água regenerativa por *design*. Dessa maneira a água passa a manter sua qualidade podendo ser usada diversas vezes (ING, 2017).

O tratamento do esgoto normalmente é classificado em uma, ou mais, das categorias: preliminar, primário, secundário e terciário (SPERLING, 1996). Os métodos de tratamento são divididos em processos unitários, processos químicos unitários e processos biológicos unitários (SPERLING, 1996; PHILIPPI JR.; MALHEIROS, 2005). No Brasil, a maioria dos processos

de tratamento de água residuais são até o nível secundário e utilizam os tratamentos biológicos (PHILIPPI JR.; MALHEIROS, 2005).

O tratamento do esgoto realizado na EPAR Capivari II possui tratamento a nível terciário composto por: a) gradeamento mecanizado com espaçamento de 15 mm; b) peneira rotativa com malha circular e 2 mm de abertura; c) desarenador mecanizado; d) biorreator que possui as seguintes subdivisões: anaeróbia, anóxica, aerada e desoxigenação; e) ultrafiltração por membranas submersas de fibra oca com poro nominal de 0,04 µm e desidratação mecanizada com centrífuga para a fase sólida (SANASA, 2017).

Para esse processo de tratamento das águas residuárias as entradas são: esgoto sanitário, energia elétrica, produtos para limpeza química das membranas (hipoclorito de sódio e ácido cítrico) e, ao final obtém-se a água de reúso e o lodo desidratado.

A Figura 1 foi elaborada a partir do tratamento de esgoto realizado pela EPAR Capivari II e com o objetivo de aplicar alguns dos princípios da economia circular. Visando assim, o fortalecimento do sistema, o maior aproveitamento e aplicação dos produtos gerados.

Figura 1: Modelo de economia circular aplicado na gestão de águas residuais.

Com base no modelo da Figura 1, e visando verificar os fatores que influenciam na resiliência do setor de saneamento, a Tabela 1 apresenta as possíveis propostas de indicadores de avaliação no setor de saneamento com suas dimensões, aspectos e indicadores. Posteriormente serão comentadas as principais propostas de indicadores relevantes para esse trabalho.

Tabela 1 – Proposta de indicadores de avaliação no setor de saneamento.

Dimensões	Aspectos	Indicador	Unidades
Ambiental	Consumo de recursos não renováveis	Consumo de energia elétrica	kWh/m ³
		Consumo de produtos químicos	Kg/m ³
	Qualidade do corpo hídrico receptor	Análises químicas	DBO, DQO, coliformes, sólidos totais, etc
	Produto gerado	Água de reúso	m ³ /dia
		Biogás	m ³ /dia
		Lodo	Ton./dia
Social	Geração de emprego	Pessoas contratadas	nº de pessoas/mês
	Acesso a rede de coleta e tratamento do esgoto	Famílias atendidas	nº de casas com acesso ao esgotamento sanitário
	Qualidade de vida da população	Saúde	Redução do número de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado
Econômica	Novos negócios	Venda da água de reúso para fins não potáveis	R\$
	Gastos adicionais	Custo de manutenção	R\$
		Custo operacional	R\$
Institucional	Treinamento dos funcionários	Redução de produtos	Kg/m ³
		Prevenção de acidentes	nº de acidentes

Resultados e discussões

O reúso da água para fins não potáveis é um dos fatores com maior influência na resiliência no setor de saneamento, pois minimiza os possíveis efeitos da crise hídrica devido à redução na necessidade de captação de água limpa.

No último trimestre de 2014, a EPAR Capivari II que produziu 173.463 m³ água de reúso, sendo esta com alta qualidade, porém não potável. Desse total 1.109 m³ foi comercializado e o restante foi lançado no corpo hídrico, devido ainda à baixa capacidade do sistema urbano e industrial para absorção deste recurso.

Inicialmente apenas a SANASA e a prefeitura utilizavam a água de reúso. A sua comercialização para as indústrias ocorreu após agosto de 2014 com a Resolução Conjunta SVDS/SMS nº 09/2014. Sendo assim, essa água é disponibilizada para fins não potáveis com um custo de R\$ 1,40/m³. Tal valor é bem menor se comparado com o custo, de R\$ 11,90/m³, gerado quando se utiliza a água potável. Portanto, esse é um aspecto importante, apresentado na Tabela 1, que fortalecerá economicamente a empresa.

Como pode ser observado no gráfico da Figura 2, o uso predominante da água de reúso produzida foi na irrigação paisagística. Além desse, houve a utilização em menor escala na construção civil, lavagem de espaços públicos, corpo de bombeiros, desobstrução de redes e galerias e lavagem de veículos. Somente o corpo de bombeiros é responsável por uma redução de 80% no consumo de água potável.

Figura 2 - Utilização da água de reúso na cidade de Campinas, produzida na EPAR Capivari II.

Fonte dos dados: Os autores.

Além disso, com o tratamento desenvolvido na EPAR Capivari II há outro ganho ambiental com o lançamento de um efluente de alta qualidade no corpo receptor, contribuindo para a despoluição do mesmo. Outras vantagens do reúso da água são a qualidade de vida da população, que tem acesso ao saneamento básico, bem como o ganho econômico da empresa com a água de reúso que usualmente era lançada rio Capivari e agora pode ser comercializada.

Entretanto, observando a Figura 1 e a Tabela 1, é ainda possível verificar que ao se aplicar outros princípios do modelo de economia circular é possível aumentar o grau de resiliência da empresa frente as mudanças climáticas. Como por exemplo, se a empresa passasse a utilizar energia solar ao invés da energia proveniente da rede convencional.

Essa troca também poderia fortalecer a empresa de saneamento visto que em uma crise hídrica esse sistema se torna instável e de alto custo (energia caríssima), enquanto que a energia proveniente do sol é uma fonte ilimitada. Outra forma de obtenção de energia renovável que

poderia ser utilizada e dar resiliência ao sistema é o biogás gerado no biorreator anaeróbico, suprimindo assim parcialmente a necessidade energética da EPAR Capivari II.

O diagrama apresentado na Figura 1 apresenta a possibilidade do uso do lodo de esgoto na agricultura como fertilizante, pois o lodo é rico em matéria orgânica, macro (fósforo e nitrogênio) e micronutrientes (zinco, cobre, ferro, etc). Entretanto, vale ressaltar que o lodo também pode apresentar elementos tóxicos e microrganismos patogênicos. Sendo assim, se faz necessário consultar a Resolução CONAMA 375/2006 que define os critérios e procedimentos para o uso do lodo de esgotos gerado na ETE (BRASIL, 2006). A comercialização do lodo fará com que a empresa tenha ganhos econômicos, bem como haverá ganhos ambientais devido a não extração de recursos da natureza e sua não disposição em aterro sanitário.

Conclusão

Neste trabalho foi proposto uma aplicação do modelo de economia circular que pode ser empregado em empresa de saneamento, com o objetivo de tornar a gestão das águas residuárias mais sustentável e resiliente frente as mudanças climáticas. Tal proposta tem como base um modelo regenerativo por meio, principalmente, do reúso e energia renovável. Após o tratamento do esgoto doméstico ou industrial a água retorna ao sistema com característica e qualidade de 99%. Além disso, ao utilizar energia renovável a empresa aumenta seu potencial energético, adquirindo parcialmente a independência energética. Como foi apresentado, haverá também ganhos econômicos, com a comercialização da água de reúso e do lodo como fertilizante. Além dos ganhos da empresa, econômicos e ambiental, toda a sociedade do município tem a ganhar, pois haverá maior qualidade de vida, geração de empregos diretos e indiretos, dentre outros.

Referências

(AMCOW; GPW) CONSELHO MINISTERIAL AFRICANO SOBRE A ÁGUA e PARCERIA MUNDIAL PARA A ÁGUA. **Segurança da água e desenvolvimento resiliente às alterações climáticas. Documento técnico de referência.** Nigéria/África, 2013. 149 p.

ANTOLOVICH, A. Water reuse: A critical component of a water-secure future. In: **Archieving a circular economy: How the private sector is reimagining the future of business.** Washington, DC: United States Chamber of Commerce Foundation, 2015. cap. 5, p. 60–61.

BATES, B. et al. **Climate change and water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Genebra/Suíça, 2008. 1–214 p.

BRASIL. **Resolução N° 54, de 28 de novembro de 2005.** [S.l.]: Diário da República, 2005. 1–3 p.

BRASIL. **Resolução CONAMA N° 375, de 29 de agosto de 2006.** [S.l.]: Diário da República, 2006. 1–32 p.

(EMF & MC) ELLEN MACARTHUR FOUNDATION AND MCKINSEY & COMPANY. **Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains.** Genebra/Suíça, 2014. 1–64 p.

(EPA) ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Systems measures of water distribution system resilience.** Cincinnati/OH, 2015. 1–59 p.

(GEX-CIM) GRUPO EXECUTIVO DO COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA. **Plano nacional de adaptação à mudança do clima (PNA).** Brasília/DF, 2015. I, 67 p.

HAWKINS, N. Advancing a circular economy starts with collaboration—and it starts now. In: **Archieving a circular economy: How the private sector is reimagining the future of business.** Washington, DC: United States Chamber of Commerce Foundation., 2015. cap. 1, p. 14–15.

(IBGE) INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010.** 2010. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 05 de abril de 2019.

(ING) INTERNATIONAL NETHERLANDS GROUP. **Less is more: circular conomy solutions to water shortages.** Holanda, 2017. 1–31 p. PAGELER, M. **Perspectiveson water and climate change adaptation: Local government perspective on adapting water management to climate change.** [S.l.], 2009. 4–13 p.

PHILIPPI JR., A.; MARTINS, G. Águas de abastecimento. In: **Saneamento, saúde e ambiente. Fundamentos para um desenvolvimento sustentável.** Barueri: Ltda, Manole, 2005. p. 117 – 180.

PHILIPPI JR, A.; MALHEIROS, T. F. Águas residuárias: visão de saúde pública e ambiental. In: **Saneamento, saúde e ambiente. Fundamentos para um desenvolvimento sustentável.** [S.l.]: Manole Ltda., 2005. p. 181–219.

(SANASA)., SOCIEDADE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTOS/A. **Uma nova água, solução para a crise hídrica.** 2017. Disponível em: <http://www.sanasa.com.br/conteudo/conteúdo2.aspx?f=I&par_nrod=1993&flag=P>. Acesso em: 20 de novembro de 2017.

(SANASA) SOCIEDADE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO. **Esgotamento sanitário em Campinas.** 2018a. Disponível em: <http://www.sanasa.com.br/conteudo/conteúdo2.aspx?f=I&par_nrod=2309&flag=TS>. Acesso em: 09 de abril de 2019.

(SANASA) SOCIEDADE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO. **Programa de combate e controle de perdas de água.** 2018b. Disponível em: <http://www.sanasa.com.br/noticias/not_con3.asp?par_nrod=1529&flag=TF>. Acesso em: 20 de novembro de 2017.

(SANASA) SOCIEDADE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO. **SANASA em números.** 2018c. 1 p. Disponível em: <<http://www.sanasa.com.br/document/noticias/1581.pdf>>. Acesso em: 09 de abril de 2019.

(SNIS) SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2016.** Brasília/DF, 2018. 1–220 p.

(UN) UNITED NATIONS. **Progress towards the Sustainable Development Goals.** [S.l.], 2017. 1–19 p.

(UNDP) UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Sustainable Development Goals.** Disponível em: <<https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html>>. Acesso em: 03 de abril de 2019.

(UNESCO) UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **The united nations world water development report 3: Water in a changing world.** Paris/França, 2009. 1–349 p.

(UNESCO) UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **The united nations world water development report 15: Water for a sustainable world.** Paris/França, 2015. 1–139 p.

VON SPERLIG, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WALKER, B.; SALT, D. **Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world.** Washington/USA: Island press, 2006. 174 p.

(WHO, UNICEF) UNITED NATIONS CHILDREN’S FUND AND WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on drinking water, sanitation and hygiene.** Suíça, 2017. 1 – 116 p.

(WRG) 2030 WATER RESOURCES GROUP. **Charting our water future: Economic framework to inform decision-making.** [S.l.], 2009. 1 – 198 p.

APÊNDICE F

Trabalho 2: Desenvolvimento de um sistema de avaliação de resiliência de uma empresa de saneamento frente às mudanças climáticas: importância e desafios

Trabalho apresentado no
“XVI Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental”.

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE RESILIÊNCIA DE UMA EMPRESA DE SANEAMENTO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: IMPORTÂNCIA E DESAFIOS

Eixo Temático: Avaliação da Sustentabilidade e Gestão Ambiental

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas causadas devido a contribuição das atividades antropogênicas influenciam em eventos extremos, como exemplo: precipitação (PALL et al., 2011; FISCHER; KNUTTI, 2016; DOTTORI et al., 2018); ondas de calor (KING et al., 2016; PARENTE et al., 2018); e, secas (SHAH; MISHRA, 2016; WILLIAMS et al., 2015). Dentre os sistemas que serão impactados com esses eventos se encontram os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário (KOHLITZ; CHONG; WILLETTS, 2017).

Devido a vulnerabilidade das empresas do setor de saneamento frente às mudanças climáticas, os problemas antigos poderão ser intensificados e novos surgirão. Assim, ocorre o aumento dos riscos sobre a estrutura física dos sistemas de águas e serviços associados, como apresentado na Figura 1 (HOWARD et al., 2016; EPA, 2015). Dentre os principais problemas esperados, se incluem: os danos à infraestrutura de redes de água; redução da recarga de águas subterrâneas devido longos períodos de seca; aumento na competição entre os usos; contaminação mananciais; alteração na vazão e na qualidade de água dos mananciais; redução da diluição dos poluentes; eutrofização nos reservatórios; aumento do consumo de produtos químicos utilizado pelas empresas de saneamento; aumento da concentração dos efluentes; e, a diminuição da disponibilidade de água para a geração de hidroeletricidade (BATES et al., 2008; EPA, 2015; HOWARD et al., 2016; OLIVEIRA; MATOS; MONTEIRO, 2015).

Figura 1: Consequências das mudanças climáticas sobre o Serviço de Abastecimento de Água e Esgoto Sanitário (SAA&ES) em cenário de seca. Fonte: Elaborado pela autora.

Visando mitigar os possíveis impactos das alterações climáticas e também realizar uma rápida recuperação na provisão dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário (SAA&ES), as empresas de saneamento devem aumentar sua resiliência. Para isso, é importante que esta seja capaz de projetar, operar e manter seus sistemas e serviços com eficiência mesmo em situações adversas (EPA, 2015).

Sendo assim, é primordial mensurar a resiliência para que as estratégias sejam mais eficientes e que considere a análise de custo-benefício. Atualmente para o cenário brasileiro, não existe um modelo estabelecido que realize a avaliação de resiliência das empresas do setor

de saneamento diante dos possíveis cenários de mudanças climáticas. Desse modo, o desenvolvimento de um modelo possui grande relevância, visto que o mesmo deverá ser implementado, e adaptado, visando o cenário nacional. Para isso, deverão ser consideradas questões como: o clima; a população mais vulnerável e o déficit da universalização ao acesso a água e ao esgotamento sanitário.

Buscando suprir as necessidades pontuadas anteriormente, este trabalho tem por objetivo apresentar as etapas iniciais da implementação do primeiro modelo voltado à realidade brasileira. De modo a restringir a área de cobertura, bem como a dimensionalidade do problema, está sendo realizado o estudo de caso do município de Campinas, localizado no interior do estado de São Paulo.

METODOLOGIA

A implementação do modelo está sendo realizada visando avaliar a resiliência da empresa de saneamento do município de Campinas/SP. Dentre os aspectos que deverão ser mensurados diante de uma variabilidade climática estão: a continuidade dos serviços; a população atendida; a organização estrutural e operacional da empresa; disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos; e as políticas existentes. Portanto, para o seu desenvolvimento foram consultadas as abordagens já existentes, como apresentado na Figura 2, que medem diretamente ou indiretamente a resiliência do setor investigado (HASHIMOTO; STEDINGER; LOUCKS, 1982; CHMIELEWSKI et al., 2016; LIU; CHEN; NAKATO, 2012; AMARASINGHE et al., 2016).

O modelo que está sendo desenvolvido é uma adaptação do *The Argonne National Laboratory Resilience Index* (ANLRI) (FISHER et al., 2010). As características que contribuíram para a sua escolha foram a reprodutibilidade, facilidade de compreensão, adaptação e por possuir uma alta representatividade. De acordo com esse índice, é possível verificar a resiliência de uma infraestrutura crítica, por meio de uma pontuação de 0 a 100, isto é, de menor para maior resiliência. Visto que o objetivo do trabalho é mensurar a resiliência da empresa do setor de saneamento, a proposta desse trabalho é apresentar uma versão modificada do ANLRI.

Esse novo modelo é composto por 100 componentes que medem a “robustez”, a “capacidade de superação” e a “rápida recuperação” de uma empresa de saneamento. A componente “robustez” mensura a capacidade de uma empresa manter suas funções e operações principais diante de uma crise, ou seja, é a habilidade da empresa absorver os impactos de modo a restringir e a se preparar para as possíveis consequências dos mesmos. A componente “capacidade de superação” completa a componente “robustez”, pois essa visa verificar a competência da empresa antes e durante a ocorrência de um evento adverso. Desse modo, considera-se suas habilidades em preparar e gerenciar as consequências do evento através do treinamento de funcionários, e planejamento de suas ações. Por fim, a componente “rápida recuperação” possui como característica medir a agilidade da empresa em retornar com eficiência à sua operação, caso as ações de prevenção e mitigação não sejam suficientes diante de um evento adverso.

Esse método está sendo desenvolvido para avaliar a resiliência de uma empresa de saneamento diante dos diferentes cenários de mudanças climáticas projetadas para a região de Campinas. Sendo assim, o modelo visa verificar se a empresa possui instrumentos que possam contribuir para que o sistema mantenha em níveis aceitáveis seu abastecimento de água a população do município, por meio de questões como: (1) A empresa possui a quantidade suficiente de reservatórios para atender a população durante um evento extremo? (2) A empresa possui mais de um manancial?

Em um primeiro momento, o ANLRI foi adaptado de modo a incluir, especificamente, o sistema de abastecimento de água. O modelo proposto é composto por cinco níveis dos quais os quatro primeiros são apresentados na Tabela 1. O quinto nível possui inicialmente 100 elementos e por questões de espaço este foi omitido. No entanto, este último nível é composto por questões que foram adaptadas para o contexto brasileiro, como por exemplo: 1) A empresa consegue atender 100\% da população do município? 2) Visto o período de estiagem ocorrido entre 2014 e 2016 a empresa vem desenvolvendo ações que visem minimizar o possível impacto de um novo período de estiagem?

O modelo está sendo desenvolvido de maneira iterativa, conforme apresentado na Figura 2, visando sua completude a aplicação dessa primeira versão será na empresa SANASA (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A), responsável pelo serviço de saneamento no município de estudo.

Figura 2: Metodologia abordada.

Implementações posteriores do modelo irão envolver outros atores do município, como por exemplo: prefeitura; ministério público e organizações não governamentais. Além disso, serão integrados instrumentos de gestão, tais como: plano de saneamento, plano diretor municipal, sistema de regulação, bem como os planos de bacia. Vale ressaltar que essas novas implementações fogem do escopo desse trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse modelo até o presente momento é teórico, porém é possível verificar o seu grau de confiabilidade para realizar a avaliação da resiliência da empresa SANASA diante das variabilidades climáticas. Isto é possível, pois em seu desenvolvimento foi realizado considerando o contexto brasileiro e os fatores que podem influenciar na resiliência da empresa de saneamento do município de Campinas, como por exemplo: a variabilidade climática; a universalização; os altos níveis de perdas distribuídas; treinamento dos funcionários; ausência de energia elétrica; e; alteração no consumo hídrico.

Com a sua aplicação, será possível reduzir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência da empresa por meio da definição de medidas mais eficientes de adaptação e implementação operacional. Desse modo, o modelo pode contribuir significativamente para análise de risco e de exposição da empresa diante dos eventos adversos do clima.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Resiliência	Robustez	Redundância	Manancial
			Captação
			Adução
			Tratamento
			Reservatório
			Rede de distribuição
			Ramal domiciliar
		Prevenção	Mitigando os danos
		Manutenção das funções essenciais	Proteção das dependências
			Planejamento
	Capacidade de superação	Treinamento	Plano contínuo de treinamento
			Plano de segurança
			Sistema de teste
		Consciência	Avaliação de vulnerabilidade
			Compartilhamento de informação
		Medidas de proteção	Comunicação e notificação
			Plano inicial e preparação
			Diante de eventos extremos
		Reserva	Energia elétrica
		Resposta	Produtos
			Primeiras respostas
			Planejamento
		Novos recursos	Força de segurança
			Matéria prima
			Suporte
	Recuperação	Locais alternativos	Equipamentos
			Modo alternativo de obter matérias primas
		Restauração	Perdas devido a desastres naturais
			Características de restauração
		Coordenação	Coordenação interna
			Coordenação externa

Tabela 1: Os quatro primeiros níveis do modelo proposto.
Fonte de dados: Adaptado de Fisher et al. (2010).

CONCLUSÃO

É evidente que as mudanças climáticas podem agravar os riscos já existentes no setor de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Esses riscos decorrem de eventos climáticos extremos, tais como: precipitação intensa ou longos períodos de estiagem. Devido à falta de preparação diante de situações tão singulares e a ausência de métodos eficazes para quantificar

o quão resiliente é a empresa frente a esses eventos, é de grande relevância a implementação de um modelo que possa avaliar sua resiliência. Desse modo, a empresa de saneamento se torna capaz enfrentar os perigos causados pelas alterações climáticas com flexibilidade, agilidade e rapidez. O protótipo do modelo apresentado aqui busca suprir essa necessidade, avaliando os diversos pontos que podem ou não contribuir para o aumento da resiliência de todo o sistema de abastecimento de água. É necessário ressaltar que além da própria empresa de saneamento, os maiores interessados são os governos, pois com um sistema eficiente a população e o meio ambiente serão beneficiados.

REFERÊNCIAS

- AMARASINGHE, P. et al. Quantitative assessment of resilience of a water supply system under rainfall reduction due to climate change. **Journal of hydrology**, 2016. Elsevier B.V., v. 540, p. 1043–1052, 2016.
- BATES, B. et al. **Climate change and water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change**. Geneva, 2008. 1–214 p.
- CHMIELEWSKI, H. et al. Response of Water Systems under Extreme Events: A Comprehensive Approach to Modeling Water System Resilience. In: **World environmental and water resources congress 2016**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 475–486.
- DOTTORI, F. et al. Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming. **Nature climate Change**, 2018. Springer US, 2018.
- (EPA) ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Systems measures of water distribution system resilience**. Cincinnati/OH, 2015. 1–59 p.
- FISCHER, E. M.; KNUTTI, R. Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. **Nature climate change**, 2016. Nature Publishing Group, v. 6, n. 11, p. 986–992, 2016.
- FISHER, R. et al. **Constructing a resilience index for the enhanced critical infrastructure protection program**. Oak Ridge/TN, 2010. 1–44 p.
- HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria. **Water resources**, 1982. v. 18, n. 1, p. 14–20, 1982.
- HOWARD, G. et al. Climate change and water and sanitation: Likely impacts and emerging trends for action. **The annual review of environment and resources**, 2016. p. 253–278, 2016.
- KING, A. D. et al. Emergence of heat extremes attributable to anthropogenic influence. **Geophysical research letters**, 2016. v. 43, p. 3438–3443, 2016.
- KOHLITZ, J. P.; CHONG, J.; WILLETTS, J. Climate change vulnerability and resilience of water, sanitation, and hygiene services: a theoretical perspective. **Journal of water sanitation and hygiene for development**, 2017. v. 7, n. 2, p. 181–195, 2017.
- LIU, D.; CHEN, X.; NAKATO, T. Resilience assessment of water resources system. **Water resources management**, 2012. v. 26, n. 13, p. 3743–3755, 2012.
- OLIVEIRA, R. P. de; MATOS, J. S.; MONTEIRO, A. J. Managing the urban water cycle in a changing environment. **Water utility journal**, 2015. v. 9, p. 1–9, 2015.
- PALL, P. et al. Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. **Nature**, 2011. v. 470, n. 7334, p. 382–386, 2011.
- PARENTE, J. et al. Heat waves in Portugal: current regime, changes in future climate and impacts on extreme wildfires. **Science of the total environment**, 2018. Elsevier B.V., v. 631–632, p. 534–549, 2018.
- SHAH, H. L.; MISHRA, V. Hydrologic changes in Indian subcontinental river Basins (1901–2012). **Journal of hydrometeorology**, 2016. v. 17, n. 10, p. 2667–2687, 2016.
- WILLIAMS, A. P. et al. Contribution of anthropogenic warming to California drought during 2012–2014. **Geophysical research letters**, 2015. v. 42, p. 6819–6828, 2015.

FONTE FINANCIADORA

Os autores agradecem à CAPES pelos auxílios concedidos para execução do trabalho.