



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

NATÁLIA VALMORBIDA MORAES

**CUSTO DA ESCASSEZ PARA A INDÚSTRIA EM DIFERENTES
CENÁRIOS DE DECISÕES DO USO DA ÁGUA.**

Porto Alegre

Janeiro 2018

NATÁLIA VALMORBIDA MORAES

**CUSTO DA ESCASSEZ PARA A INDÚSTRIA EM DIFERENTES CENÁRIOS DE
DECISÕES DO USO DA ÁGUA.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA
AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DE TÍTULO DE
ENGENHEIRA AMBIENTAL.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques

Co-orientadora: Ma. Amanda Wajnberg Fadel

Porto Alegre

Janeiro 2018

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade: só tem valor quando acaba.”

Guimarães Rosa

AGRADECIMENTOS

Agradeço enormemente à UFRGS, ao IPH, aos seus professores e funcionários, sou muito grata e feliz por ter tido a oportunidade de estudar e levar o nome dessa instituição no meu diploma. Agradeço especialmente ao meu professor, orientador e amigo Guilherme Marques por todo conhecimento que vem me transmitindo, por todas as oportunidades, pelo acolhimento, pelas conversas e pelos cafés. Tu foste um divisor de águas na minha vida.

Agradeço aos meus colegas e amigos do grupo de gestão e planejamento de recursos hídricos. À Ana Paula por estar sempre disposta a ajudar e a ensinar. À Bárbara pela energia contagiante que transmite. Ao Carlos Henrique pelos conselhos. À Ada que amei tanto conhecer e que traz sempre um sorriso no rosto. Ao Caetano, ao Pedro Henrique, ao Martin, à Julianna e à Joséli, vocês são demais. E em especial à minha co-orientadora Amanda que é um exemplo para mim como profissional e mulher, muito obrigado por tudo que me ensinastes.

Agradeço aos meus colegas de curso por todos momentos que compartilhamos e principalmente por estarem presentes no momento mais difícil da minha vida. Às minhas melhores amigas Aline, Luísa e Suélen que deixam minha vida mais bonita. Às minhas amigas lindas que tenho tanto orgulho de ter na minha vida, Ana Raquel, Elisa, Judite, Mariana, Nicole, Paula, Priscila e Renata. Às amigas que me aproximei a pouco, que vão se formar comigo e que em pouco tempo me transformaram, Gabrielle, Joana, Lúcia, Mel e Renata.

Às minhas irmãs de coração, Carolina, Daniela e Luana, sou muito grata por vocês existirem e fazerem parte da minha história. Nossa amizade é linda e vai durar para sempre.

À minha família, vó, vô, tias, tios e primos por serem meu porto seguro e por torcerem sempre por mim. À Lucy, que torna minha vida mais alegre e que me ensina todos os dias sobre amor.

À minha mãe que transborda amor, zelo e proteção. Não tenho palavras para agradecer tudo que fazes por mim. Se hoje escrevo este TCC é porque tu estavas servindo de base para que eu realizasse meus sonhos. Tu és meu exemplo de generosidade, de mulher, de força, de persistência e de fidelidade. Ao meu pai, agradeço por nossas discussões filosóficas, pelos ensinamentos sobre história, política e geografia. Por todos os jogos do Grêmio que assistimos juntos, por todos os filmes e viagens que planejamos. Tu és um homem incrível e raro, tenho muito orgulho de ter como pai.

Por fim, agradeço à Deus por ter me permitido realizar o sonho de me formar em Engenharia Ambiental na UFRGS. Sou muito grata a toda força que Ele me deu para chegar até aqui.

RESUMO

MORAES, Natália. **Custo da escassez para a indústria em diferentes cenários de decisões do uso da água**. 2018. 124 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

A escassez hídrica pode ser consequência da baixa disponibilidade hídrica em termos quantitativos e qualitativos e pode gerar impactos em todos os setores de usuários da água. Para a indústria em especial, a escassez hídrica obriga empresas a buscarem outras fontes de abastecimento, reduzir a produção e melhorar o tratamento da água captada, o que encarece o produto final, leva a demissões e diminui a competitividade do setor. Dessa forma, o presente trabalho busca obter o custo da escassez estimado para duas indústrias localizadas na bacia hidrográfica de estudo para uma série histórica de vazões do rio e explorar como ocorre a distribuição de água disponível na bacia para as demandas industriais, de irrigação, de abastecimento público e de fim de trecho (vazão remanescente) presentes na mesma. Para isso, este trabalho contou com o desenvolvimento de um modelo de simulação para o cálculo do balanço hídrico do trecho da bacia objeto de estudo através da elaboração de seis cenários que simulam hipóteses de decisões sobre o uso da água na bacia. Os resultados obtidos mostraram que quando a água é distribuída igualmente em termos de prioridade entre as demandas de uma bacia, todas passam a ganhar e perder na mesma proporção em um episódio de escassez e que, as demandas localizadas mais a jusante passam a ter menos falhas, ou seja, diminui as vezes em que não são atendidas. Por fim, os resultados apontaram que para haver mudanças positivas e significativas nas perdas econômicas destas em um evento de escassez, todas devem contribuir para diminuir suas demandas requeridas, por meio de medidas de reúso, tecnologias mais eficientes e redução de perdas, por exemplo.

ABSTRACT

Water scarcity can be a consequence from low quantity and quality availability. This situation can impact all water users sectors, in different ways. Industry, specially, can be obligated to pursue other sources of water supply, reduce production and improve water treatment, which become final products more expensive and decrease the competitiveness of the sector. Thus, this paper objects to find the estimated scarcity cost for two industries located in the studied watershed for a historic flow series of the river and explores how occurs the distribution of water for all demands in the watershed. To this end, in this paper is developed a simulation model for the hydric balance calculation through six scenarios elaborated to simulate water uses decisions. The results showed that when water is equally distributed in terms of priority between demands in a watershed, all users gain and lose in a same proportion and demands located downstream has its failures in supply reduced. Finally, results also point that significative and positive changes in economic loses are just possible if all demands contribute to save water by reuse, more efficient technologies and water loses reduce.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vazão média de retirada do setor industrial para as regiões brasileiras de 2002 a 2015.....	23
Figura 2. Vazão média de demanda para os estados brasileiros e o Distrito Federal em 2015. Adaptado de ANA, 2017.....	23
Figura 3. Ilustração da escassez e do custo da escassez para um uso econômico da água. Adaptado de Marques et al (2006).....	42
Figura 4. Elasticidade-preço da demanda.	45
Figura 5. Ilustração da escassez e do custo da escassez para um uso econômico da água. Adaptado de Marques et al (2006).....	50
Figura 6. Curva de benefício marginal, considerando comportamento linear e exponencial. .	52
Figura 7. Fluxograma metodológico seguido para a execução do presente trabalho	55
Figura 8. Localização da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos no Brasil e no estado do Rio Grande do Sul. Adaptado de Revista EA (2017).....	56
Figura 9. Unidades de Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.....	57
Figura 10. Mapa da bacia do Rio dos Sinos com pontos indicando as indústrias licenciadas pela FEPAM.	62
Figura 11. Hidrograma para a série histórica completa da estação fluviométrica de Campo Bom no Rio dos Sinos/RS.	63
Figura 12. Hidrograma para o período entre 1940 a 1959 da estação fluviométrica de Campo Bom no Rio dos Sinos/RS.	64
Figura 13. Hidrograma para o período entre 1966 a 2016 da estação fluviométrica de Campo Bom no Rio dos Sinos/RS.	64
Figura 14. Vazões médias mensais para as séries históricas de 1940 a 1959 e 1966 a 2016...	65
Figura 16 – Ilustração do processo de cálculo do custo da escassez	74
Figura 16. Bacia do Rio dos Sinos com a indicação da região modelada e não modelada, da estação fluviométrica, das indústrias estudadas e das demandas outorgadas.	76
Figura 17. Curva de benefício marginal para a indústria Biodiesel S.A referente ao mês de janeiro.....	84
Figura 18. Curva de benefício marginal para a indústria Refinaria referente ao mês de janeiro.	85

Figura 19. Curva de custo da escassez para a indústria Biodiesel S.A referente ao mês de janeiro.....	87
Figura 20. Curva de custo da escassez para a indústria Refinaria referente ao mês de janeiro.	88
Figura 21. Gráfico da porcentagem da demanda atendida gerado no software WEAP para todo o sistema.....	94
Figura 22. Porcentagem da vazão atendida ao longo dos anos de simulação para os seis cenários para indústria Biodiesel S.A.	98
Figura 23. Porcentagem da vazão atendida ao longo dos anos de simulação para os seis cenários para indústria Refinaria.	100
Figura 24. Gráfico do custo da escassez para os seis cenários simulados para a indústria Biodiesel S.A.....	103
Figura 25. Gráfico do custo da escassez para os seis cenários simulados para a indústria Refinaria.	105
Figura 26. Gráfico da quantidade de água entregue para todas as demandas gerado no software WEAP para o cenário 1.....	107
Figura 27. Porcentagem da vazão atendida ao longo dos anos de simulação para os seis cenários da demanda de fim de trecho.	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Grau do impacto causado pelo racionamento de água e energia por tipo de indústria. Adaptado de Itaú Asset Management (2015).	25
Tabela 2. Técnicas para estimativa da demanda e as respectivas áreas de uso. Adaptado de Griffin (2006).	43
Tabela 3 - Valores de elasticidade-preço da demanda de água para atividade industrial.	47
Tabela 4. Características de área das unidades de gestão. Adaptado de Plano de Bacia do Rio dos Sinos, 2014.	58
Tabela 5. Usos da água na bacia por atividade e por unidade de gestão. Adaptado do Plano de bacia do Rio dos Sinos, 2014.	59
Tabela 6. Balanço hídrico da bacia do Rio dos Sinos para as vazões Q_{85} , Q_{90} e Q_{95} para as disponibilidades e demandas em m^3/s	60
Tabela 7. Volume captado em 10^3m^3 por mês para os anos de 2015/2016/2017 pela Refinaria.	66
Tabela 8. Volume captado em m^3 por mês para os anos de 2016/2017 pela Biodiesel S.A. ...	66
Tabela 9. Resumo dos dados e resultados obtidos para a estimativa do valor da unidade de água para a indústria Biodiesel S.A.	67
Tabela 10. Municípios que captam água na região de interesse da bacia, população pertencente a bacia em 2016 e a taxa de crescimento ao ano correspondente	69
Tabela 11. Volume total em milhões de m^3 de água retirados do rio ao longo dos meses de um ano para a irrigação e a indústria.	70
Tabela 12. Demanda (W), preço (P) e elasticidade (ϵ) mensais para indústria Refinaria.	72
Tabela 13. Demanda (W), preço (P) e elasticidade (ϵ) mensais para indústria Biodiesel S.A.	73
Tabela 14. Comparação da demanda original (W) com a nova demanda (W de reuso) seguidas pelo preço (P) e elasticidade (ϵ) mensais para indústria Refinaria.	81
Tabela 15. Comparação da demanda original (W) com a nova demanda (W de reuso) seguidas pelo preço (P) e elasticidade (ϵ) mensais para indústria Biodiesel S.A.	81
Tabela 16. Curvas de benefício marginal (disposição a pagar) da indústria Biodiesel S.A. ...	83
Tabela 17. Curvas de benefício (disposição a pagar) da indústria Refinaria.	83
Tabela 18. Custo de escassez ao longo dos meses do ano para o ponto W e 1% de W para a indústria Biodiesel S.A.	86

Tabela 19. Custo de escassez ao longo dos meses do ano para o ponto W e 1% de W para a indústria Refinaria.....	86
Tabela 20. Curvas de benefício marginal com reuso da indústria Biodiesel S.A.	88
Tabela 21. Curvas de benefício marginal com reuso da indústria Refinaria.....	89
Tabela 22. Custo de escassez ao longo dos meses do ano para o ponto W reuso e 1% de W reuso para a indústria Biodiesel S.A.	89
Tabela 23. Custo de escassez ao longo dos meses do ano para o ponto W reuso e 1% de W reuso para a indústria Refinaria.	90
Tabela 24. Evolução da porcentagem de demanda de irrigação atendida conforme os cenários simulados.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 25. Custo de escassez e número de falhas para cada cenário da indústria Biodiesel S.A.	101
Tabela 26. Custo de escassez e número de falhas para cada cenário da indústria Refinaria.	104

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	A SITUAÇÃO ATUAL DE ESCASSEZ HÍDRICA NO BRASIL	17
2.1.1	Impactos da escassez hídrica para a indústria brasileira	21
2.1.2	Medidas mitigadoras para a redução do impacto econômico da escassez hídrica na indústria	29
2.2	VALOR ECONÔMICO DA ÁGUA.....	37
2.2.1	Curva de benefícios marginais (disponibilidade a pagar)	41
2.2.2	Custo da escassez	49
3	MATERIAIS E MÉTODOS	54
3.1	ÁREA DE ESTUDO	55
3.2	LEVANTAMENTO DE DADOS	63
3.3	CURVA DE DISPONIBILIDADE A PAGAR (BENEFÍCIO MARGINAL) E CUSTO DA ESCASSEZ	70
3.4	BALANÇO HÍDRICO	75
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
4.1	CURVAS DE BENEFÍCIO MARGINAL (DISPONIBILIDADE A PAGAR) E DE CUSTO DA ESCASSEZ	83
4.2	SIMULAÇÃO DO SISTEMA	90
4.2.1	Cenário base.....	90
4.2.2	Cenário 1	95
4.2.3	Cenários 2, 3, 4 e 5.....	96
4.2.4	Indústrias estudadas	98
4.2.5	Vazão remanescente ou de fim de trecho	106
5	CONCLUSÕES	110
	ANEXO 1	118
	ANEXO 2	120
	ANEXO 3	128

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica é determinada pelas limitações temporais e espaciais que os regimes hídricos de cada bacia hidrográfica possuem, ou seja, pela oferta hídrica natural e a regularidade hídrica que a caracterizam. Além disso, está relacionada com a concentração e o crescimento da demanda em zonas onde a oferta de água é limitada, como também, com a deterioração da qualidade da água por sedimentos e contaminação (SOLÍS, 2001 *apud* BARBOSA, 2007).

Em termos quantitativos, o total de água doce disponível no planeta é superior ao consumido pela população. No entanto, sua distribuição desigual faz com que a água não atinja todas as necessidades da população mundial. Em regiões onde a concentração populacional é grande, como a Ásia, ou em regiões onde não há muita disponibilidade de água, como a Europa, a situação é mais preocupante.

Uma projeção da Organização da Nações Unidas (ONU) indica que até 2050 dois terços da população mundial irão sofrer com a escassez hídrica devido ao uso excessivo de recursos hídricos para a produção de alimentos. Nesse contexto, os conflitos pela água no mundo passam a ser alvo de estudo de especialistas, que defendem um maior diálogo entre o poder público e a população para que esses possam ser evitados (MEGA, 2017).

Segundo o relatório "Para um futuro com segurança hídrica e alimentícia", elaborado pela FAO, Organização da ONU para a Alimentação e a Agricultura, atualmente, 40% da população do planeta sofre com a escassez de água. Portanto, o crescimento da escassez hídrica existirá pelo "sobreconsumo de água para a produção de alimentos e a agricultura", segundo a FAO. A organização ainda ressalta que há várias zonas do planeta onde a água subterrânea é mais utilizada e não há reposição nas mesmas proporções (G1, 2015).

O Brasil, por sua vez, é um dos países com maior abundância de recursos hídricos do planeta, com cerca de 12% das reservas de água doce disponíveis. Porém, a distribuição deste recurso é bastante desigual e concentrada na região Norte, que detém 68% das reservas hídricas e apenas 8% da população nacional. Por outro lado, a região Sudeste possui apenas 6% da reserva de água doce brasileira, enquanto concentra 42% da população (ITAU ASSET MANAGEMENT, 2015).

Dessa forma, nas últimas décadas, a água tem sido gradativamente reconhecida como um recurso escasso em escala mundial, em função de suas limitações qualitativas, decorrentes

da poluição, e de suas limitações quantitativas, derivadas das adversidades climáticas, das demandas crescentes e de seu uso ineficiente. Segundo Machado & Marques (2015), a escassez da água é resultante do consumo crescente, mas também pelo mau uso dos recursos hídricos. Assim, a má conduta do usuário, que se utiliza da água como recurso farto e pouco custoso, aliado ao uso de técnicas ultrapassadas de critérios de distribuição da mesma, são fatores que contribuem para a situação atual.

Além disso, a escassez varia ao longo do tempo como resultado de variabilidades hidrológicas naturais, mas varia ainda mais em função da política econômica vigente, das abordagens de planejamento e de gestão. Ademais, a escassez pode ser intensificada em função de modelos de desenvolvimento econômico, mas, se corretamente identificadas, muitas de suas causas podem ser antecipadas, evitadas ou mitigadas. Segundo Fürst (2013), as três principais dimensões que caracterizam a escassez hídrica incluem a ausência física de água disponível para atender a demanda; o nível de desenvolvimento de infraestrutura que controla o armazenamento, a distribuição e o acesso à água; e a capacidade institucional de fornecimento dos serviços de água necessários.

Dessa forma, a escassez faz da água um dos interesses da economia e, assim, é atribuído valor econômico a mesma. Os custos revelados, seja para buscar água mais longe, seja pela perda de produtividade ou pela perda de valor de mercado da propriedade, são exemplos para a estimativa do valor econômico da água (LANNA, 2008). Assim, a gravidade dessa situação reside no fato de que a escassez quantitativa de água constitui fator limitante ao desenvolvimento e a escassez qualitativa, por sua vez, engendra problemas muito mais sérios à saúde pública, à economia e ao meio ambiente em geral” (REBOUÇAS, 2002 *apud* BARBOSA, 2007).

Um exemplo dos impactos econômicos gerados pela escassez hídrica foi a seca que se abateu sobre o semiárido nordestino de 2012 a 2013 considerada a pior dos últimos 50 anos, segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), agência das Nações Unidas especializada em monitorar eventos climáticos. De acordo com o relatório divulgado pela organização, as perdas foram de aproximadamente R\$ 20 bilhões em decorrência da estiagem prolongada (SENADO FEDERAL, 2014).

Para o setor industrial, a crise hídrica pode ameaçar a sobrevivência e o crescimento das empresas e dos serviços e, conseqüentemente, colocar em risco os postos de trabalho, levando ao desemprego e à deterioração da qualidade de vida da população.

O Brasil é, atualmente, um dos países mais industrializados do mundo, sendo esse setor responsável, em 2015, pela geração de R\$ 1,3 trilhões em divisas, o que corresponde a 22,7% do PIB. Além disso, os dados de 2015 apontam que os 512.436 estabelecimentos industriais foram responsáveis pelo emprego de mais de 10 milhões de trabalhadores e contribuíram com cerca de 40% das exportações realizadas (CNI, 2017 *apud* ANA, 2017).

Segundo o Relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2016, os números relativos aos empregos do setor da indústria têm crescido drasticamente nos últimos anos: viu-se um aumento mundial de 1 bilhão para 1,4 bilhão de pessoas, entre 2000 e 2014, o que representa quase 45% da força de trabalho ativa no mundo. Em todo o mundo, alguns dos setores industriais que utilizam água de forma mais intensiva empregam um grande número de pessoas. A escassez de água pode ter efeitos bastante graves em alguns dos principais setores industriais. Em 2014, o Programa de Água da organização Carbon Disclosure Project (CDP) mostrou que 53% dos entrevistados do setor industrial relataram riscos de escassez de água nas operações diretas, e 26% na cadeia de valor (CDP, 2014 *apud* UN WATER, 2016).

De acordo com Reynaud (2003), muitas são as razões para se estudar a demanda hídrica do setor industrial. A primeira delas é que esse setor representa uma parte importante do volume total de água captada na maioria dos países. Outro motivo de se estudar o uso da água na indústria é que esta é vista como uma das maiores fontes de poluição e, como os problemas com a qualidade da água se tornarão cruciais nos próximos anos, a regulação da poluição da água por parte das indústrias é um fator importante para as políticas hídricas. Por fim, medir o valor da água nos seus usos competitivos é um pré-requisito para qualquer desenvolvimento de políticas de recursos hídricos. Quando a água é escassa e, conseqüentemente, os conflitos de sua alocação são mais acentuados, saber quanto a água vale ajuda as autoridades a terem acesso às variações do consumo e, assim, por meio do preço e de mudanças de políticas, conseguem preservar a harmonia entre as partes. Portanto, estimar a função de demanda hídrica das indústrias tem sido uma preocupação das políticas de gestão da água.

Diversas ações vêm sendo promovidas por muitas indústrias no Brasil afim de minimizar e evitar as conseqüências de um evento de escassez hídrica. Uma pesquisa realizada pela Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (Firjan) com 487 empresas do estado revelou que 56,7% delas já adotaram medidas para reduzir o consumo de água, sendo que 25,8% são

relacionadas ao reuso. Com isso, essas empresas já obtiveram 25,6% de economia nos gastos. Um exemplo é a Companhia Paduana de Papéis (Copapa), de Santo Antônio de Pádua, no Noroeste Fluminense, que criou um sistema na própria estação de tratamento que direciona a água para o reaproveitamento. Após a construção da estação, houve uma queda no desperdício de 62 milhões de litros de água por mês, o que dá para abastecer uma cidade de 12 mil habitantes durante o mesmo período (FERREIRA, 2015).

Segundo Ferreira (2015) um outro exemplo é a Werner, uma das principais fabricantes de tecidos de seda do Brasil que capta água do Rio Piabanha para seu processo produtivo, em trecho próximo à fábrica. No próprio parque industrial, a água é tratada, usada e tratada novamente e, depois, devolvida ao rio. A tecnologia permite devolver 95% da água captada em condições melhores do que quando entraram na empresa.

Um terceiro exemplo é a indústria Stam Metalúrgica, fabricante de fechaduras e cadeados, em Nova Friburgo, na Região Serrana do Rio de Janeiro. A empresa adquiriu uma tecnologia importada da Itália que permite descontaminar a água de metais pesados. Com a técnica, a indústria deixou de gastar 60 milhões de litros de água por mês, o que equivale ao consumo mensal de seis mil famílias formadas por quatro pessoas (FERREIRA, 2015).

Ainda, uma outra iniciativa do setor industrial foi a plataforma Saveh, lançada no final de 2016, que ajuda pequenas e médias empresas a melhorarem a eficiência hídrica, controle que a Ambev faz desde 2002. A plataforma faz o diagnóstico da situação atual da empresa por meio de um questionário respondido por empreendedores interessados em implantar as melhorias. Segundo a Companhia de Bebidas das Américas (Ambev), em 15 anos que fizeram o controle da água utilizada na produção, melhoraram a eficiência hídrica em mais de 40% e por meio da experiência que adquiriram resolveram criar essa plataforma e, assim, compartilhar o conhecimento com outras empresas (OLIVETTE, 2017).

Por fim, em relação as próximas ações e propostas do governo para minimizar os impactos de uma crise hídrica, tem-se uma proposta no senado federal brasileiro para alterar a Política Nacional de Recursos Hídricos de modo que seja possível criar os chamados "mercados de água". O projeto de lei (PLS) 495/2017 está na Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania (CCJ) aguardando emendas e designação de relator. O projeto prevê que a cessão dos direitos não poderá prejudicar usos prioritários (abastecimento humano e de animais) e deverá observar a manutenção da vazão remanescente nos cursos d'água. Assim, caberá aos órgãos e entidades outorgantes, nas suas áreas de competência, autorizar,

regulamentar e fiscalizar a criação dos mercados de água, bem como analisar os pedidos de cessão de direito de uso (SENADO FEDERAL, 2017).

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é verificar qual o impacto econômico aproximado de um episódio de seca para duas indústrias localizadas na bacia do Rio dos Sinos no estado do Rio Grande do Sul e como se dá a distribuição de água disponível na bacia para as demandas industriais, de irrigação, de abastecimento público e de fim de trecho (vazão remanescente) presentes na mesma.

Para atingir o objetivo, os próximos capítulos apresentam uma revisão bibliográfica sobre a situação atual da escassez hídrica no Brasil, sobre os impactos econômicos que esse problema causa para o setor industrial no país, sobre os conceitos de valor econômico água, curva de benefício marginal (disponibilidade a pagar) e custo de escassez. Feito isso, desenvolveu-se uma sequência de métodos a fim de se obter o custo da escassez estimado para as duas indústrias localizadas na bacia hidrográfica de estudo para uma série histórica de vazões do rio. Para isso, foram elaborados seis cenários que simulam hipóteses de decisões sobre o uso da água na bacia e se contou com o auxílio do software WEAP – *Water, Evaluation and Planning* para o cálculo do balanço hídrico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta revisão são abordados os assuntos referentes a escassez hídrica no Brasil, suas consequências para o setor industrial e alternativas mitigadoras para a redução dos impactos econômicos na indústria. A segunda parte da revisão bibliográfica trata sobre o conceito de valor econômico da água, do método de obtenção da curva de disponibilidade a pagar e da equação que descreve o custo da escassez, de forma a proporcionar o entendimento do tema de uma forma integrada.

2.1 A SITUAÇÃO ATUAL DE ESCASSEZ HÍDRICA NO BRASIL

A escassez hídrica no Brasil já é uma realidade apesar do país deter uma significativa reserva de água doce. Isso ocorre, principalmente, devido ao desequilíbrio entre oferta e demanda de água, pois o país possui um território extenso e desigual quanto à disponibilidade de água e quanto à localização da população. Além disso, a degradação dos rios e reservas de água, a má gestão dos recursos hídricos, a supressão da vegetação ciliar, as mudanças climáticas e o aumento do consumo em diversos setores são causas da atual crise hídrica que o país enfrenta (PENA, S/D).

O problema de escassez hídrica que o país enfrenta, tanto em quantidade como também em qualidade, vem sendo discutido e debatido por diversos pesquisadores e especialistas na academia, nos órgãos governamentais e em muitos eventos promovidos em todas regiões do Brasil. Schulz (2016), por exemplo, afirma que a crise está relacionada ao desenvolvimento das cidades, pois a demanda por água aumentou muito nos últimos anos e a infraestrutura não acompanhou esta evolução. O autor ainda ressalta que a indústria está mais avançada em termos de tratamento das águas e, por isso, os problemas de qualidade das águas estão 90% das vezes relacionados ao esgoto cloacal. Por outro lado, Cerqueira et al (2015) aponta que a atual deficiência tem maior relação com a incapacidade institucional dos governos em lidar com déficits temporários e excepcionais de água. De acordo com Lanna e Roehrig (2015), o problema não é de ordem técnica, mas político-administrativo, pois o fenômeno da intensa urbanização fatalmente decorrerá no aumento da demanda - seja para seu consumo, seja em relação à descarga de efluentes, sendo fundamental que a infraestrutura de abastecimento acompanhe esse fenômeno. Lanna (2015) ainda ressalta que a escassez das águas tem relação com políticas públicas e com instrumentos de gestão desses recursos, enquanto que a qualidade

dos corpos hídricos se relaciona às questões de saneamento e à gestão de resíduos sólidos e líquidos. Por fim, Pessoa (2015) afirma que o mau uso da água e a falta de planejamento e gestão são amplificadores dos efeitos negativos da crise que afetam direta e indiretamente milhões de pessoas.

Entretanto, cada uma das cinco regiões do Brasil possui características hidrológicas específicas, diferentes condições climáticas e densidades demográficas, além dos setores industrial, agropastoril e de serviços serem mais ou menos desenvolvidos em cada uma delas. Dessa forma, as causas e consequências da crise hídrica enfrentada, tanto no passado quanto no presente, diferem em alguns aspectos de uma região para outra.

A região Nordeste do país é conhecida por enfrentar vários episódios de seca que forçam milhares de pessoas a abandonar suas residências, impacta plantações e rebanhos e prejudica muito a economia de diversos estados nordestinos que têm dificuldades em se desenvolver. A baixa disponibilidade hídrica dos corpos d'água é a principal causa por trás da escassez de água no Nordeste devido ao baixo índice pluviométrico característico dessa região do Brasil, classificando como crítico grande parte dos rios quanto as suas quantidades (ANA, 2015). Um dos casos mais recentes noticiado pela imprensa é a seca do rio São Francisco, em Alagoas, que fez o nível do rio reduzir consideravelmente de forma que o mar avançou em sua foz e prejudicou o abastecimento da cidade de Piaçabuçu que foi interrompido devido aos altos índices de salinidade da água captada que inviabilizaram o tratamento (EL PAÍS, 2017).

Já a região Sul do Brasil, segundo ANA (2015), possui muitos rios com criticidade quantitativa devido à grande demanda da agricultura por inundação. Entretanto, dos dez rios mais poluídos do país, três são gaúchos, Sinos, Gravataí e Caí, localizados na região metropolitana de Porto Alegre/RS. Esse dado, alerta para a má qualidade dos recursos hídricos que pode afetar gravemente o abastecimento da população e dos demais usos. Além disso, Weiland (2012) aponta que durante a primeira década desse século somente em três anos não houve seca na região noroeste do Rio Grande do Sul, causando grandes prejuízos para a agropecuária e para a população rural do estado. Ainda, Hendges (2015) menciona que o Rio Grande do Sul, principalmente a metade sul, apresenta um dos maiores desequilíbrios entre oferta e demanda de água do país. Isso se deve aos baixos percentuais de esgotos coletados e tratados, além do uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes, cuja média é quase duas vezes maior que a nacional, do desperdício de água, cujo valor é maior que o dobro aceito pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e da alta demanda pela irrigação, que representa quase 80% do total da água utilizada no estado (PESSOA, 2015).

Na região Sudeste, os rios localizados em zonas metropolitanas, como as bacias hidrográficas PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiá), Paraíba do Sul e Alto Tietê, apresentam criticidade quali-quantitativa devido à alta demanda existente e a grande quantidade de carga orgânica despejada nos rios (ANA, 2015). Essa região do Brasil, mais especificamente a região metropolitana de São Paulo, passou, em 2014 e 2015, pela maior escassez hídrica desde 1930, quando começaram as medições, afirma Nelson Reis em entrevista para Fiesp (S/D). Reis (S/D) ainda aponta que a crise hídrica na maior cidade do Brasil não foi causada apenas pela falta de chuvas, mas também, por outros fatores, como o número de habitantes que cresceu significativamente, que passou de 4,8 milhões para 11,8 milhões de habitantes somente na capital em aproximadamente cinquenta anos. Dessa forma, a urbanização provocou a poluição dos rios e a verticalização, impermeabilização do solo, a sobrecarga do sistema de abastecimento e de coleta e a dificuldade do acesso à água potável. Assim, a falta de planejamento é mencionada como um dos principais fatores agravantes dessa crise.

A região Centro-Oeste, por sua vez, se caracteriza por possuir grande parte do bioma cerrado que é considerado o berço das águas brasileiras, pois nele se localizam os três principais aquíferos da América do Sul: Guarani, Bambuí e Urucuaia. Nessa região estão as principais nascentes que abastecem grandes rios no Brasil, incluindo oito das doze regiões hidrográficas do país. Porém, segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o cerrado teve quase metade da sua vegetação nativa devastada nos últimos cinquenta anos, cuja função importante é o seu sistema esponjoso capaz de manter o equilíbrio da água no solo. Com isso, os territórios localizados nessa região estão muito mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas naturais, à medida que, em média, dez pequenos rios do cerrado desaparecem a cada ano, deixando de alimentar outros afluentes e impactando o volume de todo o sistema (CUNHA, 2017). O Distrito Federal, por exemplo, enfrenta uma grave crise hídrica que levou o nível dos principais reservatórios que abastecem a região ao menor valor da história e, dessa forma, forçou o governo a decretar racionamento que se prolongou por todo ano de 2017. Porém, desde 2016 a Agência Nacional de Águas (ANA) inclui o Distrito Federal na lista de áreas vulneráveis em relação ao abastecimento de água, o que faz muitos afirmarem que a situação só atingiu essa gravidade devido à falta de planejamento dos órgãos públicos em relação a obras fundamentais para ampliação da oferta de água (MACHADO; CISCATI; SÁ, 2017).

Por fim, a região Norte, evidenciada pelos rios abundantes e pelo grande volume de precipitação bem distribuído ao longo do ano, já sofreu com graves episódios de seca nos anos de 2005 e 2010 e, desde 2016, novamente tem enfrentado uma nova crise hídrica. As causas do

evento mais recente são decorrentes do clima e dos fenômenos ligados a ele, porém agravados pelo desmatamento das matas ciliares para plantação de pastagens e pelo desvio de corpos d'água para abastecimento das fazendas. Assim, tais condições ocasionam um baixo armazenamento de água, no período normalmente chuvoso, nas principais sub-bacias hidrográficas dos grandes rios da região, impactando em diversos setores que dependem direta ou indiretamente das condições fluviométricas, além do aumento do número de incêndios florestais (INMET, 2017).

Os impactos apresentados mostram que estamos enfrentando desafios diversos para manter a confiabilidade no abastecimento de água frente às demandas. Mais do que uma “crise hídrica”, é preciso reconhecer que as condições estão mudando, seja por impacto na disponibilidade hídrica em razão de mudanças climáticas e uso do solo, seja por aumento e concentração das demandas, seja por uma combinação de ambos. Essa mudança nas condições exige que a própria gestão dos recursos hídricos também evolua e se torne mais efetiva para enfrentar os desafios. Caso contrário, eventos de “crise hídrica” se tornarão cada vez mais comuns em um futuro próximo, atingindo todas as regiões do Brasil e causando prejuízos econômicos de forma generalizada. Segundo Tundisi em entrevista para o jornal EL PAIS (2015), as consequências econômicas são tão graves que muitos bancos se preocupam com a inadimplência devido à redução da produção de diversas indústrias. Além disso, Macio Salvato, também em entrevista para o mesmo jornal, aponta que os índices de inflação sobem em decorrência da falta de água e, assim os juros se elevam, desaquecendo a economia.

A forte dependência dos setores elétrico e agropecuário brasileiro com os recursos hídricos também é um fator importante citado pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) (2016) em seu relatório sobre a crise da água, pois em torno de 75% da produção de eletricidade é gerada por hidrelétricas e 61% da água é utilizada na agricultura e pecuária. Portanto, essa estreita relação entre esses setores e a água pode afetar a segurança energética e alimentar do país caso a crise da água se intensifique, além dos reflexos negativos na economia brasileira no caso de serem necessárias a adoção de racionamentos de energia e de água (GAZZOTTI & FILHO, 2015).

A seca que atinge o Distrito Federal, por exemplo, cuja produção de morangos é muito forte, já provocou a redução de 30% da área plantada, como também, diminuiu a renda das famílias e o número de trabalhadores envolvidos direta e indiretamente com a atividade, assim o Produto Interno Bruto (PIB) do morango caiu R\$ 8 milhões em média (GOMES, 2017). Além das consequências para a agricultura, o abastecimento humano diversas vezes é reduzido ou

interrompido. Em 2017, em todo o Brasil, foram em torno de 872 o número de cidades com reconhecimento federal de situação de emergência causada por um longo período de estiagem, sendo o estado da Paraíba o que concentrou maior número de municípios, com 198 que comunicaram o problema aos órgãos do governo (AGÊNCIA BRASIL, 2017).

Já o setor industrial, em situação de escassez de água, é seriamente impactado. As indústrias dependentes desse recurso, são obrigadas a buscar outras fontes de abastecimento, reduzir a produção e melhorar o tratamento da água captada, o que encarece o produto final, leva a demissões e diminui a competitividade do setor. Em pesquisa realizada pela Federação das Indústrias de São Paulo (Fiesp), a crise hídrica que atingiu o Sudeste em 2014-2015, causou o fechamento de mais de 3 mil postos de trabalho somente em 2014 no estado de São Paulo (CALDEIRA, 2014). Além disso, esse mesmo episódio levou indústrias que dependem de água a mudarem de região e outras a investirem e se instalarem em localidades afastadas dos sistemas hídricos em crise, devido à dificuldade de conseguirem licenciamento ambiental para captação de água e financiamento, já que o sistema financeiro as vê com mais risco de investimento (MARTÍN, 2015).

2.1.1 Impactos da escassez hídrica para a indústria brasileira

Segundo dados do panorama divulgado pelo Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos (DEPECON) (2017), a participação da indústria de transformação no PIB brasileiro foi de 11,7% em 2016. Nesse mesmo ano, esse setor detinha 15,5% dos empregos formais do país, assim como, 9,5% de todos os estabelecimentos registrados no Brasil. De acordo com esse mesmo relatório, o valor adicionado pela indústria da transformação em 2015, foi de R\$ 606,3 bilhões, sendo que desse valor 18,6% foram de produtos alimentícios, 9,3% de produtos químicos, 8,1% de coque, derivados do petróleo e biocombustíveis, 6,2% de veículos automotores e 6,2% da metalurgia. Além disso, os setores mais expressivos quanto a produção industrial, segundo relatório da ANA (2017), são: Alimentos e Bebidas (21%), Derivados de petróleo e biocombustíveis (11%), Químicos (10%), Veículos automotores (9%) e Metalurgia (6%).

São Paulo foi o estado brasileiro com maior valor adicionado da indústria de transformação em 2014, com 38,6% do total desse setor, seguido por Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná, cujos valores correspondem, respectivamente, 10%, 8,7% e 8%. Já em relação

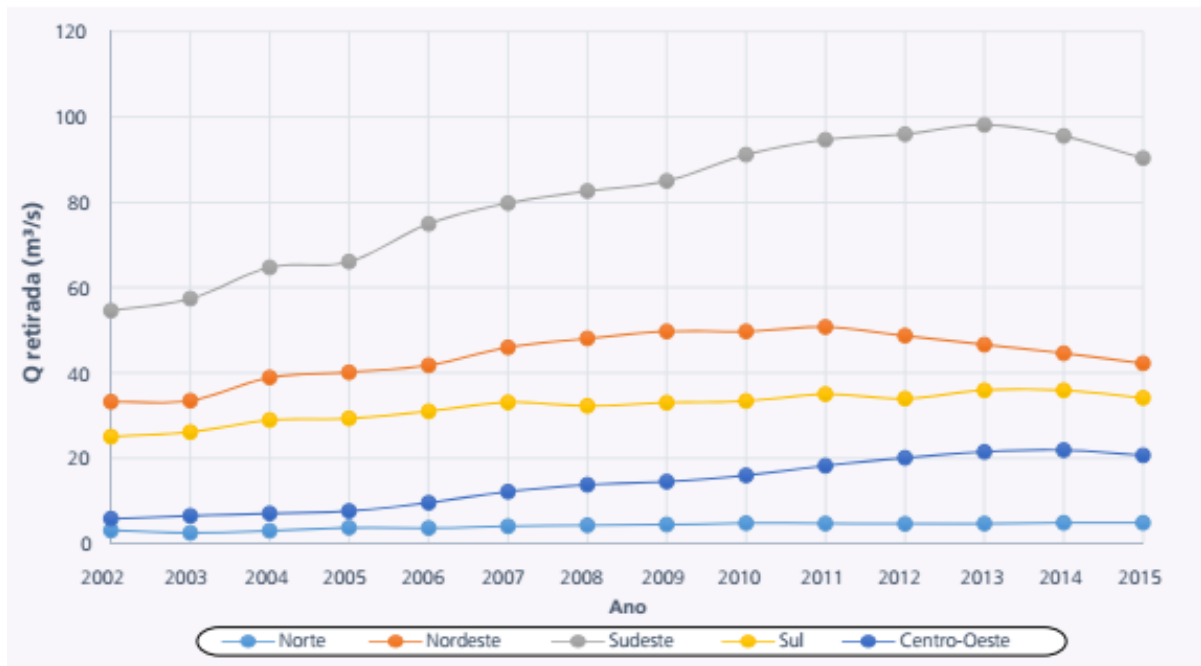
ao PIB estadual, os Estados com maior participação da indústria de transformação foram: Amazonas (23,0% de seu PIB); Santa Catarina (22,2% de seu PIB); Rio Grande do Sul (16,8% de seu PIB); Paraná (15,8% de seu PIB) e São Paulo (14,9% de seu PIB) (DEPECON, 2017).

A indústria de transformação brasileira representa o terceiro maior uso consuntivo da água, atrás do abastecimento urbano e da agricultura irrigada. As atividades industriais têm maior participação em regiões mais desenvolvidas do país, onde o uso da água tende a ser intensivo e diversificado. Porém, apesar da alta disponibilidade hídrica, esse recurso não se encontra igualmente distribuído no país, de forma que as maiores demandas por água desse setor não se localizam necessariamente onde existe a maior oferta hídrica, pois esses empreendimentos levam em consideração variáveis geográficas, econômicas, sociais, políticas, físicas e logísticas para se instalarem (ANA, 2017).

A água é um insumo extremamente importante para a atividade industrial, não somente para o processo produtivo em si, mas também para o uso de sanitários e refeitórios (SILVEIRA, 2017). A demanda hídrica industrial teve 70% de crescimento entre os anos de 2002 e 2013, porém, com a queda da atividade em 2014 e 2015 decorrente da crise hídrica e econômica, a demanda reduziu 7,1% em 2015 comparada com o ano de 2013, sendo que 55% do total retirado, são efetivamente consumidos (ANA, 2017).

Regionalmente, as maiores demandas estão localizadas no Sudeste brasileiro. As regiões Sudeste, Sul e Nordeste foram juntas responsáveis por 85% do total da demanda de água na indústria no ano de 2015 (ANA, 2017). A Figura 1, a seguir, mostra a vazão média de retirada para o setor industrial entre os anos de 2002 e 2015 para cada uma das cinco regiões do Brasil.

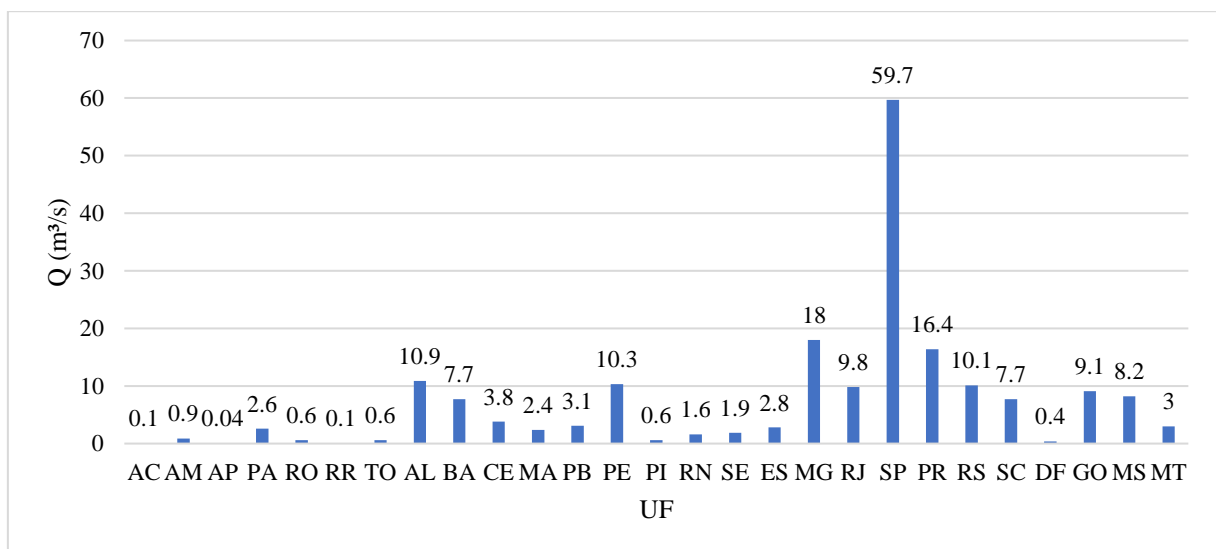
Figura 1. Vazão média de retirada do setor industrial para as regiões brasileiras de 2002 a 2015.



Fonte: ANA, 2017.

Já em relação aos estados brasileiros, segundo ANA (2017), as maiores demandas totais para retirada verificam-se nos estados de São Paulo (59,71 m³/s), Minas Gerais (17,95 m³/s), Paraná (16,45 m³/s), Alagoas (10,89 m³/s), Pernambuco (10,32 m³/s) e Rio Grande do Sul (10,05 m³/s) como mostra a Figura 2.

Figura 2. Vazão média de demanda para os estados brasileiros e o Distrito Federal em 2015. Adaptado de ANA, 2017.



De acordo com ANA (2017), em 2015, 87% dos municípios brasileiros apresentaram vazões de retirada para o setor industrial, sendo que desses, somente dezenove municípios apresentaram vazões captadas superiores a 1 m³/s, correspondendo a 17% da demanda total. Oitenta e dois municípios apresentaram vazões de retirada superiores a 0,5 m³/s, o que corresponde a 40% da demanda hídrica e expressa a forte concentração da demanda industrial nos grandes polos urbanos e agroindustriais. As capitais São Paulo e Rio de Janeiro permanecem como os municípios de maior demanda, com participação de 5,3% do total nacional em 2015.

Geograficamente, os principais polos regionais de demanda industrial são em municípios da porção central da região Sudeste, nas mesorregiões de Campinas, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto, além das próprias mesorregiões metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro. Outras regiões que merecem destaque, em virtude das demandas, são as mesorregiões do Alto Paranaíba e do Triângulo Mineiro na porção sudoeste de Minas Gerais e a porção do litoral nordestino que engloba os estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba (ANA, 2017).

Dentre os grupos industriais, ou seja, atividades industriais que possuem as maiores vazões totais de retirada e de consumo no Brasil, de acordo com dados de 2015 divulgados pela ANA (2017), a atividade de fabricação e refino de açúcar está em primeiro lugar (com 54,55 m³/s de retirada e consumo). Em segundo lugar está a fabricação de biocombustíveis (com 25,71 m³/s de retirada e consumo) e em terceiro lugar a fabricação de celulose e outras pastas para fabricação de papel (com 19,81 m³/s de retirada e 2,51 m³/s de consumo). Por fim, em quarto está o abate e a fabricação de produtos de carne (com 13,48 m³/s de retirada e 1,68 m³/s de consumo) e em quinto lugar a siderurgia (com 7,73 m³/s de retirada e 2,00 m³/s de consumo).

Devido à importância da água para o setor industrial, é necessário prestar atenção a possíveis ocorrências de conflitos pelo uso da água. O dinamismo e o porte do setor industrial, vinculados à elevada concentração no território, sobretudo em áreas urbanas com industrialização já consolidada, podem contribuir para que ocorram esses conflitos. Além disso, há a pressão exercida pelo mercado e a concorrência da demanda hídrica industrial com usos prioritários definidos em lei, principalmente o abastecimento humano (ANA, 2017).

Uma característica importante da economia brasileira é a forte dependência no regime de chuvas, por suas características geográficas e matriz energética. Apesar de menos que no passado, as hidrelétricas ainda respondem por cerca de 75% da geração de energia no Brasil.

Com isso, a indústria (em especial a de transformação) é o segmento que mais deverá sofrer devido ao aumento da tarifa de energia em caso de escassez de água. Estas hipóteses qualitativas partem da observação do que ocorreu em 2001 e, assume-se que seguem valendo para 2015, mesmo com o aumento da importância do setor de serviços vis-à-vis o da indústria, ambos como proporção do PIB (ITAÚ ASSET MANAGEMENT, 2015).

A crise hídrica que o Brasil enfrenta tem nos custos relacionados à energia elétrica um bom exemplo do impacto que a escassez de água gera nos cofres das indústrias. Reservatórios vazios fazem com que usinas termoeletricas sejam usadas no lugar das hidrelétricas para gerar energia. Além de serem fontes não sustentáveis, são mais caras e acarretam no incremento no valor da tarifa para fechar a conta dos fornecedores (TERA AMBIENTAL, 2015).

Ademais, nos últimos anos foram registrados os números mais graves de estiagens até hoje em vários estados brasileiros. E, ainda, segundo o blog Tera Ambiental (2015), há o alerta por parte da comunidade científica da correlação cada vez mais evidente entre o modo desenfreado de exploração dos recursos naturais e as mudanças climáticas que o planeta vem sofrendo. Essas mudanças não têm impacto apenas no dia a dia das pessoas, mas modificam também a rotina de trabalho das indústrias e, ao que tudo indica, serão cada vez mais frequentes.

Segundo estudo realizado pelo Itaú Asset Management (2015), um racionamento de água e energia impacta o setor industrial em três diferentes níveis, como mostra a Tabela 1 a seguir.

Tabela 1. Grau do impacto causado pelo racionamento de água e energia por tipo de indústria.

Adaptado de Itaú Asset Management (2015).

Alto impacto	Médio impacto	Baixo impacto
Saneamento	Construtoras	Aviação
Mineração	Petroquímica	Telecom
Siderurgia	Papel e celulose	Cosméticos
Alimentos		
Elétrico-geração		
Bebidas		
Sucro-alcooleiro		

Em meio a grave crise hídrica ocorrida em 2014-2015 no sudeste do Brasil, a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) realizou uma pesquisa com as indústrias paulistas a fim de averiguar as possíveis consequências de um racionamento de água. Constatou-se que independente do porte da empresa, pequena, média ou grande, todas apresentaram grande preocupação com a possibilidade de ocorrência de um racionamento. Além disso, metade das empresas entrevistadas confirmaram que sofreriam um pequeno impacto no faturamento, caso houvesse racionamento e 18% das empresas afirmaram que essa ação teria um forte impacto no faturamento.

A pesquisa ainda aponta que as indústrias de grande porte são as que estão mais preocupadas com a possibilidade de um racionamento de água porque sua produção é mais afetada. Apenas 50,0% afirmaram que não precisam interromper a produção durante uma interrupção do fornecimento de água, enquanto 65,5% das pequenas e 60,7% das médias fizeram essa mesma afirmação. Além disso 13,6% das grandes empresas têm que paralisar a produção durante a interrupção, ante 12,2% das pequenas e 10,7% das médias. E 11,4% das indústrias de grande porte têm a produção paralisada e a retomada não ocorre logo em seguida, demorando bastante tempo, o que foi apontado por apenas 3,9% das pequenas e 9,3% das médias.

Em relação as fontes de água alternativas, a pesquisa ainda detecta que 70% das pequenas empresas não possuem, seguidas por 40% das médias e 23% das grandes empresas. Ainda, 36,4% das grandes, 30% das médias e 12% das pequenas empresas não dependem do sistema de abastecimento, pois possuem outra fonte de água. No entanto, 34%, 30% e 14% das grandes, médias e pequenas empresas, respectivamente, são capazes de manter a produção durante um possível racionamento de água.

Nelson Reis (S/D), vice-presidente do Conselho Superior de Meio Ambiente da Fiesp, alerta que se a indústria não conseguir se manter enquanto há interrupção em seu fornecimento de água, ela terá relevantes impactos em sua produção e na venda de produtos. Além disso, ele afirma que a crise hídrica ainda não trouxe impactos mais significativos para a atividade industrial porque o Brasil passa por uma crise econômica e, com isso, a indústria não está utilizando 100% de seu potencial produtivo. Entretanto, um agravante à crise de 2014-2015, foi que as duas regiões mais afetadas, as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá e do Alto Tietê respondem por cerca de 50% do PIB da indústria do Estado de São Paulo. Dessa forma, o impacto econômico da paralisação da produção nessa região é muito representativo.

Ainda sobre a crise hídrica de 2014-2015, muitas foram as consequências para as indústrias paulistas. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a atividade industrial de janeiro a junho no ano de 2015 caiu 8,7% na cidade de São Paulo. O setor, que consome normalmente 10% da água disponibilizada na região metropolitana, foi obrigado a reduzir em 30% a captação do insumo em Campinas. Além disso, as indústrias aumentaram o orçamento destinado a melhorar a qualidade da água captada, pois, com a redução na vazão, aumentou a concentração dos poluentes (EL PAIS, 2015).

Outro exemplo dos impactos negativos que a escassez hídrica causa às indústrias é citado por Luiz Carlos Souza, diretor comercial da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento (Sanasa). Ele afirma que uma importante indústria, localizada na cidade de Paulínia/SP, que possui outorga do governo federal para retirar 1 m³/dia do rio Atibaia para seu parque industrial, não conseguia captar nenhuma gota de água no auge da crise hídrica. Essa indústria, como ele relata, decidiu desativar três unidades de produção no município. Além disso, outras empresas de outros setores, como o de abastecimento público, teriam outorga para a captação de 4 m³/s, mas só conseguiam no máximo 2,8 m³/s (AECweb, S/D).

A lista de indústrias afetadas pela crise hídrica de 2014-2015 no sudeste brasileiro é extensa. A Rhodia, indústria química pertencente à Solvay, desativou quatro das 22 unidades de produção na fábrica localizada no município de Paulínia, no Estado de São Paulo, porque, segundo o porta-voz da indústria, “o rio de onde a indústria coleta água está secando”. Assim, a companhia optou por fazer uma manutenção não programada nas unidades até que o fornecimento de água se normalizasse. Além disso, metade das produtoras têxteis do Brasil se localiza no Estado de São Paulo e muitas dessas indústrias foram atingidas pela escassez de água que dificultou o processo de coloração e outras operações (DEZEM, 2014). Esse fato é mais um agravante as consequências econômicas que a crise hídrica gera para esse estado.

Ademar Ribeiro Romeiro, professor da Unicamp, enfatiza que as indústrias e as companhias fornecedoras de água enfrentam custos crescentes com a crise hídrica, pois as indústrias precisam comprar mais água de fornecedores distantes e estão gastando mais para purificar a pouca água que conseguem das atuais reservas.

Em pesquisa realizada pelo Datafolha (2015), a pedido do Sindicato da Micro e Pequena Indústria do Estado de São Paulo (Simpì), foi apontado que 31% das micro e pequenas indústrias do estado tiveram problemas com abastecimento de água e 81% destes relataram que o corte chegou a mais de quatro horas durante a crise hídrica de 2014-2015. Além disso, os

empresários relataram que houve impactos na produção, na mão de obra e nos custos pela falta de água. Houve ausência de conexão à internet e telefonia, atraso na produção e entrega, paralisação da produção devido à falta de energia, dispensa dos funcionários devido à falta d'água, restrição ao uso do banheiro e custos a mais para adquirir água potável foram alguns dos impactos citados.

A pesquisa relata ainda que, na Região Metropolitana da cidade de São Paulo, 45% das micro e pequenas indústrias tiveram problemas com abastecimento de água, índice que chega a 51% na capital. Ademais, 32% das indústrias entrevistadas em todo estado não adotaram nenhuma medida para economizar água. Na capital do estado, esse número foi de 21%, já no interior esse índice chega a 42%. Por fim, a pesquisa mostra que apenas 12% dos entrevistados possuem fonte alternativa de abastecimento de água e 3% possuem fonte alternativa de energia elétrica.

No estado do Rio de Janeiro, o secretário estadual de meio ambiente, André Corrêa, afirmou, em entrevista ao portal G1 (2015), que indústrias do Estado tiveram que interromper a produção devido à crise hídrica de 2014-2015. Segundo ele, na Região do Guandu, indústrias ficaram quase um dia sem captar água e tiveram problemas na produção, pois a prioridade foi o abastecimento público.

Ainda, uma pesquisa da Federação das Indústrias do Rio de Janeiro revela que a escassez hídrica gerou impactos para pelo menos 30,6% das empresas fluminenses. Além disso, nesse levantamento, foram consultadas 487 companhias, que empregam 58,9 mil operários e entre as empresas afetadas, metade relatou sofrer com o aumento de custos, 29,8% tiveram de interromper ou paralisar a produção e 6% dispensaram mão de obra (MARTINS, 2015).

Por fim, no estado de Minas Gerais, uma situação de escassez hídrica afeta primeiro as pequenas e médias empresas urbanizadas. As empresas maiores, como as de mineração e metalurgia, sentem os impactos mais tarde quando há perda de vazão significativa nos cursos hídricos explorados, pois possuem sistemas de reaproveitamento de água. De acordo com Martins (2015) a média de reuso na mineração gira em torno de 80% e na siderurgia esse valor é próximo de 90%.

2.1.2 Medidas mitigadoras para a redução do impacto econômico da escassez hídrica na indústria

Atualmente a indústria nacional está submetida a dois grandes instrumentos de pressão. De um lado, as imposições do comércio internacional pela melhoria da competitividade e, do outro, as questões ambientais e as condicionantes legais de gestão de recursos hídricos, particularmente as associadas à cobrança pelo uso da água. Além disso, a escassez hídrica pode afetar diretamente a produção, desde a disponibilidade de água até a sua qualidade, devido ao baixo volume. Ainda, outro fato relevante é o potencial de risco quanto à demanda de água que, no Brasil, prioriza o abastecimento público.

Do ponto de vista estritamente econômico, a melhor forma de lidar com a escassez pontual é melhorar a gestão da demanda. Esse custo temporário tende a ser menor do que àquele de manter uma elevada capacidade ociosa durante todo o tempo (CERQUEIRA et al, 2015). Assim, deve ser preconizado o uso racional da água nos processos produtivos. Diante do quadro de escassez de água que grande parte do país está vivendo, a estratégia de reuso de água é uma ferramenta poderosa. Dessa forma, soluções para o reuso visam diminuir a captação de água, garantindo a mesma produtividade com um consumo específico de água menor. Dessa maneira, mantém a produção e o faturamento da indústria, com o benefício intangível do alinhamento com o meio ambiente e a sustentabilidade.

Os problemas atuais de escassez de recursos hídricos levaram ao desenvolvimento de novas tecnologias, que propiciam a otimização da utilização do reuso de água, particularmente no ambiente industrial. O reuso da água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas em alguma atividade industrial, para suprir a necessidade de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas (BIFF, 2009).

A primeira regulamentação que tratou de reuso de água no Brasil foi a norma técnica NBR-13.696, de setembro de 1997. Na norma, o reuso é abordado como uma opção à destinação de efluentes de origem essencialmente doméstica ou com características similares. Com o crescente interesse pelo tema, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), publicou a Resolução 54, em 2005, que estabelece os critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. Nessa resolução, são definidas as cinco modalidades de reuso de água:

- Reuso para fins urbanos;
- Reuso para fins agrícolas e florestais;
- Reuso para fins ambientais;
- Reuso para fins industriais;
- Reuso na aquicultura

A prática de conservação e reuso de água consiste basicamente na gestão da demanda, ou seja, na utilização de fontes alternativas de água e na redução dos volumes de água captados por meio da otimização do uso. A gestão da demanda se inicia por um processo integrado de identificação e medição contínua de demandas específicas de cada sub-setor industrial. Essa informação gerenciada permite um efetivo controle da demanda individualizada e orienta a eliminação do desperdício operacional e a modernização dos processos.

Uma vez controlada a demanda, inicia-se a gestão da oferta, que consiste em substituir as fontes de abastecimento convencionais por opções mais favoráveis em termos de custos e de proteção ambiental. As opções se concentram: no reuso da água, que constitui os efluentes gerados na própria indústria; no aproveitamento de águas pluviais de telhados ou pátios internos; e, eventualmente, no reforço das águas subterrâneas por meio de recarga artificial dos aquíferos subjacentes à própria indústria com efluentes industriais controlados e adequadamente tratados.

A prática do reuso em sistemas industriais proporciona benefícios ambientais significativos, pois permite que um volume maior de água permaneça disponível para outros usos. Em certas condições, pode reduzir a poluição hídrica por meio da minimização da descarga de efluentes. Existem também benefícios econômicos, uma vez que a empresa não acrescenta a seus produtos os custos relativos à cobrança pelo uso da água.

Segundo o Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria elaborado pelo SENAI em conjunto com o sistema Firjan (2014), as indústrias podem fazer Planos de Conservação e Reuso de Água (PCRA) para auxiliar no processo de implantação desses sistemas. Com as devidas adaptações, as etapas desses planos incluem:

- Levantamento e compilação de dados: tem o objetivo de coletar informações que não estão disponíveis nos documentos bem como de identificar oportunidades para otimizar o uso da água e analisar o potencial de reuso de efluentes gerados no próprio local de sua produção.

- Identificação de opções para gestão da demanda e otimização do uso da água: com base nas informações levantadas, são analisados os seguintes processos desenvolvidos na indústria:

- a) Identificação de perdas físicas e desperdícios;

- b) Acompanhamento, em campo, dos processos que utilizam água;

- c) Comparação do consumo de água, por segmento industrial e a produtividade com outras indústrias;

- d) Avaliação da viabilidade da substituição de equipamentos existentes por modelos mais modernos e mais econômicos no consumo de água e de energia.

- Determinação do potencial de reuso de água: só devem ser consideradas após a implantação das opções de redução do consumo de água. Para a prática adequada do reuso, deve ser identificada a qualidade mínima da água necessária para um determinado processo ou operação industrial.

- Aproveitamento de águas pluviais: apresentam qualidade superior aos efluentes normalmente considerados para reuso, além de que os sistemas utilizados para sua coleta e armazenamento não apresentam custos elevados e podem ser amortizados em períodos relativamente curtos.

Nelson Pereira Reis, vice-presidente do Conselho Superior de Meio Ambiente (Cosema) afirma em entrevista que, de acordo com a experiência que se tem da indústria, para reduzir o consumo de água em um estabelecimento, é importante que haja um trabalho interno de gestão, começando pelo entendimento de toda a linha de abastecimento de água, desde a entrada no empreendimento até a última ponta da tubulação, pois assim é possível mapear a existência de vazamentos, necessidades de manutenção e, principalmente, identificar oportunidades de reutilização interna de água, o que a indústria já pratica vastamente. Reis (S/D) salienta também que outro caminho a ser considerado é a possibilidade de usar água proveniente do próprio tratamento de efluentes da indústria ou mesmo comprada de tratamentos externos, lembrando que esses usos devem estar em conformidade com as exigências de padrão de qualidade da água onde será aplicada (SILVEIRA, S/D).

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) defende políticas e incentiva iniciativas de reuso da água, além de manter uma rede de recursos hídricos que integra representantes do setor. O objetivo é qualificar os empresários a usarem menos água na produção e

reaproveitarem o insumo, reduzindo custos e incrementando a competitividade. Segundo a Confederação, são três os principais pontos para a indústria reduzir seu consumo de água: tecnologia, gerenciamento e reutilização do recurso água. Uma constatação importante é de que antes o assunto água era restrito aos gerentes de utilidade e de produção e, agora, passou a ser tema de interesse geral da indústria. Com isso, o setor industrial adotou ações mais estratégicas e não mais restritas a apenas alguns setores.

No processo de produção de biodiesel, por exemplo, são gerados efluentes como água dos condensadores e água condensada nos evaporadores provenientes do processo de secagem e da destilação da glicerina e do éster. Esses efluentes são águas de processo que podem ser resfriadas e desaeradas como forma de tratamento e, assim, podem ser recicladas em outra parte do processo, como lavagem dos filtros e no preparo de soluções.

A indústria siderúrgica é tida como uma das que sofrerão alto impacto econômico com um evento de escassez hídrica, segundo pesquisa realizada pelo Itaú Asset Management (2015). Apesar da alta intensidade hídrica do setor e da baixa transparência quanto à quantidade de água utilizada, algumas indústrias de siderurgia conseguem apresentar números expressivos em seu índice de reuso de água, chegando a até 97%. A possibilidade de um alto índice de reuso na atividade siderúrgica torna determinadas indústrias do setor menos expostas ao tema, quando realizados os investimentos necessários tempestivamente.

A mesma pesquisa aponta a indústria petroquímica como uma das que sofrerão médio impacto com a escassez hídrica. Esse setor faz um uso intensivo da água, especialmente no processo de craqueamento, que transforma a Nafta em produtos petroquímicos básicos. No Brasil, a principal indústria do setor trabalha com um consumo cerca de 5 vezes menor que a média global. O principal fator que contribui para essa eficiência é a idade da indústria e tecnologia adotada nas plantas industriais. Atualmente, o índice de reuso de água em suas operações é de 30% e com meta de chegar até 40% em 2020. Operações da indústria na região do ABC Paulista (sob estresse hídrico em 2014-2015) possuem um índice de reuso de água de 95% em função do Aquapolo ABC, um projeto de grande escala para reuso de água envolvendo a Foz do Brasil (51%) e a Sabesp (49%) (ITAÚ ASSET MANAGEMENT, 2015).

No Distrito Federal, a maioria das indústrias já utilizam processos de reuso e práticas de economia de água, pois para a indústria esse insumo é essencial e empresários buscam, cada vez mais, otimizar o uso desse recurso. Entretanto, é importante divulgar informações sobre o tema para se obter sempre melhores resultados. (PORCINA, 2016).

No Rio de Janeiro, o setor industrial é responsável por 827 mil empregos diretos e nos últimos dois anos, 56,7% das indústrias fluminenses adotaram ações de racionalização do uso da água. Essa ação, levou a uma redução de 25,6% no consumo de água desse mesmo período (O DIA, 2015).

Desde 2003, as licenças ambientais exigem o reaproveitamento da água para fins industriais. O Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj), por exemplo, prevê que toda a água deverá ser de reuso, exceto a destinada ao consumo humano. Uma das maiores indústrias de infraestrutura do país, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) também já utiliza 92% de água de reuso em seu processo industrial (FGV, 2015).

Planejar e inovar são duas estratégias que ajudam a mitigar os impactos de uma escassez hídrica e ajudam na busca por alternativas de desenvolvimento. Algumas indústrias estão encontrando oportunidades de negócio em meio à crise hídrica, por exemplo: a Indústria Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e a Nestlé. Nesse caso, os investimentos da Embrapa são focados em criar produtos que usem menos água, como cana-de-açúcar e soja transgênicas. Já a Nestlé tem se debruçado sobre o dado de que, geralmente, 80% do leite é composto de água. Com isso, a indústria pretende reaproveitar a água retirada na fabricação de produtos como o leite condensado e o leite em pó (TERA AMBIENTAL, 2015).

Um exemplo de iniciativa de sucesso, é a indústria do aço que chegava a consumir 100 toneladas de água para cada tonelada de aço, hoje consegue produzir uma tonelada de aço com 6 toneladas de água. Essa redução, que foi de 94%, ocorre devido às novas tecnologias e a reutilização da água na indústria (PENSAMENTO VERDE, 2013).

A Ternium (ex-CSA) também é um exemplo. Essa siderúrgica enfrentou problemas após a redução na vazão do Rio Jaguari na crise hídrica de 2014-2015, determinada unilateralmente pelo governo paulista. Este rio alimenta o Paraíba do Sul, que, por sua vez, tem suas águas transpostas para o Rio Guandu. Este deságua no mar pelo canal de São Francisco, em Itaguaí, onde a Ternium capta água. Com a redução da vazão do Jaguari, o mar invadiu o canal, elevando a salinidade da água e dificultando seu uso pela companhia. Para evitar que isso se repita, a Ternium otimizou procedimentos operacionais, reduzindo seu consumo de água em 20%. Paralelamente, a siderúrgica e outras empresas do distrito industrial de Santa Cruz estão construindo uma nova adutora, que permitirá captar água em um novo ponto, 16 quilômetros acima do atual (AGÊNCIA GLOBO, 2017).

Outro exemplo, é a empresa Sal Cisne, localizada em Cabo Frio, que viu na matéria-prima de seu produto, a água do mar, uma oportunidade para suprir sua demanda hídrica. A fábrica capta água na Lagoa de Araruama, que evapora naturalmente nas salinas. A salmoura resultante desse processo é, então, levada a uma máquina, na qual é aquecida. A água residual contida na salmoura evapora, condensa e, depois de ser tratada, está apta até para ser consumida pelos 400 funcionários que trabalham na empresa. Com o desenvolvimento dessa técnica, na qual foram investidos R\$ 4 milhões, a empresa se tornou autossuficiente em água há três anos, economizando R\$ 170 mil mensais (AGÊNCIA GLOBO, 2017).

Os processos de reaproveitamento de água ou de tecnologias para otimização de seu uso têm avançado em diversos segmentos. Na Coca-Cola, por exemplo, um projeto com este fim começou a ser implementado em 2016, após a crise hídrica pela qual passa o Espírito Santo afetar a produção de frutas para a empresa. O estado, que já foi responsável por 95% do fornecimento de maracujás da Coca-Cola — para os sucos Del Valle —, hoje só responde por 5%. Para evitar que o mesmo acontecesse com a produção de goiaba no estado, a empresa fez uma parceria com a start-up Agrosmart, que desenvolveu dispositivo capaz de captar dados de umidade das terras das plantações e cruzá-los com os índices pluviométricos da região. O resultado é enviado para um aplicativo de celular, a fim de avisar a agricultores se eles precisam ou não irrigar o solo (AGÊNCIA GLOBO, 2017).

Em São Paulo, o esforço do segmento industrial para poupar água vem se intensificando. Edmir Mesz, supervisor de Qualidade Ambiental da Ford América do Sul, em entrevista à revista *Época*, explica que a montadora americana planeja reduzir a zero o consumo mundial de água potável na produção dos carros até 2030. No Brasil, a empresa gasta 2,8m³ por carro fabricado, contra 5m³ há dez anos (AGÊNCIA GLOBO, 2017).

Segundo reportagem do Governo Federal (2016), a Petrobras aumentou o volume de água reutilizada em suas refinarias, chegando a uma economia de 2,5 bilhões de litros. O volume passou de 20,32 bilhões de litros, em 2011, para 22,37 bilhões de litros, em 2015. É o suficiente para abastecer uma cidade de 75 mil habitantes por um ano, considerando uma média de consumo per capita de 110 litros por dia. As medidas de reuso abrangeram mudanças em procedimentos operacionais e em projetos de investimento, que proporcionaram maior eficiência no uso de água e vapor nas operações das refinarias. Essas medidas fizeram com que nos últimos três anos a relação entre a quantidade de água consumida e o volume de petróleo processado reduzisse em 12,5%.

As iniciativas de reuso de água também ocorrem nas áreas prediais da companhia. Com isso, em 2015, foi possível economizar 38 milhões de litros de água doce em comparação ao ano anterior, o equivalente a 3,8 mil caminhões-pipa. Entre 2014 e 2015, foram utilizados 17 milhões de litros de água provenientes dos sistemas de reuso. Esse volume é utilizado principalmente em atividades como irrigação de áreas verdes, sanitários, limpezas de pátios e sistema de refrigeração (GOVERNO FEDERAL, 2016).

Segundo o Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria (Firjan, 2015) dependendo da disponibilidade hídrica, além de iniciativas para a redução do consumo de água, a produção industrial fica condicionada à análise das seguintes opções, que não são necessariamente excludentes:

I - Manter a situação tradicional, utilizando água de sistemas públicos de distribuição e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos;

II - Adquirir água de reuso ou água de utilidade, produzida por companhias de saneamento, através de tratamento complementar de seus efluentes secundários;

III - Reusar, na medida do possível, os seus próprios efluentes, após tratamento adequado. Esta última opção costuma ser mais atrativa, com custos de implantação e de operação inferiores aos associados à captação e ao tratamento de águas de mananciais ou à compra de água oferecida por empresas de saneamento tanto de sistemas potáveis como de sistemas de água de reuso.

Uma das possibilidades que começa a se mostrar, nesse sentido, é a infraestrutura verde, que reforça a conservação das florestas, dos rios, das nascentes e do manejo do solo, como forma de valorizar os serviços naturais de disponibilidade hídrica – aspectos que também devem ser observados sob o ponto de vista da Lei Nacional das Águas, que completou, em 2017, 20 anos. Além disso, um desafio importante da Lei das Águas: é reconhecer que à margem da institucionalidade da gestão das águas tem muita iniciativa valorosa, inovadora e criativa de grandes indústrias, que precisam ganhar escala para entrar na gestão de águas do Brasil. A técnica de alocação negociada entre usuários, moderada pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh), é uma estratégia eficiente, aplicada como ferramenta de antecipação e gerenciamento de conflitos em secas.

Segundo Campos e Studart (2001) apud Pinheiro et al (2011), para que a água possa ser utilizada e controlada em níveis satisfatórios de quantidade e de qualidade, seja pela geração

atual, seja pela futura, são necessários mecanismos de planejamento e gerenciamento integrado, descentralizado e, sobretudo, participativo.

Segundo Jackson Roehrig, professor alemão, com a proximidade do período de seca, a medida mais efetiva é diminuir o consumo, aumentando o preço da água e dando bônus para quem economizar. São medidas paliativas necessárias no curto prazo. Reduzir a pressão da água é eficiente, mas há o risco de contaminação. Assim, uma ação primordial é diminuir as perdas nas tubulações (WELLE, 2015).

Por fim, a Academia Brasileira de Ciências (ABC), por meio da Carta de São Paulo, publicada em 12 de dezembro de 2014, elaborou uma série de sugestões para resolver ou reduzir a crise (CERQUEIRA et al, 2014). A curto prazo será necessário:

1) estruturação e implementação de plano de contingência e emergência, contemplando medidas e ações emergenciais que atinjam todos os usuários da maneira mais uniforme possível.

2) ações de divulgação e informação de amplo espectro para garantir a participação e mobilização da sociedade para resolver conflitos, reduzir o consumo e apoiar ações de controle e gerenciamento integrado.

3) adoção urgente das medidas necessárias pelo Poder Público e órgãos gestores para a redução drástica do consumo de água (na indústria, na agricultura e no abastecimento público), de forma compatível com a gravidade, a ordem de prioridade e extensão da crise hídrica, incluindo, entre outras ações, penalidades tarifárias pelo aumento de consumo, sistemas de cotas e racionamento.

Com relação às medidas de médio e longo prazo, que não possuem eficácia imediata, mas reduzirão o problema ao longo do tempo, foram sugeridas pela Academia Brasileira de Ciências (ABC):

1) modificações no sistema de governança de recursos hídricos, de um sistema fragmentado para um sistema integrado, com maior cooperação entre os entes federados.

2) implementação de novas fontes de suprimento hídrico e do aumento da capacidade de armazenamento de água bruta, sem prejuízo da adoção de outras medidas importantes.

3) implementação de projetos de saneamento básico, tratamento de esgotos e mensuração da eficiência desses processos;

4) monitoramento da quantidade e da qualidade da água;

- 5) proteção, conservação e recuperação da biodiversidade.
- 6) capacitação de gestores com visão sistêmica e interdisciplinar.

2.2 VALOR ECONÔMICO DA ÁGUA

O conceito de valor econômico para um bem ou serviço qualquer decorre da inferioridade de sua oferta em relação à demanda, ou seja, de uma situação de escassez (VIEGAS, 2003). Segundo Hanemann (2005), até a década de 70, tinha-se a ideia de que o valor econômico de um bem era mensurado através de seu preço. Hoje, porém, já se sabe que, se assim fosse, só teriam valor econômico os bens transacionados no mercado. Dessa forma, valor econômico e preço são atributos diferentes, de modo que o preço não necessariamente mede o valor econômico de um bem, e também, um item que não possua preço de mercado pode possuir um valor econômico positivo.

Assim, o reconhecimento da água como bem econômico também procede das situações de escassez desse recurso natural. Apesar de sua constante renovação na natureza e da possibilidade de estocagem em grandes quantidades, a água é de fato um recurso natural escasso, pois sua qualidade está comprometida em diversas regiões do planeta e sua distribuição não é proporcional entre os países. Além disso, a proporção de água disponível para consumo é muito pequena se comparada com a quantidade total de água, doce e salgada, que há na Terra. Dessa forma, a escassez dos recursos hídricos, tanto quantitativa quanto qualitativamente, é um fenômeno que tem preocupando os governos de vários países e vem dando mostras visíveis de sua ocorrência em várias partes do território nacional (CARRERA-FERNANDEZ e GARRIDO, 2000).

Prova disso é o quarto princípio da Declaração de Dublin, da Conferência Internacional, da Água e do Ambiente ocorrida em 1992, que declara que “a água tem valor econômico em todos os seus usos, devendo ser reconhecida como um bem econômico”. Segundo essa mesma Declaração, a falta de reconhecimento do valor econômico da água levou a seu desperdício e a danos ambientais decorrentes do seu uso inadequado. Este documento também explicitou que a gestão da água é uma importante forma de atingir a eficiência e equidade no seu uso e de promover a sua conservação e proteção.

Sobre o quarto princípio da Declaração de Dublin, Neutzling (2004, p.16) afirma:

“(…) A água, então, deve ser tratada como uma mercadoria que se vende e se compra em função do preço de mercado. O mercado da água deve ser o mais livre e aberto possível. A água pertenceria a quem investisse, a quem arca com os custos para assegurar a captação, a depuração, a distribuição, a manutenção, a proteção e a reciclagem. Segundo essa tendência, a água da chuva, a água dos rios e dos lagos, a água das faldas são, in natura, bens comuns. A partir do momento em que existe uma intervenção humana e, conseqüentemente, um custo para transformar estas águas em água potável ou em água para irrigação, ela deixa de ser um bem comum para se tornar um bem econômico, objeto de trocas e de apropriação privada. ”

No Brasil, a Lei Federal nº 9.433 de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual representa um novo marco institucional no país, pois incorpora princípios, normas e padrões de gestão de água já aceitos e praticados em muitos países. Esta lei está baseada nos seguintes princípios:

I - a água é um bem de domínio público;

II - **a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;**

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. (BRASIL. Lei nº 9.433, 1997, art. 1º, grifo nosso).

Carrera-Fernandez e Garrido (2000) e Viegas (2003), consideram que, como todo bem econômico, a água é dotada de valor econômico, que pode se apresentar de duas formas: um valor de uso e um valor de troca. O valor de uso da água é caracteristicamente variável, pois depende fundamentalmente da utilidade ou satisfação que os diversos usuários atribuem à água, pela múltipla capacidade desta em satisfazer suas necessidades. O valor de troca, por outro lado, depende das condições de oferta e demanda, o qual é regulado por preços, que, na economia moderna, são expressos em termos monetários.

Por outro lado, Rogers et al. (1997) consideraram que o valor da água seja dividido entre valor econômico e valor intrínseco, sendo o primeiro dividido em quatro categorias: 1- o valor da água para os usuários (valor marginal ou disponibilidade a pagar); 2- benefícios líquidos dos fluxos de retorno (reconhece o papel vital desempenhado pelos fluxos de retorno em vários sistemas hidrológicos, como a recarga dos aquíferos); 3- benefícios líquidos oriundos de usos indiretos (como, por exemplo, os benefícios resultantes dos sistemas que fornecem água para irrigação e para pecuária e também para os usos domésticos, no que diz respeito ao aumento da renda e da saúde); 4- os benefícios obtidos pelo cumprimento de objetivos sociais (como a redução da pobreza, a geração de empregos e a segurança alimentar).

Seguindo essa mesma linha, Lucinda e Gonçalves (2008) afirmam que o valor econômico da água não é o único componente do valor da água. Além do valor decorrente dos seus usos e efeitos sobre a sociedade, tem-se que o valor da água pode ser decorrente da possibilidade de mantê-la disponível para futuras gerações, o chamado valor intrínseco da água. Estes dois, o valor econômico e o valor intrínseco, totalizam o valor da água.

No entanto, segundo esses mesmos autores, há outro aspecto importante na determinação dos preços. Caso os custos de provisão da água sejam muito mais elevados do que os valores da água para a sociedade, o estabelecimento dos preços apenas baseados nestes valores levaria a uma subutilização do recurso. Por outro lado, custos de provisão da água abaixo dos valores da água para a sociedade implicaria em uso não racional do recurso.

Ainda, Young (2004) distinguiu o valor econômico da água em quatro diferentes classes, e reconheceu outros possíveis valores, como o valor intrínseco, o valor referente à preservação do ecossistema e o valor sociocultural. A primeira classe é referente aos benefícios de commodities (para uso doméstico e também como insumo de atividades produtivas, como a agricultura irrigada, comércio e indústrias). A segunda classe diz respeito aos benefícios da assimilação de resíduos e efluentes, os quais são relacionados com a função de dissipação, diluição e, em alguns casos, degradação que a água exerce sobre os resíduos e efluentes. A terceira classe se refere aos valores estéticos, recreativos e de manutenção da biota aquática e da vida selvagem. Por fim, a quarta classe é referente aos usos passivos (ou, do inglês, valor de não-uso - *nonuse values*).

Hanemann (2005) afirma que o conceito moderno de valor considera o valor de uso como a medida de referência e demonstrou que este conceito já havia há muito sido desenvolvido por Dupuit (1844) e Marshall (1879). Dupuit definiu a utilidade de um bem

como o valor máximo que cada consumidor estaria disposto a pagar para adquiri-lo e Marshall definiu como medida econômica da satisfação à quantia que a pessoa estaria disposta a pagar para não ficar sem um determinado recurso.

Em relação ao valor da água para os usuários, quando a água puder ser considerada como uma variável de entrada na produção (usuários industriais e comerciais), o valor da água pode ser medido por meio do aumento na produção decorrente do uso da água. No caso de usuários residenciais, o valor da água pode ser obtido por meio da disponibilidade a pagar (TILMANT et al, 2008). Viegas (2003) afirma que para qualquer setor usuário da água, inclusive a indústria, o preço a ser pago pelo uso da água deve ser ligeiramente maior do que os custos que o usuário teria que arcar para operar com tecnologia ao mesmo tempo limpa e racional em termos de consumo.

Para Marshall (1879 *apud* HANEMANN, 2005), existe um limite para cada necessidade, determinado pela utilidade marginal decrescente, tal que, no limite, a utilidade marginal se iguala ao preço. Dado que quanto mais quantidade de um bem possuímos, menos valor atribuímos para quantidades adicionais do mesmo (utilidade marginal decrescente), se o valor marginal da última unidade consumida iguala o preço, então a utilidade marginal associada à unidade inframarginal será maior do que o preço de mercado.

A quantidade marginal mede a variação no valor total para uma determinada variação unitária na quantidade. Se o consumidor for livre para variar a quantidade que irá comprar de um bem, ele escolherá aquela quantidade que igualar o preço ao seu valor marginal. Desta forma, o preço de mercado será similar ao valor marginal da última unidade consumida (DUPUIT, 1844 *apud* HANEMANN, 2005).

Segundo Tilmant et al. (2008), o valor marginal da água dá a contribuição de uma unidade adicional de água para qualquer objetivo público ou privado que esteja sendo analisado. Conforme os autores, avaliar o valor marginal da água não é uma tarefa fácil, pois alguns usos da água podem gerar externalidades, e os mercados frequentemente não são aplicáveis.

Além disso, de acordo com Tilmant et al. (2008), o valor marginal da água pode ser utilizado no gerenciamento de bacias hidrográficas para sinalizar a escassez da água, para priorizar zonas onde devem ser implementadas medidas de conservação do solo e da água e para que a produtividade da água seja aumentada por meio da alocação da água para usos mais produtivos. Estes autores ressaltaram que as curvas de demanda e os valores marginais de

água deveriam ser usados para subsidiar políticas de intervenção que impeçam a utilização excessiva dos recursos hídricos e assegurem sua qualidade.

2.2.1 Curva de benefícios marginais (disponibilidade a pagar)

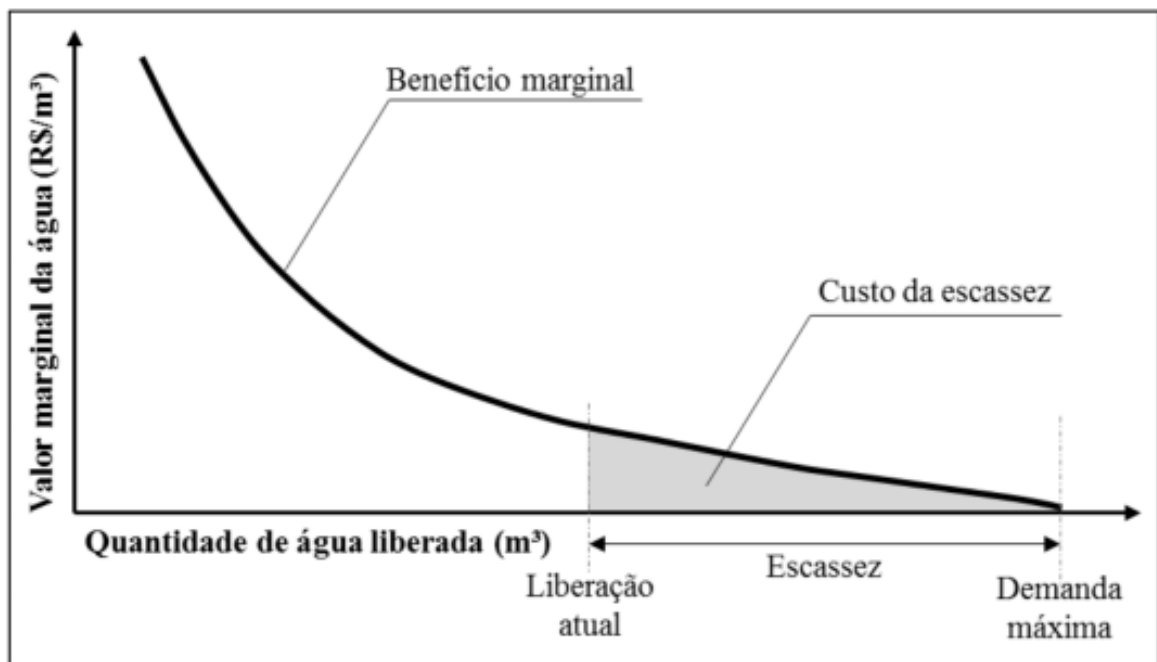
Em situações de escassez hídrica o valor marginal da água é maior, e a curva de benefícios marginais representa o comportamento dos usuários frente a estas circunstâncias, a qual é conhecida também como curva de disponibilidade a pagar.

O benefício marginal da água é decrescente: quanto mais água o usuário tem acesso, menor é o benefício produzido por uma unidade adicional. Esse comportamento é explicado pela Lei dos retornos marginais decrescentes.

A Lei dos retornos marginais decrescentes nos diz que, quando a disponibilidade de apenas um dos insumos (ex: a água) aumenta e mantemos os demais insumos constantes, o aumento no ganho produzido pela unidade adicional desse insumo é cada vez menor. Isso ocorre porque os demais insumos irão começar a limitar o aumento no ganho.

O ponto chamado de “demanda máxima” é aquele onde a quantidade de água é igual à que o usuário usaria caso a disponibilidade fosse irrestrita e sem custo. Nesse ponto, o valor marginal da água é próximo a zero. A Figura 3 a seguir ilustra esses conceitos para um uso econômico da água.

Figura 3. Ilustração da escassez e do custo da escassez para um uso econômico da água. Adaptado de Marques et al (2006).



A curva mostra os benefícios econômicos do uso da água em algum processo produtivo em um dado intervalo de tempo já definido. Ou seja, estamos fazendo uma análise estática da produção, normalmente no curto ou médio prazos. Nessas condições, a rigor, existe ainda algum valor marginal da água mesmo no ponto de demanda máxima, reflexo de outras decisões futuras que o usuário pode tomar.

Griffin (2006) salienta que existem na literatura diversas publicações sobre o valor marginal da água em diferentes setores. A partir dos dados publicados, é fácil perceber o fato de que o valor marginal da água não é uma constante. Esse valor muda, não somente em relação ao tempo, mas também quando a aplicação da água em um determinado uso muda. O autor aponta que, como sempre, o benefício marginal depende da demanda e que a demanda deve ser sensível a escassez.

Griffin (2006) ainda aponta oito técnicas para a estimativa da demanda, seguidas pela área de aplicação de cada umas delas. A Tabela 2 a seguir apresenta as técnicas e as áreas de uso.

Tabela 2. Técnicas para estimativa da demanda e as respectivas áreas de uso. Adaptado de Griffin (2006).

Técnica	Área de uso
Point expansion	Útil para todos os setores, mas a elasticidade deve ser obtida por outro método.
Imputação residencial (análise simples da atividade)	Quando a água é um grande insumo para produção, irrigação por exemplo.
Programação matemática (análise múltipla da atividade; linear e não-linear)	Quando a água é um grande insumo para produção, irrigação e indústria por exemplo.
Função produção (estimativa e simulação)	Irrigação, hidroelétrica, processos de manufatura individual.
Regressão estatística (estimativa direta)	Urbano/residencial, industrial/comercial.
Avaliação contingencial	Urbano/residencial, recreação.
Preço hedônico	Recreação/irrigação.
Preço de viagem	Recreação.

O Método *Point Expansion*, sugerido por Griffin (2006), é o método mais simples para estimar a curva de disponibilidade a pagar, pelo menos aproximadamente. A compreensão deste método está vinculada ao conceito de elasticidade. A elasticidade é uma medida adimensional amplamente utilizada pelos economistas para caracterizar a resposta do sistema para condições de mudanças. Desta forma, às funções de demanda é atribuída uma determinada elasticidade-preço ou elasticidade-renda, ou qualquer outra variável independente que seja utilizada como argumento na função de demanda.

Conforme Pindyck e Rubinfeld (1999), a elasticidade é um termo econômico usado para expressar a sensibilidade de uma variável em relação à outra. A elasticidade-preço da demanda mede a sensibilidade da quantidade demandada em resposta a alterações nos preços. A elasticidade evidencia, segundo os autores, qual a variação percentual na demanda de uma mercadoria quando da elevação de 1% no seu preço.

Para a elasticidade-preço da demanda, o valor atribuído é geralmente negativo, por conta de que o aumento dos preços reduz as quantidades demandadas, estabelecendo uma relação inversamente proporcional entre as variáveis.

Segundo Viceconti e Neves (2003), existem três fatores que influenciam a elasticidade preço da demanda: 1- o grau de utilidade do produto para o consumidor; 2- a quantidade de substitutos que o produto possui; 3- o peso no orçamento do consumidor. Em relação ao grau de utilidade do produto para o consumidor, quanto mais imprescindível o produto for, menos sensíveis às oscilações nos preços serão as quantidades demandadas, evidenciando uma demanda inelástica para produtos de extrema necessidade. Da mesma forma, no que diz respeito à quantidade de substitutos que o bem possui, se houverem substitutos e o preço subir, os consumidores tendem a substituir um bem por outro mais barato, e caso não haja substitutos, a demanda apresenta pouca sensibilidade em relação ao aumento nos preços. Por fim, e seguindo a mesma lógica, no que concerne ao peso no orçamento do consumidor causado pelos preços dos produtos, quanto menor for o peso de um produto no orçamento do consumidor, menos elástica será sua demanda e vice-versa.

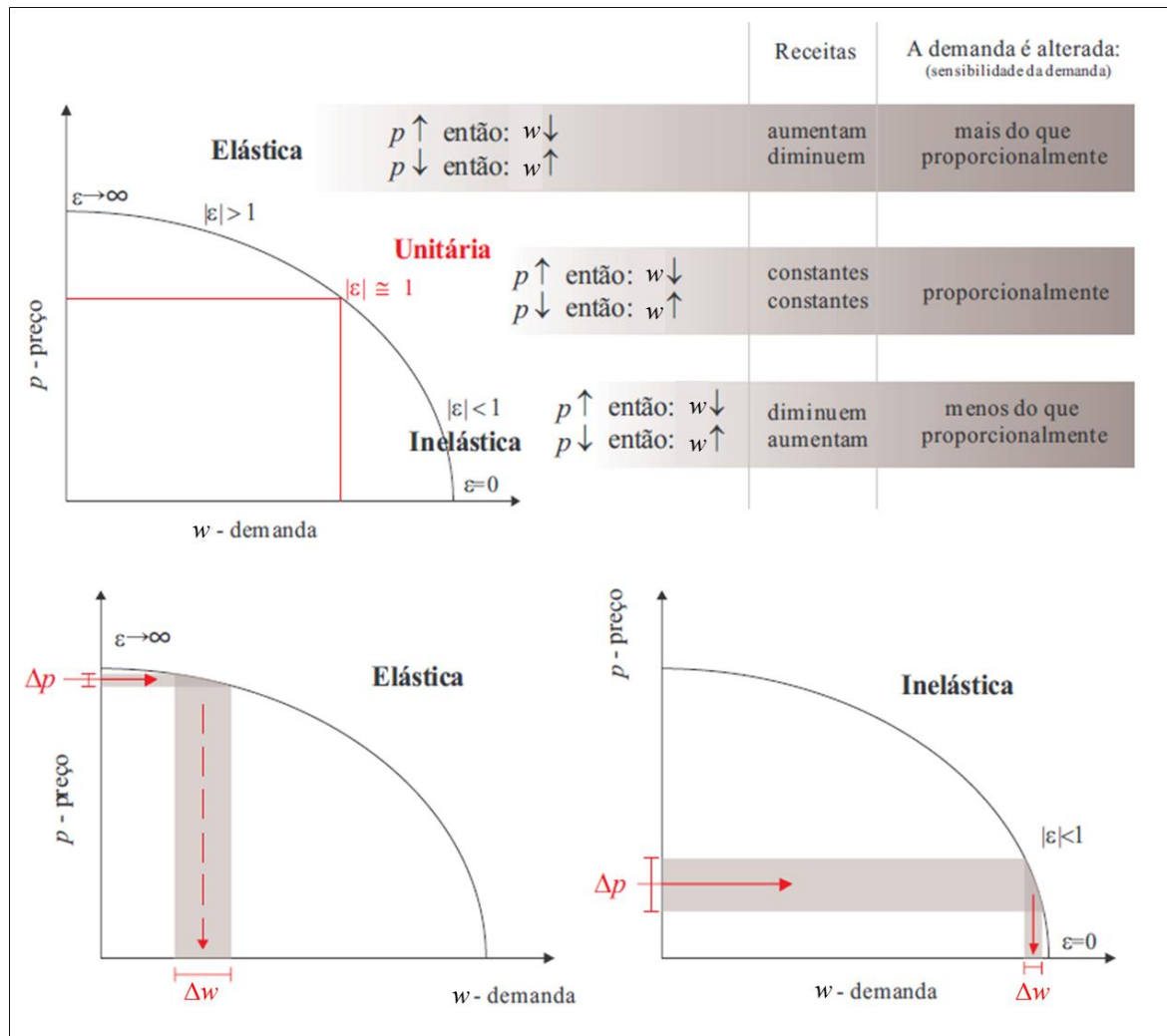
As curvas de disponibilidade a pagar pela água, geralmente são inelásticas em relação ao preço, isto é, a elasticidade varia de menos um até zero ($-1 < \epsilon < 0$). Isto significa que a variação de 1% no preço da água induz uma variação menor do que 1% na demanda por água.

Caso o valor da elasticidade-preço da demanda de um bem for menor que menos um ($\epsilon < -1$), a demanda é dita elástica em relação ao seu preço. Então, se uma função de demanda possui “maior” elasticidade-preço do que outra, a elasticidade é maior em valores absolutos.

Por fim, se a elasticidade preço da demanda de um determinado bem for igual a menos um ($\epsilon = -1$), sua demanda apresenta elasticidade unitária em relação ao seu preço.

A Figura 4 apresenta os possíveis valores que a elasticidade-preço da demanda pode assumir e como se comportam as curvas de demanda para os casos de a função ser elástica ou inelástica.

Figura 4. Elasticidade-preço da demanda.



Fonte: adaptado de Medeiros e Ribeiro (2006).

Segundo Olmstead (2007), a elasticidade-preço estimada para o setor industrial tende a ser maior do que a residencial e, ainda, a variar substancialmente por tipo de indústria. Além disso, elasticidades estimadas para indústrias onde o custo da água é relativamente maior, tendem a ser mais altas.

Conforme apontado por Olmstead (2007), dados de demanda de água para o setor industrial são difíceis de serem obtidos, pois são propriedades das indústrias e a competição no mercado muitas vezes incentiva a evitarem de tornar os dados públicos. Além disso, mesmo quando os dados de consumo são obtidos por meio das companhias de abastecimento, muitas empresas possuem outras fontes de água. Por essas razões, as elasticidades da demanda industrial são tão poucas vezes estimadas.

Reynaud (2003) afirma que se sabe muito pouco sobre como a água entra na função de produção das indústrias. Além disso, não há consenso sobre a amplitude da elasticidade-preço da água como insumo ou tipo de atividade industrial. Dessa forma, o valor da água para o setor industrial não é bem conhecido em muitos países, assim como, a sensibilidade a fatores econômicos da água demandada pela indústria.

Segundo Reynaud (2003), o pouco que se conhece sobre a demanda de água na indústria é que a elasticidade-preço é geralmente maior que as de uso doméstico e as estimativas dependem fortemente do consentimento das indústrias. Além disso, o autor ainda salienta que a água é um insumo complexo que entra no processo de produção de formas específicas de acordo com cada tipo de indústria.

O método de obtenção da curva de disponibilidade a pagar descrito a seguir foi proposto por Griffin (2006), e é conhecido como *Point Expansion*, ou método da expansão do ponto.

A elasticidade-preço da demanda ε é definida como a alteração que irá ocorrer na quantidade demandada (W) para uma alteração no preço (P) (ambas em termos percentuais), conforme apresentado na Equação 1 a seguir.

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta w}{w}}{\frac{\Delta p}{p}} = \frac{\Delta w}{\Delta p} \cdot \frac{p}{w} \quad \text{Equação 1}$$

Haja vista que a demanda diminui conforme o preço aumenta, ε é negativo. Valores de elasticidade geralmente estão disponíveis para a análise de recursos hídricos, mesmo que seja necessário utilizar as estimativas para estudos de outras regiões. A Tabela 3 apresentada na sequência traz alguns valores de elasticidade-preço da demanda da água existentes na literatura para a atividade industrial.

Tabela 3 - Valores de elasticidade-preço da demanda de água para atividade industrial.

Elasticidade-preço da demanda (ϵ)	Autor
-0,66 a -1,24	Willianms e Suth (1986) ¹
-0,10 a -0,97	Reynaud (2003) ¹
-0,33 a -0,80	Grebenstein e Field (1979) ¹
-0,14 a -0,66	Babin, Willis, e Allen (1982) ¹
-0,08	Ziegler e Bell (1984) ¹
-0,12 a -0,54	Renzetti (1988) ¹
-1,16	Schneider e Whitlatch (1991) ¹
-0,15 a -0,56	Renzetti (1992 ^a) ¹
-0,77	Dupont e Renzetti (2001) ¹
-0,44 a -0,97	Willianms e Suth (1986) ²
-0,96	Rees (1969) ²
-3,3 a -6,7	Rees (1969) ²
-1,3 a -4,1	Rees (1969) ²
-2,5	Rees (1969) ²
-0,44 a -8,4	Turnovsky (1969) ²
-0,89	De Rooy (1974) ²
-0,35	De Rooy (1974) ²
-0,54	De Rooy (1974) ²
-0,98	Ziegler e Bell (1984) ²
-0,15 a -0,59	Renzetti (1992 ^a) ²
-0,96	Leone et al (1974) ³
-0,77	Leone et al (1974) ³
-0,88	Leone et al (1974) ³
-1,32	Gupta e Goldar (1991) ³
-0,45	Metaplanners (1992) ³

¹ apud Reynaud (2003), ² apud Griffin (2006) e ³ apud Bhatia (1995).

Para utilizar o método *Point Expansion* para estimar a tarifa, é necessário que se tenha um valor de elasticidade da demanda estimado obtido externamente, por outro método e um ponto (W, P) conhecido da função de demanda. Este ponto é definido a partir de dados de tarifa de água cobrada ou de dados fornecidos pelas indústrias (R\$/m³) e do consumo total de

água pela indústria (m³). Além disso, deve-se assumir que a função de demanda tenha um determinado comportamento, podendo possuir declividade constante ou elasticidade-preço constante (GRIFFIN, 2006). Para o caso em que é assumido que a declividade da função de demanda *versus* preço é constante, a curva de disponibilidade a pagar se comporta de forma linear e é obtida da seguinte forma:

$$w = \alpha \cdot p + \beta \quad \text{Equação 2}$$

Onde α e β são definidos por:

$$\alpha = \frac{\varepsilon \cdot W}{P} \quad \text{Equação 3}$$

$$\beta = W - (\alpha \cdot P) \quad \text{Equação 4}$$

Desta forma:

$$w = W \cdot \left(1 - \varepsilon + \frac{\varepsilon}{P} \cdot p\right) \quad \text{Equação 5}$$

Onde (W, P) é o ponto conhecido e (w, p) é o ponto da curva encontrado.

Para o caso em que é assumido que a elasticidade-preço da função de demanda *versus* preço é constante, a curva de disponibilidade a pagar é obtida partindo da definição de elasticidade-preço:

$$\frac{dw}{w} = \varepsilon \frac{dp}{p} \quad \text{Equação 6}$$

A equação diferencial apresentada em (6) pode ser resolvida por integração, chegando a Equação 7:

$$\ln w = \varepsilon \cdot \ln p + \ln k \quad \text{Equação 7}$$

$$w = k \cdot p^\varepsilon \quad \text{Equação 8}$$

Onde k é uma constante que pode ser determinada substituindo em (8) os valores para o ponto conhecido: W (quantidade de água) e P (preço), além da elasticidade.

Desta forma, a partir de um ponto conhecido de consumo total de água (unidade de volume) e o respectivo preço cobrado por cada unidade de volume, é definida a curva W *versus* P de demanda pela água.

Ressalta-se que o intervalo de análise da curva de disponibilidade a pagar deve ser próximo do ponto utilizado para a geração desta pelo método *Point Expansion*, a fim de que não haja discrepâncias muito grandes. A aplicação da curva em análises envolvendo extrapolações muito distantes do ponto original podem levar a erros significativos.

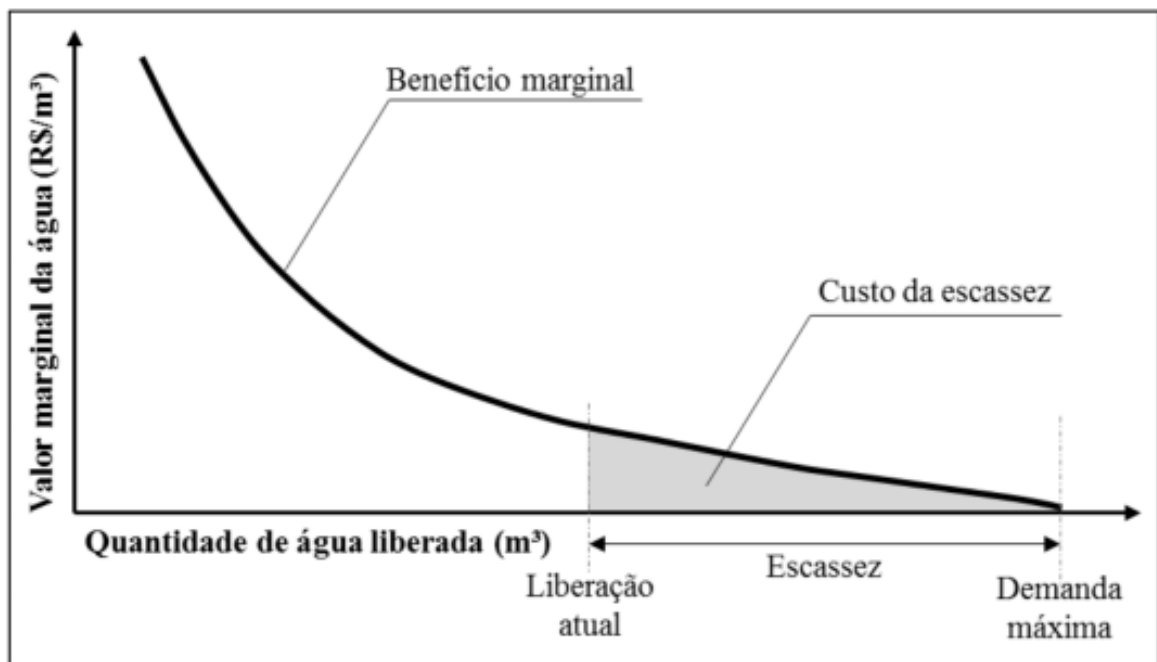
2.2.2 Custo da escassez

A escassez da água pode se dar de maneira qualitativa ou quantitativa. A escassez qualitativa se refere às situações onde, mesmo haja quantidade de água suficiente para atender às demandas, sua qualidade não é adequada aos usos pretendidos. Por outro lado, a escassez quantitativa pode ocorrer quando a disponibilidade hídrica é menor do que o esperado, devido às variabilidades climáticas, ou quando há um aumento das demandas de modo que a disponibilidade hídrica deixa de ser suficiente para seu total atendimento. Muitas vezes, esse aumento da demanda está vinculado ao crescimento populacional, ao desenvolvimento econômico, ou, ainda, ao uso ineficiente dos recursos hídricos (SCHEFER, 2016).

Economicamente, a escassez é definida como a diferença entre a quantidade de água que foi alocada e a quantidade que seria alocada caso não houvesse restrições na disponibilidade (demanda total) (JENKINS et al, 2004). O benefício de uma unidade adicional de água (ou benefício marginal da água) é bem próximo a zero de modo quando o usuário tem acesso a toda água que gostaria de modo que o acesso a uma quantidade adicional de água pode não ser desejável. Porém, se a quantidade de água alocada for menor que a demanda total, o usuário está utilizando menos água do que gostaria por algum tipo de limitação (ou porque simplesmente não existe água no sistema, ou porque os custos de ter acesso à água existente são maiores que os benefícios econômicos do seu uso). Em ambos os casos, o usuário vai ter acesso a uma quantidade menor do que gostaria e teremos um cenário de escassez.

Por outro lado, o custo da escassez é definido como a integral da função de demanda econômica entre dois limites (água alocada). Na prática, o custo da escassez da água indica o valor econômico da produção que se deixa ganhar por não ter água suficiente (valor alocado inferior a demanda total). O valor máximo do custo da escassez é obtido quando os limites de integração forem de zero (ou algum valor próximo de zero) até demanda total – correspondente à área total de baixo da curva, dentro de seus limites de existência. (MACHADO & MARQUES, 2015)

Figura 5. Ilustração da escassez e do custo da escassez para um uso econômico da água. Adaptado de Marques et al (2006).



A Figura 5 apresenta o termo “demanda máxima”. Esta definição traz consigo o significado de valor econômico da água. Tradicionalmente, a engenharia tem tratado a demanda por água como sinônimo do requerimento hídrico do usuário, ou seja, quantidade a ser atendida. Entretanto, na medida em que é tida como recurso escasso, a definição de qual quantidade será atendida envolve também o benefício econômico produzido e os custos de oportunidade dessa quantidade. Em outros termos, é necessário adotar uma abordagem que reflita a escassez econômica associada a este recurso. Nesse sentido, a “demanda hídrica” deixa de ser um requerimento fixo de engenharia e passa a variar conforme o valor marginal da água (conceito econômico).

Sempre que a escassez for maior que zero (quantidade de água à qual o usuário tem acesso nas condições atuais é inferior à sua “demanda máxima”), temos uma área sob a curva de benefício marginal. Essa área é o custo da escassez enfrentado pelo usuário quando o mesmo tem acesso a menos água do que gostaria. Importante verificar que como o eixo y tem unidades de R\$/volume e o eixo x tem unidades de volume, a área tem unidades de R\$ (ou qualquer outra unidade monetária), correspondente ao custo da escassez.

Caso a curva de benefícios marginais seja convexa como na Figura 5, uma mesma escassez (medida no eixo x) irá produzir custos da escassez maiores quanto menos água o usuário tiver acesso (mais próximo à origem no eixo x). Além disso, os custos da escassez

crecem de forma não linear quando a curva de benefícios marginais é convexa. Nesse caso, então, o custo da escassez cresce mais rapidamente do que a escassez. Esse resultado é relevante ao estudarmos a alocação da escassez entre usuários econômicos diferentes, já que a disponibilidade de uma mesma quantidade de água pode provocar reduções em custos da escassez bem diferentes de um usuário para outro.

Segundo Olmstead et al (2007), transmitir informação sobre a escassez da água por meio do preço traz benefícios sociais como o desenvolvimento de mercados de água competitivos. Porém, uma vez que a água não é negociada no mercado, não se espera que os preços se ajustem automaticamente para refletir períodos de escassez, como ocorre para outros bens e serviços. Em vez disso, como se sabe, a maioria dos preços da água são regulados por instituições públicas, concelhos, comissões, comitês de bacia e outras entidades.

Reduzir o custo da escassez significa promover o uso economicamente eficiente da água e sinalizar ao usuário que a água tem valor econômico, um dos fundamentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) apresentados na Lei 9.433/1997. Decidir sobre o nível de escassez aceitável para os usos econômicos significa decidir sobre quais os usos serão eliminados, e quais as escolhas a serem feitas pelos usuários para tanto.

A equação que descreve o custo da escassez é obtida a partir da integração da curva de disponibilidade a pagar, haja vista que o custo da escassez é definido como sendo a área sob a curva de demanda *versus* preço. Deste modo, é preciso inferir qual será o ponto em que a demanda seja completamente atendida, de modo que o benefício marginal seja próximo a zero. Desta forma, define-se que o custo da escassez para este ponto é igual a zero, e, a partir daí, calcula-se o custo da escassez para os demais valores de quantidade de água entregue por meio da integração.

Griffin (2006) explica esta relação entre a curva de disponibilidade a pagar e a curva de custo da escassez, conforme será descrito na sequência.

As curvas de benefício marginal da água ou de disponibilidade a pagar, são por vezes chamadas de curvas de demanda. Como destacado por Griffin (2006), o termo “curva de demanda” não é sempre correto uma vez que esta pressupõe a existência de um mercado para o bem, o que normalmente não ocorre para o caso da água bruta. Pelo fato de o adjetivo “marginal” significar “derivado de”, a presença da palavra marginal imediatamente indica qual informação pode ser recuperada ao integrar a função matematicamente. Assim, ao realizar a integração da curva de benefício marginal, encontra-se o benefício total. Para o caso em que é

assumido que a declividade da função de demanda *versus* preço é constante, e que o comportamento da curva de benefício marginal é linear, a integral se dá conforme a Equação 9.

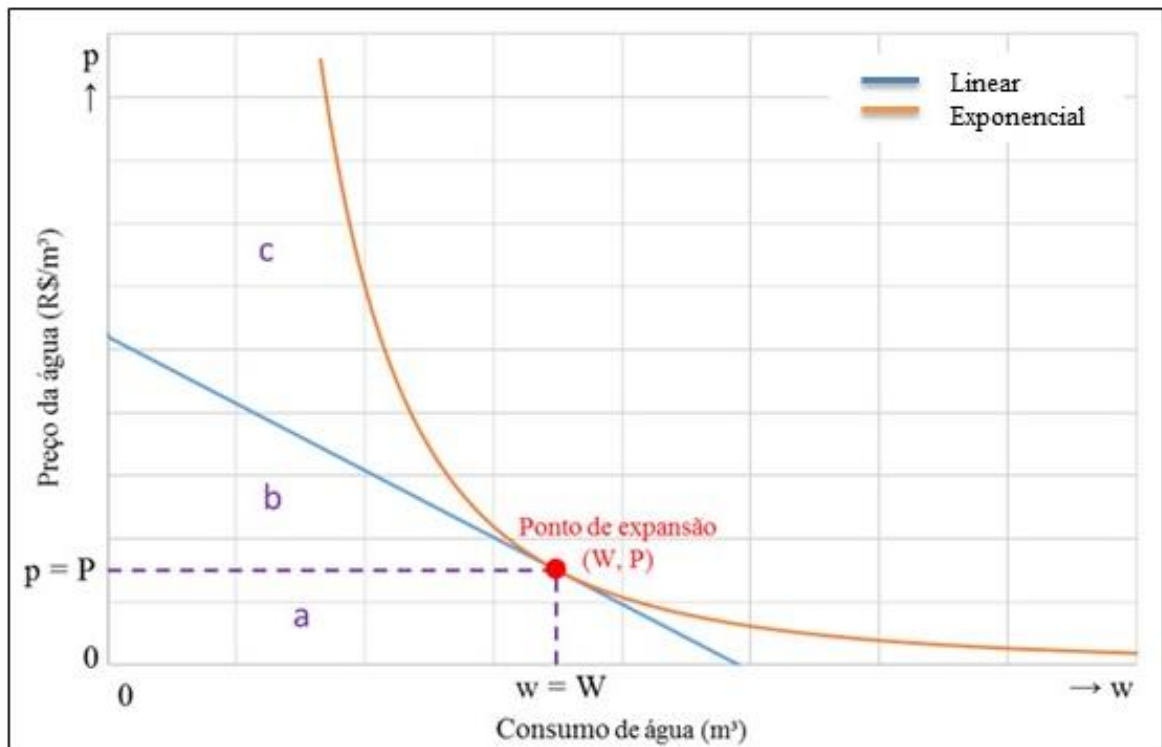
$$\text{Área } a + b = \int_0^W \left[\left(\frac{P}{W \cdot \varepsilon} \cdot w \right) + \left(P - \frac{P}{\varepsilon} \right) \right] dw \quad \text{Equação 9}$$

Para o caso em que é assumido que a elasticidade-preço da função de demanda *versus* preço é constante, a integral se dá conforme a Equação 10.

$$\text{Área } a + b + c = \int_0^W \left(k \frac{-1}{\varepsilon} \cdot w^{\frac{1}{\varepsilon}} \right) dw \quad \text{Equação 10}$$

Sendo assim, há duas estimativas diferentes para o benefício total, dependendo de qual será a forma assumida para a função de demanda, conforme pode ser visualizado na Figura 6 a seguir.

Figura 6. Curva de benefício marginal, considerando comportamento linear e exponencial.



A área $a + b$ é um valor finito enquanto a área $a + b + c$ é infinita de forma que a primeira medida é subestimada e a segunda superestimada. O ponto de expansão (W, P) é o ponto de origem para a curva de benefício marginal (dado conhecido). Conforme modificamos w e p , nos afastamos do ponto de expansão e a estimativa da curva de demanda se torna menos confiável, assim como suas aplicações. No entanto, as formas mais úteis de se aplicar funções de demanda não envolvem a utilização de grandes desvios a partir das condições de base.

Para um usuário industrial, o custo da escassez pode refletir restrições na produção devido a um racionamento, por exemplo. Para esse usuário, esse custo pode ainda refletir um aumento nos custos de produção devido à adoção de novas práticas ou tecnologias para adaptação à condição de menor disponibilidade hídrica.

Portanto, os benefícios dos usos da água associados a atividades econômicas são aqueles produzidos quando a água é empregada como insumo de produção, seja incorporada ao produto ou no processo de produção. Esses benefícios são tangíveis e quantificáveis economicamente de modo que dizer que água é escassa significa sinalizar ao usuário que não é de interesse para a sociedade custear (ambientalmente e economicamente) determinados usos da água. Isso resulta da percepção de que, em sistemas com demandas elevadas e competitivas, é melhor eliminar alguns usos (e assumir que, para esses, a água será escassa) do que atendê-los com sistemas de engenharia caros e complexos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A sequência de métodos utilizados nesse trabalho busca estimar o custo da escassez para duas indústrias localizadas em uma bacia hidrográfica de estudo, considerando uma série histórica de vazões. Além disso, busca-se analisar como se distribuiria a quantidade de água disponível entre as demandas existentes na região de estudo.

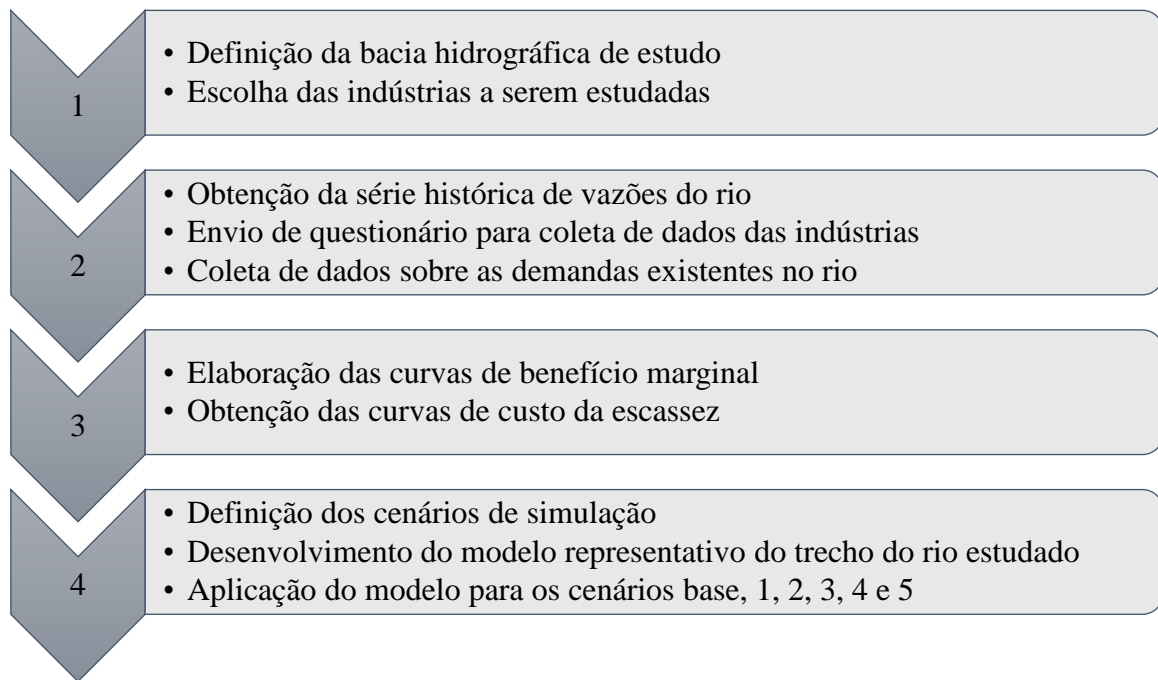
O primeiro passo para a execução do presente trabalho, foi a definição da bacia hidrográfica de estudo, seguida da escolha de duas indústrias presentes na bacia e que fazem captação de água bruta no rio estudado. As indústrias escolhidas tiveram dados adicionais de uso e custo de abastecimento levantados, de modo a permitir a estimativa de funções de benefício marginal. Além dessas indústrias, diversas outras demandas de abastecimento urbano, irrigação e demais usos industriais foram identificados a partir dos volumes outorgados pelo Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul, de modo a representar o restante do sistema hídrico.

Para o cálculo dos impactos econômicos, foram obtidas as curvas de benefício marginal e de custo da escassez para cada mês do período de um ano e para cada uma das indústrias estudadas.

Por fim, o sistema hídrico modelado com o emprego do software WEAP – *Water, Evaluation and Planning* para simular o atendimento às diversas demandas do sistema sob diferentes critérios de alocação da água e medidas de gestão implementadas pelos usuários. Foram elaborados seis cenários que simulam hipóteses de decisões sobre o uso da água na bacia.

Os itens que seguem apresentam a bacia hidrográfica e as indústrias que serviram como estudo de caso para o trabalho, os dados levantados, como se deu a obtenção das curvas de benefício e de custo da escassez e o modelo elaborado para aplicação dos cenários desenvolvidos, conforme explicitado no fluxograma da Figura 7 a seguir.

Figura 7. Fluxograma metodológico seguido para a execução do presente trabalho

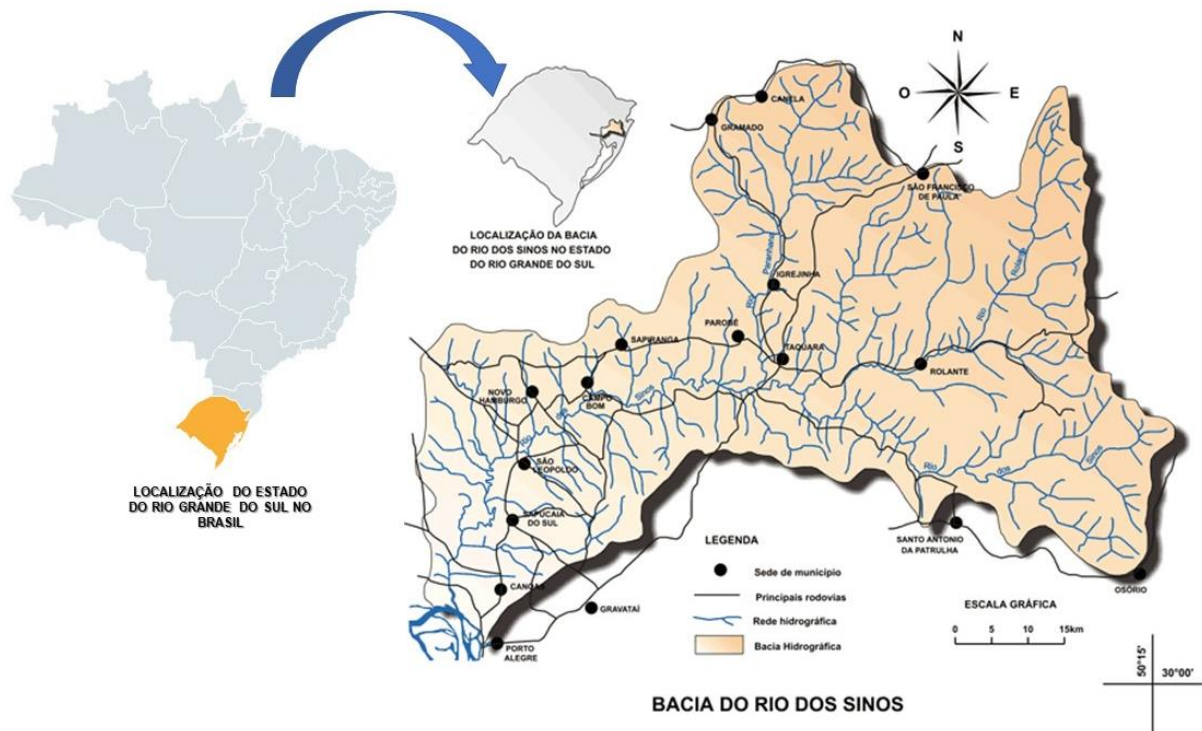


3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho teve como área de estudo uma parte da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos que é formada por 32 municípios (total ou parcialmente inseridos) e que ocupam uma área de 3.693 km². O Rio dos Sinos – curso principal da bacia – é um dos principais rios de domínio do Estado do Rio Grande do Sul, localizado na região Sul do Brasil, e forma, junto com mais sete rios, a Região Hidrográfica do Guaíba. O rio possui uma extensão aproximada de 190 km, desde sua nascente – situada na cidade de Caraá, até sua foz, localizada no município de Canoas. Além disso, recebe contribuições de corpos d’água que totalizam uma rede de drenagem de 3.471 km, sendo seus principais afluentes, no sentido das cabeceiras para a foz, o Rio Rolante, o Rio da Ilha e o Rio Paranhana, todos pela margem direita e com nascentes na região serrana do estado. Na sua porção inferior, o rio recebe, ainda, contribuições dos arroios Sapiranga, Pampa, Luís Rau, Portão, João Corrêa, Sapucaia e outros.

A Figura 8 a seguir mostra a localização da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos no território nacional e estadual.

Figura 8. Localização da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos no Brasil e no estado do Rio Grande do Sul. Adaptado de Revista EA (2017).

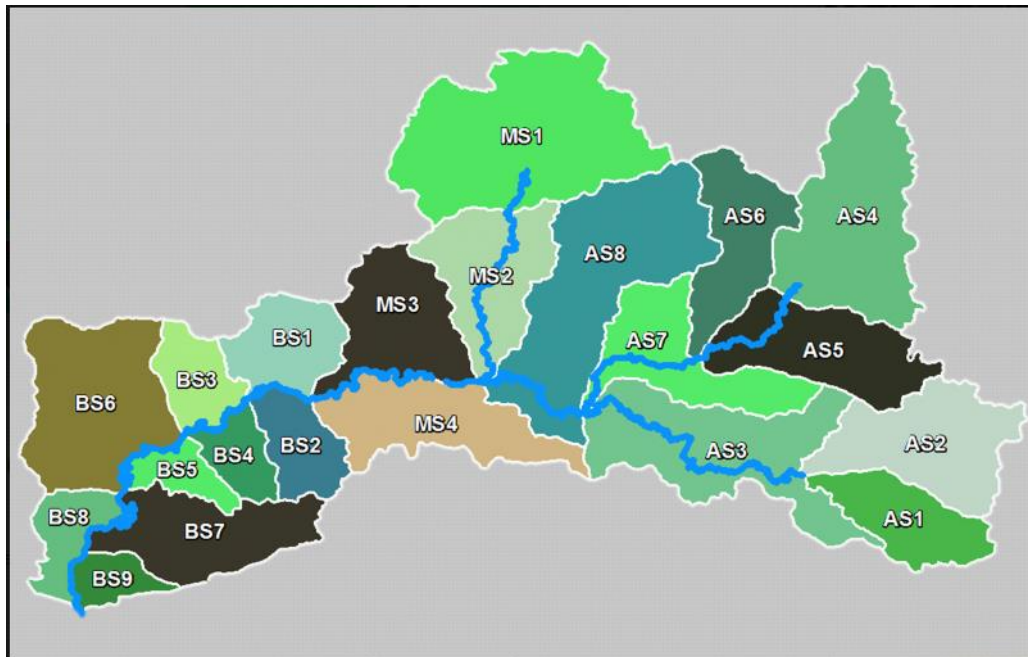


Fonte: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=2959>

Segundo Naime (2012), a importância histórica do Rio dos Sinos, que tem esta denominação devido a sua grande sinuosidade ao longo da maior parte de seu percurso, é que este foi o berço da imigração alemã para o estado do Rio Grande do Sul, em 1824. Os alemães se estabeleceram na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, utilizando este curso de água como a sua principal via de acesso e transporte por muito tempo (ECO DEBATE, 2012). Atualmente, a bacia do Rio dos Sinos é responsável por aproximadamente 21% do PIB do estado do Rio Grande do Sul e possui uma população estimada em 1,35 milhões de habitantes (COMITÊ SINOS, S/D).

Segundo o plano de bacia hidrográfica do Rio dos Sinos (2014), foi adotado um modelo de divisão em sub-bacias baseado em unidades de gestão. São oito unidades na porção denominada Alto Sinos, quatro na localidade média da bacia e nove unidades de gestão no chamado Baixo Sinos. A Figura 9 a seguir ilustra esse modelo de divisão da bacia.

Figura 9. Unidades de Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.



Fonte: SEMA (<http://www.sema.rs.gov.br/g020-bacia-hidrografica-do-rio-dos-sinos>)

No trecho do Alto Sinos, encontram-se os municípios de: Caraá, Osório, Santo Antônio da Patrulha, São Francisco de Paula, Riozinho, Rolante, Três Coroas, Igrejinha e Taquara. No Médio Sinos, estão localizadas as cidades de: Canela, Gramado, São Francisco de Paula, Três Coroas, Igrejinha, Taquara, Parobé, Santa Maria do Herval, Nova Hartz, Araricá, Sapiranga, Novo Hamburgo, Santo Antônio da Patrulha, Glorinha e Gravataí. E na porção do Baixo Sinos, localizam-se os municípios de: Sapiranga, Campo Bom, Dois Irmãos, Ivoti, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Estância Velha, São Sebastião do Caí, Capela de Santana, Portão, Sapucaia do Sul, Esteio, Nova Santa Rita, Gravataí, Cachoeirinha e Canoas.

A Tabela 4 a seguir traz, para cada unidade de gestão, as informações de área, porcentagem de área dentro da bacia e porcentagem de área dentro do trecho em que cada unidade de estudo se insere.

Tabela 4. Características de área das unidades de gestão. Adaptado de Plano de Bacia do Rio dos Sinos, 2014.

Trecho/Unidade de Estudo	Área (km ²)	% na bacia	% no trecho
Alto Sinos			
AS 1	208,93	5,7	11,9
AS 2	286,59	7,8	16,3
AS 3	124,42	3,4	7,1
AS 4	299,72	8,1	17,1
AS 5	193,11	5,2	11,0
AS 6	171,53	4,6	9,8
AS 7	153,19	4,1	8,7
AS 8	318,03	8,6	18,1
Sub-Total Alto Sinos	1755,52	47,5	100
Médio Sinos			
MS 1	393,54	10,6	40,2
MS 2	181,84	4,9	18,6
MS 3	176,55	4,8	18,0
MS 4	226,88	6,1	23,2
Sub-Total Médio Sinos	978,81	26,5	100
Baixo Sinos			
BS 1	123,98	3,4	12,9
BS 2	82,98	2,2	8,6
BS 3	80,14	2,2	8,3
BS 4	61,89	1,7	6,4
BS 5	52,34	1,4	5,4
BS 6	261,5	7,1	27,2
BS 7	177,6	4,8	18,5
BS 8	74,4	2,0	7,7
BS 9	47,32	1,3	4,9
Sub-Total Baixo Sinos	962,15	26,0	100
Total Bacia Rio dos Sinos	3696,48	100	

A parte da bacia do Rio do Sinos estudada nesse trabalho encontra-se no chamado “Baixo Sinos”, a jusante da estação fluviométrica de Campo Bom. A área estudada inclui as unidades de gestão BS9, BS8, BS7, BS6, BS5, BS4 e BS3.

Os principais usos da água na bacia estão destinados ao abastecimento público, ao uso industrial e à irrigação. As áreas mais conservadas encontram-se a montante da bacia e o grande problema enfrentado é o lançamento de efluentes industriais e, principalmente, domésticos sem tratamento no seu trecho médio-baixo.

A Tabela 5 a seguir mostra a demanda por água em m³/ano por tipo de uso e por unidade de gestão. A base de dados usada na tabela que compõe o plano de bacia do Rio dos Sinos é de 2013. Para os valores de demanda do abastecimento público foram usados os números operacionais das companhias de abastecimento, para a demanda industrial foram usados os valores do sistema de outorga do estado, para a irrigação foram usados o valor de 8.500 m³/ha/safra, segundo dados do IRGA e, por fim, para a dessedentação animal foram usados valores específicos para suínos e aves. Apesar de desatualizados, os dados da tabela servem para dar noção de como se distribui os usos da água na bacia entre as unidades de gestão e as atividades presentes.

Tabela 5. Usos da água na bacia por atividade e por unidade de gestão. Adaptado do Plano de bacia do Rio dos Sinos, 2014.

Unidades de Gestão	Demanda (10 ³ m ³ /ano)				
	Humano	Animal	Indústria	Irrigação	Total
AS 1	-	94,61	15,77	552,10	662,47
AS 2	-	63,07	-	6870,53	6933,60
AS 3	788,40	62,66	-	61,34	912,41
AS 4	-	74,14	-	-	74,14
AS 5	-	94,61	18,92	61,34	174,87
AS 6	-	106,53	-	3373,92	3480,45
AS 7	1419,12	79,57	-	-	1498,69
AS 8	5518,80	126,14	-	4048,70	9693,65
MS 1	2775,17	80,48	12,61	-	2868,26
MS 2	6370,27	121,32	2857,16	-	9348,75
MS 3	-	126,14	31,54	184,03	341,71
MS 4	-	189,22	-	245,38	434,59
BS 1	10722,24	53,49	286,98	920,16	11982,86
BS 2	-	90,82	-	674,78	765,61
BS 3	23336,64	34,63	482,50	-	23853,77
BS 4	-	61,72	-	122,69	184,40
BS 5	27436,32	23,49	570,80	-	28030,62
BS 6	-	126,14	867,24	1533,60	2526,98
BS 7	32765,90	59,29	30388,09	7913,38	71126,66
BS 8	1576,80	42,38	252,29	9999,07	11870,54
BS 9	-	9,11	514,04	9446,98	9970,13
Total	112709,66	1719,56	36297,94	46008,00	197000,00
Percentual	57,30	0,90	18,40	23,40	100,00

O plano de bacia hidrográfica do Rio dos Sinos de 2014 apresenta o balanço hídrico da bacia para as vazões Q₈₅, Q₉₀ e Q₉₅ em relação às demandas para cada unidade de gestão, como

mostra a Tabela 6. O balanço hídrico é apresentado em termos de diferença absoluta e relativa. No primeiro caso, a ocorrência de valor negativo significa situação de déficit, ou seja, não há água suficiente para o atendimento da demanda, e o valor indicado na célula retrata a quantidade faltante. Já no segundo caso, o déficit ocorre com valor inferior à uma unidade e mostra a razão dessa insuficiência. Em ambos os casos, nas situações de déficits hídricos, os valores estão grafados em vermelho.

Tabela 6. Balanço hídrico da bacia do Rio dos Sinos para as vazões Q_{85} , Q_{90} e Q_{95} para as disponibilidades e demandas em m^3/s .

Segmento	Disponibilidades (m^3/s)			Demandas	Balanços Hídricos Q85		Balanços Hídricos Q90		Balanços Hídricos Q95	
	Q85	Q90	Q95	(m^3/s)	Disp - Dem	Disp / Dem	Disp - Dem	Disp / Dem	Disp - Dem	Disp / Dem
AS1	1,725	1,439	1,066	0,067	1,657	25,588	1,372	21,352	0,999	15,820
AS2	2,301	1,920	1,423	0,797	1,504	2,886	1,123	2,408	0,625	1,784
AS3	1,014	0,846	0,627	0,034	0,980	29,755	0,812	24,829	0,593	18,396
AS4	2,504	2,089	1,548	0,002	2,501	1064,939	2,087	888,634	1,546	658,389
AS5	1,592	1,328	0,984	0,011	1,581	148,773	1,318	124,143	0,973	91,978
AS6	1,394	1,163	0,862	0,394	1,000	3,538	0,769	2,952	0,468	2,187
AS7	1,294	1,080	0,800	0,048	1,247	27,235	1,032	22,726	0,753	16,838
AS8	2,638	2,201	1,631	0,648	1,990	4,073	1,554	3,399	0,983	2,518
Alto	14,461	12,067	8,940	2,001	12,460	7,228	10,066	6,031	6,940	4,469
MS1	3,544	2,957	2,191	0,091	3,453	38,968	2,867	32,517	2,100	24,092
MS2	1,518	1,266	0,938	0,296	1,221	5,120	0,970	4,272	0,642	3,165
MS3	1,515	1,265	0,937	0,026	1,489	57,619	1,238	48,080	0,911	35,623
MS4	1,829	1,526	1,131	0,034	1,795	53,168	1,492	44,366	1,096	32,871
Médio	8,406	7,015	5,197	0,448	7,958	18,760	6,567	15,654	4,749	11,598
BS1	0,964	0,804	0,596	0,457	0,506	2,107	0,347	1,758	0,138	1,303
BS2	0,735	0,613	0,455	0,081	0,654	9,079	0,533	7,576	0,374	5,613
BS3	0,642	0,535	0,397	0,756	-0,115	0,848	-0,221	0,708	-0,360	0,525
BS4	0,491	0,410	0,304	0,016	0,475	30,397	0,394	25,364	0,287	18,792
BS5	0,410	0,342	0,254	0,889	-0,479	0,462	-0,546	0,385	-0,635	0,285
BS6	2,050	1,711	1,268	0,209	1,841	9,810	1,502	8,186	1,059	6,065
BS7	1,414	1,180	0,874	2,920	-1,507	0,484	-1,741	0,404	-2,046	0,299
BS8	0,583	0,486	0,360	1,217	-0,634	0,479	-0,730	0,400	-0,856	0,296
BS9	0,372	0,311	0,230	1,110	-0,738	0,335	-0,799	0,280	-0,880	0,207
Baixo	7,661	6,393	4,736	7,656	0,006	1,001	-1,263	0,835	-2,919	0,619
BH Sinos	30,529	25,474	18,874	10,105	20,424	3,021	15,370	2,521	8,769	1,868

Fonte: Relatório Final RT1 do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, 2014.

Analisando-se o resultado do balanço hídrico, constatamos a ocorrência de déficit de água para a vazão de referência Q_{90} na porção do Baixo Sinos para seis das nove unidades de gestão. Segundo o Plano de Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (2014), a vazão máxima outorgada na bacia do Rio dos Sinos corresponde a 70% da Q_{90} e a vazão remanescente é 30% da Q_{90} . Já os coeficientes de retorno utilizados são de 80% para o abastecimento público e 30% para as demais atividades.

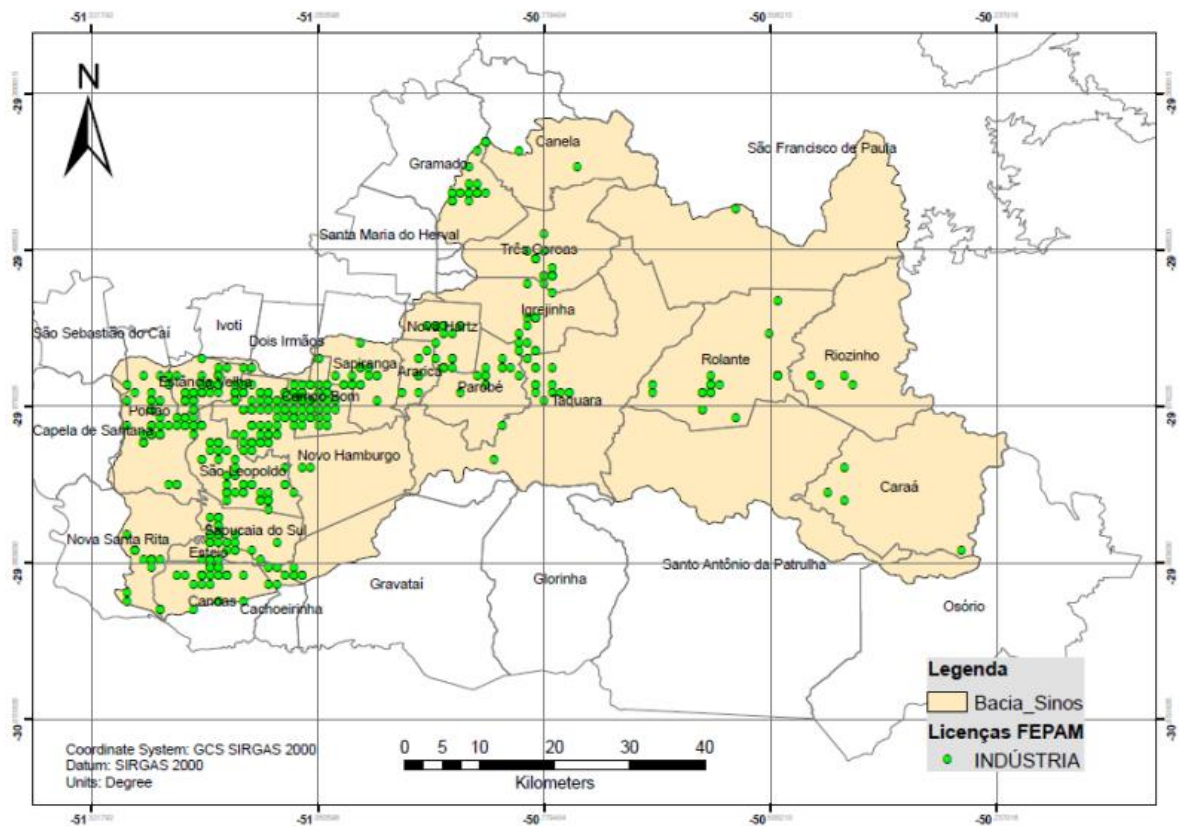
É importante destacar que ao se efetuar balanços hídricos com base em vazões está se considerando um período em que todos os usos estejam ocorrendo concomitantemente. Para a bacia do Rio dos Sinos, esse período ocorre entre os meses de novembro e fevereiro em que a irrigação do arroz é efetuada. Outra característica de grande influência para o balanço hídrico da bacia, é o efeito de remanso existente na foz do Rio dos Sinos originado do represamento do Delta do Jacuí/Lago Guaíba que pode acrescer a quantidade de água disponível até as proximidades a jusante da cidade de São Leopoldo, na região do Baixo Sinos.

Há, ainda, variação no regime hídrico do Rio dos Sinos devido a liberação de água via transposição do Rio Caí que opera em regime de ponta, liberando mais água em determinadas horas do dia, através do sistema Salto-Bugres-Canastra, via Rio Paranhana. O efeito dessa variação no regime do rio pode ser muito representativo, cuja vazão transposta pode atingir até 40% da Q_{90} da bacia do Rio dos Sinos, segundo o que consta no Plano de Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. No entanto, carecem de dados desse regramento, tendo sido essa uma das restrições à recente atualização do balanço hídrico na bacia do Rio dos Sinos. Dessa forma, pode-se supor que por possuir essas características particulares, de uma transposição e de um remanso, a bacia do Rio dos Sinos seja descreditada em termos de gestão de seca, uma vez que aparenta ter água garantida.

Por fim há que se considerar que as características da Bacia mostram que há nítida pressão sobre os recursos hídricos na sua porção baixa, visto que essa região apresenta cerca de 25% da área da Bacia, mas concentra mais de 80% da sua população. A alta densidade demográfica, associada à presença de significativo parque industrial, resulta em uma elevada e concentrada demanda de água, bem como em lançamentos significativos de efluentes urbanos e industriais. Como consequência, é nesse compartimento onde ocorrem os maiores déficits hídricos, bem como os piores padrões de qualidade das águas superficiais.

Sendo a atividade industrial a de maior interesse do presente trabalho, obteve-se no plano de bacia hidrográfica de 2014 o panorama geral das indústrias licenciadas pela Fundação Estadual de Proteção do Meio Ambiente (FEPAM) ao longo da bacia. A Figura 10 traz o mapa com os pontos representando a localização de cada indústria licenciada na bacia do Rio dos Sinos pelo órgão ambiental estadual. Vale ressaltar a maior concentração da atividade industrial na porção baixa da bacia e que, devido a essa característica, escolheu-se essa porção da bacia hidrográfica para procurar as indústrias objetos de estudos desse trabalho.

Figura 10. Mapa da bacia do Rio dos Sinos com pontos indicando as indústrias licenciadas pela FEPAM.



Fonte: Relatório Final RT1 do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, 2014.

Foi realizado contato com algumas indústrias presentes às margens do Rio dos Sinos a fim de confirmar a captação de água bruta no corpo hídrico e a ocorrência de eventos de escassez que tenham prejudicado, por redução ou interrupção, o respectivo processo industrial. Após esse primeiro contato e levantamento básico de informações, que foi realizado para a região da bacia denominada Baixo Sinos, foi possível definir as duas indústrias objetos de estudo do presente trabalho.

Uma das indústrias escolhidas é do ramo de refino de petróleo e possui capacidade de processamento de 11,7 milhões de m³/ano de petróleo. A segunda indústria objeto de estudo é do ramo de produção de biodiesel e produz cerca de 0,3 milhões de m³/ano desse combustível. As duas indústrias se localizam na região denominada Baixo Sinos na unidade de gestão BS9.

Com o objetivo de preservar a identidade das duas indústrias, será usado nesse trabalho a denominação de “Refinaria” e “Biodiesel S.A”, respectivamente, para a produtora de derivados do petróleo e para a produtora de biodiesel.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Definido o objeto de estudo, foi obtida a série de vazões diárias para o Rio dos Sinos através do novo sistema de informações hidrológicas (HIDROWEB) disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). A estação escolhida para o uso dos dados foi a de Campo Bom (87380000), cuja disponibilidade de dados é desde o ano de 1939. Devido a uma falha existente no período de 1960 a 1965 nas leituras de vazão, optou-se por dividir a série em duas, uma de 1940 a 1959 e outra de 1966 a 2016. Um fato relevante é que a transposição do Rio Caí começou bem na década de 60 e 70, que corresponde a segunda série de vazões citada anteriormente o que pode ter alterado o regime de vazões no período de 1966 a 2016. As Figuras 11, 12 e 13 mostram, respectivamente, o hidrograma para a série completa e os hidrogramas para os períodos de 1940 a 1959 e 1966 a 2016. Os hidrogramas foram gerados no programa chamado “Comparador de Hidrogramas” desenvolvido pelo grupo de pesquisa Hidrologia de Grande Escala do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 11. Hidrograma para a série histórica completa da estação fluviométrica de Campo Bom no Rio dos Sinos/RS.

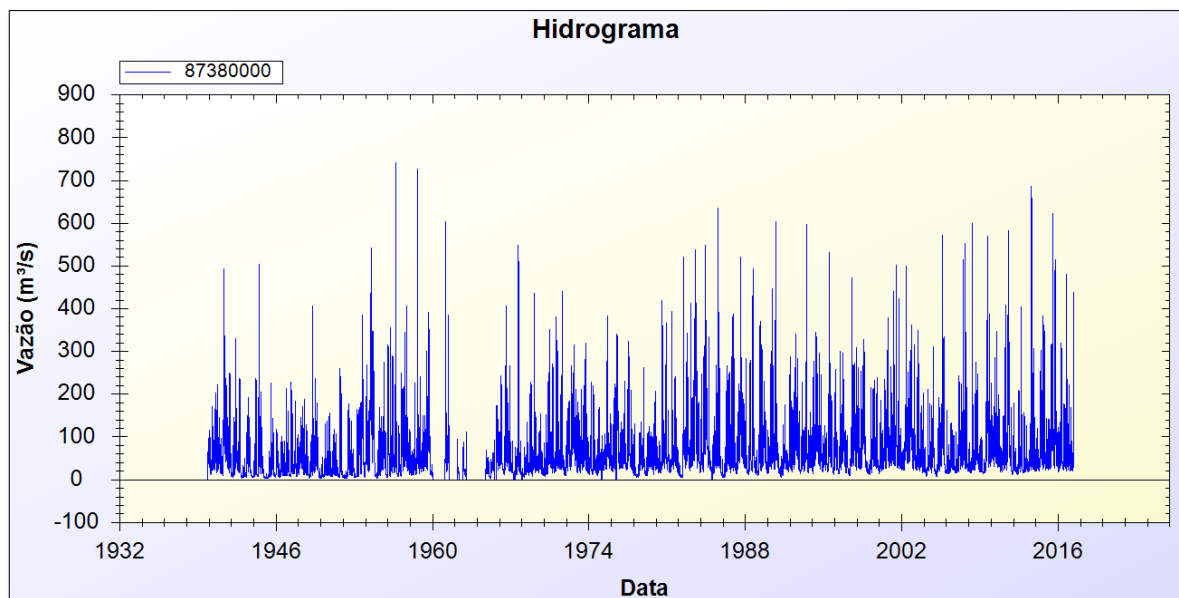


Figura 12. Hidrograma para o período entre 1940 a 1959 da estação fluviométrica de Campo Bom no Rio dos Sinos/RS.

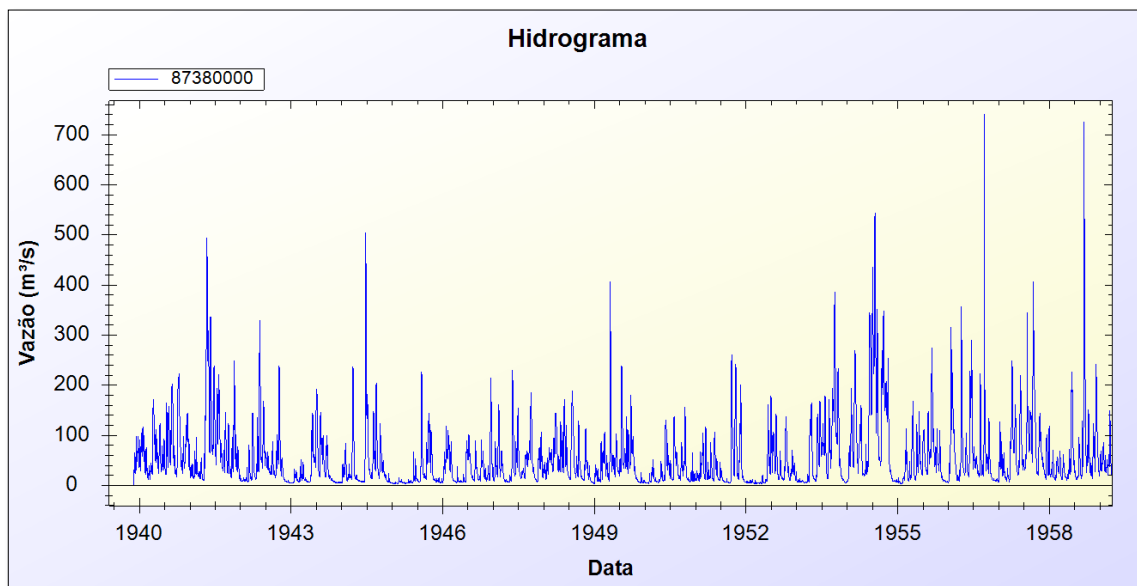
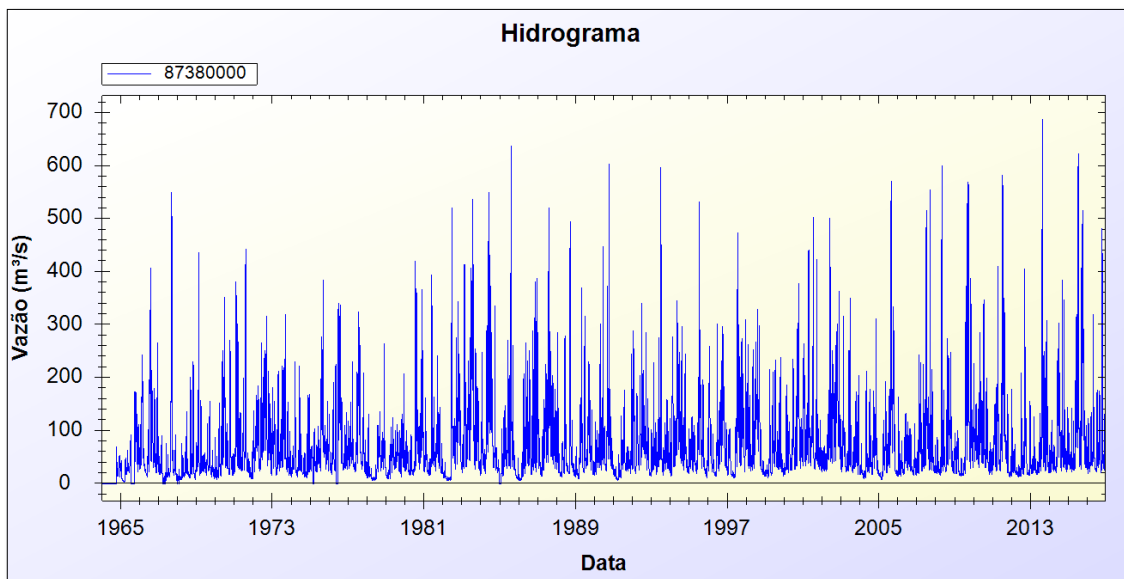
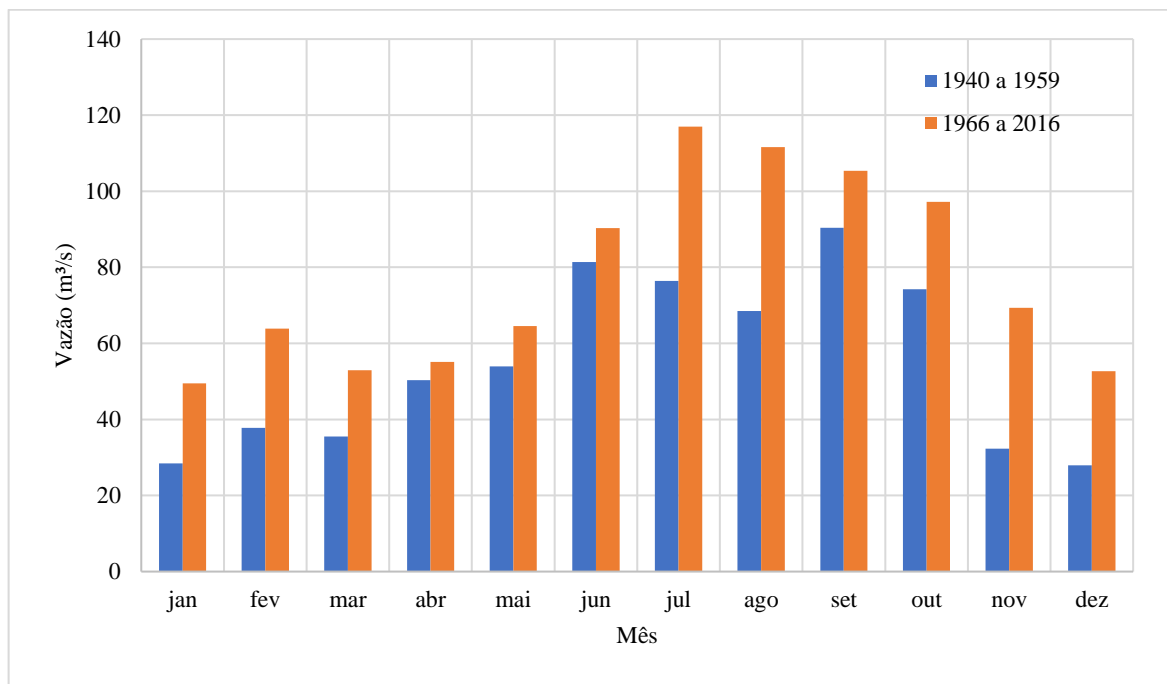


Figura 13. Hidrograma para o período entre 1966 a 2016 da estação fluviométrica de Campo Bom no Rio dos Sinos/RS.



Para melhor embasar a decisão de qual das duas séries será a escolhida para ser usada nas simulações a serem feitas, fez-se o gráfico das vazões médias mensais para cada uma delas, como é mostrado na Figura 14 a seguir.

Figura 14. Vazões médias mensais para as séries históricas de 1940 a 1959 e 1966 a 2016.



A partir dos hidrogramas e do gráfico da Figura 14, observa-se que o período entre 1940 e 1959 apresenta um cenário mais seco que o de 1966 a 2016. Porém vale salientar que a série mais antiga não representa a transposição na Rio Caí e nem os usos atuais na bacia, pois houve aumento das demandas presentes.

A fim de se obter os dados necessários para a execução do presente trabalho, foi enviado aos responsáveis pela captação de água de cada uma das indústrias estudadas uma série de onze perguntas (arquivo em Anexo 1) com o objetivo de coletar as seguintes informações:

- 1 As fontes de abastecimento de água;
- 2 As quantidades de água captada de cada fonte;
- 3 Os custos associados à captação de cada fonte;
- 4 A confiabilidade do abastecimento;
- 5 Se a indústria já enfrentou algum evento de escassez;
- 6 A causa do evento de escassez enfrentado;
- 7 Os impactos desse evento percebidos pela indústria;
- 8 As medidas implementadas para minimizar ou eliminar os impactos negativos;

9 Se há tecnologias adotadas para redução de consumo ou aumento de eficiência do uso da água;

10 Os benefícios de empregar essas medidas e

11 A principal lacuna na gestão da bacia do Rio dos Sinos considerada por eles.

Os volumes totais de água captados do Rio dos Sinos por mês, segundo os dados fornecidos pelas próprias indústrias são apresentados nas Tabelas 7 e 8 a seguir.

Tabela 7. Volume captado em 10^3m^3 por mês para os anos de 2015/2016/2017 pela Refinaria.

Mês/Ano	Volume (10^3m^3)	Mês/Ano	Volume (10^3m^3)	Mês/Ano	Volume (10^3m^3)
Janeiro/15	1035,32	Janeiro/16	1106,71	Janeiro/17	952,39
Fevereiro/15	972,16	Fevereiro/16	1116,08	Fevereiro/17	949,42
Março/15	983,30	Março/16	1076,40	Março/17	993,39
Abril/15	979,61	Abril/16	983,34	Abril/17	899,72
Mai/15	1058,72	Mai/16	965,91	Mai/17	921,53
Junho/15	959,23	Junho/16	664,79	Junho/17	872,24
Julho/15	1063,09	Julho/16	934,80	Julho/17	948,08
Agosto/15	1079,27	Agosto/16	994,11	Agosto/17	928,20
Setembro/15	1041,19	Setembro/16	865,84		
Outubro/15	1067,47	Outubro/16	975,55		
Novembro/15	995,72	Novembro/16	920,46		
Dezembro/15	1007,98	Dezembro/16	977,55		

Tabela 8. Volume captado em m^3 por mês para os anos de 2016/2017 pela Biodiesel S.A.

Mês/Ano	Volume (m^3)	Mês/Ano	Volume (m^3)
Janeiro/16	4564,00	Janeiro/17	8950,32
Fevereiro/16	7097,50	Fevereiro/17	10137,12
Março/16	9251,64	Março/17	8898,24
Abril/16	10825,20	Abril/17	9522,00
Mai/16	10527,60	Mai/17	9530,64
Junho/16	10720,80	Junho/17	10872,00
Julho/16	10341,60	Julho/17	10404,84
Agosto/16	9746,40	Agosto/17	10657,80
Setembro/16	9676,80		
Outubro/16	9765,00		
Novembro/16	10681,20		
Dezembro/16	10698,70		

Segundo os dados fornecidos pela indústria Refinaria, o custo de bombeamento é 0,18 R\$/m³ de água e é executado 24 horas por dia. Quanto aos custos de bombeamento da água do Rio dos Sinos para a indústria Biodiesel S.A, foi informado por meio do questionário que somente uma bomba opera a captação durante 12 horas por dia e sua potência e vazão nominal são, respectivamente, 55,16 kW e 250 m³/h. Demais custos, como operação e manutenção das bombas, não foram informados e, dessa forma, foram desconsiderados nesse trabalho. Assim, buscou-se no site da companhia de fornecimento de energia elétrica RGE Sul a tarifa cobrada por kW/h para o setor industrial sem os tributos, sendo esse valor de 0,5 R\$/kWh. Dessa forma, foi calculado o valor da unidade de água com os dados fornecidos pela indústria e pesquisados e o resultado estimado para o custo com abastecimento foi 0,11 R\$/m³ de água. A Tabela 9 apresenta o resumo dos dados e resultados desse procedimento.

Tabela 9. Resumo dos dados e resultados obtidos para a estimativa do valor da unidade de água para a indústria Biodiesel S.A.

m ³	m ³ /h Vazão da bomba	Tempo de funcionamento h	kW Potência da bomba	kWh/m ³	(R\$) Tarifa	R\$/m ³
1	250	0,004	55,16	0,22	0,5	0,11

Ainda, em resposta ao questionário enviado, a Refinaria informou que o Rio dos Sinos é sua única fonte de abastecimento de água e que esta é considerada confiável para a operação da indústria. Porém, foi relatado que já houve episódios de escassez devido ao alto índice de turbidez que acarretou na redução da produção e que o impacto econômico não foi avaliado. Para minimizar os efeitos desse evento, a indústria realizou a limpeza dos reservatórios de água internos e instalou um segundo reservatório para armazenamento de água bruta. Em relação ao reuso de água, houve conflito de informação sobre sua implementação e execução, não restando tempo hábil até a finalização deste estudo para adentrar essa questão junto a indústria. Por fim, a principal lacuna, na visão da indústria, em relação a gestão dos recursos hídricos da bacia do Rio dos Sinos é a má qualidade da água decorrente ao lançamento de efluentes não tratados no rio.

Já a Biodiesel S.A., de acordo com as respostas recebidas, possui, além da captação direta do Rio dos Sinos, abastecimento promovido pela CORSAN (Companhia Rio-grandense de Saneamento). Segundo o informado, a indústria não enfrentou nenhum episódio de escassez, porém possui um reservatório para armazenamento de água. Quanto ao reuso de água, estão em fase de projeto as seguintes ações: reuso do efluente tratado

gerado nas torres de resfriamento de biodiesel, reaproveitamento do condensado das fábricas, recirculação da água das torres de resfriamento do processo de extração e reuso da água na ETA. Na visão da indústria, essas medidas reduzem a probabilidade de ocorrer falta de água e promove ganho na qualidade da água.

Vale ressaltar a dificuldade de obter informações das indústrias procuradas por diversas razões que incluem o sigilo de informações consideradas estratégicas pela indústria ou ainda a escolha por parte do funcionário informante de evitar se comprometer com seus superiores com a abertura de dados. Ficou claro a opção, por parte das pessoas contatadas, por respostas sucintas.

Referente às demais demandas existentes no rio, foi consultada a última atualização do balanço hídrico da bacia do Sinos realizada pelo Departamento de Recursos Hídricos (DRH/SEMA-RS, informação não publicada) para conhecer quantas captações outorgadas existem na região de interesse da bacia e quais as atividades em que se enquadravam. Assim, dividiu-se as atividades em três grupos: abastecimento público, irrigação e indústrias.

Vale salientar que desde 2006 não são concedidas outorgas ordinárias na bacia do Sinos, pois ela ainda é considerada como uma bacia classe especial (ou seja, a demanda é maior do que a disponibilidade). Portanto, no momento, só são emitidas outorgas excepcionais e mediante estudo de balanço hídrico. Também, como foi informado pelo Departamento de Recursos Hídricos do estado (DRH), existe uma vertente de estudos no Rio dos Sinos para liberar alguns trechos (como foi feito na bacia do rio Santa Maria), mediante ampliação da rede hidrometeorológica e definição de novas regras de captação para os irrigantes da parte alta, verificação da transposição, e estudo do remanso. Essas medidas podem ser consideradas como necessárias para melhorar a gestão e a confiabilidade na bacia do Rio dos Sinos.

Em relação ao abastecimento público, quatro municípios retiram água do rio na região estudada. Dessa forma, considerou-se que a população atendida pela captação realizada por cada um dos municípios corresponde ao número de habitantes de cada um desses municípios pertencentes a bacia do Rio dos Sinos de acordo com os dados disponíveis no site do comitê da bacia hidrográfica. Também foi considerado que o consumo de água médio por pessoa é 165 l/dia ou 0,165 m³/dia segundo dados do site Trata Brasil. Por fim, é importante conhecer a taxa de crescimento populacional anual dos quatro municípios, visto que as simulações serão feitas projetando as séries de vazões para o futuro. Esse dado foi

retirado do atlas socioeconômico disponível no site do governo do estado. A Tabela 10, a seguir, mostra os dados levantados para o abastecimento público da região.

Tabela 10. Municípios que captam água na região de interesse da bacia, população pertencente a bacia em 2016 e a taxa de crescimento ao ano correspondente

Município	População em 2016	Taxa de crescimento ao ano (%)
São Leopoldo	227393	1,01
Estância velha	45135	1,94
Nova Santa Rita	12133	3,73
Esteio	81192	0,09

De acordo com a última atualização do balanço hídrico da Bacia do Rio do Sinos (DRH/SEMA-RS, informação não publicada), no trecho do rio de interesse para esse estudo, que corresponde a região do Baixo Sinos, são, ao todo, 21 outorgas para irrigação e 14 para atividade industrial. Para fins de simulação, considerou-se o tempo de captação por dia de 8 horas para irrigação e 12 horas para a atividade industrial. O tempo de captação escolhido para a irrigação foi baseado na média de horas que se tem sol no verão (meses que ocorrem a atividade), não foi utilizado o valor de 8.500 m³/ha/safra, como sugere o IRGA, pois não havia tempo hábil para calcular a área de plantação presente na área estudada. O tempo de captação para a atividade industrial escolhido foi baseado no fato que as indústrias presentes na área de estudo são de pequeno porte e, portanto, funcionam em somente no turno diurno. Foi considerado que a atividade industrial ocorre durante os 365 dias do ano, porém, segundo os dados disponíveis no plano de bacia, a irrigação ocorre somente nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, totalizando 120 dias de atividade.

A Tabela 11, a seguir, traz as estimativas para o volume total retirado do rio a cada mês para a irrigação e indústria na região de interesse.

Tabela 11. Volume total em milhões de m³ de água retirados do rio ao longo dos meses de um ano para a irrigação e a indústria.

Mês	Irrigação	Indústria
Janeiro	3,85	3,07
Fevereiro	3,48	2,77
Março	0	3,07
Abril	0	2,97
Maio	0	3,07
Junho	0	2,97
Julho	0	3,07
Agosto	0	3,07
Setembro	0	2,99
Outubro	0	3,07
Novembro	3,73	2,99
Dezembro	3,85	3,07
Total	14,92	36,20

Em relação à vazão de retorno para cada atividade considerada, o plano de bacia hidrográfica para o Rio dos Sinos informa que para a atividade industrial a vazão de retorno é 20% da captada, para o abastecimento público esse valor também é 20% e para a irrigação é 67% da vazão retirada do rio.

3.3 CURVA DE DISPONIBILIDADE A PAGAR (BENEFÍCIO MARGINAL) E CUSTO DA ESCASSEZ

O custo da escassez é a integral da curva de benefício marginal, assim, o primeiro passo para obter esse valor foi traçar as curvas de disponibilidade a pagar por meio do método *Point Expansion* (GRIFFIN, 2006). Uma curva de benefício marginal, que é também conhecida como curva de disponibilidade a pagar, ou ainda curva de demanda¹, associa o benefício econômico de uma unidade adicional de água (em unidades monetárias por unidade de volume de água, no eixo y) para um dado nível de consumo (em unidade de volume, no eixo x).

¹ Embora comum na literatura, o termo “curva de demanda” nem sempre se aplica. Como discutido em GRIFFIN (2006), em termos econômicos, o termo implica a existência de um mercado para o bem, o que normalmente não é o caso para a água. Dessa forma, o termo “curva de benefício marginal” é mais preciso.

Dessa forma, uma curva de benefício marginal descreve o comportamento da indústria em relação às decisões sobre o uso da água. A indústria, ou outro usuário, que faz emprego da água para uma produção econômica, irá fazê-lo até o ponto onde o benefício marginal (o benefício econômico da próxima unidade de água) se iguala ao custo marginal (o custo de se obter a próxima unidade de água).

Assim, a indústria se desloca ao longo da curva de benefício marginal e, ao fazer isso, a quantidade de água utilizada varia conforme o seu custo marginal. Quanto maior o custo, menos água será utilizada e vice-versa. Ao variar a quantidade de água utilizada, a indústria pode decidir substituir água por tecnologia (ex: sistemas de produção mais eficientes no uso da água, ou reuso) ou reduzir a quantidade produzida, ou ainda uma combinação de ambos.

Como as funções de benefício marginal descrevem o comportamento da indústria e as suas decisões, é importante definir os domínios da função, que não necessariamente são os mesmos da sua expressão matemática. Por exemplo, para níveis de consumo muito baixos a indústria pode não ser mais viável economicamente e decidir encerrar a produção. Nesse caso a função matemática empregada para descrever os benefícios marginais não mais se aplica, pois quanto menor for a quantidade de água alocada, ou seja, quanto mais próximo de zero for a quantidade de água recebida pela indústria, o valor da próxima unidade de água tende ao infinito. Portanto, se na realidade essa situação ocorrer, a indústria não é mais viável, encerrando, assim, suas atividades ou procurando outro lugar para se estabelecer. Já para quantidades grandes de água, a indústria possui um limite máximo de interesse (demanda máxima) que a partir desse ponto a água não terá mais utilidade para suas atividades.

Foram traçadas doze curvas para cada indústria, cada uma representando um mês do ano. Para tanto, foram definidos doze pontos na função de demanda (W : quantidade de água; P : preço) para cada mês, de janeiro a dezembro, e para cada uma das indústrias, e um valor estimado da elasticidade-preço da demanda, que foi considerado.

Escolheu-se o ano de 2016 para trabalhar, visto que as duas indústrias forneceram os dados referente a todos meses desse ano e, para efeito de simplificação, foi considerado que as doze curvas geradas são representativas da realidade das indústrias durante toda sua existência. Sabe-se que na realidade as curvas podem mudar com o tempo, refletindo mudanças tecnológicas na indústria, por exemplo, porém, tratando-se de um trabalho de

conclusão de curso não há tempo hábil, nem disponibilidade de informações para adentrar nesse aspecto, estando, assim, fora do escopo do trabalho.

Para a definição da quantidade de água captada do rio, utilizou-se os dados fornecidos pelas indústrias por meio do questionário enviado. Cada mês do ano tem um volume de água captado diferente, devido à necessidade, a produção e a realidade das indústrias que variam ao longo do ano. Já o preço do metro cúbico não varia ao longo do tempo, para indústria Refinaria, esse valor foi fornecido e para a indústria Biodiesel S.A, esse valor foi cálculo por meio dos dados fornecidos pelas indústrias.

A elasticidade-preço da demanda de água foi definida a partir de valores disponíveis na literatura para a atividade industrial, porém não foram encontrados valores específicos para esta atividade na área de estudo. Dessa forma, apesar das incertezas na sua definição, o valor escolhido foi 0,98, pois diversas referências já apresentadas na revisão bibliográfica (Williamms e Suth (1986), Rees (1969), Turnovsky (1969), Ziegler e Bell (1984)) apontam essa elasticidade para a atividade industrial.

Tabela 12. Demanda (W), preço (P) e elasticidade (E) mensais para indústria Refinaria.

Mês	W (10 ³ m ³ /mês)	P (R\$/m ³)	E
Janeiro	1106,71	0,18	-0,98
Fevereiro	1116,08	0,18	-0,98
Março	1076,40	0,18	-0,98
Abril	983,34	0,18	-0,98
Mai	965,91	0,18	-0,98
Junho	664,79	0,18	-0,98
Julho	934,80	0,18	-0,98
Agosto	994,11	0,18	-0,98
Setembro	865,84	0,18	-0,98
Outubro	975,55	0,18	-0,98
Novembro	920,46	0,18	-0,98
Dezembro	977,55	0,18	-0,98

Tabela 13. Demanda (W), preço (P) e elasticidade (E) mensais para indústria Biodiesel S.A.

Mês	W (m ³ /mês)	P (R\$/m ³)	E
Janeiro	4563,90	0,11	-0,98
Fevereiro	6852,80	0,11	-0,98
Março	9251,60	0,11	-0,98
Abril	10825,20	0,11	-0,98
Mai	10527,60	0,11	-0,98
Junho	10720,80	0,11	-0,98
Julho	10341,60	0,11	-0,98
Agosto	9746,40	0,11	-0,98
Setembro	9676,80	0,11	-0,98
Outubro	9765,00	0,11	-0,98
Novembro	10681,20	0,11	-0,98
Dezembro	10698,72	0,11	-0,98

Depois de definidos os parâmetros necessários para a aplicação do método *Point Expansion* (W: quantidade de água; P: preço; E: elasticidade), apresentados nas Tabelas 12 e 13, foi possível obter as doze equações para a curva de disponibilidade uma para cada mês do ano e para cada indústria, cujo comportamento é exponencial, como descrito na Equação 13 a seguir:

$$W = P^E \times k \quad \text{Equação 13}$$

Para obter as equações que descrevem a curva de disponibilidade a pagar de cada mês do ano para cada uma das indústrias, calculou-se o valor da constante arbitrária (k) através da Equação 14, e posteriormente inseriu-se esse valor e o valor da elasticidade na Equação 13, de modo que, ao variar a quantidade de água, obteve-se o valor da próxima unidade de água correspondente. Considerou-se como domínio da função os valores entre a demanda 99% menor e 20% maior que a demanda do ponto de referência. A princípio a escolha do domínio era para valores entre 60% de W e 120% de W, pois valores muito distantes do ponto não são representativos, e se afastam muito da realidade. Porém, ao obter-se os primeiros resultados, constatou-se que vários valores caíam fora domínio escolhido, prejudicando a discussão dos resultados. Ao todo foram vinte pontos calculados e que descrevem cada curva de benefício marginal.

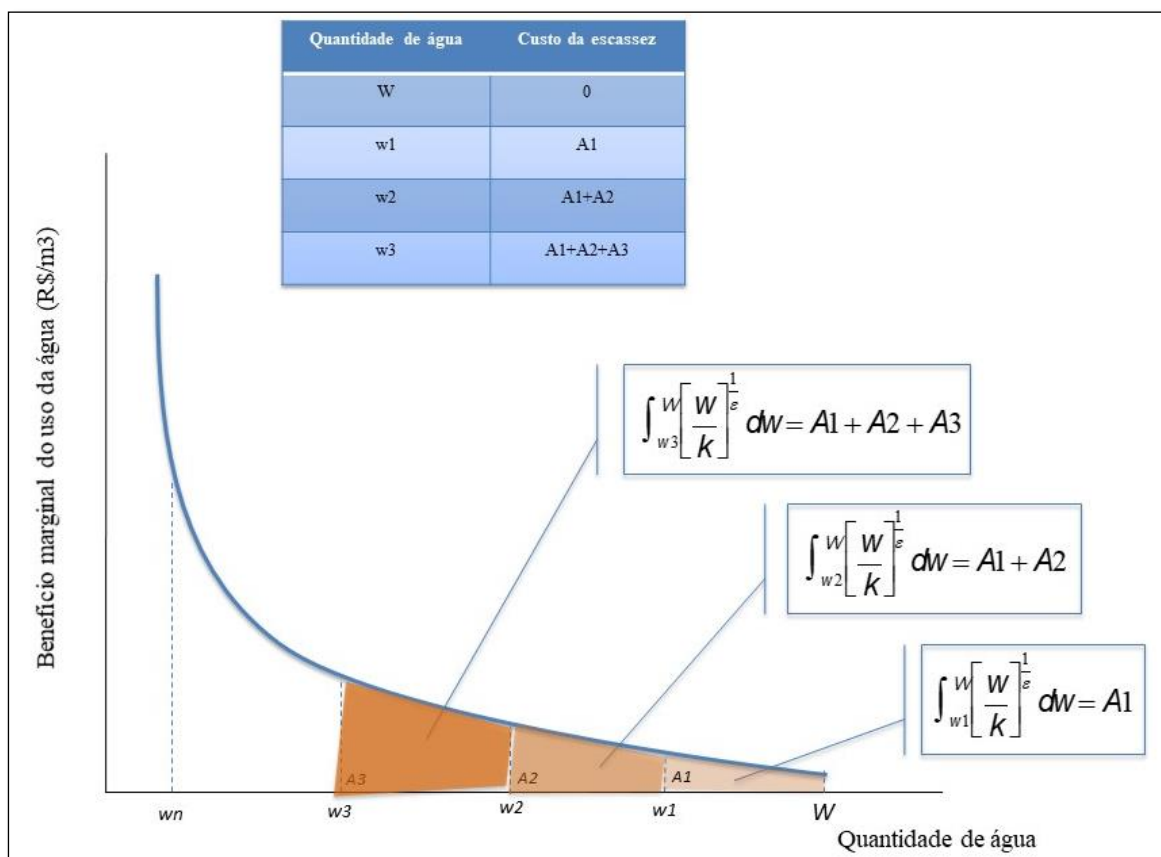
$$k = \frac{W}{P^E} \quad \text{Equação 14}$$

Obtidas as curvas de benefício marginal, foram definidos intervalos dentro do domínio de cada curva e calculada a integral para cada intervalo. Como já apresentado, a

integral (área sob a curva) da função de benefícios marginais representa o custo da escassez. Como a figura formada pela área entre os pontos é aproximadamente um trapézio, utilizou-se a fórmula da área dessa figura geométrica para calcular o custo da escassez de cada ponto de acordo com a Equação 15. O ponto em que a demanda corresponde a 20% de W tem custo da escassez igual a zero, pois considera-se que essa quantidade de água corresponde àquela que as indústrias estudadas gostariam de captar do rio, ou seja, a demanda máxima. A partir desse ponto, então, é calculado o custo para os demais pontos, sempre somando com o custo do ponto anterior. A Figura 15 ilustra esse processo.

$$\text{Área do trapézio} = \frac{(B+b) \times h}{2} \quad \text{Equação 15}$$

Figura 15 – Ilustração do processo de cálculo do custo da escassez



3.4 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é feito com o objetivo de simular como as demandas presentes na região de estudo seriam atendidas para um dado cenário de disponibilidade, aqui representada pela série histórica de vazões do. Para isso, seguiu-se os passos descritos a seguir:

A região de estudo encontra-se no chamado “Baixo Sinos”, que se localiza a jusante da estação fluviométrica de Campo Bom. Os dados de vazão empregados no presente estudo são, portanto, da estação de Campo Bom. Dessa forma, todas decisões sobre os usos da água que ocorrem a montante da estação (vazões captadas, vazões de retorno, evapotranspiração, etc.) estão fora do escopo do trabalho, de modo que apenas o seu resultado final é refletido na série de vazões da estação fluviométrica de Campo Bom. Em outras palavras, a série temporal utilizada reflete uma combinação de processos hidrológicos na bacia e ações antrópicas a montante (precipitação, infiltração, retirada de água, vazões de retorno, etc.).

Tal consideração apresenta algumas limitações. Uma delas é que, séries de vazões mais antigas (ex:1940-1959), muito provavelmente, resultam de um cenário onde as demandas eram bem inferiores às atuais, representando mais fielmente as vazões naturais desta região. Dessa forma, usar esse registro de vazões para realizar uma simulação atual e futura, implica em uma superestimava da quantidade de água disponível para a região de estudo, pois, devido ao aumento das demandas presentes no rio, menos água estaria disponível para essas demandas atuais, caso essa série histórica viesse a ocorrer novamente. O impacto disso para os nossos resultados é que os cálculos de balanço hídrico e dos custos da escassez têm grande probabilidade de serem maiores, caso o período de estiagem presente em 1940-1959 se repita.

A Figura 16 mostra um esquema da bacia do Rio dos Sinos com a região modelada e não modelada indicadas, assim como, a localização aproximada da estação fluviométrica, das indústrias estudadas e das demandas outorgadas.

Figura 16. Bacia do Rio dos Sinos com a indicação da região modelada e não modelada, da estação fluviométrica, das indústrias estudadas e das demandas outorgadas.



Para calcular o balanço hídrico no trecho estudado da bacia e realizar a simulação do sistema utilizou-se o software WEAP – *Water, Evaluation and Planning*. O WEAP é um modelo generalizado de simulação para estudo do planejamento e gestão dos recursos hídricos. O WEAP permite que um sistema hídrico qualquer seja representado com uma rede de arcos e nós, incluindo todos os dados referentes às demandas, disponibilidade hídrica, prioridades e preferências de uso da água, além de diversas outras características do sistema. O sistema modelado pode então ser simulado em cenários distintos, configurados pelo usuário. Em cada simulação, o WEAP realiza balanço hídrico no sistema e busca atender às demandas conforme a sua prioridade e disponibilidade hídrica informados pelo usuário. Como resultados, são fornecidos os volumes de atendimento a cada demanda, as vazões em cada trecho dos rios e vários outros detalhes, como volumes armazenados em reservatórios, perdas, vazões de retornos e custos.

Seis cenários de simulação são propostos nesse trabalho para explorar as perguntas de pesquisa colocadas. Ao fim de cada simulação, o WEAP produziu como resultado séries temporais de volumes entregues por mês a cada uma das demandas modeladas

(abastecimento urbano, irrigação e indústria) bem como a relação entre demanda requerida e quantidade de água recebida (*coverage*). Para as indústrias estudadas (Refinaria e Biodiesel S.A.), a série temporal de volumes de água entregues por mês foi empregada para o cálculo dos respectivos custos da escassez (mensais). Esse último cálculo foi realizado em planilha EXCEL preparada com os parâmetros das funções de benefício marginal e o respectivo cálculo das áreas (Equação 15). O volume de água entregue em um dado mês corresponde ao limite inferior do intervalo de integração da Equação 8 (o limite superior é a demanda máxima). Assim, se a demanda recebe, em um dado mês, um volume de água igual à sua demanda máxima, a área calculada pela integral é igual a zero, assim como o seu custo da escassez.

O primeiro passo foi desenhar o trecho do rio de interesse, que, como já mencionado, corresponde a parte do rio chamada “Baixo Sinos”, a partir da estação fluviométrica de Campo Bom (87380000) cujos dados de vazão da série histórica foram obtidos. A fim de se considerar as vazões incrementais que ocorrem no trecho da bacia estudado, foram adicionadas quatro afluentes ao longo do trecho e a cada um deles foi atribuído uma série de vazões correspondente a uma área de drenagem previamente definida com base nas unidades de gestão.

Feito isso, adicionou-se todas as demandas existentes na região da bacia, segundo o sistema de outorga do governo do estado, através do comando “*Demand Site*” e para cada uma delas registrou-se o valor de retirada e a porcentagem de consumo da quantidade de água retirada do rio de acordo com cada atividade. Ao todo, foram 14 pontos de demanda industrial adicionadas; 21 pontos de demanda para irrigação; 4 pontos de demanda para abastecimento público e 2 pontos representando as indústrias estudadas. Importante ressaltar que, como a irrigação ocorre somente durante os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, foi necessário informar ao *software* a variação mensal da demanda para essa atividade. Outro ponto relevante é que o *software* WEAP trabalha com o valor total anual de demanda e para esse cálculo, considerou-se o tempo de bombeamento por dia para cada uma das atividades segundo os dados levantados anteriormente, sendo para o abastecimento público esse período de 24 horas, para a atividade industrial 12 horas e para a irrigação 8 horas.

Para as demandas das duas indústrias estudadas nesse trabalho, considerou-se que o volume anual requerido é o correspondente ao custo de escassez igual a zero, ou seja, ao volume 20% maior que o atualmente captado por essas. Ao fazer essa escolha, consideramos

que tanto a Refinaria, quanto a Biodiesel S.A., estariam interessadas em captar 20% a mais de água e que, dessa forma, o volume que retiram hoje do rio está associado a um custo de escassez. Logo, isso é feito para mostrar a hipótese de que as indústrias provavelmente usariam mais água caso esta custasse menos por unidade e, ainda, se estivesse disponível.

De acordo com o plano de bacia do Rio dos Sinos, a vazão máxima outorgada corresponde a 70% da Q_{90} (vazão que ocorre ou é excedida 90% do tempo), de acordo com a curva de permanência feita a partir dos dados de vazões da estação fluviométrica de Campo Bom (a mesma utilizada nesse trabalho), a Q_{90} para o Rio dos Sinos é igual a 20,11 m³/s. Sendo assim, foi necessário adicionar uma vazão remanescente (chamada também de vazão de fim de trecho) que representasse a vazão remanescente do rio que corresponde a 30% da Q_{90} . Essa vazão, conforme foi informado ao WEAP, ocorre 24 horas por dia nos 365 dias do ano.

Um último aspecto em relação às demandas é a prioridade de atendimento que cada demanda tem sobre as outras. Para isso, considerou-se que os pontos de captação para abastecimento público e a vazão remanescente têm prioridade 1, ou seja, recebem água antes de todas as outras demandas. Os demais pontos, incluindo as duas indústrias estudadas, têm suas prioridades definidas de acordo com o cenário a ser simulado, podendo ser de acordo com a localização na bacia (as demandas a montante recebem água antes das a jusante) ou de forma igualitária (todas tendo a mesma prioridade).

Colocados todos os pontos de demanda e as características de cada uma (volume de água por ano e variação mensal da demanda), foi adicionado a série de vazões do rio no ponto mais a montante de forma que este seja o ponto de “*inflow*”, ou seja, onde a água entra no sistema. Foi escolhida a série de dados mais antiga (1940 a 1959) para fazer as simulações e estudos, pois essa série apresenta um cenário de seca mais severo que a de 1966 a 2016 e provavelmente traria mais prejuízos econômicos caso repetido no futuro, o que torna o estudo mais interessante em termos de análise de simulações de cenários e resultados.

Todo o processo descrito até aqui foi feito para definir os parâmetros do ano base ou ano de referência correspondente ao ano de partida para as simulações a serem feitas. Como a série de vazões escolhida possui 20 anos de dados, o primeiro ano (1940) se refere ao ano base. Para esse trabalho, como o objetivo é fazer simulações futuras, determinou-se o ano base como sendo o de 2016 e os 19 anos restantes da série correspondem aos anos entre 2017 e 2035.

Definido todos os parâmetros e características do ano base, foram definidos seis cenários diferentes para simular o que aconteceria com a quantidade de água recebida pelas demandas da bacia para cada um deles. Esses cenários incluem o crescimento populacional na bacia vinculado as demandas de abastecimento público, os demais consumos permanecem constantes ao longo da simulação. Os cenários compreendem aos anos de 2017 a 2035 (1941 a 1959 da série de dados de vazão) e a explicação de cada um vem a seguir.

Cenário base – atual situação da bacia

O cenário base tenta representar da melhor forma possível a conjuntura atual desse trecho da bacia, levando em conta os seguintes parâmetros:

- **Prioridade de captação:** considera que as demandas a montante, por terem água disponível antes que as demandas a jusante, captam toda água que necessitam, de forma que as demandas situadas mais ao fim do rio têm a sua disposição a vazão que “sobrar” até sua localidade. Embora legalmente a prioridade dessas demandas seja a mesma, na prática dificuldades quanto à fiscalização e monitoramento, comuns a diversas bacias no Brasil, limitam a sua aplicação. É considerado também que o abastecimento público e a vazão remanescente têm prioridade sobre todas as outras demandas da bacia, de acordo com o estabelecido pela Lei 9.433.
- **Abastecimento:** são 4 municípios que captam água do rio para abastecer parte de sua população. Foi considerado que a vazão captada por essas cidades corresponde ao número de habitantes que pertence a bacia multiplicado pela vazão per capita (0,165 m³/hab.dia, TRATA BRASIL, S/D) durante os 365 dias de um ano. Levou-se em conta a taxa de crescimento populacional anual de cada um dos 4 municípios, a fim de considerar o aumento da população e, assim, da demanda de água ao longo dos anos.

Cenário 1 – ação do órgão gestor

Esse cenário simula uma ação do órgão gestor da bacia a fim de minimizar as falhas no abastecimento, os prejuízos econômicos das indústrias estudadas e distribuir os prejuízos de uma falta de água em períodos de seca. Para isso, a proposta seria fazer com que a prioridade de captação seja igual para demandas presentes na bacia. Essa ação poderia ser a implementação de uma fiscalização efetiva, capaz de identificar pontos de captação de água ilegais na bacia e de garantir que as demandas outorgadas estejam retirando somente a

quantidade de água que o órgão ambiental determinou. Apesar de ser uma tarefa difícil, o órgão gestor poderia investir em tecnologia da informação e em monitoramento via satélite e drones para auxiliar na fiscalização. Além disso, pode ser firmado uma parceria com alguns usuários para que estes ajudem compartilhando informações com o órgão gestor. A diferença do cenário 1 em relação ao cenário base é a configuração das prioridades de atendimento às demandas:

- Prioridade de captação: o abastecimento público para fins de consumo urbano continua tendo prioridade sobre todas as outras demandas, assim como a vazão remanescente. As demais demandas da bacia passam a ter igual prioridade de captação.
- O abastecimento público permanece com os mesmos critérios que no cenário base.

Cenário 2 – reuso de água por parte das indústrias estudadas (Refinaria e Biodiesel S.A)

O cenário 2 simula o que aconteceria se as duas indústrias estudadas fizessem uso de um sistema de reuso para reduzir a quantidade de água captada do rio. Foram usadas as mesmas condições do cenário base em relação a prioridade e as demandas de abastecimento público.

Porcentagem de reuso: Refinaria (12,5%) e Biodiesel (5%). A porcentagem de reuso escolhida para a Refinaria foi baseada nos valores divulgados pela Petrobras, que em três anos conseguiu reduzir em 12,5% o consumo de água, logo optou-se por esse valor mais genérico devido à falta de informações mais detalhadas sobre a indústria estudada e para evitar que, caso a indústria já esteja realizando essa ação, ela não seja ampliada de tal forma que distorçam os resultados. Por outro lado, a porcentagem de reuso adotada para a indústria Biodiesel S.A foi baseada no fato de que a esta possui consumos bem inferiores que a Refinaria e possui outra fonte de água, não tendo tanto interesse em realizar grandes investimentos para pôr em prática essa ação. Além disso, não se tem acesso a dados mais detalhados sobre os processos industriais dessa.

Importante ressaltar que as curvas de benefício e custo da escassez sofreram alteração, visto que as demandas dessas indústrias diminuiriam (uma parte da demanda é agora atendida com água proveniente do sistema de reuso). As Tabelas 14 e 15 a seguir mostram os novos valores de demanda para cada uma das indústrias estudadas em

comparação com a demanda anterior. Para o cálculo da curva de benefício, foi utilizada a Equação 13 e para o cálculo do parâmetro k foi utilizada a Equação 14. O custo de escassez foi calculado da mesma forma usada para os valores originais de W (demanda), calculando-se a área abaixo da curva de cada intervalo e somando-se sempre com o resultado anterior.

Tabela 14. Comparação da demanda original (W) com a nova demanda (W de reuso) seguidas pelo preço (P) e elasticidade (ϵ) mensais para indústria Refinaria.

Mês	W ($10^3\text{m}^3/\text{mês}$)	W reuso ($10^3\text{m}^3/\text{mês}$)	P ($\text{R}\$/\text{m}^3$)	ϵ
Janeiro	1106,71	968,37	0,18	-0,98
Fevereiro	1116,08	976,57	0,18	-0,98
Março	1076,40	941,85	0,18	-0,98
Abril	983,34	860,42	0,18	-0,98
Mai	965,91	845,17	0,18	-0,98
Junho	664,79	581,69	0,18	-0,98
Julho	934,80	817,95	0,18	-0,98
Agosto	994,11	869,85	0,18	-0,98
Setembro	865,84	757,61	0,18	-0,98
Outubro	975,55	853,60	0,18	-0,98
Novembro	920,46	805,40	0,18	-0,98
Dezembro	977,55	855,35	0,18	-0,98

Tabela 15. Comparação da demanda original (W) com a nova demanda (W de reuso) seguidas pelo preço (P) e elasticidade (ϵ) mensais para indústria Biodiesel S.A.

Mês	W ($\text{m}^3/\text{mês}$)	W reuso ($\text{m}^3/\text{mês}$)	P ($\text{R}\$/\text{m}^3$)	ϵ
Janeiro	4563,90	4335,70	0,11	-0,98
Fevereiro	6852,80	6510,10	0,11	-0,98
Março	9251,60	8789,10	0,11	-0,98
Abril	10825,20	10283,90	0,11	-0,98
Mai	10527,60	10001,20	0,11	-0,98
Junho	10720,80	10184,80	0,11	-0,98
Julho	10341,60	9824,50	0,11	-0,98
Agosto	9746,40	9259,10	0,11	-0,98
Setembro	9676,80	9193,00	0,11	-0,98
Outubro	9765,00	9276,70	0,11	-0,98
Novembro	10681,20	10147,10	0,11	-0,98
Dezembro	10698,72	10163,80	0,11	-0,98

Cenário 3 – reuso de água de todas as indústrias presentes na bacia

Esse cenário busca responder a seguinte questão: e se todas as indústrias da bacia fizessem reuso ou um uso mais eficiente da água de forma que também reduzissem sua demanda? Para isso, considerou-se uma média de reuso de 3% de cada demanda industrial. Adotou-se esse valor de reuso, pois não se tinha a informação se as demandas industriais presentes na área de estudo já realizavam essa ação, então um valor mais conservador evita se sejam consideradas duas vezes prováveis quantidades de água reutilizadas. A porcentagem de reuso para a Refinaria e a Biodiesel S.A continuam as mesmas do cenário 2. Demais parâmetros e condicionantes referentes as prioridades de captação e ao abastecimento público seguiram o cenário base.

Cenário 4 – eficiência no sistema de irrigação

O cenário 4 agrega ao cenário 3 o aumento de eficiência nas demandas de irrigação da bacia. Simula-se uma redução de 3% no consumo de água causada pela melhora na tecnologia de irrigação, diminuição das perdas, mais conhecimento sobre o processo, entre outros fatores. O valor escolhido para a redução de demanda na irrigação representa uma média da porcentagem de água economizada entre as demandas presentes da área de estudo, pois considera-se que não seriam todas que adotariam essas medidas, como é aqui simulado. Além disso, optou-se por um valor conservador devido à falta de tempo para adentrar mais a fundo nessa questão.

Cenário 5 – redução de perdas no abastecimento público

Por fim, o cenário 5 soma-se ao cenário 4 de forma que se adiciona a redução das perdas no sistema de abastecimento. Considera-se para essa simulação, uma redução nas perdas equivalente a 5% da demanda, devido a reparos feitos na rede de abastecimento, controle de pressões e substituição por tubulações mais novas. Esse valor de redução foi escolhido, pois considerou-se que dos 37% de perdas no abastecimento apontados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2013), aproximadamente 15% são decorrentes a água não entregue ao consumidor, que são furtadas, por exemplo, então, definiu-se uma economia de 5% dos 22% de perdas que ocorrem por problemas no sistema de distribuição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.2 CURVAS DE BENEFÍCIO MARGINAL (DISPONIBILIDADE A PAGAR) E DE CUSTO DA ESCASSEZ

Por meio dos dados coletados referente a quantidade de água captada pelas indústrias (W), o preço da unidade de água captada (P) e a elasticidade-preço (E), obtiveram-se as curvas de benefício marginal (disponibilidade a pagar) para cada mês do ano e para cada uma das indústrias estudadas. As Tabelas 16 e 17 a seguir mostram as equações das curvas de benefício marginal obtidas para cada mês para as indústrias Biodiesel S.A e Refinaria, respectivamente.

Tabela 16. Curvas de benefício marginal (disposição a pagar) da indústria Biodiesel S.A.

Janeiro	$W = 526,18 \times P^{-(-0,98)}$	Julho	$W = 1192,31 \times P^{-(-0,98)}$
Fevereiro	$W = 790,07 \times P^{-(-0,98)}$	Agosto	$W = 1123,69 \times P^{-(-0,98)}$
Março	$W = 1066,64 \times P^{-(-0,98)}$	Setembro	$W = 1115,66 \times P^{-(-0,98)}$
Abril	$W = 1248,06 \times P^{-(-0,98)}$	Outubro	$W = 1125,83 \times P^{-(-0,98)}$
Maiο	$W = 1213,75 \times P^{-(-0,98)}$	Novembro	$W = 1231,46 \times P^{-(-0,98)}$
Junho	$W = 1236,03 \times P^{-(-0,98)}$	Dezembro	$W = 1233,48 \times P^{-(-0,98)}$

Tabela 17. Curvas de benefício (disposição a pagar) da indústria Refinaria.

Janeiro	$W = 206159,26 \times P^{-(-0,98)}$	Julho	$W = 174135,81 \times P^{-(-0,98)}$
Fevereiro	$W = 207903,40 \times P^{-(-0,98)}$	Agosto	$W = 185183,16 \times P^{-(-0,98)}$
Março	$W = 200512,92 \times P^{-(-0,98)}$	Setembro	$W = 161288,24 \times P^{-(-0,98)}$
Abril	$W = 183177,30 \times P^{-(-0,98)}$	Outubro	$W = 181725,61 \times P^{-(-0,98)}$
Maiο	$W = 179929,31 \times P^{-(-0,98)}$	Novembro	$W = 171464,17 \times P^{-(-0,98)}$
Junho	$W = 123837,87 \times P^{-(-0,98)}$	Dezembro	$W = 182098,17 \times P^{-(-0,98)}$

As curvas de benefício marginal, tanto para a Biodiesel S.A, quanto para a Refinaria, apresentam comportamento muito parecido para os doze meses do ano. Isso ocorre devido a semelhança dos dados de captação médios mensais fornecidos pelas indústrias. Observa-se, ao se comparar as equações das curvas das duas indústrias estudadas, que o volume de água captado pela Refinaria é em média 110 vezes maior que o da Biodiesel S.A. A explicação para essa diferença ser tão grande se dá pelo fato de que a produção anual da Refinaria é 36

vezes maior que o da Biodiesel S.A. Além disso, a indústria Biodiesel S.A. possui outra fonte de abastecimento, que não apenas o Rio dos Sinos.

Os gráficos da Figuras 17 e 18 a seguir exemplificam para o mês de janeiro as características das curvas de benefício marginal para as duas indústrias estudadas, Biodiesel S.A. e Refinaria, respectivamente. O eixo y representa o preço da unidade de água (R\$/m³) e o eixo x representa a demanda de água por mês em milhares de metros cúbicos (10³m³/mês). Lembra-se que o domínio da função para as curvas de benefício marginal está entre os valores 99% menores e 20% maiores que o ponto de demanda observado. Além disso, por serem curvas exponenciais, para demandas próximas de zero, o preço da unidade de água tende ao infinito. Por isso, os pontos correspondentes a demanda 99% menor são discrepantes dos demais.

Todos os gráficos para todos os meses referentes as curvas de benefício marginal obtidas para as indústrias Biodiesel S.A. e Refinaria, encontram-se, respectivamente, no Anexo 2 e 3 do presente trabalho.

Figura 17. Curva de benefício marginal para a indústria Biodiesel S.A referente ao mês de janeiro.

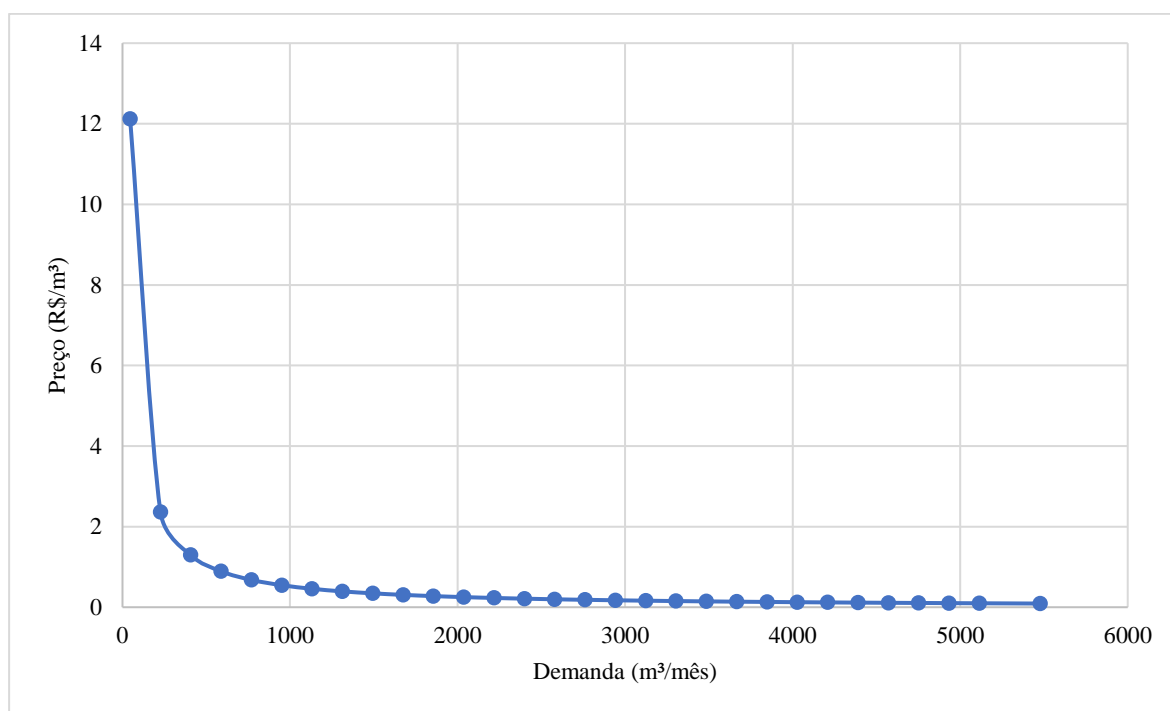
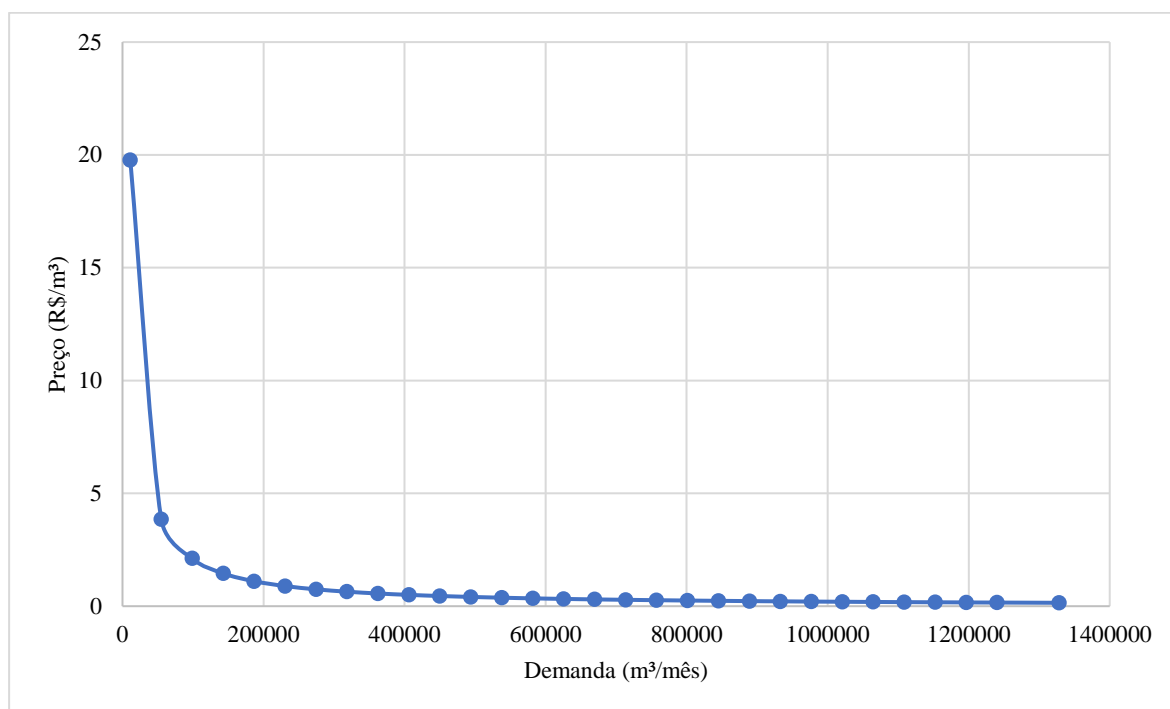


Figura 18. Curva de benefício marginal para a indústria Refinaria referente ao mês de janeiro.



Os resultados obtidos para o custo da escassez, área abaixo da curva de benefício marginal, para cada uma das indústrias estudadas, são apresentados nas Tabelas 18 e 19 a seguir. As tabelas mostram o custo da escassez tanto para a demanda 99% menor que a do ponto utilizado para obtenção das curvas de benefício marginal, quanto para o custo da escassez referente a esse ponto, atual situação de captação da indústria.

Lembra-se que os pontos 99% menor que o ponto observado e 20% maior que o ponto observado são os limites do domínio da função, como também, os limites de integração. O custo da escassez para a demanda 20% maior do que a atual (demanda máxima) é igual a zero, pois, nesse ponto, considera-se que as indústrias estão recebendo exatamente a quantidade de água que gostariam, assim, optou-se por não apresentar esse ponto de demanda nas tabelas que seguem.

Salienta-se que a demanda correspondente ao ponto atual de captação apresenta custo da escassez, porque se considera a possibilidade de que, se a água estivesse disponível a um custo menor, uma quantidade maior seria captada. Na prática a determinação dessa quantidade depende do conhecimento mais detalhado da tecnologia empregada na produção, dos demais custos e das alternativas tecnológicas disponíveis. No presente trabalho, como não dispomos dessas informações e tal detalhamento encontra-se fora do escopo deste, foi adotado o valor de 20%. O objetivo aqui é determinar o ponto final da curva, ou a demanda

“máxima” da indústria, a partir da qual o custo da escassez é igual a zero. Outro fato importante é que os valores do custo da escassez para quantidades utilizadas inferiores a 40% da demanda não são confiáveis, pois estão longe do ponto observado. Trata-se de uma limitação do método, que deve ser contornada com dados de campo observados, os quais não dispomos no momento.

Tabela 18. Custo de escassez ao longo dos meses do ano para o ponto W e 1% de W para a indústria Biodiesel S.A.

Mês	Custo de escassez para W (R\$)	Custo de escassez para 1% de W (R\$)
Janeiro	90,83	2988,83
Fevereiro	136,38	4487,80
Março	184,12	6058,78
Abril	215,44	7089,29
Maio	209,52	6894,39
Junho	213,36	7020,92
Julho	205,81	6772,58
Agosto	193,97	6382,79
Setembro	192,58	6337,21
Outubro	194,34	6394,97
Novembro	212,57	6994,98
Dezembro	212,92	7006,45

Tabela 19. Custo de escassez ao longo dos meses do ano para o ponto W e 1% de W para a indústria Refinaria.

Mês	Custo de escassez para W (10 ³ R\$)	Custo de escassez para 1% de W (10 ³ R\$)
Janeiro	35,94	1182,55
Fevereiro	36,24	1192,56
Março	34,95	1150,16
Abril	31,93	1050,73
Maio	31,36	1032,09
Junho	21,59	710,35
Julho	30,35	998,86
Agosto	32,28	1062,23
Setembro	28,11	925,17
Outubro	31,68	1042,40
Novembro	29,89	983,54
Dezembro	31,74	1044,54

As Figuras 19 e 20 a seguir mostram, para o mês de janeiro, o comportamento da curva de custo da escassez para as indústrias Biodiesel S.A. e Refinaria, respectivamente. Todos os gráficos para todos os meses referentes às curvas de custo da escassez obtidas para as indústrias Biodiesel S.A. e Refinaria, encontram-se, respectivamente, no Anexo 2 e 3 do presente trabalho.

Figura 19. Curva de custo da escassez para a indústria Biodiesel S.A referente ao mês de janeiro.

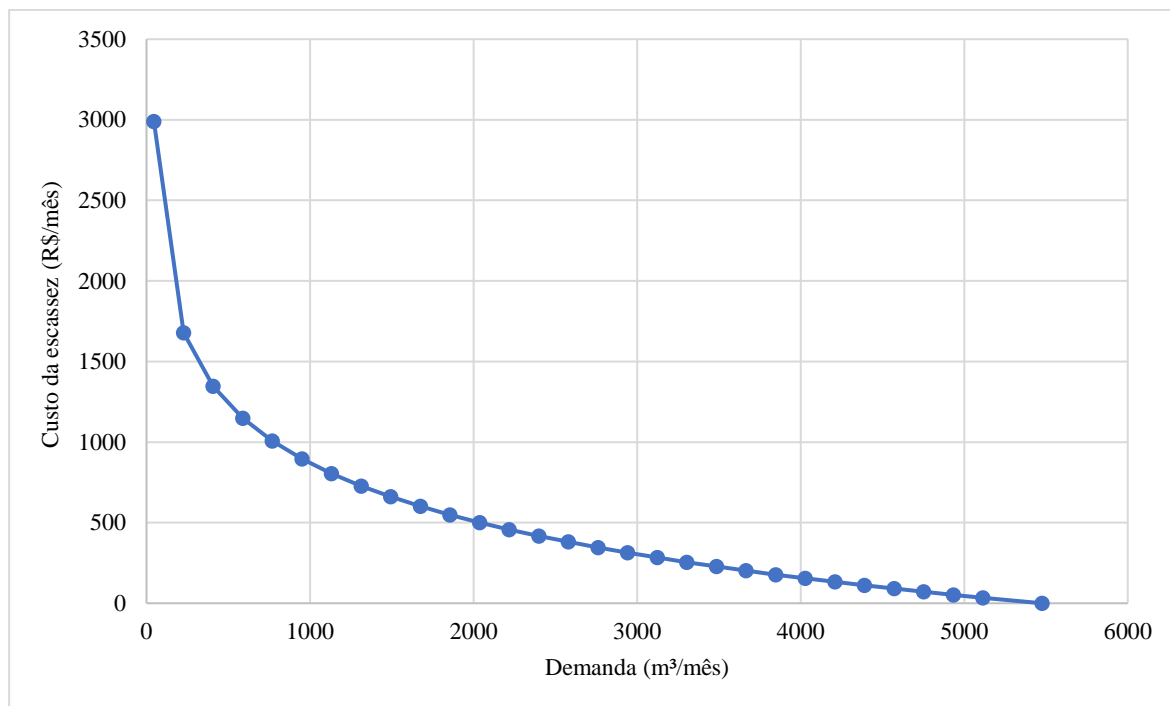
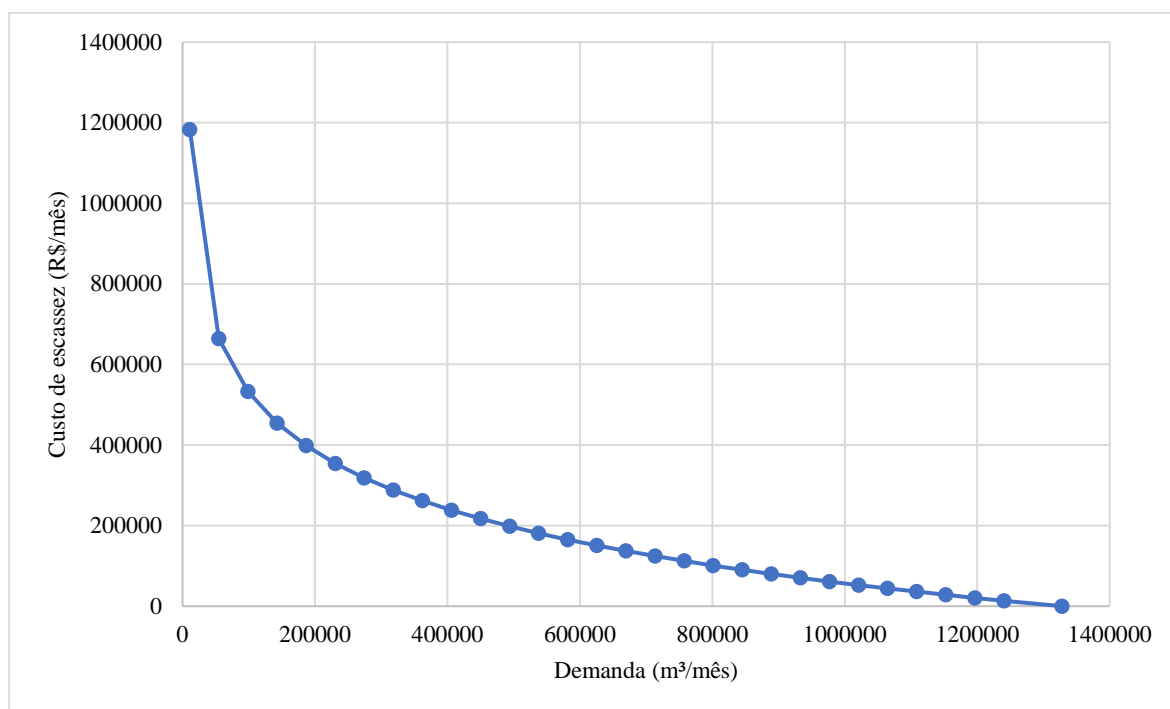


Figura 20. Curva de custo da escassez para a indústria Refinaria referente ao mês de janeiro.



Observa-se, a partir das curvas de custo da escassez que o ponto correspondente a demanda 99% menor que a do ponto observado é discrepante em relação aos outros e apresenta um custo bem mais elevado que os demais. Isso ocorre devido ao comportamento exponencial que a curva de benefício marginal possui e, assim, o preço da unidade de água tende ao infinito para valores de demanda próximos de zero. Dessa forma, para os pontos de demanda cada vez mais próximos de zero, a área em baixo da curva de benefício marginal, que representa o custo da escassez, é cada vez maior, pois cresce exponencialmente.

A partir do cenário 3 as curvas de benefício marginal das indústrias estudadas mudam devido à redução da demanda requerida por elas em 5% e 12,5% para a Biodiesel S.A. e a Refinaria, respectivamente. A seguir, as Tabelas 20 e 21 apresentam as novas equações das curvas de benefício para as duas indústrias estudadas.

Tabela 20. Curvas de benefício marginal com reuso da indústria Biodiesel S.A.

Janeiro	$W = 500,00 \times P^{-(-0,98)}$	Julho	$W = 1132,70 \times P^{-(-0,98)}$
Fevereiro	$W = 750,57 \times P^{-(-0,98)}$	Agosto	$W = 1067,50 \times P^{-(-0,98)}$
Março	$W = 1013,31 \times P^{-(-0,98)}$	Setembro	$W = 1059,87 \times P^{-(-0,98)}$
Abril	$W = 1185,66 \times P^{-(-0,98)}$	Outubro	$W = 1069,54 \times P^{-(-0,98)}$
Maio	$W = 1153,07 \times P^{-(-0,98)}$	Novembro	$W = 1169,90 \times P^{-(-0,98)}$
Junho	$W = 1174,23 \times P^{-(-0,98)}$	Dezembro	$W = 1171,81 \times P^{-(-0,98)}$

Tabela 21. Curvas de benefício marginal com reuso da indústria Refinaria.

Janeiro	$W = 180389,35 \times P^{-(-0,98)}$	Julho	$W = 152368,83 \times P^{-(-0,98)}$
Fevereiro	$W = 181915,50 \times P^{-(-0,98)}$	Agosto	$W = 162035,27 \times P^{-(-0,98)}$
Março	$W = 175448,80 \times P^{-(-0,98)}$	Setembro	$W = 141127,21 \times P^{-(-0,98)}$
Abril	$W = 160280,13 \times P^{-(-0,98)}$	Outubro	$W = 159009,91 \times P^{-(-0,98)}$
Maiο	$W = 157438,14 \times P^{-(-0,98)}$	Novembro	$W = 150031,15 \times P^{-(-0,98)}$
Junho	$W = 108358,14 \times P^{-(-0,98)}$	Dezembro	$W = 159335,90 \times P^{-(-0,98)}$

A diferença das novas equações, com reuso de água, para as anteriores é a redução do valor da constante k . Essa mudança era esperada, pois essa constante é diretamente proporcional ao W (quantidade ou demanda de água), que reduz devido à decisão das indústrias estudadas em fazer o reuso de água.

As Tabelas 22 e 23 a seguir mostram os novos custos de escassez para as duas indústrias estudadas de acordo com as novas curvas de benefício marginal obtidas com a quantidade de água demandada reduzida devido ao reuso de água considerado.

Tabela 22. Custo de escassez ao longo dos meses do ano para o ponto W reuso e 1% de W reuso para a indústria Biodiesel S.A.

Mês	Custo de escassez para W (R\$)	Custo de escassez para 1% de W (R\$)
Janeiro	86,30	2839,40
Fevereiro	129,60	4263,40
Março	174,90	5755,80
Abril	204,70	6734,80
Maiο	199,00	6549,70
Junho	202,70	6669,90
Julho	195,50	6433,90
Agosto	184,30	6063,60
Setembro	182,90	6020,30
Outubro	184,60	6075,20
Novembro	201,90	6645,20
Dezembro	202,30	6656,10

Tabela 23. Custo de escassez ao longo dos meses do ano para o ponto W reuso e 1% de W reuso para a indústria Refinaria.

Mês	Custo de escassez para W (10 ³ R\$)	Custo de escassez para 1% de W (10 ³ R\$)
Janeiro	31,44	1034,73
Fevereiro	31,71	1043,49
Março	30,58	1006,39
Abril	27,94	919,38
Maiο	27,44	903,08
Junho	18,89	621,55
Julho	26,56	874,00
Agosto	28,24	929,45
Setembro	24,60	809,52
Outubro	27,72	912,10
Novembro	26,15	860,59
Dezembro	27,77	913,97

O custo da escassez para os dois pontos mostrados nas tabelas (W e 1% de W) reduziram em relação a situação anterior, quando não havia reuso de água. Esse fato também era esperado e ocorreu devido à redução da demanda de água, pois o custo é calculado em função de W.

4.2 SIMULAÇÃO DO SISTEMA

A seguir são apresentados os resultados para os seis cenários simulados, que foram divididos em subitem. O primeiro subitem traz os resultados referentes ao cenário base. O segundo subitem discute os resultados do cenário 1. O terceiro subitem apresenta e discute os resultados dos cenários 2, 3, 4 e 5. O quarto subitem trata dos resultados referentes as indústrias estudadas. Por fim, o quinto e último subitem traz discussões e considerações gerais dos resultados como um todo.

4.2.1 Cenário base

Os primeiros resultados obtidos foram referentes ao cenário base, que corresponde à simulação do que aconteceria com a água requerida pelas demandas existentes na região

estudada, para a série de vazões de 1940 a 1959, caso as condições atuais do sistema fossem mantidas para os próximos 19 anos. Nesse cenário, a prioridade de atendimento para as demandas presentes na região de estudo ocorre conforme a localização de cada uma no sistema, as que estão a montante tem prioridade sobre as que estão a jusante, exceto para as demandas de abastecimento urbano e de fim de trecho, que tem prioridade sobre todas as outras. Além disso, as demandas de abastecimento público crescem ao longo dos anos de simulação conforme a taxa de crescimento anual de cada município.

Assim, para entender o período como um todo, obteve-se o gráfico de porcentagem de demanda atendida em relação a todos os meses do período simulado para todas as demandas presentes na região estudada. A Figura 21 a seguir apresenta esse gráfico, que foi gerado no próprio software WEAP, sendo que cada cor corresponde a uma das 43 demandas que compõe o sistema.

O gráfico da Figura 21 não apresenta com muita clareza as 43 demandas existentes, pois algumas estão sobrepostas devido à grande quantidade de pontos, ao comportamento parecido entre vários destes e ao longo período de simulação. Apesar disso, o gráfico serve para observarmos a ocorrência de períodos de escassez e os momentos em que alguma demanda não é atendida em 100% da quantidade de água que requer.

Dessa forma, a partir do gráfico da Figura 21, é possível identificar que ao longo da série de vazões utilizada ocorreram ao menos oito episódios de escassez hídrica com pelo menos uma demanda não sendo atendida totalmente se levarmos em conta as 43 demandas existentes no sistema. Nota-se que a demanda de fim de trecho, ou vazão remanescente do rio, representada pela cor vermelha no gráfico, apesar de receber menos água do que precisa em alguns pontos, sempre é atendida em alguma quantidade. Isso se deve ao fato de que sua prioridade de atendimento é sempre a mesma e superior que as demais. Pelas mesmas razões, esse fato também ocorre com as demandas de abastecimento público.

Os pontos de déficit para a vazão remanescente e para as demandas de abastecimento urbano ocorrem em 2 dos 20 anos simulados para o mês janeiro e abril e em 1 ano dos 20 simulados para o mês de março e dezembro. Os valores dos pontos de déficit para essas demandas em termos de porcentagem são bem parecidos, ou seja, as curvas destas demandas em resposta a simulação apresentam comportamento semelhante entre elas. Para o mês de janeiro a porcentagem da demanda atendida é 69% para o ano de 2021 e 86% para o ano de 2026. O mês de março tem a demanda atendida em 71% para o ano 2028. O mês de abril,

por sua vez, atende à demanda em 72% no ano 2021 e em 80% em 2028. Por fim, em dezembro a demanda é atendida em 89% no ano de 2019.

E relação as demandas indústrias, os pontos de déficit ocorrem em 3 dos 20 anos simulados para o mês de janeiro, 1 dos 20 anos simulados para o mês de fevereiro, março e dezembro, 2 dos 20 anos simulados para o mês de abril. Para esse grupo de demanda, que não incluem as indústrias estudadas, a entrega da vazão requerida se dá de forma que ou recebem tudo ou não recebem nada. Portanto, os oito déficits apontados representam as vezes em que as demandas indústrias do sistema, ou parte delas, não são atendidas. Isso ocorre pelo fato de que as prioridades dessas demandas variam conforme a localização dentro da bacia e, ainda, só serão atendidas depois que as demandas de fim de trecho e de abastecimento público receberem suas vazões requeridas. Vale ressaltar que para os meses de fevereiro e agosto algumas demandas indústrias se comportam diferente da maioria, de forma que para o mês de fevereiro algumas não apresentam nenhum déficit.

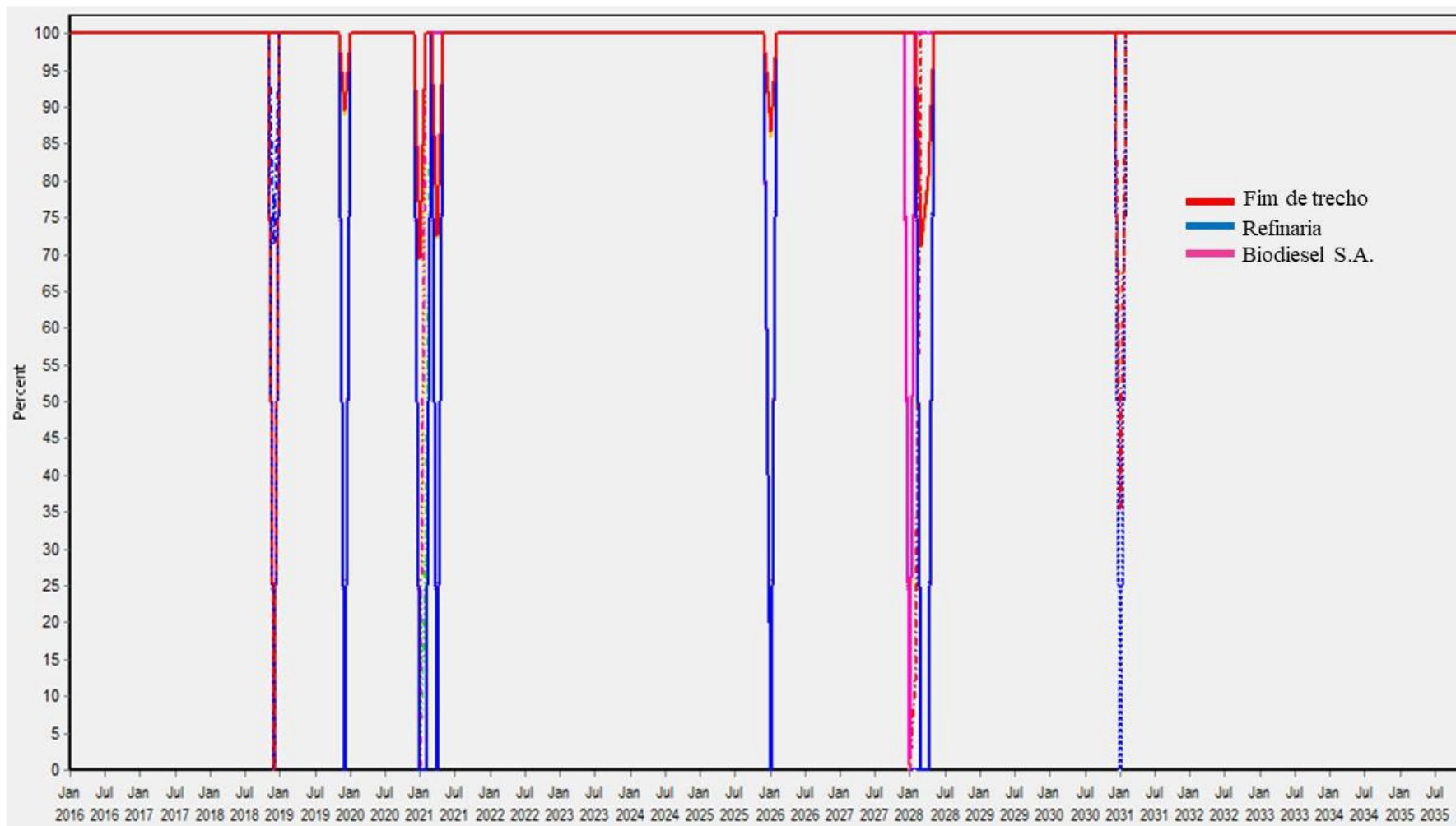
As demandas de irrigação só apresentam atividade durante os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, como já foi mencionado nos capítulos anteriores. Durante esses meses, para o cenário base, ocorrem déficits em 4 dos 20 anos de simulação para o mês de janeiro e 2 dos 20 anos simulados para o mês de fevereiro e para o mês de dezembro. Ressalta-se que uma demanda de irrigação possui 35,5% de sua demanda atendida para o mês de janeiro, duas demandas de irrigação, localizadas mais a montante na bacia, tem 28,3% e 12,2% de suas quantidades de água requerida para 2 anos do mês de fevereiro e demanda que é atendida parcialmente em 71% no mês de dezembro, em 1 dos 20 anos simulados.

Para as duas indústrias estudadas, os déficits ocorrem para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril e dezembro. A indústria Biodiesel S.A, por ser uma das últimas demandas a ser atendida, ou recebe toda vazão requerida, ou não recebe nada de água. Sendo assim, essa indústria não tem sua demanda atendida em 4 dos 20 anos simulados do mês de janeiro, 2 dos 20 anos simulados do mês de fevereiro, abril e dezembro, em 1 dos 20 anos simulados do mês de março.

Já a indústria Refinaria, apresenta déficit para dois dos 20 anos de simulação para o mês de janeiro e abril e um déficit para o mês de fevereiro, março e dezembro. Todos esses déficits correspondem a momentos em que o atendimento é zero. Portanto, a indústria Refinaria apresenta menos pontos de déficit que a indústria Biodiesel S.A., devido a sua

localização ser mais a montante que a outra indústria estudada, tendo, assim, uma prioridade anterior que essa.

Figura 21. Gráfico da porcentagem da demanda atendida gerado no software WEAP para todo o sistema.



4.2.2 Cenário 1

Neste cenário, procurou-se identificar as mudanças que ocorreriam em relação ao cenário base caso o órgão gestor da bacia implantasse um sistema de fiscalização para garantir que todas as demandas da bacia tivessem a mesma prioridade de atendimento. Essa regra só não se aplica as demandas de abastecimento público e a de fim de trecho, que continuam tendo prioridade sobre todas as outras existentes no trecho simulado. Por esse motivo, essas demandas não tiveram seus resultados alterados em relação ao cenário anterior.

O impacto das mudanças na prioridade em relação ao cenário base ocorreu para as demandas indústrias, de irrigação e para as duas indústrias estudadas, pois causou uma melhor distribuição da água disponível entre elas. Para as demandas industriais, a primeira mudança se deu de forma que todas apresentaram o mesmo comportamento para toda série temporal simulada. O mês de janeiro apresentava no cenário anterior déficit para três anos, com as mudanças feitas no cenário 1 passou a ter déficit em quatro anos de simulação, dois com nenhuma demanda atendida, um com 39% e outro com 64% para todas as demandas. O mês de fevereiro, que no cenário anterior não atendia algumas demandas indústrias para um ano de simulação, passou a ter déficit em dois anos com atendimento respectivo de 5% e 61% para todas demandas. Ainda, para o mês de dezembro o ano que no cenário anterior não atendia nenhuma demanda em nenhuma quantidade permaneceu com o mesmo comportamento, porém mais um ano apresentou déficit, com 54% da demanda requerida atendida para todas indústrias. Esse resultado mostra que com as prioridades iguais, as demandas a montante tiveram que abrir mão algumas vezes de serem totalmente atendidas para que as demandas a jusante na bacia, que não estavam recebendo nada no cenário anterior, pudessem ser atendidas pelo menos parcialmente.

Da mesma forma que ocorreu com as demandas indústrias, todas as demandas de irrigação passaram a responder de modo similar quando se alterou a prioridade. Assim, dois dos quatro anos que apresentavam déficit para o mês de janeiro no cenário base passaram a atender todas as demandas de irrigação em 39% e 64%. Para o mês de fevereiro, os dois anos que apresentam déficit no cenário base passam a atender todas as demandas de irrigação em 5% e 61%. Já o mês de dezembro, que no cenário anterior apresentava variação conforme a localização das demandas ao longo da bacia para um ano dos 20 de simulação, passou a atender todas demandas em 54%. Os mesmos motivos que causaram as alterações nos

resultados das demandas industriais do cenário base para o cenário 1, foram os que provocaram as mudanças para as demandas de irrigação recém descritas.

Por fim, para as duas indústrias estudadas, o número de vezes que cada indústria é atendida totalmente, parcialmente ou não é atendida torna-se igual, assim como, a porcentagem desse atendimento. Esse fato, causa efeitos positivos sobre a indústria Biodiesel S.A., pois esta passa a receber água parcialmente em quatro situações que no cenário base não recebia nada. Para a indústria Refinaria, como o comportamento é igual ao da indústria Biodiesel S.A. para este cenário, os resultados são os mesmos recém descritos. Porém, o efeito é negativo, pois essa indústria se localiza mais a montante na bacia e à medida que uma demanda passa a receber mais água dentro da bacia, outra deixa de receber a quantidade de água do cenário anterior. Dessa forma, a Refinaria passa a receber sua demanda parcialmente em quatro pontos, que antes eram atendidos em 100%. Portanto, nota-se, que ao igualar as prioridades das demandas no cenário 1, há uma melhor distribuição da água disponível na bacia e as demandas localizadas a montante, como a Refinaria, deixam de receber parte da água que recebiam no cenário anterior, para que as demandas localizadas mais a jusante fiquem menos vezes sem água durante a série temporal simulada.

4.2.3 Cenários 2, 3, 4 e 5

Optou-se por mostrar os resultados referentes aos cenários 2, 3, 4 e 5 juntos, pois a medida que no cenário 2 é introduzido o reuso da água nas indústrias estudadas, os cenários 3, 4 e 5 somente adicionam ao cenário 2 respectivamente, o reuso em todas as demais demandas industriais, melhora na eficiência dos sistemas de irrigação e redução das perdas de água no sistema de abastecimento público. É importante lembrar que nesses cenários a prioridade de recebimento de água volta a ser como era no cenário base, de acordo com a localização das demandas ao longo da bacia, exceto para as demandas de abastecimento público e de fim de trecho, que possuem prioridade acima de todas as outras.

Para todos os cenários (2, 3, 4 e 5) as demandas de abastecimento e de fim de trecho (vazão remanescente) apresentam os mesmos resultados obtidos para o cenário base. Isso ocorre pelo fato de que nenhuma das alterações propostas, como reuso industrial, eficiência na irrigação e redução nas perdas do sistema de abastecimento, faz aumentar a disponibilidade de água no sistema simulado ao ponto que essas demandas tenham algum

acréscimo na quantidade de água recebida para aqueles pontos em que o atendimento é parcial. Dessa forma, para o mês de janeiro a porcentagem da demanda atendida é 69% para o ano de 2021 e 86% para o ano de 2026. O mês de março tem a demanda atendida em 71% para o ano 2028. O mês de abril, por sua vez, atende à demanda em 72% no ano 2021 e em 80% em 2028. Por fim, em dezembro a demanda é atendida em 89% no ano de 2019.

As demandas industriais, para o cenário 2, 3, 4 e 5, apresentam o mesmo comportamento dos resultados obtidos no cenário base, de forma que ou sua demanda é atendida em 100% ou não é atendida. Ainda ocorre que algumas indústrias apresentam mais pontos de déficits que a maioria devido sua localização na bacia ser mais a jusante e pelo fato de que as demandas industriais só serão atendidas depois que as demandas de fim de trecho e de abastecimento público receberem suas vazões requeridas. Assim, os pontos de déficit ocorrem em 3 dos 20 anos simulados para o mês de janeiro, 1 dos 20 anos simulados para o mês de fevereiro, março e dezembro, 2 dos 20 anos simulados para o mês de abril. Para esse grupo de demanda, que não incluem as indústrias estudadas, a entrega da vazão requerida se dá de forma que ou recebem tudo ou não recebem nada. Vale ressaltar que uma demanda industrial simulada passa a receber 100% da sua demanda requerida a partir do cenário 2. Portanto, de forma geral as demandas industriais não sofrem alteração na quantidade de água recebida em relação ao cenário base com as mudanças propostas pelos cenários 2, 3, 4 e 5, somente a primeira indústria da bacia, localizada a montante das demais que passa a receber toda demanda que deseja.

Os cenários 2, 3, 4 e 5, para as demandas de irrigação, apresentam os mesmos resultados entre si e ao que foi obtido com o cenário base, exceto para as demandas que são parcialmente atendidas nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro. Essas demandas apresentam um aumento na porcentagem da quantidade de água recebida conforme vai se adicionando água ao sistema segundo o proposto por cada cenário. O aumento que ocorre no atendimento para algumas demandas de irrigação é devido a maior quantidade de água disponível no sistema conforme é adicionada mudanças no uso da água propostas nos cenários 2, 3, 4 e 5. Assim, as demandas de irrigação que estão localizadas mais a montante no sistema simulado, tem um aumento na sua demanda atendida quanto mais água fica disponível ao longo das simulações dos cenários.

Para as indústrias estudadas, tanto a Refinaria, quanto a Biodiesel S.A. não apresentaram nenhuma alteração em relação ao cenário base na porcentagem de água recebida para os cenários 2, 3, 4 e 5. Esse fato indica que nenhuma das ações propostas por

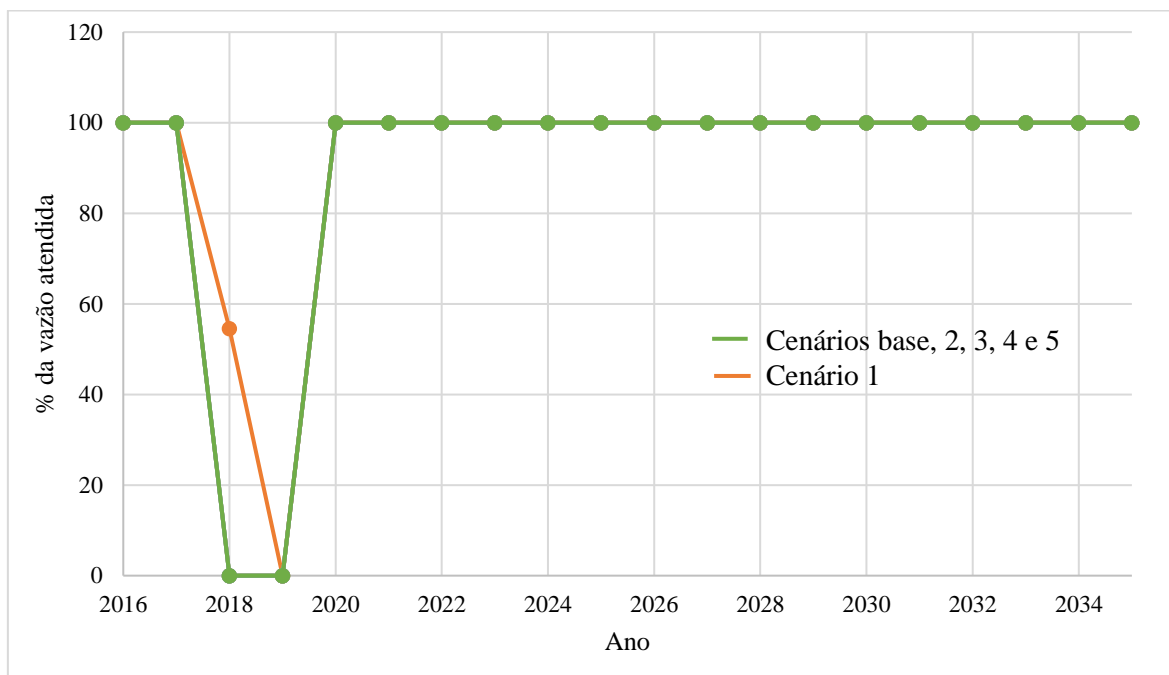
esses cenários foram suficientes em adicionar água no sistema ao ponto de aumentar a quantidade recebida pelas indústrias estudadas.

4.2.4 Indústrias estudadas

Com o objetivo de entender e visualizar melhor as diferenças existentes entre os seis cenários simulados em relação as vazões atendidas para as duas indústrias estudadas, obteve-se o gráfico porcentagem da vazão atendida *versus* anos de simulação para cada uma das demandas citadas. Escolheu-se o mês de dezembro para gerar os gráficos, pois esse mês apresenta uso da água para todas as atividades da bacia e uma das maiores demandas com aproximadamente 24 milhões de metros cúbicos. Apesar do mês de janeiro apresentar essas mesmas características, o mês de dezembro possui maior variação entre os cenários que facilita a visualização das diferenças nos resultados obtidos.

A Figura 22 a seguir apresenta o gráfico de porcentagem da vazão atendida em relação aos anos de simulação para a empresa Biodiesel S.A. A curva verde representa os cenários base, 2, 3, 4 e 5, já a curva de cor laranja representa o cenário 1.

Figura 22. Porcentagem da vazão atendida ao longo dos anos de simulação para os seis cenários para indústria Biodiesel S.A.

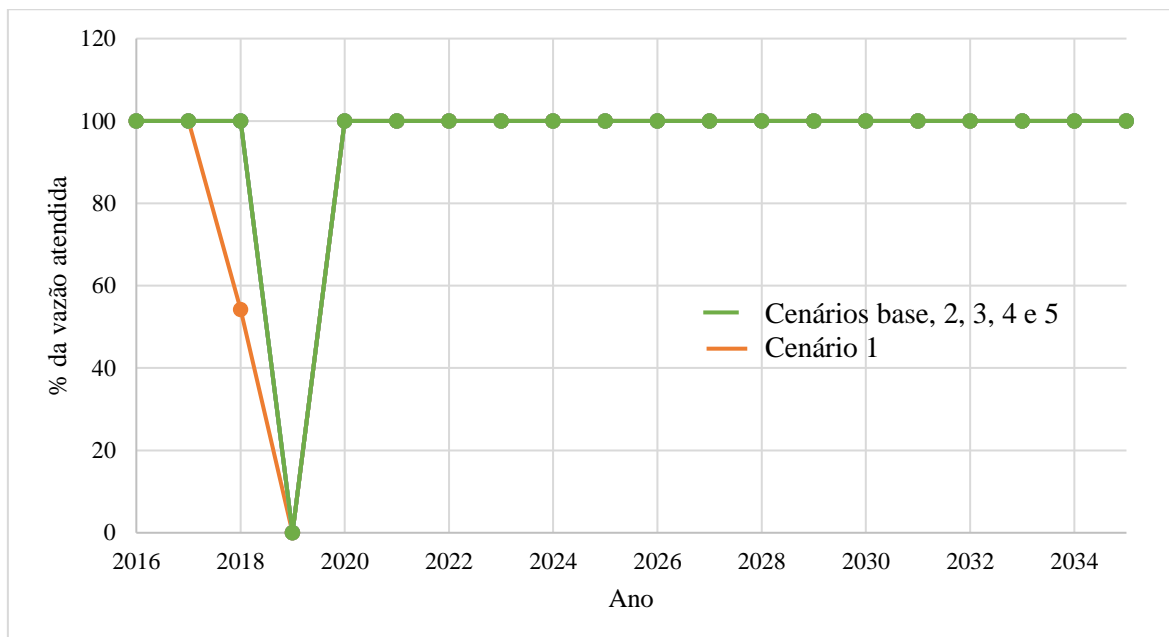


A Figura 22 mostra que, para a indústria Biodiesel S.A, a vazão demandada ou é atendida em 100% de quantidade de água requerida ou não é atendida para os cenários base, 2, 3, 4 e 5, em que a prioridade é definida de acordo com a localização na bacia. Porém, quando se iguala a prioridade para as demandas industriais e de irrigação no cenário 1, a Biodiesel S.A. passa a receber parte de sua demanda em 1 dos 20 anos simulados para o mês de dezembro.

Esse resultado comprova o efeito positivo causado às demandas localizadas mais a jusante de uma bacia hidrográfica, quando há a garantia de que todas as demandas serão atendidas com a mesma prioridade pois, como ocorre com a indústria Biodiesel S.A, se diminui os prejuízos causados por um evento de seca e também o número de vezes que algumas demandas ficariam sem nenhuma disponibilidade de água. Assim, essa melhor distribuição da água disponível pode ser feita por algum órgão gestor da bacia, como, por exemplo, por meio do aumento da fiscalização nas captações a fim de garantir que as demandas a montante capturem somente a quantidade de água que o órgão estabelecer. Por meio de uma fiscalização efetiva é possível identificar captações ilegais e tomar as ações devidas para a sua regularização. Porém, essa não é uma tarefa fácil, pois exige uma grande quantidade de recursos humanos capacitados, além de ser um trabalho contínuo e que requer investimento financeiro. Uma saída, para facilitar e auxiliar no processo de fiscalização é o uso da tecnologia, como drones, imagens de satélite, um bom sistema de informação e a formação de parcerias com os usuários que já possuem outorga no rio.

A Figura 23 a seguir apresenta o gráfico da porcentagem da vazão atendida versus os anos simulados para a indústria Refinaria. A curva de cor verde representa os cenários base, 2, 3, 4 e 5 e a curva laranja o cenário 1.

Figura 23. Porcentagem da vazão atendida ao longo dos anos de simulação para os seis cenários para indústria Refinaria.



A Figura 23, referente à indústria Refinaria, mostra que essa possui duas situações diferentes entre os cenários simulados. Para os cenários base, 2, 3, 4 e 5 a indústria tem sua quantidade de água requerida atendida em 100% para o mês de dezembro de todos os anos exceto para o de 2019, em que a demanda não é atendida. Como já mencionado anteriormente, esse comportamento igual que a Refinaria teve nos resultados para esses cenários é devido ao fato de que os cenários base, 2, 3, 4 e 5 levam em consideração a prioridade conforme a localização das demandas ao longo da bacia. Além disso, as mudanças propostas para redução das demandas, com o reúso de água industrial e com a melhora na eficiência da irrigação, não foram suficientes para provocar alterações, ou seja, ganhos no atendimento da quantidade de água demandada. Isso ocorre devido a necessidade de uma adição maior na quantidade de água disponível no sistema, visto que a quantidade que foi incrementada pelos cenários 3, 4 e 5 é captada pelas demandas a montante da Refinaria.

A segunda situação ocorre para o cenário 1, cuja prioridade é igual para todas as demandas de irrigação e de indústria e é representada pela curva laranja no gráfico. Nesse caso, a vazão requerida pela Refinaria passa a ser atendida parcialmente em um ano da simulação, que no cenário base eram atendidas totalmente. Observa-se, também, a semelhança existente no comportamento da curva do cenário 1 para as duas indústrias simuladas. Essa característica comprova a melhor distribuição na entrega de água entre as demandas do sistema e que o objetivo proposto pelo cenário 1, de reduzir as falhas (vazão

entregues iguais a zero m³/s) para as demandas localizadas mais a jusante na bacia, foi cumprido.

Para as indústrias estudadas, foi calculado o custo da escassez para cada um dos cenários simulados. A Tabela 25 e a Figura 24 apresentam o custo da escassez e o número de falhas para a indústria Biodiesel S.A.

Tabela 24. Custo de escassez e número de falhas para cada cenário da indústria Biodiesel S.A.

	CENÁRIO BASE	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4	CENÁRIO 5
Custo da escassez total para os 20 anos de simulação (R\$)	-	4115,0	-	-	-	-
Custo da escassez médio anual (R\$)	-	205,75	-	-	-	-
Custo da escassez máximo anual (R\$) (maior custo anual)	-	2337,48	-	-	-	-
Número de falhas (número de vezes que a quantidade de água entregue para a indústria igual a zero)	11	6	11	11	11	11

O custo de escassez total para os 20 anos de simulação foi obtido calculando-se o custo anual e depois somando-os. Os cenários base, 2, 3 e 5 não apresentam custo porque ou a indústria recebeu toda água que gostaria ou não recebeu nenhuma quantidade de água (zero m³) e esse ponto está fora do domínio da curva de benefício marginal, as vezes em que a indústria não recebeu água é representado pelo número de falhas na tabela. Os cenários 1 e 4 apresentam custo porque em alguns meses a indústria recebeu parcialmente a quantidade de água demandada, porém ocorreu também nessas simulações vezes em que a indústria recebeu abastecimento igual a zero e outras tantas que teve sua demanda totalmente atendida.

O custo de escassez médio anual foi calculado somando-se todos os custos anuais e dividindo-os pelo número total de anos simulados (20 anos). Somente os cenários 1 e 4 apresentam essa média porque são os únicos que tiveram custo da escassez, como explicado anteriormente.

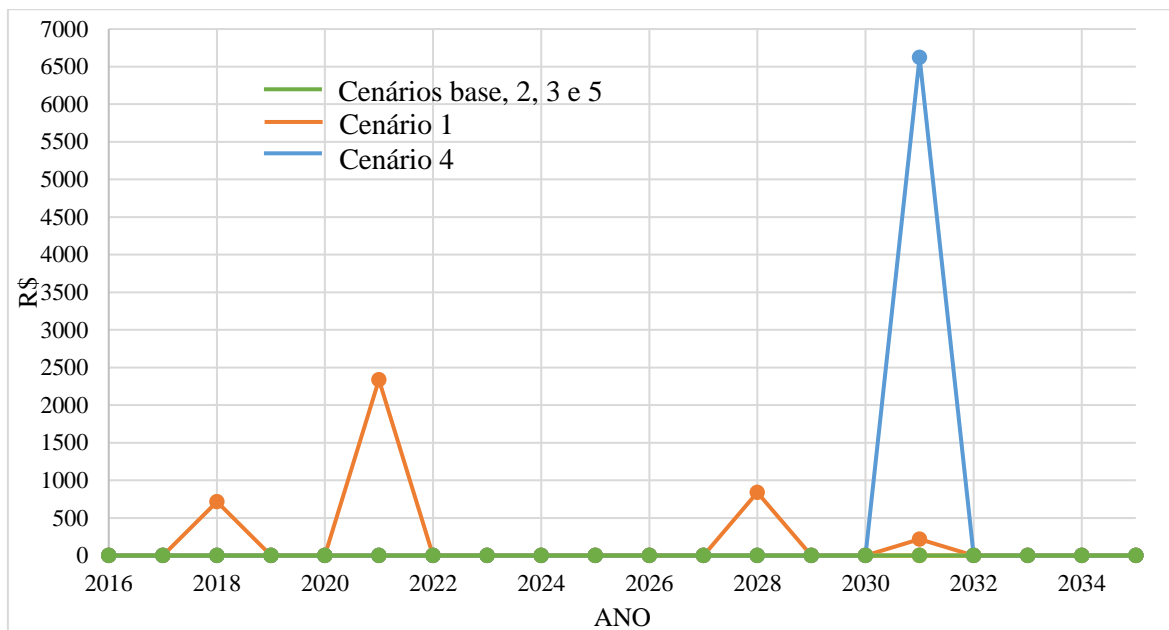
O custo da escassez máximo anual é aquele que, entre os 20 anos simulados, apresenta o maior valor. No cenário 4 esse valor é igual ao custo da escassez total, pois nessa simulação somente um ano teve sua demanda parcialmente atendida, sendo esse o único valor, é também o maior que há.

O número de falhas representa o total de vezes que a indústria teve abastecimento igual a zero (número de meses no período total de simulação de 20 anos). Nesse caso, como já explicado, temos um ponto fora do domínio das curvas de benefício marginal (e, por conseguinte das de custo da escassez) e as mesmas não permitem avaliar o real custo da escassez. Além disso, não receber água significa para indústria decisões como buscar novas fontes de abastecimento, parar as atividades ou até fechar as portas e procurar outro local para se instalar. O custo dessas decisões não foi contabilizado, pois está fora do escopo desse trabalho.

Destaca-se o efeito que o cenário 1, que representa a ação do órgão gestor da bacia, sob a redução do número de falhas para a indústria Biodiesel S.A. Ocorre que, por se localizar bem próximo ao exutório da bacia, a indústria é uma das últimas a receber água nos cenários base, 2, 3, 4 e 5, em que a prioridade é baseada no critério de localização e crescente de montante a jusante. Assim, ao igualar a prioridade de entrega de água para as demandas industriais e de irrigação, sobra mais volume de água para as demandas a jusante. Isso justifica a aparecimento de custo da escassez no cenário 1, pois quatro falhas, que antes estavam fora do domínio da curva de benefício marginal, agora possuem um valor de custo associado.

A Figura 24 mostra o gráfico do custo de escassez para todos os cenários simulados para a indústria Biodiesel S.A. A reta verde representa os cenários base, 2, 3 e 5, já a curva laranja representa o cenário 1 e a curva azul, por sua vez, o cenário 4.

Figura 24. Gráfico do custo da escassez para os seis cenários simulados para a indústria Biodiesel S.A.



No gráfico, percebemos que os cenários representados pela reta verde não apresentam custo da escassez. Já o cenário 1 que é representado pela curva laranja apresenta quatro pontos de custo da escassez não muito discrepantes entre si devido ao que propõe esse cenário. Por fim, o cenário 4 apresenta somente um custo da escassez com uma dimensão muito maior em relação aos pontos do cenário 1.

Tabela 26 e a Figura 25 apresentam os resultados para o custo da escassez e número de falhas para a indústria Refinaria.

Tabela 25. Custo de escassez e número de falhas para cada cenário da indústria Refinaria.

	CENÁRIO BASE	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4	CENÁRIO 5
Custo de escassez total para os 20 anos de simulação (10 ³ R\$)	-	1119,05	-	-	-	-
Custo de escassez médio anual (10 ³ R\$)	-	55,95	-	-	-	-
Custo de escassez máximo anual (10 ³ R\$) (maior custo anual)	-	635,94	-	-	-	-
Número de falhas (número de vezes que a quantidade de água entregue para a indústria igual a zero)	7	6	7	7	7	7

O custo da escassez total para os 20 anos de simulação foi obtido da mesma forma que para a indústria Biodiesel S.A. Observa-se que os cenários base, 2, 3, 4 e 5, assim como ocorre para a indústria Biodiesel S.A, não apresentam custo porque ou a indústria recebeu toda água que gostaria ou não recebeu nenhuma quantidade de água (zero m³) e esse ponto está fora do domínio da curva de benefício marginal. Já o cenário 1 apresenta custo de escassez, uma vez que alguns meses simulados receberam menos água que a demanda máxima e esses valores se encontraram dentro do domínio estabelecido. Isso acontece, pois, ao melhorar a distribuição de água disponível na bacia, a Refinaria deixa de captar uma parcela de sua demanda para que sobre mais água para as demandas a jusante do trecho estudado.

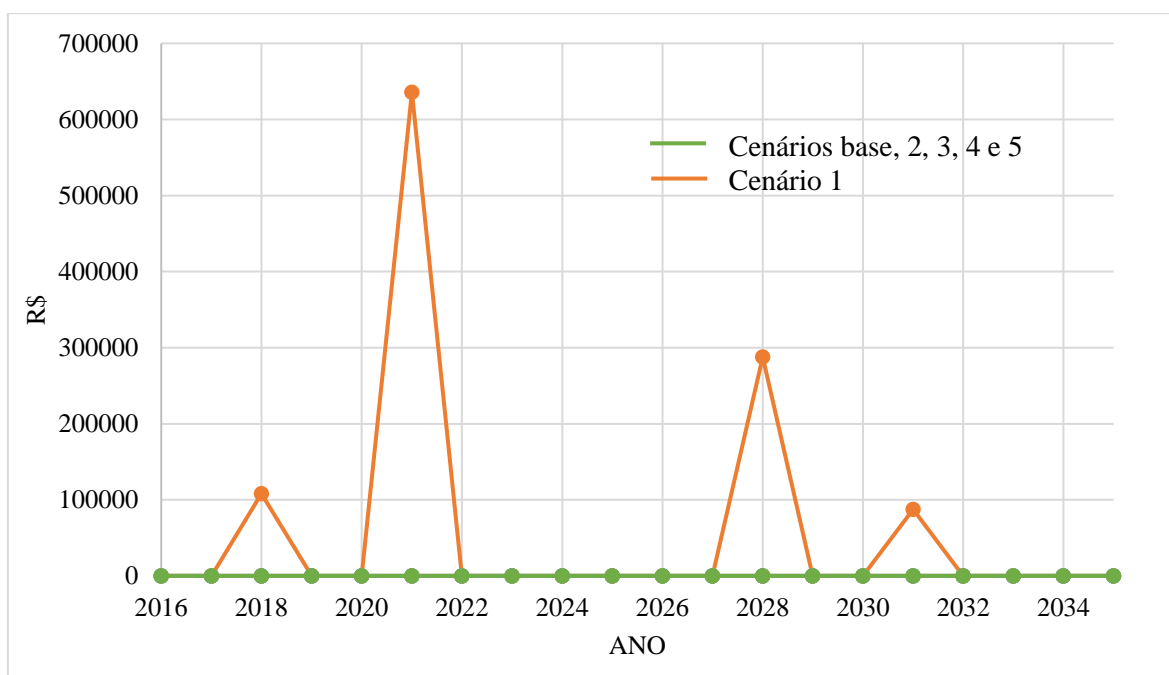
Da mesma forma, os resultados para o custo da escassez médio anual e custo da escassez máximo anual para a Refinaria seguem o mesmo comportamento descrito para o custo da escassez total devido aos mesmos motivos já apontados.

Percebemos, ainda, por meio da Tabela 26 que, para a indústria Refinaria, o número de falhas permanece constante para os cenários base, 2, 3, 4 e 5 simulados. Isso significa que independente de se diminuir a demanda requerida por ela através do reuso de água ou, ainda, aumentar a disponibilidade de água no sistema, o número de vezes que essa indústria recebe zero metros cúbicos de água não se altera. Isso ocorre porque nenhuma dessas alterações

foram suficientes para atender mais vezes a indústria, nem ao menos parcialmente. Porém, o cenário 1 apresenta a redução de uma falha devido à alteração de prioridade proposta nesse cenário que fez a água disponível no sistema ser melhor distribuída.

A Figura 25 mostra o gráfico do custo de escassez para todos os cenários simulados para a indústria Refinaria. A curva azul escuro representa o cenário base, a curva laranja representa o cenário 1, a curva azul clara representa os cenários 2, 3 e 4 e a curva verde representa o cenário 5.

Figura 25. Gráfico do custo da escassez para os seis cenários simulados para a indústria Refinaria.



Por meio dos gráficos das Figuras 24 e 25, nota-se que o custo de escassez referente ao cenário 1 ocorre nos mesmos anos para as duas indústrias simuladas e que o comportamento das duas curvas é igual, sendo que a única diferença existente entre elas é em relação a magnitude do valor do custo. Dessa forma, a influência da prioridade de recebimento de água fica evidente, assim como, o efeito de aumento significativo do custo da escassez para a Refinaria ao deixar de captar água a fim de atender as demandas mais a jusante da bacia.

Por fim, destaca-se que, provavelmente os números obtidos nas simulações estejam distantes da realidade das indústrias estudadas, porém a forma com que elas respondem aos cenários simulados é o resultado mais relevante aqui apresentado. Os valores são úteis para

entendermos o comportamento do sistema e as reações sob diferentes cenários de ações de gestão.

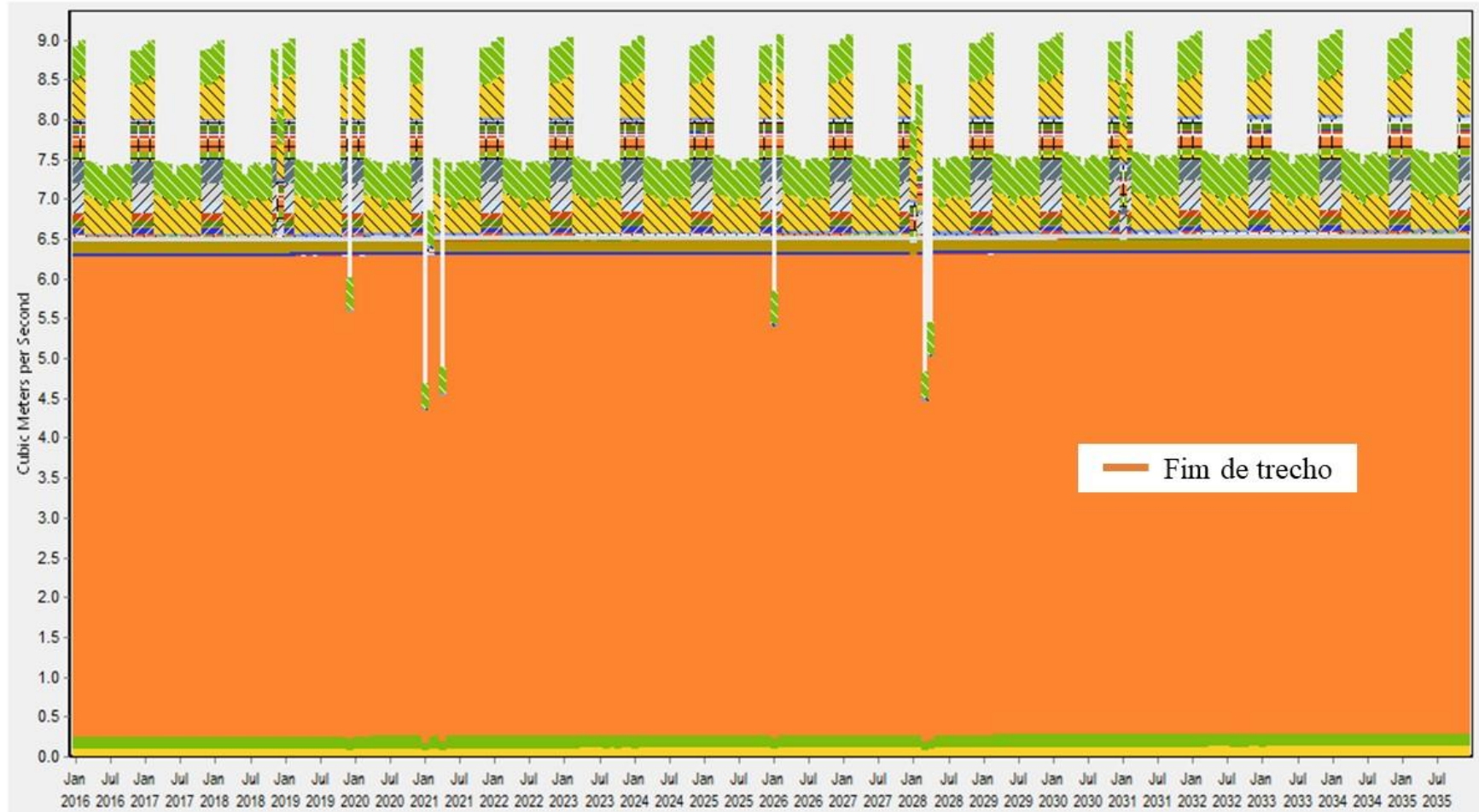
4.2.5 Vazão remanescente ou de fim de trecho

A próxima análise foi feita com o objetivo de verificar o impacto que a demanda de fim de trecho (ou vazão remanescente) tem sobre o sistema simulado. Para isso, gerou-se no software WEAP o gráfico da quantidade de água entregue, em metros cúbicos por segundo, para todas as demandas presentes no trecho da bacia estudada. A Figura 26 traz o resultado desse gráfico.

Observa-se, a partir da Figura 26, que a vazão remanescente é a maior demanda existente no sistema e que por lei deve ser respeitada. Por isso, em todos os cenários simulados a mesma foi considerada e, assim como o abastecimento público, possui prioridade máxima para o atendimento. Porém, foi observado que caso essa demanda não fosse considerada nas simulações aqui feitas, não haveria escassez hídrica para nenhuma demanda em nenhum mês dos 20 anos da série de vazões utilizada.

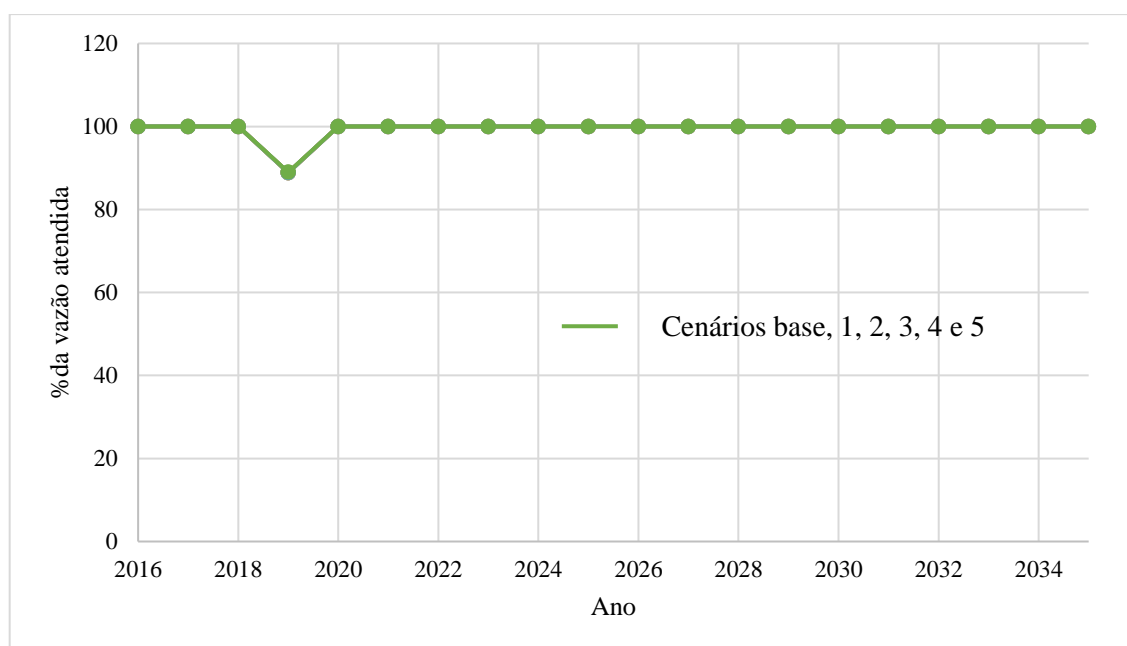
Nota-se também que, de forma geral, que os meses de junho, julho, setembro e outubro atendem todas as demandas do trecho da bacia estudado em 100% do tempo para todos os cenários. Já o mês de agosto atende somente a demanda de fim de trecho e o abastecimento das quatro cidades em 100% do tempo para todos os cenários. Os meses mais críticos para todos os cenários são os de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro em que ocorrem a atividade de irrigação.

Figura 26. Gráfico da quantidade de água entregue para todas as demandas gerado no software WEAP para o cenário 1.



A Figura 27 apresenta o gráfico da porcentagem a porcentagem da vazão atendida para a demanda de fim de trecho referente aos anos de simulação para os seis cenários simulados para o mês de dezembro, da mesma forma que foi feito para as duas indústrias estudadas anteriormente. Todos os cenários são representados pela curva verde.

Figura 27. Porcentagem da vazão atendida ao longo dos anos de simulação para os seis cenários da demanda de fim de trecho.



Por meio da Figura 27, identifica-se que, diferentemente das duas indústrias estudadas, em nenhum ano, para o mês de dezembro, a porcentagem de vazão atendida para a demanda de fim de trecho é igual a zero. Isso ocorre devido a prioridade superior que essa demanda possui em relação a todas as demandas industriais e de irrigação. Porém, nota-se que no ano de 2019 a vazão requerida pela demanda de fim de trecho não é 100% atendida. Isso se deve ao fato da disponibilidade de água ser muito baixa e que, como as demandas de abastecimento público possuem a mesma prioridade da demanda de fim de trecho, divide-se a quantidade de água disponível entre essas demandas.

Um fato importante a se salientar é que durante o evento de seca que ocorreu entre os anos 1940-1959, comprovada pela série histórica de vazões apresentada anteriormente, as características da bacia eram bem diferentes das atuais, o uso e ocupação do solo era menor, a quantidade de demandas no rio eram menores, além da necessidade e dependência por essa fonte de abastecimento. Isso sugere que, se repetidos as mesmas condições meteorológicas da época aqui estudada, ou seja, com baixos volumes de precipitação, a

escassez hídrica no rio, e na bacia em geral, a tendência é de agravamento da situação, visto que as demandas aumentaram ao longo das últimas décadas.

Por fim, apesar de ocorrer eventos de seca e escassez hídrica na bacia a ponto de interromper o abastecimento público, as indústrias estudadas não apontaram a ocorrência de episódios frequentes de escassez hídrica no Baixo Sinos ao longo das últimas décadas. Isso pode ocorrer devido ao não cumprimento da vazão remanescente ou até da lei que impõe prioridade ao abastecimento urbano e dessedentação animal. Além disso, como já comentado anteriormente neste trabalho, ocorre na região da bacia estudada o fenômeno de remanso proveniente do refluxo do Delta do Jacuí/Lago Guaíba que pode acrescer a quantidade de água disponível até as proximidades a jusante da cidade de São Leopoldo, na região do Baixo Sinos, evitando ou até “mascarando” possíveis casos de escassez de água.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo calcular o valor estimado do custo da escassez para duas indústrias localizadas na bacia hidrográfica de Rio dos Sinos de acordo com variações propostas nas decisões do uso da água por meio de cenários que exploraram diferenças na prioridade de abastecimento entre as demandas e alternativas de redução da quantidade de água captada. Além disso, foi objetivo deste estudo analisar como as diversas demandas presentes ao longo do trecho da bacia estudado responderam às alterações promovidas pelos cenários propostos.

Os resultados permitem concluir que, quando há a garantia de que todas as demandas serão atendidas com a mesma prioridade, as que estão localizadas mais a jusante na bacia hidrográfica têm os efeitos negativos, causados por um episódio de seca, atenuados. Esse fato foi comprovado através dos resultados obtidos para a indústria Biodiesel S.A., que teve redução no número de vezes que ficaria sem nenhuma disponibilidade de água. Dessa forma, por mais que seja uma ação difícil de ser posta em prática, a melhor distribuição da água disponível em uma bacia hidrográfica pode ser feita por algum órgão gestor da bacia, como, por exemplo, por meio do aumento da fiscalização nas captações a fim de garantir que as demandas a montante capturem somente a quantidade de água que o órgão estabelecer.

Verificou-se também que, entre as indústrias estudadas e entre as demais demandas presentes no trecho da bacia estudado, só houve uma redução mais significativa dos impactos econômicos (custo da escassez) e um aumento mais acentuado da quantidade de água recebida, quando a grande maioria ou todas as demandas existentes adotaram uma medida de redução da água captada do rio. Isso ocorre para os cenários 4 e 5 que propõe, além do reúso da água nas demandas industriais, respectivamente, uma melhor eficiência da irrigação e redução nas perdas do sistema de abastecimento urbano.

Observou-se, ainda, que a demanda de fim de trecho (ou vazão remanescente) tem uma influência decisiva nos resultados obtidos neste trabalho, pois, caso ela não fosse levada em consideração, não haveria déficit hídrico para nenhuma demanda em nenhum dos cenários propostos durante toda a série de vazões utilizada. Esse fato ressalta o papel fundamental que essa demanda possui, de garantir que uma porcentagem da água que escoar no rio chegue a outros corpos hídricos localizados a jusante desse.

Os métodos utilizados para se realizar as simulações e o cálculo do custo da escassez funcionaram como o esperado, dado que os resultados obtidos se comportaram como o previsto. Além disso, os métodos se mostraram satisfatórios para os objetivos aqui definidos.

A partir da realização desse trabalho foi possível observar que a escassez hídrica é um tema cada vez mais presente nos grandes centros urbanos e industrializados, uma condição que coloca em risco as metas de desenvolvimento individuais, locais, regionais e nacionais. Além disso, fazer o melhor uso dos recursos hídricos disponíveis é uma condição essencial para se atingir os níveis de desenvolvimento almejados e, no âmbito industrial, os conceitos de conservação e reuso da água devem estar alinhados com um modelo de gestão e de políticas públicas para que se atinjam tais objetivos. Assim, por meio das pesquisas realizadas foi possível verificar que diversas indústrias brasileiras estão realizando o reuso nos seus processos industriais e já alcançaram valores bastante significativos de redução de consumo de água bruta e tratada.

Sugere-se para trabalhos futuros que seja estimado um valor para a elasticidade-preço da demanda industrial no trecho da bacia estudado a fim de se obter resultados de custo da escassez para as indústrias estudadas mais próximos do real. Além disso, pode ser aprofundado os estudos em relação às proporções de redução da demanda para os setores industrial, de irrigação e de abastecimento público para que se obtenha valores mais próximos do possível de ser realizado na prática.

Sugere-se, ainda, que em trabalhos futuros se busque mais informações das indústrias aqui estudadas a fim de se obter dados e informações mais detalhadas que melhorem a proximidade dos resultados com a realidade tanto das indústrias, quanto da bacia na qual estão inseridas. Por mais que haja resistência por parte do setor industrial em divulgar informações e dados internos, esses contribuem para uma avaliação mais consistente e útil das respostas das indústrias para eventos de escassez.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Mais de 850 municípios brasileiros enfrentam problemas por falta de água em 2017**. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-03/mais-de-850-municipios-brasileiros-enfrentam-problemas-por-falta-de-agua-em>. Acesso em 09 de novembro de 2017.

AGÊNCIA GLOBO. **Indústria investe para driblar a crise hídrica**. ÉPOCA, 2017. Disponível em: <http://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2017/11/industria-investe-para-driblar-crise-hidrica.html>. Acesso em 30 de novembro de 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos**. Brasília: ANA, 2017.

ANA. **Encarte Especial sobre a Crise Hídrica**. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, informe 2014. Brasília/DF, 2017 Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/crisehidrica2014.pdf>. Acesso em 07 de novembro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Qual o valor da água?** ABAS, 2008. Disponível em: http://www.abas.org/noticia-32_qual-o-valor-da-agua. Acesso em 08 de novembro de 2017.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Ano de inclusão, população, taxa de urbanização, área, densidade e taxa de crescimento da RMPA 2010**. Disponível em: <http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/midia/imagem/tabela-rmpa-2010>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

BHATIA, Ramesh; CESTTI, Rita; WINPENNY, James. **Water Conservation and Reallocation: best practice cases in improving economic efficiency and environmental quality**. Water & Sanitation Currents, UNDP – World Bank. Jul 1995.

CALDEIRA, João Paulo. **Crise hídrica provocou 3 mil demissões, diz Fiesp**. Revista GGN. Disponível em: <https://jornalggm.com.br/noticia/crise-hidrica-provocou-3-mil-demissoes-diz-fiesp>. Acesso em 09 de novembro de 2017.

CARRERA-FERNANDEZ, José; GARRIDO, Raymundo S. **O instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: uma análise dos estudos no Brasil**. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 31, n. Especial, p.604-628, Nov. 2000.

CEBDS. **White Paper CTágua: crise hídrica no Brasil**. Conselho Industrial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, 2016. Disponível em: http://cebds.org/wp-content/uploads/2016/02/white_paper_ctagua_crise_hidrica_no_brasil.pdf. Acesso em 07 de novembro de 2017.

CERQUEIRA, G. A. et al. **A Crise Hídrica e suas Consequências**. Brasília. Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (Boletim Legislativo nº 27, de 2015). Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 16 de abril de 2015.

CISCATI, Rafael. **Como a destruição do cerrado pode fazer faltar água no Brasil**. Época. Disponível em: <http://epoca.globo.com/ciencia-e-meio-ambiente/blog-do-planeta/noticia/2017/03/como-destruicao-do-cerrado-pode-fazer-faltar-agua-no-brasil-iinteiro.html>. Acesso em 09 de novembro de 2017.

COMITÊ SINOS. **Caracterização da bacia.** Disponível em: <http://www.comitesinos.com.br/bacia-hidrografica-do-rio-dos-sinos>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Valor econômico da água: impactos sobre o setor industrial.** Anais do seminário. Brasília, 2002. Disponível em: <http://admin.cni.org.br/portal/data/files/00/8A9015D01418E1EE011442413E062D64/Valor%20Economico%20da%20agua.pdf>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

CUNHA, Carolina. **Ecologia: o que a destruição do cerrado tem a ver com a crise hídrica no Brasil?** UOL Vestibular. Disponível em: <https://vestibular.uol.com.br/resumo-das-disciplinas/atualidades/ecologia-o-que-a-destruicao-do-cerrado-tem-a-ver-com-a-crise-hidrica-no-brasil.htm?cmpid=copiaecola>. Acesso em 07 de novembro de 2017.

DA MOTTA, Ronaldo S. **Utilização de critérios econômicos para a valorização da água no Brasil.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, texto para discussão nº 556, Rio de Janeiro, abril de 1998.

DEPECON. **Panorama da Indústria de Transformação Brasileira.** Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos, FIESP. 15ª edição, nov. 2017.

EL PAÍS. **A seca no São Francisco que salga o café a adoce moradores em uma cidade de Alagoas.** Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2017/11/02/politica/1509640183_248220.html. Acesso em 07 de novembro de 2017.

FECOMÉRCIO SP. **Indústria e agricultura buscam reduzir o consumo de água.** 2015. Disponível em: <http://www.fecomercio.com.br/noticia/industria-e-agricultura-buscam-reduzir-o-consumo-de-agua>. Acesso em 11 de novembro de 2017.

FERREIRA, Eduardo. **Indústrias adotam sistemas para reaproveitar água e reduzem gastos.** O Dia, 2015. Disponível em: <http://odia.ig.com.br/odiaestado/2015-03-21/industrias-adotam-sistemas-para-reaproveitar-agua-e-reduzem-gastos.html>. Acesso em 20 de novembro de 2017.

FGV. **Solução para crise hídrica pode estar no reuso da água pela indústria.** 2015. Disponível em: <http://portal.fgv.br/noticias/solucao-crise-hidrica-pode-estar-reuso-agua-pela-industria>. Acesso em 05 de dezembro de 2017.

FIESP. **Entrevista: crise hídrica e o papel da indústria.** Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/entrevista-crise-hidrica/>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

FIESP. **Projeto “Rumos da Indústria Paulista”: consequências de um racionamento de água.** DEPECON, mai. 2014.

FIRJAM. **Manual de conservação e reuso de água na indústria.** Divisão de Documentação e Normas – Biblioteca Sistema FIRJAN. Rio de Janeiro: DIM, 2006. 1ª Edição ISBN 363.728.

FÜRST, Omar. **O que é escassez hídrica?** Biboca Ambiental, 2013. Disponível em: <https://bibocaambiental.blogspot.com.br/2013/05/o-que-e-escassez-hidrica.html>. Acesso em 20 de novembro de 2017.

G1. **Duas de cada três pessoas sofrerão com falta de água em 2050, diz ONU.** 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/04/duas-de-cada-tres-pessoas-sofrerao-com-falta-de-agua-em-2050-diz-onu.html>. Acesso em 10 de dezembro de 2017.

GAZZOTTI, Alexandre; FILHO, Luiz F. C. **A escassez hídrica e seus impactos econômicos.** Valor Econômico, mai. 2015. Disponível em: http://www.valor.com.br/imprimir/noticia_impreso/4035944. Acesso em 07 de setembro de 2017.

GOMES, Marlene. **Apesar de crise hídrica, Brasilândia segue líder em morangos no DF.** Correio Braziliense. Disponível em: http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2017/08/21/internas_economia,619253/cultivo-de-morango-em-brazilandia.shtml. Acesso em 09 de novembro de 2017.

GOVERNO FEDERAL. **Petrobras amplia volume de água reutilizada em refinarias.** 2016. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2016/03/petrobras-amplia-volume-de-agua-reutilizada-em-refinarias>. Acesso em 20 de dezembro de 2017.

GRIFFIN, Ronald C. **Water Resource Economics: The Analysis of Scarcity, Policies, and Projects.** 2006, Massachusetts Institute of Technology.

HANEMANN, W. Michael. **The economic conception of water.** Water crisis: myth or reality, p. 61-91, 2006.

HENDGES, Antônio S. **A crise da água e o Rio Grande do Sul.** EcoDebate, ISSN 2446-9394, 2015. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2015/02/24/a-crise-da-agua-e-o-rio-grande-do-sul-artigo-de-antonio-silvio-hendges/>. Acesso em 07 de novembro de 2017.

INMET. **Situação da seca observada nas regiões norte e nordeste do Brasil em 2016.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/trabalho_tecnico_02-2017.pdf. Acesso em 10 de novembro de 2017.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER AND THE ENVIRONMENT (ICWE). **The Dublin Statement on Water and Sustainable Development.** Dublin, Ireland, on January 26-31, 1992.

LANNA, Antônio E. **A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso.** Estudos Avançados, vol. 22, n. 63, p. 113-130, 2008.

LANNA, Luciana. **A crise hídrica brasileira e a falta de planejamento, 2015.** Disponível em: <http://www.migalhas.com.br/dePeso/16,MI216277,101048-A+crise+hidrica+brasileira+e+a+falta+de+planejamento>. Acesso em 07 de novembro de 2017.

MACHADO, Maria Clara. **Crise hídrica: DF completa 10 meses de racionamento.** Climatempo. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2017/10/17/crise-hidrica-df-completa-10-meses-de-acionamento-1401>. Acesso em 09 de novembro de 2017.

MACHADO, Tabatha D.; MARQUES, Guilherme F. **Avaliação do custo da escassez de água em estratégias de alocação para períodos críticos.** XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Nov. 2015.

MARQUES, Guilherme F. et al. **Economically driven simulation of regional water systems: Friant-Kern, California**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 132, n. 6, p. 468-479, 2006.

MARTÍN, Maria. **Efeito dominó da seca afetará toda a economia, começando pela alface**. EL PAÍS. São Paulo, jan. 2015. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2015/01/28/economia/1422463421_541248.html. Acesso em 07 de setembro de 2017.

MARTÍN, Maria. **Afetadas pela escassez de água, indústrias já avaliam parar produção**. EL PAÍS. São Paulo, ago. 2015. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2015/01/28/economia/1422463421_541248.html. Acesso em 08 de novembro de 2017.

MARTINS, Rodrigo. **A seca já começou a afetar a economia**. Carta Capital, 2015. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/revista/835/a-seca-da-economia-4105.html>. Acesso em 17 de novembro de 2017.

MEDEIROS, Paulo da Costa; RIBEIRO, Márcia Maria Rios. **Elasticidade-preço da demanda por água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba**. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá, PE, 2006.

MEGA, Helena. **No Brasil, conflitos por água crescem em cenário de crise hídrica**. Jornal da USP, 2017. Disponível em: <http://jornal.usp.br/atualidades/no-brasil-conflitos-por-agua-crescem-em-cenario-de-crise-hidrica/>. Acesso em 10 de dezembro de 2017.

NAIME, Roberto. **Breve histórico da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos**. Eco Debate, 2012. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2012/04/26/breve-historico-da-bacia-hidrografica-do-rio-dos-sinos-artigo-de-roberto-naime/>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

NEUTZLING, I. (org.). **Água: bem público universal**. São Leopoldo: UNISINOS, 2004, 143p.

O DIA. **Firjan aponta medidas para minimizar a crise hídrica e seus impactos**. 2015. Disponível em: <http://odia.ig.com.br/odiaestado/2015-02-25/firjan-aponta-medidas-para-minimizar-a-crise-hidrica-e-seus-impactos.html>. Acesso em 11 de dezembro de 2017.

OLMSTEAD, Sheila M.; STAVINS, Robert N. **Managing Water Demand: Price vs. Non-Price Conservation Programs**. Pioneer Institute, n. 39, jul. 2007.

OLIVETTE, Cris. **Grandes empresas impulsionam pequenas**. Estadão, 2017. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/blogs/sua-oportunidade/grandes-empresas-impulsionam-pequenas/>. Acesso em 03 de janeiro de 2018.

PENA, Rodolfo F. A. **Crise da Água no Brasil**. Disponível em: <http://alunosonline.uol.com.br/geografia/crise-agua-no-brasil.html>. Acesso em 07 de novembro de 2017.

PENSAMENTO VERDE. **Reuso da água na indústria**. 2013. Disponível em: <http://www.pensamentoverde.com.br/atitude/reuso-da-agua-na-industria/>. Acesso em 15 de dezembro de 2017.

PESSOA, Mariana L. **Situação Hídrica do Rio Grande do Sul**. Ciclo de Debates 2015: repensando o desenvolvimento sustentável. ABES, 2015.

PESSOA, Mariana L. **O Rio Grande do Sul corre o risco de enfrentar uma crise hídrica?** Carta de Conjuntura, FEE. Disponível em: <http://carta.fee.tche.br/article/o-rio-grande-do-sul-corre-o-risco-de-enfrentar-uma-crise-hidrica/>. Acesso em 07 de novembro de 2017.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. São Paulo. Makron Books, 1999.

PINHEIRO, Maria I. T.; CAMPOS, José N. B. C.; STUDART, Ticiania M. de C. **Conflitos por águas e alocação negociada: o caso do vale dos Carás no Ceará**. Revista de administração pública, vol. 45, n. 6, p. 1655-1672, nov/dez 2011.

PORCINA, Aline. **Fibra lança “Sem Água a Indústria Para” com foco em racionalização**. FIBRA, 2016. Disponível em: <https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1227-fibra-lanca-sem-agua-a-industria-para-com-foco-em-racionalizacao.html>. Acesso em 11 de dezembro de 2017.

REYNAUD, Arnaud. **The econometric estimation of industrial water demand in France**. Environmental and resource economics, vol. 25, p. 213-232, 2003.

RGE SUL. **Informações sobre tarifas e taxas**. Disponível em: http://servicos.rgesul.com.br/grandesclientes/site/content/informacoes/tarifas_e_taxas.aspx. Acesso em 08 de novembro de 2017.

ROEHRIG, Jackson. **Crise da água não é problema técnico, mas de gestão**. Carta Capital, 2015. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/sociedade/crise-da-agua-nao-e-problema-tecnico-mas-de-gestao-4938.html>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

ROGERS, Peter; DE SILVA, Radhika; BHATIA, Ramesh. **Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability**. Water policy, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2002.

SÁ, Eduardo. **Crise hídrica afeta o cerrado, berço das águas brasileiras**. Brasil de Fato. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2017/08/04/crise-hidrica-afeta-o-cerrado-berco-das-aguas-brasileiras/>. Acesso em 09 de novembro de 2017.

SCHEFER, Julianna. **Técnicas de HEDGING para operação de reservatórios buscando minimizar perdas econômicas**. 114 f. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Junho, 2016.

SCHULZ, Uwe H. **Crise hídrica: escassez e excesso**. Jornal do Comércio, 2016. Disponível em: http://jcrs.uol.com.br/_conteudo/2016/05/especiais/meio_ambiente_2016/501842-crise-hidrica-escassez-e-excesso.html. Acesso em 07 de novembro de 2017.

SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **G020 – bacia hidrográfica do Rio dos Sinos**. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/g020-bacia-hidrografica-do-rio-dos-sinos>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

SENADO FEDERAL. **Proposta cria novo instrumento de gestão da crise hídrica**. Senado Notícias, 2017. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2017/12/20/proposta-cria-novo-instrumento-de-gestao-da-crise-hidrica>. Acesso em 03 de janeiro de 2017.

SILVEIRA, Karen P. **Entrevista: crise hídrica e o papel da indústria**. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/entrevista-crise-hidrica/>. Acesso em 09 de novembro de 2017.

TERA AMBIENTAL. **Entenda como a crise hídrica está impactando a rotina das empresas. 2015.** Disponível em: <http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/topic/crise-h%C3%ADdrica>. Acesso em 5 de novembro de 2017.

TILMANT, Amaury; PINTE, D.; GOOR, Quentin. **Assessing marginal water values in multipurpose multireservoir systems via stochastic programming.** Water Resources Research, v. 44, n. 12, 2008.

TRATA BRASIL. **Situação do saneamento no Brasil.** Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

VICECONTI, Paulo Eduardo Vilchez; DAS NEVES, Silvério. **Introdução à economia.** Frase Editora, 2003.

YOUNG, R.A. (2005). **Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods.** RFF Press, Washington, DC.

WEILAND, Maristani. **Mutirões tentam amenizar falta de água no interior do Rio Grande do Sul.** Canal Rural, 2014. Disponível em: <http://www.canalrural.com.br/noticias/pecuaria/mutiroes-tentam-amenizar-falta-agua-interior-rio-grande-sul-1949>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

WELLE, Deutsche. **Crise da água não é problema técnico, mas de gestão.** Carta Capital, 2015. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/sociedade/crise-da-agua-nao-e-problema-tecnico-mas-de-gestao-4938.html>. Acesso em 05 de dezembro de 2017.

WEYERMÜLLER, André Rafael. **O valor econômico da água e a necessidade de adaptação. Estado de Direito, 2015.** Disponível em: <http://estadodedireito.com.br/o-valor-economico-da-agua-e-a-necessidade-de-adaptacao/>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

ANEXO 1

Documento enviado para as duas indústrias estudadas a fim de obter dados e informações quanto a captação de água do Rio dos Sinos.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

De: Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques, IPH/UFRGS

Para: ***responsável indústria xxx

Ref: solicitação de acesso a informações

Prezado Sr. xxxx,

Com o objetivo de realizar pesquisa para elaboração de Trabalho de Conclusão de Curso junto à UFRGS da aluna Natália Moraes, curso de Engenharia Ambiental, gostaria de solicitar à indústria xxxxxxx, as seguintes informações:

1. Quais as fontes de abastecimento de água a indústria têm acesso considerando todos os seus usos (ex: rede de abastecimento, captação direta em rio/arroio, captação de água subterrânea, outros).
2. Quais as quantidades de água captadas de cada fonte? (Volumes totais por mês, para cada mês do ano).
3. Quais os custos associados à captação de cada fonte (tarifas no caso de água da rede de abastecimento, custos de bombeamento no caso de outras captações diretas (R\$ totais por mês, para cada mês do ano).
4. Você considera que o abastecimento de água da indústria é confiável? Ordene as fontes de abastecimento da mais confiável para a menos confiável.
5. A indústria já enfrentou algum evento de escassez de água no passado? Qual foi a causa?
6. Em caso afirmativo na resposta anterior, quais foram os impactos percebidos pela indústria? (ex: redução na produção, alteração do regime de produção, demissões ou outros). Esses impactos

foram quantificados economicamente? Qual foi o resultado?

7. Quais medidas a indústria já implementou (ou planeja implementar) para minimizar ou eliminar os impactos de eventuais eventos de escassez.

8. A indústria faz emprego de tecnologias de reuso ou outras que permitiram a redução no consumo ou aumento na eficiência no uso da água? (Em caso de outro, detalhar qual, mostrando quanto foi investido em cada tecnologia).

9. Qual os possíveis benefícios para a indústria, na visão da mesma, de uma gestão dos recursos hídricos mais eficaz na bacia onde se encontra instalada?

10. Qual a principal lacuna, na visão da indústria, que temos hoje em relação à gestão dos recursos hídricos na bacia onde se encontra instalada?

O referido trabalho de conclusão se insere no Núcleo de Pesquisa em Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS). O foco do trabalho é conhecer as demandas hídricas do setor industrial e buscar soluções de gestão da água mais eficazes e mais eficientes economicamente para o setor.

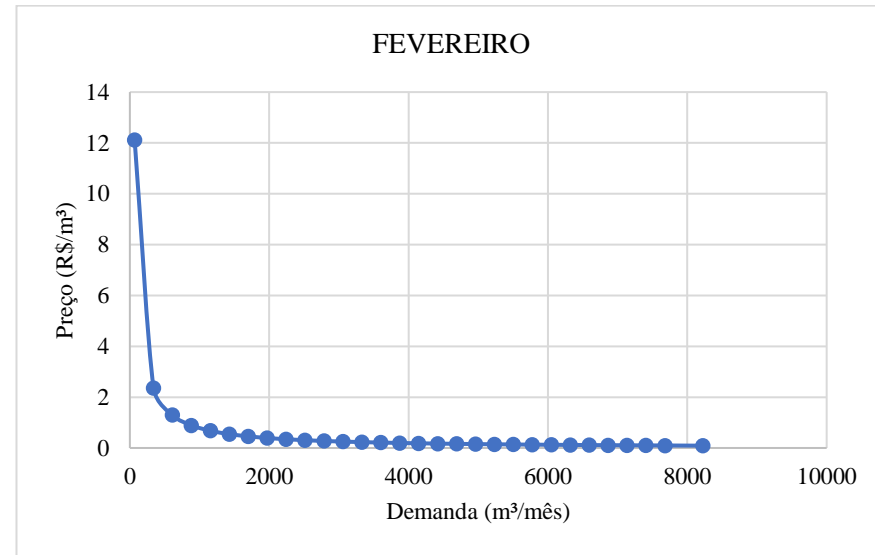
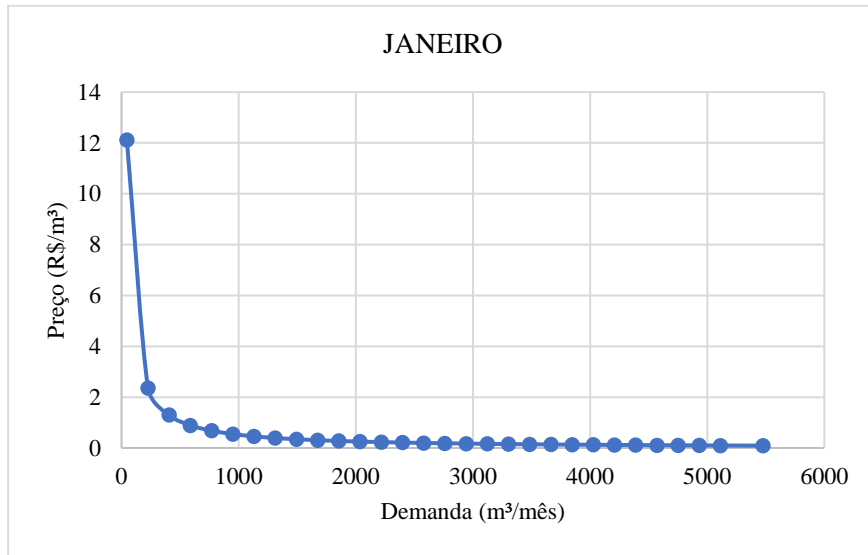
Prof. Guilherme Fernandes Marques

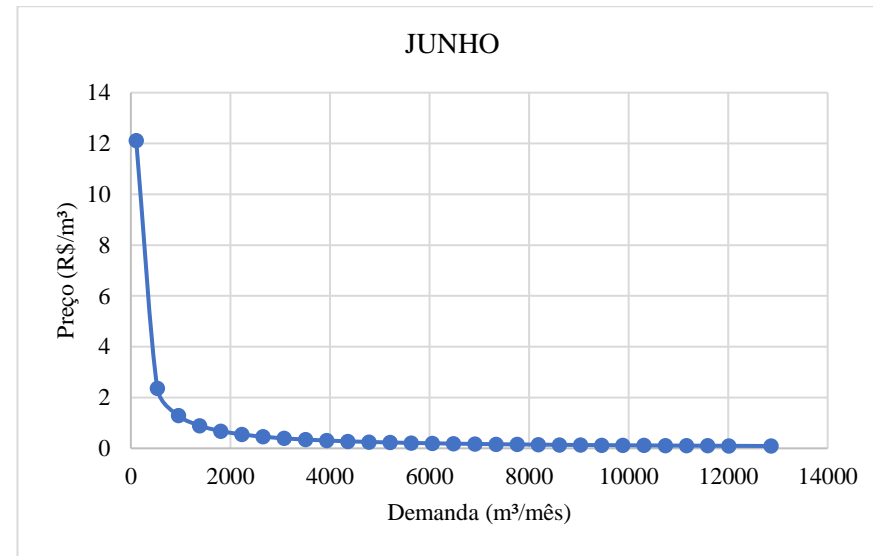
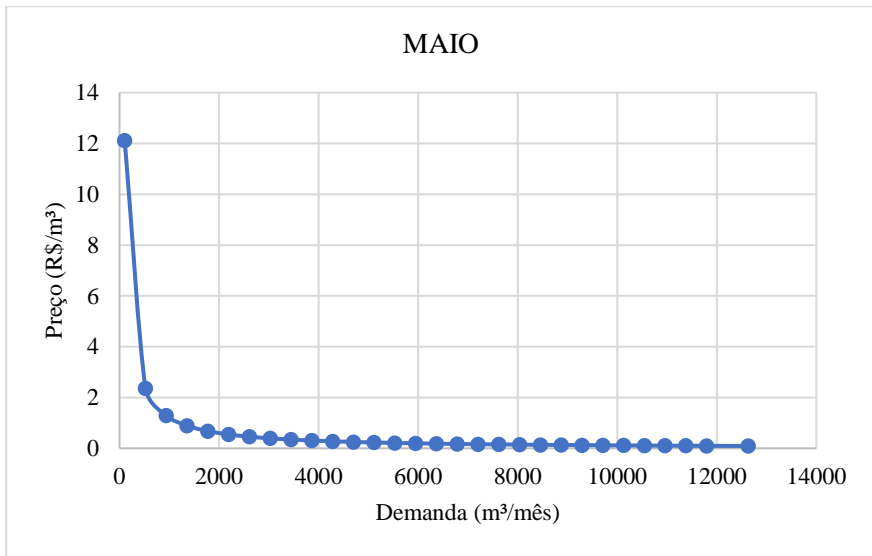
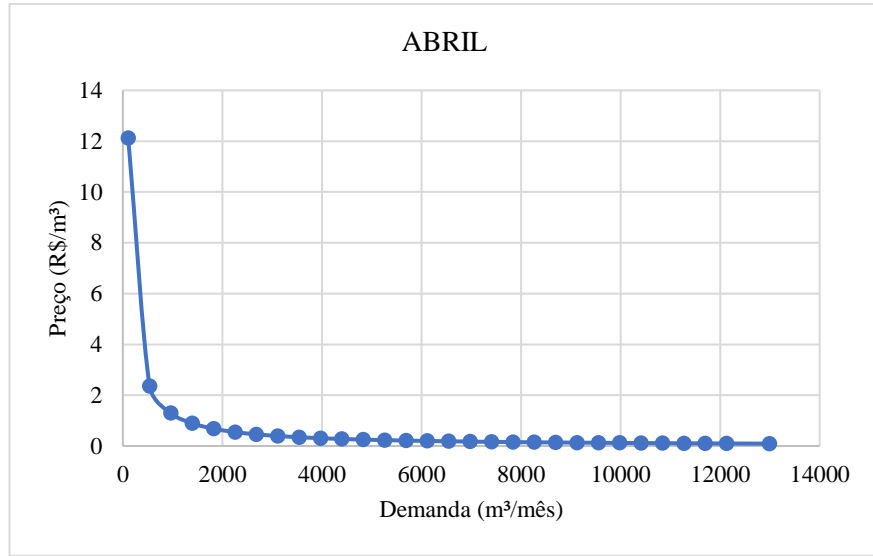
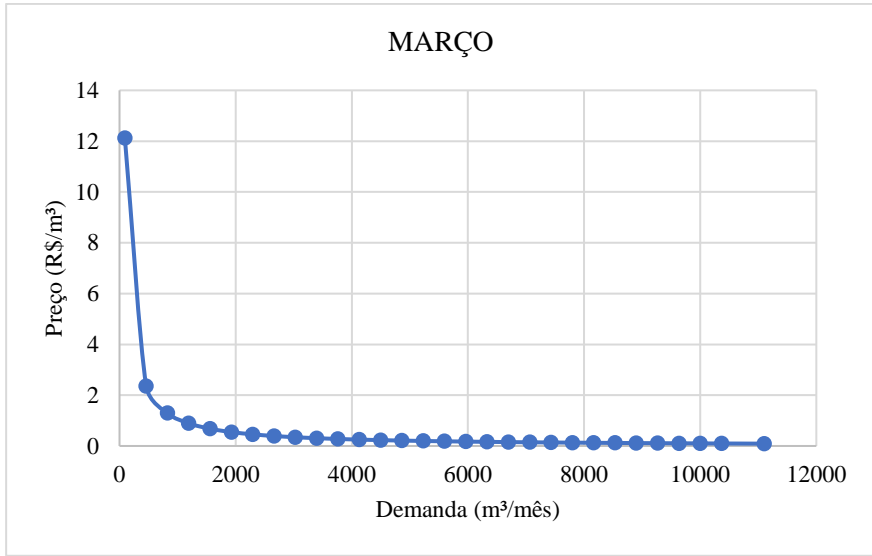
Instituto de Pesquisas Hidráulicas

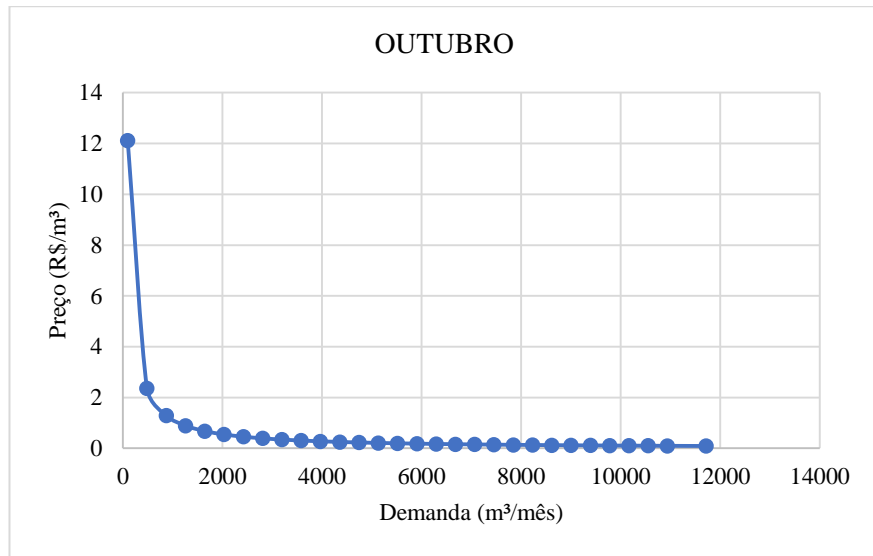
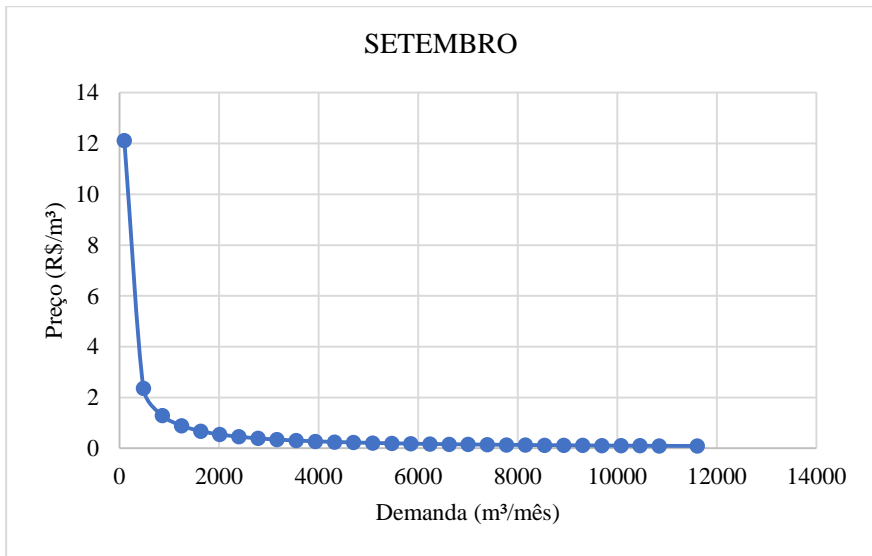
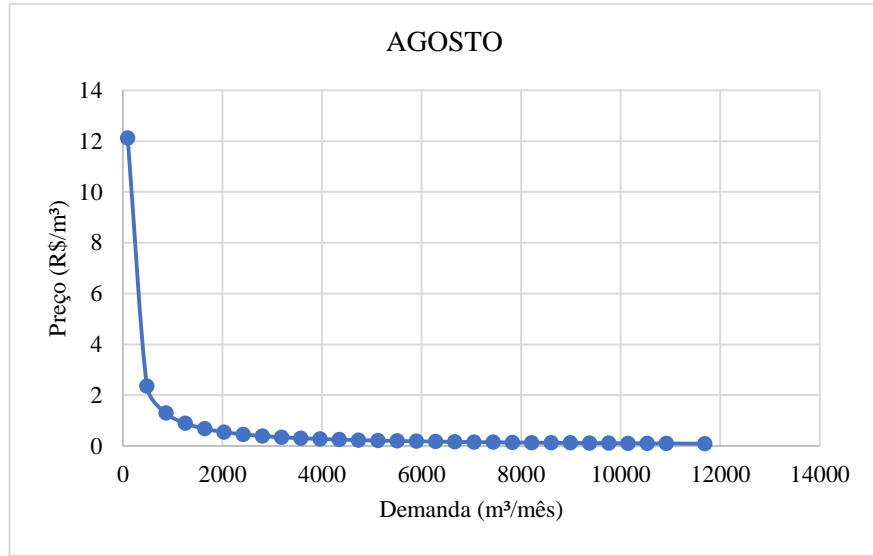
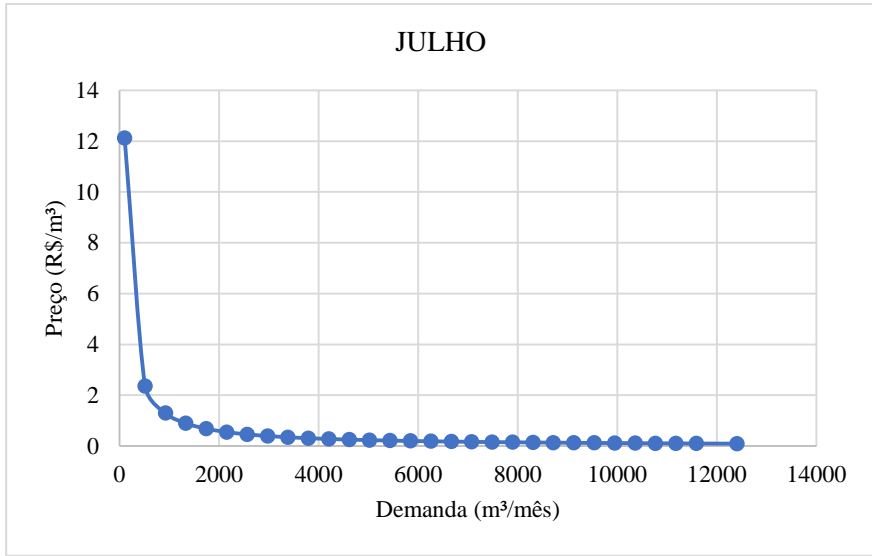
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

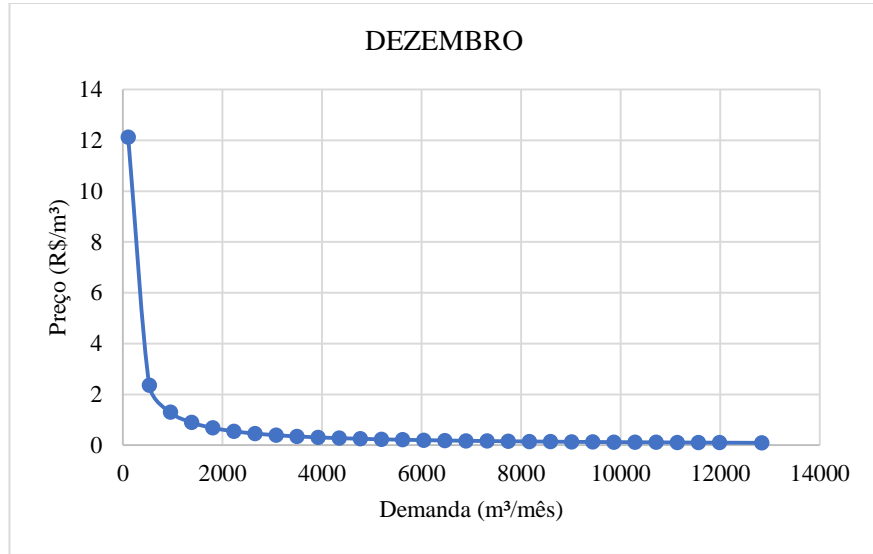
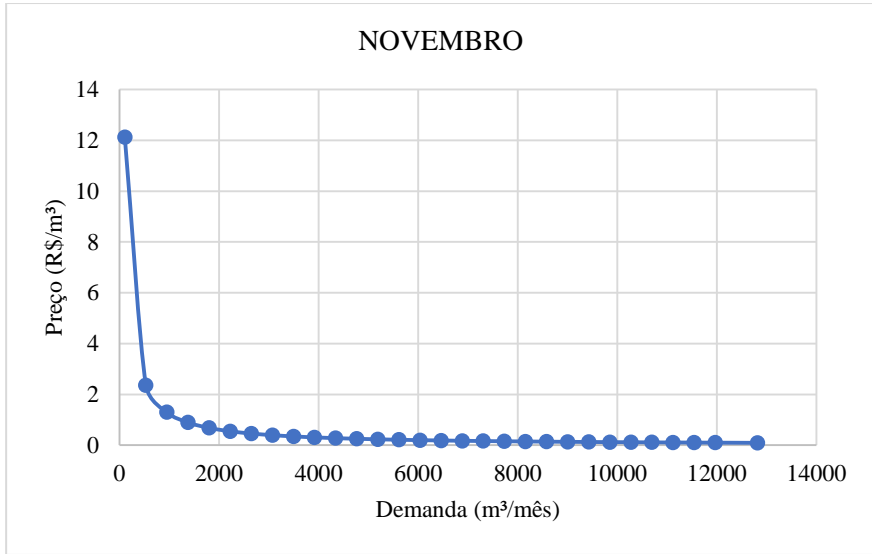
ANEXO 2

A) Curvas de disponibilidade a pagar (benefício marginal) da indústria Biodiesel S.A.

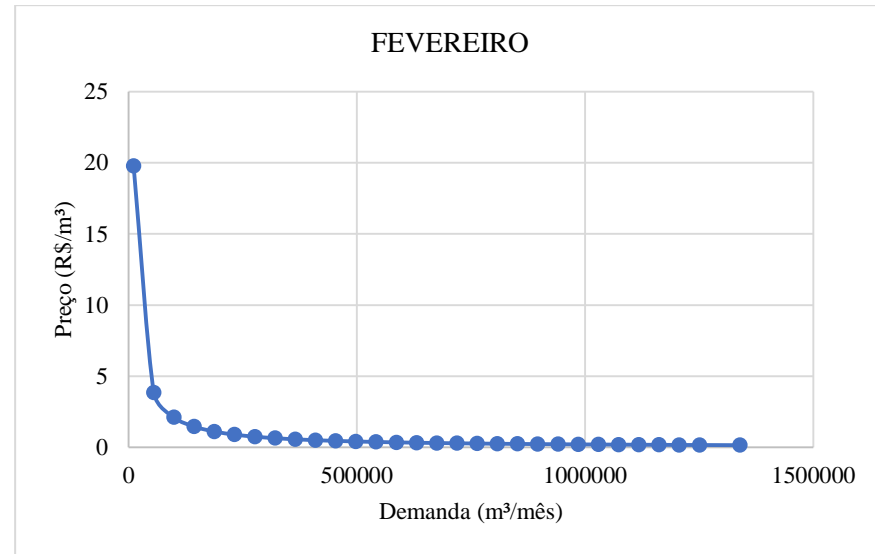
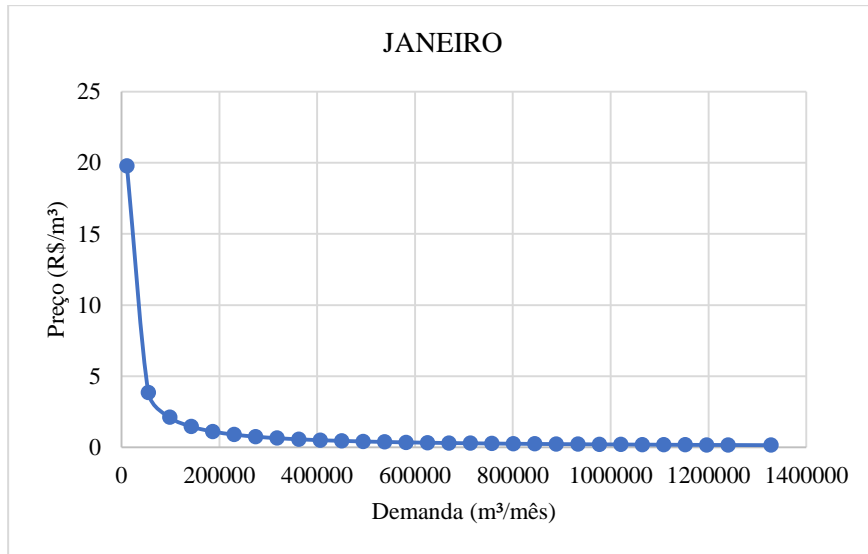


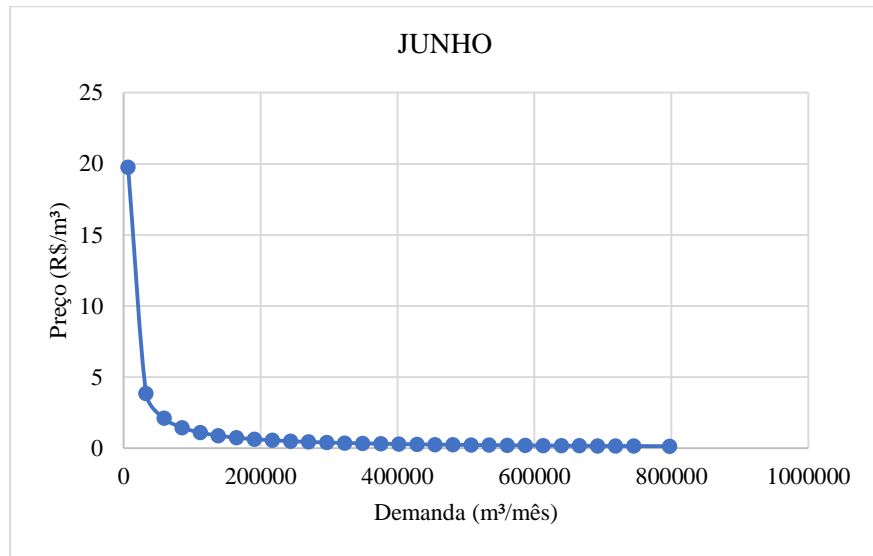
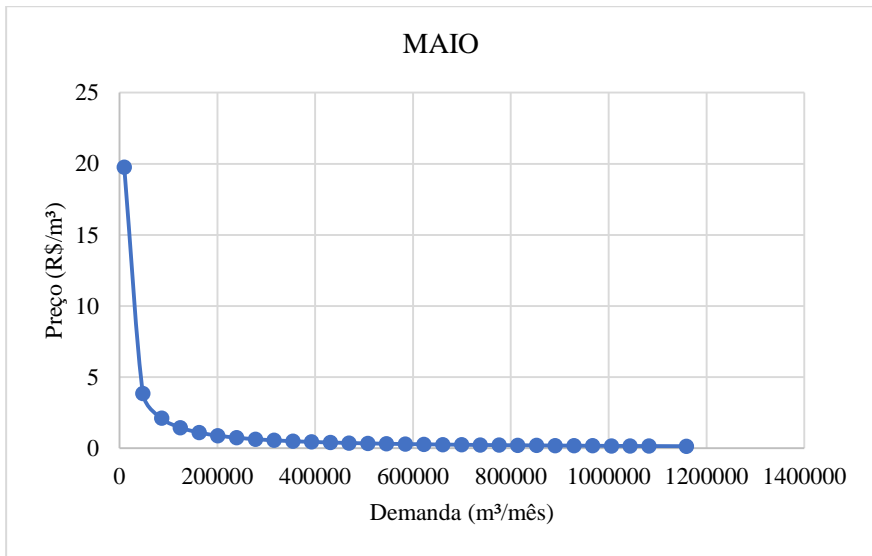
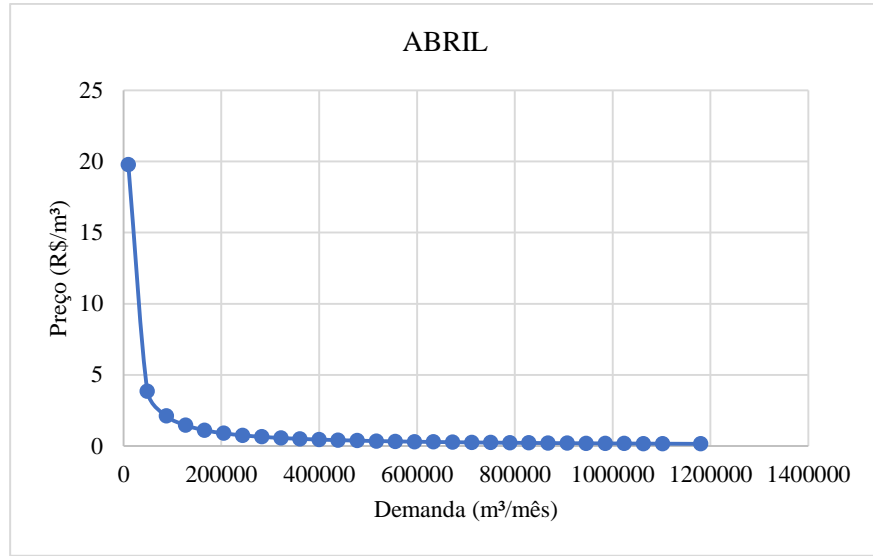
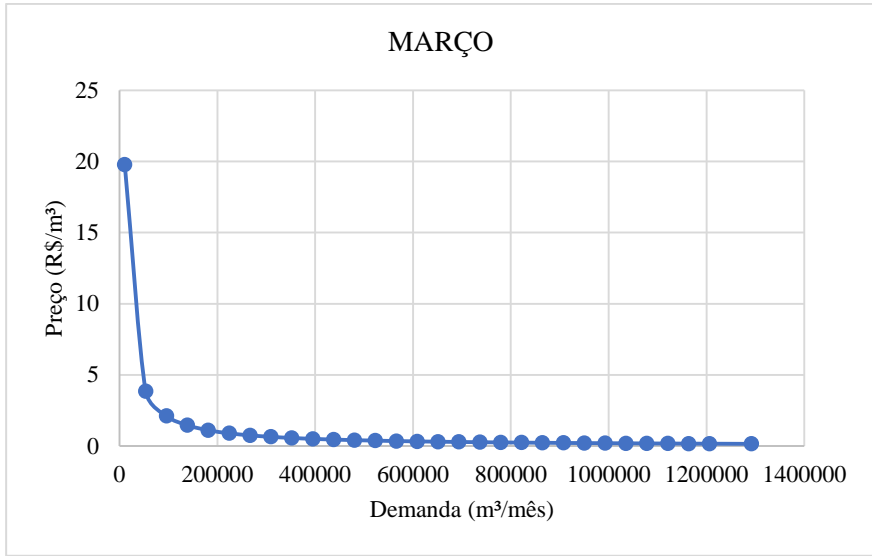


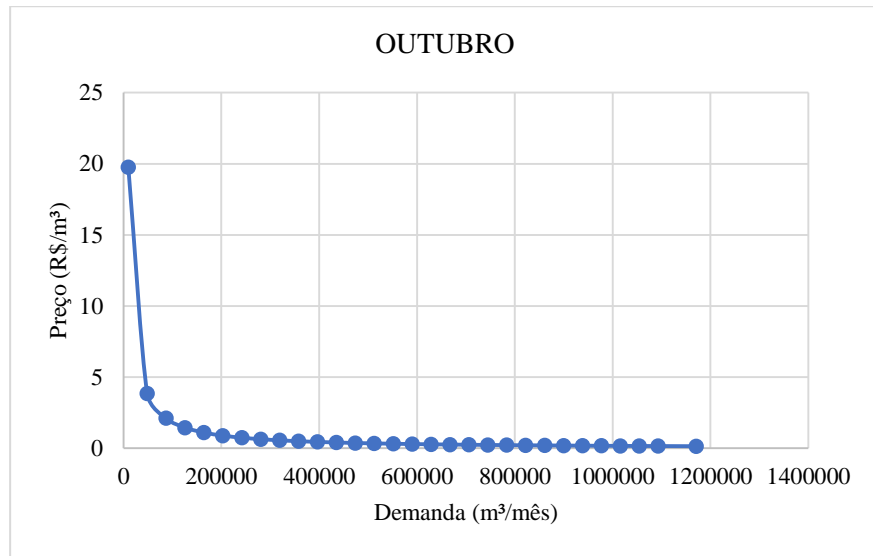
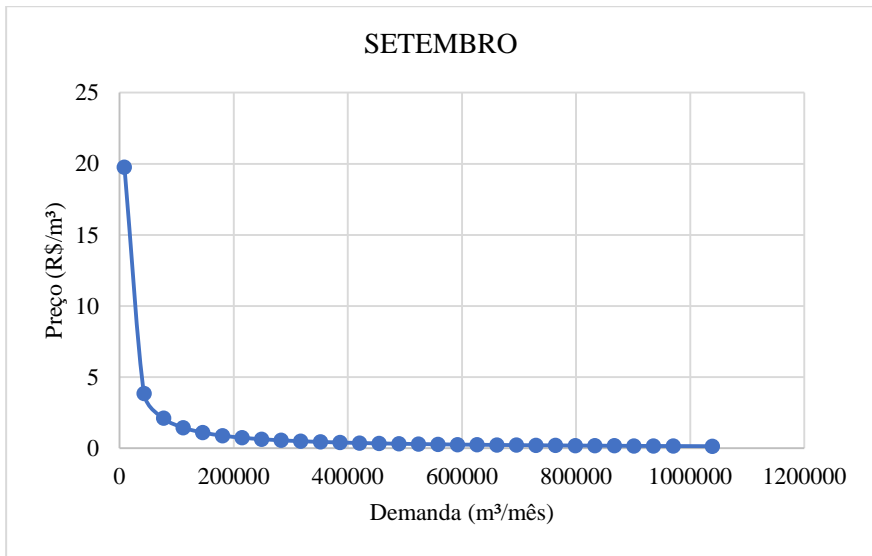
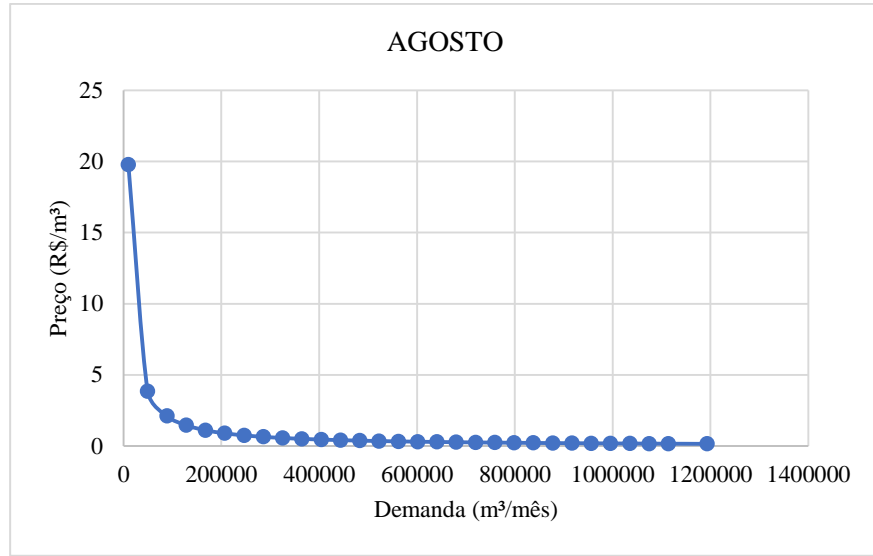
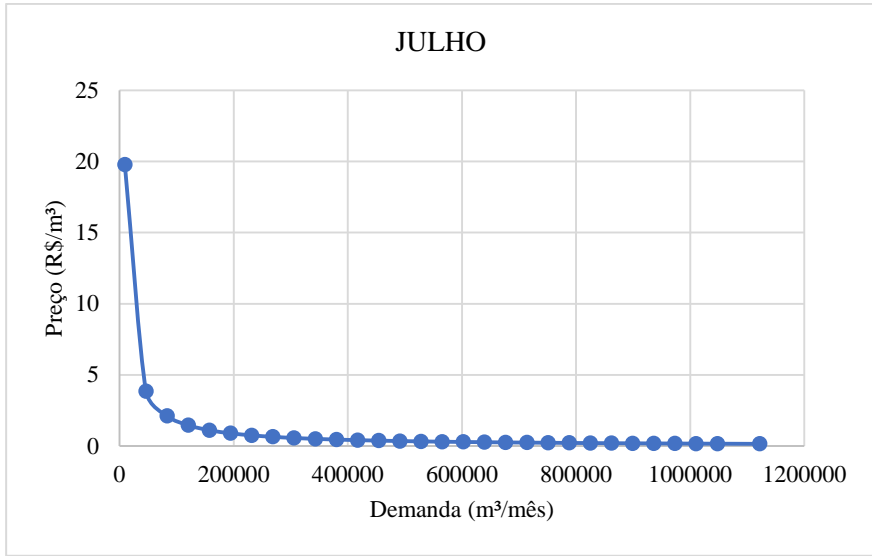


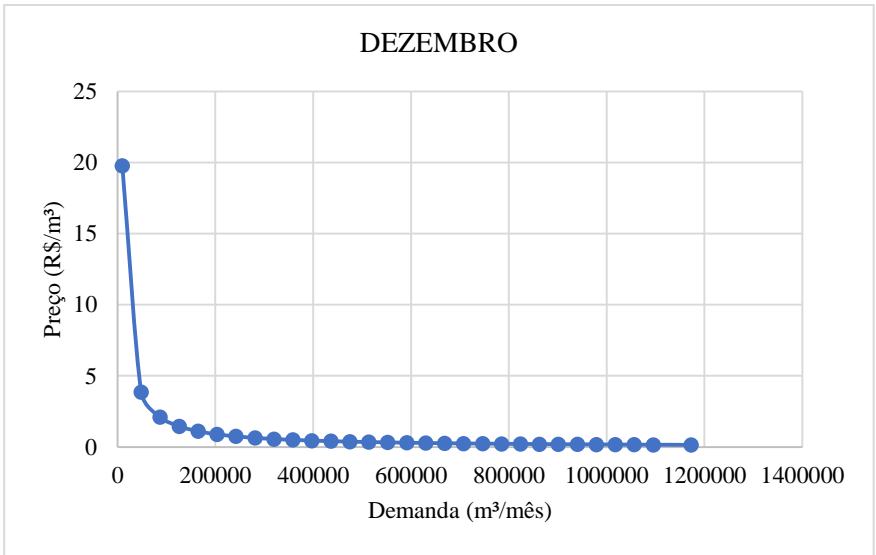
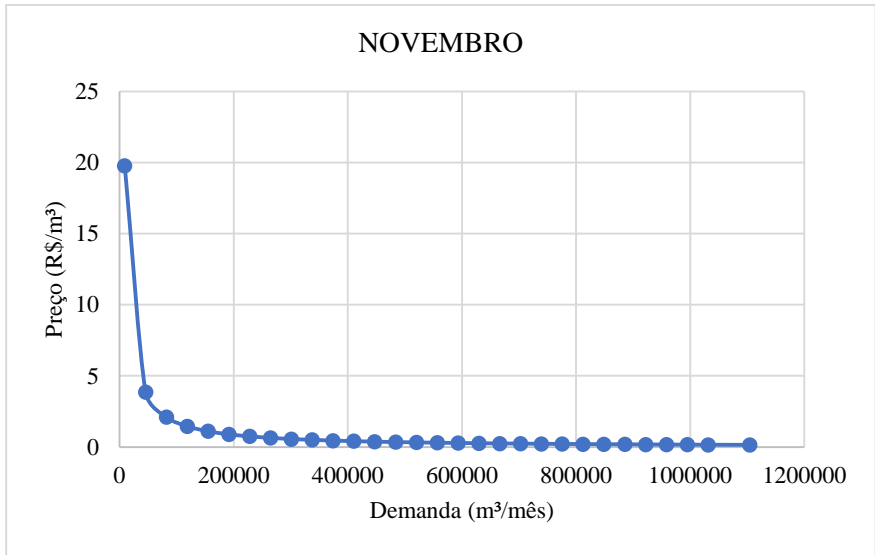


B) Curvas de disponibilidade a pagar (benefício marginal) da indústria Refinaria.



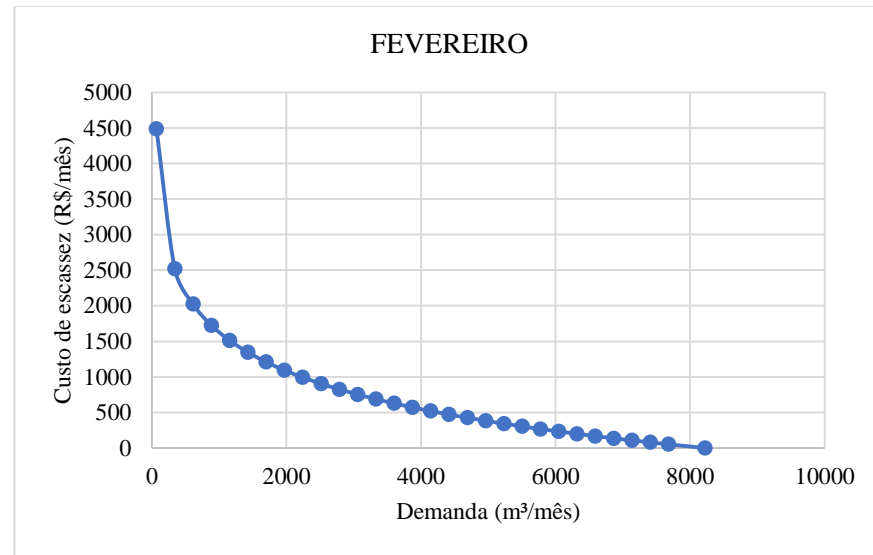
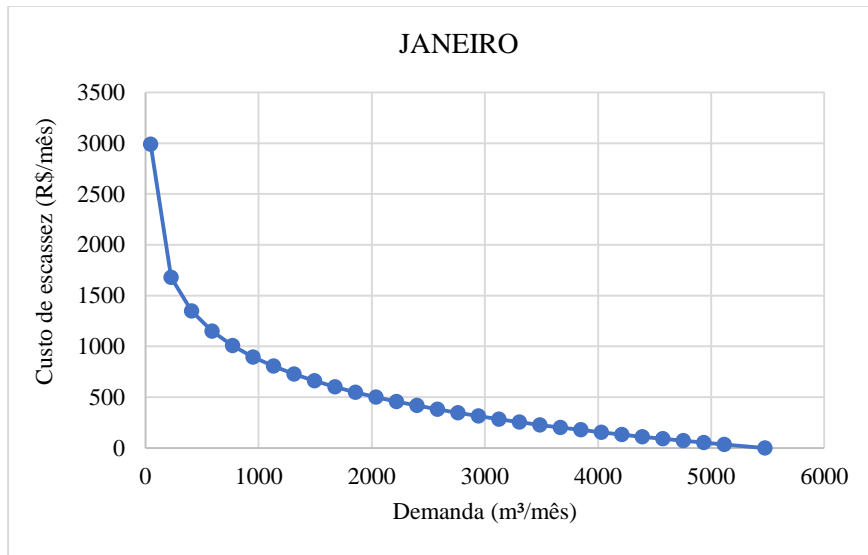


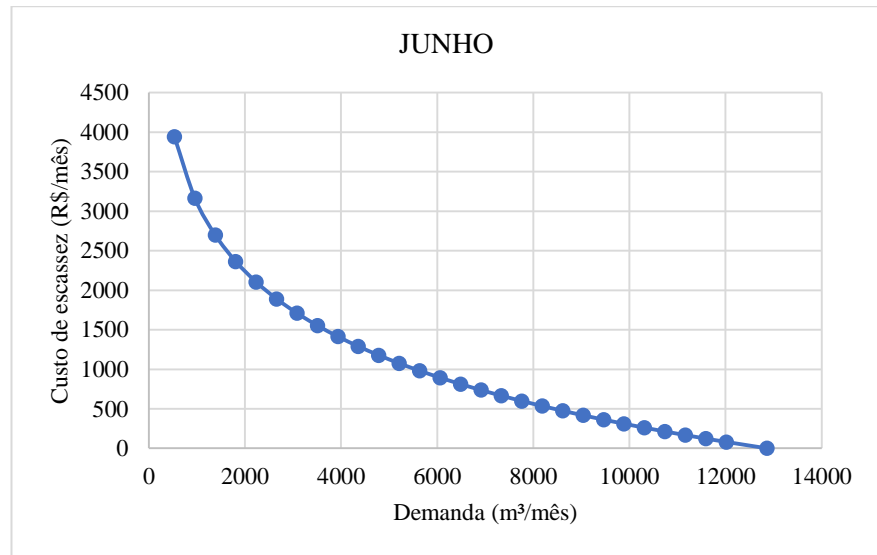
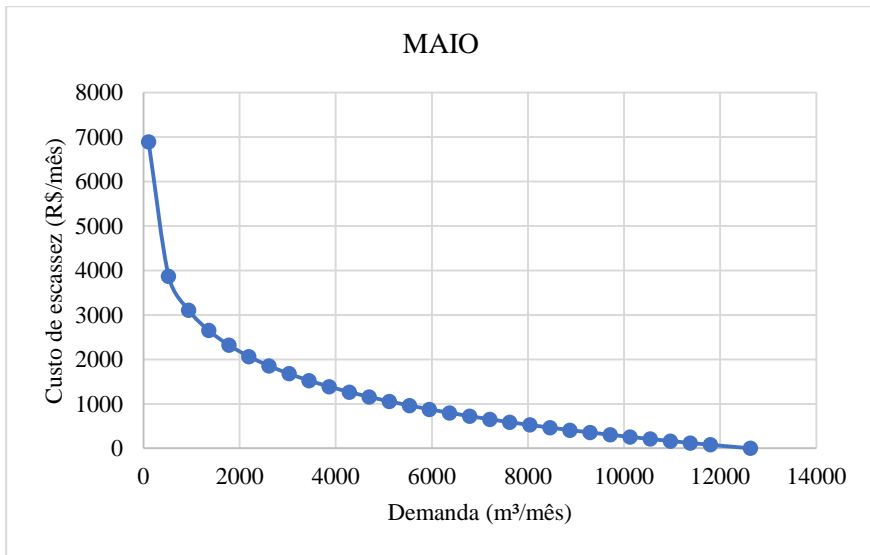
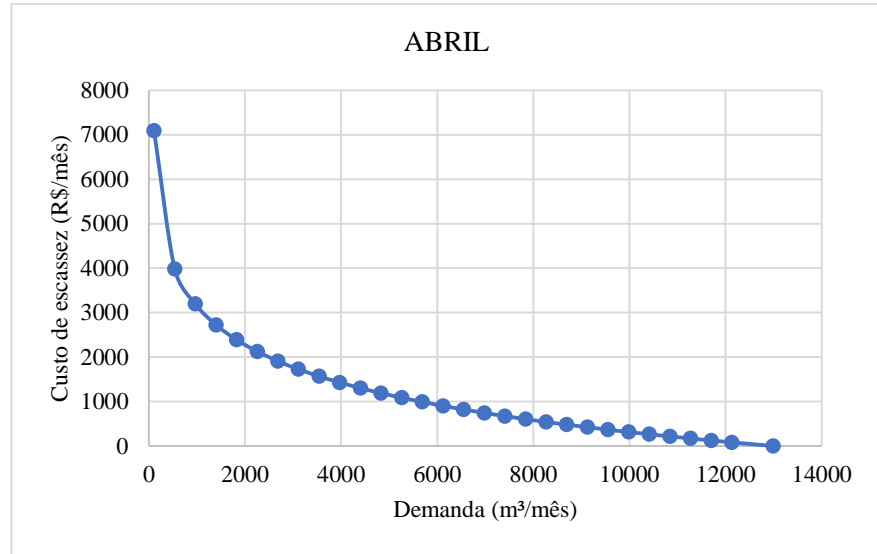
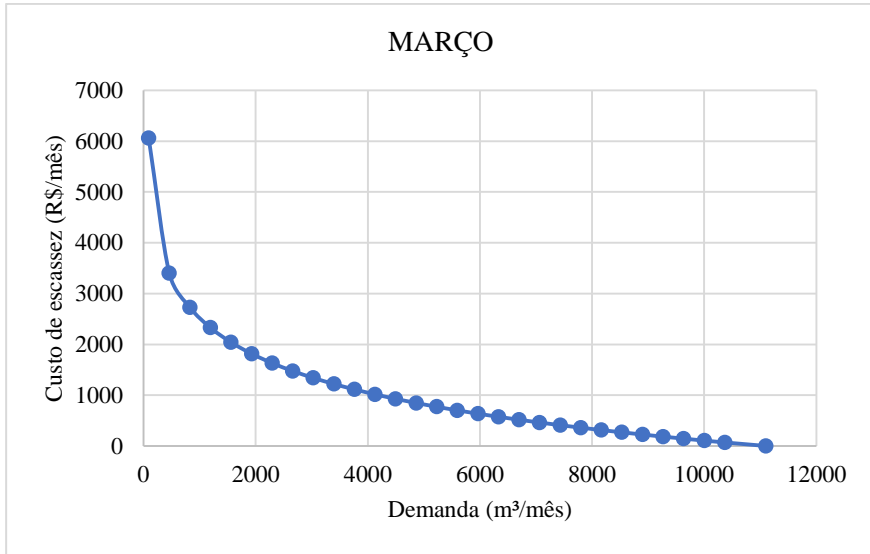


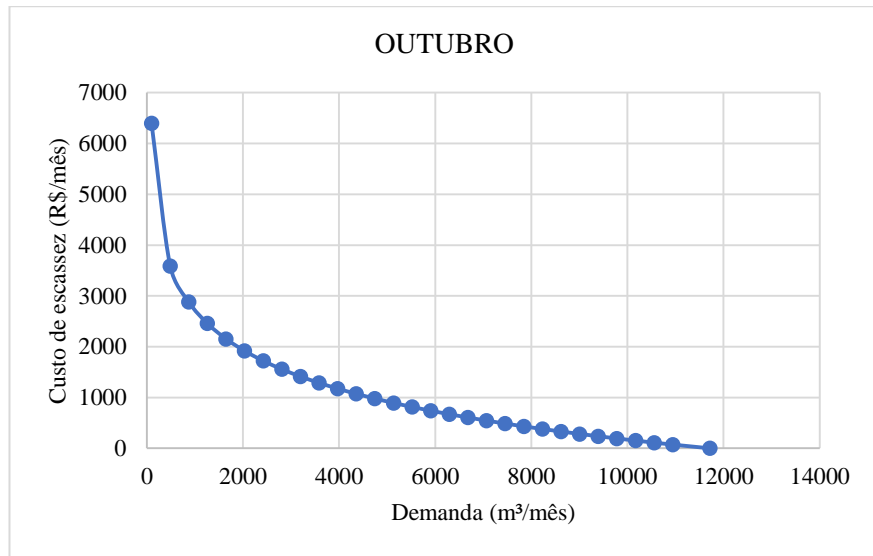
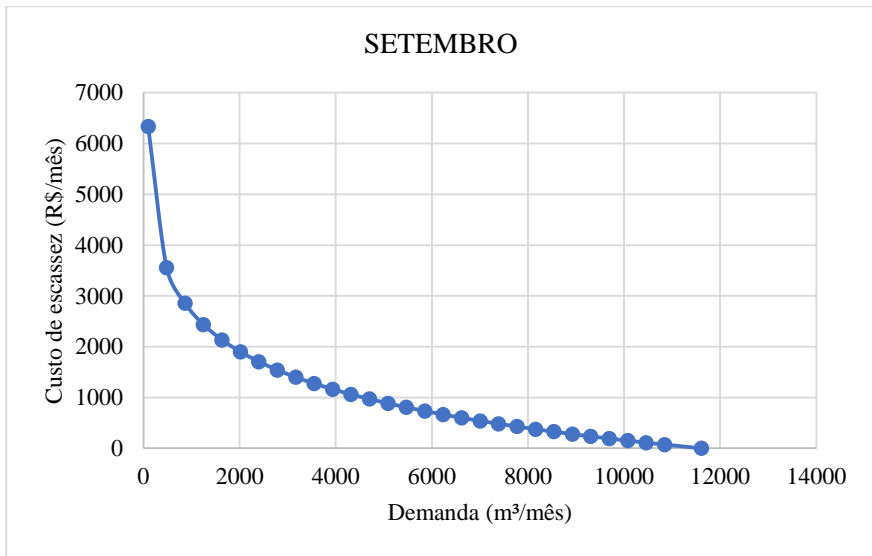
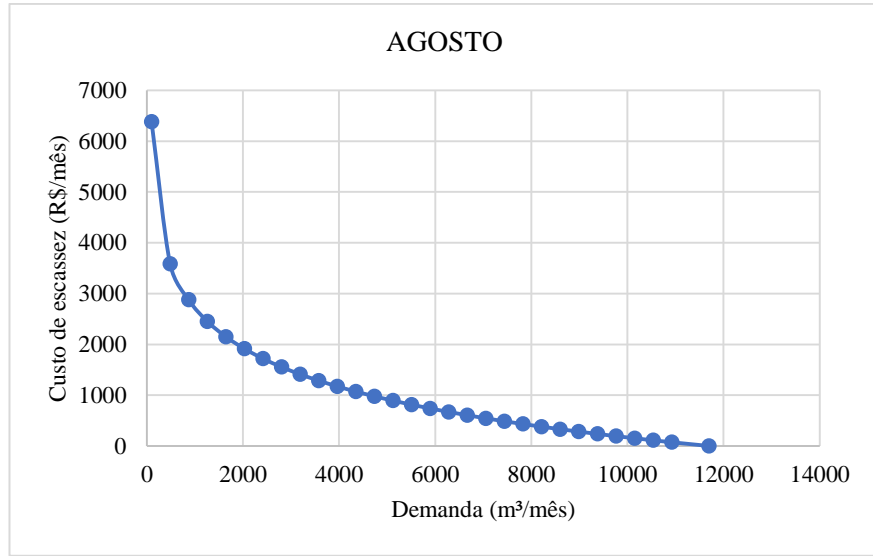
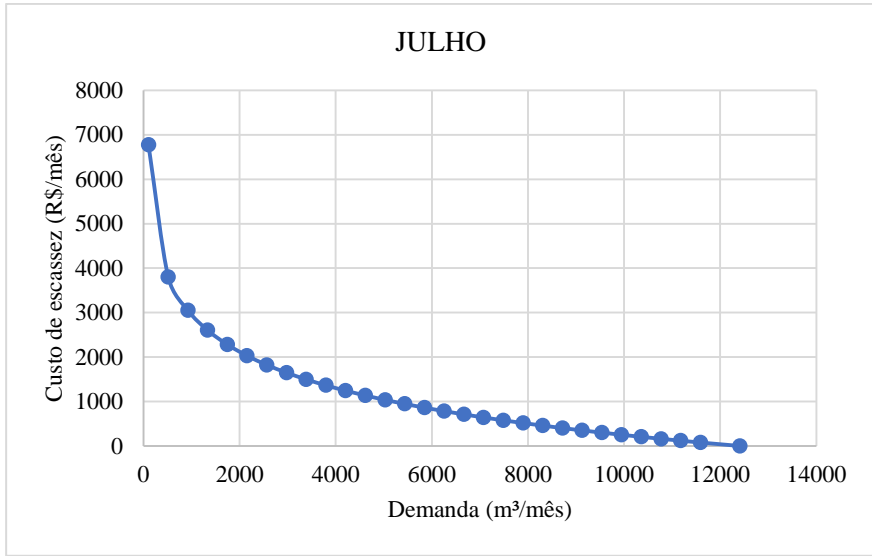


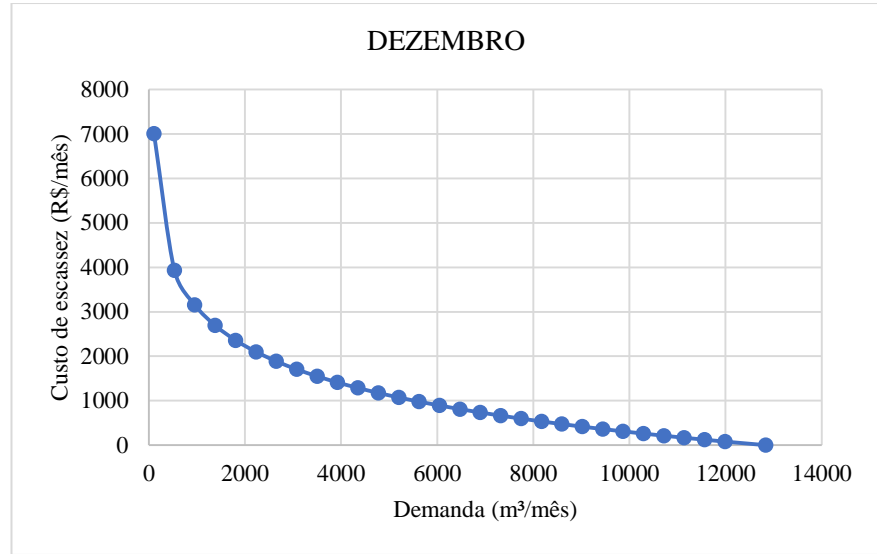
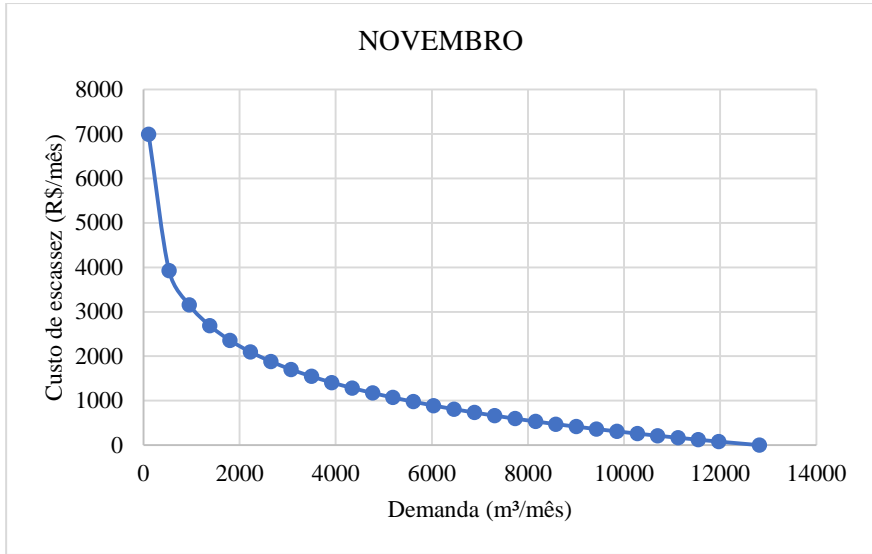
ANEXO 3

A) Curvas do custo de escassez da indústria Biodiesel S.A.









B) Curvas do custo de escassez da indústria Refinaria.

