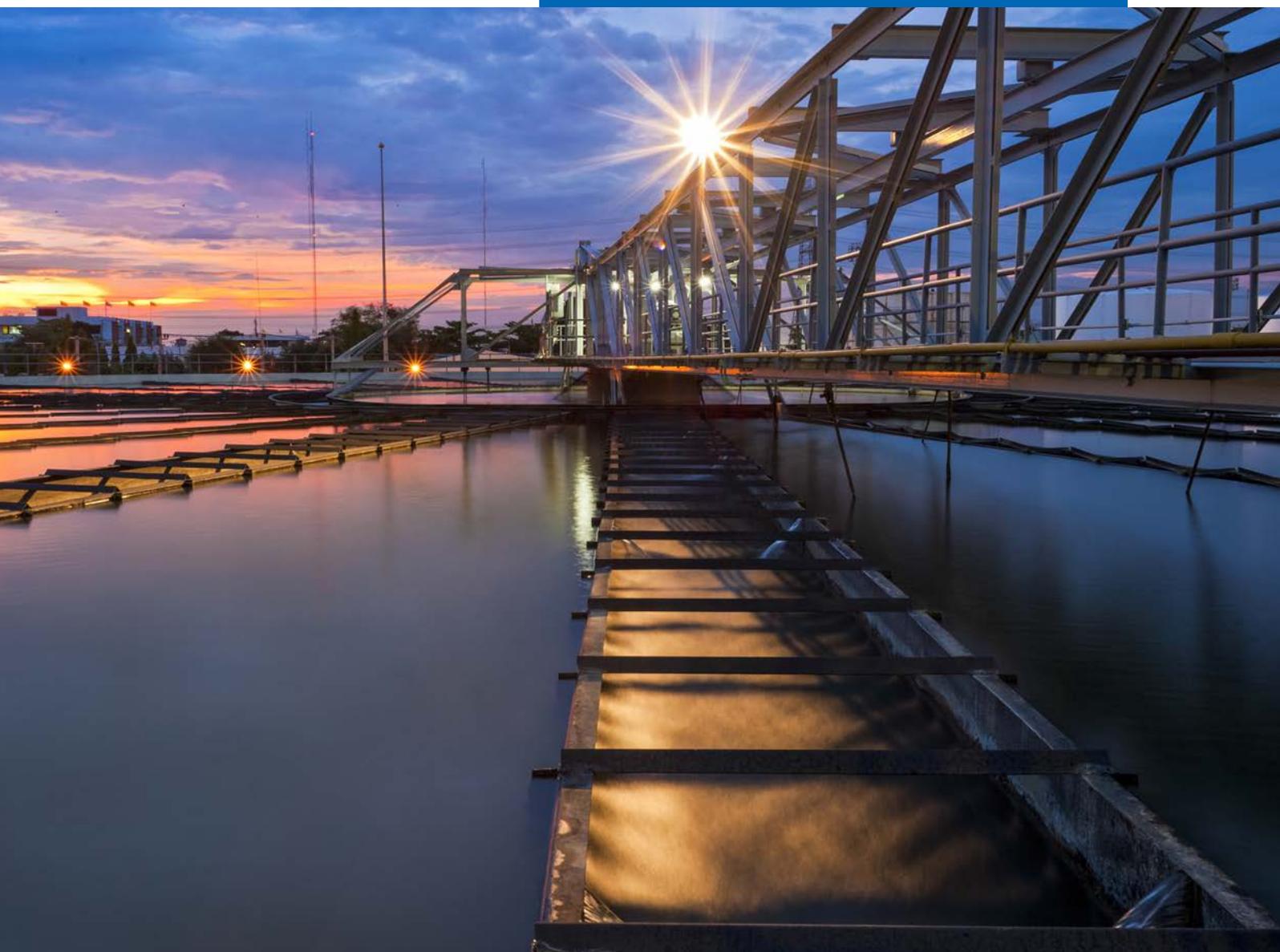


REÚSO DE EFLUENTES PARA ABASTECIMENTO INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DA OFERTA E DA DEMANDA NO ESTADO DO MARANHÃO



REÚSO DE EFLUENTES PARA ABASTECIMENTO INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DA OFERTA E DA DEMANDA NO ESTADO DO MARANHÃO

Acesse a publicação
pelo QR Code abaixo.



falta link

**CONFEDERAÇÃO NACIONAL
DA INDÚSTRIA – CNI**

Robson Braga de Andrade
Presidente

Gabinete da Presidência

Teodomiro Braga da Silva
Chefe do Gabinete - Diretor

Diretoria de Desenvolvimento Industrial

Carlos Eduardo Abijaodi
Diretor

Diretoria de Relações Institucionais

Mônica Messenberg Guimarães
Diretora

Diretoria de Serviços Corporativos

Fernando Augusto Trivellato
Diretor

Diretoria Jurídica

Hélio José Ferreira Rocha
Diretor

Diretoria de Comunicação

Ana Maria Curado Matta
Diretora

Diretoria de Educação e Tecnologia

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor

**FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO
ESTADO DO MARANHÃO – FIEMA**

Edilson Baldez das Neves
Presidente

**Conselho Temático de Meio Ambiente
da Fiema**

Benedito Bezerra Mendes
Presidente

Cirilo Campelo Arruda

Vice-Presidente

Roberto Bastos da Silva

Secretário Executivo

Antônio Fernandes Cavalcante Júnior

Consultor Jurídico

REÚSO DE EFLUENTES PARA ABASTECIMENTO INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DA OFERTA E DA DEMANDA NO ESTADO DO MARANHÃO



Brasília, 2020



Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA

© 2020. CNI – **Confederação Nacional da Indústria.**

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

CNI

Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade - GEMAS

FICHA CATALOGRÁFICA

C748r

Confederação Nacional da Indústria.

Reúso de efluentes para abastecimento industrial : avaliação da oferta e da demanda no estado do Maranhão / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília – CNI, 2020.

125 p. – il.

ISBN 978-65-86075-10-6

1.Reúso de Água. 2. Regulamentação. 3. Sustentabilidade. I. Título.

CDU: 628.1

CNI
Confederação Nacional da Indústria
Sede
Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 – Brasília – DF
Tel. – (61) 3317-9000
Fax – (61) 3317-9994
<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC
Tels. – (61) 3317-9989/3317-9992
sac@cni.org.br

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa com a indicação das etapas dos estudos de reúso	20
Figura 2 – Fluxograma de critérios para determinação de Qr (vazão de referência da ETE)	28
Figura 3 – Estrutura do modelo do IAR	32
Figura 4 – Mapas com valores normalizados dos critérios C1 a C4	35
Figura 5 – Exemplo de “rasterização”	37
Figura 6 – Comparação entre camadas vetoriais e raster de balanço hídrico por microbacia hidrográfica.....	37
Figura 7 – Custos primários e marginais associados ao reúso	39
Figura 8 – Esquematização do projeto genérico	45
Figura 9 – Índice de tratamento de esgotos (IN046 do SNIS)	49
Figura 10 – Mapa das ETEs e índice de tratamento por município (IN046 do SNIS)	50
Figura 11 – Mapa das ETEs por faixa de vazão	52
Figura 12 – Mapa das ETEs por processo de tratamento	54
Figura 13 – Mapa das outorgas industriais por concedente (ANA ou Sema)	55
Figura 14 – Mapa das outorgas industriais por manancial (superficial ou subterrâneo)	56
Figura 15 – Vazões outorgadas para a indústria por município	58
Figura 16 – Mapa das outorgas industriais por faixa de vazão e agregação por município	59
Figura 17 – Mapa do número de empregos industriais e VA pela indústria por município	64
Figura 18 – Balanço hídrico qualiquantitativo por microbacia hidrográfica	65
Figura 19 – Zonas e subzonas do ZEE	67
Figura 20 – Mapa com relação entre ETEs, outorgas industriais e raios de 15 km.....	74
Figura 21 – Mapa com ETEs, usuários e raio de 15 km para a ETE Imperatriz e ETEs localizadas em São Luís	75
Figura 22 – Mapa destacando áreas com presença de usuários relevantes: Polo Siderúrgico de Açailândia, Pedreiras e Campestre do Maranhão	79
Figura 23 – Mapa com valores de IAR e subzonas 1.1 e 1.2 (acima) e IAR e regiões prioritárias (abaixo)	80
Figura 24 – Mapa com aproximação somente para áreas com IAR “alto” e “muito alto” – regiões 1 a 5.....	82
Figura 25 – Curvas de tarifas para os cenários A e B	86
Figura 26 – Custos decompostos para os cenários A e B.....	88
Figura 27 – Tarifas de tratamento por reator UASB.....	89
Figura 28 – Curvas de tarifas descontadas para os cenários A e B	89
Figura 29 – Estudo de caso 1 - ilustração conceitual do sistema de produção e distribuição de água de reúso para abastecimento do polo siderúrgico de Açailândia	93
Figura 30 – Estudo de caso 1 - perfis de elevação do terreno para as adutoras 1 e 2.....	94
Figura 31 – Estudo de caso 1 - balanço hídrico por microbacia em Imperatriz.....	95
Figura 32 – Estudo de caso 2 - ilustração conceitual do sistema de produção e distribuição de água de reúso para abastecimento do polo siderúrgico de Açailândia	98
Figura 33 – Estudo de caso 2 - perfis de elevação do terreno para as adutoras 1 e 2.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese das principais bases de dados	24
Tabela 2 – Agrupamento de processos de tratamento	26
Tabela 3 – Seções e divisões CNAE 2.0 contempladas no estudo	29
Tabela 4 – Matriz de importâncias dos critérios	34
Tabela 5 – Normalização dos valores dos critérios	34
Tabela 6 – Padrão de qualidade de referência de água de reúso para uso em sistemas de resfriamento	39
Tabela 7 – Síntese de métodos, fontes de dados e funções para estimativa de custos	41
Tabela 8 – Variáveis para cálculo de Capex e Opex	42
Tabela 9 – Cenários de projeto genérico	45
Tabela 10 – Parâmetros de variação dos cenários	46
Tabela 11 – Custos associados ao tratamento convencional (UASB)	47
Tabela 12 – Informações e indicadores de geração, coleta e tratamento de esgotos	51
Tabela 13 – ETEs ativas e em obras	51
Tabela 14 – Vazão de tratamento de esgotos por município	53
Tabela 15 – Vazão de tratamento de esgotos por processo de tratamento	53
Tabela 16 – Vazão de tratamento de esgotos por município e processo de tratamento	53
Tabela 17 – Outorgas industriais de captação ativas por concedente	54
Tabela 18 – Outorgas industriais de captação ativas por manancial	55
Tabela 19 – Vazões outorgadas para a indústria por município	57
Tabela 20 – Somatório das outorgas industriais por grupo CNAE 2.0	60
Tabela 21 – Valor adicionado pela indústria para os principais municípios	61
Tabela 22 – Participação setorial no PIB industrial estadual	61
Tabela 23 – Empregos industriais por município	62
Tabela 24 – Empregos industriais por divisão CNAE 2.0	62
Tabela 25 – Zonas e subzonas do ZEE-MA	68
Tabela 26 – ETEs com demandas industriais próximas	74
Tabela 27 – Relação de usuários relevantes próximos às ETEs	76
Tabela 28 – Vazões de usuários por ETEs de acordo com o tipo de manancial (subterrâneo ou superficial)	78
Tabela 29 – Classificação dos valores de IAR e áreas resultantes	80
Tabela 30 – Análise das regiões prioritárias com maior IAR em relação aos critérios de C1 a C4, suas características gerais e possíveis diretrizes de planejamento de reúso	83
Tabela 31 – Custos totais e tarifas para as alternativas A e B	85
Tabela 32 – Custos totais decompostos para as alternativas A e B	87
Tabela 33 – Custos unitários decompostos para as alternativas A e B	87
Tabela 34 – Estudo de caso 1 - principais variáveis de projeto	94
Tabela 35 – Estudo de caso 1 – Capex e Opex	95
Tabela 36 – Estudo de caso 2 - outorgas consideradas	98
Tabela 37 – Estudo de caso 2 - principais variáveis de projeto adotadas	99
Tabela 38 – Estudo de caso 2 - Capex e Opex	100

LISTA DE SÍMBOLOS E ACRÔNIMOS

Sigla	Significado
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional de Águas
Caema	Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão
Capex	Custos de capital (capital expenditures)
CNAE	Cadastro Nacional de Atividades Econômicas
CNI	Confederação Nacional da Indústria
EE	Estação Elevatória
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
Fiema	Federação das Indústrias do Maranhão
IAR	Índice de Aptidão ao Reúso
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Lat	Latitude
Lon	Longitude
MA	Maranhão
MMAD	Método Multicritério de Apoio à Decisão
MTE	Ministério do Trabalho
O&M	Operação e Manutenção
Opex	Custos de operação e manutenção (operational expenditures)
PIB	Produto Interno Bruto
Q	Vazão (geral)
Qout	Vazão outorgada
Qr	Vazão de referência da ETE
R2	Coefficiente de determinação
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RMSL	Região Metropolitana de São Luís
RMSM	Região Metropolitana do Sudoeste Maranhense
Sema	Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais
SIG (GIS)	Sistema de Informações Geográficas (Geographic Information System)
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
VA	Valor Adicionado
VPL	Valor Presente Líquido
ZEE	Zoneamento Econômico-Ecológico

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO CNI	11
APRESENTAÇÃO FIEMA	13
RESUMO EXECUTIVO	15
INTRODUÇÃO	19
1 METODOLOGIA	23
1.1 Bases de dados utilizadas.....	24
1.2 Levantamento e processamento de dados	26
1.2.1 Ofertas de esgoto tratado	26
1.2.2 Demandas de água pelas indústrias	28
1.2.3 Caracterização da indústria	29
1.3 Oportunidades por ETE-usuário	29
1.4 Oportunidades nas subzonas do ZEE – Índice de Aptidão ao Reúso (IAR)	30
1.4.1 Conceituação e estruturação do modelo de IAR.....	31
1.4.2 Uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para aplicação do modelo.....	36
1.5 Estimativa de custos.....	38
1.5.1 Aspectos metodológicos gerais	38
1.5.2 Funções de custos	40
1.5.3 Cálculo de tarifa.....	43
1.5.4 Cenários de projeto genérico.....	44
1.5.5 Consideração dos custos de tratamento para atendimento à legislação.....	46
2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO	49
2.1 Tratamento de esgotos.....	49
2.2 Demandas industriais	54
2.3 Perfil da indústria	60
2.4 Balanço hídrico	64
2.5 Zoneamento Econômico-Ecológico (ZEE)	65
2.6 Legislação pertinente ao reúso de água.....	69
3 RESULTADOS E ANÁLISES	73
3.1 Oportunidades de reúso por ETE-usuário	73
3.2 Oportunidades de reúso por subzona do ZEE – resultados do modelo de Índice de Aptidão ao Reúso (IAR)	79
3.3 Estimativa de custos.....	85
3.3.1 Tarifas mínimas	85
3.3.2 Desconto dos custos de tratamento para atendimento à legislação.....	88
4 ESTUDOS DE CASO	91
4.1 Estudo de caso 1: abastecimento da Suzano S.A. pela ETE Imperatriz	92
4.1.1 Contexto	92
4.1.2 Projeto conceitual.....	92
4.1.3 Análise	95

4.2 Estudo de caso 2: abastecimento do polo siderúrgico de Açailândia por ETE futura	96
4.2.1 Contexto	96
4.2.2 Projeto conceitual.....	97
4.2.3 Análise	100
5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS.....	107
ANEXO A – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE TRATAMENTO DE DADOS DE OUTORGAS.....	113
ANEXO B – DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE IAR.....	117
ANEXO C – FUNÇÕES DE CUSTOS.....	121

APRESENTAÇÃO CNI

“Assegurar o acesso sustentável à água de qualidade, em quantidade adequada à manutenção dos meios de vida, ao bem-estar humano e ao desenvolvimento socioeconômico. Garantir proteção contra a poluição hídrica e os desastres relacionados à água. Preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política”. Essa é a definição de segurança hídrica dada pela Organização das Nações Unidas, que explicita a preocupação atual com os conflitos em bacias hidrográficas nacionais e transfronteiriças.

A CNI reconhece a necessidade de prevenir e mitigar os confrontos decorrentes do uso da água, assegurando, em especial, meios para minimizar os efeitos de sua escassez na indústria, seja em função das mudanças climáticas, seja em razão da má gestão desse valioso recurso. Isso é importante para manter o desenvolvimento das atividades do setor, que contribui com 21% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional.

Em 2017, a CNI analisou o potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial na região metropolitana de São Paulo (RMSP), considerando que as águas servidas ou residuais podem ser transformadas em matéria-prima para a diversificação da matriz de oferta desse insumo para a indústria. O estudo foi feito com o Centro Internacional de Referência em Reúso de Água, da Universidade de São Paulo, e com a empresa InfinityTech.

Graças à parceria, foi possível chegar a valores de oferta de efluentes em relação à demanda industrial e realizar as estimativas financeiras para viabilizar a utilização desse recurso. O estudo-piloto¹ identificou o potencial do esgoto tratado, por meio das Estações de Tratamento de Esgoto localizadas na RMSP e disponibilizadas pela Companhia Estadual de Saneamento Básico (Sabesp).

O levantamento da demanda de água do setor industrial considerou as empresas que se encontravam na área de até 10km² em torno das estações.

Em função da situação crítica dos estados, em termos de balanço hídrico e da severidade de escassez qualitativa e quantitativa – sinais de baixa segurança hídrica – decidiu-se fazer a segunda etapa do estudo. Foram selecionados Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Espírito Santo. Além desses estados, o Rio de Janeiro resolveu empreender a análise em parceria com a CNI, prevenindo-se de uma eventual insegurança hídrica.

¹ Reuso de Efluentes: Metodologia para análise do potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/9/reuso-de-efluentes-metodologia-para-analise-do-potencial-do-uso-de-efluentes-tratados-para-abastecimento-industrial/>

Após o sucesso da avaliação nesses estados, a CNI e a Federação das Indústrias do Estado do Maranhão (FIEMA) replicaram a iniciativa, acrescentando à análise: a) a avaliação do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do estado; b) a regionalização dos custos econômicos; e c) a realização de dois estudos de caso.

Neste momento, apresentamos os resultados obtidos no Maranhão. Com isso, esperamos contribuir para que tanto o setor industrial como o governo estadual possam desenvolver estratégias que promovam o acesso sustentável à água, além do desenvolvimento econômico e social.

Boa leitura.

Robson Braga de Andrade

Presidente da CNI

APRESENTAÇÃO FIEMA

O Estado do Maranhão possui, em seu território, relevantes demandas industriais, áreas urbanas desenvolvidas, potencial para expansão da abrangência de tratamento de esgotos, bacias com notável criticidade hídrica e zonas com alto potencial de desenvolvimento industrial.

Em 2020, a Confederação Nacional da Indústria, através de sua Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade - GEMAS, realizou uma avaliação da oferta e da demanda do Reuso de Efluentes para Abastecimento Industrial, no Estado do Maranhão em parceria com a Federação das Indústrias do Estado do Maranhão - FIEMA, cujos resultados que certamente servirão para elaboração de um planejamento estratégico hídrico para o setor industrial do Maranhão.

A indústria maranhense é a 16ª do Brasil em termos de valor adicionado, com R\$ 13,5 bi em 2017 e destaque aos setores de construção, serviços de utilidade pública, metalurgia, celulose e papel, bebidas e alimentos, cujas demandas de água estimadas pela indústria somam 3.967,4 L/s, o que leva a concluir que o balanço hídrico na maior parte do território seja favorável, há microbacias que são consideradas críticas, o que já aponta para a necessidade de ações que auxiliem na redução da pressão sobre os mananciais e na garantia de qualidade dos corpos hídricos.

Com base nisso, este estudo buscou identificar oportunidades de reúso de água não potável para uso industrial no estado do Maranhão a partir da correlação entre estações de tratamento de esgotos (ofertas) existentes e usuários industriais (demandas), que embora seja ainda incipiente, conta com um aumento da produção a longo prazo haja vista possuir apenas uma cobertura de apenas 13,5% de ETEs o que poderá gerar uma expansão da infraestrutura de tratamento podendo ser vista, nesse sentido, como uma oportunidade.

Foram desenvolvidos estudos para avaliação do potencial de reúso a partir do desenvolvimento e da aplicação do Índice de Aptidão de Reúso (IAR) para as subzonas do Zoneamento Econômico-Ecológico do Maranhão (ZEE-MA) o qual, por meio de abordagem multicritério, forneceu resultados quantitativos para a identificação de cinco regiões específicas localizadas principalmente nas subzonas 1.1 e 1.2 do ZEE (subzonas com alto e médio potencial social) que, segundo os critérios que compõem o modelo, as mais aptas à prática de reúso industrial não potável.

Por fim, espera-se que os resultados deste trabalho forneçam subsídios aos atores interessados em ações de diversificação de fontes de água e em proposição de soluções positivas à gestão de recursos hídricos no Maranhão, servindo como base para futuros estudos mais detalhados que venham a viabilizar programas de reúso não potável para atendimento à indústria.

Edilson Baldez das Neves

Presidente da FIEMA

RESUMO EXECUTIVO

O estado do Maranhão possui, em seu território, relevantes demandas industriais, áreas urbanas desenvolvidas, potencial para expansão da abrangência de tratamento de esgotos, bacias com notável criticidade hídrica e zonas com alto potencial de desenvolvimento industrial. Vislumbrar as possibilidades de reúso de água a partir de esgotos domésticos para abastecimento de demandas industriais é, nesse contexto, um importante elemento de planejamento e gestão de água no estado.

Com base nisso, este estudo buscou identificar oportunidades de reúso de água não potável para uso industrial no estado do Maranhão. Foram utilizadas três abordagens metodológicas diferentes:

- Oportunidades por ETE-usuário (item 1.3): avaliação do potencial de reúso a partir da correlação entre estações de tratamento de esgotos (ofertas) existentes e usuários industriais (demandas);
- Oportunidades por subzona do ZEE-MA – Índice de Aptidão ao Reúso (IAR) (item 1.4): avaliação do potencial de reúso a partir do desenvolvimento e da aplicação do Índice de Aptidão de Reúso (IAR) para as subzonas do Zoneamento Econômico-Ecológico do Maranhão (ZEE-MA); e
- Estimativa de custos de água de reúso (item 1.5): estimativa de custos de produção (tratamento) e distribuição (adução e reservação) de água de reúso, considerando custos específicos do estado do Maranhão.

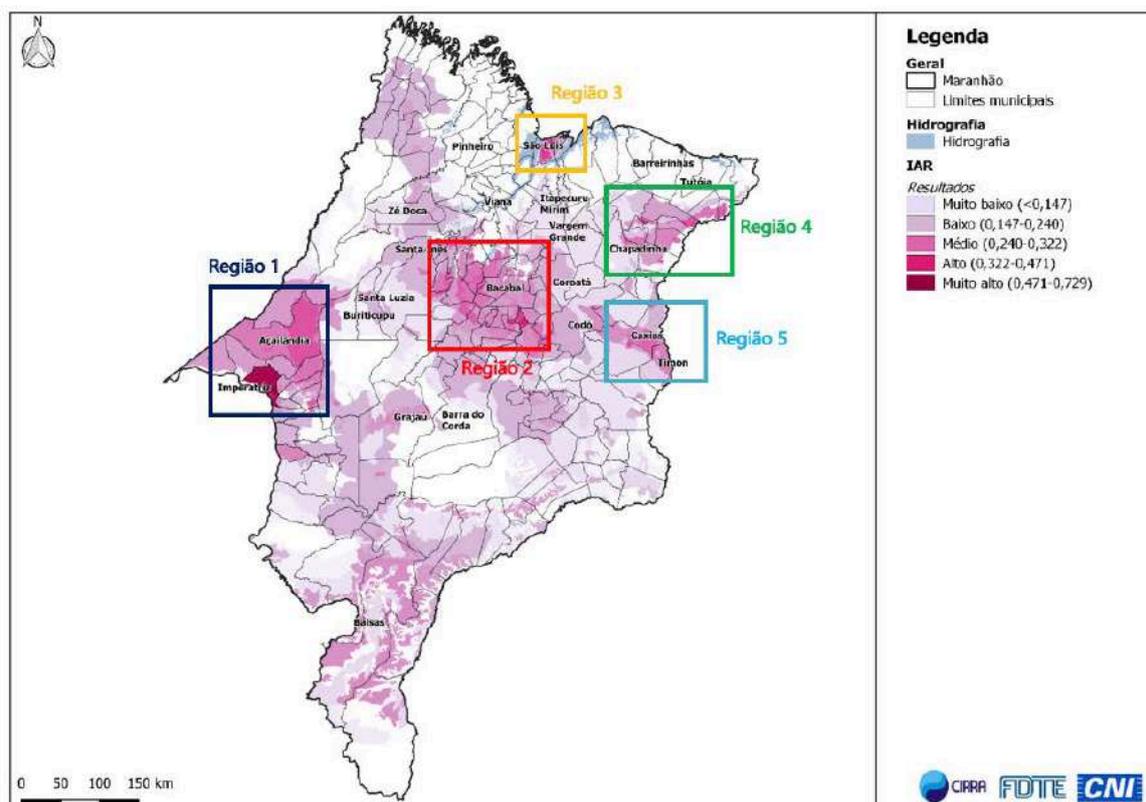
As oportunidades por ETE-usuário identificaram e caracterizaram os principais usuários industriais localizados próximo a estações de tratamento de esgotos ativas/em construção. O ainda estado de incipiência de tratamento de esgotos no Maranhão levou a poucas oportunidades nesse quesito, havendo destaque somente à ETE Imperatriz, conforme a tabela a seguir.

RELAÇÃO DE ETES COM DEMANDAS INDUSTRIAIS PRÓXIMAS

ETE	Qr (L/s)	Município	ΣQout (L/s)	Qtde. de outorgas
Imperatriz	83,3	Imperatriz	2.143,0	7
Bacanga	250	São Luís	9,4	7
Vinhais	1.236,9	São Luís	7,9	7
Anil	162,3	São Luís	7,9	7
Jaracati	200	São Luís	6,9	6

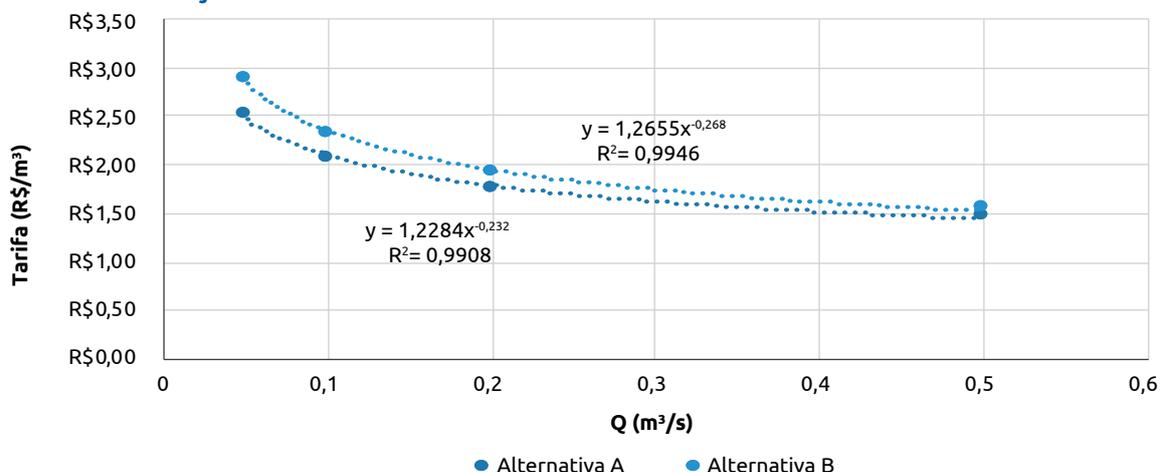
A aplicação do IAR nas subzonas do ZEE levou à identificação de áreas prioritárias no planejamento de reúso, caracterizando-as segundo seus principais atributos. A partir dos valores de IAR, foram delimitadas cinco regiões principais, como indica a imagem a seguir.

MAPA COM RESULTADOS DO IAR E DEFINIÇÃO DE REGIÕES PRIORITÁRIAS



As estimativas de custos foram realizadas a partir da definição de projeto genérico de produção e distribuição de água de reúso, considerando custos de capital e de operação e manutenção de sistemas. Como resultado, as tarifas mínimas variaram de R\$1,47/m³ a R\$2,87. Foram também determinadas equações de tarifa em função da vazão de produção de água de reúso, conforme o gráfico a seguir.

CURVAS DE FUNÇÕES DE TARIFAS PARA OS CENÁRIOS A E B



Por fim, foram elaborados dois estudos de caso para avaliação mais detalhada de contextos específicos detectados ao longo do desenvolvimento deste estudo. Foram determinados critérios mínimos de dimensionamento de sistemas de tratamento, linhas de adução, sistemas elevatórios e de reservação para produção e distribuição de água de reúso, bem como estimados os respectivos custos e tarifas. A imagem a seguir exemplifica os estudos de caso.

EXEMPLOS DOS ESTUDOS DE CASO ABORDADOS



Por fim, espera-se que os resultados deste trabalho forneçam subsídios aos atores interessados em ações de diversificação de fontes de água e em proposição de soluções positivas à gestão de recursos hídricos no Maranhão, servindo como base para futuros estudos mais detalhados, que venham a viabilizar programas de reúso não potável para atendimento à indústria.



INTRODUÇÃO



Este documento contempla a quarta etapa do estudo “Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda” e apresenta a avaliação do potencial de reúso para o estado do Maranhão.

Assim como para os outros estados (SP, CE, RN, PE, PB, RJ, ES), as oportunidades de reúso foram identificadas a partir de informações sobre demandas de água para fins industriais, oferta de esgoto tratado, avaliação de custos e análises espaciais. Esta etapa, no entanto, conta com três diferenças importantes em relação às demais.

A primeira delas é a consideração dos produtos do Zoneamento Econômico-Ecológico do Maranhão (ZEE-MA), um importante instrumento de planejamento e organização do território que busca conciliar desenvolvimento econômico e qualidade ambiental. A segunda é a atualização das estimativas de custos de produção, distribuição e reservação de água de reúso levando em consideração os custos específicos para o Maranhão. A terceira é a inclusão de alguns estudos de caso que detalham com maior profundidade duas oportunidades expressivas de reúso de água no estado.

Este documento foi estruturado em cinco capítulos principais:

- Capítulo 1 – Metodologia: explica os principais procedimentos metodológicos adotados, os quais são apresentados de forma sucinta, contemplando os métodos de análise por ETE-usuário, por subzona no ZEE-MA e das estimativas de custos de reúso;
- Capítulo 2 – Caracterização do estado: analisa o estado a partir de informações de demandas industriais de água, ofertas de esgotos, panorama da indústria maranhense, balanço hídrico e legislação;

- Capítulo 3 – Identificação de oportunidades: apresenta e analisa os resultados das oportunidades de reúso de água identificadas conforme as metodologias utilizadas;
- Capítulo 4 – Estudos de caso: explora com mais detalhes algumas situações específicas identificadas ao longo do desenvolvimento do estudo, buscando exemplificar ações de planejamento de reúso a partir de situações reais; e
- Capítulo 5 – Discussões e conclusões: encerra o estudo e faz uma análise geral do panorama do Maranhão no que se refere ao reúso industrial não potável.

Com isso, espera-se que as contribuições trazidas por este documento possam auxiliar e inspirar a tomada de decisão na condução de estudos mais detalhados sobre o potencial de reúso industrial no Maranhão e no Brasil.

HISTÓRICO DOS ESTUDOS DE REÚSO DA CNI

O estado do Maranhão é o oitavo contemplado na série de estudos sobre oportunidades de reúso no Brasil. A primeira etapa estabeleceu as bases metodológicas de identificação de oportunidades de reúso e teve como área de estudo a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Os principais resultados dessa etapa foram apresentados na publicação Reúso de efluentes: metodologia para análise do potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial (CNI, 2017). Em etapas posteriores, seis unidades da federação foram contempladas: Ceará-CE, Rio Grande do Norte-RN, Espírito Santo-ES, Paraíba-PB, Pernambuco-PE e Rio de Janeiro-RJ, conforme ilustra a Figura 1.

FIGURA 1 – Mapa com a indicação das etapas dos estudos de reúso



Etapas de desenvolvimento do estudo

1ª etapa: desenvolvimento da metodologia e estudo da Região Metropolitana de São Paulo

2ª etapa: estados do CE, RN, PE, PB e ES

3ª etapa: estado do RJ

4ª etapa: estado do MA

As publicações dos estudos já desenvolvidos podem ser acessadas pelos links a seguir:

Área	Ano	Acesso
RMSP	2017	http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/5/reuso-de-efluentes-metodologia-para-analise-do-potencial-do-uso-de-efluentes-tratados-para-abastecimento-industrial/
CE	2019	http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2019/3/reuso-de-efluentes-para-abastecimento-industrial/
RN	2019	http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2019/3/reuso-de-efluentes-para-abastecimento-industrial-avaliacao-da-oferta-e-da-demanda-no-estado-do-rio-grande-do-norte/
PE	2019	http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2019/3/reuso-de-efluentes-para-abastecimento-industrial-avaliacao-da-oferta-e-da-demanda-no-estado-de-pernambuco/
ES	2019	http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2019/10/reuso-de-efluentes-para-abastecimento-industrial-avaliacao-da-oferta-da-oferta-e-da-demanda-no-estado-do-espírito-santo/
RJ	2019	http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2019/8/reuso-de-efluentes-para-abastecimento-industrial-avaliacao-da-oferta-e-da-demanda-no-estado-do-rio-de-janeiro/
PB	2020	http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2020/3/reuso-de-efluentes-para-abastecimento-industrial-avaliacao-da-oferta-e-da-demanda-no-estado-da-paraiba/



1 METODOLOGIA



Este estudo aborda as oportunidades de reúso de água não potável para uso industrial no estado do Maranhão utilizando três abordagens metodológicas diferentes e complementares. São elas:

- Oportunidades por ETE-usuário (item 1.3)
 - Avaliação do potencial de reúso a partir da correlação entre estações de tratamento de esgotos (ofertas) existentes e usuários industriais (demandas);
- Oportunidades por subzona do ZEE-MA – Índice de Aptidão ao Reúso (IAR) (item 1.4)
 - Avaliação do potencial de reúso a partir do desenvolvimento e da aplicação do Índice de Aptidão de Reúso (IAR) para as subzonas do Zoneamento Econômico-Ecológico do Maranhão (ZEE-MA); e
- Estimativa de custos de água de reúso (item 1.5)
 - Estimativa de custos de produção (tratamento) e distribuição (adução e de reservação) de água de reúso, considerando custos específicos do estado do Maranhão.

Além disso, também são apresentados dois estudos de caso (item 4) que exploram com maior nível de detalhamento algumas oportunidades de reúso específicas encontradas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

O presente estudo foi iniciado com a visita ao estado do Maranhão pela equipe de consultoria do CIRRA-USP, em novembro de 2019, para realização de reuniões presenciais com os representantes das principais entidades com interesse no tema. O objetivo da reunião foi apresentar os resultados das etapas anteriores e solicitar as informações necessárias ao prosseguimento do estudo. A articulação foi feita junto aos seguintes órgãos:

- Fiema – Federação das Indústrias do Estado do Maranhão;
- Caema – Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão; e
- Sema – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais.

1.1 BASES DE DADOS UTILIZADAS

A elaboração deste estudo requereu a utilização de múltiplas bases de dados, a maior parte delas pública e de fácil acesso via internet. Algumas, no entanto, necessitaram de solicitações formais aos órgãos competentes. Com o intuito de facilitar o rastreamento e o acesso às fontes, a Tabela 1 sumariza detalhes sobre as bases de dados utilizadas.

TABELA 1 – Síntese das principais bases de dados

Grupo	Informações	Escala	Fonte	Detalhe	Ano-base	Acesso
Saneamento básico	Dados sobre ETEs	Por ETE	ANA (2017c, 2017d)	Atlas Esgotos e arquivos complementares	2013	https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01
		Por ETE	Caema (2019a)	Informações sobre vazões, processos de tratamento e localização das ETEs	2019	Bases de dados cedidas diretamente pela Caema
	Dados de custos de obras de saneamento	Por custo	Caema (2019b)	Custos unitários de obras lineares e estações elevatórias de esgotos	2019	Bases de dados cedidas diretamente pela Caema
	Dados sobre produção e consumo de água e coleta e tratamento de esgotos	Por município	SNS/MDR (2019b)	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS 2018	2018	http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/

Grupo	Informações	Escala	Fonte	Detalhe	Ano-base	Acesso
Indústria	Demanda industrial por água	Por outorga	ANA (2020)	Planilha de outorgas federais	2020	https://www.ana.gov.br/regulacao/principais-servicos/outorgas-emitidas
		Por outorga	Sema (2020)	Outorgas industriais de captação vigentes	2020	Bases de dados cedidas diretamente pela Sema
	PIB industrial	Por município	IBGE (2020a)	Produto Interno Bruto dos municípios	2017	https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas
	Número de empregos na indústria	Por município	MTE (2019)	Microdados RAIS e CAGED	2018	ftp://ftp.mtpe.gov.br/pdet/microdados/
	Caracterização da indústria no estado	Por estado	CNI (2020)	Perfil da indústria nos estados	2017	http://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/ma
Recursos hídricos	Balanço hídrico quantitativo	Por microbacia	ANA (2015)	Shapefiles disponíveis na página do SNIRH	2015	https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=33722737-dc4a-466f-a2f4-d4e16642acec
Demografia, território e ZEE	Dados demográficos, socioeconômicos e gerais	Por município	IBGE (2020) e PNUD (2020)	Informações gerais por município	2019 e 2013	https://cidades.ibge.gov.br/ http://atlasbrasil.org.br/2013/
	Limites administrativos	-	IBGE (2015)	Malhas territoriais digitais	2015	https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais
	Modelo Digital de Elevação (MDE)	90 x 90 m	WEBER et al. (2004) - UFRGS	Modelo digital de elevação SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)	2004	https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/dados-espaciais/260-modelos-digitais-de-elevacao-do-srtm-no-formato-geotiff
	ZEE-MA e bases de dados adicionais	Zonas e subzonas	Batistella et al. (2014) e IMESC (2020)	Relatórios e bases de dados do Zoneamento Econômico-Ecológico do Maranhão	2014	http://www.zee.ma.gov.br/Portal/relatorios http://www.zee.ma.gov.br/Portal/basededados

Fonte: Elaborada pelos autores.

1.2 LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DE DADOS

1.2.1 OFERTAS DE ESGOTO TRATADO

As ofertas potenciais de esgoto tratado foram identificadas por meio de registros de bancos de dados das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) existentes. Foram utilizadas, principalmente, as informações sobre os processos de tratamento, as vazões e a localização de cada instalação. As bases de dados utilizadas foram as do Atlas Esgotos (ANA, 2017) e as cedidas diretamente pela Caema (2019a).

1.2.1.1 Processos de tratamento

Para a uniformizar a terminologia adotada para análise das estações de tratamento de esgotos, foi realizado o agrupamento dos distintos processos de tratamento existentes. O critério utilizado foi a semelhança de infraestrutura requerida e a qualidade do efluente final tratado, conforme a Tabela 2.

TABELA 2 – Agrupamento de processos de tratamento

Agrupamento	Processos
Terciário	Biológico seguido de terciário físico-químico
Lodos ativados	Convencional
	Aeração prolongada
	Com nitrificação e desnitrificação
	Lodos ativados precedido de UASB
UASB + polimento	UASB + lagoas
	UASB + filtro biológico percolador
	UASB + biofiltro aerado submerso
	UASB + filtro aerado submerso
Lagoas	Aeróbia + decantação + maturação
	Aeróbia + decantação
	Anaeróbia + facultativa + maturação
	Anaeróbia + facultativa
	Facultativa + maturação
	Facultativa
	Anaeróbia
UASB	Somente UASB
	UASB + cloração
Biossistemas	Biodigestor + filtro anaeróbio
	Biodigestor + filtro anaeróbio + wetlands

Agrupamento	Processos
Fossa séptica + filtro anaeróbio	Fossa séptica + filtro anaeróbio Decanto-digestor + filtro anaeróbio
Preliminar/primário	Estação de pré-condicionamento Decantação primária Tanque Imhoff
Outros	Não especificado/não informado

Fonte: Elaborada pelos autores.

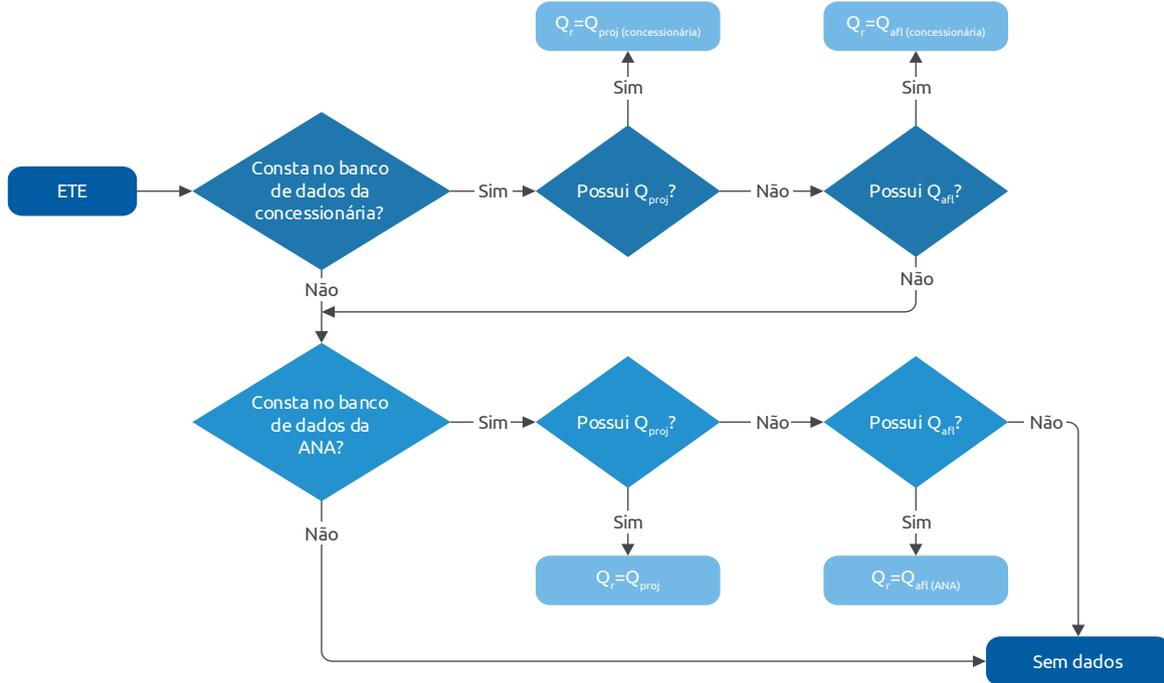
Não há dúvidas de que a qualidade dos efluentes tratados resultantes, por exemplo, de sistema australiano (lagoa anaeróbia seguida de facultativa e maturação) é diferente daquela de lagoas anaeróbias somente, de lodos ativados com nitrificação e desnitrificação e de lodos ativados convencionais precedidos de reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). No entanto, o agrupamento visou simplificar as nomenclaturas adotadas e permitir análises mais gerais tanto no estado como na comparação com outras unidades da federação.

1.2.1.2 Vazão de referência da ETE (Q_r)

As informações sobre as ETEs, por vezes, são incompletas, já que nem sempre constam dados de vazão de projeto (capacidade) e afluente (a que de fato chega à estação). Para se trabalhar com uma variável única de vazão, optou-se pela criação da grandeza vazão de referência da ETE, expressada por " Q_r ". A Q_r para cada ETE foi determinada segundo os seguintes critérios:

- 1) Foram utilizados, prioritariamente, os dados de vazão de projeto fornecidos pela Caema;
- 2) Para ETEs que constam somente no banco de dados da ANA, foram utilizadas as vazões de projeto destas;
- 3) Para as ETEs do banco de dados da ANA, em que a vazão de projeto é nula e a afluente é diferente de zero, $Q_r = Q_{\text{afluente}}$; e
- 4) Para as ETEs listadas em ambos os bancos de dados, foram utilizados, prioritariamente, os dados das concessionárias, conforme critério 1. Na ausência de dados da Caema, foram utilizados os valores do banco de dados da ANA, conforme o critério 3.

Optou-se pelo uso prioritário da vazão de projeto e não da afluente pelo fato de a primeira representar as capacidades máximas de tratamento das ETEs, o que, assim como no caso das outorgas, é mais aderente ao escopo de planejamento estratégico do presente estudo. A Figura 2 ilustra os critérios listados anteriormente.

FIGURA 2 – Fluxograma de critérios para determinação de Q_r (vazão de referência da ETE)

Fonte: Elaborada pelos autores.

1.2.2 DEMANDAS DE ÁGUA PELAS INDÚSTRIAS

As demandas de água para uso industrial foram identificadas a partir de registros de outorgas de captação subterrâneas e superficiais concedidas por órgãos estaduais e pela ANA para o setor.

Deve ser enfatizado que existem limitações em relação à utilização de outorgas para detecção e mensuração das demandas de água. Isso se justifica pela possibilidade de existência de captações ilegais (isto é, não outorgadas), principalmente de águas subterrâneas. A vazão outorgada não ser necessariamente a demandada pelo usuário e as variações sazonais de demanda ao longo do ano que não são traduzidas pela vazão outorgada.

No entanto, mesmo considerando-se as limitações apresentadas, o uso das outorgas justifica-se pelos seguintes fatores:

- As vazões outorgadas, por serem, geralmente, superiores às vazões retiradas, correspondem às potenciais demandas máximas de cada usuário e região. Portanto, este estudo, em razão de seu caráter de planejamento estratégico entre expansão/adequação da infraestrutura de saneamento básico, gestão de recursos hídricos e desenvolvimento industrial, utilizou dados de outorgas para estimativa do potencial de reúso; e

- As outorgas são instrumentos de gestão de recursos hídricos utilizados por todos os estados brasileiros (águas subterrâneas e rios estaduais) e pela União (rios federais) e são o único tipo de registro que permite a identificação e a localização individual de usuários, bem como da atividade econômica exercida.

As bases de dados utilizadas foram os relatórios de outorgas federais (ANA, 2020) e os bancos de dados recebidos diretamente da Sema (2020). Mais detalhes sobre o tratamento de dados de outorgas são apresentados no ANEXO A.

1.2.3 CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA

A caracterização do perfil da indústria foi realizada com base na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Foram consideradas somente as atividades constantes nas seções de B a F da CNAE 2.0, contemplando as divisões de 5 a 43, conforme a Tabela 3.

TABELA 3 – Seções e divisões CNAE 2.0 contempladas no estudo

Seção CNAE 2.0	Descrição	Divisão CNAE 2.0
B	Indústrias extrativas	5 a 9
C	Indústrias de transformação	10 a 33
D	Eletricidade e gás	35
E	Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	36 a 39
F	Construção	41 a 43

As principais informações avaliadas para a caracterização foram o Valor Adicionado (VA) pela indústria e o número de empregos industriais ativos por município a partir de bases de dados do IBGE (2020) e do MTE (2019).

1.3 OPORTUNIDADES POR ETE-USUÁRIO

A identificação de oportunidades por ETE-usuário levou em consideração características das ofertas (ETEs) e das demandas (usuários industriais outorgados) a partir da avaliação de suas vazões e localizações. Em resumo, o propósito foi caracterizar os usuários industriais localizados próximos às ETEs existentes, bem como indicar os locais onde a concentração de demandas industriais tem potencial de uso de água de reúso a partir de futuras estações.

Os procedimentos adotados incluíram:

- 1) Caracterização das ETEs do estado, contemplando suas vazões (Q_r , vazão de referência), o processo de tratamento adotado e a localização;
- 2) Caracterização das demandas de água com base nos registros de outorgas estaduais e federais, considerando as vazões outorgadas, o tipo de atividade econômica de acordo com a CNAE 2.0 e a localização;
- 3) Avaliação dos usuários localizados nas proximidades das estações a partir da delimitação da área de influência definida por um raio de 15 km em torno das ETEs¹ e do cômputo das outorgas contidas na área; e
- 4) Avaliação do potencial por ETE e identificação de agrupamentos de usuários que podem ser atendidos por futuras ETEs.

1.4 OPORTUNIDADES NAS SUBZONAS DO ZEE – ÍNDICE DE APTIDÃO AO REÚSO (IAR)

Para identificação das oportunidades de reúso nas subzonas definidas pelo ZEE, foi desenvolvida uma metodologia específica baseada em análise multicritério, com o uso de um Modelo Multicritério de Apoio à Decisão (MMAD). O modelo escolhido foi o Analytic Hierarchy Process (AHP), um MMAD de análise hierárquica baseado no princípio da comparação de pares (SAATY, 2008).

O AHP foi aplicado juntamente com o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG), configurando o que é denominado SIG-MMAD (ou GIS-MCDA, na sigla em inglês). Todas os procedimentos de SIG foram realizados em Quantum GIS 3 (QGIS3)², com as funcionalidades SAGA (Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado) e GRASS (Geographic Resources Analysis Support System).

O modelo criado teve como objetivo calcular o valor de uma variável quantitativa que representasse a aptidão de determinada área ao reúso, utilizando critérios considerados favoráveis a essa condição. Determinou-se que o índice resultante do modelo é o Índice de Aptidão ao Reúso (IAR).

1 Nos demais estudos da CNI, foi utilizado um raio de 10 km. Nesta edição, optou-se por incremento de 5 km (15 km total) por causa da escassez de ETEs no estado do Maranhão, buscando-se ampliar o critério de identificação de oportunidades.

2 Software livre disponível para download em: <https://qgis.org/en/site/>.

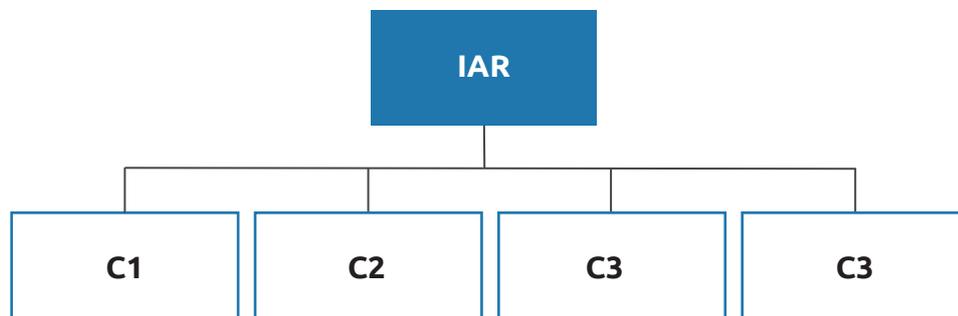
1.4.1 CONCEITUAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DE IAR

De forma resumida, o modelo é estruturado e opera da seguinte maneira:

- Seu objetivo é devolver uma variável quantitativa que expresse a atratividade de reúso em determinada área, medida pelo IAR;
- Foram definidos os critérios considerados importantes para a identificação de determinada área como apta à prática de reúso industrial;
- A cada critério é atribuído um peso (ou importância) que o classifica em relação aos demais. Esse procedimento é realizado pela comparação paritária entre os critérios. Outros procedimentos, como análise de consistência e derivação de prioridades, são também previstos para obtenção das importâncias de cada um dos critérios;
- Cada critério representa um atributo real que é expresso por uma variável qualitativa ou quantitativa (por exemplo, 50 L/s de demanda industrial). Como é comum que os critérios possuam naturezas, unidades e abrangências distintas entre si, é necessário adotar um padrão único para sua utilização. Isso é feito por meio de um procedimento denominado “normalização”;
- A normalização consiste na conversão dos valores de cada critério a escalas fixas. Adotou-se escala de 0 a 1, sendo que 0 representa a condição menos desejável em relação ao objetivo do modelo e, analogamente, 1 equivale à condição mais desejável. As normalizações foram realizadas por transformação linear ou regra discreta específica;
- A partir dos pesos dos critérios e dos valores normalizados, o IAR é calculado para cada região pelo somatório dos produtos entre os critérios e os valores normalizados; e
- A comparação dos valores de IAR por região indica quais são as que possuem mais atratividade ao reúso. Quanto maior o IAR, mais apta ao reúso é a área.

Informações adicionais sobre procedimentos específicos do modelo são apresentadas no ANEXO B.

Foram adotados quatro critérios considerados relevantes para cálculo da aptidão de reúso, conforme os tópicos a seguir e a Figura 3.

FIGURA 3 – Estrutura do modelo do IAR**Legenda**

- IAR** – Índice de Aptidão a Reúso
C1 – Critério 1: subzonas do ZEE
C2 – Critério 2: demandas industriais
C3 – Critério 3: gerações de esgotos
C4 – Critério 4: balanço hídrico

Fonte: Elaborada pelos autores.

C1. Subzona do ZEE

- Descrição: subzonas definidas pelo ZEE-MA.
- Unidade: não possui unidade (qualitativo).
- Aplicação: o ZEE define zonas e subzonas que orientam o desenvolvimento econômico sustentável no estado. Algumas delas são consideradas pelo ZEE como dotadas de “potencial social”, ou seja, aquelas que, entre outras diretrizes, são aptas ao desenvolvimento industrial (subzonas 1.1 a 1.4).
 - Critério de inclusão/exclusão: considerou-se que somente as zonas com algum potencial social ou as urbanas são aptas para a prática de reúso de água, ou seja:
 - Subzonas aptas: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 e 5 (subzonas com potencial social ou áreas urbanas);
 - Subzonas excluídas: todas as demais (áreas com elevada fragilidade ambiental, unidades de conservação, terras indígenas, áreas reservadas a usos estratégicos das forças armadas etc.); e
 - Critérios de normalização: para as subzonas consideradas aptas, quanto maior o potencial social, mais favorável é a condição ao reúso.
- Fontes de dados: Relatório IV do ZEE (BATISTELLA et al., 2014) e shapefiles das subzonas (IMESC, 2020).

C2. Demandas industriais

- Descrição: soma das demandas industriais (a partir de outorgas de captação) por município.

- Unidade: L/s.
- Aplicação: quanto maiores as demandas industriais na área, maiores as oportunidades de abastecimento por água de reúso.
- Faixa de valores: 0 a 2.143 L/s.
- Fontes de dados: ANA (2020) e Sema (2020).

C3. Geração de esgotos

- Descrição: vazão de esgotos domésticos gerados por município.
- Unidade: L/s.
- Aplicação: maiores vazões de esgoto tratado resultam em maior oferta potencial de água de reúso para a indústria.
- Faixa de valores: 0 a 1.813 L/s.
- Fonte de dados: ANA (2017b).

C4. Balanço hídrico

- Descrição: condição de balanço hídrico quali-quantitativo por microbacia hidrográfica. É um critério não numérico que classifica a condição de balanço hídrico integrado levando em consideração aspectos quantitativos (vazões retiradas versus disponibilidade hídrica natural) e qualitativos (comprometimento da qualidade dos mananciais). Em outras palavras, o balanço quali-quantitativo é uma análise integrada da criticidade sob os pontos de vista qualitativo e quantitativo³.
- Unidade: não possui.
- Aplicação: quanto mais crítico o balanço hídrico, mais desejável é a diversificação de fontes de água e maior a atratividade de reúso.
- Faixa de valores: satisfatório, criticidade qualitativa, criticidade quantitativa, criticidade quali-quantitativa.
- Fonte de dados: ANA (2015).

A partir da atribuição paritária de importâncias, da análise de consistência e da derivação de prioridades, chega-se aos pesos individuais de cada critério, os quais são apresentados na Tabela 4. Os processos de atribuição paritária de importâncias e derivação de prioridades (pesos) constam no ANEXO B.

3 <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=33722737-dc4a-466f-a2f4-d4e16642accc>.

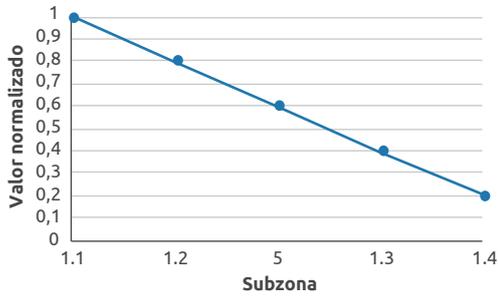
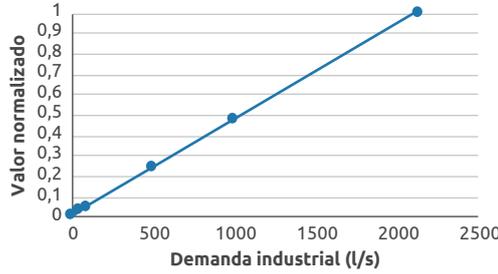
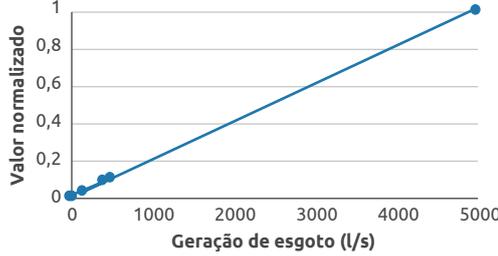
TABELA 4 – Matriz de importâncias dos critérios

Sigla	Critério	Escala	Unidade	Peso (P)
C1	Subzonas do ZEE	subzona	-	0,269
C2	Demanda industrial	município	L/s	0,381
C3	Esgoto gerado	município	L/s	0,222
C4	Balanço hídrico	microbacia	-	0,128

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como já explicado, os valores de cada critério necessitam de normalização antes de sua utilização. Os critérios quantitativos (C2 e C3) foram normalizados por transformação linear e os qualitativos (C1 e C4), por regras de normalização discretas específicas. A Tabela 5 apresenta a normalização aplicada a cada critério, bem como os gráficos com o valor absoluto (eixo x) e o normalizado (eixo y).

TABELA 5 – Normalização dos valores dos critérios

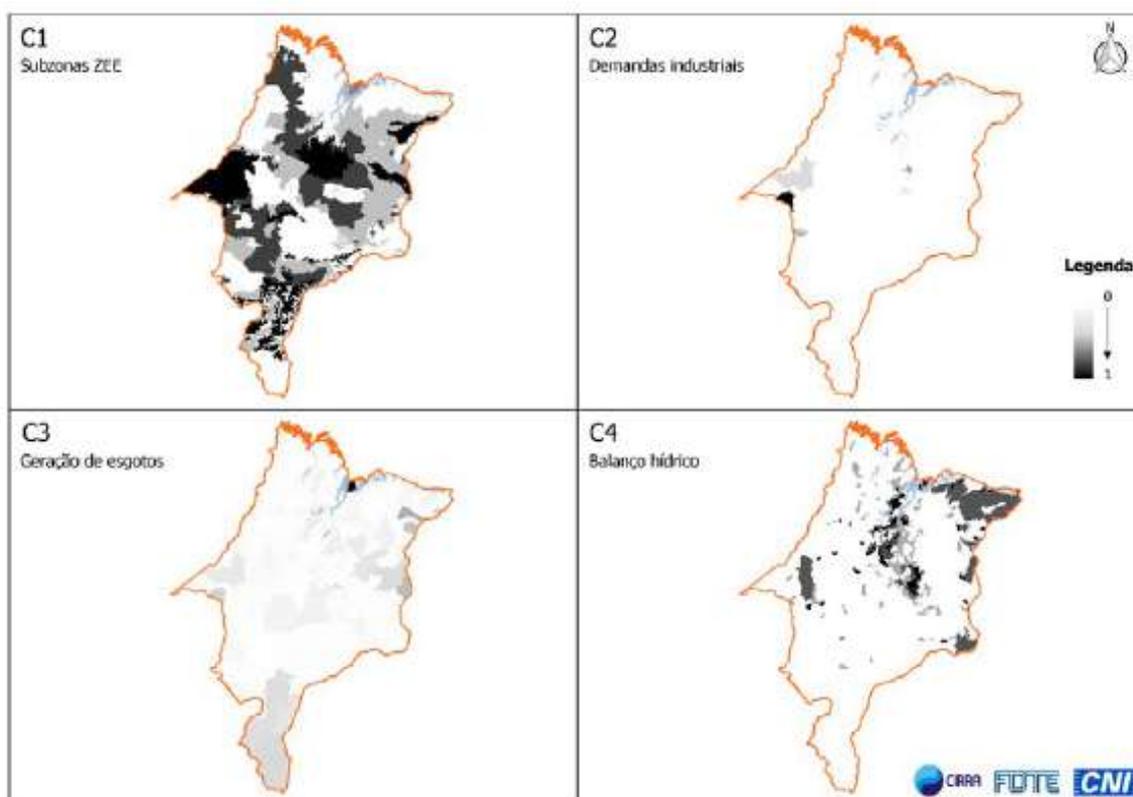
Sigla	Faixa de valores	Função/ regra de normalização	Gráfico
C1 Subzona do ZEE-MA	1.1, 1.2, 1.3, 1.4 e 5	<p>1.1= 1,00 1.2= 0,80 5= 0,60 1.3= 0,40 1.4= 0,20</p> <p>Demais zonas foram consideradas impróprias (excluídas)</p> <p>Subzonas com maior potencial possuem maior valor de C1</p>	
C2 Demandas industriais (L/s)	0 – 2.143 l/s	$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$ <p>Maiores valores de demandas industriais possuem maior valor de C2</p>	
C3 Geração de esgotos (L/s)	0 – 1.813 L/s	$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$ <p>Maiores valores de esgoto gerado possuem maior valor de C3</p>	

Sigla	Faixa de valores	Função/ regra de normalização	Gráfico
C4 Balanço hídrico	4 classes de criticidade	Criticidade qualiquantitativa = 1,0 Criticidade quantitativa = 0,667 Criticidade qualitativa = 0,333 Condição satisfatória = 0 Maior criticidade de balanço hídrico conduz a maiores valores de C4	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Assim, os valores foram normalizados em escalas de 0 a 1. Os mapas da Figura 4 mostram os valores normalizados de cada critério para o estado do Maranhão.

FIGURA 4 – Mapas com valores normalizados dos critérios C1 a C4



Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir dos valores normalizados (N) e dos pesos (P) para cada critério, o IAR de cada região "i" é calculado segundo a Equação 1:

$$IAR_i = \sum_j^K (N_{j,i} \times P_j) \quad \text{Equação 1}$$

- IAR_i Índice de atratividade de reúso para a região "i"
 $N_{j,i}$ Valor normalizado do critério "j" para a região "i"
 P_j Peso do critério "j"
 K Quantidade de critérios (4)

Utilizando-se os pesos mostrados na Tabela 4 na Equação 1, o IAR é calculado então pela Equação 2:

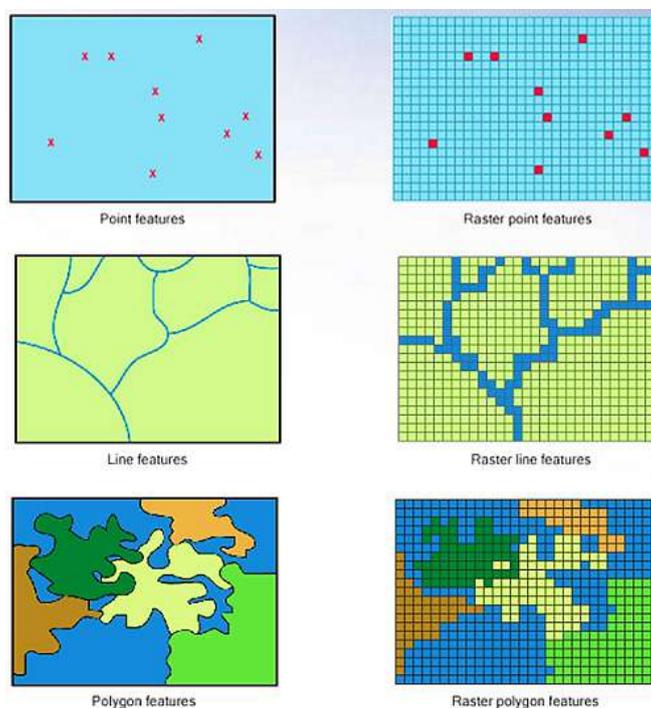
$$IAR_i = N_{1,i} \times 0,269 + N_{2,i} \times 0,381 + N_{3,i} \times 0,222 + N_{4,i} \times 0,128 \quad \text{Equação 2}$$

- IAR_i Índice de atratividade de reúso para a região "i"
 $N_{1-4,i}$ Valor normalizado dos critérios 1 a 4 para a região "i"

1.4.2 USO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) PARA APLICAÇÃO DO MODELO

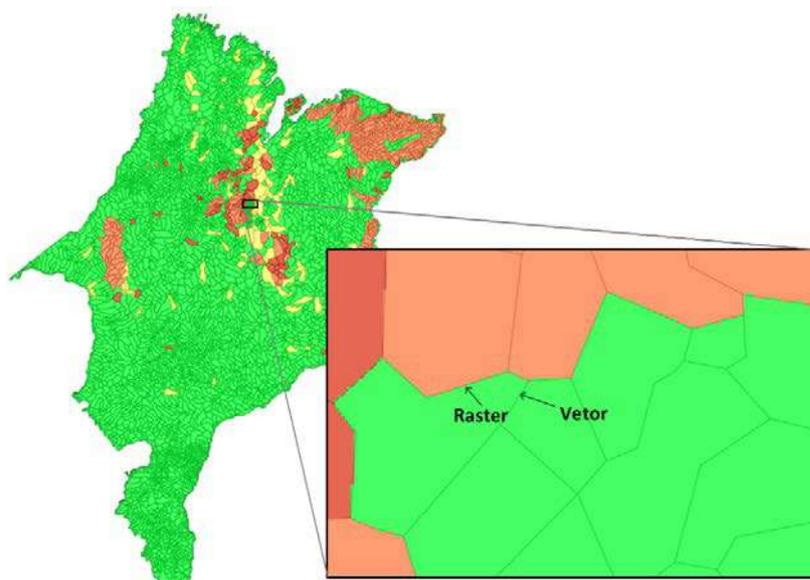
O conjunto dos critérios escolhidos possui uma peculiaridade: nem todos são apresentados nos mesmos recortes geográficos, como fica claro na Figura 4. Por exemplo, dados de geração de esgotos são somente apresentados por município, o zoneamento do ZEE em subzonas específicas e o balanço hídrico por microbacia hidrográfica.

Para contornar essa condição, foram utilizados recursos de SIG que "fragmentam" a informação espacial em áreas menores, permitindo que a comparação seja feita em pequenas porções padronizadas de território. Esse procedimento é denominado "rasterização" e consiste na conversão de atributos vetoriais (polígonos, no caso) em imagem (raster) compostas por pixels. Cada pixel, na resolução utilizada, equivale a uma porção territorial de, aproximadamente, 90 x 90 m. A Figura 5 exemplifica o processo de "rasterização".

FIGURA 5 – Exemplo de “rasterização”

Fonte: http://gsp.humboldt.edu/OLM_2017/Lessons/GIS/08%20Rasters/RasterToVector.html.

Assim, em ambiente SIG, o modelo foi aplicado para cada porção de território (pixel), devolvendo um valor de IAR para cada uma delas. A Figura 6 ilustra a comparação entre objetos vetoriais (polígonos) e atributos raster de balanço hídrico qualitativo para o estado do Maranhão.

FIGURA 6 – Comparação entre camadas vetoriais e raster de balanço hídrico por microbacia hidrográfica

Fonte: Elaborada pelos autores com base em ANA (2015).

1.5 ESTIMATIVA DE CUSTOS

1.5.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS GERAIS

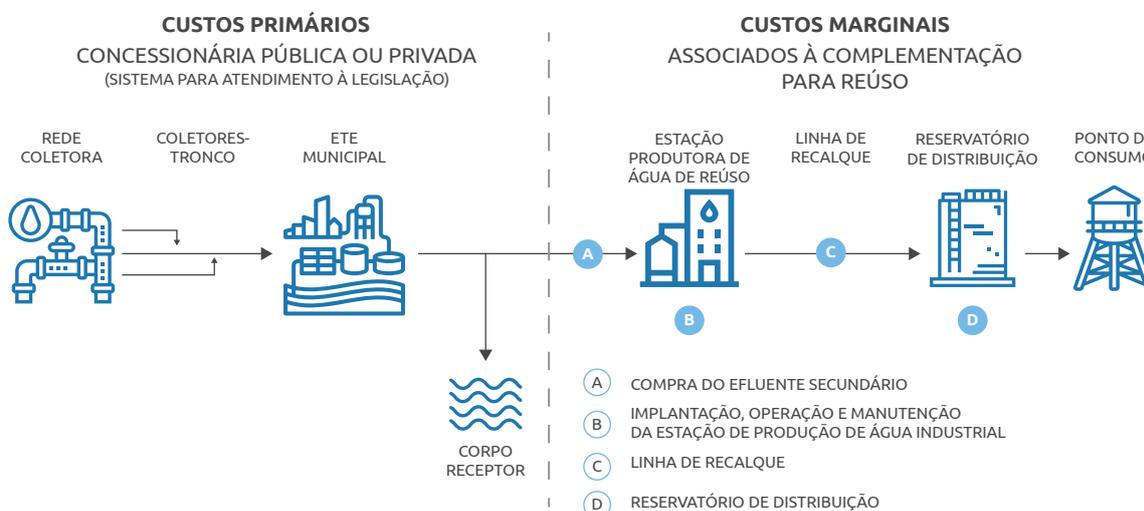
A estimativa contemplou custos e tarifas mínimas referentes à produção e distribuição de água de reúso, levando em consideração:

- A.** Aquisição do efluente tratado: compra do efluente tratado (secundário) para produção de água de reúso;
- B.** Tratamento complementar para adequação da qualidade: adequação do efluente às exigências de qualidade para uso não potável industrial;
- C.** Linha primária de distribuição: transporte de água de reúso por adutoras até as proximidades dos pontos de uso; e
- D.** Reservação final: reservação da água de reúso nas proximidades dos pontos de uso.

Neste estudo foram contemplados os custos “B”, “C” e “D”, uma vez que a aquisição de efluente tratado (“A”) é dependente de condições específicas de cada arranjo junto ao produtor de água de reúso. Para a composição total de valores considerando-se o custo A, basta somar seu valor, em R\$/m³, aos resultados obtidos pela estimativa.

Foram estimados os custos de capital – Capex (capital expenditures) e de operação – Opex (operational expenditures) do sistema de tratamento, de adução e de reservação de água de reúso, tendo como objetivo a determinação de tarifas mínimas. Isso visa orientar tanto os clientes (consumidores industriais) como as empresas fornecedoras de água de reúso para viabilizar a implantação de eventuais distritos industriais nos diversos municípios ou grupos de municípios do estado.

Os custos atribuídos ao reúso de água são aqueles associados às unidades de tratamento, de distribuição e de reservação complementares necessários para obtenção e uso de água de reúso com qualidade compatível com os padrões de qualidade definidos. Os custos primários associados aos sistemas de tratamento convencionais de esgotos não devem ser atribuídos ao reúso, dado que são legalmente necessários para o atendimento aos padrões estabelecidos pela resolução Conama nº 357 de 2005 e suas alterações, bem como as legislações estaduais aplicáveis. A Figura 7 ilustra esquematicamente os “custos primários” e os “custos marginais”.

FIGURA 7 – Custos primários e marginais associados ao reúso

Fonte: Elaborada pelos autores com base em CNI (2017b).

Dessa maneira, foram calculados os custos e as tarifas de água de reúso (item 3.3.1) e também o desconto aplicável pela desconsideração dos custos primários de tratamento convencional (item 3.3.2).

O padrão de qualidade de reúso adotado como referência foi o compatível com usos em sistemas de resfriamento, o qual pode ser obtido por utilização de reatores biológicos com membranas submersas (MBR – membrane bioreactor), para o caso de esgoto sanitário. Mesmo que não seja objetivo deste trabalho o aprofundamento em aspectos de qualidade da água, o conjunto sucinto de variáveis de qualidade da Tabela 6 representa o padrão utilizado como referência.

TABELA 6 – Padrão de qualidade de referência de água de reúso para uso em sistemas de resfriamento

Parâmetro	Unidade	Valor
Coliformes termotolerantes	UFC/100 mL	Ausentes
DBO _{5,20}	mgO ₂ /L	< 10
DQO	mgO ₂ /L	< 20
Turbidez	UNT	< 1

Fonte: Adaptado de Crook (1996) apud Mierzwa (2002), EPA (2012), CNI (2017a), Sabesp (2010) e MCidades (2017).

Como será abordado no item 2.1, o tratamento de esgotos do Maranhão é realizado, predominantemente, por lagoas ou reatores anaeróbios (UASB), processos que não possuem eficiência suficiente para a produção de água de reúso para os usos propostos. Portanto, foi prevista a instalação de sistemas MBR para tratamento de esgoto sanitário e produção de água de reúso.

Em comparação com as estimativas de custos realizadas nas outras etapas da série de estudos sobre reúso da CNI, a do Maranhão segue, de forma geral, a mesma metodologia, mas com as seguintes alterações:

- atualização das funções de custos de distribuição, considerando bases de dados da Caema (2019b) para estações elevatórias e obras lineares;
- atualização das funções de custos de tratamento, considerando a construção de sistemas de tratamento pelo processo MBR;
- modificações mínimas nos métodos financeiros para cálculo de tarifa mínima;
- utilização da tarifa de energia elétrica local (Cemar); e
- consideração adicional sobre o desconto dos custos de tratamento convencional para atendimento à legislação.

1.5.2 FUNÇÕES DE CUSTOS

As estimativas de custos foram feitas utilizando-se equações que expressam o custo em função de alguma variável de interesse, como vazão, distância, diâmetro da tubulação, volume de reservação e potência.

Isso é particularmente importante devido ao ganho de escala. Sistemas de tratamento centralizados e de grande porte conduzem a comprovados ganhos de escala no tratamento (GUO et al., 2014; JUNG et al., 2018), mas também requerem maiores investimentos na distribuição da água aos usuários (SGROI et al., 2018) e na própria rede de coleta de esgotos brutos. De outra forma, sistemas descentralizados resultam em economias em obras lineares, mas os custos com os sistemas de tratamento são mais elevados, justamente em razão da perda dos ganhos de escala (JUNG et al., 2018). Essa questão torna-se especialmente importante no caso do reúso não potável, uma vez que a prática exige a construção e manutenção de sistemas de distribuição separados da rede potável (WILCOX et al., 2016).

Os custos foram divididos em custos de capital (Capex, capital expenditures) e de operação/manutenção (Opex, operational expenditures), e foram determinados com base em literatura técnica, dados unitários fornecidos pela Caema e experiência dos autores. Para custos oriundos de referências internacionais, utilizou-se a cotação média do dólar para o ano base. As correções monetárias foram feitas pelo índice Construction Cost Index (CCI)⁴ da Engineering News-Record (ENR) para março de 2020.

4 Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/technical/econ/prices/>.

As funções de custos utilizadas constam na Tabela 7. O ANEXO C apresenta o desenvolvimento detalhado das equações.

TABELA 7 – Síntese de métodos, fontes de dados e funções para estimativa de custos

Item	Capex	Opex
Tratamento	Capex _{trat} = 3,311 × Q ^{-0,154} [a] Capex _{trat} (R\$/m ³ /ano), Q (m ³ /s)	Opex _{trat} = 0,2412 × Q ^{-0,179} + EE × TE [b] Opex _{trat} (R\$/m ³), Q (m ³ /s), EE (kWh/m ³), TE (R\$/kWh)
Estações elevatórias	Capex _{EE} = 0,1161 × Q ^{-0,514} [c] Capex _{EE} (R\$/m ³ /ano)	Opex _{ad} = $\frac{P \times t \times TE + 4,5\% (\text{Capex}_{EE} + \text{Capex}_{ad})}{Q_{\text{anual}}}$ [f]
Aduadoras	Capex _{ad} = - 0,001 DN ² + 2,88 DN + 78,5 [c] Capex _{ad} (R\$/m), DN (mm)	Opex _{ad} (R\$/m ³), P (kW), TE (R\$/kWh), t (h/ano), Capex _{EE} (R\$), Capex _{ad} (R\$), Q _{anual} (m ³ /ano)
Reservação	Capex _{res} = 4.593,7 × V ^{-0,2,9} [d] Capex _{res} (R\$/m ³ de res.), V (m ³ de res.)	Opex _{res} = 4,5% × Capex _{res} × V [e] Opex _{res} (R\$/ano), Capex _{res} (R\$/m ³ de res.), V (m ³ de res.)

Capex _{trat}	custos de capital de tratamento	Capex _{EE}	custos de capital de elevatórias	Q	vazão
Opex _{trat}	custos de operação de tratamento	Opex _{EE}	custos de capital de elevatórias	EE	demanda de energia elétrica de tratamento
Capex _{EE}	custos de capital de elevatórias	DN	diâmetro nominal da tubulação	TE	tarifa de energia elétrica
Capex _{ad}	custos de adutoras	P	potência do conjunto motor-bomba	t	tempo de operação
Opex _{ad}	custos de capital de adução	V	volume de reservação		
Capex _{res}	custos de capital de reservação				
Opex _{res}	custos de operação de reservação				

Fontes: Adaptado de [a] Guo et. al (2014); [b] Adham & DeCarolís (2004); [c] Caema (2020b); [d] CNI (2019a); e [e] 4,5% com base em OECD/EAP (2005), Nogueira (2010) e MCidades (2017).

A potência (P) utilizada na estimativa de Opex_{ad} é função da altura manométrica total (AMT) e da vazão (Q). A AMT é calculada pela Equação 3.

$$AMT = \frac{10,643 Q^{1,85}}{C^{1,85} DN^{4,87}} \times L + \frac{V^2}{2g\Sigma K_s} + \Delta H_g \quad \text{Equação 3}$$

AMT (m)	Altura manométrica total
Q (m ³ /s)	Vazão
DN (m)	Diâmetro da tubulação
C (m ^{0,387} /s)	Coefficiente de rugosidade
v (m/s)	Velocidade de escoamento
L (m)	Comprimento da tubulação
ΣK _s	Somatório dos coeficientes de perda de carga singular
g (m/s ²)	Aceleração da gravidade
ΔH _g (m)	Desnível geométrico

A potência foi então determinada pela Equação 4.

$$P = \frac{9,85 \times Q \times AMT}{\eta} \quad \text{Equação 4}$$

Potência (kW)	Potência requerida do conjunto motor-bomba
Q (m ³ /s)	Vazão
AMT (m)	Altura manométrica total
η (%)	Eficiência do conjunto motor-bomba

Na Tabela 8 são apresentadas as variáveis aplicadas às funções da Tabela 7. Algumas delas, conforme será mostrado no item 1.5.4, variam de acordo com o cenário de projeto genérico.

TABELA 8 – Variáveis para cálculo de Capex e Opex

Item	Descrição	Valor
DN (mm)	Diâmetro da tubulação	Varia de acordo com a vazão e com a perda de carga considerada aceitável. Para trecho por gravidade, o DN busca garantir pressão mínima de 10 mca (metros de coluna d'água) no ponto de uso
v (m/s)	Velocidade de escoamento	Variável (depende de DN). Mantido preferencialmente abaixo de 1,50 m/s
η	Eficiência do conjunto motor-bomba	71% (80% da bomba e 89% do motor)
TE (R\$/kWh)	Tarifa de energia elétrica	0,63018 (a)
EE (kWh/m ³)	Demanda de energia elétrica no tratamento	0,634 (b)
L (m)	Comprimento da adutora	Varia de acordo com os cenários de projeto, sendo de 4,0 a 8,0 km para trecho pressurizado e igual a 5,0 km para trecho por gravidade
ΣKs	Somatório dos coeficientes de perda de carga singular	12
ΔHg (m)	Desnível geométrico	50 m para trecho pressurizado e 30 m para trecho por gravidade
C (m0,387/s)	Coefficiente de rugosidade da tubulação	120
V (m ³)	Volume de reservação	Varia de acordo com a vazão. Faixa entre 500 e 2.000 m ³
t (h/ano)	Tempo anual de operação do sistema elevatório	8.760 (24h/dia)

(a) Tarifa Cemar para clientes comerciais/ industriais/ poder público em 2019. Disponível em: <https://ma.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/valor-de-tarifas-e-servicos/#demais-classes>.

(b) Adham & DeCarolis (2004).

(c) Cotação média de 2019.

(d) Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/technical/econ/prices/>.

1.5.3 CÁLCULO DE TARIFA

O cálculo de tarifa foi realizado considerando-se as funções de custos de Capex e Opex (item 1.5.2), taxa de juros fixa e tempo de retorno de 30 anos. Adotou-se o método do Valor Presente Líquido (VPL), o qual consiste em trazer ao valor presente pagamentos futuros (considerando-se descontos em razão de taxas de juros) e os descontos do investimento inicial.

As seguintes premissas foram adotadas:

- O investimento é economicamente viável no prazo de retorno estipulado, ou seja, $VPL = 0$;
- O tempo de retorno é igual a 30 anos. Esse valor foi adotado com base em valores de praxe em projetos de infraestrutura e é o mesmo adotado em outros estudos sobre reúso da CNI (2017b, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2020); e
- A taxa de juros é fixa e igual a 12% aa. Esse valor também foi adotado com base em valores de praxe de engenharia (em geral entre 10 e 15%) e é o mesmo adotado em outros estudos sobre reúso da CNI (2017b, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2020).

O cálculo genérico do VPL é como apresenta a Equação 5.

$$0 = VPL = - Capex + \sum_{n=1}^N \frac{FC}{(1+i)^n} \quad \text{Equação 5}$$

VPL (R\$)	Valor Presente Líquido
FC (R\$/ano)	Fluxo de caixa anual
N (anos)	Período de retorno do investimento
n (ano)	Ano
i (% aa)	Taxa anual de juros

Especificamente quando $n = N$ (ou seja, ao final do tempo de retorno analisado), o somatório $\sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+i)^n}$ pode ser calculado analiticamente, como mostra a Equação 6.

$$\sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+i)^n} = \frac{1-(1+i)^{-N}}{i} \leftrightarrow n = N \quad \text{Equação 6}$$

i (% aa)	Taxa anual de juros
N (anos)	Tempo de retorno de investimento
n (anos)	Ano

Neste estudo, o FC é uniforme e igual à subtração da receita anual pelo Opex anual, ou $FC = Tarifa \times Q_{anual} - Opex_{anual}$. Assim, adaptando-se a Equação 3 às especificidades deste trabalho e considerando-se a equivalência da Equação 2, a tarifa é obtida pela Equação 7.

$$0 = VPL = - Capex + \sum_{n=1}^N \frac{FC}{(1+i)^n} - \left(\frac{Capex \times i}{1-(1+i)^{-N}} + Opex_{anual} \right) \frac{1}{Q_{anual}} \leftrightarrow n = N \quad \text{Equação 7}$$

VPL (R\$)	Valor Presente Líquido
Tarifa (R\$/m ³)	Tarifa unitária
FC (R\$/ano)	Fluxo de caixa
Capex (R\$)	Custo de capital
Q _{anual} (m ³ /ano)	Vazão anual
Opex _{anual} (R\$/ano)	Custo de operação anual
N (anos)	Período de retorno do investimento
n (ano)	Ano
i (% aa)	Taxa anual de juros

Existe também a possibilidade de se calcular a Taxa Interna de Retorno (TIR) do investimento para um valor de tarifa já definido. Nesse caso, a TIR irá indicar qual é a atratividade do investimento a partir do Capex, do Opex e da tarifa. Com base na Equação 5 e na Equação 7, obtém-se a “TIR” pela Equação 8.

$$\sum_{n=1}^N \frac{FC}{(1+TIR)^n} = Capex \rightarrow \sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+TIR)^n} = \frac{Capex}{Tarifa \times Q_{anual} - Opex_{anual}} \quad \text{Equação 8}$$

VPL (R\$)	Valor Presente Líquido
Tarifa (R\$/m ³)	Tarifa unitária
FC (R\$/ano)	Fluxo de caixa anual
Capex (R\$)	Custo de implantação
Q _{anual} (m ³ /ano)	Vazão anual
Opex _{anual} (R\$/ano)	Custo de operação anual
N (anos)	Período de retorno do investimento
n (ano)	Ano
TIR (% aa)	Taxa Interna de Retorno

A TIR pode ser utilizada para comparação com outras variáveis, como a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), para avaliação da viabilidade econômica do investimento.

1.5.4 CENÁRIOS DE PROJETO GENÉRICO

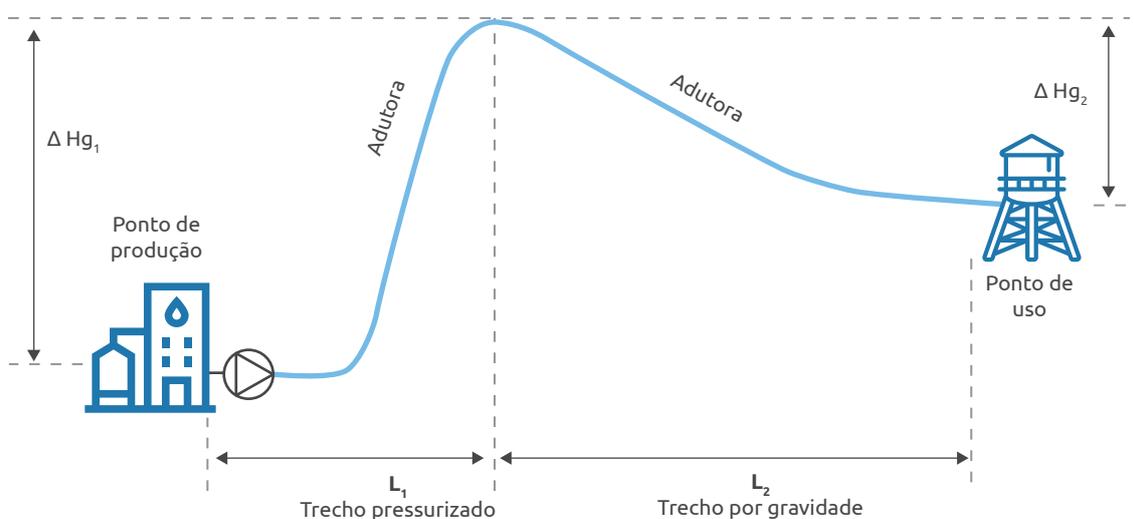
Foram elaborados oito cenários de projeto genérico, contemplando vazões, comprimentos de adutoras e volumes de reservação diferentes, tendo como objetivo a avaliação das tendências de custos para situações distintas. Os cenários “A” possuem menor comprimento de linha pressurizada (5 km) e os “B”, maior (8 km). Para cada cenário, as vazões e os volumes são variados, conforme apresenta a Tabela 9.

TABELA 9 – Cenários de projeto genérico

	Cenário	Vazão (m ³ /s)	L1 - linha de recalque (km)	L2 - linha por gravidade (km)	Reservação (m ³)
A	A1	0,050	4,0	5,0	500
	A2	0,100	4,0	5,0	1.000
	A3	0,200	4,0	5,0	1.500
	A4	0,500	4,0	5,0	2.000
B	B1	0,050	8,0	5,0	500
	B2	0,100	8,0	5,0	1.000
	B3	0,200	8,0	5,0	1.500
	B4	0,500	8,0	5,0	2.000

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 8 a seguir ilustra a concepção de projeto genérico e as variáveis alteradas entre cada cenário.

FIGURA 8 – Esquematização do projeto genérico

Fonte: Elaborada pelos autores

Os desníveis geométricos (ou seja, a “diferença de altura”) dos trechos 1 e 2 foram fixados em 50 m e 30 m, respectivamente. Portanto, os comprimentos e desníveis ilustrados na Figura 8 variam como apresentado na Tabela 10.

TABELA 10 – Parâmetros de variação dos cenários

Variável	Valor	Descrição
$\Delta Hg1$ (m)	50	Desnível geométrico entre o ponto de produção de água e o mais alto do perfil da linha de adução
$\Delta Hg2$ (m)	30	Desnível geométrico entre o ponto mais alto do perfil da linha de adução e o ponto de uso. No ponto de uso, a pressão mínima deve ser de 10 mca (metros de coluna d'água)
L1 (km)	4 - 8	Comprimento do trecho pressurizado (varia com o cenário)
L2 (km)	5	Comprimento do trecho por gravidade

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para cada um desses cenários, foram estimados custos e a tarifa mínima, o que permitiu a obtenção das funções de custos apresentadas no item 3.3.

1.5.5 CONSIDERAÇÃO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO PARA ATENDIMENTO À LEGISLAÇÃO

Partindo-se do pressuposto de que os custos de tratamento de esgoto para atendimento à legislação não são atribuíveis ao reúso (dado que têm como objetivo garantir qualidade mínima para lançamento em corpo hídrico), é possível realizar o exercício de “descontá-los” dos custos de reúso, chegando-se ao que se denominou “custo marginal”. Nesse caso, somente os custos de tratamento são descontados, uma vez que a distribuição e a reservação de água de reúso não têm relação com o tratamento convencional.

Como o tratamento de esgotos no estado do Maranhão é basicamente realizado por reatores anaeróbios tipo UASB (ver item 2.1 na sequência), assumiu-se esse processo como referência. Foram utilizadas funções de Capex e Opex para reatores UASB descritas por Brites (2010) e atualizadas pelo CCI/ENR para mar/2020. As equações foram ajustadas⁵ para vazão (Q) em m³/s e os resultados, em custos unitários (R\$/m³/ano para Capex e R\$/m³ para Opex).

5 Brites (2010) apresenta custos totais (milhões de R\$) em função de população (mil habitantes). Para conversão em vazão, assumiu-se geração *per capita* de esgotos igual a 150 l/dia.

TABELA 11 – Custos associados ao tratamento convencional (UASB)

Tipo	Função
Capex	$Capex_{UASB} = 0,812 Q^{-0,01}$ Q (m ³ /s) $CapexUASB$ (R\$/m ³ /ano)
Opex	$Opex_{UASB} = 0,0762 Q^{-0,10}$ Q (m ³ /s) $OpexUASB$ (R\$/m ³)

Fonte: Adaptada de Brites (2010).

As funções acima resultam em custos unitários de implantação entre 0,80 – 0,85 R\$/m³/ano e de operação entre 0,08 – 0,12 R\$/m³, o que está de acordo com faixas de valores apresentados por Von Sperling (2016).

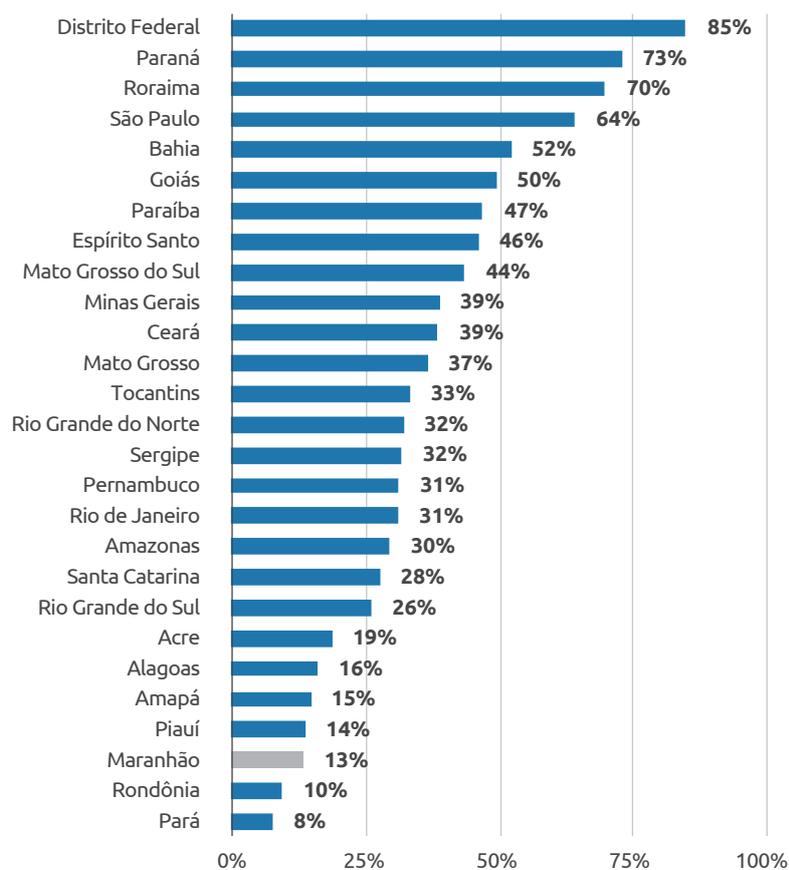


2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO

2.1 TRATAMENTO DE ESGOTOS

O estado do Maranhão possui o terceiro menor índice de tratamento de esgoto do país (13,5%), como mostrado na Figura 9. Mesmo assim, entre 2017 e 2018, o estado demonstrou importante avanço no indicador, passando, em menos de um ano, de 9,2% para 13,5% (SNS/MDR 2019a, 2019b).

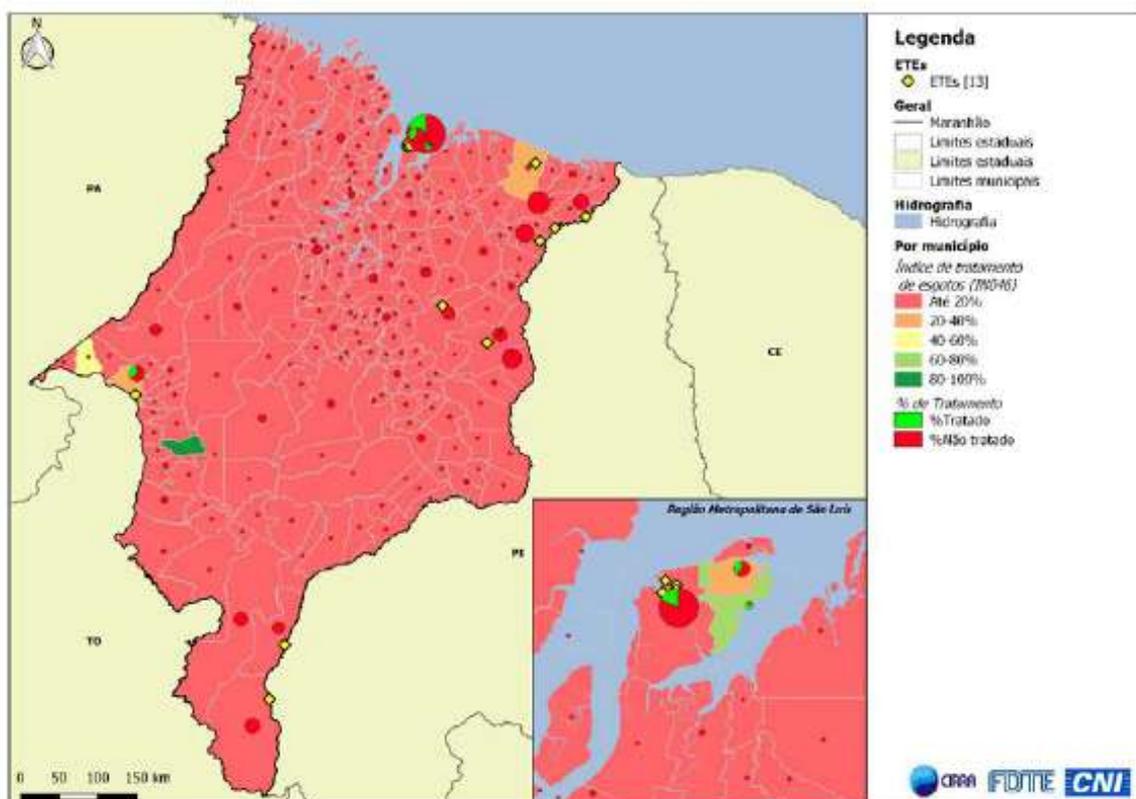
FIGURA 9 – Índice de tratamento de esgotos (IN046 do SNIS)



Fonte: SNS/MDR (2019b).

A grande maioria das cidades possui índice de tratamento abaixo dos 20%, com somente algumas exceções, como Imperatriz, Barreirinhas, Paço do Lumiar e São José do Ribamar, com valores maiores. O mapa da Figura 10 mostra o índice de tratamento de esgotos por município segundo o SNIS 2018 (indicador IN046).

FIGURA 10 – Mapa das ETEs e índice de tratamento por município (IN046 do SNIS)



Fontes: ANA (2017b), SNS/MDR (2019b) e Caema (2019a). Shapefiles de território IBGE (2015). Elaborada pelos autores.

A sobreposição dos dados de ETEs e de índice de tratamento evidencia a existência de algumas cidades, como Lajeado Novo e Vila Nova dos Martírios, as quais, ainda que não possuam ETE, declaram coberturas relativamente altas de tratamento. Isso pode ser devido tanto à carência de dados sobre eventuais ETEs nesses municípios quanto aos desvios das bases de dados do SNIS em razão de sua natureza autodeclaratória.

As estimativas de geração de esgotos no Maranhão variam entre 5.735 e 6.355 L/s, enquanto o tratamento permanece na faixa entre 290 e 642 L/s (ANA, 2017b; SNS/MDR, 2019b). Isso resulta em “déficit” de tratamento entre 5.094 e 6.065 L/s. A Tabela 12 resume as principais informações de vazão de esgoto gerado, coletado e tratado segundo o SNIS e o Atlas Esgotos.

TABELA 12 – Informações e indicadores de geração, coleta e tratamento de esgotos

Dado	Atlas Esgotos (ANA, 2017b)	SNIS 2018 (SNS/MDR, 2019b)
Esgoto gerado (L/s)	6.355	5.735
Esgoto coletado (L/s)	807	1.497
Esgoto tratado em ETEs (L/s)	290	641
Índice de tratamento	4,6%	13,5%
“Déficit” de tratamento (L/s)	6.065	5.094

Fonte: ANA (2017b) e SNS/MDR (2019b).

A Caema, principal companhia de saneamento do estado, opera em 137 dos 217 municípios (SNS/MDR, 2019b), tendo quase todas as ETEs do estado sob sua responsabilidade. No total, há 13 ETEs no Maranhão, com uma delas ainda em construção (ETE Anil, São Luís), como é apresentado na Tabela 13.

TABELA 13 – ETEs ativas e em obras

ETE	Qproj (L/s)	Qafl (L/s)	Qr (L/s)	%	Processo	Município	Status
ETE Vinhais	1.236,9	120,0	1.236	58,5%	Reator anaeróbio (UASB)	São Luís	Ativa
ETE Bacanga	250,0	25,0	250	11,8%	Reator anaeróbio (UASB)	São Luís	Ativa
ETE Jaracati	200,0	180,0	200	9,5%	Reator anaeróbio (UASB)	São Luís	Ativa
ETE Anil	162,3	-	162,3	7,7%	Reator anaeróbio (UASB)	São Luís	Em obras
ETE Imperatriz	83,3	50,0	83,3	3,9%	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	Imperatriz	Ativa
ETE Codó	-	47,3	47,3	2,2%	Lagoa facultativa + lagoa de maturação	Codó	Ativa
ETE Santa Quitéria	-	40,0	40	1,9%	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	Santa Quitéria do Maranhão	Ativa
ETE Brejo	-	28,1	28,1	1,3%	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	Brejo	Ativa
ETE Magalhães de Almeida	-	19,8	19,8	0,9%	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	Magalhães de Almeida	Ativa
ETE Alto Parnaíba	-	18,4	18,4	0,9%	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	Alto Parnaíba	Ativa
ETE Tasso Fragoso	-	12,0	12	0,6%	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	Tasso Fragoso	Ativa
ETE Barreirinhas	8,3	2,5	8,3	0,4%	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	Barreirinhas	Ativa
ETE Volta Redonda	-	8,0	8	0,4%	Reator anaeróbio (UASB) + lagoa anaeróbia/ facultativa/ de maturação	Caxias	Ativa
Total Geral	1940,8	511,1	2.114,4	100%	-	-	-

Qproj: vazão de projeto da ETE. Qafl: vazão afluente de esgoto. Qr: vazão de referência da ETE (vide item 1.2.1.2).

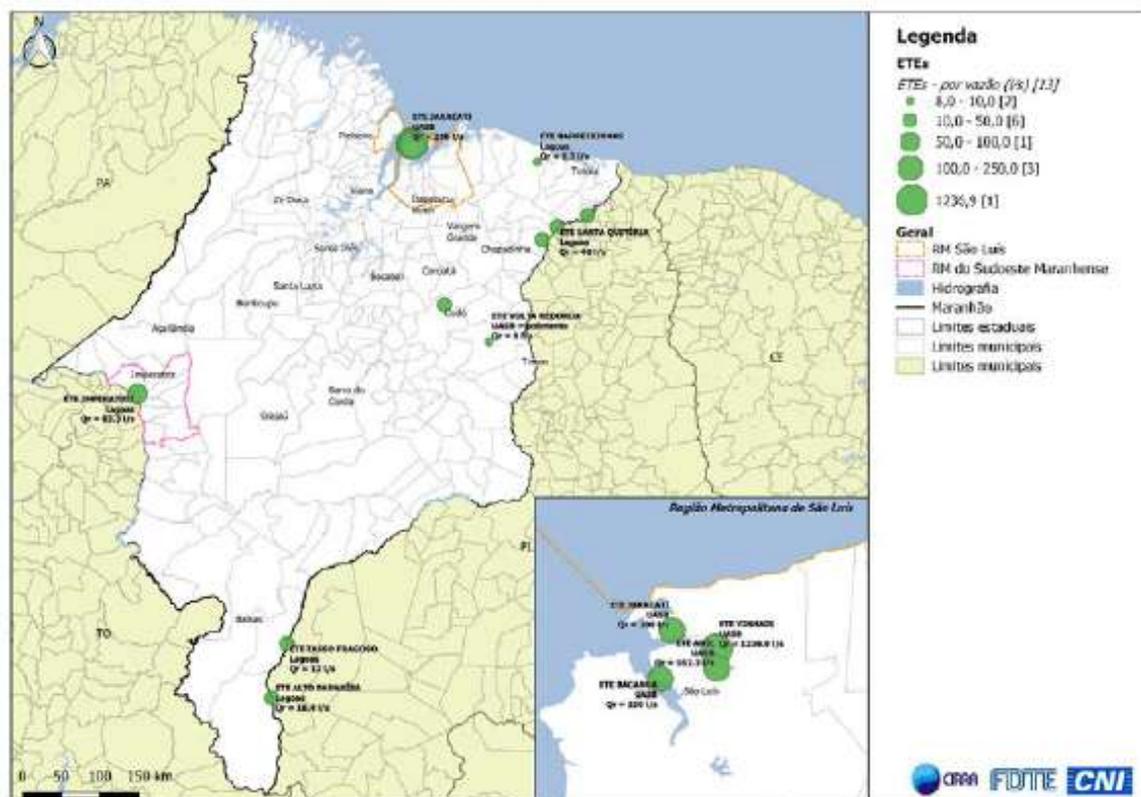
Fonte: Adaptada de ANA (2017c) e Caema (2019a).

A ETE Vinhais (São Luís), inaugurada em 2016⁶, sozinha representa mais da metade (59%) de toda a capacidade de tratamento do estado, com vazão de projeto de 1.237 L/s, mas afluyente atual de somente 120 L/s.

Segundo os dados por ETE acima, a capacidade total de tratamento no estado é de 1.940,8 L/s e de esgoto efetivamente tratado é igual a 511,1 L/s, valor ligeiramente diferente dos apresentados no SNIS 2018 (SNS/MDR, 2019b) e no Atlas Esgotos (ANA, 2017c).

A Figura 11 ilustra a distribuição das ETEs no estado por faixa de Qr (vazão de referência da ETE).

FIGURA 11 – Mapa das ETEs por faixa de vazão



Fontes: ANA (2017c, 2017d) e Caema (2019b). Shapefiles de território IBGE (2015). Elaborada pelos autores.

Apenas dez municípios (dos 217) possuem ao menos uma ETE, sendo que a capital São Luís concentra 87,5% da capacidade de tratamento de todo o estado em suas quatro estações. Imperatriz, Codó e Santa Quitéria do Maranhão aparecem na sequência com as maiores capacidades, conforme mostra a Tabela 14.

6 Fonte: http://www.caema.ma.gov.br/portalcaema/index.php?option=com_content&view=article&id=1470:2016-08-03-20-21-03&catid=34:noticias&Itemid=55.

TABELA 14 – Vazão de tratamento de esgotos por município

Município	ΣQproj (L/s)	ΣQafl (L/s)	ΣQr (l/s)	% Qr	Qtde. ETEs
São Luís	1.849,2(a)	325	1849,23(a)	87,5%(a)	4(a)
Imperatriz	83,3	50	83,3	3,9%	1
Codó	-	47,3	47,3	2,2%	1
Santa Quitéria do Maranhão	-	40	40	1,9%	1
Brejo	-	28,1	28,1	1,3%	1
Magalhães de Almeida	-	19,8	19,8	0,9%	1
Alto Parnaíba	-	18,4	18,4	0,9%	1
Tasso Fragoso	-	12	12	0,6%	1
Barreirinhas	8,3	2,5	8,3	0,4%	1
Caxias	-	8	8	0,4%	1
Total geral	1.940,8	551,1	2.114,4	100,0%	13

(a) Considerando a ETE Anil (em obras)

Fonte: Adaptada de adaptado de ANA (2017b) e Caema (2019a).

Em relação aos processos empregados, a maioria das estações (87,5%) é composta somente por etapa anaeróbia (UASB), havendo também uso de lagoas (12,2%) e UASB, seguido de lagoas (0,4%), conforme mostra a Tabela 15. A Tabela 16, na sequência, detalha os tipos de tratamento por município.

TABELA 15 – Vazão de tratamento de esgotos por processo de tratamento

Processo	ΣQr (L/s)	% Qr	Qtde.
UASB	1.849(a)	87,5%(a)	4(a)
Lagoas	257	12,2%	8
UASB + polimento	8,0	0,4%	1
Total geral	2.114	100,0%	13

(a) Considerando a ETE Anil (em obras)

Fonte: Adaptada de ANA (2017c) e Caema (2019a).

TABELA 16 – Vazão de tratamento de esgotos por município e processo de tratamento

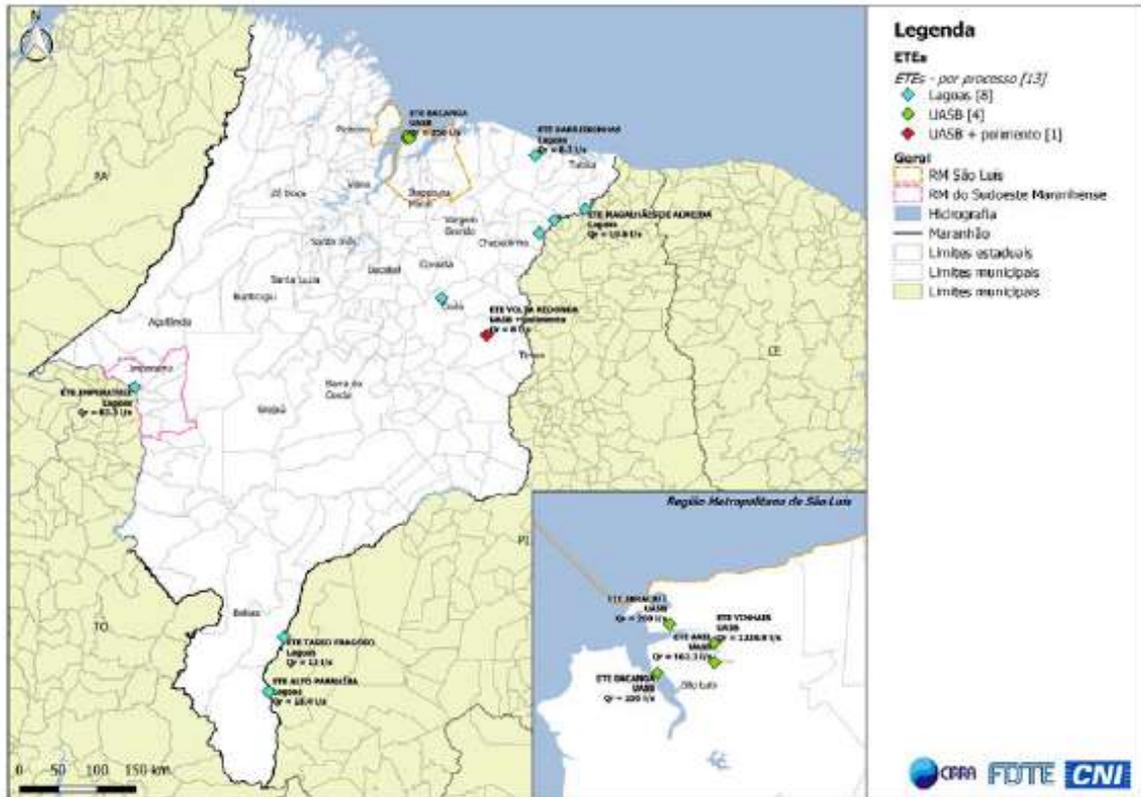
Município	UASB (L/s)	Lagoas (L/s)	UASB + polimento (L/s)	Total (L/s)
São Luís	1.849,2(a)	-	-	1.849(a)
Imperatriz	-	83,3	-	83,3
Codó	-	47,3	-	47,3
Santa Quitéria do Maranhão	-	40	-	40,0
Brejo	-	28,1	-	28,1
Magalhães de Almeida	-	19,8	-	19,8
Alto Parnaíba	-	18,4	-	18,4
Tasso Fragoso	-	12	-	12,0
Barreirinhas	-	8,3	-	8,3
Caxias	-	-	8,0	8,0
Total	1.849,2	257,2	8,0	2.114

(a) Considerando a ETE Anil (em obras)

Fonte: Adaptada de ANA (2017c) e Caema (2019a).

Em essência, as ETES da RMSL empregam UASB e as das demais regiões adotam processo de lagoas, como se vê no mapa da Figura 12.

FIGURA 12 – Mapa das ETEs por processo de tratamento



Fontes: ANA (2017c, 2017d) e Caema (2019a). Shapefiles de território por IBGE (2015). Elaborada pelos autores.

2.2 DEMANDAS INDUSTRIAIS

As bases de dados de estaduais (SEMA, 2020) e federal (ANA, 2020) apresentam 76 outorgas industriais de captação ativas, somando vazão total outorgada de 3.967,4 L/s, conforme a Tabela 17. A maior parte das outorgas é estadual (84%, 64), mas as 12 federais correspondem à maior parte da vazão (55%, 2.192,7 L/s).

TABELA 17 – Outorgas industriais de captação ativas por concedente

Concedente	Σ Qout (L/s)	% Qout	Qtde.	% qtde.
Estadual	1774,8	45%	64	84%
Federal	2192,7	55%	12	16%
Total geral	3.967,4	100%	76	100%

Fonte: Adaptada de ANA (2020) e Sema (2020).

O mesmo ocorre no caso de tipo de manancial (superficial ou subterrâneo), em que há maior número de captações subterrâneas, mas as superficiais representam quase a totalidade da vazão, como se vê na Tabela 18.

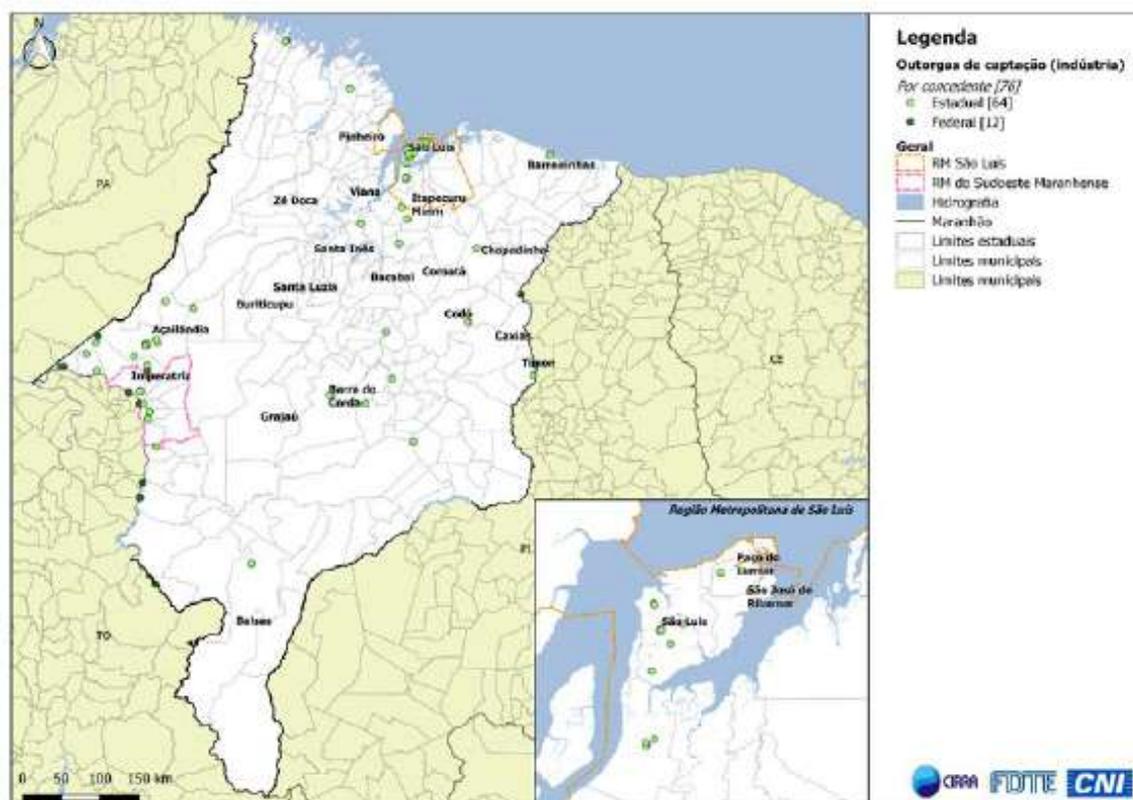
TABELA 18 – Outorgas industriais de captação ativas por manancial

Manancial	Σ Qout (L/s)	% Qout	Qtde.	% qtde.
Subterrâneo	156,8	4%	52	68%
Superficial	3.810,7	96%	24	32%
Total geral	3.967,4	100%	76	100%

Fontes: Adaptada de ANA (2020) e Sema (2020).

É notável que há prevalência de outorgas federais nas proximidades do rio Tocantins, em municípios como Imperatriz, Estreito e São Pedro da Água Branca, como mostra o mapa da Figura 13.

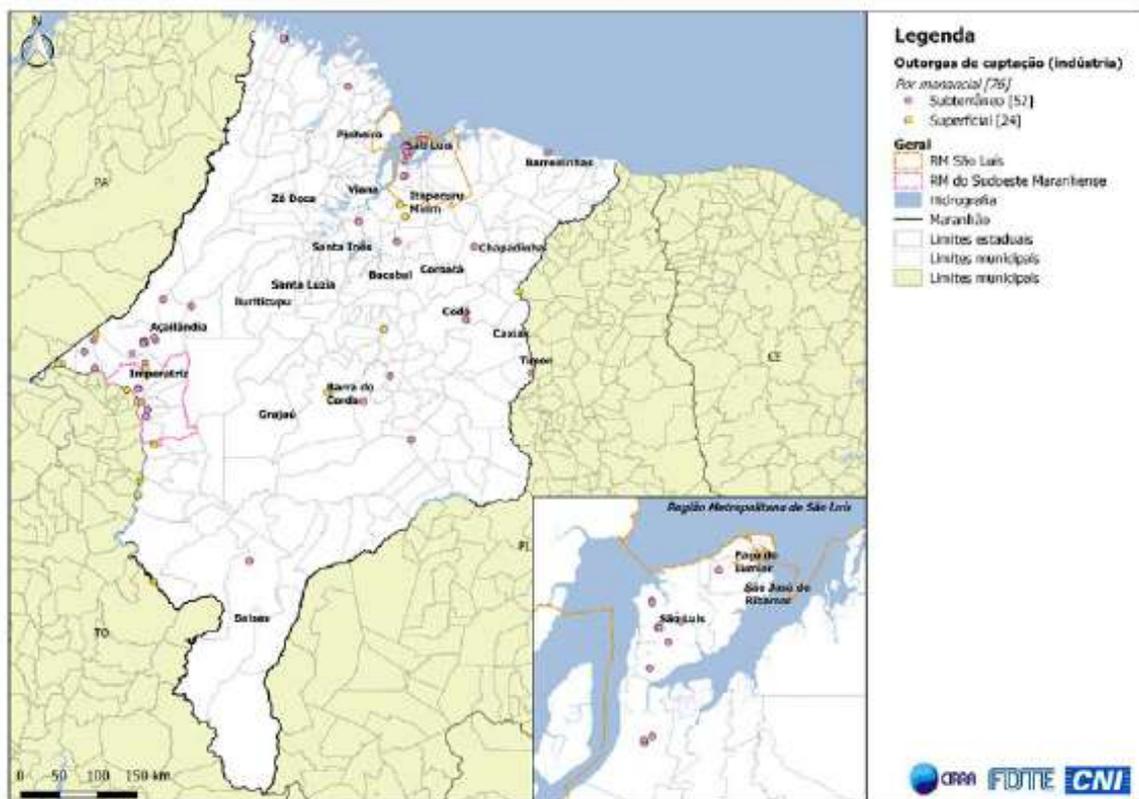
FIGURA 13 – Mapa das outorgas industriais por concedente (ANA ou Sema)



Fontes: ANA (2020) e Sema (2020). Shapefiles de território por IBGE (2015). Elaborada pelos autores.

A distribuição das outorgas por tipo de captação (manancial superficial ou subterrâneo) segue padrão semelhante ao do por tipo de concedente. As outorgas federais por definição se referem somente às águas superficiais, enquanto as subterrâneas e de rios estaduais são de domínio das unidades da federação. A Figura 14 mostra a distribuição por tipo de manancial.

FIGURA 14 – Mapa das outorgas industriais por manancial (superficial ou subterrâneo)



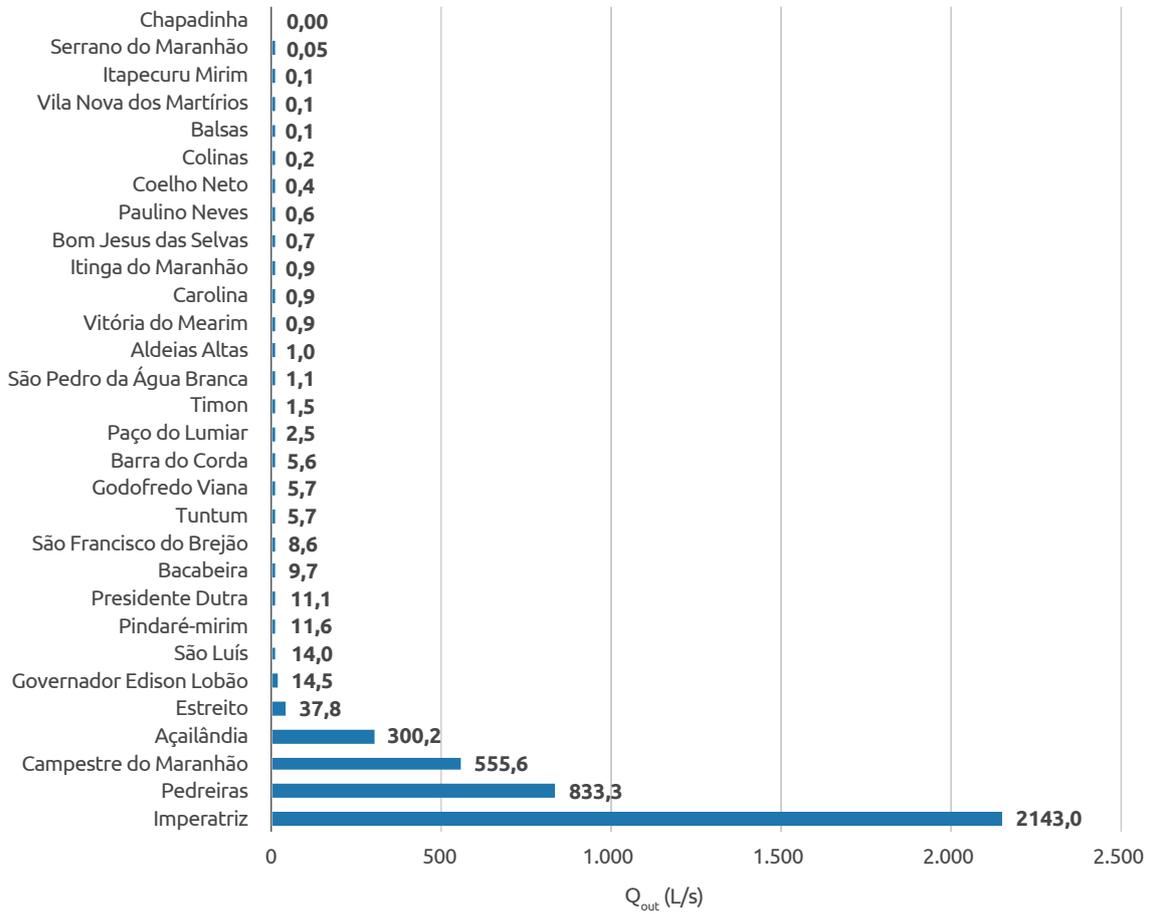
Fontes: ANA (2020) e Sema (2020). Shapefiles de território por IBGE (2015). Elaborada pelos autores.

Poucos municípios concentram praticamente todas as outorgas industriais do estado, com destaque para Imperatriz, Pedreiras, Campestre do Maranhão e Açailândia, os quais juntos detêm 96,6% (3.832 L/s) do total. A capital São Luís possui somente 14 L/s outorgados para fins industriais, ou 0,4% do Maranhão. Dos 217 municípios maranhenses, 30 possuem alguma outorga (mesmo que com vazão igual a zero, a exemplo de Serrano do Maranhão e Chapadinha), como mostrado na Tabela 19 e na Figura 15.

TABELA 19 – Vazões outorgadas para a indústria por município

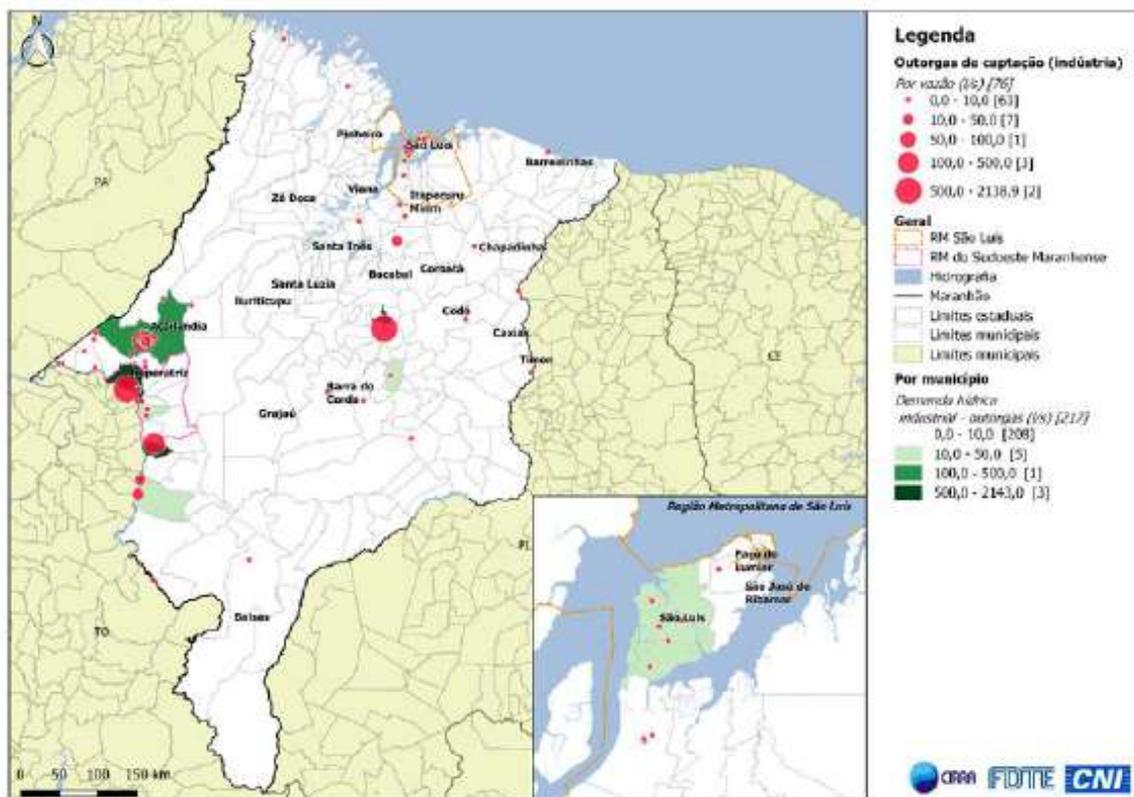
Município	ΣQout (L/s)	% Qout	Qtde.
Imperatriz	2.143,0	54,0%	7
Pedreiras	833,3	21,0%	1
Campestre do Maranhão	555,6	14,0%	2
Açailândia	300,2	7,6%	12
Estreito	37,8	1,0%	2
Governador Edison Lobão	14,5	0,4%	5
São Luís	14,0	0,4%	8
Pindaré-Mirim	11,6	0,3%	1
Presidente Dutra	11,1	0,3%	2
Bacabeira	9,7	0,2%	3
São Francisco do Brejão	8,6	0,2%	2
Tuntum	5,7	0,1%	2
Godofredo Viana	5,7	0,1%	2
Barra do Corda	5,6	0,1%	2
Paço do Lumiar	2,5	0,1%	3
Timon	1,5	0,0%	2
São Pedro da Água Branca	1,1	0,0%	2
Aldeias Altas	1,0	0,0%	2
Vitória do Mearim	0,9	0,0%	1
Carolina	0,9	0,0%	1
Itinga do Maranhão	0,9	0,0%	1
Bom Jesus das Selvas	0,7	0,0%	1
Paulino Neves	0,6	0,0%	1
Coelho Neto	0,4	0,0%	1
Colinas	0,2	0,0%	1
Balsas	0,1	0,0%	2
Vila Nova dos Martírios	0,1	0,0%	2
Itapecuru Mirim	0,1	0,0%	3
Serrano do Maranhão	0,0	0,0%	1
Chapadinha	0,0	0,0%	1
Total geral	3.967,4	100%	76

Fontes: Adaptado de ANA (2020) e Sema (2020).

FIGURA 15 – Vazões outorgadas para a indústria por município

Fontes: Adaptado de ANA (2020) e Sema (2020). Elaborada pelos autores.

A Figura 16 ilustra as outorgas por faixa de vazão e o somatório das vazões por município, evidenciando a concentração nos municípios supracitados.

FIGURA 16 – Mapa das outorgas industriais por faixa de vazão e agregação por município

Fontes: ANA (2020) e Sema (2020). Shapefiles de território IBGE (2015). Elaborada pelos autores.

Em se tratando de atividades produtivas, a preponderância das vazões ocorre nos setores industriais de celulose e papel (54%, 2.151,7 L/s), eletricidade e gás (21%, 833,3 L/s), coque e produtos de derivados de petróleo (562,3 L/s) e metalurgia (8%, 299,4 L/s). A Tabela 20 mostra as vazões e o número de outorgas de acordo com as divisões da CNAE 2.0.

TABELA 20 – Somatório das outorgas industriais por grupo CNAE 2.0

Divisão CNAE 2.0		ΣQout (L/s)	% Qout	Qtde.
17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	2.151,7	54%	4
35	Eletricidade, gás e outras utilidades	833,3	21%	1
19	Fabricação de coque, produtos derivados do petróleo e biocombustíveis	562,3	14%	6
24	Metalurgia	299,4	8%	11
10	Fabricação de produtos alimentícios	24,5	1%	6
-	Outros	22,7	1%	8
7	Extração de minerais metálicos	20,2	1%	9
15	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	12,6	0%	4
20	Fabricação de produtos químicos	11,6	0%	3
23	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	11,5	0%	10
11	Fabricação de bebidas	8,3	0%	5
2	Produção florestal	4,9	0%	1
46	Comércio por atacado, exceto veículos automotores e motocicletas	2,5	0%	2
96	Outras atividades de serviços pessoais	1,0	0%	1
42	Obras de infraestrutura	0,5	0%	2
43	Serviços especializados para construção	0,3	0%	1
41	Construção de edifícios	0,1	0%	2
Total geral		3.967,4	100%	76

Fonte: Elaborada pelos autores.

2.3 PERFIL DA INDÚSTRIA

A indústria maranhense é a 16ª com maior Valor Adicionado (VA) do país, com valor R\$ 13,5 bilhões em 2017, ou 1,1% do total brasileiro. São Luís, Imperatriz, Santo Antônio dos Lopes, Açailândia e Estreito são os cinco principais municípios nesse quesito, concentrando, juntos, 73% do VA de todo o estado, como apresenta a Tabela 21.

TABELA 21 – Valor adicionado pela indústria para os principais municípios

Município	VA indústria em 2017 (mil R\$)	Participação no estado (%)	Varição 2013-2017	VA indústria/ VA total no município (%)
São Luís	5.799.292	43%	18,2%	24%
Imperatriz	1.597.249	12%	75,9%	27%
Santo Antônio dos Lopes	1.330.297	10%	-0,1%	89%
Açailândia	706.059	5%	83,2%	35%
Estreito	399.631	3%	-34,3%	52%
Miranda do Norte	257.174	2%	158,2%	58%
Timon	238.959	2%	17,5%	15%
São José de Ribamar	192.915	1%	-16,1%	11%
Caxias	170.084	1%	-2,5%	11%
Bacabeira	167.143	1%	45,7%	53%

Fonte: IBGE (2020a).

Como se vê na Tabela 22, os setores de construção e serviços industriais de utilidade pública são os preponderantes no PIB industrial do estado, com 32,5% e 28,9% do total. Em seguida, aparecem setores industriais de transformação como metalurgia (13,8%), celulose e papel (8,7%), bebidas (2,8%) e alimentos (1,8%).

TABELA 22 – Participação setorial no PIB industrial estadual

Setor	% PIB
Construção	32,5%
Serviços industriais de utilidade pública	28,9%
Metalurgia	13,8%
Celulose e papel	8,7%
Bebidas	2,8%
Alimentos	2,6%
Minerais não-metálicos	1,8%
Químicos	1,7%
Derivados de petróleo e biocombustíveis	0,9%
Manutenção e reparação	0,5%
Extração de minerais não-metálicos	0,5%
Produtos de metal	0,3%
Outros	5,0%

Fonte: CNI (2020).

Em termos de força de trabalho industrial, o Maranhão possuía, em 2018 (último dado disponível), 76.850 empregos formais ativos, sendo 35.996 (47,1%) somente na capital, São Luís. As cidades de Imperatriz (8.665; 11%), Açailândia (3.280) e São José de Ribamar (2.802) aparecem na sequência, conforme se vê na Tabela 23.

TABELA 23 – Empregos industriais por município

Município	Nº de empregos industriais	% do estado
São Luís	36.167	47,1%
Imperatriz	9.365	12,2%
Açailândia	3.291	4,3%
São José de Ribamar	2.802	3,6%
Timon	1.842	2,4%
Balsas	1.546	2,0%
Paço do Lumiar	1.438	1,9%
Caxias	1.247	1,6%
Itapecuru Mirim	1.224	1,6%
Grajaú	1.113	1,4%
Demais municípios	16.815	22%
Total MA	76.850	100%

Fonte: MTE (2019).

Assim como no caso de PIB, os setores de construção e obras de infraestrutura são os preponderantes em termos de empregos. Para indústrias de transformação, as atividades de fabricação de produtos alimentícios, fabricação de produtos de minerais não-metálicos e metalurgia são as mais relevantes, conforme a Tabela 24.

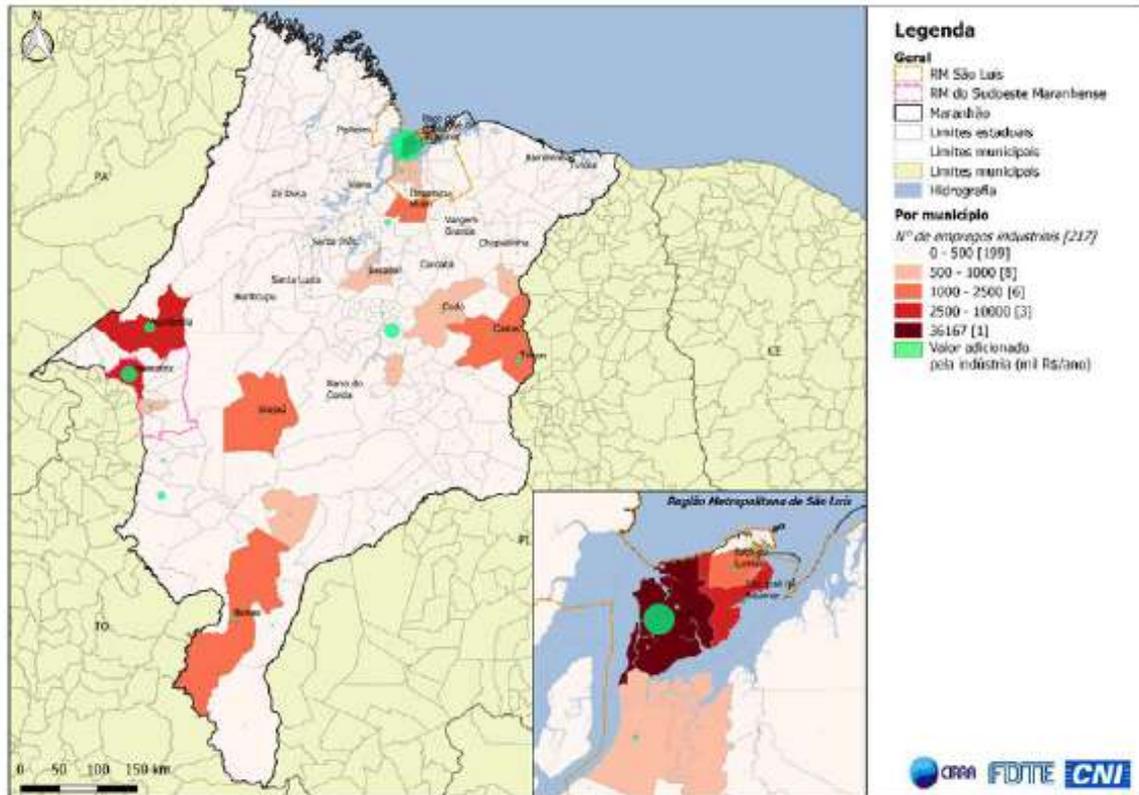
TABELA 24 – Empregos industriais por divisão CNAE 2.0

Divisão CNAE 2.0	Nº de empregos industriais	% do total
41 Construção de edifícios	17.943	23,3%
42 Obras de infraestrutura	10.505	13,7%
10 Fabricação de produtos alimentícios	6.928	9,0%
43 Serviços especializados para construção	6.777	8,8%
23 Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	5.373	7,0%
24 Metalurgia	3.769	4,9%
36 Captação, tratamento e distribuição de água	3.515	4,6%
11 Fabricação de bebidas	2.789	3,6%
38 Coleta, tratamento e disposição de resíduos e recuperação de materiais	2.236	2,9%
35 Eletricidade, gás e outras utilidades	1.989	2,6%

Divisão CNAE 2.0		Nº de empregos industriais	% do total
20	Fabricação de produtos químicos	1.866	2,4%
31	Fabricação de móveis	1.494	1,9%
33	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	1.262	1,6%
18	Impressão e reprodução de gravações	1.144	1,5%
19	Fabricação de coque, produtos derivados do petróleo e biocombustíveis	1.100	1,4%
14	Confeção de artigos do vestuário e acessórios	1.087	1,4%
25	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	1.004	1,3%
17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	988	1,3%
15	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	815	1,1%
8	Extração de minerais não-metálicos	784	1,0%
22	Fabricação de produtos de borracha e material plástico	531	0,7%
28	Fabricação de máquinas e equipamentos	465	0,6%
30	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	456	0,6%
7	Extração de minerais metálicos	400	0,5%
32	Fabricação de produtos diversos	368	0,5%
9	Atividades de apoio à extração de minerais	295	0,4%
37	Esgoto e atividades relacionadas	260	0,3%
16	Fabricação de produtos de madeira	210	0,3%
29	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	193	0,3%
13	Fabricação de produtos têxteis	193	0,3%
27	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	77	0,1%
26	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	16	0,0%
39	Descontaminação e outros serviços de gestão de resíduos	9	0,0%
6	Extração de petróleo e gás natural	8	0,0%
5	Extração de carvão mineral	1	0,0%
Total		76.850	100,0%

Fonte: MTE (2019).

O mapa da Figura 17 mostra o número de empregos formais na indústria e representa o VA pela indústria por município. De forma geral, os municípios com os maiores VAs também são os que concentram maior parte da mão de obra.

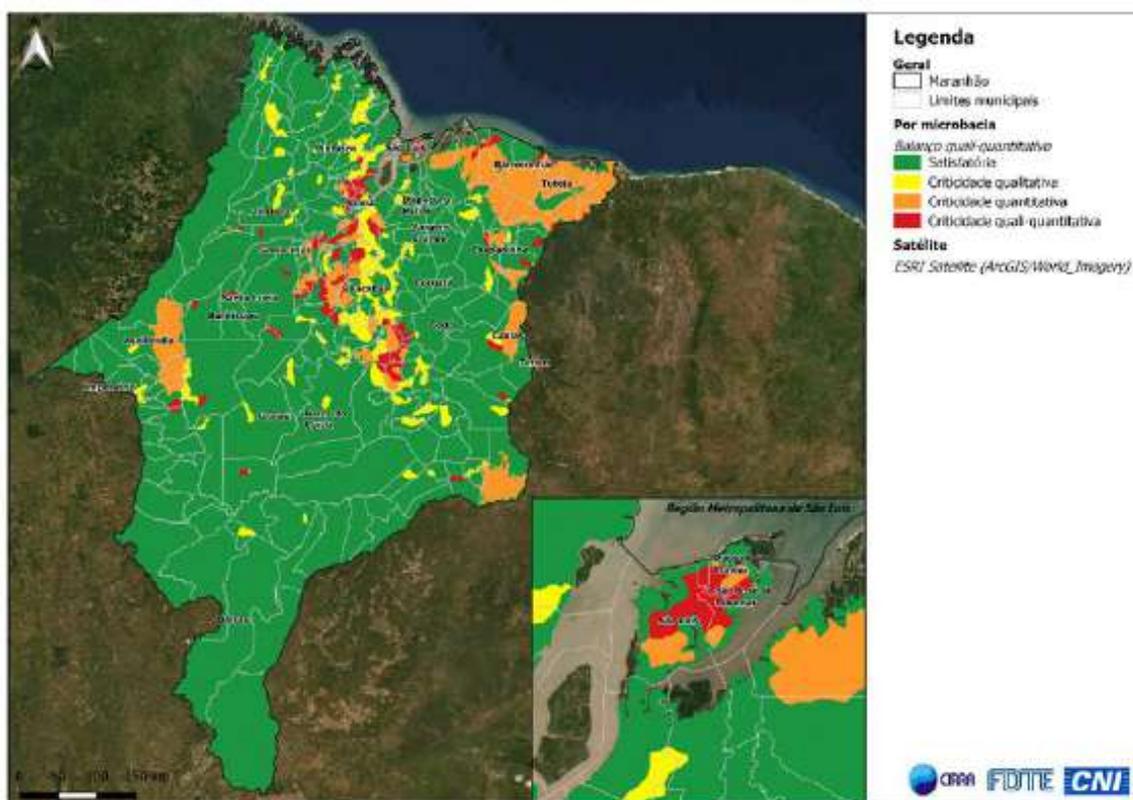
FIGURA 17 – Mapa do número de empregos industriais e VA pela indústria por município

Fontes: IBGE (2020a) e MTE (2019). Shapefiles de território IBGE (2015). Elaborada pelos autores.

2.4 BALANÇO HÍDRICO

O Maranhão, diferentemente de outros estados no Nordeste, não possui alta criticidade hídrica na maioria de suas microbacias. Mesmo assim, algumas regiões específicas – como a Região Metropolitana de São Luís (RMSL), a Região Metropolitana do Sudoeste Maranhense (RMSM) e a vizinha Açailândia, áreas centrais compreendidas entre Viana e Barra do Corda – e as áreas de Barreirinhas/Tutoia já demonstram criticidade qualitativa, quantitativa ou quali quantitativa em determinadas bacias.

O mapa da Figura 18 ilustra a condição de balanço hídrico para o estado.

FIGURA 18 – Balanço hídrico quali-quantitativo por microbacia hidrográfica

Fonte: Base de dados de ANA (2015). Elaborada pelos autores.

2.5 ZONEAMENTO ECONÔMICO-ECOLÓGICO (ZEE)

O Zoneamento Econômico-Ecológico (ZEE), instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente, é regulamentado pelo Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002, que, em seu Artigo 2º, o define como:

Instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população.

O ZEE-MA teve como principal objetivo gerar informações para subsidiar as decisões na criação de macropolíticas territoriais, correlatas às diretrizes estabelecidas pelo planejamento estratégico do país, e foi elaborado a partir da sobreposição de cartas temáticas desenvolvidas com base no banco de dados disponível e em cenários hipotéticos definidos para o estado. Isso possibilitou uma avaliação integrada do território e a proposição de diretrizes para uso e ocupação do solo que harmonizassem o desenvolvimento socioeconômico, a preservação ambiental e as questões legais.

Mediante a disponibilidade dos dados compilados, contando com atores de diferentes esferas sociais e baseando-se nas premissas da construção do zoneamento ser coletiva, de prevalecer o interesse comunitário e de levar em consideração as potencialidades e vulnerabilidades das diferentes regiões, foram definidos três cenários distintos, utilizando-se o ano de 2030 como horizonte.

O estabelecimento dos cenários se deu por meio do resultado de uma matriz de múltiplas hipóteses estruturada com base em dez variáveis determinantes, em seis condicionantes e nos atores sociais que compreendem pessoas físicas e jurídicas atuantes nas esferas social, econômica e política.

As variáveis consideradas foram: infraestrutura produtiva; variável macroeconômica; inclusão produtiva; setor primário de produção; planejamento e gestão; sistema educacional; variável socioeconômica e ambiental; assistência técnica, pesquisa e extensão; investimentos privados; e política fundiária. A relação de motricidade e dependência entre as variáveis norteou as propostas de investimentos nos diferentes segmentos que compõem os cenários.

As condicionantes consideradas foram: limitações legais; restrições naturais; macroeconomia, dinâmica sociodemográfica; capacidade de gestão; e questões fundiárias. Para cada uma delas foi avaliado o nível de incerteza associado ao grau de interferência na transformação dos cenários futuros.

Em suma, os resultados das matrizes de variáveis e condicionantes apontaram como questões mais relevantes, em relação à capacidade de interferência nos cenários, as restrições naturais, a macroeconomia, a capacidade de gestão, as restrições de mão de obra e as questões tecnológicas. Com base nas condicionantes citadas, foram definidos os três cenários futuros para o estado: i) Maranhão Sustentável, ii) Maranhão em Movimento e iii) Maranhão em Crise.

O cenário "Maranhão Sustentável" foi o apontado como desejável, pois apresenta as ações mais efetivas em relação à superação das barreiras que dificultam o desenvolvimento sustentável do estado. Para que se atinja o cenário 1, foram estabelecidas diversas estratégias, dentre elas:

- Investimento em todos os níveis educacionais, principalmente naquele relacionado à capacitação profissional;
- Estímulo ao processo de urbanização, desenvolvimento industrial e melhoria da infraestrutura e dos serviços;
- Melhoria na capacidade de planejamento e gestão;
- Fiscalização do cumprimento da legislação ambiental, observando o Código Florestal e as áreas especiais protegidas, com desenvolvimento de serviços de apoio ao produtor rural, como a assistência técnica;
- Utilização de pagamento por serviços ambientais como mecanismo de conservação de áreas frágeis;
- Fortalecimento do sistema de conservação da biodiversidade;
- Fiscalização do cumprimento da legislação ambiental, observando o Código Florestal; e
- Implementação da infraestrutura para expansão do corredor de exportação via Porto de Itaqui.

As estratégias definidas, tendo como norte o cenário adotado e os dados relativos às características socioambientais, jurídico-institucionais e do meio físicobiótico, delinearam a divisão do Maranhão em zonas e subzonas, conforme detalham a Figura 19 e a Tabela 25.

FIGURA 19 – Zonas e subzonas do ZEE

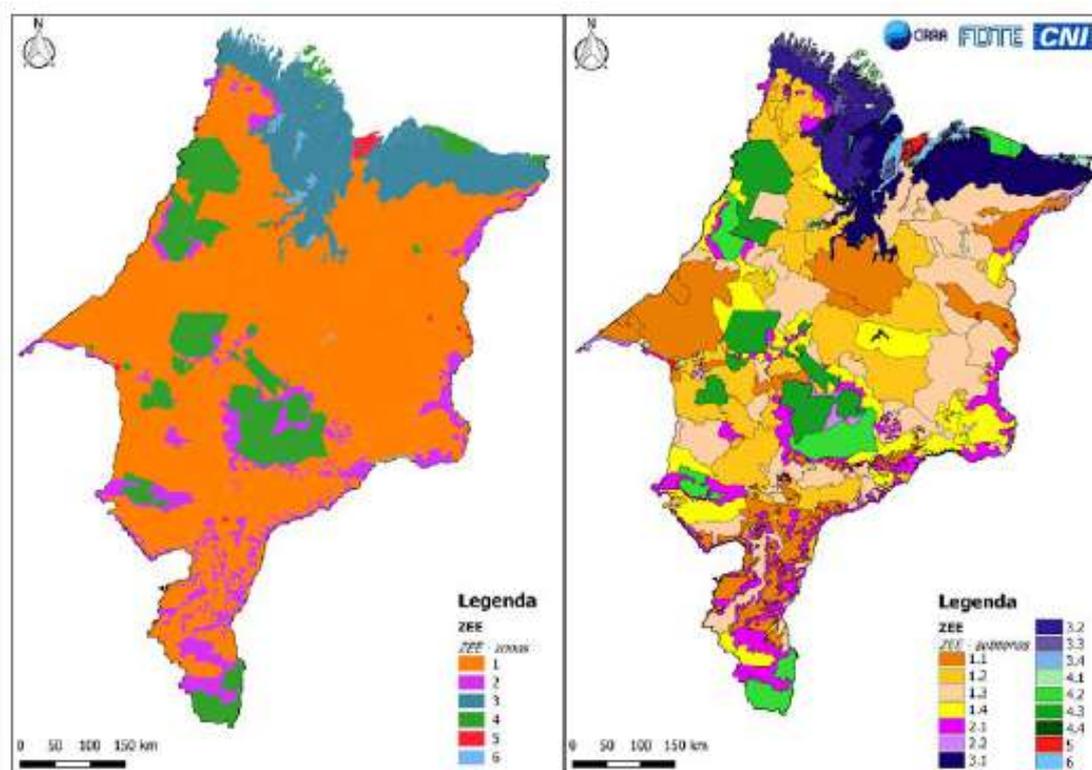


TABELA 25 – Zonas e subzonas do ZEE-MA

Zona	Subzona	Descrição da subzona	Área (km ²)	Área (%)
Zona 1	1.1	Consolidação e expansão dos sistemas sustentáveis de produção. Esta zona apresenta o maior potencial social e a menor vulnerabilidade ambiental, favorecendo a realização atividades agrícolas, industriais, florestais e de mineração.	51.086,5	15,4
	1.2		63.051,5	19,0
	1.3		70.400,5	21,2
	1.4		32.140,6	9,7
Zona 2	2.1	Uso sustentável dos recursos naturais. Zona com menor potencial social e maior vulnerabilidade ambiental em função do alto potencial dos recursos naturais presentes, que muitas vezes são de grande relevância para a preservação ambiental.	25.931,6	7,8
	2.2		2.779,1	0,8
Zona 3	3.1	Áreas ambientais frágeis e influência costeira e produtividade natural elevadas. Algumas apresentam potencial para exploração de gás, petróleo, turismo e pesca em geral.	24.246,7	7,3
	3.2	Áreas de influência costeira. Áreas, geralmente, ocupadas por populações tradicionais, o que incide em um reduzido potencial social.	13.067,0	3,9
	3.3		4.719,6	1,4
	3.4		3.313,1	1,0
Zona 4	4.1		1.539,8	0,5
	4.2	Áreas institucionais e de usos especiais	15.201,7	4,6
	4.3	Áreas que apresentam os usos restrito ou controlado, ambos previstos em lei.	22.068,4	6,6
	4.4		21,8	0,0
Zona 5		Áreas urbanas	1.311,8	0,4
Zona 6		Corpos d'água	1.057,8	0,3
Total			331.937,5	100

Fonte: Batistella et al. (2014).

As subzonas de interesse para este estudo são aquelas dotadas de “potencial social”, as quais favorecem o desenvolvimento de atividades econômicas, em que se incluem as industriais. Estão nesse grupo as subzonas 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4, todas dentro da zona 1. A zona 5 (áreas urbanas) também foi considerada relevante, dado que concentra a maior parte da população (ou seja, oferta de esgoto) e também demandas industriais já existentes.

2.6 LEGISLAÇÃO PERTINENTE AO REÚSO DE ÁGUA

O Maranhão ainda não possui leis ou instruções normativas específicas referentes ao reúso de água. Frente a isso, abaixo consta breve compilação de leis e outros instrumentos que tratam de assuntos correlatos.

A Lei nº 8.149, de 15 de junho de 2004, dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. O principal objetivo desta lei é assegurar o uso sustentável dos recursos hídricos e institui, entre outros, os seguintes instrumentos:

- os Planos de Recursos Hídricos;
- os Planos Diretores de Bacia Hidrográfica;
- o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos e o licenciamento das obras utilizadoras destes recursos;
- a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos;
- o Cadastro Estadual de Usuários de Recursos Hídricos;
- o Fundo Estadual de Recursos Hídricos e demais fundos; e
- a aplicação de penalidades.

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos expediu as seguintes Resoluções para regulamentar alguns dos instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos:

- Resolução Conerh nº 058/2019 estabelece as diretrizes gerais para o enquadramento de corpos hídricos superficiais no Estado do Maranhão e dá outras providências.
- Resolução Conerh nº 057/2019 estabelece os critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências.

Ademais, a Lei nº 8.923/2009 instituiu a Política Estadual de Saneamento Básico (PESB) e disciplina o convênio de cooperação entre entes federados para autorizar a gestão associada de serviços públicos de saneamento básico. Esta lei associa o aproveitamento de água de reúso aos projetos associados aos serviços públicos de saneamento básico desenvolvidos em caráter acessório ou correlato à prestação dos serviços, capazes de gerar benefícios sociais, ambientais ou econômicos adicionais.

Ainda que o Maranhão não possua legislações específicas sobre reúso, vale lembrar a existência da Resolução nº 54 de 2004 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a qual estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para reúso não potável direto no Brasil, incluindo finalidades industriais.

É digna de nota, também, a ABNT NBR 16.783/2019 – Uso de fontes de alternativas de água não potável em edificações, a qual fornece diretrizes e instruções para a implantação e operação de programas de fontes alternativas (incluindo o reúso) em edificações. Por possuir caráter nacional, a norma pode ser utilizada como referência no estado, ainda que usos industriais em processo não sejam contemplados. A NBR 16.783/2019 contempla atendimento a usos não potáveis, como descargas em bacias sanitárias e mictórios, irrigação paisagística, lavagens de logradouros e veículos, bem como reposição de sistemas de resfriamento.



3 RESULTADOS E ANÁLISES



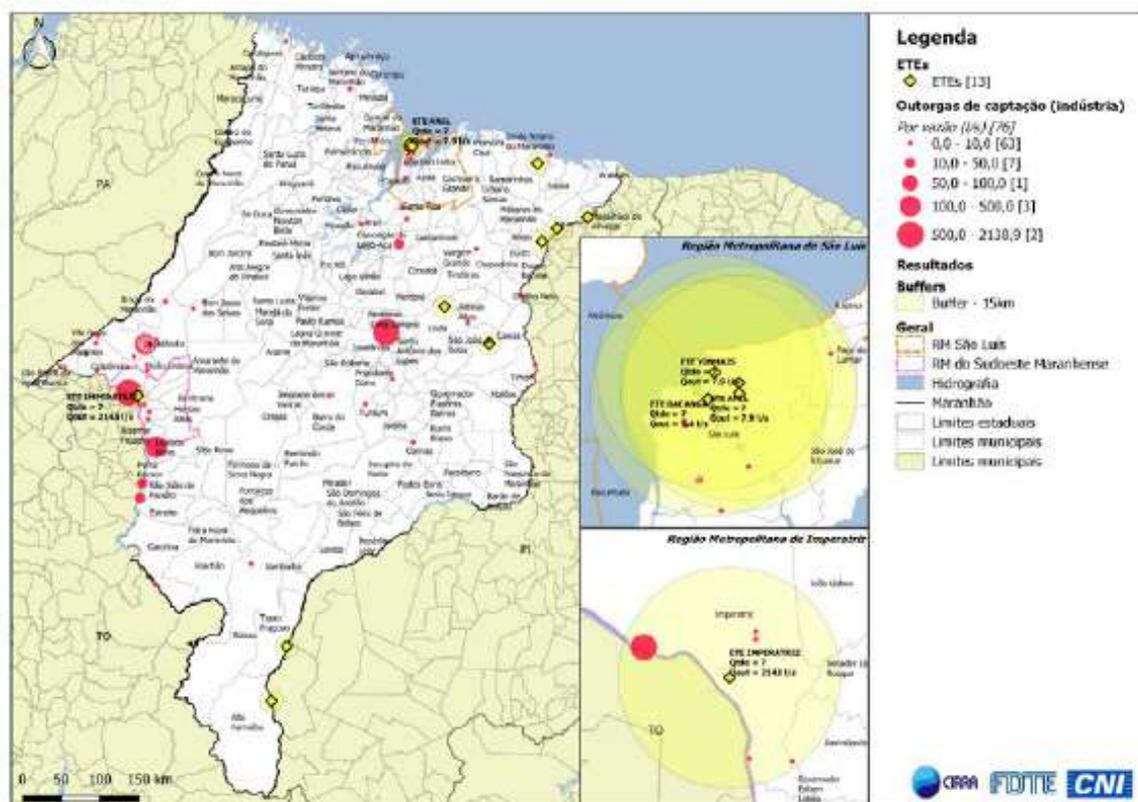
Os resultados deste estudo são divididos, assim como a metodologia, em três principais itens, os quais serão apresentados e avaliados nos tópicos a seguir. São eles:

- Item 3.1: Oportunidades de reúso por ETE-usuário;
- Item 3.2: Oportunidades de reúso por subzona do ZEE – modelo IAR; e
- Item 3.3: Estimativa de custos.

3.1 OPORTUNIDADES DE REÚSO POR ETE-USUÁRIO

Como abordado no capítulo 1.5.5, o Maranhão ainda possui baixa cobertura de tratamento de esgotos e poucas ETEs. Por isso, a abordagem de detecção a partir das estações existentes e de sua correlação com usuários industriais próximos não encontrou muitas oportunidades de reúso.

O mapa da Figura 21 ilustra a relação espacial entre as ETEs e as outorgas industriais, para um raio de até 15 km a partir das estações.

FIGURA 20 – Mapa com relação entre ETEs, outorgas industriais e raios de 15 km.

Fontes: Bases de dados de ANA (2017c, 2017d, 2020), Caema (2019a) e Sema (2020). Elaborada pelos autores.

Em todo o estado, apenas cinco ETEs possuem demandas industriais em seus arredores, todas localizadas em São Luís ou Imperatriz, conforme a Tabela 26.

TABELA 26 – ETEs com demandas industriais próximas

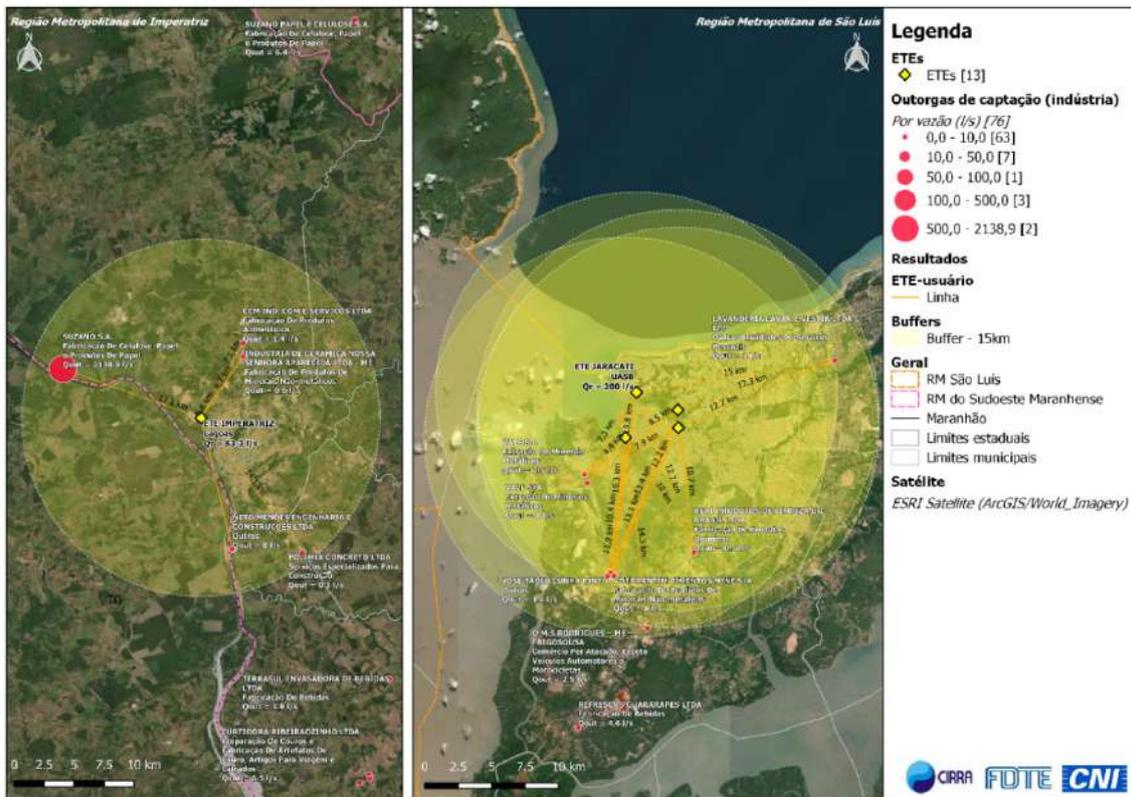
ETE	Qr (L/s)	Município	Σ Qout (L/s)	Qtde. de outorgas
Imperatriz	83,3	Imperatriz	2.143,0	7
Bacanga	250	São Luís	9,4	7
Vinhais	1.236,9	São Luís	7,9	7
Anil	162,3	São Luís	7,9	7
Jaracati	200	São Luís	6,9	6

Fonte: Elaborada pelos autores.

A ETE Imperatriz é, sem dúvida, a que apresenta maior potencial de reúso. Próxima a ela encontra-se uma demanda muito expressiva da empresa Suzano S.A. no rio Tocantins (2.139 L/s), além de outras menos expressivas que somam, aproximadamente, 4 L/s. Esse caso específico é avaliado mais detidamente no estudo de caso 1 (tópico 4.1).

Em São Luís, as três ETEs existentes e ainda a que está em obras (Anil) estão muito próximas entre si e, por isso, compartilham a maioria dos usuários. Todos eles, no entanto, possuem demandas baixas, com vazões entre 0,3 e 4,6 L/s. O mapa da Figura 21 mostra as ETEs supracitadas e suas relações com as outorgas próximas.

FIGURA 21 – Mapa com ETEs, usuários e raio de 15 km para a ETE Imperatriz e ETEs localizadas em São Luís



Fontes: Bases de dados de ANA (2017c, 2017d, 2020), Caema (2019a) e Sema (2020). Elaborada pelos autores.

Os usuários encontrados para cada ETE, bem como suas respectivas distâncias lineares até a estação, as vazões outorgadas e as atividades econômicas (divisão CNAE 2.0), são listados na Tabela 27.

TABELA 27 – Relação de usuários relevantes próximos às ETEs

ETE	Distância (km)	Usuário	Qout (L/s)	Tipo de manancial	Divisão CNAE 2.0
ETE IMPERATRIZ	12,2	SUZANO S.A.	2138,9	Superficial	FABRICAÇÃO DE CELULOSE, PAPEL E PRODUTOS DE PAPEL
	11,3	FERROVIA NORTE SUL S.A.	1,4	Superficial	OUTROS
	7,1	CCM IND. COM E SERVIÇOS LTDA	1,4	Superficial	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS
	6,4	INDÚSTRIA DE CERÂMICA NOSSA SENHORA APARECIDA LTDA - ME	0,6	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	6,2	INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE BEBIDAS BRASIL TROPICAL LTDA	0,5	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE BEBIDAS
	14,1	POLIMIX CONCRETO LTDA	0,3	Subterrâneo	SERVIÇOS ESPECIALIZADOS PARA CONSTRUÇÃO
	11,3	NETO MENDES ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES LTDA	0	Subterrâneo	OUTROS
Subtotal		-	2.143,0	-	-
ETE BACANGA	4,1	VALE S.A.	2,5	Subterrâneo	EXTRAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS
	10,1	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S/A	2,5	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	14,3	O.M.S RODRIGUES – ME – FRIGOSOUSA	2,5	Subterrâneo	COMÉRCIO POR ATACADO, EXCETO VEÍCULOS AUTOMOTORES E MOTOCICLETAS
	10,4	JOSE TADEU CUNHA PINTO	1,4	Subterrâneo	OUTROS
	10	REAL PRODUTOS DE LIMPEZA DO BRASIL LTDA	0,5	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS
	4,4	VALE S/A	0	Subterrâneo	EXTRAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS
	10,3	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S/A	0	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
Subtotal		-	9,4	-	-

ETE	Distância (km)	Usuário	Qout (L/s)	Tipo de manancial	Divisão CNAE 2.0
ETE VINHAIS	8,5	VALE S.A.	2,5	Subterrâneo	EXTRAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS
	13,1	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S/A	2,5	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	13,4	JOSE TADEU CUNHA PINTO	1,4	Subterrâneo	OUTROS
	12,3	LAVANDERIA LAVAR E VESTIR LTDA EPP	1	Subterrâneo	OUTRAS ATIVIDADES DE SERVIÇOS PESSOAIS
	10,7	REAL PRODUTOS DE LIMPEZA DO BRASIL LTDA	0,5	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS
	8,7	VALE S/A	0	Subterrâneo	EXTRAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS
	13,3	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S/A	0	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	Subtotal	-	7,9	-	-
ETE ANIL	7,8	VALE S.A.	2,5	Subterrâneo	EXTRAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS
	11,9	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S/A	2,5	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	12,2	JOSE TADEU CUNHA PINTO	1,4	Subterrâneo	OUTROS
	12,7	LAVANDERIA LAVAR E VESTIR LTDA EPP	1	Subterrâneo	OUTRAS ATIVIDADES DE SERVIÇOS PESSOAIS
	9,4	REAL PRODUTOS DE LIMPEZA DO BRASIL LTDA	0,5	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS
	7,9	VALE S/A	0	Subterrâneo	EXTRAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS
	12	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S/A	0	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	Subtotal	-	7,9	-	-
ETE JARACATI	7,3	VALE S.A.	2,5	Subterrâneo	EXTRAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS
	13,6	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S/A	2,5	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	13,9	JOSE TADEU CUNHA PINTO	1,4	Subterrâneo	OUTROS
	12,7	REAL PRODUTOS DE LIMPEZA DO BRASIL LTDA	0,5	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS
	7,7	VALE S/A	0	Subterrâneo	EXTRAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS
	13,8	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S/A	0	Subterrâneo	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	Subtotal	-	6,9	-	-

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme mostra a Tabela 28, atualmente a maioria dos usuários tem suas demandas supridas por água subterrânea. Excetuam-se aqueles próximos à ETE Imperatriz, os quais possam possibilidade de captação superficial a partir do rio Tocantins.

TABELA 28 – Vazões de usuários por ETEs de acordo com o tipo de manancial (subterrâneo ou superficial)

ETE	Manancial subterrâneo (poços)		Manancial superficial		ΣQout (L/s)
	Qout (L/s)	Qtde.	Qout (L/s)	Qtde.	
Imperatriz	2,70	4	2140,3	3	2143,0
Bacanga	9,40	7	-	-	9,4
Vinhais	7,94	7	-	-	7,9
Anil	7,94	7	-	-	7,9
Jaracati	7,94	6	-	-	6,9

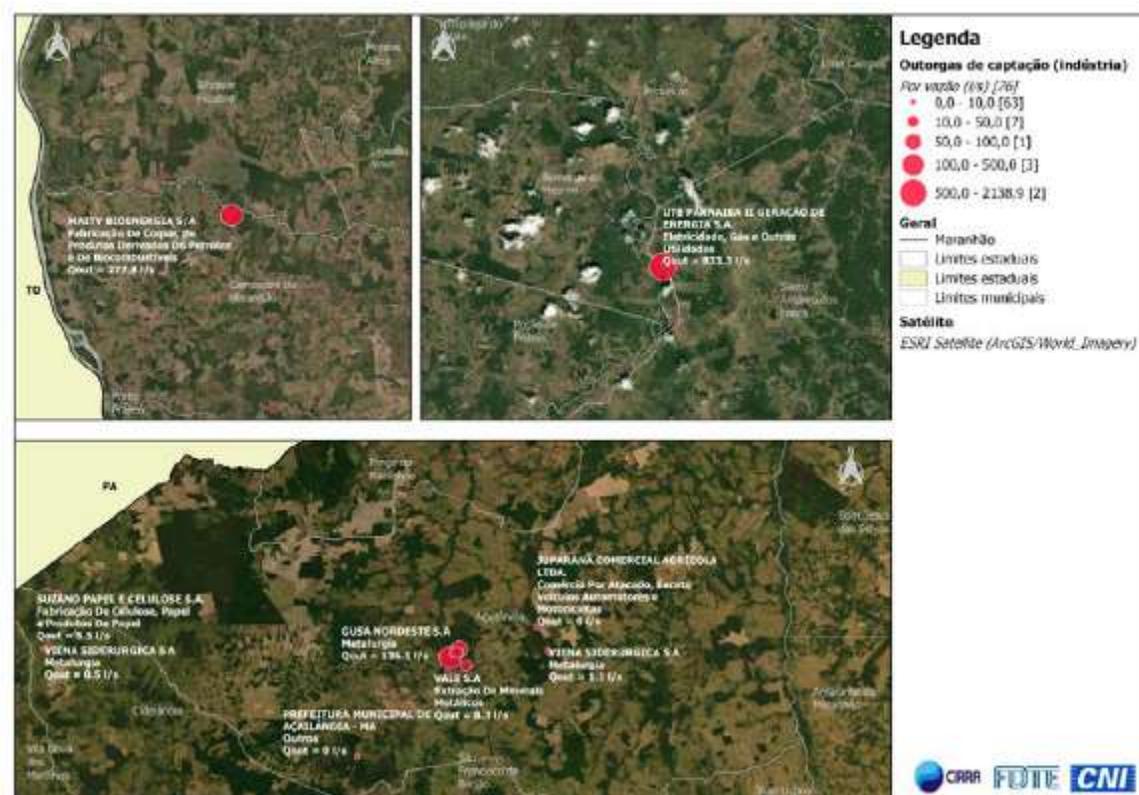
Fonte: Elaborada pelos autores.

Como mencionado, o tratamento de esgotos no estado do Maranhão ainda é incipiente, o que conduz a reduzidas oportunidades de oferta de esgoto tratado a partir de ETEs existentes. Entretanto, há locais com demandas industriais relevantes que ainda não contam com infraestrutura de tratamento de esgotos, representando oportunidade para que futuras ETEs sejam potenciais ofertas de água de reúso. Entre eles, destacam-se:

- Polo siderúrgico de Açailândia. Localizado no município de mesmo nome, o polo possui concentração sete outorgas industriais próximas entre si que somam 293 L/s (219,4 L/s de água superficial e 73,6 L/s de subterrânea). O polo é estudado com mais detalhes no estudo de caso 2 (ver item 4.2).
- Município de Pedreiras. Usina Termelétrica Parnaíba II – outorga de captação de 833,3 L/s no rio Mearim (água superficial) em área entre os municípios de Bernardo do Mearim e Santo Antônio do Lopes.
- Município de Campestre do Maranhão. Maity Bioenergia – outorga de captação de 277,8 L/s no rio Lajeado (água superficial), a aproximadamente 18 km de sua afluência ao Tocantins.

O mapa da Figura 22 mostra as três supracitadas localidades, identificando os usuários e suas outorgas por volume de captação.

FIGURA 22 – Mapa destacando áreas com presença de usuários relevantes: Polo Siderúrgico de Açailândia, Pedreiras e Campestre do Maranhão



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2 OPORTUNIDADES DE REÚSO POR SUBZONA DO ZEE – RESULTADOS DO MODELO DE ÍNDICE DE APTIDÃO AO REÚSO (IAR)

O ZEE-MA estabelece zonas e subzonas que direcionam o desenvolvimento econômico sustentável no estado, como abordado em detalhes no item 2.4. Entre as subzonas, há aquelas que apresentam “potencial social”, favorecendo, entre outras atividades econômicas, o desenvolvimento industrial. Conforme previsto no modelo do IAR para o Maranhão, foram consideradas as subzonas de 1.1 a 1.4 e 5 como aptas ao reúso, buscando-se conformidade com as diretrizes propostas pelo ZEE-MA.

Dentro do território de cada subzona, o IAR indica as regiões que apresentam maior aptidão ao reúso. Os valores de IAR calculados variaram entre 0,054 e 0,729 e foram agrupados em cinco classes qualitativas pelo método de quebras naturais de Jenks⁷, conforme a Tabela 29.

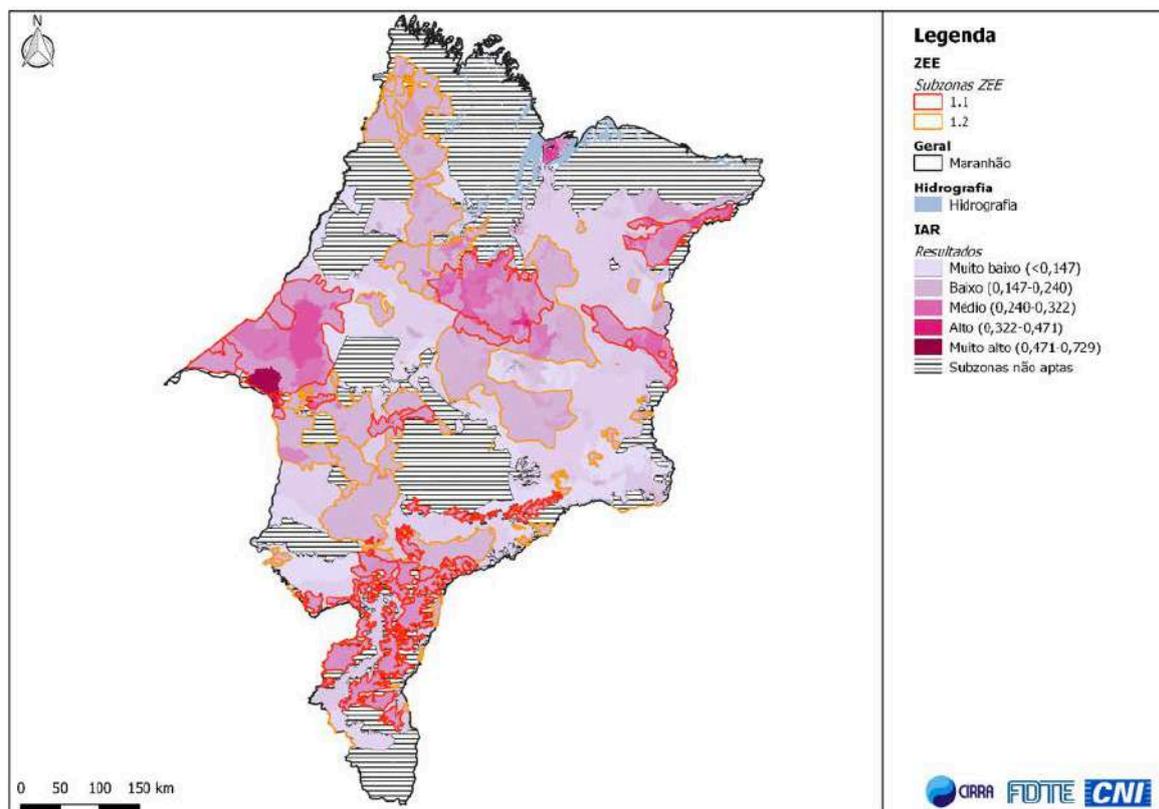
7 Método estatístico de classificação que objetiva agrupar valores dentro de classes com menor desvio padrão interno possível. Em outras palavras, busca criar grupos com maior “homogeneidade interna”.

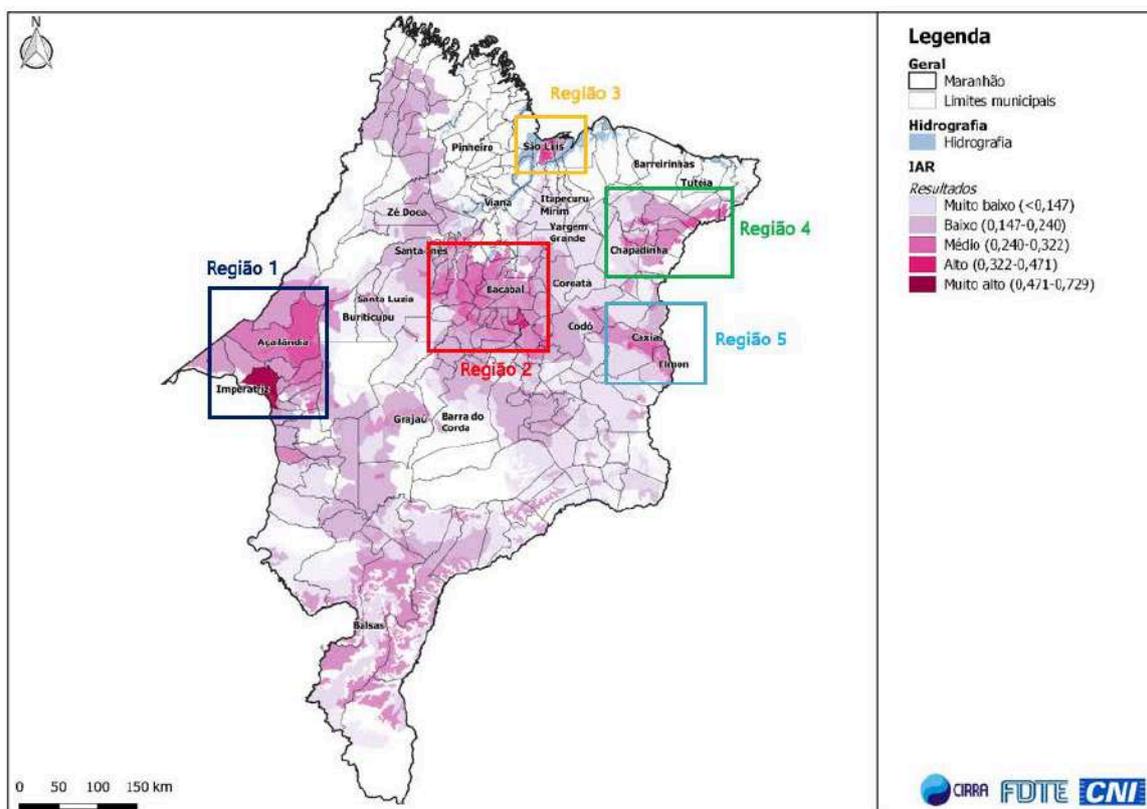
TABELA 29 – Classificação dos valores de IAR e áreas resultantes

Classificação	Faixa de valores de IAR	Área (km ²)
Muito baixo	0,054 – 0,147	93.666,9
Baixo	0,147 – 0,240	63.384,5
Médio	0,240 – 0,322	43.716,5
Alto	0,322 – 0,471	15.738,1
Muito alto	0,471 – 0,729	1.481,0

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 23 apresenta mapa com os valores de IAR e os limites das principais zonas em termos de potencial social: 1.1 e 1.2. Em seguida constam os mesmos valores de IAR, os limites municipais e as regiões delimitadas para facilitar a compreensão e a análise de quais são as áreas com maior aptidão ao reúso.

FIGURA 23 – Mapa com valores de IAR e subzonas 1.1 e 1.2 (acima) e IAR e regiões prioritárias (abaixo)



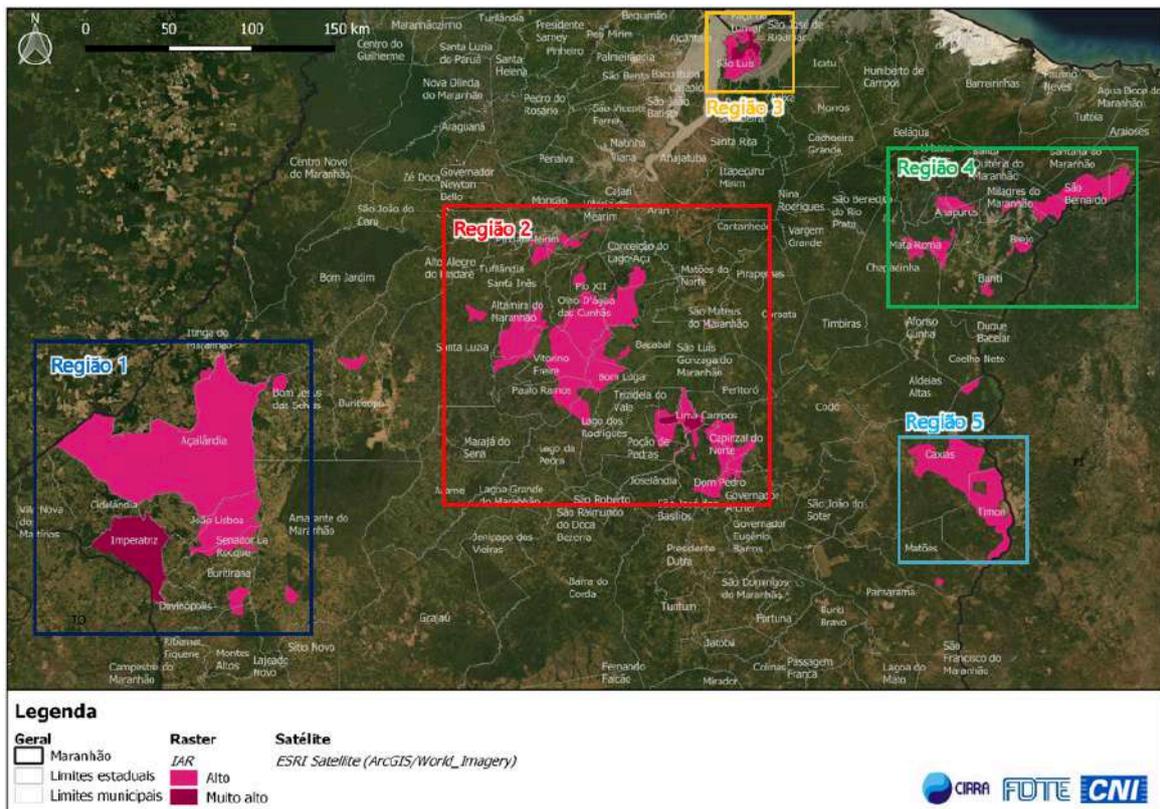
Fonte: Elaborada pelos autores.

As cinco regiões destacadas possuem valores de IAR mais altos por diferentes razões. Algumas obtiveram pontuação mais alta em virtude de altas demandas industriais concentradas; outras, de alta condição de criticidade de balanço hídrico, por exemplo. As regiões foram nomeadas de acordo com os municípios ou a localização no estado, conforme descrito abaixo:

- Região 1. Imperatriz/ Açailândia. Maiores concentrações de demandas industriais do estado (Imperatriz e Polo Siderúrgico de Açailândia), gerações de esgoto consideráveis e inserção em subzona 1.1.
- Região 2. Maranhão central. Balanço hídrico crítico em diversas bacias e inserção em subzona 1.1. Contempla as regiões dos municípios de Santa Inês, Bacabal e Pedreiras.
- Região 3. Ilha de São Luís. Maiores vazões de esgoto gerado do estado, balanço hídrico crítico, inserção em subzona 5 e presença de demandas industriais.
- Região 4. Chapadinha/ Santa Quitéria do Maranhão/ Magalhães de Almeida. Vazões consideráveis de esgoto gerado, balanço hídrico crítico em algumas microbacias e inserção em subzona 1.1.
- Região 5. Caxias/ Timon/ Codó. Vazões consideráveis de esgoto gerado, balanço hídrico crítico em algumas microbacias, presença de demandas industriais e inserção em subzona 1.1.

A Figura 24 mostra aproximação para as regiões de 1 a 5 anteriormente exibidas, destacando as áreas com IAR classificado como “alto” ou “muito alto”.

FIGURA 24 – Mapa com aproximação somente para áreas com IAR “alto” e “muito alto” – regiões 1 a 5.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base nisso, é possível avaliar cada uma dessas principais áreas com relação aos temas referentes aos critérios de C1 a C4 do modelo do IAR, sendo possível realizar caracterizações mais objetivas e prever diretrizes para planejamento de reúso, conforme sintetiza a Tabela 30.

TABELA 30 – Análise das regiões prioritárias com maior IAR em relação aos critérios de C1 a C4, suas características gerais e possíveis diretrizes de planejamento de reúso

Região	C1 ZEE	C2 Demandas industriais	C3 Geração de esgotos	C4 Balanço hídrico	Características gerais	Possíveis diretrizes de planejamento de reúso
1 Imperatriz/ Açailândia	Inserção quase completa em subzona 1.1	Maior concentração de demandas industriais do estado. Municípios de Imperatriz (2.134 L/s) e Açailândia (300,2 L/s)	Vazões médias em Imperatriz (194 L/s) e Açailândia (104 L/s)	Situação pouco crítica, com eventuais criticidades qualitativa (Imperatriz, Butirana, Senador La Rocque), quantitativa (Açailândia, João Lisboa e Senador La Rocque) e qualitativa (Butirana)	Região praticamente toda inserida em zona com maior potencial de desenvolvimento industrial (1.1), com as maiores demandas industriais do estado, gerações relevantes de esgoto e criticidade hídrica baixa	Região propícia à expansão da capacidade de tratamento para atendimento às demandas industriais já existentes e futuras
2 Maranhão central	Inserção de maior porção do território nas subzonas 1.1 e 1.2	Demandas médias, mas somente devido a Pedreiras (833,3 L/s)	Vazões pouco expressivas, com destaque apenas para Bacanal (68,5 L/s) e Santa Inês (84,5 L/s)	Maior criticidade do estado, com maior porção do território com bacias em criticidade quantitativa ou qualitativa. Criticidade qualitativa em Presidente Dutra, Pedreiras, Lago da Pedra, Santa Inês, Vitória do Mearim	Região majoritariamente inserida em zonas com altos potenciais de desenvolvimento industrial (1.1 e 1.2), com demandas industriais médias (mas em razão de um único usuário em Pedreiras), gerações baixas de esgoto e maior criticidade hídrica do estado	Futuras ações de reúso podem contribuir para redução da alta criticidade na região, além de incentivarem o desenvolvimento econômico
3 Ilha de São Luís	Inserção completa em subzona 5	Demandas baixas, somente com algum destaque para São Luís (14 L/s)	Maior concentração de geração de esgoto no estado, principalmente em São Luís (1.185,1 L/s) e Paço do Lumiar (188,9 L/s)	Criticidade média/alta. Criticidade qualitativa em São Luís, Paço do Lumiar e São José do Ribamar	Região completamente inserida em área urbana (5), baixas demandas industriais; maiores gerações de esgoto do estado e criticidade hídrica média/alta	A instalação de usuários industriais nas proximidades das ETEs existentes pode contribuir para redução da criticidade hídrica

Região	C1 ZEE	C2 Demandas industriais	C3 Geração de esgotos	C4 Balanço hídrico	Características gerais	Possíveis diretrizes de planejamento de reúso
4 Chapadri- nha/Santa Quitéria do Maranhão/ Magalhães de Almeida	Inserção de maior porção do território em subzona 1.1	Sem outorgas industriais	Altas vazões em Santa Quitéria do Maranhão (374,1 L/s), Brejo (262,7 L/s) e Magalhães de Almeida (184,8 L/s)	Criticidade média/alta. Criticidade qualiquan- titativa em bacias isola- das em Magalhães de Almeida, Chapadri- nha, Brejo e Santa Quitéria do Maranhão, com relevante presença de criticidade quantitativa por todo o território	Região praticamente toda inserida em zona com maior potencial de desenvolvimento industrial (1.1), sem de- mandas industriais de- tectadas, altas gerações de esgotos e criticidade hídrica média/alta	Futuros usuários indus- triais na região podem ser abastecidos por água de reúso, contri- buindo para redução da criticidade hídrica
5 Caxias/ Timon/ Codó	Inserção de maior porção do território nas subzonas 1.1 e 1.3	Demandas baixas, somen- te com algum destaque para Timon (1,5 L/s) e Codó (1,0 L/s)	Vazões médias/altas em Timon (309,8 L/s), Caxias (159,6 L/s) e Codó (118,3 L/s)	Criticidade média. Bacias com criticidade qualitativa, quantitativa e qualiquantitativa em Caxias	Região majoritaria- mente inserida em zonas com alto/ médio potenciais de desenvol- vimento industrial (1.1 e 1.3), baixas demandas industriais, gerações médias de esgoto e cri- ticidade hídrica média	Futuros usuários indus- triais na região podem ser abastecidos por água de reúso, contri- buindo para redução da criticidade hídrica

Fonte: Elaborada pelos autores.

Portanto, vê-se que cada região possui peculiaridades que levam a possíveis diretrizes de reúso também diferentes. Nesse sentido, a aplicação do IAR visou destacar quais são as áreas prioritárias e caracterizá-las de acordo com os temas traduzidos pelos critérios que compõem o modelo.

3.3 ESTIMATIVA DE CUSTOS

3.3.1 TARIFAS MÍNIMAS

Conforme explicado no item 1.5.3, as tarifas calculadas expressam o valor em R\$/m³ dos custos de capital e de operação para produção, distribuição e reservação de água de reúso em plano financeiro de Valor Presente Líquido (VPL) igual a zero para taxa de juros de 12% aa e tempo de retorno de 30 anos.

Para os oito cenários de projeto genérico propostos, as tarifas calculadas variam entre 1,47 e 2,87 R\$/m³. Como era esperado, os cenários com maiores vazões resultam nos menores custos unitários, justamente graças aos ganhos de escala principalmente no tratamento.

Os resultados são os apresentados na Tabela 31.

TABELA 31 – Custos totais e tarifas para as alternativas A e B

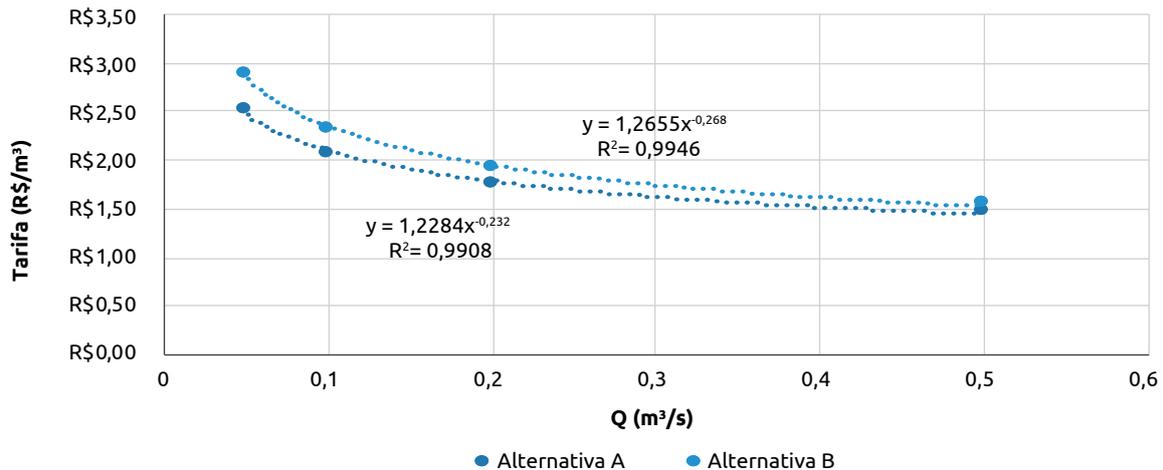
Cenário	Vazão (m ³ /s)	L1 - linha de recalque (km)	L2 - linha por gravidade (km)	Reserv. (m ³)	Capex total (R\$)	Opex total (R\$/ano)	Tarifa (R\$/m ³)
A1	0,05	4,0	5,0	500	R\$ 16.485.161	R\$ 1.921.026	R\$ 2,52
A2	0,10	4,0	5,0	1.000	R\$ 25.080.756	R\$ 3.364.318	R\$ 2,05
A3	0,20	4,0	5,0	1.500	R\$ 40.251.444	R\$ 6.070.262	R\$ 1,75
A4	0,50	4,0	5,0	2.000	R\$ 76.475.285	R\$ 13.638.914	R\$ 1,47
B1	0,05	8,0	5,0	500	R\$ 19.335.097	R\$ 2.127.056	R\$ 2,87
B2	0,10	8,0	5,0	1.000	R\$ 29.314.092	R\$ 3.663.755	R\$ 2,32
B3	0,20	8,0	5,0	1.500	R\$ 45.137.380	R\$ 6.428.402	R\$ 1,91
B4	0,50	8,0	5,0	2.000	R\$ 83.391.621	R\$ 14.063.722	R\$ 1,55

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os cenários “B”, os quais preveem maiores comprimentos de adutoras pressurizadas, possuem custos mais elevados tanto em razão de necessidades de investimento superiores em obras lineares como também dos maiores custos energéticos para recalque da água de reúso.

Agrupando-se os subcenários “A” e “B”, é possível determinar equações em função de vazão que representam o comportamento da tarifa, como é mostrado na Figura 25, permitindo interpolações e extrapolações para determinação dos custos para outras vazões que não as exatamente utilizadas no cálculo.

FIGURA 25 – Curvas de tarifas para os cenários A e B



Fonte: Elaborada pelos autores.

O índice de determinação (R^2) das curvas é alto (próximo a 1,0), indicando boa aderência das funções aos pontos calculados. Para cada um dos cenários, tem-se:

$$\text{Tarifa}_A = 1,2284 Q^{-0,232} \quad (R^2 = 0,9908) \quad \text{Equação 9}$$

$$\text{Tarifa}_B = 1,2655 Q^{-0,268} \quad (R^2 = 0,9946) \quad \text{Equação 10}$$

TarifaA (R\$/m³) Tarifa para cenários A
 TarifaB (R\$/m³) Tarifa para cenários B
 Q (m³/s) Vazão de água de reúso

Além dos custos totais e das tarifas, uma avaliação importante é como os custos se decompõem entre produção, distribuição e reservação. As tabelas a seguir resumem os custos absolutos/ totais (Tabela 32) e unitários (Tabela 33) para cada um dos cenários.

TABELA 32 – Custos totais decompostos para as alternativas A e B

Cenário	Capextrat (R\$)	Capexad (R\$)	CapexEE (R\$)	Capexres (R\$)	Opextrat (R\$/ano)	Opexad (R\$/ano)	Opexres (R\$/ano)
A1	R\$ 8.281.222	R\$ 6.971.356	R\$ 853.765	R\$ 378.819	R\$ 1.280.172	R\$ 623.807	R\$ 17.047
A2	R\$ 14.885.581	R\$ 8.379.756	R\$ 1.195.746	R\$ 619.673	R\$ 2.408.611	R\$ 927.822	R\$ 27.885
A3	R\$ 26.756.984	R\$ 10.993.356	R\$ 1.674.709	R\$ 826.395	R\$ 4.549.163	R\$ 1.483.911	R\$ 37.188
A4	R\$ 58.089.068	R\$ 14.758.356	R\$ 2.614.197	R\$ 1.013.664	R\$ 10.605.500	R\$ 2.987.800	R\$ 45.615
B1	R\$ 8.281.222	R\$ 9.821.292	R\$ 853.765	R\$ 378.819	R\$ 1.280.172	R\$ 829.836	R\$ 17.047
B2	R\$ 14.885.581	R\$ 12.613.092	R\$ 1.195.746	R\$ 619.673	R\$ 2.408.611	R\$ 1.227.259	R\$ 27.885
B3	R\$ 26.756.984	R\$ 15.879.292	R\$ 1.674.709	R\$ 826.395	R\$ 4.549.163	R\$ 1.842.051	R\$ 37.188
B4	R\$ 58.089.068	R\$ 21.674.692	R\$ 2.614.197	R\$ 1.013.664	R\$ 10.605.500	R\$ 3.412.608	R\$ 45.615

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA 33 – Custos unitários decompostos para as alternativas A e B

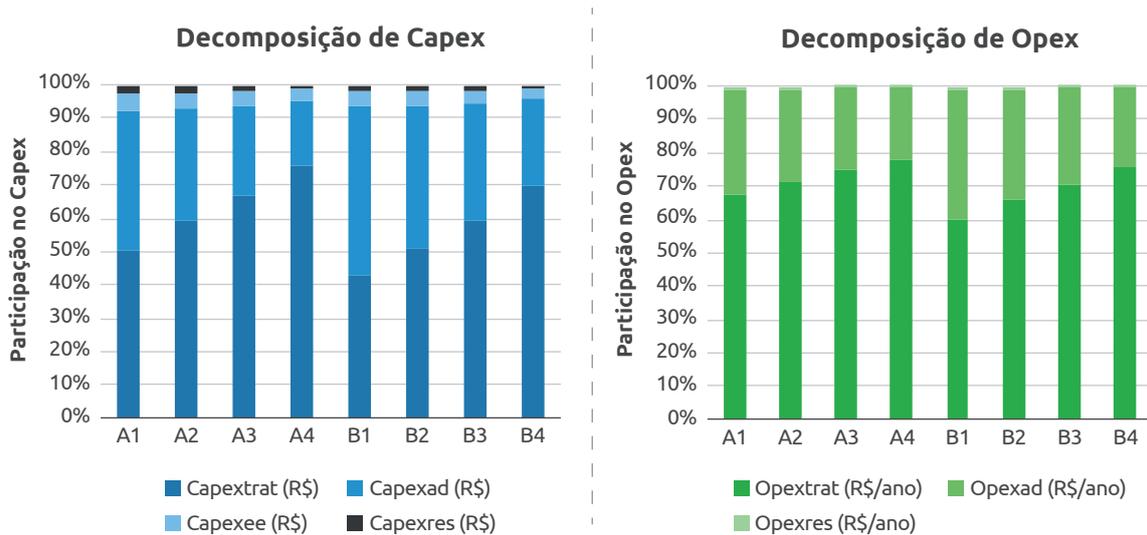
Cenário	Capextrat (R\$/m³/ano)	Capexad (R\$/m³/ano)	CapexEE (R\$/m³/ano)	Capexres (R\$/ano)	Opextrat (R\$/m³)	Opexad (R\$/m³)	Opexres (R\$/m³)
A1	R\$ 5,25	R\$ 4,42	R\$ 0,54	R\$ 0,24	R\$ 0,81	R\$ 0,40	R\$ 0,01
A2	R\$ 4,72	R\$ 2,66	R\$ 0,38	R\$ 0,20	R\$ 0,76	R\$ 0,29	R\$ 0,01
A3	R\$ 4,24	R\$ 1,74	R\$ 0,27	R\$ 0,13	R\$ 0,72	R\$ 0,24	R\$ 0,01
A4	R\$ 3,68	R\$ 0,94	R\$ 0,17	R\$ 0,06	R\$ 0,67	R\$ 0,19	R\$ 0,003
B1	R\$ 5,25	R\$ 6,23	R\$ 0,54	R\$ 0,24	R\$ 0,81	R\$ 0,53	R\$ 0,01
B2	R\$ 4,72	R\$ 4,00	R\$ 0,38	R\$ 0,20	R\$ 0,76	R\$ 0,39	R\$ 0,01
B3	R\$ 4,24	R\$ 2,52	R\$ 0,27	R\$ 0,13	R\$ 0,72	R\$ 0,29	R\$ 0,01
B4	R\$ 3,68	R\$ 1,37	R\$ 0,17	R\$ 0,06	R\$ 0,67	R\$ 0,22	R\$ 0,003

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como é esperado, os custos totais aumentam com o incremento da vazão e os unitários se reduzem, demonstrando o ganho de escala. Entre a menor vazão (0,05 m³/s) e a maior (0,50 m³/s), a redução de Capex de tratamento chega a 30% (de R\$5,25/m³/ano a R\$3,68/m³/ano), por exemplo. O acréscimo de Capex e Opex em virtude das maiores extensões de adutora pressurizada também são evidentes na comparação entre os cenários A e B.

Os mesmos valores das tabelas anteriores são representados graficamente na Figura 26, na qual se nota com maior clareza a distribuição entre os diferentes componentes de custos.

FIGURA 26 – Custos decompostos para os cenários A e B



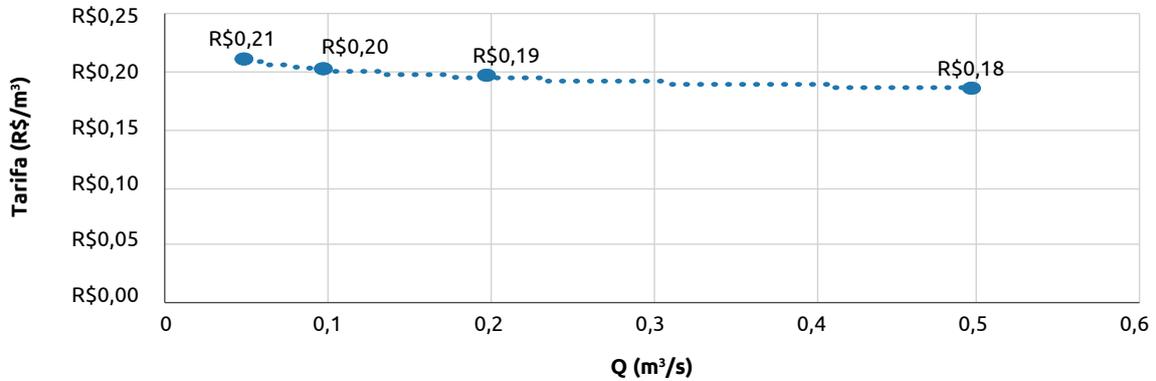
Fonte: Elaborada pelos autores.

O Capex de sistemas elevatórios e de reservação são pequenos, mas não desprezíveis em comparação aos de tratamento e adutoras, estes representando sempre mais que 90% do total. Torna-se claro, também, que quanto maior a extensão da adutora (cenário B), maior a participação dos custos de adução em relação ao total. Ao mesmo tempo, quanto menores as vazões, proporcionalmente maiores os custos de adução, como se vê nos casos dos subcenários A1 e B1.

3.3.2 DESCONTO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO PARA ATENDIMENTO À LEGISLAÇÃO

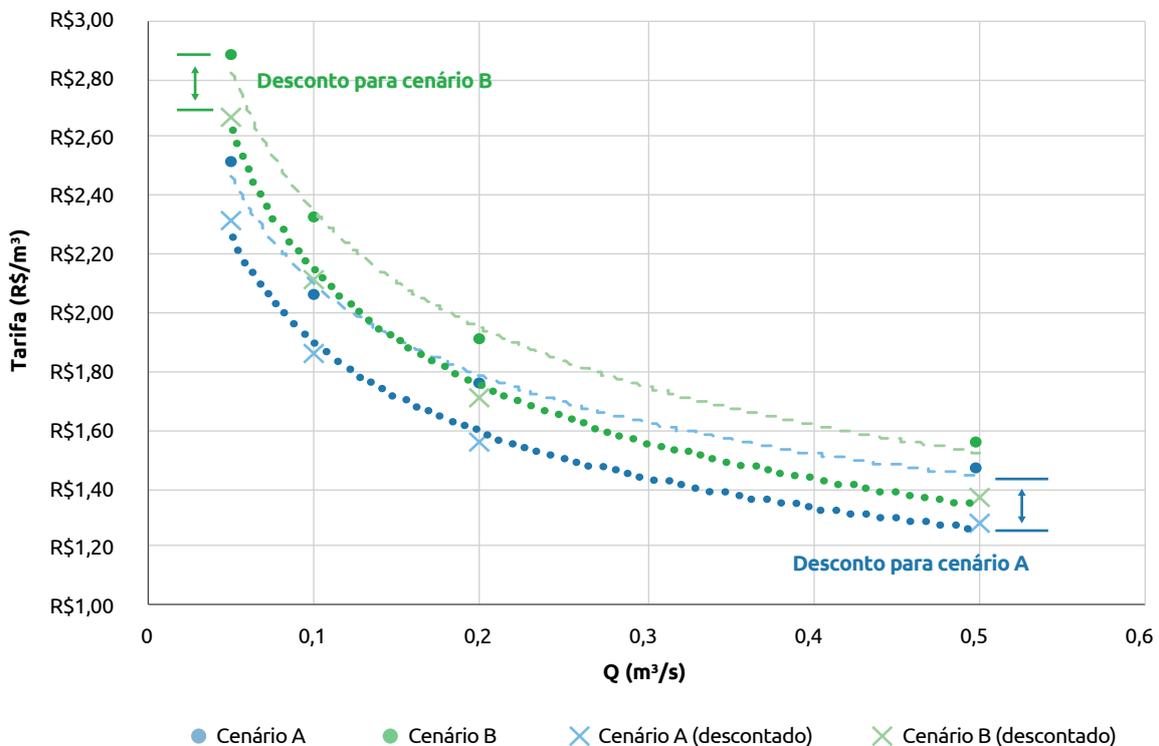
Como explicado anteriormente (itens 1.5.1 e 1.5.5), é possível descontar os custos referentes ao tratamento convencional das tarifas estimadas de reúso.

No caso do Maranhão, em que praticamente todo o tratamento é por UASB, as tarifas considerando somente implantação e operação da estação (ou seja, sem adução nem reservação) para $N=30$ anos e $i=12\%$ aa são em torno de $0,18 - 0,21$ R\$/m³, conforme a Figura 27.

FIGURA 27 – Tarifas de tratamento por reator UASB

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Brites (2010).

A partir disso, a tarifa calculada no item anterior é descontada dos custos de tratamento convencional, como é apresentado na Figura 28. As setas indicam a diferença (deslocamento das curvas) entre as tarifas calculadas no item anterior e as descontadas.

FIGURA 28 – Curvas de tarifas descontadas para os cenários A e B

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ou seja, as tarifas de reúso descontadas dos custos de tratamento convencional são, em média, R\$0,20/m³ inferiores.



4 ESTUDOS DE CASO



Para aprofundamento e exemplificação das metodologias desenvolvidas e aplicadas neste estudo, foram avaliados mais detalhadamente dois estudos de caso, os quais abordam situações diferentes encontradas no estado do Maranhão. São eles:

- Estudo de caso 1: abastecimento da unidade industrial da Suzano S.A. pela ETE Imperatriz. Trata-se de um caso que contempla produção de água de reúso por uma ETE existente;
- Estudo de caso 2: abastecimento das demandas do polo siderúrgico de Açailândia por futura ETE (o município ainda não possui tratamento municipal de esgotos). Trata-se de um caso de potenciais usuários de água de reúso localizados em área desprovida de tratamento de esgotos.

É válido de nota que a única experiência de reúso encontrada no estado é a da Vale S.A. no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM), em São Luís⁸. A empresa afirma que 58% da demanda do porto é suprida por água de reúso⁹, a qual é utilizada para lavagem de peças e umectação de vias e de pilhas de minérios. Não há detalhes sobre padrões de qualidade e tratamento, havendo somente indicação de utilização de “bacias de decantação”, indicando somente separação de sólidos sedimentáveis e parcela de suspensos.

8 <http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/reaproveitamento-de-agua.aspx>.

9 É importante ressaltar que a descrição do sistema de produção de água, de acordo com as fontes de dados da empresa, considera água de chuva como fonte. Tecnicamente, o uso de água de chuva não é considerado reúso, sendo mais adequado o uso do termo “aproveitamento de água de chuva”. É, no entanto, ainda uma fonte alternativa não potável, assim como o reúso.

4.1 ESTUDO DE CASO 1: ABASTECIMENTO DA SUZANO S.A. PELA ETE IMPERATRIZ

4.1.1 CONTEXTO

Imperatriz se localiza às margens do rio Tocantins, já na fronteira do Maranhão com o Tocantins. É o principal município da Região Metropolitana do Sudoeste Maranhense (RMSM), com população de 258.682 habitantes, a segunda maior do Maranhão, atrás da capital São Luís. Possui também o segundo maior PIB industrial do estado (IBGE, 2020a; 2020b).

O município possui cobertura de tratamento de esgotos de 36,4% (SNS/MDR, 2019), valor que, ainda que relativamente baixo, é um dos maiores do estado. Ao mesmo tempo, também detém a maior demanda industrial, igual a 2,143 m³/s. Esse valor deve-se, essencialmente, a uma demanda da Suzano S.A. no rio Tocantins (outorga federal) com vazão de 2,139 m³/s.

A geração de esgotos da cidade é estimada em 0,194 m³/s, sendo 0,0287 m³/s tratados por sistemas isolados e 0,0694 m³/s na ETE Imperatriz, a qual possui capacidade de 0,0833 m³/s (ANA, 2017). Ou seja, no mínimo, 0,0962 m³/s de esgotos não são submetidos a nenhum tipo de tratamento.

4.1.2 PROJETO CONCEITUAL

Foram definidas as seguintes premissas:

- Foi considerada como demanda a outorga da Suzano no rio Tocantins, com vazão total outorgada igual a 2,139 m³/s;
- Em indústrias, nem todas as demandas podem ser atendidas por água não potável. Como referência, assumiu-se que a água de reúso será utilizada para reposição de sistemas de resfriamento. No caso de indústrias de papel e celulose, esse uso representa em média 26% do total¹⁰. Portanto, a demanda não potável de referência é igual a $2,139 \times 0,26 = 0,556$ m³/s;
- Assumiu-se que a ETE Imperatriz terá de ser expandida futuramente para universalização do tratamento na cidade. Frente à geração atual de esgotos de 0,194 m³/s e à taxa geométrica de crescimento populacional de 0,71% aa entre 2000 e 2010¹¹, projeta-se que a geração futura será de 0,240 m³/s para horizonte de projeto de 30

¹⁰ Valor com base em Van der Leeden et al. (1990), Moström (2015) e Statistics Canada (2018).

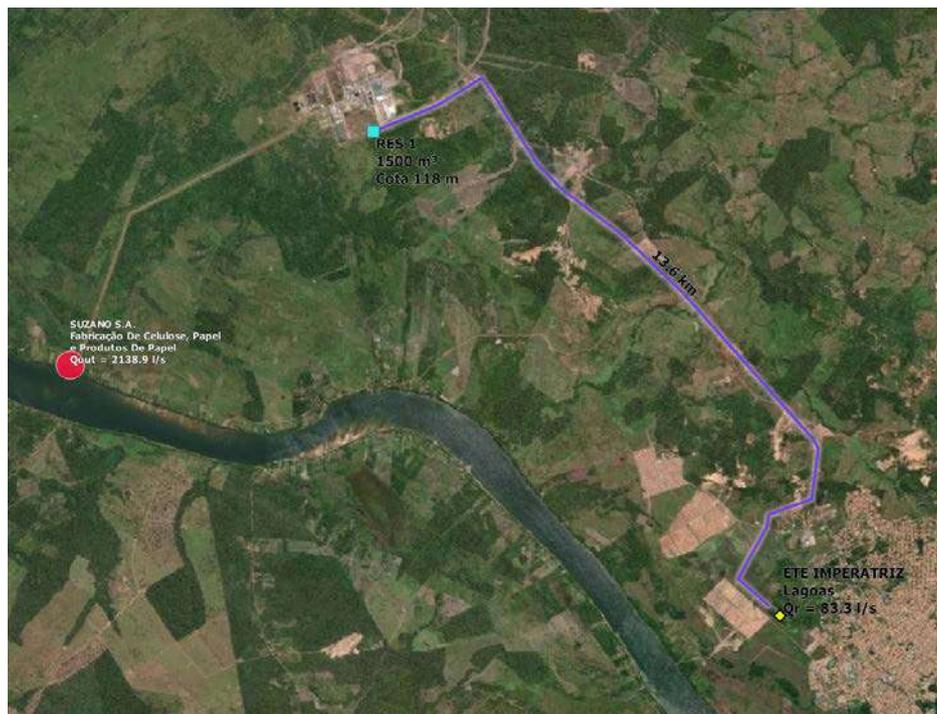
¹¹ http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/imperatriz_ma#demografia.

anos. Assim, determinou-se vazão de projeto da ETE de $0,250 \text{ m}^3/\text{s}$; ou seja, a produção de água de reúso em relação à demanda não potável é $250/555,9 = 45\%$;

- Determinou-se que a vazão de produção de água de reúso da ETE é igual à sua capacidade de tratamento. Vale ressaltar que a vazão de lançamento de uma ETE muitas vezes é fundamental para a manutenção de vazão mínima ambiental (como a Q95%) dos corpos receptores, principalmente em rios intermitentes. Isso, entretanto, não foi considerado nas premissas deste estudo de caso, dado que é uma análise que requer aprofundamentos sobre a situação de balanço hídrico da bacia que fogem ao escopo proposto;
- A adutora proposta parte da ETE Imperatriz e segue a Estrada do Arroz sentido Cidelândia até a planta da Suzano, com comprimento total de 13,6 km;
- A verificação por sobreposição de imagens de satélite (ESRI Satélite – ArcGIS/World Imagery) mostra que a outorga se encontra a, aproximadamente, 6 km do usuário¹² (ver Figura 29). A captação é realizada no rio Tocantins e segue até a planta por adutora própria da empresa; e
- Considerou-se um reservatório final proposto com volume de 1.500 m^3 .

A Figura 29 ilustra o conceito anterior.

FIGURA 29 – Estudo de caso 1 - ilustração conceitual do sistema de produção e distribuição de água de reúso para abastecimento do polo siderúrgico de Açailândia

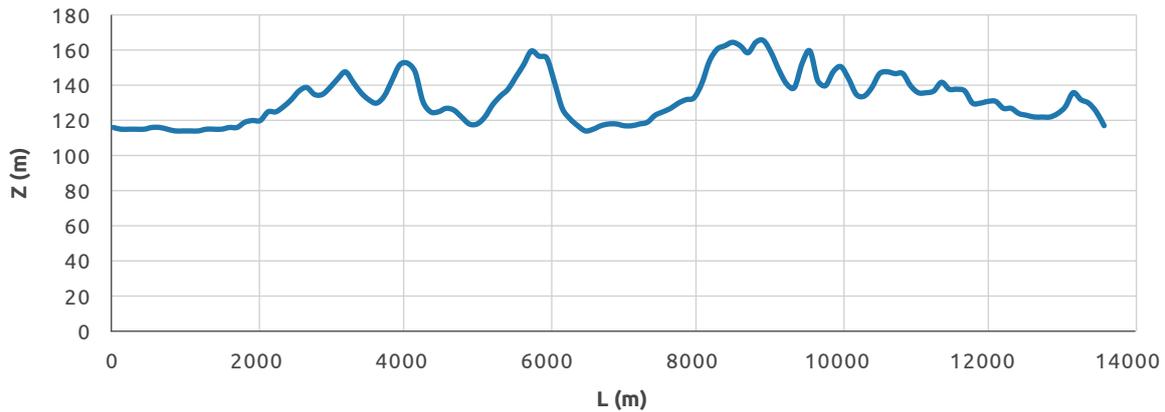


Fonte: Elaborada pelos autores.

12 Outorga (lat/lon: -5,45761; -47,61019); planta (lat/lon: -5,41796; -47,56847). SIRGAS 2000.

O perfil de elevação do terreno no traçado da adutora obtido a partir do Modelo Digital de Elevação (WEBER et al., 2004) mostra que a ETE possui cota de 117 m, o ponto final (reservatório) de 118 m e o ponto mais alto no caminhamento é de 167 m, conforme a Figura 30.

FIGURA 30 – Estudo de caso 1 - perfis de elevação do terreno para as adutoras 1 e 2



Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base nisso, as principais variáveis de projeto utilizadas para cálculo de custos são as constantes na Tabela 34.

TABELA 34 – Estudo de caso 1 - principais variáveis de projeto

Variável	Var.	Valor / unid.	
Capacidade da ETE	Q	0,250 m ³ /s	
Adutora	Trecho pressurizado	L1	8,92 km
		DN1	600 mm
		$\Delta H_{g,1}$	50 m
		AMT	63 m
		L2	4,67 km
	Trecho por gravidade	DN2	500 mm
		$\Delta H_{g,2}$	49 m
		Pressão no uso	32,1 m
		Potência da elevatória	P
Reservatório	V	1.500 m ³	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Considerando-se as funções de custos de tratamento, distribuição e reservação (ver item 1.5), o Capex total é de R\$53.112.828,00 e o Opex de R\$7.729.080,00/ano. Os custos resultantes são os apresentados na Tabela 35.

TABELA 35 – Estudo de caso 1 – Capex e Opex

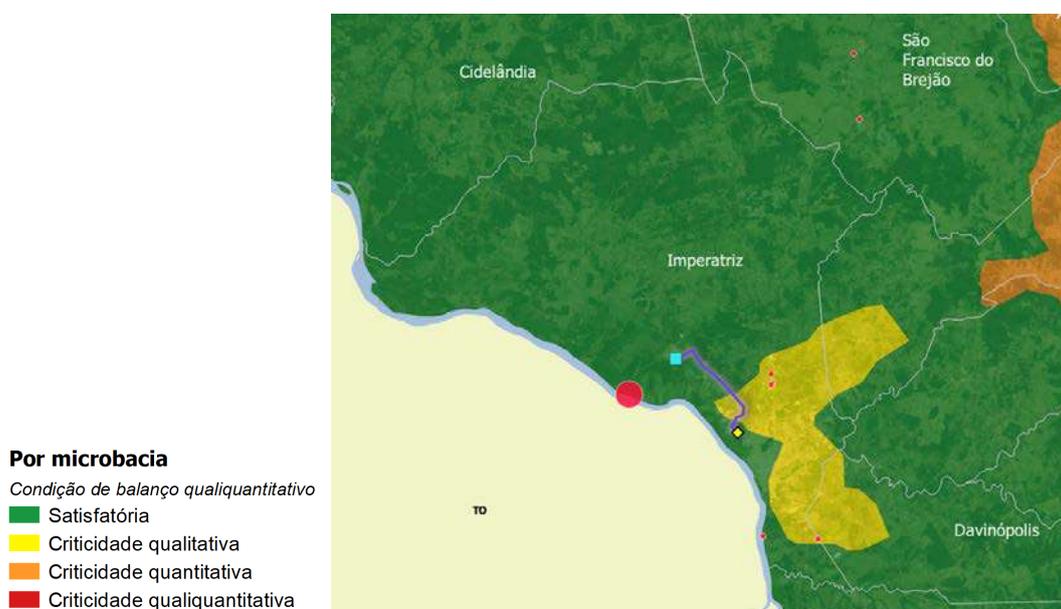
Item	Capex (R\$)	Opex (R\$/ano)
ETE	R\$32.316.404	R\$5.587.135
Adutora	R\$18.103.488	R\$2.104.757
Estação elevatória	R\$1.866.542	R\$37.188
Reservatório	R\$826.395	R\$37.188
Total	R\$53.112.828	R\$7.729.080

Fonte: Elaborada pelos autores.

Dessa forma, para VPL= 0, tempo de retorno de 30 anos e taxa de atratividade de 12% aa, a tarifa mínima para o arranjo proposto é igual R\$1,82/m³.

4.1.3 ANÁLISE

Imperatriz é um dos principais municípios do Maranhão e cidade central da RMSM. Ainda que não esteja localizada em região de alta criticidade hídrica, há microbacias em que se constata criticidade qualitativa, principalmente na zona urbana, como se vê na Figura 31. As microbacias são as do rio Cacaú e de um afluente não nomeado do rio Barra Grande.

FIGURA 31 – Estudo de caso 1 - balanço hídrico por microbacia em Imperatriz

Fonte de dados: ANA (2015). Elaborada pelos autores.

Considerando que a demanda per capita de água no município é de 135 L/hab/dia (SNS/MDR, 2019), os 0,250 m³/s que podem ser destinados a reúso não potável industrial são equivalentes a 160.000 habitantes, ou 62% da população atual. O crescimento demográfico de 0,71% aa, se mantido, resultará em incremento de quase 40.000 habitantes nos próximos 30 anos, o que conduzirá a maior demanda de água potável.

Além da redução da pressão sobre os mananciais, a implantação do reúso resulta também na melhoria da qualidade dos efluentes excedentes, dado que os esgotos sanitários gerados no município serão submetidos a tratamentos com altas eficiências de remoção de matéria orgânica.

4.2 ESTUDO DE CASO 2: ABASTECIMENTO DO POLO SIDERÚRGICO DE AÇAILÂNDIA POR ETE FUTURA

4.2.1 CONTEXTO

Açailândia é o oitavo maior município do Maranhão em termos de população, contando com 104.047¹³ habitantes. Localiza-se próximo à RMSM e à divisa com o Pará, no extremo sudoeste do estado.

O município abriga o maior polo siderúrgico das Regiões Norte e Nordeste, o Polo Siderúrgico de Açailândia, o qual é o principal responsável por conferir à cidade o quarto maior PIB industrial do estado. As primeiras empresas do polo se implantaram ainda em meados dos anos 1980 como parte do Programa Grande Carajás, com o intuito beneficiar as matérias-primas extraídas de Eldorado dos Carajás (PA) (MANCINI & CARNEIRO, 2018). Além das atuais empresas, como Vale, Gusa Nordeste e Cia. Vale do Pindaré, projeta-se ainda a implantação de um novo condomínio industrial privado da Aço Verde Brasil (AVB)^{14,15}, o que certamente irá incrementar a atividade produtiva e, conseqüentemente, as demandas por água.

Açailândia ainda não possui ETE. A estimativa de geração de esgotos é de 0,104 m³/s, sendo 0,0135 m³/s (13%) tratados por sistemas isolados como fossas-filtro (ANA, 2017a, 2017b). Segundo o SNIS 2018 (SNS/MDR, 2019), o índice de tratamento no município é igual a zero.

13 <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/acailandia/panorama>.

14 <https://acailandia.com.br/avb-lancara-o-primeiro-polo-empresarial-privado-do-maranhao/>.

15 <https://jornalpequeno.com.br/2020/01/31/viabilizado-primeiro-distrito-industrial-privado-do-maranhao-em-acailandia/>.

Os registros da Sema (2020) indicam nove outorgas industriais no município, com vazão total de 0,294 m³/s. Destas, seis se referem diretamente ao polo, somando 0,285 m³/s, ou seja, quase a totalidade.

4.2.2 PROJETO CONCEITUAL

Foram definidas as seguintes premissas:

- Foram consideradas como demandas seis outorgas do polo siderúrgico de Açailândia, as quais somam 0,285 m³/s;
- Em indústrias, nem todas as demandas podem ser atendidas por água não potável. Como referência, assumiu-se que a água de reúso será utilizada para reposição de sistemas de resfriamento. No caso de atividades metalúrgicas, esse uso representa, em média, 60% do total¹⁶. Portanto, a demanda não potável de referência utilizada foi de $0,285 \times 0,60 = 0,176$ m³/s;
- Como o município não possui ETE, foi proposta a implantação uma nova estação próxima à área urbana de Açailândia¹⁷. Frente à vazão estimada de geração de esgotos de 0,104 m³/s e à taxa geométrica de crescimento geográfico de 1,65% aa entre 2000 e 2010¹⁸, projeta-se geração futura de 0,170 m³/s para horizonte de projeto de 30 anos. Assim, determinou-se a vazão de projeto da ETE de 0,180 m³/s;
- A vazão da ETE (0,180 m³/s) é praticamente coincidente com as demandas não potáveis estimadas (0,176 m³/s);
- Determinou-se que a vazão de produção de água de reúso da ETE é igual à sua capacidade de tratamento. Vale ressaltar que a vazão de lançamento de uma ETE muitas vezes é fundamental para a manutenção da vazão mínima ambiental (como a Q95%) dos corpos receptores, principalmente em rios intermitentes. Isso, entretanto, não foi considerado nas premissas deste estudo de caso, dado que é uma análise que requer aprofundamentos sobre a situação de balanço hídrico da bacia que fogem ao escopo proposto;
- A adutora parte da ETE proposta e segue a BR-222 até o polo, havendo uma derivação no bairro Pequiá para atendimento a um usuário isolado (ver Figura 29). O comprimento total da adutora, considerando a derivação, é de 14,5 km; e
- Dois reservatórios foram propostos: um com 1.000 m³ (RES 1) no polo e outro com 250 m³ (RES 2) para o usuário isolado.

16 Valor com base em Van der Leeden et al. (1990), Moström (2015) e Statistics Canada (2018).

17 Localização: lat/lon: -4,933256; -47,477515 (SIRGAS2000).

18 http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/acailandia_ma.

A Figura 32 ilustra o conceito adotado.

FIGURA 32 – Estudo de caso 2 - ilustração conceitual do sistema de produção e distribuição de água de reúso para abastecimento do polo siderúrgico de Açailândia



Fonte: Elaborada pelo autor.

As outorgas consideradas são as descritas na Tabela 36. Das seis, cinco se referem a um mesmo usuário, a Gusa Nordeste S.A.

TABELA 36 – Estudo de caso 2 - outorgas consideradas

Usuário	Qout (m³/s)	Manancial	Lat(a)	Lon(a)
Guarany Siderúrgica e Mineração S.A.	0,0556	Superficial	-4,8690	-47,399
Gusa Nordeste S.A.	0,0136	Superficial	-4,8800	-47,412
Gusa Nordeste S.A.	0,0278	Superficial	-4,8736	-47,400
Gusa Nordeste S.A.	0,0250	Subterrâneo	-4,8734	-47,406
Gusa Nordeste S.A.	0,0250	Subterrâneo	-4,8734	-47,402
Gusa Nordeste S.A.(b)	0,0153	Subterrâneo	-4,8926	-47,388
Total	0,285	-	-	-

(a) Datum SIRGAS2000

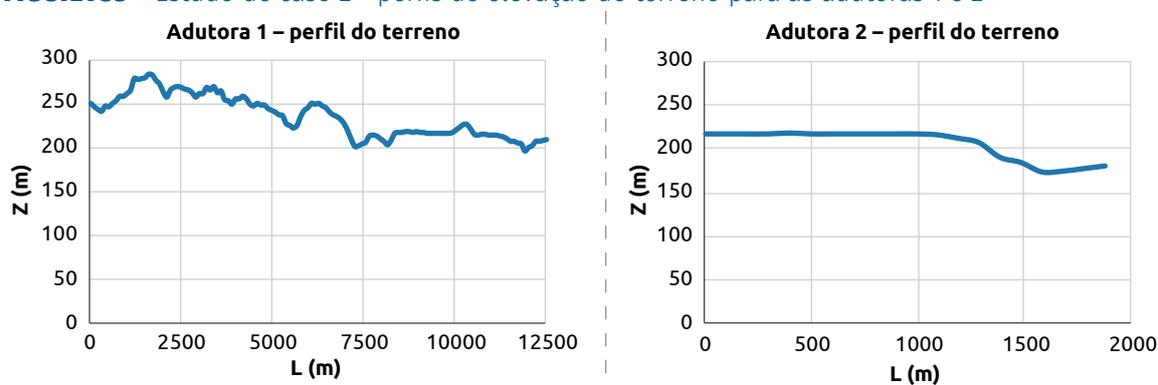
(b) Outorga atendida pela derivação da adutora

Fonte: Elaborada pelos autores.

A derivação da adutora alimenta o usuário com volume de $0,0153 \text{ m}^3/\text{s}$ e, com base nisso, foi utilizada vazão de $0,020 \text{ m}^3/\text{s}$ para dimensionamento desse trecho, o qual, segundo o traçado proposto, pode ser realizado totalmente por gravidade.

O perfil de elevação do terreno obtido a partir do Modelo Digital de Elevação (WEBER et al., 2004) mostra que a ETE possui cota de 251 m, os pontos finais de 210 m (RES1) e 180 m (RES2) e o ponto mais alto do caminho de 284 m, conforme a Figura 33.

FIGURA 33 – Estudo de caso 2 - perfis de elevação do terreno para as adutoras 1 e 2



Fonte: Elaborada pelos autores.

As variáveis utilizadas para o cálculo dos custos foram as da Tabela 37.

TABELA 37 – Estudo de caso 2 - principais variáveis de projeto adotadas

Item	Var.	Valor	
Capacidade da ETE	Q	$0,180 \text{ m}^3/\text{s}$	
Adutora A	Trecho pressurizado	LA1	1,58 km
		DNA1	500 mm
		$\Delta H_{g,A1}$	33 m
		AMT	36,5 m
	Trecho por gravidade	LA2	10,99 km
		DN A2	400 mm
		$\Delta H_{g,A2}$	74 m
		Pressão no uso	12,2 m
Adutora B	Trecho por gravidade	Q*	$0,020 \text{ m}^3/\text{s}$
		LB	1,88 km
		DNB	150 mm
		$\Delta H_{g,B}$	38 m
		Pressão no uso	16,1 m
		Potência da elevatória	P
Reservatório 1	V1	1.000 m^3	
Reservatório 2	V2	250 m^3	

* Vazão da derivação da adutora em Pequiá

Fonte: Elaborada pelos autores.

Considerando-se as funções de custos de tratamento, distribuição e reservação (ver item 1.5), o Capex total é de R\$41.096.764,00 e o Opex, de R\$5.379.544,00/ano. Os custos resultantes são os apresentados na Tabela 38.

TABELA 38 – Estudo de caso 2 - Capex e Opex

Item	Capex (R\$)	Opex (R\$/ano)
ETE	R\$ 24.475.204	R\$ 4.129.017
Adutora 1	R\$ 13.288.292	
Adutora 2	R\$ 890.902	R\$ 1.212.221
Estação elevatória	R\$ 1.591.114	
Reservatório 1	R\$ 619.673	R\$ 27.885
Reservatório 2	R\$ 231.579	R\$ 10.421
Total	R\$ 41.096.764	R\$ 5.379.544

Fonte: Elaborada pelos autores.

Dessa forma, para VPL= 0, tempo de retorno de 30 anos e taxa de atratividade de 12% aa, a tarifa mínima para o arranjo proposto é igual R\$1,85/m³.

4.2.3 ANÁLISE

Açailândia é, sem dúvida, um dos principais municípios maranhenses no que se refere a atividades industriais. Levando-se em conta que a cidade não possui tratamento municipal de esgotos, o necessário advento de futuras ETEs pode levar em conta a possibilidade de abastecimento das expressivas demandas do polo. Além disso, a previsão de instalação de um condomínio novo da Aço Verde Brasil (AVB) conduzirá a certo incremento na demanda de água.

Vale ressaltar que, ainda que o polo tenha trazido desenvolvimento econômico e crescimento do PIB municipal nas últimas décadas, há um histórico de conflitos e disputas judiciais entre a sociedade civil, o poder público e as empresas, principalmente em questões ligadas a saúde pública, qualidade do ar, degradação da qualidade da água e crises de abastecimento público (FIOCRUZ, 2018).

Tensões sociais como essas podem se agravar caso a disponibilidade hídrica natural não seja suficiente frente às concentradas e crescentes demandas industriais, gerando conflitos pelo uso da água, situação já vista em locais como o Complexo Portuário e Industrial do Pecém no Ceará (CIPP)¹⁹.

O reúso, se bem inserido dentro num conjunto de soluções múltiplas e adequadas à realidade local, pode ser um importante instrumento para redução das vazões retiradas de mananciais, podendo exercer também importante papel na conciliação de conflitos.

19 <http://www.iela.ufsc.br/noticia/luta-pela-agua-no-ceara>.



5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES



Este estudo, a partir de suas diferentes abordagens, buscou explorar as possibilidades atuais e futuras de reúso no estado do Maranhão, tendo como intuito colaborar com a compreensão das oportunidades e fornecer elementos de auxílio à tomada de decisão sobre o tema.

A realidade de tratamento de esgotos do Maranhão mostra estado ainda incipiente. A geração total de esgotos é estimada entre 5,74 e 6,36 m³/s, com cobertura de somente 13,5% e poucas ETEs em operação. A inauguração da ETE Vinhais, há três anos, e as obras em andamento da ETE Anil, ambas em São Luís, mostram os esforços para ampliar o tratamento de esgotos, o que, se adequadamente planejado, pode considerar o possível atendimento a demandas industriais. A evidente necessidade de expansão da infraestrutura de tratamento pode ser vista, nesse sentido, como uma oportunidade.

A indústria maranhense é a 16ª do Brasil em termos de valor adicionado, com R\$ 13,5 bi em 2017 e destaque aos setores de construção, serviços de utilidade pública, metalurgia, celulose e papel, bebidas e alimentos. As demandas de água estimadas pela indústria somam 3.967,4 L/s, concentradas, majoritariamente, em Imperatriz, Açailândia, Pedreiras e Campestre do Maranhão.

Ainda que o balanço hídrico na maior parte do território seja favorável, há microbacias que são consideradas críticas, o que já aponta para a necessidade de ações que auxiliem na redução da pressão sobre os mananciais e na garantia de qualidade dos corpos hídricos.

As análises por ETE-usuário não resultaram na identificação de muitas oportunidades imediatas de reúso, justamente porque ainda há poucas ETEs implantadas e pelo fato de os principais usuários industriais não estarem localizados em suas proximidades. Ainda assim, conforme explorado nos estudos de caso, há duas situações de grande relevância: abastecimento da Suzano S.A. a partir da ETE Imperatriz e fornecimento de água de reúso ao Polo Siderúrgico de Açailândia por uma estação de tratamento a ser construída na cidade, a qual hoje não conta com ETEs. Essas situações inclusive ensejam o estabelecimento de Parcerias Público-Privadas (PPPs) para viabilização da implantação de estações.

Utilizando-se as zonas e subzonas previstas pelo ZEE-MA, foi desenvolvido e aplicado o modelo de Índice de Aptidão de Reúso (IAR), o qual, por meio de abordagem multicritério, forneceu resultados quantitativos para a identificação de cinco regiões específicas localizadas principalmente nas subzonas 1.1 e 1.2 do ZEE (subzonas com alto e médio potencial social). Essas regiões são, segundo os critérios que compõem o modelo, as mais aptas à prática de reúso industrial não potável.

A estimativa de custos considerou custos específicos do estado fornecidos pela Caema, o que aproxima os valores à realidade local. Dado que todas as ETEs do estado utilizam processos não suficientes para produção de água de reúso, assumiu-se a implantação de novos sistemas de reatores biológicos com membranas submersas (MBR). Para os cenários propostos, as tarifas mínimas de produção, adução e reservação de água variaram entre 1,47 e 2,87 R\$/m³.

Por fim, espera-se que os resultados deste trabalho forneçam subsídios aos atores interessados em ações de diversificação de fontes de água e em proposição de soluções positivas à gestão de recursos hídricos no Maranhão, servindo como base para futuros estudos mais detalhados que venham a viabilizar programas de reúso não potável para atendimento à indústria.



REFERÊNCIAS

ADHAM, S.; DECAROLIS, J. F. Optimization of various MBR systems for water reclamation: phase III final technical report. maio 2004. Disponível em: <https://www.usbr.gov/research/dwpr/reportpdfs/report103.pdf>. Acesso em? 08 set. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH): balanço hídrico quantitativo. 2015. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/snirh/snirh-1/aceso-tematico/balanco-hidrico>. Acesso em: 08 set. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2017a. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 08 set. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Atlas esgotos tabela completa por município. 2017b. Disponível em: http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=471&fname=ATLAS_Esgotos_Tabela_Completa_por_Municipio.xlsx&access=private. Acesso em: 08 set. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Atlas esgotos: estações de tratamento de esgoto (2013). 2017c. (Planilha). Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01>. Acesso em: 08 set. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Estação de tratamento de esgoto (shp). 2017d. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01>. Acesso em: 08 set. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Planilha de outorgas. 2020. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/regulacao/principais-servicos/outorgas-emitidas>. Acesso em 08 set. 2020.

BATISTELLA, M. et al. Relatório final do macrozoneamento ecológico-econômico do estado do Maranhão – Produto 4. Campinas; São Luis: Embrapa Monitoramento por Satélite; Embrapa Cocais, 2014. Disponível em: <http://www.zee.ma.gov.br/>. Acesso em 08 set. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. O uso racional da água no setor industrial. Brasília: CNI, 2017a.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. Reúso de efluentes: metodologia para análise do potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial. Brasília: CNI, 2017b.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado do Rio de Janeiro. Brasília: CNI, 2019a.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado de Pernambuco. Brasília: CNI, 2019b.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado do Rio Grande do Norte. Brasília: CNI, 2019c.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado do Espírito Santo. Brasília: CNI, 2019d.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado do Ceará. Brasília: CNI, 2019e.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado da Paraíba. Brasília: CNI, 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. Perfil da Indústria nos Estados. Disponível em: <http://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/ma>. Acesso em: 16 mar. 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DO MARANHÃO - CAEMA. Dados sobre as ETEs operadas pela companhia. São Luís: CAEMA, 2019a.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DO MARANHÃO - CAEMA. Custos unitários de estações elevatórias e adutoras. São Luís: CAEMA, 2019b.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. Plano diretor de esgotos da região metropolitana de São Paulo: relatório final: volume III: sistema principal de esgotos. São Paulo: Sabesp, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Malhas territoriais. 2015. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/. Acesso em: 08 set. 2020

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938#notas-tabela>. Acesso em 20/01/2020a. Acesso em 08 set. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Portal do IBGE cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 jan. 2020b.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC. Shapefiles das zonas e subzonas do ZEE-MA. 2020. Disponível em: <http://www.zee.ma.gov.br/Portal/basededados>. Acesso em 20 jan. 2020.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ - FIOCRUZ. Mapa de conflitos envolvendo injustiça ambiental e saúde no Brasil: MA – Poluição causada por atividade siderúrgica ameaça existência da Comunidade Piquiá de Baixo, em Açailândia. Disponível em: <http://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/?conflito=ma-industria-guseira-contaminacao-da-agua-falta-de-seguranca-e-condicoes-improprias-a-vida-e-a-saude-dos-moradores-do-distrito-industrial-de-pequia-acailandia>. Acesso em: 09 mar. 2020.

GUO, T.; ENGLEHARDT, J.; WU, T. Review of cost versus scale: water and wastewater treatment and reuse processes. *Water Science and Technology*, v. 69, n. 2, p. 223–234, 2014.

JUNG, Y. T.; NARAYANAN, N. C.; CHENG, Y. L. Cost comparison of centralized and decentralized wastewater management systems using optimization model. *Journal of Environmental Management*, v. 213, p. 90–97, 2018.

MIERZWA, J. C. O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria: estudo de caso da Kodak brasileira. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. 2 v.

MANCINI, R. M.; CARNEIRO, M. S. Desenvolvimento industrial e mercado de trabalho: contestação social e transformações recentes na produção siderúrgica na Amazônia Oriental. *Caderno CRH*, Salvador, v. 31, n. 83, p. 373-387, maio/ago. 2018.

MINISTÉRIO DAS CIDADES - MCIDADES. Elaboração de proposta do plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil: produto III: critérios de qualidade de água (RP01B). Brasília: MCidades, 2017.

MINISTÉRIO DO TRABALHO - MTE. Microdados RAIS e CAGED: ano base 2018. 2019. Disponível em: <ftp://ftp.mtps.gov.br/pdet/microdados/>. Acesso em: 08 set. 2020.

MOSTRÖM, J. Statistiskt meddelande: industrins vattenanvändning 2015. [S.l.: s.n.], 2017.

MU, E.; PEREYRA-ROJAS, M. Practical decision making: an introduction to the Analytic Hierarchy Process (AHP) using super decisions V2. Nova Iorque: Springer International Publishing, 2017.

NOGUEIRA, M. R. de S. Otimização econômica do uso de esgoto tratado: uma análise do transporte da água de reúso em busca da sustentabilidade. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD; ENVIRONMENTAL ACTION PROGRAMME - EAP. Rural cost functions for water supply and sanitation: technology overview and cost functions. nov. 2005. (EXD/PCM/EN/NMC/04/125).

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. Atlas do desenvolvimento humano no Brasil. 2013. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br/2013/>. Acesso em 02 fev. 2020.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA. (Maranhão). Base de dados de outorgas de captação ativas para finalidades industriais. São Luís: SEMA, 2020.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO – SNS; MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL – MDR. Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2017. Brasília: SNS; MDR, 2019a.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO – SNS; MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL – MDR. Sistema nacional de informações sobre saneamento: 24º diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2018. Brasília: SNS; MDR, 2019b.

SGROI, M.; VAGLIASINDI, F. G. A.; ROCCARO, P. Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, v. 2, p. 20–25, 2018.

STATISTICS CANADA. Table 38-10-0056-01 water intake in manufacturing industries, by purpose of initial use and North American industry classification system (x 1,000,000). Disponível em: <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/cv.action?pid=3810005601>. Acesso em: 20 jan. 2018.

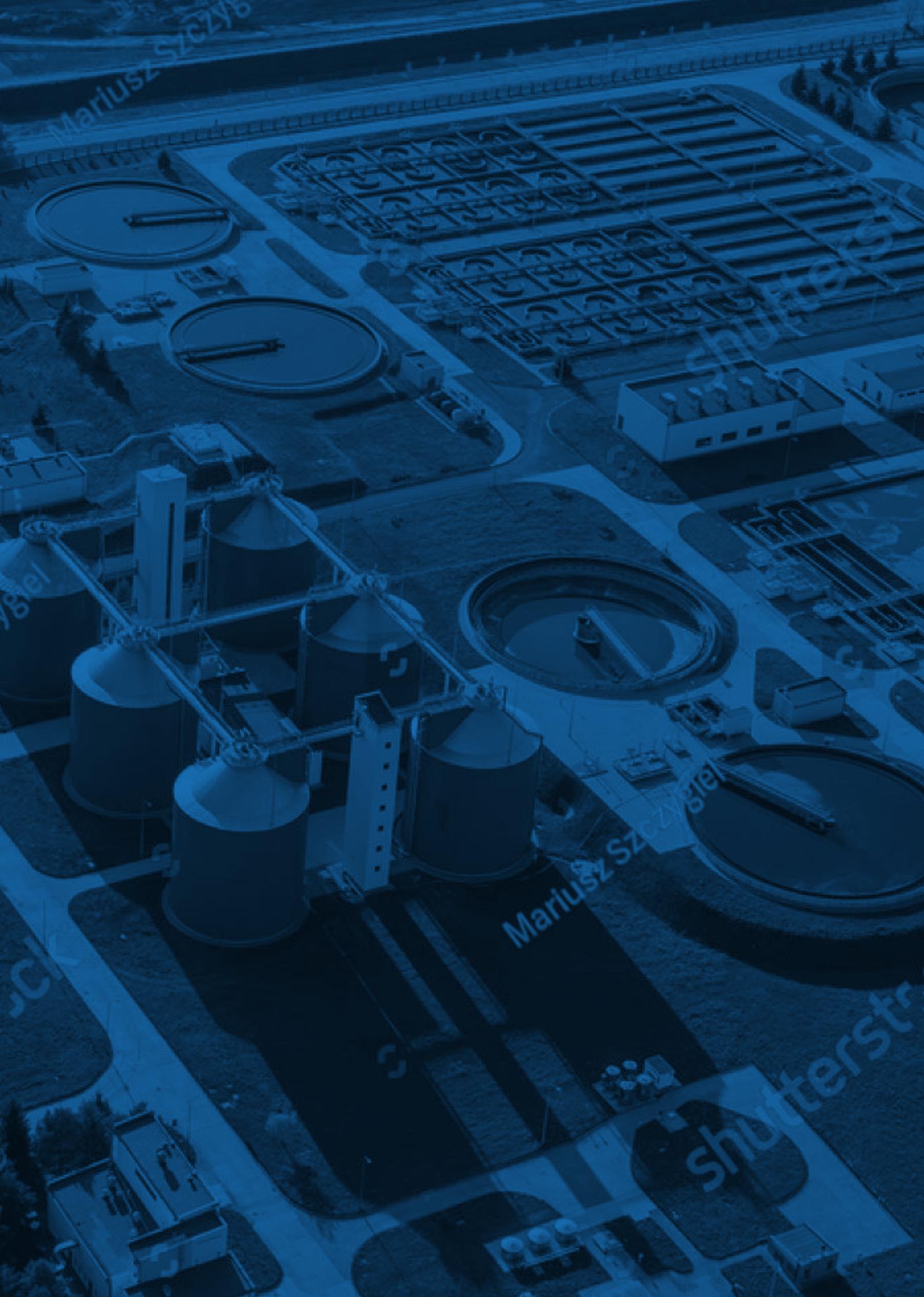
UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Guidelines for water reuse 2012. Washington: EPA, 2012.

VAN DER LEEDEN, F.; TROISE, F.; TODD, D. K. *The water encyclopedia*. 2. ed. Michigan: Lewis Publishers, 1990.

VON SPERLING, M. Urban wastewater treatment in Brazil. [S.l.]: IDB, 2016. (Technical note IDB-TN-970).

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C. J. S. Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia, 2004. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/dados-espaciais/260-modelos-digitais-de-elevacao-do-srtm-no-formato-geotiff>. Acesso em: 08 set. 2020.

WILCOX, J. et al. Urban water reuse: a triple bottom line assessment framework and review. *Sustainable Cities and Society*, v. 27, p. 448–456, 2016.



ANEXO A – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE TRATAMENTO DE DADOS DE OUTORGAS

As outorgas concedidas pela ANA (federais) foram obtidas de relatórios disponibilizados no site da agência¹, o qual contempla todas as unidades da Federação. Os dados e filtros aplicados para seleção das informações pertinentes são os da Tabela 01.

TABELA 01 – Filtros de dados - outorgas da ANA

Campo	Tipo de informação	Filtro aplicado	Utilizada?
Número do processo	Identificação do registro	-	N
Código CNARH	Inscrição no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos	-	N
Declaração outorgada	Identificação do registro	-	N
Nome do requerente	Identificação do usuário	-	S
CPF/CNPJ	Identificação do usuário	-	N
Município	Nome do município	-	S
UF	Unidade da Federação	Maranhão	S
Corpo hídrico	Corpo hídrico de captação ou lançamento	-	N
Região hidrográfica	Região hidrográfica	-	S
Finalidade principal	Abastecimento público, aquicultura, indústria, irrigação, criação de animais e outros	Indústria	S
Tipo de interferência	Captação, lançamento e uso não consuntivo	Captação	S
Latitude	Coordenadas geográficas	-	S
Longitude	Coordenadas geográficas	-	S
Resolução	Legislação pertinente	-	N
Data de publicação	-	-	N
Data de vencimento	-	Somente vigentes	S
Categoria	Status da outorga	Todos menos revogação, suspensão, indeferido, cancelamento e uso de pouca expressão	S
Volume anual	Volume anual outorgado em m ³	-	S
Método de irrigação	-	-	N
Cultura irrigada	-	-	N
Vazão (l/s)	Vazão em l/s outorgada	-	N
Dias/ mês	Dias por mês em que a captação é permitida	-	N
Horas/ dia	Horas por dia em que a captação é permitida	-	N

¹ Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/uorgs/sof/geout.aspx>.

Campo	Tipo de informação	Filtro aplicado	Utilizada?
Concentração de DBO (mg/l)	Informações relativas a outorgas de lançamento	-	N
Carga máxima de DBO (kg/dia)		-	N
Q indisponível DBO (m ³ /h)		-	N
Concentração de P (mg/l)		-	N
Carga máxima de P (kg/dia)		-	N
Q indisponível P (m ³ /h)		-	N
°C		-	N
Q indisponível T (m ³ /h)		-	N
URL		Link para download da resolução de concessão de outorga para cada usuário	-
Data de extração	Data de extração dos dados	-	N

Fonte: Base de dados de ANA (2020). Elaborada pelos autores.

A vazão foi determinada a partir do volume anual (“Volume anual”, m³).

Em relação às outorgas estaduais, os dados foram solicitados diretamente à Sema e já foram filtrados previamente pela equipe responsável, havendo pouca necessidade de aplicação de filtros, conforme a Tabela 02.

TABELA 02 – Filtros de dados - outorgas da Sema

Campo	Universo de informações	Filtro aplicado	Utilizada?
numero_processo	Identificação do registro	-	N
eprocessos	Identificação do registro	-	N
data_cadastramento	Identificação do registro	-	N
empreendedor_cpf_cnpj	Identificação do requerente	-	S
empreendedor	Identificação do requerente	-	S
imovel	Identificação do requerente	-	N
imovel_endereco	Identificação do requerente	-	N
municipio	Município da interferência	-	S
origem_agua	Tipo de manancial (subterrâneo ou superficial)	-	S
finalidade	Uso final	-	S
latitude	Coordenadas	-	S
longitude	Coordenadas	-	S
vazao_solicitada	Vazão solicitada pelo requerente (m ³ /h)	-	S
req_vazao_autorizada	Vazão concedida	-	
periodo_bombeamento	Tempo de bombeamento (m ³ /h)	-	S
bacia_hidrografica	Bacia hidrográfica da interferência	-	N
req_manancial	Nome do manancial	-	N
req_vazao_referencia	Vazão de referência do manancial (m ³ /h)	-	N

Campo	Universo de informações	Filtro aplicado	Utilizada?
req_vazao_teste	Vazão de teste de bombeamento (m ³ /h)	-	N
req_profundidade	Profundidade do lençol (m)	-	N
req_nivel_estatico	Nível estático do corpo hídrico (m)	-	N
req_nivel_dinamico	Nível dinâmico do corpo hídrico (m)	-	N
out_numero_outorga	Identificação do registro	-	N
out_inicio	Data de concessão	-	N
out_fim	Data de encerramento	-	N
out_status	Licença válida/ licença inválida	Somente licença válida	N
status_indeferimento	Indeferido/ deferido	Somente deferido	N

Fonte: Base de dados de Sema (2020). Elaborada pelos autores.

A vazão considerada foi a concedida ("req_vazao_autorizada", m³/h) multiplicada pelo número de horas de bombeamento por dia ("período_bombeamento", h/dia).



ANEXO B – DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE IAR

Neste tópico constam informações adicionais sobre o desenvolvimento do modelo de Índice de Aptidão ao Reúso (IAR) para identificação de áreas dentro das subzonas do ZEE-MA. O modelo é baseado no Analytic Hierarchy Process (AHP) e aspectos muito específicos, como detalhes dos métodos de análise de consistência e derivação de prioridades, não serão extensivamente explorados, sendo possível a consulta a bibliografias complementares como Saaty (2008) e Mu & Pereira-Rojas (2017).

Definidos os critérios que compõem o modelo (C1 a C4), cada um deles é comparado aos pares em relação aos demais (comparação paritária) a partir de um número inteiro que varia de 1 a 9, conforme as importâncias da Tabela 01.

TABELA 01 – Intensidade de importância na comparação paritária

Intensidade	Importância	Descrição
1	Igual	Ambas as atividades contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraca	-
3	Moderada	Experiência e julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
4	Moderada +	-
5	Forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
6	Forte +	-
7	Muito forte; importância demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominância é demonstrada pela experiência prática
8	Muito forte +	-
9	Importância absoluta	A evidência de favorecimento de uma atividade sobre a outra possui o grau mais alto de afirmação possível

Fonte: Adaptada de Saaty (2008).

Ou seja, caso se julgue que um critério possui importância “forte” em relação a outro, atribui-se valor igual a 5 na comparação paritária do primeiro em relação ao segundo, e assim analogamente para outras intensidades.

As importâncias paritárias atribuídas pelos autores são as apresentadas na Tabela 02.

TABELA 02 – Matriz de importâncias paritárias

Critério	C1	C2	C3	C4
C1	1	1/2	2	2
C2	2	1	2	2
C3	1/2	1/2	1	3
C4	1/2	1/2	1/3	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os elementos abaixo da diagonal (laranja) apenas refletem os acima da diagonal (verde), o que significa dizer que se C1 tem importância 2 sobre C3, C3 possui importância $\frac{1}{2}$ sobre C1. A diagonal principal, evidentemente, terá sempre valores iguais a 1.

O AHP prevê alguns passos intermediários como o cálculo da Razão de Consistência (RC), variável que avalia a consistência interna dos pesos atribuídos na comparação paritária. Esse valor deve ser menor ou igual a 0,10, conforme o método prevê.

A RC é calculada por meio do Índice de Consistência (IC) e dos Índices Randômicos (IR), outras variáveis previstas no método. As verificações são feitas por meio de determinação de autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) da matriz de prioridades para cálculo do IC e, em seguida, pela utilização do IR para obtenção da RC. Para este caso, a RC da matriz é igual a 0,0806, abaixo do limite de 0,10 permitido pelo método, demonstrando que a atribuição paritária entre os critérios é suficientemente consistente.

Das importâncias paritárias são obtidas as importâncias finais (ou pesos) de cada critério. O procedimento de obtenção de importâncias finais a partir das paritárias é denominado derivação de prioridades, e há diversas maneiras de realizá-lo. Neste estudo utilizou-se o método da média dos valores normalizados.

Por fim, os pesos finais de cada critério, bem como o autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) e a Razão de Consistência (RC) da matriz, são apresentados na Tabela 03.

TABELA 03 – Pesos finais dos critérios

Critério	Peso (P)	Ranking
C1	0,269	2°
C2	0,381	1°
C3	0,222	3°
C4	0,128	4°
Total	1,000	-

$\lambda_{\text{máx}} = 4,2152$

Ordem da matriz: 4

RC= 0,0806 < 0,10 – OK

Fonte: Elaborada pelos autores.

O somatório dos pesos de todos os critérios é igual a um, ou seja, cada um possui uma porcentagem de importância na obtenção do objetivo final do modelo (cálculo do IAR nesse caso).



ANEXO C – FUNÇÕES DE CUSTOS

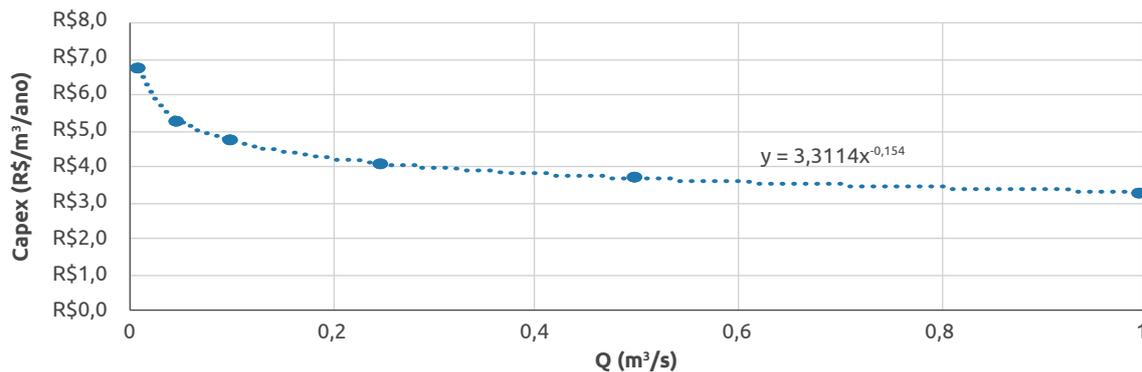
I. TRATAMENTO

Para Capex de tratamento, utilizou-se função com base em Guo et. al (2014), conforme a seguir:

$$Capex_{trat} = 3,311 \times Q^{-0,154}$$

Capex_{trat} (R\$/m³/ano) Capex de tratamento
Q (m³/s) Vazão

FIGURA 01 – Função de Capex de tratamento - Capex_{trat}



Fonte: Adaptada de Guo et. al (2014). Elaborada pelos autores.

O Opex foi decomposto em dois: custos exclusivamente referentes às demandas de energia elétrica e os demais (mão de obra, reposição de equipamentos e membranas, compra de produtos químicos e materiais etc.).

Para os custos de energia elétrica, assumiu-se demanda fixa igual a 0,634 kWh/m³ de água de reúso produzida (ADHAM & DECAROLIS, 2004). Para os demais gastos, os custos foram determinados em função da vazão, também conforme a Adham & DeCarolis (2004)¹, como apresentado a seguir:

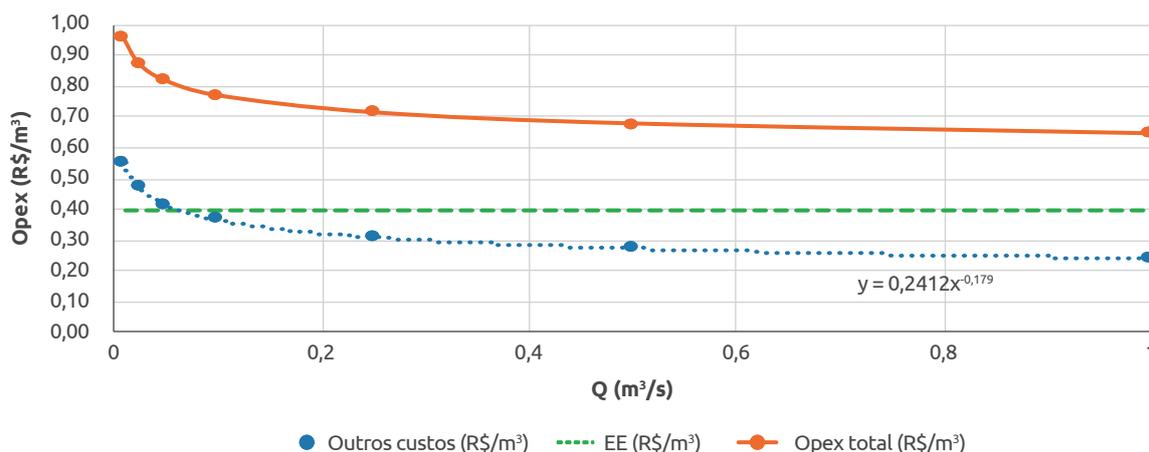
$$Opex_{MBR} = 0,2412 \times Q^{-0,179} + EE \times TE$$

Opex_{MBR} (R\$/m³) Opex de tratamento
Q (m³/s) Vazão
EE (kWh/m³) Uso de energia elétrica (fixado em 0,634 kWh/m³)
TE (R\$/kWh) Tarifa de energia elétrica

¹ A fonte apresenta valores isolados de custos em função da vazão. A equação foi determinada por esses autores com R²= 0,8305.

Sendo a tarifa de energia elétrica igual a R\$0,63018/kWh para o Maranhão², os custos com energia elétrica são iguais a $0,634 \times 0,63018 = \text{R}\$0,40/\text{m}^3$. A Figura 02 apresenta o comportamento de Opex de acordo com a vazão. Note-se que os custos unitários com energia elétrica são fixos.

FIGURA 02 – Função de Opex de tratamento - Opextrat



Fonte: Adaptada de Adham & DeCarolis (2004). Elaborada pelos autores.

II. ADUÇÃO

Os custos de adução foram determinados utilizando-se bases de dados cedidas pela Caema (2019b), as quais contemplam custos de obras de EEE e adutoras já concluídas para os sistemas Anil, Vinhais, São Francisco e Bacanga.

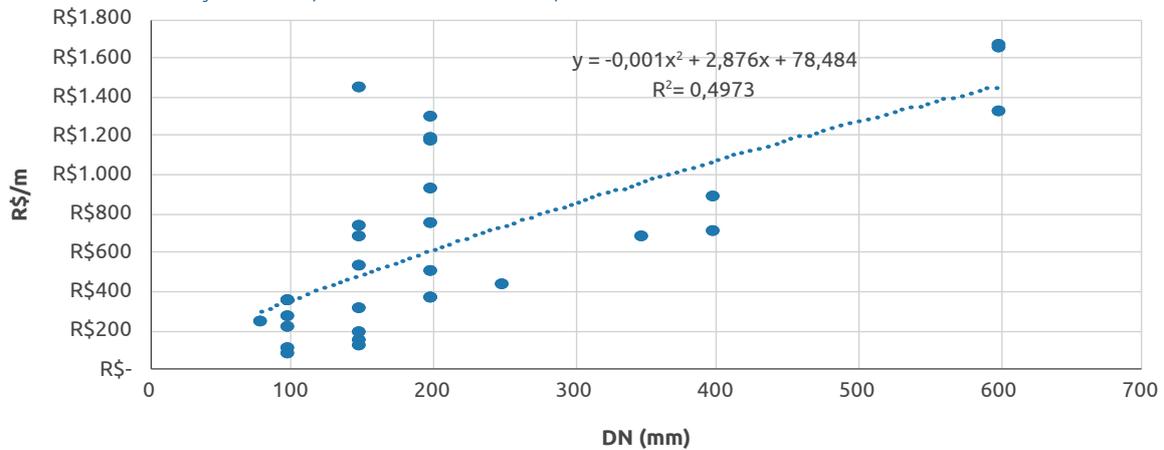
A) CAPEX DE ADUTORAS

Para implantação de adutoras, foram utilizados custos de obras concluídas pela Caema. A função do tipo polinomial de segundo grau apresentou maior aderência aos valores, o que também é comum em literatura especializada. O Capex de adutoras é calculado como consta a seguir e a Figura 36 ilustra os dados fornecidos pela Caema e o comportamento da curva da equação proposta.

$$\text{Capex}_{ad} = -0,001 \text{ DN}^2 + 2,88 \text{ DN} + 78,5 \quad (R^2 = 0,4973)$$

Capexad (R\$/m) Custo por metro de adutora
DN (mm) Diâmetro nominal da adutora

2 Tarifa Cemar para clientes comerciais/ industriais/ poder público em 2019. Disponível em: <https://ma.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/valor-de-tarifas-e-servicos/#demais-classes>.

FIGURA 03 – Função de Capex de adutoras - Capexad

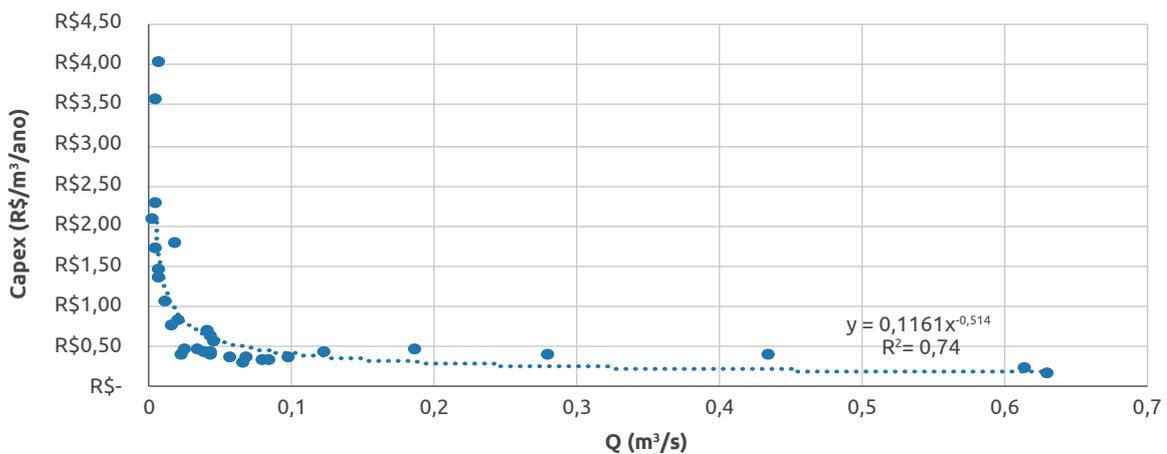
Fonte: Adaptada de Caema (2019b). Elaborada pelos autores.

B) CAPEX DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS (EE)

Para Capex de elevatórias, foram utilizados custos de obras concluídas pela Caema (2019b). A função do tipo potencial foi a que apresentou maior aderência aos valores, conforme demonstrado a seguir.

$$\text{Capex}_{EE} = 0,1161 \times Q^{-0,514} \quad (R^2 = 0,74)$$

CapexEE (R\$/m³/ano) Capex de EEE
Q (m³/s) Vazão

FIGURA 04 – Função de Capex de estações elevatórias - CapexEE

Fonte: Adaptada de Caema (2019b). Elaborada pelos autores.

C) OPEX DE ADUÇÃO

O Opex de adução inclui tanto os custos energéticos para pressurização quanto os de manutenção, mão-de-obra e reposição de equipamentos referentes ao sistema elevatório e às adutoras.

Para os custos de energia elétrica, foram utilizadas equações elementares da engenharia hidráulica para determinação da potência requerida pelo conjunto motor-bomba a partir das perdas de carga localizadas e distribuídas e do desnível geométrico a ser vencido, resultando na altura manométrica total (AMT) do sistema.

$$AMT = \frac{10,643 Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}} \times L + \frac{v^2}{2g \Sigma K_s} + \Delta H_g$$

AMT (m)	Altura manométrica total
Q (m³/s)	Vazão
D (m)	Diâmetro da tubulação
C (m ^{0,387} /s)	Coefficiente de rugosidade
v (m/s)	Velocidade de escoamento
L (m)	Comprimento da tubulação
ΣKs	Somatório dos coeficientes de perda de carga singular
g (m/s²)	Aceleração da gravidade
ΔHg (m)	Desnível geométrico

A potência, então, é calculada por:

$$P = \frac{9,85 \times Q \times AMT}{\eta}$$

Potência (kW)	Potência requerida do conjunto motor-bomba
Q (m³/s)	Vazão
AMT (m)	Altura manométrica total
η (%)	Eficiência do conjunto motor-bomba

A tarifa de energia elétrica utilizada foi a mesma aplicada ao tratamento (R\$0,63018/kWh).

Além do custo de energia, há os relativos à manutenção de componentes do sistema (elevatória e adutora), os quais costumam variar entre 3 a 6%/ano do Capex total (OECD/EAP, 2005; NOGUEIRA, 2010; MCIDADES, 2017). Assim, fixou-se que o Opexad anual de manutenção é igual a 4,5% do Capex total do sistema de bombeamento, incluindo elevatórias e adutoras.

Portanto, considerando-se ambas as parcelas de custos (energia e manutenção), o Opexad anual é:

$$Opex_{ad} = \frac{P \times t \times TE + 4,5\% (Capex_{EE} + Capex_{ad})}{Q_{anual}}$$

Opexad (R\$/m ³)	Opex anual de adução
Potência (kW)	Potência requerida do conjunto motor-bomba
t (h/ano)	Tempo de operação anual
TE (R\$/kWh)	Tarifa de energia elétrica
Q _{anual} (m ³ /ano)	Vazão anual de água de reúso produzida
Capex _{EE} (R\$)	Capex total de estações elevatórias
Capex _{ad} (R\$)	Capex total de adutoras

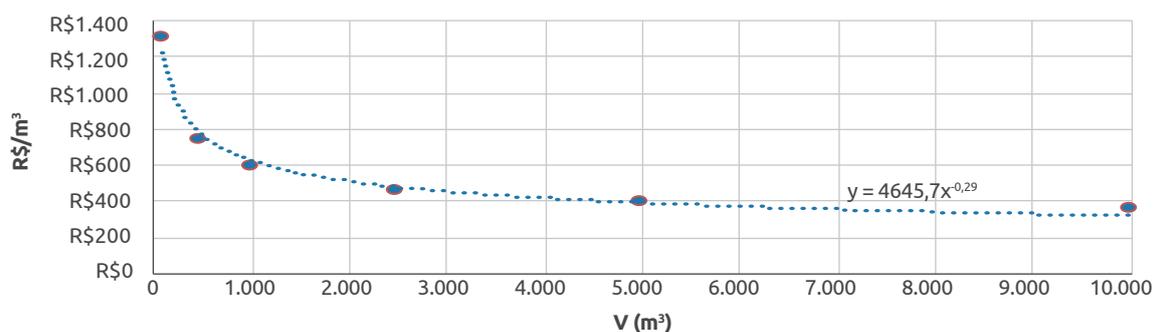
III. RESERVAÇÃO DE ÁGUA

Com base em CNI (2019)³, foram determinados custos de implantação de reservatórios, conforme descrito a seguir e a Figura 05.

$$Capex_{res} = 4.593,7 \times V^{-0,29} \quad (R = 0,9832)$$

Capex _{res} (R\$/m ³)	Capex por metro cúbico de reservatório
V (m ³)	Volume do reservatório

FIGURA 05 – Função de Capex de reservatórios



Fonte: Adaptada de CNI (2019). Elaborada pelos autores.

Assim como no caso de adutoras, assumiu-se que o Opex de reservação é igual a uma porcentagem do Capex. Utilizou-se o mesmo valor de 4,5%, ou seja:

$$Opex_{res} = 4,5\% \times Capex_{res} \times V$$

Opex _{res} (R\$/ano)	Opex de reservação
Capex _{res} (R\$/m ³)	Capex de reservação
V (m ³)	Volume de reservação

³ Procedeu-se à alteração do tipo de função (de polinomial a potencial), gerando leves diferenças em relação ao original. Função determinada por estes autores com R²= 0,9832. Reajuste pelo CCI/ENR.

CNI

Robson Braga de Andrade
Presidente

DIRETORIA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS – DRI

Mônica Messenberg Guimarães
Diretora de Relações Institucionais

Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade – GEMAS

Davi Bomtempo
Gerente-Executivo de Meio Ambiente e Sustentabilidade

José Quadrelli Neto
Maria do Socorro Lima Castello Branco
Pedro Henrique Pontes
Equipe Técnica

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO – DIRCOM

Ana Maria Curado Matta
Diretora de Comunicação

Gerência de Publicidade e Propaganda

Armando Uema
Gerente de Publicidade e Propaganda

Katia Rocha
Coordenadora de Gestão Editorial

Walner de Oliveira
Produção Editorial

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC

Fernando Augusto Trivellato
Diretor de Serviços Corporativos

Superintendência de Administração – SUPAD

Maurício Vasconcelos de Carvalho
Superintendente Administrativo

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA – CIRRA

José Carlos Mierzwa
Bruno Nogueira Fukasawa
Luana Di Beo Rodrigues
Lineu de Almeida
Autores

Renata Portella
Revisão Gramatical

Editorar Multimídia
Projeto Gráfico e Diagramação

 .cni.com.br

 /cnibrasil

 @CNI_br

 @cnibr

 /cniweb

 /company/cni-brasil

ISBN 978-65-86075-10-6



9 786586 075106 ▶



Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA