

## II-927 - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA USO NÃO POTÁVEL DE EFLUENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NA BACIA DO RIO DAS VELHAS-MG

### **Thiago Henrique Santos Abreu Morandi** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Engenheiro Ambiental no Centro de Referência em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto.

### **Lucas de Almeida Chamhum Silva**

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Especialista em Gestão de Projetos pela Universidade de São Paulo (USP). Sócio-diretor do Centro de Referência em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto.

### **Marcos von Sperling**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College London (Inglaterra). Professor titular aposentado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da UFMG.

### **Thiago Bressani Ribeiro**

Engenheiro Ambiental pela Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC). Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos em Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Doutor em Engenharia de Bioprocessos pela Universidade de Ghent (Bélgica). Sócio-diretor do Centro de Referência em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Av. Joaquina de Paula Corrêa, 1030 – Recanto da Lagoa – Lagoa Santa - MG - CEP: 33236-092 - Brasil - Tel: (31) 98101-8478 - e-mail: [thiagomorandi@live.com](mailto:thiagomorandi@live.com)

## RESUMO

O uso não potável de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é uma prática que pode auxiliar na gestão dos recursos hídricos e na garantia de disponibilidade de água para usos múltiplos. Tendo em vista tal potencial, bem como os problemas enfrentados com a escassez hídrica na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, uma das bacias mais importantes do estado de Minas Gerais, esse trabalho apresenta o potencial da prática de reúso seguindo as definições da Deliberação Normativa CERH nº65/2020. Através do acesso às bases de dados disponibilizadas por órgãos estaduais e nacionais sobre as ETEs e as outorgas de captação de água registradas no estado, foram levantados os potenciais de oferta e demanda por água para reúso nos municípios da bacia do Rio das Velhas. A maior parcela da demanda hídrica está relacionada ao uso agrossilvipastoril, seguido do uso industrial. No que tange à oferta, foi possível observar a grande quantidade de sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário na bacia, que atualmente não atendem aos padrões de reúso. A instalação de sistemas de desinfecção poderia aumentar a vazão disponível de água para reúso e, eventualmente, auxiliar na redução das situações de escassez hídrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** reúso de água, ETE, água para reúso, uso não potável de água, Rio das Velhas.

## INTRODUÇÃO

Amplamente reconhecida pela natureza imprescindível para a manutenção da vida, a água é parte essencial do cotidiano, quer seja para abastecimento público, agricultura, produção industrial, entre outras finalidades. Considerando esses usos múltiplos, é comum notar que, aqueles que não requerem qualidade elevada ou características de potabilidade, contribuem para o incremento da pressão sobre fontes de água tratada, ou na captação de água em regiões onde há conflito pelo uso. Logo, o uso não potável de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto (ETE) se apresenta como uma forma alternativa e sustentável de complementar a matriz hídrica, em especial para suprir a demanda de atividades que não requerem elevada qualidade de água, consequentemente aliviando a pressão por novas fontes de abastecimento, tais como as associadas à água para usos urbanos, industriais e na agricultura (ANGELAKIS *et al.*, 2018; COMISSÃO EUROPEIA, 2020). Em especial nesta última, há o benefício complementar da reciclagem de nutrientes por meio da fertirrigação (FLORÊNCIO *et al.*, 2006) quando estes não são removidos nas ETEs.

Diante desse contexto, diversos países utilizam efluentes de ETEs em larga escala, tendo concebido legislações específicas para regulamentar e garantir que a prática seja segura à população e ao meio ambiente (ANGELAKIS *et al.*, 2018). Seguindo tal linha, alguns estados brasileiros (p. ex.: CE, MG e SP) instituíram normativas sobre o uso não potável de efluentes de ETE. Além disso, em 2022, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos realizou consulta pública através de minuta de resolução sobre a prática de reúso direto não potável de água. Visto a tendência no cenário nacional à regulação da prática, cita-se a importância de as normativas serem aderentes à realidade brasileira de forma a amparar e permitir a difusão do reúso, com garantia da segurança sanitária e ambiental.

Apesar das iniciativas para normatização da prática de reúso no Brasil e do potencial latente de complementação da matriz hídrica, são poucos os exemplos reais de uso direto de efluentes de ETE no país. Nesse sentido, o presente estudo objetivou analisar o potencial para uso não potável direto de efluentes de ETEs na bacia hidrográfica do Rio das Velhas (BHRV). Para além de ser a principal bacia contribuinte ao Rio São Francisco, a BHRV foi escolhida, pois representa uma região estratégica no estado de Minas Gerais, em que residem 4,8 milhões de habitantes, o equivalente a 24,7% da população do estado (IBGE, 2010), além de abranger parte da região metropolitana de Belo Horizonte e do Quadrilátero Ferrífero (região de maior produção de minério de ferro bruto no país – BRASIL, 2023). Ademais, nos últimos anos foram reportadas situações de conflito pelo uso de água, assim como de crise hídrica (CBH VELHAS, 2019), de tal sorte que o reúso pode vir a se constituir uma fonte alternativa de água na matriz hídrica da região, contribuindo para a mitigação dos impactos decorrentes dessas situações.

O referido objetivo foi trabalhado a partir da comparação entre a demanda hídrica na BHRV e a quantidade de água passível de ser ofertada via reúso. Para além de uma análise quantitativa entre oferta e demanda, este estudo visou avaliar criticamente os apelos e limitações ao uso de efluente tratado de ETEs nas diferentes modalidades previstas na Deliberação Normativa (DN) CERH 65/2020, que regulamenta a prática no estado de MG.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi dividido em três etapas, sendo elas o levantamento do potencial quantitativo de demanda (dados de outorga) e de oferta de água para reúso (dados das ETEs da BHRV), separadamente, e a comparação entre ambos os potenciais, conforme fluxograma exposto na Figura 1.

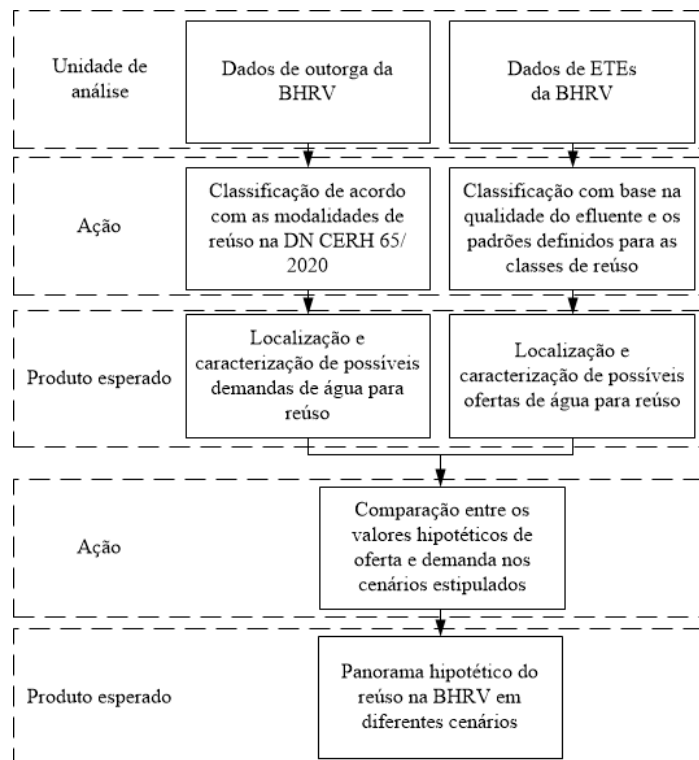


Figura 1: Fluxograma metodológico de desenvolvimento do estudo.

Utilizaram-se dados georreferenciados disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) sobre outorgas de direito de uso de recursos hídricos do ano de 2020 para levantamento da demanda hídrica. A oferta de água para reúso foi estimada principalmente através de informações sobre as ETEs constantes do Atlas Esgotos, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) – atualizado em 2019. Em seguida, classificaram-se as outorgas e as ETEs inseridas na área dos municípios da BHRV considerando as finalidades de uso da água aderentes às modalidades estabelecidas na DN CERH 65/2020 (agrossilvipastoril, industrial e urbano) e o atendimento do efluente das estações aos padrões de qualidade definidos na DN, respectivamente. A seguir são descritos com mais detalhes os procedimentos e considerações das estimativas feitas no levantamento da demanda e da oferta de água para reúso, além da comparação de ambas.

### **Levantamento do potencial quantitativo de demanda de água para reúso**

As bases de dados de outorgas de uso da água contêm a demanda por água de forma geral e não a demanda por água para reúso, porém, representam o potencial que a água para reúso poderia suprir. Portanto, neste trabalho, com a finalidade de observar um potencial cenário de reúso de forma integral, foi considerado que toda a demanda de água das outorgas, quando de uso compatível, é demanda por água para reúso.

O processo de levantamento quantitativo de demanda foi iniciado com o recorte do *shapefile* de outorgas utilizando o limite dos municípios da BHRV, obtendo um novo arquivo com todas as outorgas inseridas na área de estudo. Em seguida foram selecionadas as outorgas de uso consuntivo de captação subterrânea e superficial de água, descartando-se as outras outorgas não consuntivas (que não são de interesse para o estudo). Além disso, retirou-se as outorgas que não estavam válidas, através da conferência da data de vencimento.

A seguir, filtraram-se as outorgas resultantes pela aderência das atividades desenvolvidas às modalidades de reúso estabelecidas pela DN CERH nº 65/2020. Das 22 categorias de finalidade de uso da água apresentadas na base de dados, foram selecionadas 5 com aderência suficiente, sendo elas: agricultura e irrigação (atinentes à modalidade ‘agrossilvipastoril’ da DN CERH nº 65/2020); aspersão de vias e lavagem de veículos (atinentes à modalidade ‘urbano’ da DN CERH nº 65/2020); e consumo industrial (atinentes à modalidade ‘industrial’ da DN CERH nº 65/2020). Ressalta-se que devido à especificidade da demanda ambiental (prevista na referida DN) e a dificuldade de associar finalidades de outorga similares, não foi possível considerá-la na elaboração deste trabalho.

Devido ao fato de que algumas das outorgas apresentam mais de uma finalidade de uso, sem a clara definição da alocação de vazão entre os usos, optou-se por desconsiderar estes registros. Ou seja, foram contempladas na avaliação de demanda hídrica todas as outorgas com apenas uma finalidade de uso e que estão de acordo com as modalidades de reúso estabelecidos pela DN (vide as 5 categorias retromencionadas). De posse das outorgas categorizadas, foi possível estimar as vazões de demanda por água para reúso.

### **Levantamento do potencial quantitativo de oferta de água para reúso**

Em síntese, o levantamento da oferta de água para reúso foi desenvolvido através da verificação do atendimento da qualidade dos efluentes das ETEs inseridas nos municípios da BHRV aos padrões de cada finalidade de uso estabelecido na DN CERH nº65/2020 (agrossilvipastoril, urbano e industrial) e das vazões produzidas pelas estações.

O primeiro passo deste levantamento consistiu na organização de um banco de dados sobre as ETEs em operação nos municípios da BHRV. Para tal, foi produzido um banco de dados compilado de informações sobre as estações obtido através de diversas fontes, utilizando-se como base o *shapefile* do Atlas de Esgotos da ANA (atualizado em 2019). Foram utilizados como complemento os dados de monitoramento disponibilizados por empresas de saneamento, documentos disponíveis para consulta no Sistema Integrado de Informações Ambientais (SIAM) e dados levantados pelo “Plano para incremento do percentual de tratamento de esgotos sanitários na Bacia do Rio das Velhas”, do projeto Minas Trata Esgoto (FEAM, 2010).

Diante da impossibilidade de acessar os dados de monitoramento da qualidade do efluente de todas as 54 estações selecionadas, visando à padronização da análise, considerou-se dados bibliográficos de qualidade esperada de efluente conforme a tecnologia de tratamento empregada em cada ETE (informação compilada das bases consideradas). A fim de verificar se essa assunção estava coerente com a realidade das ETEs em estudo,

analisaram-se os dados de automonitoramento de uma parcela destas ETEs (37 ETEs, sendo os dados cedidos pelas empresas de saneamento), para o período de 2011 a 2016. Para tal, foram escolhidos os parâmetros DBO e coliformes termotolerantes, comparando a média dos resultados do monitoramento do efluente de cada ETE e as faixas de valores esperados em bibliografia para a tecnologia de tratamento em questão. Utilizando-se dos limites inferiores reportados em bibliografia para as tecnologias adotadas – segundo von Sperling (2014) - as ETEs foram classificadas em três grupos, conforme a qualidade do efluente tratado (em termos dos parâmetros previstos na DN), apresentados na Tabela 1. De posse das ETEs categorizadas, foi possível estimar as vazões de oferta de água para reúso.

**Tabela 1: Classes definidas para as ETEs.**

Classe	Descrição
I	Baseado no sistema de tratamento apresentado no Atlas Esgotos e nos valores de eficiência reportados em literatura, o efluente atual da ETE atende o padrão definido para ao menos uma modalidade de reúso.
II	Baseado no sistema de tratamento apresentado no Atlas Esgotos e nos valores de eficiência reportados em literatura, a ETE tem minimamente tratamento secundário, porém seu efluente não atende o padrão definido para nenhuma modalidade de reúso. Porém, com a adição de etapas usuais de desinfecção poderia alcançar a qualidade do efluente necessária.
III	Baseado no sistema de tratamento apresentado no Atlas Esgotos e nos valores de eficiência reportados em literatura, a ETE tem sistema de tratamento primário e seu efluente não atenderia o padrão definido para nenhuma modalidade de reúso mesmo com a incorporação de uma etapa de desinfecção (além dessa adição ser desaconselhada).

Ressalta-se que os parâmetros condutividade elétrica (CE), pH, sódio e razão de adsorção de sódio (RAS), constantes da DN, não foram avaliados, devido à sua especificidade de acordo com a característica de cada efluente. Portanto, o atendimento aos padrões foi avaliado através do valor inferior das faixas esperadas de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos.

### **Comparação dos potenciais de demanda e oferta de água para reúso em diferentes cenários**

Para realizar a comparação dos potenciais de demanda e oferta foram delineados três cenários, conforme apresentado na Tabela 2, sendo que: *i)* o Cenário A considera as ETEs implantadas na bacia hidrográfica, que possuem potencial imediato de fornecimento de água para reúso; *ii)* o Cenário B engloba a adição hipotética de processos de desinfecção em sistemas secundários de tratamento; e *iii)* o Cenário C considera que todas as ETEs da BHRV seriam construídas e operadas com foco na produção de água para reúso. Para cada cenário estão indicadas as classes de ETEs consideradas, definidas anteriormente (Tabela 1).

**Tabela 2: Cenários definidos para a comparação dos potenciais de demanda e oferta de água para reúso.**

Cenário	Descrição	Classe I	Classe II	Classe III
A	Representado pelas ETEs com potencial de fornecimento de água para reúso de imediato.	x		
B	Representado pelo cenário A acrescido das ETEs com desempenho adequado em nível secundário de tratamento, mas que ainda não atendem aos parâmetros para reúso, porém possuem potencial de fornecimento de água para reúso mediante implantação de uma etapa de desinfecção suficiente para alcançar a qualidade mais restritiva de água para reúso.	x	x	
C	Representa a situação hipotética caso todas as ETEs fossem concebidas visando o reúso.	x	x	x

A mensuração do potencial foi realizada das seguintes formas:

- Quociente dos valores absolutos de vazão ofertada e demandada por sub-região da BHRV (baixo, médio e alto curso), obtendo-se o que foi determinado como Índice de Atendimento (IA), medido em percentual (para todos os cenários);
- Observação das demandas dentro de um raio predefinido de distância hipotética (20 km) para transporte da água para reúso, via caminhão tanque – considerando o estudo feito por Araújo *et al.* (2017) – no entorno das ETEs que produzem efluentes com qualidade suficiente para o reúso (apenas para o cenário A).

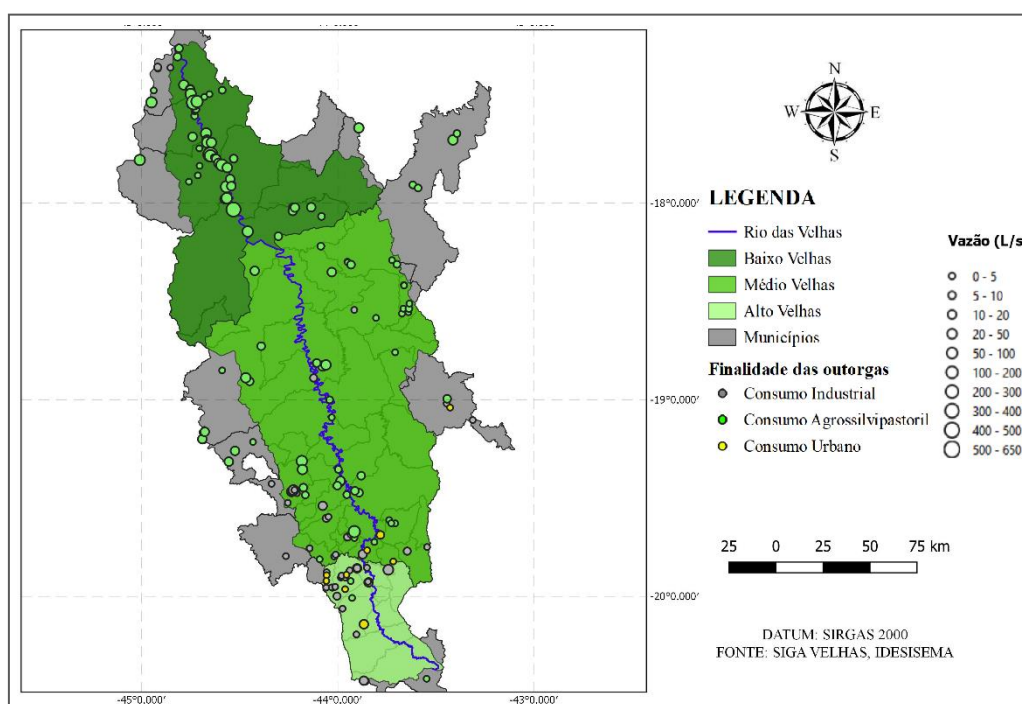
O índice de atendimento foi calculado conforme a Equação 1, podendo variar entre 0 (não há atendimento) e 100% (atendimento completo da demanda). Apesar de ser possível obter valores de IA superiores a 100%, caso haja mais efluente gerado na qualidade requerida do que demanda hídrica, optou-se por considerar este valor como máximo, uma vez que não faz sentido reportar índices de atendimento superiores à demanda.

$$IA = \frac{\text{Vazão Ofertada}}{\text{Vazão Demandada}} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Potencial quantitativo de demanda de água para reúso

De posse da base de dados de outorgas disponibilizadas pelo IGAM, e seguindo os passos metodológicos descritos anteriormente, foi obtido um total de 1.210 outorgas consuntivas válidas inseridas nos municípios da BHRV. Porém, conforme apontado, apenas as outorgas que possuíam finalidades aderentes aos usos estipulados na DN CERH 65/2020 foram computadas. Logo, do total de outorgas consuntivas válidas, 182 foram consideradas neste estudo – totalizando aproximadamente 6.383 L/s (Figura 2). As demandas concatenadas por modalidade de reúso de cada região da BHRV (baixo, médio e alto curso) estão apresentadas na Tabela 3.



**Figura 2: Distribuição das outorgas consideradas na BHRV segundo sua distribuição espacial, finalidade de uso e vazão.**

**Tabela 3: Estimativa de demanda potencial por água para reúso nas regiões da bacia do Rio das Velhas.**

Modalidade de reúso	Vazão potencial no Alto Rio das Velhas (L/s)	Vazão potencial no Médio Rio das Velhas (L/s)	Vazão potencial no Baixo Rio das Velhas (L/s)
Agrossilvipastoril	2,1	1280,3	4735,5
Urbano Amplo	4,4	1,2	-
Urbano Limitado	28,0	12,1	-
Industrial	123,8	181,9	13,1
<b>Total</b>	<b>158,4</b>	<b>1475,5</b>	<b>4748,6</b>



As vazões de outorgas com finalidades relacionadas à modalidade agrossilvipastoril são mais elevadas no Baixo e Médio Rio das Velhas, regiões em que as atividades relacionadas à essa modalidade são mais proeminentes. Nota-se também que, no geral, modalidade agrossilvipastoril apresentou a maior demanda por água para reúso e poderia ser a mais beneficiada pelas vantagens da fertirrigação, aliado também ao fato de que há grande dependência de irrigação para agricultura bacia do Rio São Francisco (como um todo) e o reúso pode ser um importante fator no planejamento e gestão da água, principalmente em situações de escassez de água (Lima *et al.*, 2021).

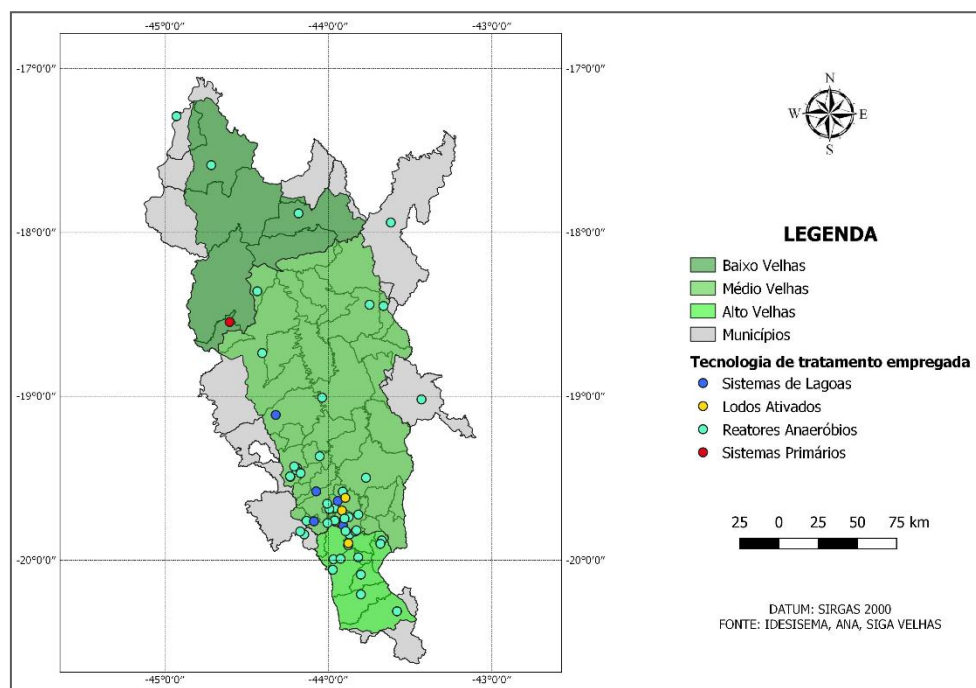
No que tange ao uso industrial, notou-se vazão de outorga inferior no Alto Velhas à do Médio Velhas, situação que pode indicar maior procura por fontes alternativas de abastecimento (que não a rede de distribuição) para o desenvolvimento destas atividades no Médio Velhas. Em relação à demanda para a modalidade de uso urbano, a região com maior vazão potencial foi o Alto Rio das Velhas, supõe-se principalmente devido à maior presença de áreas urbanizadas nessa região. Ressalta-se que não foram identificadas demandas para a modalidade de uso urbano na região do Baixo Rio das Velhas.

De forma global, é notável a diferença da vazão de demanda potencial no Alto Velhas em relação às demais regiões da bacia. Uma das hipóteses levantadas é que devido à maior presença de rede de abastecimento público de água e de áreas urbanizadas no Alto Velhas, as outorgas de captação para os usos urbanos e industriais, em especial, são menos frequentes, subestimando esta demanda. Outro fator que pode ter gerado essa situação foi a seleção de outorgas de finalidade única, que pode ter segregado outorgas com finalidade múltipla e industrial com maior frequência nessa região.

Cabe relatar que a demanda potencial por água para reúso foi subestimada, seja por considerar apenas outorgas com finalidade única e aderente às modalidades de reúso definidas na referida DN, ou por não considerar os usos insignificantes de água (< 1 L/s), os quais tendem a exercer demanda expressiva se somados. Todavia, a demanda real depende da aceitação da água para reúso e da qualidade exigida pelo usuário, que pode ser mais restritiva que o considerado.

### Potencial quantitativo de oferta de água para reúso

Foram consideradas 54 ETEs na área de estudo, sendo selecionadas as unidades ativas e com informação sobre tecnologia de tratamento e vazão de esgoto tratado. A localização, tipologia de tratamento, quantitativo de ETEs e vazões tratadas estão apresentadas a seguir (vide Figura 3 e Tabela 4).



**Figura 3: Localização e tecnologia de tratamento empregada nas ETEs.**

**Tabela 4: Características gerais das ETEs consideradas na área de estudo.**

Tipologia da tecnologia de tratamento*	Alto Rio das Velhas		Médio Rio das Velhas		Baixo Rio das Velhas	
	Nº de ETEs	Vazão (L/s)	Nº de ETEs	Vazão (L/s)	Nº de ETEs	Vazão (L/s)
Lodos ativados	1	1932,0	3	115,8	-	-
Reatores anaeróbios	14	1564,0	27	457,6	3	46,33
Sistemas de lagoas	-	-	5	130,1	-	-
Sistemas primários	-	-	-	-	1	2,0
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>3496,1</b>	<b>35</b>	<b>703,5</b>	<b>4</b>	<b>48,3</b>

\*Foram consideradas categorias amplas de tipologia englobando variações dos sistemas e, ocasionalmente, com adoção de unidades de pós tratamento.

Nota-se que as ETEs estão concentradas nas regiões do Alto e Médio Velhas (principalmente na RMBH) e que, apesar da tipologia reatores anaeróbios ser predominante em número de estações, a maior parcela da vazão é tratada via lodos ativados. Além disso, foi identificada apenas uma estação com sistema primário de pequena vazão.

Conforme apontado anteriormente, a qualidade do efluente adotada neste trabalho foi baseada na faixa típica reportada na literatura (vide Tabela 5). Todavia, para verificar se essa assunção estava coerente com o efetivo desempenho das ETEs em estudo, compararam-se os dados de monitoramento disponíveis para 37 ETEs e as faixas obtidas na literatura (este comparativo segue apresentado no Apêndice A).

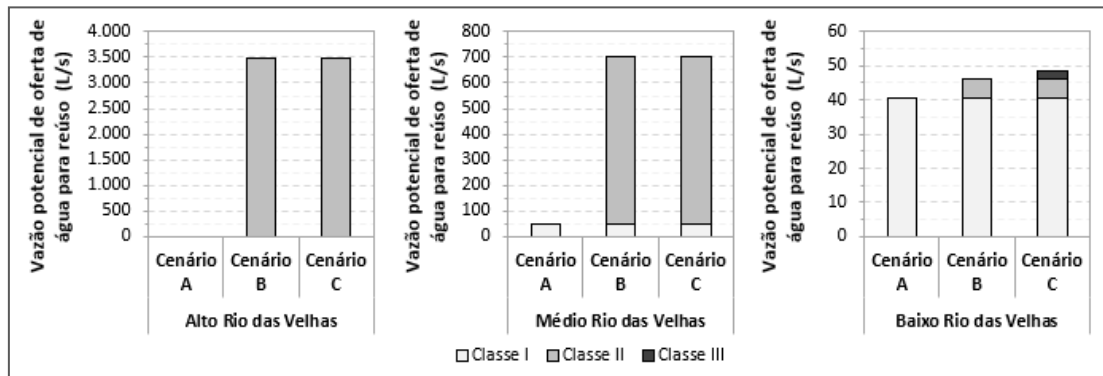
**Tabela 5: Tecnologias de tratamento e qualidade considerada de efluentes.**

Tecnologias de tratamento empregadas	DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	Ovos de Helmintos (nº de ovos. L <sup>-1</sup> )	Nº de ETEs
Lagoa aerada facultativa	50-80	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	>1	1
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	50-80	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	<1	1
Lagoa facultativa + lagoa de maturação	40-70	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	<1	1
Lagoa facultativa	50-80	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	<1	2
Lodos ativados + aeração prolongada	10-35	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	>1	4
Lodos ativados convencional	15-40	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	>1	1
Reator UASB	70-100	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	>1	12
Tanque séptico	200-250	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	>1	1
Tanque séptico + filtro anaeróbio	40-80	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	>1	2
UASB + filtro biológico percolador	20-60	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	>1	20
UASB + escoamento superficial	30-70	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	<1	1
UASB + filtro anaeróbio	40-80	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	>1	5
UASB + lagoas de polimento	40-70	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>	<1	3

Adaptado de von Sperling (2014)

A comparação permitiu verificar que para DBO e coliformes termotolerantes, aproximadamente 76% e 73% das ETEs, respectivamente, têm efluente com qualidade equivalente à faixa esperada ou melhor. Portanto, espera-se que a consideração feita para todas as ETEs com base em bibliografia represente, de forma fidedigna, a qualidade dos efluentes tratados.

Considerando a qualidade esperada do efluente por ETE e os padrões definidos pela DN CERH 65/2020, foi possível definir a oferta potencial de água de reúso por região da BHRV e modalidade de reúso (Figura 4).



**Figura 4: Vazão potencial de oferta de água para reúso por região da BHRV.**

Hipoteticamente, das 53 ETEs com nível de tratamento secundário, apenas 8 têm efluentes aptos ao reúso direto não potável, sendo que 1,4% da vazão produzida na BHRV poderia ser utilizada em qualquer uma das modalidades de reúso e 2,1% atendem a pelo menos uma das modalidades.

A adoção hipotética de sistemas de desinfecção causa mudança notável do cenário A para o B, ampliando a disponibilidade de água de reúso em mais de 48 vezes. Porém, o Cenário C não apresentou grande diferença do Cenário B, devido à presença de apenas uma ETE de pequeno porte com sistema primário de tratamento na BHRV, em que não seria tecnicamente apropriado adotar sistema de desinfecção. Destaca-se que os custos de implantação, a disponibilidade de espaço e a operação dos sistemas podem ser fatores limitantes na implantação de sistemas de desinfecção mecanizados.

### **Comparação dos potenciais de demanda e oferta de água para reúso**

A primeira etapa da comparação dos potenciais de demanda e oferta de água para reúso consistiu no cálculo do Índice de Atendimento (conforme a Tabela 2 e a Equação 1) para cada subdivisão da bacia em estudo. Na Tabela 7 são apresentados os resultados do cálculo do IA para essa etapa. Ressalta-se que o uso industrial não foi considerado nessa parte do trabalho devido à impossibilidade de definir uma qualidade esperada para a demanda. As outorgas identificadas para o uso agrossilvipastoril foram consideradas como demanda para as modalidades amplo e limitado definidas na DN CERH 65/2020.

**Tabela 7: Índice de Atendimento por subdivisão da BHRV.**

Cenário	Modalidade de reúso	Alto Rio das Velhas			Médio Rio das Velhas			Baixo Rio das Velhas		
		Vazão ofertada (L/s)	Vazão demandada (L/s)	Índice de atendimento (%)	Vazão ofertada (L/s)	Vazão demandada (L/s)	Índice de atendimento (%)	Vazão ofertada (L/s)	Vazão demandada (L/s)	Índice de atendimento (%)
A	Urbano Amplo	0	4,4	0,0	18,0	1,2	100,0	40,4	0,0	-
	Urb.Lim. e Agro. Amp.	0	30,1	0,0	18,0	1292,4	1,4	40,4	4735,5	0,9
	Agrossilvipastoril Lim.	0	2,1	0,0	46,7	1280,3	3,6	40,4	4735,5	0,9
B	Todos	3496,1	34,5	100,0	703,5	1293,7	54,4	46,3	4735,5	1,0
C	Todos	3496,1	34,5	100,0	703,5	1293,7	54,4	48,3	4735,5	1,0

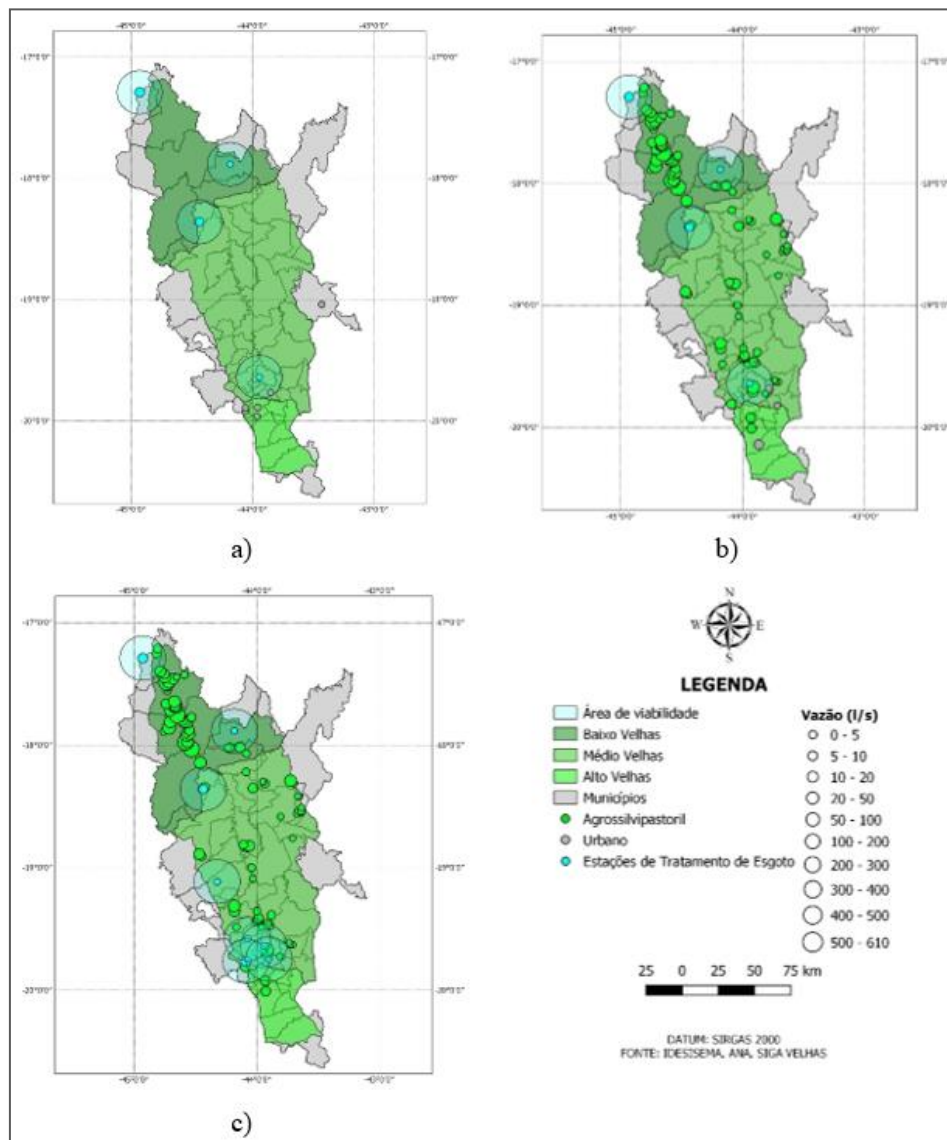
Em geral, foram obtidos valores de IA bem abaixo de 100%, indicando que a vazão de demanda por água para reúso é superior à capacidade de produção nas ETEs, o que pode apontar para a possibilidade de que haja predisposição maior para reutilizar os efluentes em locais próximos das ETEs. Verifica-se uma grande diferença entre o resultado encontrado na região do Alto Rio das Velhas e as outras regiões, chegando a superar a vazão de demanda em mais de 100 vezes. Essa situação pode ser explicada pela grande concentração de ETEs com maior porte dentro da RMBH (as ETEs Onça e Arrudas sozinhas produzem mais de 3.000 L/s de efluente), juntamente com uma maior infraestrutura de abastecimento, que pode reduzir a demanda por água para reúso (diminuto número de captações individuais e consequentemente de outorgas registradas na área).

A segunda etapa de comparação dos potenciais considerou uma distância viável de 20 km para transporte da água para reúso no entorno das ETEs de classe I, consideradas no cálculo do cenário A. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8. Por sua vez, a distribuição espacial das ETEs e demandas consideradas está apresentada na Figura 5.



**Tabela 8: Resultados quantitativos da comparação entre oferta e demanda considerando o raio de 20km.**

Estação	Informações	Urbano Amplo	Urb.Lim. e Agro. Amp.	Agrossilvipastoril Lim.
ETE 1	Vazão ofertada (L/s)	36,0	36,0	36,0
	Vazão demandada no círculo (L/s)	0,0	114,2	114,2
	Índice de atendimento (%)	-	31,52	31,52
ETE 2	Vazão ofertada (L/s)	4,4	4,4	4,4
	Vazão demandada no círculo (L/s)	0,0	81,6	81,6
	Índice de atendimento (%)	-	5,39	5,39
ETE 3	Vazão ofertada (L/s)	17,8	17,8	17,8
	Vazão demandada no círculo (L/s)	0,0	33,3	33,3
	Índice de atendimento (%)	-	53,38	53,38
ETE 4	Vazão ofertada (L/s)	0,2	0,2	0,2
	Vazão demandada no círculo (L/s)	0,1	469,0	457,9
	Índice de atendimento (%)	100,00	0,04	0,04
ETE 5	Vazão ofertada (L/s)	-	-	2,8
	Vazão demandada no círculo (L/s)	0,0	0,0	0,0
	Índice de atendimento (%)	-	-	-
ETE 6	Vazão ofertada (L/s)	-	-	0,6
	Vazão demandada no círculo (L/s)	0,0	248,8	248,8
	Índice de atendimento (%)	-	-	0,26
ETE 7	Vazão ofertada (L/s)	-	-	22,2
	Vazão demandada no círculo (L/s)	3,04	225,0	225,0
	Índice de atendimento (%)	-	-	9,86
ETE 8	Vazão ofertada (L/s)	-	-	3,2
	Vazão demandada no círculo (L/s)	0,37	473,6	462,5
	Índice de atendimento (%)	-	-	0,68



**Figura 5: Representação do raio de potencialidade de 20 km considerando as modalidades: a) Urbano Ample, b) Urbano Limitado e Agrossilvipastoril Ample e c) Agrossilvipastoril Limitado.**

Analisando os raios de viabilidade de 20 km, que refletem de forma mais direta a potencialidade do reúso do efluente das ETEs, 5 estações obtiveram IA acima de 5% e, em geral, o índice é limitado pela capacidade de produção de água para reúso. Apenas uma ETE não possui demanda identificada dentro do perímetro definido.

Em ambas as etapas de comparação de oferta e demanda por água para reúso, mas principalmente para a segunda, observa-se percentuais notáveis de IA quando comparados com o de reúso de efluentes sanitários tratados estimado no Brasil, de 1,5% (SANTOS e VIEIRA, 2020). Isso mostra que há potencial a ser explorado no uso não potável de efluentes das ETEs da BHRV, considerando a implementação de sistemas de desinfecção. Para tal, sugere-se que o estudo para a priorização da implantação de desinfecção de efluentes poderia ser pautada em exercício similar ao proposto pelo IA. Para os casos em que o IA fosse menor que 100% (demanda superior à oferta), seria um indicativo de possível implantação de desinfecção. Por outro lado, para casos de IA maior que 100%, valeria avaliar a pertinência de se implementar a desinfecção apenas para uma parte do efluente, ou implementar de forma etapalizada.

## CONCLUSÕES

Considerando os três cenários delineados para a comparação dos potenciais de demanda e oferta de água para reúso na bacia hidrográfica do Rio das Velhas (BHRV), Minas Gerais, observou-se através dos índices de atendimento (IA) que possivelmente há mais demanda que oferta por água para reúso, apesar do potencial aumento considerável do IA a partir da implementação de unidades de desinfecção nas ETEs. A modalidade agrossilvipastoril apresentou a maior demanda por água para reúso e poderia ser a mais beneficiada pelas vantagens da fertirrigação (notadamente o aporte de nutrientes), porém cabe ressaltar que os parâmetros CE, RAS e sódio (tão importantes para tal modalidade) não foram avaliados nos cenários deste estudo.

Em relação ao estudo com o raio de viabilidade definido (20km), apesar dos IA satisfatórios observados (quase sempre limitados pela capacidade produtiva da ETE), deve-se atentar ao fato de que essa foi uma distância de referência e deve ser avaliada com cautela, considerando as particularidades caso a caso. Entende-se que a avaliação da distância viável para o transporte do efluente é ponto crucial para viabilizar possíveis práticas de reúso. Adicionalmente, a aceitação da água e de particularidades no padrão de qualidade estabelecido pelo usuário devem ser levadas em consideração, posto que este pode ser mais restritivo que o definido pela DN CERH nº65/2020.

Nota-se que o grande potencial para o reúso dentro da bacia do Rio das Velhas tem como principal limitante a necessidade de implementação de etapa de desinfecção dos efluentes. Não obstante, são necessários estudos específicos para verificar a viabilidade econômica da implementação de unidades de desinfecção nas ETEs e possível retorno financeiro da produção de água para reúso.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Regulatório de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais – ARSAE-MG e à Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Metadados: *Shapefile* Estações de tratamento de Esgoto 2019. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br>>. Acesso em 19 dez. 2022.
2. ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B.E.; TCHOBANOGLIOUS, G. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. *Frontiers in Environmental Science*, v. 6, article 26, 2018.
3. ARAÚJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; DE SOUZA, F. P. Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso do efluente de ETE para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região sudeste do Brasil. *Exatas & Engenharias*, v. 7, n. 17, 24 mar. 2017.
4. BRASIL. Agência Nacional de Mineração. Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas / Agência Nacional de Mineração; coordenação técnica de Karina Andrade Medeiros. – Brasília: ANM, 2023. 23 p.; il. Ano Base 2021.
5. CBH VELHAS. CONSELHO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. Crise hídrica no Rio das Velhas já é uma das piores da história. Disponível em: <<https://cbhvelhas.org.br/noticias/crise-hidrica-no-rio-das-velhas-ja-e-uma-das-piores-da-historia/>>. Acesso em 21 dez. 2022.
6. CERH. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Deliberação Normativa n. 65, de 18 de junho de 2020. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários de sistemas públicos e privados e dá outras providências. CERH: Belo Horizonte, 2020.
7. COMISSÃO EUROPEIA. Water is too precious to waste. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/environment/water/pdf/water\\_reuse\\_factsheet\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/environment/water/pdf/water_reuse_factsheet_en.pdf)>. Acesso em 23 dez. 2022.
8. FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. Tratamento e Utilização de esgotos sanitários. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
9. IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo - 2010. IBGE: Rio de Janeiro, 2011.

10. IDESISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Dados espaciais georreferenciados do estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>>. Acesso em 20 dez. 2022.
11. IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Sistema de Consulta de Decisões de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/site/lista-outorgas>>. Acesso em 22 dez. 2022.
12. LIMA, M.; ARAÚJO, B. M.; SOARES, S. R. A; SANTOS, A. S. P; VIEIRA, J. M. P. *Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions*. Rev. Water Supply, v. 21, n. 6, 2021. Disponível em: < <https://iwaponline.com/ws/article/21/6/2799/77798/Water-reuse-potential-for-irrigation-in-Brazilian>>. Acesso em 05 de abr. de 2023.
13. PINTO, C.C; ALMEIDA, K.B; OLIVEIRA, S.C. *Spatial evaluation of the water quality from the velhas river channel, in the state of Minas Gerais*. Rev. Tchê Química, Porto Alegre, v. 15, n. 30, 2018. Disponível em: < <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/528817.pdf> >. Acesso em 13 de mar. de 2023.
14. SANTOS, A.S.P; VIEIRA, J.M.P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 8, n. 1, p. 50-68, 2020.
15. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

## APÊNDICE A – TABELA DE COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES ESPERADOS DE BIBLIOGRAFIA E A MÉDIA DO MONITORAMENTO DE 37 ETES NA BACIA DO RIO DAS VELHAS

Nome da ETE	Tipologia	Tecnologia empregada	Média DBO efluente (mg.L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> adotada (mg.L <sup>-1</sup> )	Média E. Coli efluente (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	C.Termotolerantes adotados (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	Ovos de Helmintos Adotados (nº de ovos.L <sup>-1</sup> )
ETE LAG 1	LAG	Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação	65	40-70	9,05E+04	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>	<1
ETE LAG 2	LAG	Lagoa Facultativa	42	50-80	1,15E+05	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	<1
ETE LAG 3	LAG	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa Aerada	41	50-80	2,40E+05	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	<1
ETE LAG 4	LAG	Lagoa Facultativa	57	50-80	2,94E+05	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	<1
ETE LAT 1	LAT	Lodos Ativados Convencional	32	15-40	1,77E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE LAT 2	LAT	Lodos Ativados de Aeração Prolongada	42	10-35	9,88E+05	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE LAT 3	LAT	Lodos Ativados de Aeração Prolongada	14	10-35	6,90E+05	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE LAT 4	LAT	Lodos Ativados de Aeração Prolongada	13	10-35	6,82E+05	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 1	RAN	UASB + Escoamento Superficial	13	70-100	9,84E+05	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	<1
ETE RAN 2	RAN	UASB	63	10-35	2,65E+07	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 3	RAN	UASB	169	70-100	9,77E+08	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 4	RAN	UASB + Lagoa de Polimento	38	40-70	1,47E+05	10 <sup>4</sup> -10 <sup>4</sup>	<1
ETE RAN 5	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	108	20-60	2,34E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 6	RAN	UASB + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação	60	40-70	4,78E+04	10 <sup>4</sup> -10 <sup>4</sup>	<1
ETE RAN 7	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	74	20-60	2,89E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 8	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	45	20-60	3,80E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 9	RAN	UASB + Filtro Anaeróbio	42	40-80	8,79E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 10	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	57	20-60	2,67E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 11	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	9	20-60	1,27E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 12	RAN	UASB + Filtro Anaeróbio	61	40-80	2,48E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 13	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	41	20-60	1,28E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 14	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	134	20-60	2,07E+08	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 15	RAN	UASB	94	70-100	1,13E+07	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 16	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	31	20-60	2,77E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 17	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	31	20-60	4,36E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 18	RAN	UASB	165	70-100	3,92E+08	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 19	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	36	20-60	3,80E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 20	RAN	UASB	63	70-100	1,65E+07	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 21	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	31	40-80	4,60E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 22	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	29	20-60	3,10E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 23	RAN	UASB	118	70-100	8,02E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 24	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	26	20-60	2,69E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 25	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	22	20-60	1,34E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 26	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	57	20-60	1,08E+07	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 27	RAN	UASB	59	70-100	3,00E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 28	RAN	UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	72	20-60	6,47E+06	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1
ETE RAN 29	RAN	UASB	107	70-100	2,10E+08	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	>1

Faixas de valores conforme von Sperling (2014)

Nota: Devido à ordem de grandeza de Coliformes Termotolerantes ser próxima de *E. coli*, considerou-se uma equivalência entre os dois, uma vez que a bibliografia tem referência no primeiro e o monitoramento das ETES é com base no segundo. *Está indicada em cores a relação do valor com a faixa esperada, sendo verde o valor que está abaixo, em vermelho acima e preto dentro da faixa esperada*