



XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE REGULAÇÃO | EXPOABAR

26 A 28 DE NOVEMBRO DE 2025

Centro de Convenções Expo-Rio
Rio de Janeiro - RJ

SISTEMA DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS NO CAMPO DA REGULAÇÃO

TEMA: 3.2.1 - Saneamento Básico (Água e Esgotamento Sanitário, Resíduos Sólidos e Drenagem Urbana)

Autores: Rodrigo Antonio Pinto de Melo, Jane Carla Marinho de Souza Maia, Cícero Henrique Macêdo Soares, Aucilene Alice da Silva, André Luiz Borges Almeida

Instituições: Agência de Regulação de Pernambuco - Arpe

RESUMO

A prestação de serviço do saneamento básico em relação ao esgotamento sanitário tem por obrigação produzir os Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários dentro das condições e padrões estabelecidos pela legislação do Meio Ambiente. O seguinte trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de indicadores de desempenho para avaliar a qualidade das águas residuais oriundas dos efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) através do uso de ferramentas que permitam a divulgação dos dados e análise do desempenho. Os parâmetros avaliados para o cálculo dos indicadores seguem diretrizes da Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários, que são: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Eficiência na remoção de DBO, Temperatura, Potencial Hidrogeniônico (pH), Sólidos Sedimentáveis e Óleos/Graxas. O indicador utilizado, mede a incidência de análises na saída

do tratamento no padrão estabelecido conforme legislação vigente, e é aplicado para os 6 parâmetros de avaliação mencionado, totalizando 6 indicadores. Um outro indicador calculado é o ITAR, Índice de Tratamento das Águas Residuais, que visa resumir o valor dos outros indicadores em um único número, permitindo tomada de decisão para alguns aspectos da regulação. O processo de ETL (Extrair, Transformar e Carregar) dos dados é realizado através do Microsoft Power BI® por permitir disponibilização da avaliação dos indicadores através de Painéis (*Dashboards*) e oferecer ferramentas que possibilitam o *download* dos dados e a impressão de *Papers* de desempenho. O sistema de indicadores foi capaz de inferir a eficácia da qualidade do tratamento das águas residuais para as ETEs municipais, ofertando meios de transparência da avaliação de desempenho, consubstanciando em uma regulação por exposição eficiente para o tema abordado.

PALAVRAS-CHAVE: Águas Residuais. Qualidade. Indicadores de Desempenho. Regulação por Exposição.

INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

A prestação de serviço do saneamento básico em relação ao esgotamento sanitário tem por obrigação produzir os Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários dentro das condições e padrões estabelecidos pela legislação do Meio Ambiente. Não Cabe as Agências Reguladoras Infranacionais o papel de gestora do meio ambiente e da fiscalização da sua degradação. No entanto, na sua forma de atuação existe, por assim dizer, uma intercessão com a gestão do meio ambiente, visto que seu papel muitas vezes está atrelado a verificação do desempenho do processo e metas de qualidade estabelecidas de formas contratuais que podem estar relacionadas com o meio ambiente (ABAR, 2017).

As Agências Reguladoras Infranacionais, no desempenho de suas funções principais, como a avaliação e análise do desempenho, faz uso de dados. Assim, a busca de informação através da utilização de indicadores de desempenho é uma regra a ser seguida pela maioria delas. Em relação aos Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários, os parâmetros e padrões mínimos de avaliação são estabelecidos através da Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, que devem garantir a qualidade do lançamento nos corpos receptores das águas residuais. Na escolha desses parâmetros para compor o sistema de indicadores é primordial que eles garantam a visão sistêmica do processo de tratamento de esgotos.

A seleção de um sistema de indicadores para avaliar o desempenho deverá aferir se as metas contratuais foram cumpridas devidamente, além de permitir averiguar a discrepância temporal e consentir a avaliação de desempenho, o que vem a colaborar como um dos instrumentos na tomada

de decisão, principalmente no que corresponde as ações fiscalizatórias *in loco*. Devido as características dos sistemas de indicadores de desempenho, permitindo abordagens por elementos gráficos quantitativo e qualitativo, se encaixam muito bem nos aspectos da regulação por exposição (Regulasan, 2017).

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação das águas residuais oriundas dos efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE); auxílio à tomada de decisão; e, aplicação de elementos de *business intelligence* para emprego da regulação por exposição.

MATERIAL / METODOLOGIA

Toda formulação do sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade das águas residuais oriundas dos Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários pode ser resumida em três etapas específicas a seguir:

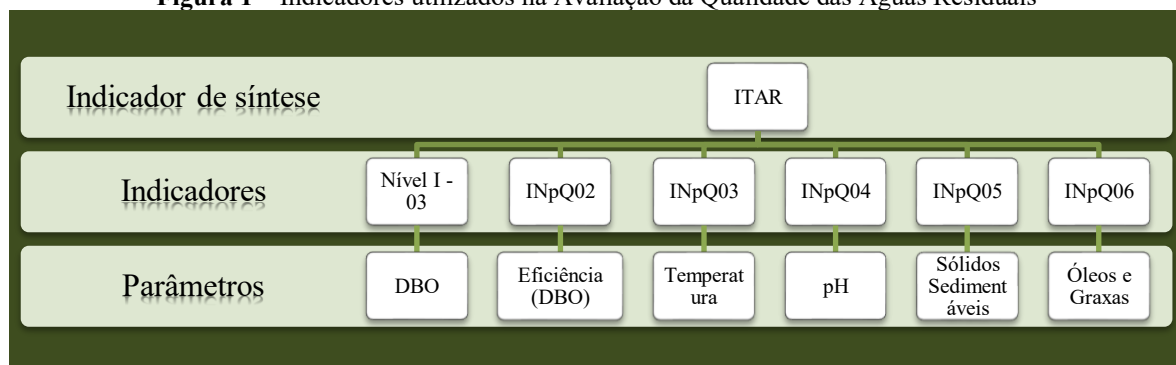
1º) Etapa – Recebimento dos dados em Planilhas Excel[®] por estação de tratamento de esgoto e posterior tratamento inicial dos dados.

2º) Etapa – Processo de Extração, Transformação e Carregamento dos dados, com posterior cálculo dos indicadores através do *Power BI*.

3º) Etapa – Consolidação do Painel de Desempenho com possibilidade de impressão de *paper* de desempenho e *downloads* dos dados.

O Indicador Nível I – 03, encontrado na Norma de Referência N° 9/2024 da ANA, que infere a incidência das análises de demanda bioquímica de oxigênio – DBO do esgoto na saída do tratamento no padrão estabelecido, é o indicador principal para o sistema. A sua formulação é replicada para os outros parâmetros considerando as especificidades de cada um. A Figura 1 sintetiza o sistema de indicadores utilizado neste trabalho.

Figura 1 – Indicadores utilizados na Avaliação da Qualidade das Águas Residuais



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

A Tabela 1 descreve a formulação de cálculo dos indicadores e suas respectivas referências e nomenclaturas.

Tabela 1 - Descrição das fórmulas de cálculo e referência dos indicadores

Indicador	Descrição	Origem	Fórmula de cálculo
Nível I – 03	<i>incidência das análises de DBO do esgoto na saída do tratamento no padrão estabelecido</i>	ANA	$\text{Nível I – 03} = \left(\frac{EG001}{EG002} \right) \times 100$ <p>EG001 - Quantidade total de amostras analisadas para aferição da concentração de DBO com resultado dentro do padrão, na saída do tratamento. EG002 - Quantidade de amostras analisadas para aferição da concentração de DBO na(s) ETE(s)</p>
INpQ02	<i>incidência das análises de eficiência de remoção de DBO do esgoto na saída do tratamento no padrão estabelecido</i>	Arpe	$\text{INpQ02} = \left(\frac{EG003}{EG004} \right) \times 100$ <p>EG003 - Quantidade total de amostras analisadas para aferição da eficiência de remoção da DBO com resultado dentro do padrão, na saída do tratamento. EG004 - Quantidade de amostras analisadas para aferição da eficiência de remoção DBO na(s) ETE(s)</p>
INpQ03	<i>incidência das análises de Temperatura do esgoto na saída do tratamento no padrão estabelecido</i>	Arpe	$\text{INpQ03} = \left(\frac{EG005}{EG006} \right) \times 100$ <p>EG005 - Quantidade total de amostras analisadas para aferição da Temperatura com resultado dentro do padrão, na saída do tratamento. EG006 - Quantidade de amostras analisadas para aferição da Temperatura na(s) ETE(s)</p>
INpQ04	<i>incidência das análises de Potencial Hidrogeniônico (pH) do esgoto na saída do tratamento no padrão estabelecido</i>	Arpe	$\text{INpQ04} = \left(\frac{EG007}{EG008} \right) \times 100$ <p>EG007 - Quantidade total de amostras analisadas para aferição do potencial hidrogeniônico(pH) com resultado dentro do padrão, na saída do tratamento. EG008 - Quantidade de amostras analisadas para aferição do potencial hidrogeniônico(pH) na(s) ETE(s)</p>
INpQ05	<i>incidência das análises de Sólidos Sedimentáveis do esgoto na saída do</i>	Arpe	$\text{INpQ05} = \left(\frac{EG009}{EG010} \right) \times 100$

Indicador	Descrição	Origem	Fórmula de cálculo
	<i>tratamento no padrão estabelecido</i>		EG009 - Quantidade total de amostras analisadas para aferição de sólidos sedimentáveis com resultado dentro do padrão, na saída do tratamento. EG010 - Quantidade de amostras analisadas para aferição de sólidos sedimentáveis na(s) ETE(s)
IN_PQ06	<i>incidência das análises de Óleos e Graxas do esgoto na saída do tratamento no padrão estabelecido</i>	Arpe	$IN_{PQ06} = \left(\frac{EG011}{EG012} \right) \times 100$ EG011 - Quantidade total de amostras analisadas para aferição de óleos e graxas com resultado dentro do padrão, na saída do tratamento. EG012 - Quantidade de amostras analisadas para aferição de óleos e graxas na(s) ETE(s)

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

O cálculo do indicador ITAR que resume os valores dos outros indicadores em um único valor é calculado conforme as especificações da Tabela 2.




Tabela 2 – Nomenclatura e formulação para o Índice de Tratamento das Águas Residuais

Indicador	Descrição	Origem	Formula de cálculo
ITAR	Índice de Tratamento das Águas Residuais	Arpe	$ITAR = \sum_{i=1}^n [q_i * w_i]$ $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ $w_{Nível\ I-03} = 0,4$ $w_{INpQ02} = 0,2$ $w_{INpQ03} = 0,1$ $w_{INpQ04} = 0,1$ $w_{INpQ05} = 0,1$ $w_{INpQ06} = 0,1$ <p>Onde.:</p> <p><i>n</i> - número de parâmetros de qualidade das águas residuais avaliado localmente no SES</p> <p><i>i</i> - parâmetro avaliado</p> <p><i>q_i</i> - Incidência das análises dentro do padrão do parâmetro <i>i</i></p> <p><i>w_i</i> - Peso atribuído ao parâmetro <i>i</i></p>

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Os valores de referência adotado para a avaliação qualitativa dos indicadores de desempenho encontra-se encerrado na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – valores de referência para os indicadores de desempenho

Indicadores de desempenho	Valores de referência		
	Ideal 	Satisfatório 	Insatisfatório 
ITAR	ITAR \geq 95%	90% \leq ITAR < 95%	ITAR < 90%
Nível I - 03	Nível I - 03 \geq 90%	-	Nível I - 03 < 90%
INpQ02	INpQ02 \geq 90%	-	INpQ02 < 90%
INpQ03	INpQ03 \geq 90%	-	INpQ03 < 90%
INpQ04	INpQ04 \geq 90%	-	INpQ04 < 90%
INpQ05	INpQ05 \geq 90%	-	INpQ05 < 90%
INpQ06	INpQ06 \geq 90%	-	INpQ06 < 90%

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

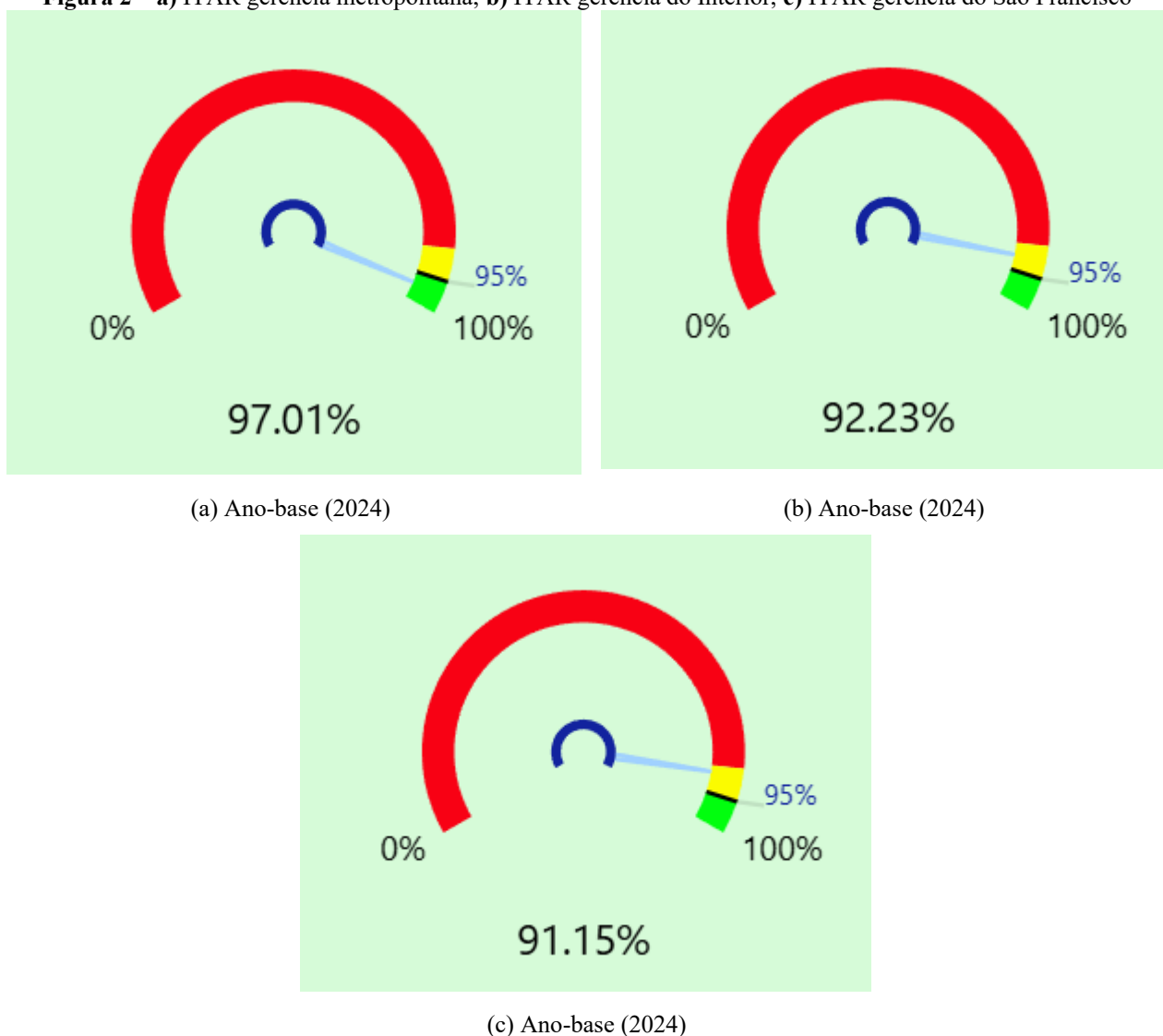
Em relação ao serviço de saneamento básico de Pernambuco, o estado é composto por 184 municípios dentre os quais 172 mais o distrito de Fernando de Noronha possuem a prestação de serviços de saneamento básico de água e esgoto executado por uma empresa de economia mista tendo o estado como o maior acionista, e 12 municípios que prestam o serviço de saneamento básico de forma autônoma, são eles: Amaraji, Inajá, Itambé, Palmares, Gameleira, Água Preta, Xexéu, Carnaubeira da Penha, Cortês, Iati, Jaqueira e Catende. Dentre esses 12, apenas Carnaubeira da Penha possui serviço de Esgotamento Sanitário.

Contextualizando a prestação do serviço de esgotamento sanitário no estado de Pernambuco hoje, em relação a qualidade das águas residuais, hoje a subdivisão gerencial em relação as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) nas quais a Agência de Regulação de Pernambuco recebe os dados do resultado do monitoramento das condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários se encontram alocadas em três diretorias: a do São Francisco, a do Interior e a da Região Metropolitana. A Diretoria do São Francisco atende a 3 municípios (Petrolina, Lagoa Grande e Dormentes) através de 13 ETEs, a Diretoria do Interior atende a 13 municípios (Caruaru, Garanhuns, Rio Formoso, Santa cruz do Capibaribe, Sirinhaém, Surubim, Tacaimbó, Tamandaré, Venturosa, Vitória de Santo Antão, Afogados da Ingazeira, Arcoverde e Gravatá) e o distrito de Fernando de Noronha através de 20 ETEs e por fim a Diretoria da Região Metropolitana que atende a 9 municípios (Cabo de Santo Agostinho, Goiana, Olinda, Paulista, Igarassu, Recife, Jaboatão dos Guararapes, Abreu e Lima e Moreno) através de 59 ETEs. A diretoria da Região metropolitana tem sua gestão do serviço esgotamento sanitário firmado através de uma Parceria Público-Privada (PPP) com o objetivo de universalizar a coleta e tratamento, expansão e modernização das infraestruturas.

Para analisar a qualidade dos efluentes do sistema de esgotamento sanitário nesse trabalho, será considerado o ano-base de 2024 para obtenção dos dados através do painel de desempenho de água residuais da Agência de Regulação de Pernambuco. Os resultados serão avaliados para os indicadores ITAR e Nível I – 03 que são os principais indicadores avaliados pela agência em suas averiguações de desempenho.

Em nossa visualização qualitativa e quantitativa dos dados leva-se em consideração a facilidade da interpretação pelos usuários do serviço e *stakeholders* da gestão de saneamento básico, visto que a principal aplicação do painel de desempenho é a regulação por exposição (*Sunshine Regulation*). Começando a análise pelo Índice de Tratamento de Água Residuais (ITAR) que tem a função de resumir o resultado dos outros indicadores em um único número a critério gerenciais, a Figura 2 ilustra o resultado calculado para as diretorias ou gerências.

Figura 2 – a) ITAR gerência metropolitana, b) ITAR gerência do Interior, c) ITAR gerência do São Francisco

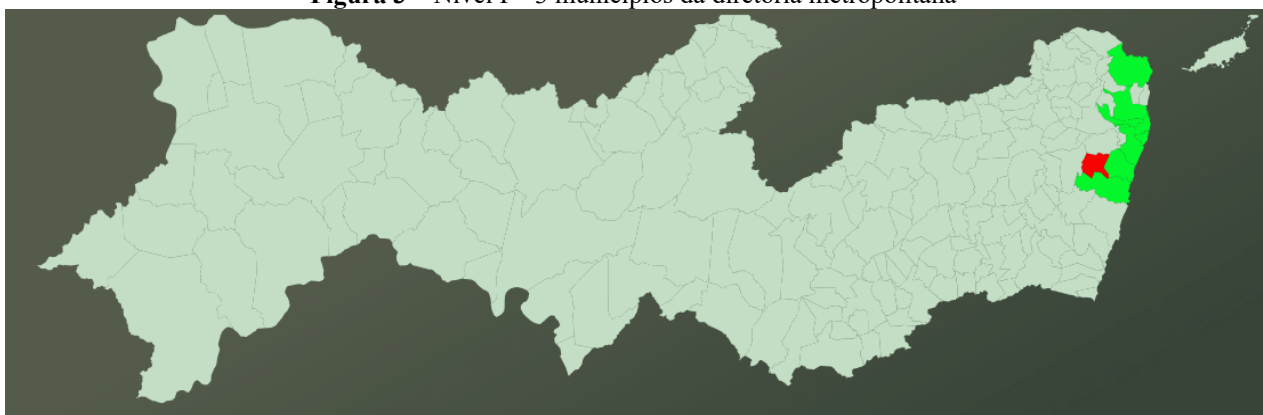


Fonte: *Dashboard* de qualidade das águas residuais - Arpe (2025)

É possível verificar através da Figura 2 que o indicador teve a classificação de ideal para a diretoria metropolitana, e satisfatório para o Interior e São Francisco.

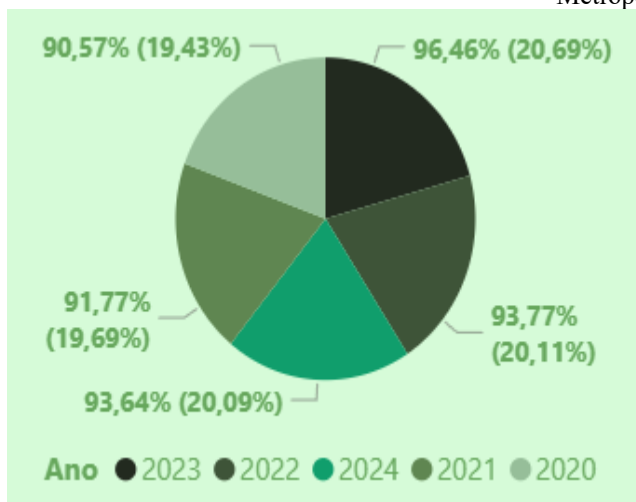
Passando a análise para o indicador Nível I – 3 encontrada na Norma de Referência N° 09/2024 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que mede a incidência das análises de DBO do esgoto na saída do tratamento no padrão estabelecido, e é o principal indicador avaliado pela agência em sua gestão e tomada de decisão em relação ao desempenho da qualidade do lançamento de efluente de sistema de tratamento de esgoto sanitário. Analisando a Figura 3, a maioria dos municípios tiveram o indicador Nível I – 3 a nível de idealidade (excelência), apenas 1 município teve sua classificação em insatisfatório. A Figura 4(a) mostra a evolução anual desse indicador de 2020 até 2024, obtendo um pico de 96,46% de conformidade no ano de 2023 e caindo para 93,64% em 2024.

Figura 3 – Nível I – 3 municípios da diretoria metropolitana

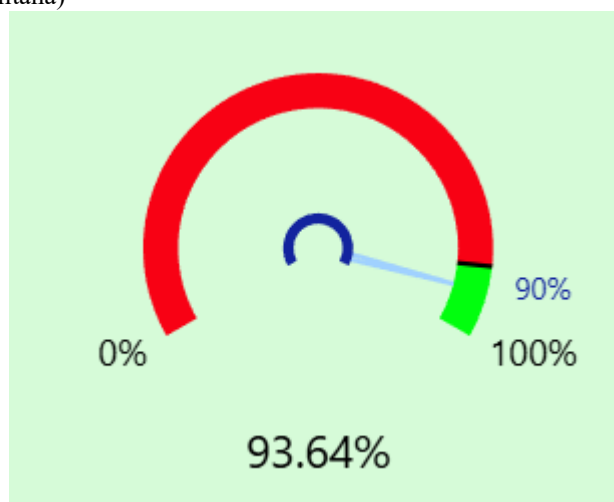


Fonte: *Dashboard* de qualidade das águas residuais - Arpe (2025)

Figura 4 – a) Nível I - 3 evoluções anuais (Diretoria Metropolitana), b) Nível I – 3 Classificação (Diretoria Metropolitana)



(a) Ano-base (2024)

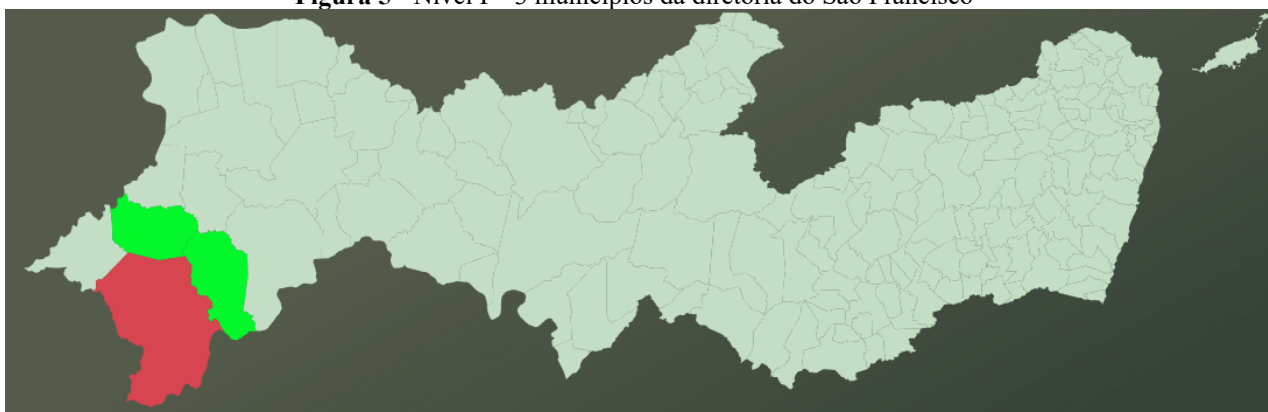


(b) Ano-base (2024)

Fonte: *Dashboard* de qualidade das águas residuais - Arpe (2025)

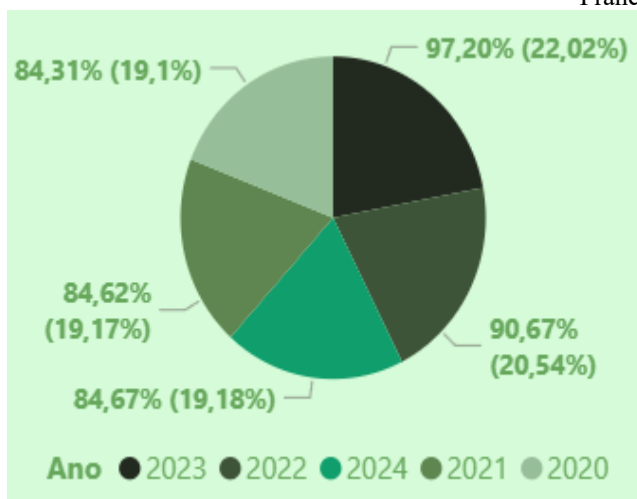
Analisando o indicador Nível I – 3 para a diretoria do São Francisco através da Figura 5 verifica-se que dos três municípios que pertence a essa gerência, 2 estão classificados com nível de excelência e um com insatisfatório. De acordo com a Figura 6 (b), para o ano de 2024, a Diretoria do São Francisco obteve a pontuação de 84,67% para o indicador, ficando com a classificação de insatisfatório. O indicador vinha evoluindo bem, segundo a Figura 6 (a), chegou a um pico 97,20% no ano de 2023, mas teve uma insuficiência de mais de 10% em 2024, baixando para 84,67.

Figura 5 - Nível I – 3 municípios da diretoria do São Francisco

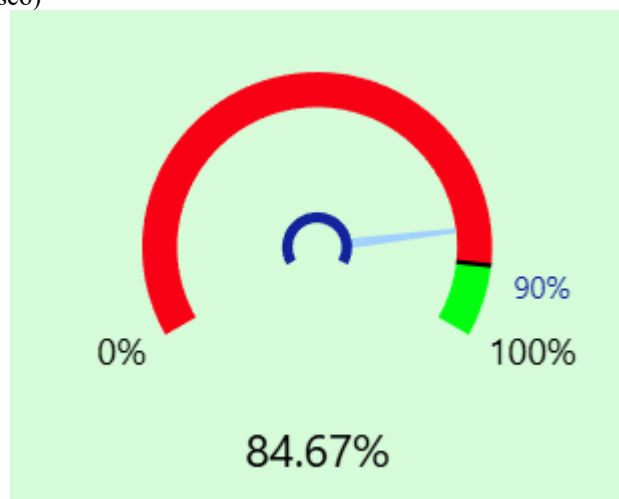


Fonte: *Dashboard* de qualidade das águas residuais - Arpe (2025)

Figura 6 - a) Nível I - 3 evoluções anuais (Diretoria São Francisco), **b)** Nível I – 3 Classificação (Diretoria São Francisco)



(a) Ano-base (2024)

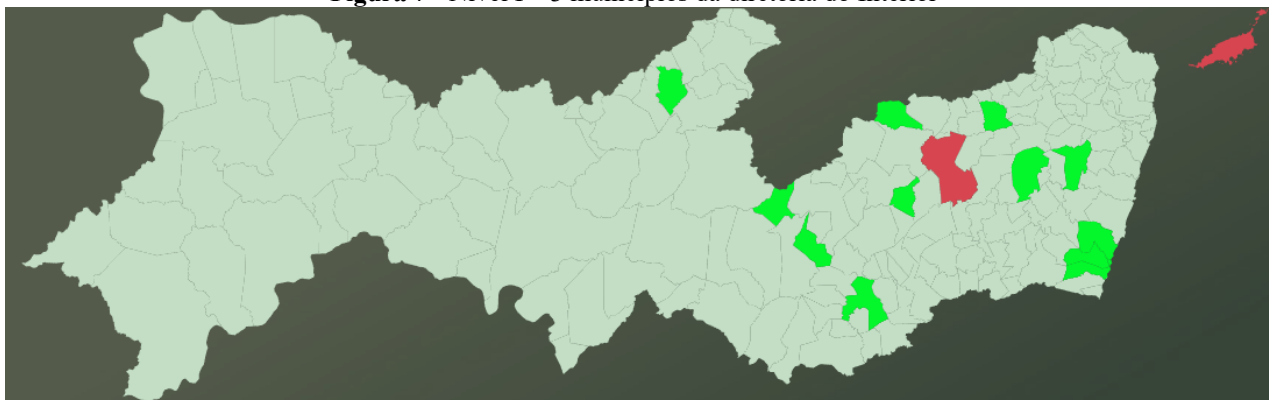


(b) Ano-base (2024)

Fonte: *Dashboard* de qualidade das águas residuais - Arpe (2025)

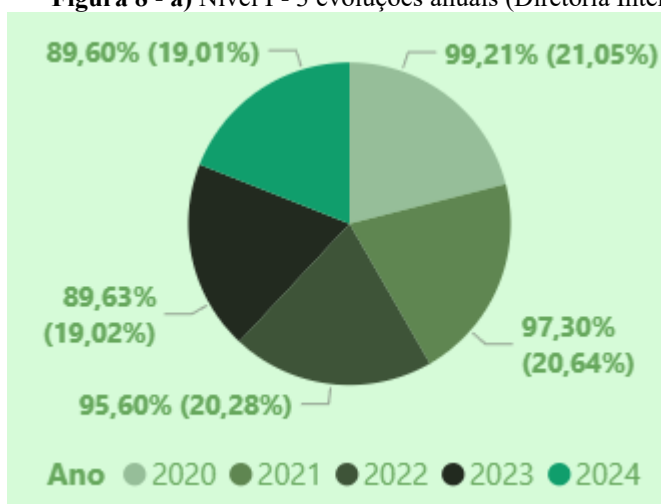
A análise da diretoria do interior em relação ao indicador Nível I – 3 pode ser realizada através das Figuras 7 e 8. Observa-se através da Figura 7 que apenas um município e o distrito de Fernando de Noronha apresentaram a classificação do indicador como insatisfatória. Para os anos de 2020, 2021 e 2022 o indicador obteve pontos acima 90% confirmando sua excelência nesses anos, mas que em 2023 e 2024 houve uma queda marcando 89,60%, o que levou a sua classificação como insatisfatório.

Figura 7 - Nível I – 3 municípios da diretoria do Interior

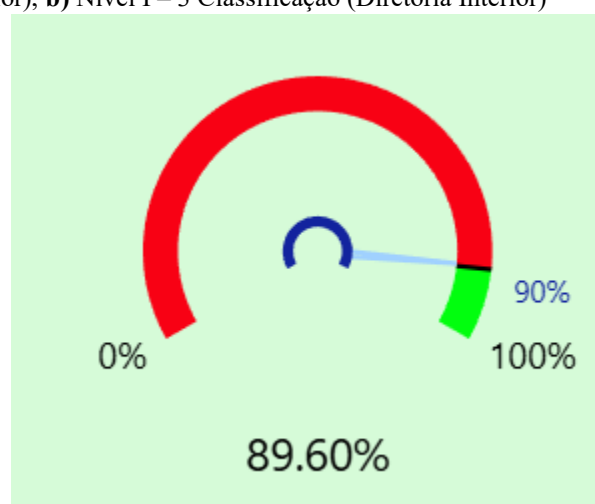


Fonte: *Dashboard* de qualidade das águas residuais - Arpe (2025)

Figura 8 - a) Nível I - 3 evoluções anuais (Diretoria Interior), b) Nível I – 3 Classificação (Diretoria Interior)



(a) Ano-base (2024)

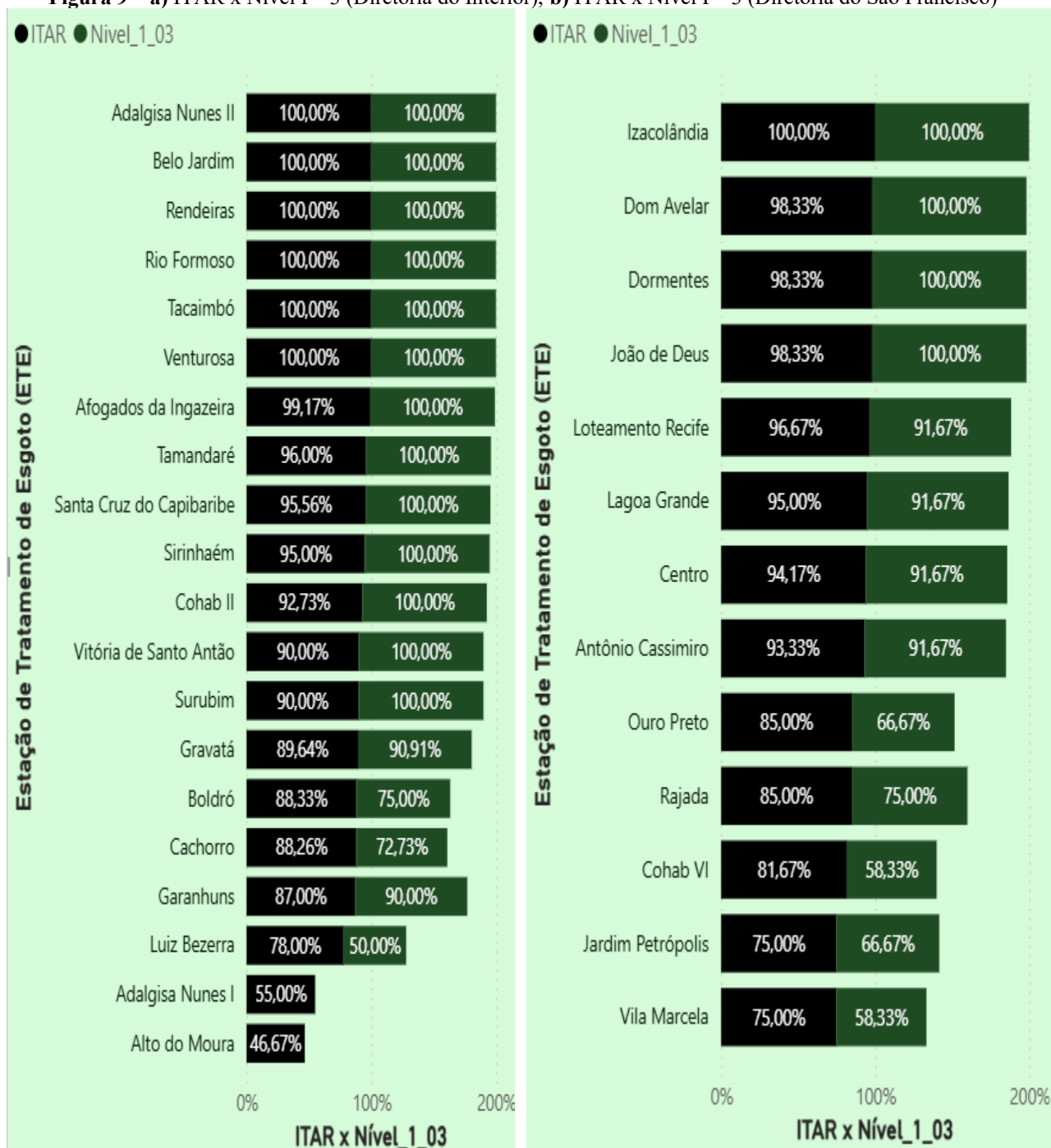


(b) Ano-base (2024)

Fonte: *Dashboard* de qualidade das águas residuais - Arpe (2025)

Para visualizar o possível acompanhamento dos indicadores por estação de tratamento de esgoto através do painel de desempenho das águas residuais da agência, trazemos a Figura 9 que relata a comparação do índice ITAR x o indicador Nível I – 3, visto que o maior peso na composição do ITAR é inerente a este indicador, com $w = 0,4$, conforme Tabela 2. A Figura 9 expressa todas ETEs pertencentes as Diretorias do Interior e do São Francisco e o desempenho das ETEs em relação aos indicadores pode ser visualizado através dela.

Figura 9 – a) ITAR x Nível I – 3 (Diretoria do Interior), b) ITAR x Nível I – 3 (Diretoria do São Francisco)



(a) Ano-base (2024)

(b) Ano-base (2024)

Fonte: *Dashboard* de qualidade das águas residuais - Arpe (2025)

A importância da ferramenta de sistemas de indicadores alinhado a visualização através de painéis para avaliação e análise do desempenho da qualidade dos efluentes dos sistemas de tratamento de esgoto sanitários foi verificado, mostrando-se um instrumento excelente para gestão, tomada de decisão, apontamentos de problema e aplicação da regulação por exposição.

CONCLUSÃO

Com a utilização do sistema de indicadores de desempenho para avaliar a qualidade das águas residuais oriundas dos Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários foi possível aferir o desempenho do tratamento e verificar quais Estações de Tratamento de Esgoto apresentavam melhores rendimentos em atingir os padrões estabelecidos de cada parâmetro. No cálculo dos indicadores, foi possível fazer comparações de desempenho através do aumento da abrangência espacial, possibilitando uma análise territorial do indicador mais macro para depois avaliar nas menores dimensões.

A metodologia se mostrou bastante satisfatória para o acompanhamento do desempenho da qualidade das águas residuais oriundas dos Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários. A utilização de ferramentas de ETL (Extrair, Transformar e Carregar) aliados com construtores de painéis de desempenho obteve resultados interessantes no que se refere a aplicação em sistema de indicadores de desempenho, permitindo ajustes e correções mais padronizadas, além de ser possível incorporar vários elementos para divulgação dos indicadores, contribuindo de forma eficaz para transparência dos dados e a aplicação da regulação por exposição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Regulasan. **Curso de avaliação da qualidade, desempenho dos serviços, indicadores e sistemas de informação**. Projeto REGULASAN. Curso III (produto VIII.3). Campinas (2017)

Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 430**. Brasília. 2011. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Norma de Referência nº 09/2024**. Brasília. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/legislacao/resolucoes/resolucoes-regulatorias/2024/211>

Câmara Técnica de Saneamento (ABAR). Saneamento Básico Regulação 2017. **Atuação das Agências Reguladoras na Fiscalização da Qualidade da Água**. Documento de Referência. Brasília. 2017