

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

CAROLINE GANDOLPHI

**INDICADORES DE DESEMPENHO COMO INSTRUMENTO DE
GESTÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO**

São Carlos - SP

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**INDICADORES DE DESEMPENHO COMO INSTRUMENTO DE
GESTÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO**

CAROLINE GANDOLPHI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientadora: Profa. Dra. Cali Laguna Achon

São Carlos
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Caroline Gandolphi, realizada em 27/04/2023.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Cali Laguna Achon (UFSCar)

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira (UFSCar)

Prof. Dr. Renan Felício dos Reis (IFSP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

Dedico este trabalho a meus pais, Rosana e Carlinhos que com todo amor sempre acreditaram em mim e em meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo a Deus, por me permitir e me fazer capaz de concluir essa trajetória, por estar sempre a frente do meu caminho, iluminando e me mostrando a direção certa a seguir.

Aos meus pais Rosana e Carlinhos e ao meu irmão Mateus, por todo apoio e carinho que me fortaleceram e me tornaram quem eu sou hoje. Ao meu sobrinho Eduardo, que ilumina e enche minha vida de alegria com sua doçura.

A todos os meus amigos e minha família, que estiveram ao meu lado, me ouvindo, apoiando e torcendo, e tornando este caminho mais brando, em especial Jussara, Caroline, Simone e Laís que acompanharam e estiveram ao meu lado durante toda essa trajetória.

Agradeço a minha diretora Karine, e a todos os colegas de trabalho que me deram o suporte necessário para seguir com esse sonho.

Aos colegas da Sabesp, que despertaram em mim o entusiasmo pelo estudo em saneamento, em especial ao Edson, quem me encorajou a iniciar essa trajetória, e tanto me ajudou nesse caminho, e ao André pela disponibilidade em me atender e contribuir com esta pesquisa.

À professora e orientadora Cali Laguna Achon, que mais do que me orientar, me inspirou e encorajou tornando possível a realização desse sonho. Obrigada por todo conhecimento transmitido, paciência e incentivo.

Ao corpo docente do PPGEU por toda contribuição em minha formação acadêmica e profissional. E aos membros da banca, Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira e Renan Felício dos Reis, que desde a qualificação contribuíram imensamente com o avanço e aprimoramento desta pesquisa.

RESUMO

A melhoria e eficiência de sistemas de esgotamento sanitário depende da gestão sob a perspectiva integrada. Uma etapa importante que compõe os sistemas de esgotamento é o manejo dos resíduos sólidos gerados, no entanto, no Brasil esta questão é muitas vezes negligenciada, caracterizada por etapas de tratamento incompletas e incerteza em relação a destinação ambientalmente adequada do lodo. Esse fator evidencia a demanda pela aplicação de instrumentos de gestão para aprimoramento deste setor, principalmente no que se refere ao lodo gerado. Um documento relevante para auxiliar na coordenação de ações de gestão é a Norma ABNT NBR ISO 24511/2012, que preconiza o uso de Indicadores de Desempenho como ferramenta essencial de gestão dos serviços de esgoto. Neste contexto, esta pesquisa teve a finalidade de analisar indicadores de desempenho relativos à gestão dos serviços de esgotamento sanitário, levantados a partir de organizações nacionais e internacionais, e identificar, compilar e analisar um conjunto de indicadores aplicáveis à gestão do lodo. Do mesmo modo foi realizada a avaliação da aplicação deste conjunto de indicadores para auxiliar a gestão do lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), considerando os preceitos da NBR ISO 24511/2012 no que se refere à exatidão e confiabilidade dos dados. A análise dos indicadores levantados revela entre as fontes internacionais a disposição majoritária de indicadores operacionais, enquanto entre as fontes nacionais a prevalência é de indicadores financeiros e econômicos. Para o lodo de esgoto foram identificados, apenas entre as fontes internacionais, 28 indicadores, que correspondem a 5,5% do total, eles foram compilados e complementados resultando em 36 indicadores para aplicação nas ETES analisadas. A partir da aplicação do conjunto de indicadores foi verificada a disponibilidade de dados por cada ETE e o grau de confiança das variáveis e dos indicadores de desempenho. Fundamentado nesses resultados, e considerando a dificuldade de obtenção de dados confiáveis para aplicação do total de indicadores compilados, foi proposto um conjunto de indicadores de desempenho estratégicos (IDe), aplicáveis a partir de uma quantidade reduzida de variáveis e abordando os principais aspectos referentes ao manejo do lodo, a ser utilizado para a gestão deste resíduo. Apesar da incipiência com o manejo do lodo de esgoto que ocorre no Brasil confirmada pelos resultados, a utilização deste conjunto de IDe, associado ao método de avaliação do grau de confiança dos dados se mostra adequado como um instrumento de gestão para o lodo de esgoto.

Palavras chave: Lodo de esgoto, indicadores de desempenho, NBR ISO 24511/2012, gestão, esgoto, saneamento básico.

ABSTRACT

The improvement and efficiency of sanitary sewage systems depend on management from an integrated perspective. An important stage that composes the sewage systems is the management of the solid waste generated, however, in Brazil this issue is often neglected, characterized by incomplete treatment steps and doubt about the environmentally appropriate disposal of the sludge. This factor highlights the demand for the application of management tools to improve this sector, especially with regard to the sludge. A relevant document to assist in the coordination of management actions is the Standard ABNT NBR ISO 24511/2012, which advocates the use of Performance Indicators as an essential tool for managing sewage services. In this context, this research aims to analyze performance indicators related to the management of sanitary sewage services, collected from national and international organizations, and to identify, compile and analyze a set of indicators applicable to sludge management. Likewise, an evaluation of the application of this set of indicators was carried out to help manage the sludge generated in Wastewater Treatment Plants (WWTP), considering the precepts of NBR ISO 24511/2012 regarding the accuracy and reliability of the data. The analysis of the indicators reveals, among international sources, the majority of operational indicators, while among the national sources, the prevalence is of financial and economic indicators. For sewage sludge, 28 indicators were identified, only among international sources, which correspond to 5.5% of the total, they were compiled and complemented, resulting in 36 indicators for application in the analyzed WWTP. From the application of the set of indicators, the availability of data for each ETE and the degree of confidence of the variables and performance indicators were verified. Based on these results, and considering the difficulty in obtaining reliable data for applying the total of compiled indicators, a set of strategic performance indicators was proposed, applicable from a reduced number of variables and addressing the main aspects related to the sludge management, to be used for the management of this residue. Despite the incipience with the management of sewage sludge that occurs in Brazil confirmed by the results, the use of this set, associated with the method of evaluating the degree of confidence of the data, proves to be adequate as a management instrument for sewage sludge.

Keywords: Sewage sludge, performance indicators, NBR ISO 24511/2012, management, sewage, basic sanitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processamento do Lodo de Esgoto	22
Figura 2 – Existência de tratamento do lodo de esgoto por municípios no Brasil	23
Figura 3 – Proporção de destinos para o lodo de esgoto nos municípios do Brasil	23
Figura 4 – Fluxograma de desenvolvimento da metodologia de pesquisa.....	50
Figura 5 – Matriz para faixas de confiança dos dados	55
Figura 6 – Critérios de avaliação do grau de confiança dos ID	56
Figura 7 – Indicadores de desempenho relativos a esgotamento sanitário por identificação de origem das fontes pesquisadas.....	57
Figura 8 – Classificação dos Indicadores de Desempenho entre as categorias propostas por Fonte Pesquisada	58
Figura 9 – Classificação dos indicadores de desempenho no âmbito internacional.....	60
Figura 10 – Classificação dos indicadores de desempenho no âmbito nacional.....	60
Figura 11 – Indicadores de desempenho relativos ao lodo de esgoto	62
Figura 12 – Classificação dos Indicadores de Desempenho relativos ao lodo entre as categorias propostas por Fonte Pesquisada	71
Figura 13 – Localização dos municípios selecionados na área de abrangência da UGRHI15	74
Figura 14 – Proporção entre dados válidos e dados não disponibilizados, por ETE analisada	90
Figura 15 – Proporção entre Indicadores de Desempenho aplicados e com impossibilidade de aplicação, por ETE analisada.....	91
Figura 16 – Porcentagem de ID classificados em cada faixa de confiança, por ETE analisada	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por IWA.....	29
Quadro 2 – Exemplos de Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por LNEC	36
Quadro 3 – Indicadores de Desempenho relativos ao lodo de esgoto elaborados por LNEC	38
Quadro 4 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados pela ERSAR	39
Quadro 5 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por ADERASA.....	40
Quadro 6 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por SNIS	42
Quadro 7 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por ABES	44
Quadro 8 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por ABAR	47
Quadro 9 – Identificação das fontes pesquisadas para levantamento de indicadores relativos ao SES	51
Quadro 10 – Faixas de exatidão dos dados	54
Quadro 11 – Faixas de confiabilidade da fonte dos dados	55
Quadro 12 – Indicadores de desempenho relativos à gestão do lodo de esgoto	63
Quadro 13 – Relação Compilada de Indicadores de Desempenho Aplicáveis ao Lodo de Esgoto	65
Quadro 14 – Relação de Indicadores de Desempenho Aplicáveis ao Lodo por Categoria proposta por Fonte Pesquisada	69
Quadro 15 – Variáveis necessárias para aplicação dos ID.....	72
Quadro 16 – Identificação das ETEs selecionadas.....	75
Quadro 17 – Variáveis de entrada para cálculo dos Indicadores de Desempenho nas cinco ETEs	79
Quadro 18 – Aplicação dos 36 Indicadores de Desempenho nas cinco ETEs.....	82
Quadro 19 – Valores e Grau de Confiança dos Indicadores de Desempenho por ETE analisada	94

Quadro 20 – Resultado da aplicação dos sete IEL (Indicadores Estratégicos para o Lodo de esgoto), por ETE analisada.....	99
Quadro 21 – Variáveis requeridas para aplicação dos sete ID estratégicos	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número aproximado de habitantes dos municípios nos quais as ETEs selecionadas se localizam.	53
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAR	Associação Brasileira de Agências de Regulação
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADERASA	Associação de Entidades Reguladoras de Água e Saneamento das Américas
CAAE	Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
DBO	demanda bioquímica de oxigênio
DD	Dados Disponibilizados
DND	Dados Não Disponibilizados
DQO	demanda química de oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
IA	Impossibilidade de Aplicação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Informação de Contexto
ID	Indicador de Desempenho
IDe	Indicador de Desempenho Estratégico
IEL	Indicadores Estratégicos para o Lodo de esgoto
ISO	International Organization for Standardization
IWA	International Water Association
LETE	Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NBR	Norma Técnica Brasileira
PDCA	Ciclo de Melhoria Contínua - Plan, Do, Check, Action

PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB Política Nacional de Saneamento Básico

SES Sistema de Esgotamento Sanitário

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UASB Up Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor

UGRHI Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Gestão dos Serviços de Esgotamento Sanitário	19
3.2	Gestão do Lodo de Esgoto	21
3.2.1	Manejo do lodo de ETE no Brasil	22
3.3	Norma ABNT NBR ISO 24511/2012	24
3.4	Indicadores de desempenho	27
3.4.1	Indicadores de desempenho por IWA	28
3.4.2	Indicadores de desempenho por LNEC	35
3.4.3	Indicadores de desempenho por ERSAR	38
3.4.4	Indicadores de desempenho por ADERASA	40
3.4.5	Indicadores de desempenho por SNIS	42
3.4.6	Indicadores de desempenho por ABES	44
3.4.7	Indicadores de desempenho por ABAR	47
3.4.8	Uso de indicadores de desempenho para gestão dos serviços de esgoto na literatura científica.....	47
4	METODOLOGIA	49
4.1	Etapa 1 – Embasamento teórico sobre gestão do lodo de esgoto e sobre o uso de indicadores de desempenho	50
4.2	Etapa 2 – Levantamento e análise de indicadores de desempenho relativos à esgotamento sanitário e ao lodo de esgoto.....	51
4.3	Etapa 3 – Aplicação de conjunto de indicadores de desempenho como instrumento de gestão do lodo de esgoto	52
4.4	Etapa 4 – Avaliação da aplicabilidade dos indicadores	54
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57

5.1	Análise dos indicadores de desempenho pesquisados	57
5.1.1	Indicadores relativos aos sistemas de esgotamento sanitário (SES)	57
5.1.2	Indicadores relativos ao lodo de esgoto gerado nas ETEs	61
5.2	Seleção de indicadores aplicáveis para a gestão do lodo de esgoto.....	62
5.3	Agrupamento e complementação dos indicadores de desempenho	64
5.4	Aplicação dos indicadores de desempenho nas Estações de Tratamento de Esgoto selecionadas.	73
5.5	Análise da aplicabilidade dos ID nas ETEs selecionadas.....	89
5.6	Análise do Grau de Confiança e Exatidão dos Indicadores de Desempenho	93
5.7	Análise do uso dos Indicadores de Desempenho como instrumento de gestão do lodo de esgoto	98
6	CONCLUSÕES	102
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
	APÊNDICE A – Formulário de Coleta de Dados.....	110
	APÊNDICE B – Relação Detalhada e Fórmula de Cálculo do Conjunto de Indicadores de Desempenho Aplicáveis ao Lodo de Esgoto	112
	APÊNDICE C – Relação Detalhada e Fórmula de Cálculo dos Indicadores Estratégicos para o Lodo de Esgoto.....	118
	ANEXO A – Parecer Comitê de Ética em Pesquisa - CEP.....	119

1 INTRODUÇÃO

Integram os serviços de saneamento, de acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico, os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e manejo de resíduos sólidos. Instituída através da Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, e com sua última atualização pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, a política estabelece as diretrizes nacionais para prestação dos serviços de saneamento, de forma a promover a proteção do meio ambiente e a saúde pública (BRASIL, 2007; BRASIL, 2020a).

O Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) é responsável pelo manejo das águas residuárias das atividades humanas, sejam estas de processos industriais, comércio ou uso doméstico. Esta água residuária, denominada como esgoto, possui características específicas, diferenciadas de acordo com sua origem. Suas características qualitativas podem ser mensuradas por meio de parâmetros biológicos, físicos e químicos, como pH, sólidos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo, nitrogênio, óleos e graxas, metais e coliformes termotolerantes (KELLNER; AKUTSU; ACHON, 2016).

O SES é composto pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente ou recuperação para reúso (BRASIL, 2007).

É na etapa de tratamento que ocorre a redução do potencial poluidor do esgoto bruto para posterior destinação final, que pode ser o reúso ou o descarte dos efluentes, de acordo com o sistema de tratamento utilizado e os parâmetros finais dos resíduos. As etapas do tratamento que integram a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) variam de acordo com a tecnologia empregada, podendo envolver operações em nível de tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário (KELLNER; AKUTSU; ACHON, 2016).

A eficiência do sistema de esgotamento sanitário, depende da perspectiva de sua operação de forma integrada, abrangendo todas as etapas que o compõe, e cada vez mais focando na recuperação de água, energia e nutrientes. A necessidade da gestão integrada do sistema é defendida por diversos autores, que destacam como o desempenho de todo o sistema

de esgoto pode impactar significativamente sobre o desempenho das Estações de Tratamento de Esgoto (COLLIVIGNARELLI et al., 2021).

Todas as etapas constituintes do tratamento do esgoto sanitário contribuem com a geração de resíduos, que podem ser sólidos ou gasosos, além do efluente líquido resultante do tratamento. Esses resíduos precisam ser removidos para garantir a eficiência dos sistemas e, destinados, tratados, e reutilizados ou dispostos adequadamente, a fim de evitar impactos ambientais.

Os resíduos sólidos gerados nas ETEs são uma parcela comumente negligenciada, são provenientes das diversas etapas do tratamento, que são os rejeitos do tratamento preliminar e o lodo gerado nas demais etapas (ACHON; CORDEIRO, 2016). O lodo de esgoto corresponde a cerca de 3% do volume de esgoto tratado, dependendo da tecnologia e forma de remoção, e se apresenta em consistência semissólida constituído de aproximadamente 98% de umidade. Sua fração sólida é composta por concentrações de matéria orgânica, fósforo, nitrogênio e metais pesados (DA SILVA; ACHON, 2019).

Por se tratar de resíduo sólido, o lodo de esgoto deve atender ao disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), instituída através da Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que determina que os resíduos devem receber destinação ambientalmente adequada, priorizando a reutilização, e apenas os rejeitos devem ser encaminhados para disposição final em aterros. Para isso é necessário que o resíduo passe por tratamento, para a obtenção de um material próprio para reúso. O processamento do lodo de esgoto objetiva a redução do percentual de umidade e estabilização, reduzindo assim o volume de lodo e facilitando seu manuseio e transporte, e a preparação do resíduo para reutilização (DA SILVA; ACHON, 2019).

Diante da necessidade de sistemas de tratamento de esgoto que atendam às prescrições da legislação pertinente, e englobem o processamento do lodo de esgoto como parte integrante do sistema de esgotamento sanitário, surge a necessidade de avaliar a eficiência da gestão do lodo e a real situação desses sistemas, objetivando melhorias contínuas do sistema, conforme propõe a norma NBR ISO 24511/2012.

A norma *ABNT NBR ISO 24511/2012 - Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto - Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de esgoto e para avaliação dos serviços de esgoto*, foi elaborada com o objetivo de fornecer aos prestadores dos

serviços de saneamento diretrizes para avaliar e aprimorar os serviços prestados, assim como sua gestão. A abordagem da norma propõe uma metodologia para avaliação e proposição de melhorias dos sistemas de esgotamento sanitário, recomendando o uso de indicadores de desempenho como ferramenta essencial.

Os Indicadores de Desempenho (ID) são instrumentos de gestão importantes, que podem ser usados para avaliação dos serviços de esgoto prestados, em relação ao processo de melhoria ao longo do tempo e a fim de comparar prestadores e identificar melhores práticas (BARROS, 2013).

Dessa forma, a necessidade de aprimorar os processos associados ao manejo do lodo de esgoto pode ser suprida através do uso de indicadores de desempenho como uma ferramenta de gestão em concordância com as recomendações normativas. Para tanto é indispensável ampliar o conhecimento científico a respeito do uso de IDs associados à avaliação da gestão do lodo de esgoto, considerando os indicadores mais apropriados, as relações entre variáveis e as dificuldades de aplicação enfrentadas.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é analisar o uso de indicadores de desempenho como instrumento de gestão do lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), por meio da aplicação de um conjunto de ID em ETES selecionadas localizadas na UGRHI 15 - Turvo/Grande, no estado de São Paulo.

Os objetivos específicos consistem em:

- Selecionar e analisar os indicadores de desempenho relativos à gestão dos serviços de esgoto disponíveis na literatura;
- Compilar, analisar e complementar um conjunto de indicadores de desempenho adaptáveis para aplicação na gestão do lodo gerado em ETES brasileiras;
- Aplicar o conjunto de indicadores de desempenho em ETES selecionadas, localizadas na UGRHI 15 - Turvo/Grande, no estado de São Paulo.
- Avaliar a aplicabilidade e o grau de confiança dos indicadores de desempenho e dos dados de entrada (variáveis) de acordo com as recomendações da NBR ISO 24511/2012 nas ETES selecionadas.
- Propor Indicadores de Desempenho Estratégicos (IDe), em número reduzido de IDs, que abordem os principais parâmetros associados à gestão do lodo de esgoto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Gestão dos Serviços de Esgotamento Sanitário

O acesso aos serviços de saneamento é de fundamental importância para a promoção da saúde pública e manutenção dos recursos naturais, no entanto, o acesso integral aos serviços é um desafio enfrentado no Brasil. Em relação aos serviços de esgotamento sanitário, cerca de 80% da água distribuída se transforma em esgoto após sua utilização. Essa água residuária é coletada através das redes coletoras e transportada às Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) para tratamento e posterior disposição final (SNIS, 2021a).

Os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes ao ano de 2020 revelam que dos 4.744 municípios que forneceram informações apenas 2.807, equivalente a 59,20%, contam com sistemas de esgotamento sanitário. Ainda dentre esses municípios existem sistemas que compreendem apenas a coleta e a disposição final do esgoto, sem a realização de nenhum tipo de tratamento, o que corresponde a 20,2% dos 6 bilhões de metros cúbicos coletados por ano no país (SNIS, 2021a).

Nas ETEs o efluente coletado passa por diversas etapas de tratamento, variando de acordo com o método utilizado, a fim de redução do potencial poluidor. A etapa de tratamento preliminar destina-se à remoção de sólidos grosseiros por meios predominantemente físicos. No nível primário, são removidas as partículas suspensas, em sua maioria matéria orgânica, por meio de decantadores e flotas. No tratamento secundário ocorre a degradação biológica da matéria orgânica, que é a principal etapa do processo e podem ser empregados sistemas com lagoas de estabilização, reatores anaeróbios ou sistemas de lodos ativados, por exemplo. O nível terciário é empregado quando há necessidade de remoção de nutrientes, patógenos ou metais específicos, normalmente são usados processos químicos (FERNANDES; SILVA, 1999; ACHON; KELLNER; AKUTSU, 2016).

O efluente líquido após o tratamento tem como sua disposição final o lançamento no meio ambiente ou o reúso, para isso deve atender aos requisitos mínimos estabelecidos para os padrões de lançamento ou reutilização (KELLNER; AKUTSU; ACHON, 2016). Em relação aos resíduos gasosos, estes podem ser emanados durante as diversas etapas do sistema de esgotamento sanitário, e possuem características que variam muito de acordo com os gases que estão sendo liberados (AKUTSU; ACHON; KELLNER, 2016). Os resíduos sólidos gerados

devem ser reutilizados conforme recomendação da PNRS, para isso é necessário que passem pelo processo de tratamento para atendimento aos parâmetros legais. O tratamento objetiva a redução do percentual de umidade e estabilização (PEGORINI et al., 1999; DA SILVA; ACHON, 2019). Na prática, comumente esses resíduos são dispostos em aterros sanitários, no entanto, esta destinação não é recomendada pela PNRS, e gera um problema para os aterros pelo elevado teor de umidade.

O esgoto não tratado e a disposição irregular dos resíduos são algumas das principais fontes de poluição de corpos hídricos no Brasil (SNIS, 2021a), o que reforça a necessidade de implantar instrumentos de gestão para monitoramento e avaliação dos serviços que vêm sendo prestados.

Conforme descreve Collivignarelli (2021), a avaliação do desempenho nos âmbitos operacional, ambiental, estrutural, gerencial e econômico dos sistemas de esgoto e do tratamento é fundamental para a identificação de pontos críticos e oportunidades de melhoria dos serviços, em relação ao cliente, à proteção do meio ambiente e à redução de custos.

Em pesquisa realizada por Cavalcanti, Teixeira e Pontes (2020), foi verificado que a melhoria da eficiência dos sistemas brasileiros existentes seria capaz de aumentar o acesso aos serviços de saneamento em cerca de 17%, contribuindo também para a redução dos custos, favorecendo a proteção ambiental e promovendo o desenvolvimento social. Para otimização da eficiência no desempenho dos serviços, uma alternativa extremamente relevante é o aperfeiçoamento dos métodos de gestão para identificação dos pontos específicos para aprimoramento.

A implantação de modelos de gestão que compreendam o sistema de esgoto como um todo, com instrumentos eficazes como os Indicadores de Desempenho, conforme recomendado pela NBR ISO 24511/2012, se mostra de grande relevância, inclusive no que se refere ao reaproveitamento de recursos.

Na Europa, o reúso dos resíduos de saneamento vem sendo encorajado por meio do conceito de economia circular, que tem ganhado força no setor, conforme relatado por Preisner et al. (2022). Segundo os autores é de extrema relevância a recuperação de nutrientes das águas residuais e do lodo produzido nas ETEs, e monitorar a implantação dessa abordagem por meio de indicadores.

A recuperação do lodo gerado nas ETEs, com o objetivo de reutilização, pode ser considerada um desafio e uma oportunidade, que precisa ser incorporada nos modelos de gestão desses serviços, para monitoramento e avaliação das ações voltadas para essa finalidade.

3.2 Gestão do Lodo de Esgoto

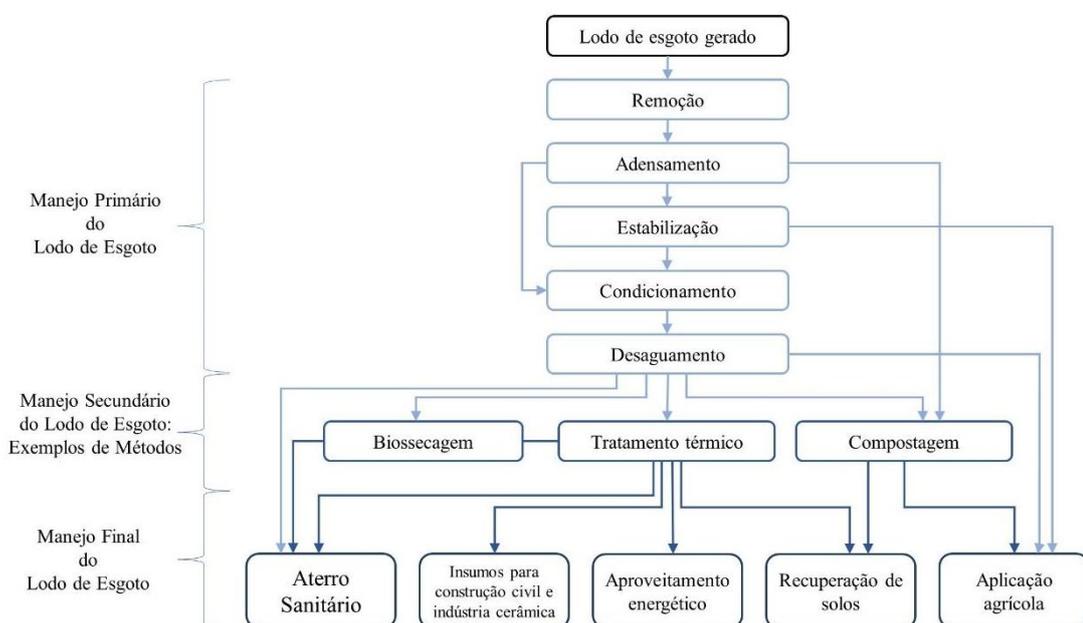
O lodo de esgoto é o principal resíduo sólido gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto. Conforme descreve Fernandes e Silva (1999) as características dos resíduos de esgoto variam de acordo com as etapas de tratamento. No processo de tratamento preliminar, composto por unidades de gradeamento e caixa de areia é gerado rejeito que deve ser disposto em aterro sanitário. Na etapa de tratamento primário, é gerado o lodo primário, formado pelas partículas acumuladas no fundo dos decantadores primários, lodo altamente instável que deve passar por processo de estabilização. No tratamento secundário, as características do lodo gerado variam de acordo com a tecnologia de tratamento empregada, podendo produzir lodo estabilizado ou instável. O tratamento terciário, empregado quando há necessidade de tratamento complementar, gera um lodo residual, instável e de difícil desaguamento.

Em tratamentos por lagoas de estabilização, anaeróbia ou facultativa, o lodo é formado pela matéria orgânica que sedimenta e se acumula no fundo das lagoas. No sistema de lodo ativado, o resíduo se concentra nos decantadores primário e secundário. Em sistemas com reatores anaeróbios UASB, o lodo permanece nos reatores, sendo elemento essencial para o processo de tratamento, parte dele é removida quando a quantidade se torna excessiva. Em quaisquer sistemas de tratamento a remoção do lodo das unidades deve ocorrer periodicamente, em períodos compatíveis com a tecnologia empregada, de forma a não prejudicar o processo (SILVA, 2019; FREDDO, 2014).

Após a remoção, o processamento do lodo varia de acordo com as suas características iniciais e o objetivo do tratamento. As primeiras etapas do processo objetivam a redução do volume de resíduo, removendo o máximo possível de umidade e podem incluir as etapas de adensamento, estabilização, condicionamento e desaguamento. As próximas etapas de tratamento buscam a preparação do lodo para o reuso ou recuperação, e de acordo com o seu destino pode compreender os processos de compostagem, secagem ou tratamentos térmicos, como incineração ou pirólise (PEGORINI et al., 1999; DA SILVA; ACHON, 2019).

A destinação final do lodo depende das suas características após o tratamento, alguns destinos possíveis e já empregados no Brasil são a agricultura, a construção civil, a indústria cerâmica, a recuperação de solos e a geração de energia. Os rejeitos, que não possuem mais potencial de recuperação ou reuso, devem ser dispostos em aterros sanitários (BRINGHENTI, 2018; DO AMARAL; AISSE; POSSETTI, 2020). A Figura 1 ilustra as etapas que integram o processo de tratamento.

Figura 1 – Processamento do Lodo de Esgoto



Fonte: Adaptado de Silva (2019).

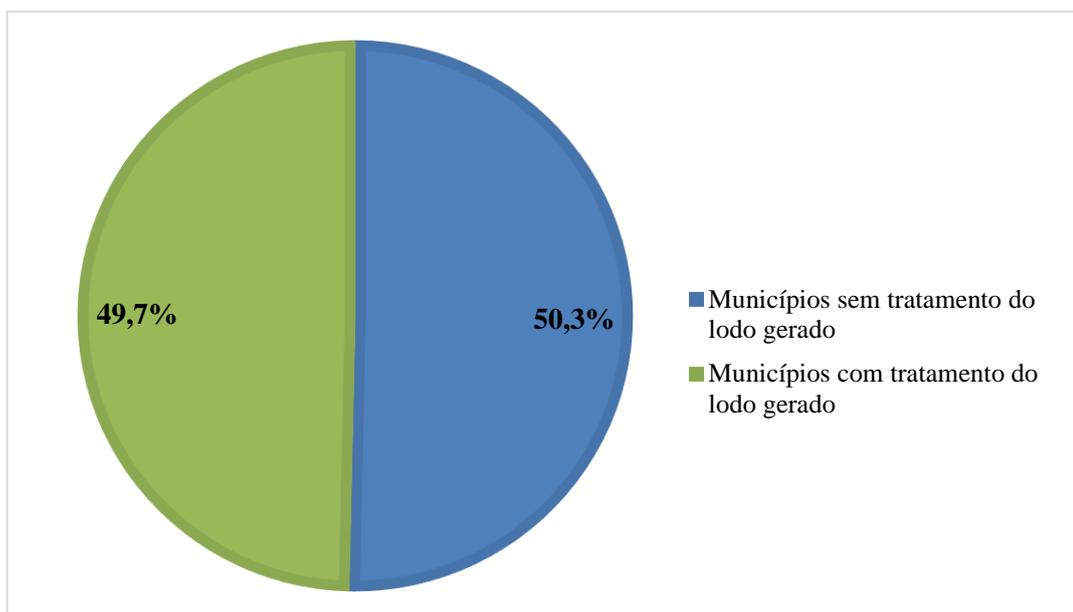
3.2.1 Manejo do lodo de ETE no Brasil

No Brasil, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, que recolheu dados no ano de 2017 através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020), dos mais de 5500 municípios do país, 1707 informaram que há geração de lodo no processo de tratamento de esgoto. Entre estes, cerca de 50% não fazem nenhum tipo de tratamento deste resíduo, a Figura 2 representa graficamente a proporção entre municípios que realizam ou não o tratamento do lodo de esgoto.

A referida pesquisa aponta ainda que, a fração de municípios em que o lodo é destinado para o reuso representa cerca de 12% do total, e que encaminha para disposição em aterro

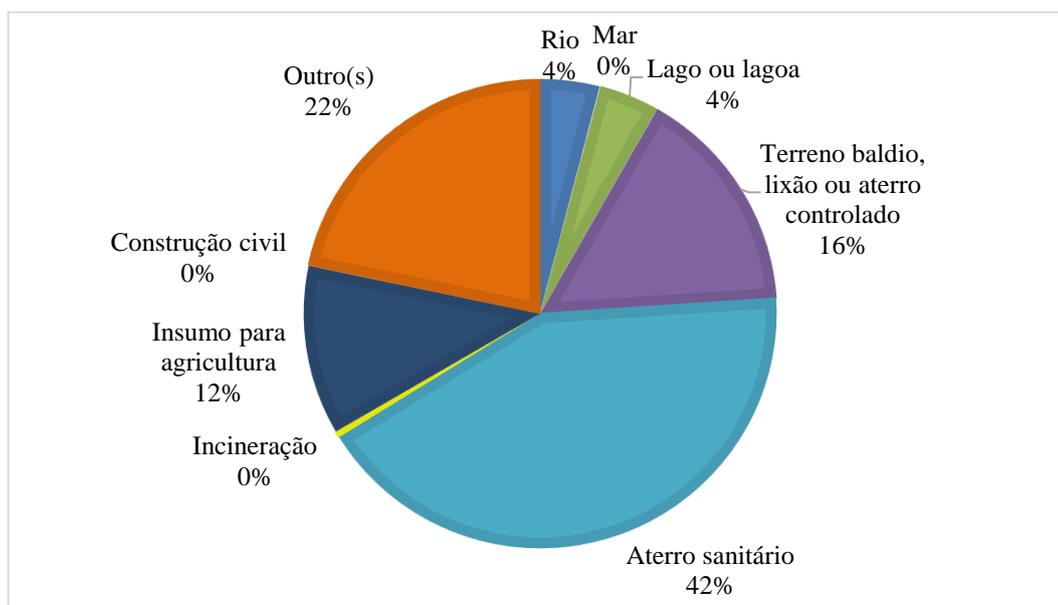
sanitário equivale a 42%. A Figura 3 detalha a proporção dos principais destinos identificados na pesquisa entre os municípios brasileiros.

Figura 2 – Existência de tratamento do lodo de esgoto por municípios no Brasil



Fonte: IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2020).

Figura 3 – Proporção de destinos para o lodo de esgoto nos municípios do Brasil



Fonte: IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2020).

Esses números revelam que o manejo do lodo no Brasil é negligenciado, caracterizado por etapas de tratamento incompletas e destinação final irregular. O descarte desse resíduo em rios, mares, lagoas ou terrenos enquadra-se como crime ambiental, através da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, Art. 54º. O envio ao aterro sanitário como única alternativa de destinação também é considerada uma prática irregular, pois não atende às prescrições da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que determina que os resíduos só devem ser encaminhados aos aterros após o esgotamento das possibilidades de reúso.

A desatenção com o manejo adequado desse resíduo reflete a ausência de indicadores e dados relativos ao lodo no Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), conforme relata Silva, Achon e Isaac (2019) a respeito dos resíduos do tratamento de água, o mesmo se aplica aos resíduos do tratamento de esgoto. Os municípios não são cobrados a levantar e fornecer os dados relativos ao lodo produzido, conseqüentemente a gestão é negligenciada.

Esse contraste entre o processamento ideal e o realizado no país reflete a fragilidade da gestão integrada do sistema, e reforça a necessidade de aplicação de instrumentos de gestão para aprimoramento do setor. Um documento relevante para coordenar as ações de gestão é a Norma ABNT NBR ISO 24511/2012, que estabelece diretrizes para a gestão e avaliação dos serviços de esgoto.

3.3 Norma ABNT NBR ISO 24511/2012

A Norma ABNT NBR ISO 24511/2012 - Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto - Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de esgoto e para avaliação dos serviços de esgoto, foi publicada em dezembro de 2012 a partir da tradução da versão original elaborada pela International Organization for Standardization (ISO), em 2007.

Faz parte da série de normas ABNT NBR ISO 24500, que também compreende as normas ABNT NBR ISO 24510/2012 e ABNT NBR ISO 24512/2012. O objetivo dessas normas é fornecer às partes interessadas, as diretrizes para avaliar e aprimorar os serviços prestados aos usuários e a gestão dos serviços de água e esgoto, considerando os propósitos globais definidos pelas autoridades e organizações intergovernamentais (ABNT, 2012a). As diretrizes estabelecidas pela Norma focam as necessidades e expectativas dos usuários, muitas

de suas recomendações destinam-se à aplicação universal, e consideram eventuais condições limitantes e necessidades de adaptação enfrentadas por determinadas regiões e países.

A abordagem desta norma é compatível com o princípio de PDCA “planejar-fazer-quebrar-agir”, ela propõe um processo progressivo partindo da identificação dos componentes e definição dos objetivos do prestador dos serviços, seguido do estabelecimento de indicadores de desempenho como ferramenta de gestão, e finalmente a avaliação dos desempenhos, retornando ao início do processo continuamente.

A aplicação da NBR ISO 24511/2012, assim como das outras normas da série, não depende da implementação e certificação das normas da série ABNT NBR ISO 9000 – Sistemas de Gestão de Qualidade, e da série de normas ABNT NBR ISO 14000 – Sistemas de Gestão Ambiental, contudo, suas diretrizes são consistentes com as mesmas, e suas orientações podem contribuir com a obtenção dos requisitos técnicos estabelecidos por essas normas de sistemas de gestão.

O conteúdo da NBR ISO 24511/2012 inclui a descrição dos sistemas de esgotamento sanitário e dos seus componentes. Nas etapas de coleta, transporte e tratamento, são ressaltadas as possíveis variações entre os equipamentos que constituem o sistema, de acordo com a realidade local e os métodos utilizados. Na etapa de destinação final é citada a crescente receptividade do mercado às alternativas de reúso do resíduo.

Em sequência, e como sua temática principal, a norma define critérios de gestão para o prestador de serviços de esgoto e uma metodologia de avaliação para os sistemas de esgotamento sanitário. De acordo com a NBR ISO 24511/2012, o processo de gestão desses sistemas deve partir da definição dos objetivos pertinentes ao prestador dos serviços, que devem ser definidos pelo titular dos serviços. Entre os objetivos citados em seu texto, a proteção da saúde pública e a proteção do meio ambiente natural são associados ao reúso ou destinação final adequada dos resíduos do tratamento.

A fim de atingir os objetivos propostos, a norma recomenda uma abordagem de gestão integrada, que compreenda todos os componentes de gestão para a prestação dos serviços de esgotamento sanitário, os quais são atividades e processos, recursos, ativos, relacionamento com os usuários, informações, meio ambiente e riscos. E que essa estrutura de gestão seja elaborada buscando monitorar o desenvolvimento eficaz e eficiente de todas as atividades e processos inerentes ao serviço prestado, com a finalidade de contribuir para a proteção contra

a poluição dos mananciais e corpos receptores, e máxima recuperação e reúso do esgoto e dos resíduos do tratamento.

A norma orienta ainda, que o processo de gestão inclua a avaliação dos serviços prestados. Direcionada aos objetivos já definidos, a política de avaliação deve abranger todos os sistemas e procedimentos de gestão. É importante que os procedimentos de avaliação, as ferramentas utilizadas, e os resultados obtidos sejam bem definidos, a fim de proporcionar total entendimento pelas partes envolvidas, e facilitar o processo de tomada de decisão.

Como ferramenta de avaliação essencial, a norma preconiza o uso de Indicadores de Desempenho, a serem utilizados para medir a eficiência e eficácia do prestador de serviços em atingir seus objetivos. Um sistema de indicadores de desempenho deve compreender um conjunto de indicadores de desempenho, informações de contexto e variáveis, sendo recomendado que para cada indicador sejam estabelecidas, monitoradas e ajustadas metas específicas (ABNT, 2012a).

Como complemento aos indicadores de desempenho, a norma recomenda a avaliação da qualidade dos dados utilizados. De acordo com sua recomendação o grau de confiança de um indicador pode ser avaliado em relação a exatidão, que considera os erros de medição na obtenção dos dados, e a confiabilidade associada a fonte dos dados. É disponibilizado entre seus anexos um exemplo de esquema para avaliação do grau de confiança dos indicadores.

A norma ABNT NBR ISO 24511/2012 se caracteriza como sendo de aplicação voluntária, não se propondo a emitir certificação. Fator que contribui para a pouca disposição dos prestadores quanto a sua execução. No entanto, conforme explica Achon, Barroso e Cordeiro (2013) a aplicação de tais normas propicia importantes avanços na busca pela melhoria de qualidade e sustentabilidade do setor de saneamento, caracterizando-se como ferramenta para o enquadramento na Lei 11.445/2007.

Os Indicadores de Desempenho, previstos na norma entre os critérios para a boa prestação dos serviços, são recomendados para avaliação das entidades prestadoras de serviços, em relação ao processo de melhoria ao longo do tempo e no que se refere à comparação entre prestadoras para identificação das melhores práticas, devendo ser aplicados conforme instruções constantes na norma (BARROS, 2013).

3.4 Indicadores de desempenho

Conforme descrito pela NBR ISO 24511/2012, os indicadores de desempenho (ID) são um instrumento de gestão extremamente relevante para a avaliação contínua do desempenho dos serviços de esgotamento sanitário. São medidas da eficiência e da eficácia das entidades gestoras, podendo ser empregados em função de aspectos específicos da atividade desenvolvida ou do comportamento dos sistemas. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço, enquanto a eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos realisticamente, foram cumpridos (VON SPERLING, T. L.; VON SPERLING, M., 2013)

O uso de indicadores de desempenho é considerado apropriado para gestão dos serviços de saneamento pois, com eles, é possível reduzir a assimetria de informações, incrementar a transparência das ações do prestador de serviços, avaliar objetiva e sistematicamente a prestação dos serviços e aumentar a eficiência e a eficácia da atividade de regulação (BARROS,2013).

Os indicadores de desempenho também são úteis para comparar diferentes parâmetros dos sistemas de esgoto, estabelecendo relações entre eles que podem elucidar possíveis discrepâncias ou boas práticas desenvolvidas, conforme pesquisa realizada por Dorsa, Pereira e Magalhães (2019).

A NBR ISO 24511/2012 (ABNT, 2012a) recomenda que os indicadores de desempenho possuam sua definição explícita de modo a auxiliar a interpretação. A norma ainda preconiza que os indicadores possuam as seguintes características:

- Seja explicitamente definido, com uma interpretação concisa e inequívoca;
- Seja avaliado a partir de variáveis que possam ser medidas facilmente e confiavelmente por um custo razoável;
- Contribua para exprimir o nível efetivo de desempenho alcançado em uma determinada área;
- Esteja relacionado a uma área geográfica delimitada (e, no caso de análise comparativa, convém que seja relacionado à mesma área geográfica);
- Esteja relacionado a um período de tempo específico (por exemplo, anual, trimestral);
- Permita uma comparação explícita com os objetivos almejados e simplifique uma análise que de outra forma seria complexa;

- Seja verificável;
- Seja simples e de fácil entendimento;
- Seja objetivo e evite qualquer interpretação pessoal ou subjetiva.

Ainda de acordo com a NBR ISO 24511/2012 (ABNT, 2012a), os indicadores de desempenho são tipicamente apresentados como relações entre variáveis. Relações essas que podem ser proporcionais, expressas em porcentagem (%), ou não proporcionais, através de variáveis com unidades distintas ($\$/m^3$). Para as relações não proporcionais, a norma recomenda que o denominador represente uma dimensão do sistema, dessa forma, é possível realizar comparações ao longo do tempo ou entre sistemas.

Com o objetivo de utilizar os indicadores de desempenho para avaliação e planejamento dos sistemas de esgotamento sanitário, diversas organizações nacionais e internacionais vêm desenvolvendo conjuntos de indicadores, com diferentes objetivos e prioridades. Entre elas, a International Organization for Standardization (ISO), a International Water Association (IWA), a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de Portugal, a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) de Portugal, a Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR), o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), e a Associação de Entidades Reguladoras de Água e Saneamento das Américas (ADERASA).

Os indicadores de desempenho divulgados por essas organizações normalmente são agrupados em categorias com informações de natureza semelhantes, a fim de coordenar sua aplicação. As principais categorias utilizadas são infraestrutura, qualidade, atendimento comercial, operação, ambientais, econômicos e financeiros, e recursos humanos.

3.4.1 Indicadores de desempenho por IWA

A International Water Association (IWA), desenvolveu em 2003 um Guia Técnico para o uso de indicadores de desempenho nos serviços de esgotamento sanitário. Os conceitos abordados na versão original, intitulada “Performance Indicators for Wastewater Services”, são considerados relevantes ainda na atualidade, fato que se reflete em traduções que ocorreram nos anos de 2004 para língua portuguesa, e 2021 para espanhol. O objetivo da publicação é fornecer aos gestores dos sistemas de esgotamento sanitário, um instrumento de gestão objetivo e

integrado através dos sistemas de ID, que englobam os aspectos de gestão, de recursos humanos, financeiros, físicos, operacionais, ambientais e de qualidade do serviço (MATOS, 2003).

O conteúdo do Manual contribuiu com a elaboração da série de Normas ISO 24500, então em desenvolvimento pela *Comissão Técnica ISO/TC 224 – Atividades relacionadas com serviços de abastecimento de água e de águas residuais – critérios de qualidade de serviço e indicadores de desempenho*. A presença de membros em comum em ambos os grupos de estudo, e a participação da IWA como membro Corporativo da Comissão corroborou para o fornecimento de resultados dos testes de campo realizados pela IWA e recomendações para o refinamento dos procedimentos associados aos ID.

As instruções fornecidas no Manual, iniciam-se com a descrição da estrutura e natureza dos sistemas de Indicadores de Desempenho, e os conceitos relativos às Informações de Contexto (IC), seguida pela proposição de uma estratégia para a implementação do sistema de ID. O documento também apresenta uma listagem de indicadores de desempenho aplicáveis para os serviços de esgoto, descritos no Quadro 1, e as informações de contexto relativas a eles. Além disso, são abordados os conceitos relativos à confiança e a qualidade dos dados recolhidos para aplicação dos indicadores (MATOS, 2004).

Quadro 1 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por IWA

Indicadores de Desempenho - IWA		
Indicadores ambientais (wEn)		
Código	Descrição	Unidade
wEn1	Cumprimento de legislação sobre descargas de ETE	(%/ano)
wEn2	Reutilização de águas residuais tratadas	(%)
wEn3	Frequência de descargas de excedentes	(n.º/descar. de tempestade/ano)
wEn4	Volume de descargas de excedentes	(m ³ /descar. de tempestade/ano)
wEn5	Volume de descargas de excedentes originadas por precipitação	(%)
wEn6	Produção de lodo em ETE	(kg MS/e.p./ano)
wEn7	Valorização de lodo em ETE	(%)
wEn8	Destino final de lodo de ETE	(%)
wEn9	Destino final de lodo de ETE - Deposição em aterro	(%)

wEn10	Destino final de lodo de ETE - Incineração	(%)
wEn11	Destino final de lodo de ETE - Outras formas de destino final	(%)
wEn12	Remoção de sedimentos de coletores	(ton/km coletor/ano)
wEn13	Remoção de sedimentos de órgãos complementares da rede	(ton/km coletor/ano)
wEn14	Remoção de gradeados e areias	(ton/km coletor/ano)
wEn15	Remoção de sedimentos de sistemas de tratamento local	(ton/e.p./ano)
Indicadores de recursos humanos (wPe)		
Código	Descrição	Unidade
wPe1	Pessoal destinado ao tratamento por equivalente de população	(n.º/1000 e.p.)
wPe2	Pessoal destinado à rede de drenagem por comprimento de coletor	(n.º/100 km coletor)
wPe3	Pessoal destinado à gestão global	(%)
wPe4	Pessoal destinado à gestão de recursos humanos	(%)
wPe5	Pessoal destinado à gestão financeira e comercial	(%)
wPe6	Pessoal destinado à gestão de clientes	(%)
wPe7	Pessoal destinado à gestão técnica	(%)
wPe8	Pessoal destinado ao planeamento, ao projeto e à construção	(%)
wPe9	Pessoal destinado à operação e manutenção	(%)
wPe10	Pessoal técnico destinado aos sistemas de tratamento	(n.º/1000 e.p.)
wPe11	Pessoal técnico destinado ao sistema de drenagem	(n.º/100 km coletor)
wPe12	Pessoal destinado à monitorização da qualidade das águas residuais	(n.º/(1000 testes/ano))
wPe13	Pessoal dos serviços de apoio	(%)
wPe14	Pessoal com formação universitária	(%)
wPe15	Pessoal com a escolaridade mínima obrigatória	(%)
wPe16	Pessoal com outras qualificações	(%)
wPe17	Tempo total de formação	(horas/empregado/ano)
wPe18	Pessoal com vacinação atualizada relativa a doenças transmitidas pelo contato com águas residuais	(%)
wPe19	Pessoal com formação reconhecida para trabalhar em espaços confinados	(%)
wPe20	Acidentes de trabalho	(n.º/100 empregados/ano)
wPe21	Acidentes de trabalho fatais	(n.º/100 empregados/ano)
wPe22	Afastamento	(dias/100 empregados/ano)
wPe23	Afastamento por acidente de trabalho ou doença	(dias/100 empregados/ano)

wPe24	Afastamento por outras razões	(dias/100 empregados/ano)
wPe25	Horas extraordinárias	(%)
Indicadores infraestruturais (wPh)		
Código	Descrição	Unidade
wPh1	Utilização da capacidade de tratamento preliminar	(%)
wPh2	Utilização da capacidade de tratamento primário	(%)
wPh3	Utilização da capacidade de tratamento secundário	(%)
wPh4	Utilização da capacidade de tratamento terciário	(%)
wPh5	Entrada em carga de coletores em tempo seco	(%)
wPh6	Entrada em carga de coletores em tempo de chuva	(%)
wPh7	Entrada em carga significativa de coletores	(%)
wPh8	Potência de bombeamento utilizada no sistema de drenagem	(%)
wPh9	Potência de bombeamento utilizada em ETE	(%)
wPh10	Utilização da capacidade de bombeamento do sistema de drenagem	(%)
wPh11	Grau de automação do sistema	(%)
wPh12	Grau de controlo remoto do sistema	(%)
Indicadores operacionais (wOp)		
Código	Descrição	Unidade
wOp1	Inspeção de coletores	(%/ano)
wOp2	Limpeza de coletores	(%/ano)
wOp3	Inspeção de poços de visita	(-/ano)
wOp4	Inspeção de recolha	(-/ano)
wOp5	Limpeza de dispositivos de entrada	(-/ano)
wOp6	Frequência de inspeção de estruturas de armazenamento e de descarregadores de tempestade	(n.º/estrutura de armazen. ou descar./ano)
wOp7	Inspeção de estruturas de armazenamento e de descarregadores de tempestade	(-/ano)
wOp8	Inspeção de grades de estruturas de armazenamento e de descarregadores de tempestade	(-/ano)
wOp9	Limpeza de grades de estruturas de armazenamento e de descarregadores de tempestade	(-/ano)
wOp10	Frequência de inspeção de instalações elevatórias	(-/ano)
wOp11	Inspeção de grupos eletrobomba	(-/ano)
wOp12	Calibração de medidores de caudal da rede de drenagem	(-/ano)
wOp13	Calibração de medidores de caudal em ETE	(-/ano)
wOp14	Calibração de equipamento de monitorização da qualidade das águas residuais	(-/ano)
wOp15	Inspeção de equipamentos de emergência	(-/ano)
wOp16	Inspeção de equipamentos de transmissão de sinal	(-/ano)
wOp17	Inspeção de quadros elétricos	(-/ano)
wOp18	Consumo de energia em instalações de tratamento	(kwh/e.p./ano)
wOp19	Recuperação de energia a partir de processos de cogeração	(%)

wOp20	Consumo de energia normalizado	(kwh/m3/m)
wOp21	Reabilitação de coletores	(%/ano)
wOp22	Reabilitação de coletores - Renovação de coletores	(%/ano)
wOp23	Reabilitação de coletores - Substituição de coletores	(%/ano)
wOp24	Reabilitação de coletores - Reparação de coletores (incluindo juntas)	(n.º/100 km coletor/ano)
wOp25	Substituição, reconstrução, renovação ou reparação de poços de visita	(%/ano)
wOp26	Substituição de tampas de poços de visita	(%/ano)
wOp27	Reabilitação de ramais de ligação	(%/ano)
wOp28	Recuperação de grupos eletrobomba	(%/ano)
wOp29	Substituição de grupos eletrobomba	(%/ano)
wOp30	Infiltração/extravasamento e ligações indevidas	(%)
wOp31	Ligações indevidas	(m3/km/ano)
wOp32	Infiltração	(m3/km/ano)
wOp33	Extravasamento	(m3/km/ano)
wOp34	Obstruções em coletores	(n.º/100 km/ano)
wOp35	Obstruções em coletores - Locais de obstrução em coletores	(n.º/100 km/ano)
wOp36	Obstruções em instalações elevatórias	(n.º/instalação elevatória/ano)
wOp37	Inundações provenientes de redes de águas residuais domésticas	(n.º/100 km coletor/ano)
wOp38	Inundações provenientes de redes unitárias de águas residuais	(n.º/100 km coletor/ano)
wOp39	Inundações de ocorrências superficiais	(n.º/100 km coletor/ano)
wOp40	Colapsos estruturais	(n.º/100 km coletor/ano)
wOp41	Falhas de bombeamento	(horas/bomba/ano)
wOp42	Falhas no fornecimento de energia	(horas/instalação elevatória/ano)
wOp43	Descarregadores com regulação	(%)
wOp44	Análises realizadas	(-/ano)
wOp45	Análises realizadas - Análises de DBO	(-/ano)
wOp46	Análises realizadas - Análises de DQO	(-/ano)
wOp47	Análises realizadas - Análises de SST	(-/ano)
wOp48	Análises realizadas - Análises de fósforo total	(-/ano)
wOp49	Análises realizadas - Análises de nitrogênio total	(-/ano)
wOp50	Análises realizadas - Análises de Escherichia coli	(-/ano)
wOp51	Análises realizadas - Outras análises	(-/ano)
wOp52	Análises de lodo	(-/ano)
wOp53	Análises de descargas industriais	(-/ano)
wOp54	Disponibilidade de veículos	(n.º/100 km coletor)

wOp55	Detectores de gases	(n.º/empregados)
wOp56	Detectores de gases instalados permanentemente	(%)
Indicadores de qualidade de serviço (wQS)		
Código	Descrição	Unidade
wQS1	População residente com ligação ao sistema de drenagem	(%)
wQS2	População residente servida com ETE	(%)
wQS3	População residente servida com sistemas de tratamento local	(%)
wQS4	População residente não servida	(%)
wQS5	Volume de águas residuais tratadas em ETE	(%)
wQS6	Volume de águas residuais tratadas com tratamento preliminar	(%)
wQS7	Volume de águas residuais tratadas com tratamento primário	(%)
wQS8	Volume de águas residuais tratadas com tratamento secundário	(%)
wQS9	Volume de águas residuais tratadas com tratamento terciário	(%)
wQS10	Inundação de alojamentos com origem em rede separativa de águas residuais domésticas em tempo seco	(n.º/1000 alojam./ano)
wQS11	Inundação de alojamentos com origem em rede separativa de águas residuais domésticas em tempo de chuva	(n.º/1000 alojam./ano)
wQS12	Inundação de alojamentos com origem em rede unitária de águas residuais em tempo seco	(n.º/1000 alojam./ano)
wQS13	Inundação de alojamentos com origem em rede unitária de águas residuais em tempo de chuva	(n.º/1000 alojam./ano)
wQS14	Inundação de alojamentos por água de ocorrência pluvial	(n.º/1000 alojam./ano)
wQS15	Interrupções do serviço de drenagem	(%)
wQS16	Eficiência de instalação de novos ramais de ligação	(dias/novo ramal)
wQS17	Eficiência de reparação de ramais de ligação existentes	(dias/ramal reparado)
wQS18	Tempo médio de resposta de limpeza de fossas sépticas ou latrinas	(dias/pedido)
wQS19	Reclamações de serviço	(n.º/1000 habit./ano)
wQS20	Reclamações de serviço - Reclamações relativas a obstruções	(n.º/1000 habit./ano)
wQS21	Reclamações de serviço - Reclamações relativas a inundações	(n.º/1000 habit./ano)
wQS22	Reclamações de serviço - Reclamações relativas a acidentes de poluição imputáveis ao funcionamento do sistema	(n.º/1000 habit./ano)
wQS23	Reclamações de serviço - Reclamações relativas a odores	(n.º/1000 habit./ano)
wQS24	Reclamações de serviço - Reclamações relativas a roedores	(n.º/1000 habit./ano)
wQS25	Reclamações de serviço - Reclamações relativas à faturação	(n.º/1000 habit./ano)

wQS26	Reclamações de serviço - Outras reclamações e pedidos de esclarecimento	(n.º/1000 habit./ano)
wQS27	Resposta a reclamações	(%)
wQS28	Responsabilidade sobre danos causados a terceiros	(%)
wQS29	Perturbações no tráfego	(km/interrupção de tráfego)
Indicadores econômico-financeiros (wFi)		
Código	Descrição	Unidade
wFi1	Proveito unitário	(US\$/e.p./ano)
wFi2	Proveito unitário - Proveitos do serviço	(%)
wFi3	Proveito unitário - Outros proveitos	(%)
wFi4	Proveitos do serviço de indústrias	(%)
wFi5	Custo unitário total por e.p.	(US\$/e.p./ano)
wFi6	Custo unitário total por comprimento de coletor	(US\$/km coletor/ano)
wFi7	Custos unitários correntes por e.p.	(US\$/e.p./ano)
wFi8	Custos unitários correntes por comprimento de coletor	(US\$/km coletor/ano)
wFi9	Custos unitários de capital por e.p.	(US\$/e.p.)
wFi10	Custos unitários de capital por comprimento de coletor	(US\$/km coletor/ano)
wFi11	Custos de pessoal	(%)
wFi12	Custos de serviços externos	(%)
wFi13	Custos de energia elétrica	(%)
wFi14	Custos de materiais, reagentes e consumíveis	(%)
wFi15	Outros custos correntes	(%)
wFi16	Custos das funções de gestão global	(%)
wFi17	Custos das funções de gestão de recursos humanos	(%)
wFi18	Custos das funções financeiras e comerciais	(%)
wFi19	Custos das funções de gestão de clientes	(%)
wFi20	Custos das funções de gestão técnica	(%)
wFi21	Custos associados ao tratamento de águas residuais	(%)
wFi22	Custos associados à rede de águas residuais	(%)
wFi23	Custos da monitorização da qualidade da água	(%)
wFi24	Custos dos serviços de apoio	(%)
wFi25	Amortizações	(%)
wFi26	Custos financeiros líquidos	(%)
wFi27	Investimento unitário	(US\$/e.p./ano)
wFi28	Investimento para construção de sistemas ou reforço dos existentes	(%)
wFi29	Investimento para substituição e renovação de infraestruturas existentes	(%)
wFi30	Proporção de cobertura dos custos	(-)
wFi31	Proporção de cobertura dos custos correntes	(-)
wFi32	Atraso médio de recebimentos	(dias equiv.)
wFi33	Proporção de reposição do imobilizado	(-)
wFi34	Taxa de cobertura do investimento	(%)

wFi35	Idade média do imobilizado corpóreo	(%)
wFi36	Proporção anual médio de amortizações	(-)
wFi37	Proporção de aumento de dívida dos clientes	(-)
wFi38	Valor do inventário	(-)
wFi39	Taxa de cobertura do serviço da dívida	(%)
wFi40	Proporção de solvabilidade	(-)
wFi41	Proporção de liquidez geral	(-)
wFi42	Rendimento do imobilizado	(%)
wFi43	Rendimento dos capitais próprios	(%)
wFi44	Rendimento do capital investido	(%)
wFi45	Proporção de rotação do ativo	(-)

Fonte: Matos (2004).

Desde sua elaboração, o Guia Técnico vem sendo usado como referência para a aplicação de indicadores de desempenho para gestão de sistemas de esgotamento sanitário em todo o mundo e impulsionando o desenvolvimento de pesquisas que buscam aprimorar e adaptar os indicadores apresentados por diversas instituições.

3.4.2 Indicadores de desempenho por LNEC

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de Portugal, é uma das instituições que vem se dedicando ao desenvolvimento de um Sistema de Avaliação de Desempenho para Estações de Tratamento de Água e Esgoto. A 1ª geração desse Sistema de Avaliação teve início com a elaboração de Indicadores de Desempenho, voltados para avaliação global do sistema e Índices de desempenho, voltados para a avaliação do desempenho operacional do sistema (SILVA et al., 2012).

A 2ª geração do Sistema de Avaliação compreendeu uma etapa denominada “PAST21”, iniciada em 2009 com foco na aplicação e aprimoramento dos Indicadores de Desempenho. Nesse trabalho foram desenvolvidos 121 ID para ETEs, baseados nas recomendações do IWA e nos preceitos da série de normas ISO 24500/2007, e categorizados nos seguintes grupos de avaliação: Qualidade das águas residuais tratada, eficiência e confiança de remoção, uso de recursos naturais e matérias-primas, gestão de subprodutos, segurança, pessoal, recursos econômicos e financeiros, e planejamento e projeto (SILVA et al., 2012; QUADROS et al., 2010). O Quadro 2 traz a quantificação dos ID de acordo com as categorias acima, e alguns

exemplos de indicadores expostos nas publicações de Silva et al. (2012), Quadros et al. (2010) e Rosa et al. (2010).

Quadro 2 – Exemplos de Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por LNEC

Categoria		Quantidade total de ID
Qualidade da água residual tratada (WQ)		8
Código	Descrição exemplos	Unidade
wtWQ03.1	Conformidade da água para descarga relativamente à qualidade	(%)
wtWQ04	Conformidade da água para descarga com outros critérios de qualidade	(%)
wtWQ05	Conformidade da água para reutilização em n.º de análises realizadas	(%)
wtWQ08	Qualidade microbiológica da água para reutilização no(s) ponto(s) de entrega	(%)
Eficiência e confiabilidade de remoção (ER)		63
Código	Descrição exemplos	Unidade
wtER01	Eficiência volumétrica	(%)
wtER04	Eficiência de remoção de massa DQO	(%)
wtER13	Adequação da capacidade da estação de tratamento	(%)
wtER23	Reserva de reagentes	(dias)
wtER24	Testes laboratoriais	(nº/ano)
wtER25	Tipo de monitorização da qualidade da água/lamas	(%)
wtER32.1	Supervisão de tratamento	(%)
wtER33.2	Bombas inspecionadas	(nº/(bomba x ano))
wtER41	Calibração do medidor de vazão	(nº/medidor vazão x ano)
wtER46	Interrupção do funcionamento de arejadores	(nº/ano)
wtER47	Tempo médio para resolver uma falha	(h/falha)
wtER49	Autonomia de energia	(%)
wtER50	Reclamações	(nº/ano)
Uso de recursos naturais e matérias-primas (RU)		6
Código	Descrição exemplos	Unidade
wtRU01	Consumo de água doce na ETE	(%)
wtRU03	Consumo de energia	(kWh/m³)
wtRU04	Consumo de ácidos e bases	(eq/m³)
wtRU06	Reposição/substituição de areias	(%/ano)
Gerenciamento de subprodutos (BP)		19
Código	Descrição exemplos	Unidade

wtBP01.1	Produção de lodo	(kg lodo/m ³)
wtBP04	Uso benéfico do lodo	(%)
wtBP09	Produção de outros subprodutos	(m ³ /10 ⁶ m ³)
wtBP17	Produção de biogás	(m ³ /kg)
Segurança (Sa)		3
Código	Descrição exemplos	Unidade
wtSa01	Derrames e fugas de produtos químicos; subprodutos ou águas residuais	(kg/10 ⁶ m ³)
wtSa02	Acidentes de trabalho e doenças profissionais	(n ^o /empregado x ano)
wtSa03	Resposta à emergência	(mín/evento emergencial)
Pessoal (Pe)		8
Código	Descrição exemplos	Unidade
wtPe01	Pessoal destinado ao tratamento	(n ^o /10 ⁶ m ³)
wtPe02	Pessoal com formação superior	(%)
wtPe04	Tempo total de formação	(h/empregado x ano)
wtPe06.1	Afastamentos	(%)
wtPe08	Horas extras	(%)
Recursos econômicos e financeiros (Fi)		10
Código	Descrição exemplos	Unidade
wtFi01	Rendimento unitário operacional ajustado	(Euro/m ³)
wtFi03	Gasto unitário operacional ajustado	(Euro/m ³)
wtFi06	Gastos com aquisição de reagentes e meios de enchimento	(%)
wtFi09	Taxa de cobertura de custos de execução	(-)
Planejamento e projeto (PD)		4
Código	Descrição exemplos	Unidade
wtPD02	Área ocupada pelo sistema de tratamento	(m ² /m ³)
wtPD04	Avaliação atual da terra	(Euro/m ³)

Fonte: Silva et al., 2012; Quadros et al., 2010; Rosa et al., 2010.

A 3ª geração do Sistema de Avaliação de Desempenho para ETEs teve início em 2016, buscando desenvolver valores de referência para os indicadores e índices, e selecionar subconjuntos direcionados a categorias específicas, focando na eficiência e confiabilidade do tratamento, no desempenho energético e na gestão de lodo (SILVA; MATOS; ROSA, 2016a; SILVA; MATOS; ROSA, 2016b). A partir dessa nova geração de indicadores foram selecionados os relativos à gestão de lodo, foco principal deste trabalho, que são exibidos no Quadro 3.

Quadro 3 – Indicadores de Desempenho relativos ao lodo de esgoto elaborados por LNEC

Indicadores relativos a Lodo de Esgoto		
wtBP01.1	Produção de lodo	(kg/m ³)
wtBP01.2	Produção de lodo	(kg/kg DBO removido)
wtBP01.3	Produção de lodo	(kg/kg DQO removido)
wtBP02	Saída de lodo	(%)
wtBP03	Descarte de lodo	(%)
wtBP04	Uso benéfico do lodo	(%)
wtBP07	Conformidade da qualidade do lodo para uso na agricultura	(%)
wtBP08	Sólidos secos de lodo	(%)
wtBP09	Recuperação de Fósforo (P)	(%)
wtBP10	Descarga de Fósforo (P) em corpos d'água	(%)
wtFi07.1	Custos de processamento e descarte de lodo	€/m ³
wtFi07.2	Custos de processamento e descarte de lodo	(%)
wtEF03	Relação de massa de DBO removida por efluente tratado	(kg DBO removido/m ³)
wtEF04	Relação de massa de DQO removida por efluente tratado	(kg DQO removido/m ³)

Fonte: Silva; Matos; Rosa (2016a), Silva; Matos; Rosa, (2016b).

3.4.3 Indicadores de desempenho por ERSAR

Em parceria com o LNEC e com a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, a Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR), agência responsável pela regulação e supervisão dos serviços de abastecimento público de água, e de gestão de águas residuais e resíduos urbanos em Portugal, elabora periodicamente um Guia Técnico de Avaliação da Qualidade dos Serviços de Água e Resíduos, a última versão publicada em dezembro de 2021 contempla a 4ª geração desse Sistema de Avaliação, e propõe-se a ser uma ferramenta de gestão para os administradores dos sistemas.

O Sistema de Avaliação foi desenvolvido em conformidade com as recomendações da série de normas ISO 24500, sua estrutura é baseada em indicadores de desempenho que visam determinar a eficiência e eficácia dos serviços prestados pelas entidades gestoras, e possibilitar a comparação dos resultados obtidos com os objetivos propostos, ao longo do tempo e entre entidades semelhantes (ERSAR, 2021). Os indicadores recomendados pela entidade relativos aos serviços de esgoto são descritos no Quadro 4.

Quadro 4 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados pela ERSAR

Adequação do Serviço ao Utilizador		
Acessibilidade do serviço aos utilizadores		
Código	Descrição	Unidade
AR01a	Acessibilidade física do serviço	(%)
AR02b	Acessibilidade física do serviço através de redes fixas e meios móveis	(%)
AR03b	Acessibilidade econômica do serviço	(%)
AR04a	Ocorrência de inundações	[n.°/(100 km de coletor · ano)]
AR04b	Ocorrência de inundações	[n.°/(1000 ramais · ano)]
AR05ab	Resposta a reclamações, sugestões e pedidos de informação	(%)
Sustentabilidade econômica		
Código	Descrição	Unidade
AR06ab	Cobertura dos gastos	(%)
AR07a	Adesão ao serviço	(%)
AR08b	Adesão ao serviço por rede fixa	(%)
Sustentabilidade infraestrutural		
Código	Descrição	Unidade
AR09ab	Reparação de coletores	(%/ano)
AR10ab	Ocorrência de colapsos estruturais em coletores	[n.°/(100 km · ano)]
AR11ab	Monitorização da condição de coletores	(%)
AR12ab	Utilização da infraestrutura de tratamento	(%)
Produtividade física dos recursos humanos		
Código	Descrição	Unidade
AR13a	Adequação dos recursos humanos no transporte e tratamento	[n.°/(106 m ³ · ano)]
AR14b	Adequação dos recursos humanos no tratamento de águas residuais	[n.°/(106 m ³ · ano)]
AR15b	Adequação dos recursos humanos na coleta e drenagem de águas residuais	[n.°/(100 km · ano)]
Sustentabilidade Ambiental		
Eficiência na utilização de recursos ambientais		
Código	Descrição	Unidade
AR16ab	Eficiência energética de instalações elevatórias	[kWh/(m ³ · 100m)]
AR17ab	Produção de lamas no tratamento	(kg/m ³)
AR18ab	Produção de água para reutilização	(%)
AR19ab	Produção própria de energia	(%)

Eficiência na prevenção da poluição		
Código	Descrição	Unidade
AR20ab	Controle de descargas de emergência e de tempestade	(%)
AR21ab	Cumprimento da licença de descarga	(%)

Indicadores usados no perfil do sistema		
Código	Descrição	Unidade
PAR01ab	Licenciamento de descargas	(%)
PAR02ab	Índice de Valor da Infraestrutura	(-)
PAR03ab	Sazonalidade dos lançamentos	(-)
PAR04ab	Emissão indireta de gases com efeito estufa	(kgCO ₂ e/m ³)
PAR05a	Acessibilidade física ao tratamento	(%)
PAR05b	Acessibilidade física ao tratamento	(%)
PAR06ab	Consumo de energia no tratamento	(kWh/m ³)
PAR07ab	Encaminhamento adequado de lamas do tratamento	(%)
PAR08b	Benefício do tarifário social	(%)
PAR09b	Utilização de volumes projetados	(%)

Fonte: ERSAR (2021).

3.4.4 Indicadores de desempenho por ADERASA

Ainda no âmbito internacional, a Associação de Entes Reguladores de Água e Saneamento das Américas (ADERASA) publica anualmente um relatório com informações relativas ao trabalho de Benchmarking desenvolvido. Contempla dados de 115 operadores de serviços de saneamento em 10 países da América, avaliando o desempenho dos serviços prestados através da comparação e evolução de indicadores de desempenho selecionados para aplicação periódica (ADERASA, 2021).

Os indicadores usados nessa avaliação relativos aos serviços de esgotamento sanitário são descritos no Quadro 5.

Quadro 5 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por ADERASA

Indicadores de estrutura do serviço		
Código	Descrição	Unidade
ies-03	Cobertura de esgoto	%
ies-13	Disponibilidade de tratamento secundário do esgoto	%
Indicadores de operação		

Código	Descrição	Unidade
ioc-07	Incidência de tratamento de águas residuais	%
ioc-09	Descarga diária de águas residuais por habitante	litros/hab./dia
ioc-01	Pessoal por km de rede	Funcionário/km
ioc-04	Densidade de quebras na rede	Nº/ km
ioc-05	Densidade de quebras nas conexões	Nº/1000 conexões
ioc-08	Disponibilidade de Tratamento Secundário de Águas Residuais	%
Indicadores de qualidade do serviço		
Código	Descrição	Unidade
icc-02	Densidade de bloqueios na rede de esgoto	Nº/km de rede
icu-02	Reclamações comerciais por conta	%
icc-03	Execução de análise de águas residuais tratadas	%
icc-04	Conformidade das análises de águas residuais tratadas	%
icu-04	Reclamações de serviço de esgoto por conexão	%
icu-05	Resposta às reclamações no prazo	%
Indicadores econômico-financeiros		
Código	Descrição	Unidade
iec-04	Custos totais por conta	U\$\$/conta
ief-04	Dívida sobre patrimônio	%
iec-20	Faturamento médio dos serviços de esgoto residencial por conta	U\$\$/conta
iec-21	Faturamento médio de serviços de esgoto não residencial por conta	U\$\$/conta
iec-05	Razão de custos operacionais vs. cobrança de serviços	%
iec-15	Custos de administração e vendas por conta	U\$\$/conta
iec-16	Incidência de trabalho de terceiros	%
ief-06	Composição do passivo	%
ief-07	Rentabilidade sobre o patrimônio	%
-	Dívida sobre ativos	%
-	Índice de cobertura dos custos operacionais totais	%
-	Rentabilidade sobre os ativos totais	%
-	Margem operacional	%
-	Margem líquida	%
iec-03	Faturamento unitário de esgoto	U\$\$/m ³
iec-11	Custos Operacionais de Esgoto - Custo unitário do líquido recebido	U\$\$/m ³
iec-12	Custos Operacionais de Esgoto - Incidência de mão de obra	%
iec-13	Custos Operacionais de Esgoto - Incidência do custo da energia	%
iec-17	Execução de Investimentos	%

Fonte: ADERASA (2021).

3.4.5 Indicadores de desempenho por SNIS

No Brasil, o uso de indicadores de desempenho para avaliação dos serviços de saneamento no país foi incorporado através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). O sistema é composto por um banco de dados nacional com as informações relativas aos serviços de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos. Os dados são divulgados por meio de um relatório anual com o diagnóstico dos serviços no país, e são mantidos disponíveis para consulta de forma online (SNIS, 2021a).

As informações coletadas são utilizadas para diferentes propósitos, entre eles para a aplicação de indicadores de desempenho selecionados e detalhados nas diretrizes do sistema, a fim de comparar e mensurar o desempenho dos gestores do setor. Os indicadores sugeridos aplicáveis aos serviços de esgoto são detalhados através do Glossário de Indicadores publicado periodicamente (SNIS, 2020), eles estão descritos no Quadro 6.

Quadro 6 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por SNIS

Financeiros		
Código	Descrição	Unidade
IN003	Despesa total com os serviços por m3 faturado	R\$/m ³
IN004	Tarifa média praticada	R\$/m ³
IN006	Tarifa média de esgoto	R\$/m ³
IN012	Indicador de desempenho financeiro	%
IN026	Despesa de exploração por m3 faturado	R\$/m ³
IN027	Despesa de exploração por economia	R\$/ano/econ.
IN029	Índice de evasão de receitas	%
IN030	Margem da despesa de exploração	%
IN031	Margem da despesa com pessoal próprio	%
IN032	Margem da despesa com pessoal total (equivalente)	%
IN033	Margem do serviço da dívida	%
IN034	Margem das outras despesas de exploração	%
IN035	Participação da despesa com pessoal próprio nas despesas de exploração	%
IN036	Participação da despesa com pessoal total (equivalente) nas despesas de exploração	%
IN037	Participação da despesa com energia elétrica nas despesas de exploração	%
IN038	Participação da despesa com produtos químicos nas despesas de exploração (DEX)	%
IN039	Participação das outras despesas nas despesas de exploração	%

IN041	Participação da receita operacional direta de esgoto na receita operacional total	%
IN042	Participação da receita operacional indireta na receita operacional total	%
IN054	Dias de faturamento comprometidos com contas a receber	dias
IN060	Índice de despesas por consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgotos	R\$/kWh
IN101	Índice de suficiência de caixa	%
IN061	Liquidez corrente	adimensional
IN062	Liquidez geral	adimensional
IN063	Grau de endividamento	adimensional
IN064	Margem operacional com depreciação	%
IN065	Margem líquida com depreciação	%
IN066	Retorno sobre o patrimônio líquido	%
IN067	Composição de exigibilidades	%
IN068	Margem operacional sem depreciação	%
IN069	Margem líquida sem depreciação	%
Operacionais		
Código	Descrição	Unidade
IN015	Índice de coleta de esgoto	%
IN021	Extensão da rede de esgoto por ligação	m/ligação
IN059	Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário	kWh/m ³
Tratamento de Esgoto		
Código	Descrição	Unidade
IN016	Índice de tratamento de esgoto	%
IN046	Índice de esgoto tratado referido à água consumida	%
Atendimento		
Código	Descrição	Unidade
IN024	Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água	%
IN047	Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto	%
IN056	Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água	%
Qualidade		
Código	Descrição	Unidade
IN077	Duração média dos reparos de extravasamentos de esgotos	horas/extrav.
IN082	Extravasamentos de esgotos por extensão de rede	extrav./Km
IN083	Duração média dos serviços executados	hora/serviço
Empregados		
Código	Descrição	Unidade
IN002	Índice de produtividade: economias ativas por pessoal próprio	econ./empreg.
IN007	Incidência da despesa de pessoal e de serviços de terceiros nas despesas totais com os serviços	%
IN008	Despesa média anual por empregado	R\$/empregado

IN018	Quantidade equivalente de pessoal total	empregado
IN019	Índice de produtividade: economias ativas por pessoal total (equivalente)	econ./empreg. eqv.
IN048	Índice de produtividade: empregados próprios por 1000 ligações de água + esgoto	empreg./mil lig.
IN102	Índice de produtividade de pessoal total (equivalente)	ligações/empregados

Fonte: SNIS (2020).

3.4.6 Indicadores de desempenho por ABES

De forma semelhante às referências internacionais, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) desenvolve e atualiza a cada ano o Guia de Referência para Medição do Desempenho, que objetiva apresentar aos prestadores dos serviços de saneamento um conjunto de indicadores de desempenho a serem usados como referência para gestão dos sistemas, alinhados com os conceitos de melhores práticas para o setor (ABES, 2022). Os indicadores relativos aos serviços de esgotamento sanitário relacionados no sistema proposto pela associação são descritos no Quadro 7.

Quadro 7 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por ABES

Resultados econômico-financeiros		
Código	Descrição	Unidade
IFn01	Desempenho financeiro	%
IFn03	Despesas totais com os serviços por m ³ faturado	R\$/m ³
IFn04	Execução orçamentária dos investimentos	-
IFn05	Margem líquida com depreciação	%
IFn06	Nível de investimentos	%
IFn07	Dias de faturamento comprometidos com contas a receber	dias
IFn15	Evasão de receita	%
IFn16	Retorno sobre o Patrimônio Líquido	%
IFn17	Liquidez Corrente	%
IFn19	Custo de tratamento de esgotos	R\$/m ³
IFn20	Margem LAJIDA (EBITDA)	%
Resultados sociais e ambientais		
Código	Descrição	Unidade
ISc01	Engajamento social	homens-hora/dia
ISc02	Sanções e indenizações	%
ISc04	Mitigação de impactos ambientais	%
ISc04a	Mitigação de impactos sociais	%

ISc05	Processos administrativos internos julgados como procedentes	%
ISc07	Processos judiciais recebidos julgados como procedentes	ocorrências-ano p/ 1000 habitantes
ISc08a	Comprometimento do salário mínimo com a tarifa	%
ISc08b	Comprometimento da renda familiar com a tarifa mínima	%
ISc09	Tratamento do esgoto gerado	%
ISc10	Tratamento de esgoto – SNIS	%
ISc11	Unidades operacionais dos sistemas de água, esgoto e manejo de resíduos sólidos licenciados	%
ISc12	Água de reuso distribuída	%
ISc13	Geração de energia renovável	%
Resultados relativos a clientes e ao mercado		
Código	Descrição	Unidade
ICm01a	Reclamações de problemas	Reclam.p/ ligação
ICm02	Satisfação dos clientes	De acordo com método
ICm03	Favorabilidade da imagem da organização	De acordo com método
ICm04	Conhecimento dos serviços e produtos	De acordo com método
ICm06	Atendimento urbano de esgotamento sanitário	%
ICm09	Atendimento total de esgotamento sanitário	%
ICm10	Tempo médio de solução da reclamação dos cidadãos/usuários	h/Reclam
ICm13	Ocorrências no órgão de defesa do consumidor	Registro de ocorrência/ 1000 lig. A e E
ICm14	Audiências no órgão de defesa do consumidor	%
ICm15	Reclamações no autoatendimento	%
ICm16	Resolutividade das manifestações de problemas	%
ICm17	Satisfação dos clientes com canais de atendimento	De acordo com método
ICm18	Tempo de espera no atendimento telefônico	Min/atendimento telefônico
ICm19	Tempo de espera no atendimento presencial	Min/atendimento presencial
Resultados relativos às pessoas		
Código	Descrição	Unidade
IPe01	Produtividade da força de trabalho p/ os sistemas de água e esgotos	ligações/empregado
IPe02	Criatividade do pessoal	Sugestão implantada/empregado
IPe03	Capacitação anual da força de trabalho	h.ano/empregado
IPe3a	Cumprimento do plano de capacitação e desenvolvimento	%
IPe3b	Eficácia de treinamento	%

IPe04	Satisfação dos empregados	De acordo com método
IPe05	Frequência de acidentes	Acidente X milhão/hora
IPe06	Gravidade de acidentes	Dias X milhão/hora
IPe07	Produtividade da força de trabalho para serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos	Empregado por 1000 habitantes
IPe08	Produtividade da força de trabalho para manejo de águas pluviais	Empregado por 1000 habitantes
IPe11	Produtividade de pessoal total (equivalente)	lig./ empregado
IPe12	Absenteísmo	%
IPe13	Rotatividade média da força de trabalho	%
Resultados relativos a processos		
Código	Descrição	Unidade
ISp03	Remoção de carga poluente do esgoto recebido na Estação de Tratamento	%
ISp06	Tempo médio de execução de ligação de esgoto sanitário	h/ligação
ISp10	Tempo médio de execução dos serviços	h/serv. Executado
ISp13	Extravasamentos de esgotos sanitários	extravasamento/km
ISp19	Efetividade da redução de carga poluente do esgoto coletado na rede	%
ISp23	Conformidade da quantidade de amostras para aferição de esgoto tratado	%
ISp24	Análises fora do padrão para aferição do esgoto tratado	%
ISp26	Reabilitação de coletores de esgoto	%/ano
ISp29	Inspeção de poços de visita de esgotos	%
ISp30	Serviços executados dentro do prazo	%
IPa01	Atraso no pagamento a fornecedores	%
IPa04b	Consumo médio de energia elétrica - esgoto	kWh/m ³
IPa05	Reparos proativos	%
IPa07	Projetos estratégicos implantados no prazo	%
IPa09	Satisfação dos usuários de informações	De acordo com método
IPa11	Maturidade da gestão	%
IPa14	Rede de coleta de esgotos georreferenciada	%
IPa16	Retrabalho na recomposição de pavimentos	%
IFr01	Atraso nas entregas dos fornecedores	%
IFr02	Produtos químicos entregues fora de especificação	%
IFr02a	Produtos e insumos críticos entregues fora de especificação	%
IFr07	Desempenho de prestadores de serviço	%

IFr08	Frequência de acidentes da força de trabalho de fornecedores	Acidente X milhão/hora
IFr09	Gravidade de acidentes da força de trabalho de fornecedores	Dias X milhão/hora

Fonte: ABES (2022).

3.4.7 Indicadores de desempenho por ABAR

O uso de indicadores de desempenho para avaliação dos serviços de saneamento também foi proposto pela Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR). Por meio da publicação “*Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto*” (GALVÃO JÚNIOR; SILVA, 2006) a associação buscou divulgar e promover o uso de indicadores a fim de possibilitar a comparação entre diferentes gestores do setor e reduzir a assimetria de informações entre reguladores, usuários e prestadores de serviço.

Os indicadores disponíveis na publicação relativos a esgotamento sanitário são descritos no Quadro 8.

Quadro 8 – Indicadores de Desempenho relativos aos serviços de esgotamento sanitário elaborados por ABAR

Sistema de Esgoto Sanitário - Tratamento		
Código	Descrição	Unidade
6.1 I _{ce}	Indicador de Cobertura em Coleta de Esgoto e Tanques Sépticos	%
6.2 I _{TE}	Indicador de Esgoto Tratado e Tanques Sépticos	%
6.3	Indicador de Eficiência no Tratamento dos Esgotos	%
6.4 I _{se}	Indicador de Saturação do Tratamento de Esgoto	%

Fonte: Galvão Júnior; Silva (2006).

3.4.8 Uso de indicadores de desempenho para gestão dos serviços de esgoto na literatura científica

Conforme descrito acima, o uso de indicadores de desempenho para gestão dos SES e do lodo de esgoto gerado é encorajado por diversas referências nacionais e internacionais.

Em pesquisa realizada por Lopes De Paula e De Souza (2022) para a avaliação de indicadores de desempenho direcionados ao serviço de esgotamento sanitário, com a

participação de representantes da área de regulação dos serviços de saneamento, de prestadores de serviço, de pesquisadores especialistas na área, e de usuários, foi constatado que a adoção de ID como instrumento de avaliação pode ser considerado um dos melhores métodos de gestão de uma ETE, de acordo com a pesquisa o uso de indicadores permite maior agilidade e simplicidade na avaliação e geração de dados para monitoramento do desempenho.

Os autores Balmér e Hellström (2012) discutem os dados e informações de contexto requeridas para aplicação de indicadores de desempenho em ETEs suecas. A pesquisa inclui a gestão do lodo de esgoto através de dois indicadores, que buscam avaliar a concentração de contaminantes presentes no lodo.

É relatado em sua pesquisa a aplicação dos ID em 24 ETEs no país, obtendo resultados favoráveis em relação à utilidade deste instrumento de avaliação de acordo com os participantes, que endossaram sua incorporação no sistema de monitoramento de dados utilizado pela Swedish Water & Wastewater Association. A experiência de aplicação dos ID também demonstrou que muitos dados são relatados de forma incorreta. De acordo com os autores foram identificados dados errôneos fora da faixa normal de valores, que puderam ser detectados facilmente, e outros dados que exigiam uma análise mais elaborada para detecção (BALMÉR; HELLSTRÖM, 2012).

Utilizando os Indicadores de Desempenho por uma perspectiva distinta, Palma-Heredia, Poch e Cugueró-Escofet (2020) aplicaram os indicadores de desempenho em cenários simulados eletronicamente para Estações de Tratamento de Esgoto. De forma a obter o cenário mais vantajoso considerando auto suficiência energética, economia, produção de resíduos, total de emissões, balanço térmico e índice de energia circular. Através dessa análise os autores puderam propor prioridades tecnológicas para que a ETE avance no que se refere ao conceito de economia circular.

Estas pesquisas elucidam os diversos benefícios associados ao uso de indicadores de desempenho para gestão dos sistemas de esgotamento sanitário e do lodo de esgoto, associando o uso deste instrumento à facilidade de avaliar informações complexas, e à possibilidade de propor melhorias aos sistemas.

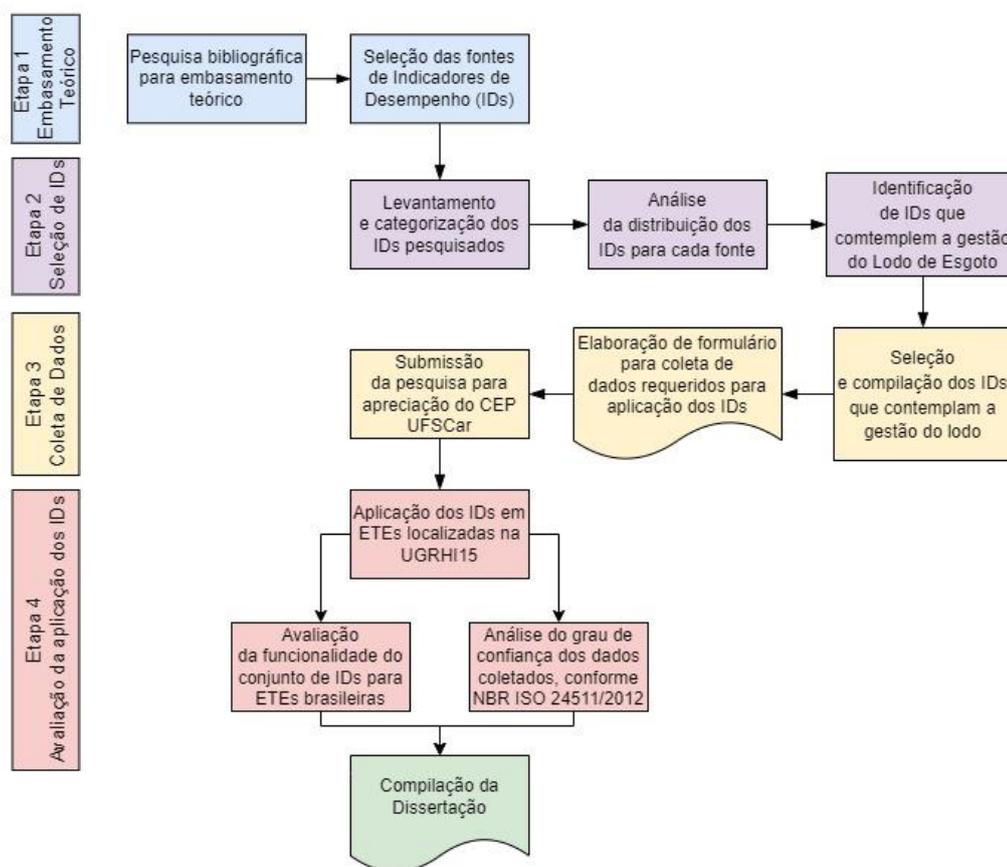
4 METODOLOGIA

O presente estudo configurou-se como uma pesquisa aplicada, desenvolvido inicialmente através do entendimento da problemática relativa à gestão do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto, e do embasamento teórico acerca do uso de Indicadores de Desempenho (ID) como instrumentos que auxiliem a gestão desse resíduo. Com o intuito de analisar a aplicabilidade desse instrumento em ETEs brasileiras a pesquisa se desenvolveu através da seleção de indicadores que abordassem a gestão dos serviços de esgotamento sanitário, e mais precisamente o lodo de esgoto.

Posteriormente foi realizada a coleta dos dados necessários para aplicação dos indicadores de desempenho em ETEs localizadas na área de abrangência desta pesquisa, possibilitando assim a avaliação dos resultados obtidos seguindo duas vertentes: aplicabilidade dos indicadores e qualidade das informações.

A análise da aplicabilidade destes indicadores, considera o levantamento de dados mantido pelos operadores e os resultados obtidos. A análise da qualidade das informações avalia o grau de confiança e exatidão das informações prestadas e, de modo consequente, dos indicadores, considerando as recomendações da NBR ISO 24511/2012.

A Figura 4, a seguir, apresenta um fluxograma que inclui todas as etapas que compõem a presente pesquisa.

Figura 4 – Fluxograma de desenvolvimento da metodologia de pesquisa

Fonte: Autor (2023).

4.1 Etapa 1 – Embasamento teórico sobre gestão do lodo de esgoto e sobre o uso de indicadores de desempenho

Inicialmente foi realizada pesquisa bibliográfica para embasamento teórico sobre a gestão do lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto, o uso de indicadores como ferramenta de gestão e as prescrições da NBR ISO 24511/2012. Para a partir desse conteúdo, reconhecer a problemática pertinente à aplicação de indicadores de desempenho como ferramentas de gestão que englobem o manejo do lodo de esgoto.

Posteriormente, foram selecionadas, a partir de publicações nacionais e internacionais, fontes de indicadores de desempenho aplicáveis para a gestão dos serviços de esgoto.

4.2 Etapa 2 – Levantamento e análise de indicadores de desempenho relativos à esgotamento sanitário e ao lodo de esgoto

O levantamento dos indicadores de desempenho aplicáveis aos serviços de esgotamento sanitário e ao manejo do lodo de esgoto constituiu na busca em fontes de acesso público pelo tema, e na busca de referências de publicações científicas relevantes. A partir disto, foram identificadas entidades nacionais e internacionais com publicações significativas contendo seleções de indicadores de desempenho.

As publicações usadas como referência para o levantamento dos indicadores são detalhadas no capítulo de “Revisão Bibliográfica” e, para efeito de análise dos dados, as fontes pesquisadas serão identificadas através das siglas expostas no Quadro 9.

Quadro 9 – Identificação das fontes pesquisadas para levantamento de indicadores relativos ao SES

Identificador da Fonte	Origem	Organização	Fonte do(s) Documentado(s) Consultado(s)
FI1	Internacional – Global	International Water Association (IWA)	Matos, 2004
FI2	Internacional – Europa	Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de Portugal	Silva et al., 2012 Quadros et al., 2010 Rosa et al., 2010 Silva; Matos; Rosa, 2016a Silva; Matos; Rosa, 2016b
FI3	Internacional - Europa	Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR) de Portugal	ERSAR, 2021
FI4	Internacional - Américas	Associação de Entes Reguladores de Água e Saneamento das Américas (ADERASA)	ADERASA, 2021
FN1	Nacional	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)	SNIS, 2020
FN2	Nacional	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)	ABES, 2022
FN3	Nacional	Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR)	Galvão Júnior; Silva, 2006

Fonte: Autor (2023).

Os indicadores inerentes aos serviços de esgotamento sanitário relacionados por cada uma das fontes foram tabelados e agrupados em categorias que compreendem as tipologias de todos os indicadores levantados.

A definição das categorias de indicadores baseou-se na proposição de Matos (2004), considerando que se trata da publicação internacional de maior relevância e precursora do uso de ID como ferramenta de gestão para os serviços de esgotamento sanitário. Observou-se simultaneamente que as classificações iniciais das demais fontes eram compatíveis com as categorias de Matos (2004), havendo divergência de termos e subcategorias, que puderam ser compatibilizadas entre as 6 (seis) categorias consideradas: infraestrutura, operacionais, ambientais, qualidade do serviço, recursos humanos e econômico financeiros.

A partir da estruturação dos indicadores pesquisados foi analisada sua distribuição entre as categorias para cada fonte, e identificados os indicadores que contemplem a gestão do lodo gerado no tratamento.

4.3 Etapa 3 – Aplicação de conjunto de indicadores de desempenho como instrumento de gestão do lodo de esgoto

Com base nos indicadores de desempenho pesquisados foram selecionados e compilados aqueles que contemplam o objetivo proposto, isto é, a gestão do lodo de esgoto produzido nas ETEs. Esses indicadores foram analisados considerando suas fontes e o parâmetro abordado, de forma que foram reconhecidas as semelhanças entre eles e o total de parâmetros abordados. Após esta análise, os indicadores foram compilados, adaptados e complementados, conforme necessário para obtenção de um conjunto de ID que possa ser aplicado às ETEs selecionadas, considerando a variação de porte e de tecnologias de tratamento empregadas.

Em paralelo à elaboração do conjunto de Indicadores de Desempenho, foi determinada a área de abrangência desta pesquisa, onde se localizam as ETEs que integraram a etapa de aplicação.

A área de estudo para aplicação dos indicadores de desempenho foi delimitada pela área da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 15 Turvo/Grande.

Nesse contexto, foram definidos 10 municípios com população acima de 10.000 habitantes, e com variação no número de habitantes, conforme descrito na Tabela 1, de modo que a aplicação dos ID incluísse estações de tratamento de esgoto de diferentes portes.

Tabela 1 – Número aproximado de habitantes dos municípios nos quais as ETEs selecionadas se localizam.

Identificação ETE	Número de habitantes do município
ETE1	10 mil
ETE2	11 mil
ETE3	12 mil
ETE4	15 mil
ETE5	20 mil
ETE6	40 mil
ETE7	50 mil
ETE8	60 mil
ETE9	100 mil
ETE10	400 mil

Fonte: Autor (2023).

Com base no conjunto de ID definido foram identificados os dados requeridos para aplicação, isto é, as variáveis de entrada necessárias para cada indicador. Como ferramenta para obtenção dos dados foi elaborado formulário constante no **APÊNDICE A – Formulário de Coleta de Dados**, a ser aplicado aos gestores das Estações de Tratamento de Esgoto alvo dessa pesquisa.

Por se tratar de coleta de dados diretamente com os gestores, através de formulário, essa pesquisa foi submetida à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFSCar, no qual foi atribuído o número CAAE (Certificado de Apresentação para Apreciação Ética) 54169521.6.0000.5504 ao projeto. Após apreciação foi deliberado através do parecer número 5.249.108, **ANEXO A – Parecer Comitê de Ética em Pesquisa - CEP**, que por se tratar de pesquisa estritamente técnica não há necessidade de registro ou avaliação da pesquisa e seus protocolos pelo sistema CEP/CONEP.

Após a obtenção dos dados, estes foram organizados e compilados por meio de planilhas digitais, possibilitando a aplicação dos indicadores e comparação de informações, como ferramenta de avaliação da gestão do lodo de esgoto.

4.4 Etapa 4 – Avaliação da aplicabilidade dos indicadores

A partir dos resultados obtidos com a aplicação dos indicadores, foi avaliada a funcionalidade do conjunto de indicadores elaborado para aplicação em ETEs brasileiras, considerando a disponibilidade de dados por parte dos administradores, a compatibilidade entre unidades de medida, e a concordância entre as informações exigidas pelos indicadores e os métodos de tratamento aplicados.

Uma segunda análise foi realizada avaliando o grau de confiança dos dados coletados para aplicação dos indicadores, considerando a confiabilidade da fonte, e a exatidão dos dados, de acordo com as recomendações da NBR ISO 24511/2012.

Para isso foram utilizadas as tabelas propostas no Anexo F da NBR ISO 24511/2012. O Quadro 10 reproduz as recomendações para faixas de exatidão dos dados.

Quadro 10 – Faixas de exatidão dos dados

Faixas de Exatidão (%)	Incerteza associada
0 a 5	Melhor ou igual a $\pm 5\%$
5 a 20	Pior do que $\pm 5\%$, mas melhor ou igual a $\pm 20\%$
20 a 50	Pior do que $\pm 20\%$, mas melhor ou igual a $\pm 50\%$
>50	Pior do que $\pm 50\%$

Fonte: ABNT (2012).

O Quadro 11 exibe as faixas de confiabilidade da fonte dos dados.

Quadro 11 – Faixas de confiabilidade da fonte dos dados

Faixas de Confiabilidade	Definição
***	Fonte de dados altamente confiável: dados com base em registros seguros, procedimentos, investigações ou análises que são devidamente documentados e reconhecidos como os melhores métodos de avaliação disponíveis.
**	Fonte de dados razoavelmente confiável: pior que ***, melhor que *.
*	Fonte de dados não confiável: dados baseados em extrapolação de amostras limitadas e pouco confiáveis ou em suposições informadas.

Fonte: ABNT (2012).

Através da combinação das tabelas sugeridas pela NBR ISO 24511/2012 para avaliação do grau de confiança dos dados, e considerando a recomendação de que os prestadores de serviço atinjam um grau mínimo de [5% a 20% /***], foi elaborada a matriz exibida na Figura 5 para categorização dos dados.

Figura 5 – Matriz para faixas de confiança dos dados

Matriz para faixas de confiança		Faixas de Confiabilidade		
		***	**	*
Faixas de Exatidão (%)	0 a 5			
	5 a 20			
	20 a 50			
	>50			

Fonte: Autor (2023).

Para cada variável obtida foi atribuída a faixa de confiabilidade e a faixa de exatidão correspondente ao dado, de forma que se obteve a faixa de confiança de acordo com a Figura 5, classificada qualitativamente em aceitável (verde) ou inaceitável (vermelho).

Os resultados obtidos com a estimativa de graus de confiança para as variáveis foram propagados para mensuração da incerteza dos ID resultantes. A classificação dos ID foi atribuída de forma qualitativa, considerando os critérios definidos na Figura 6.

Figura 6 – Critérios de avaliação do grau de confiança dos ID

Classificação dos IDs quanto ao grau de confiança dos dados	
Avaliação das variáveis	Classif. ID
Todas as variáveis com grau de confiança aceitável	Verde
Todas as variáveis com grau de confiança inaceitável	Vermelho
Variáveis com diferentes graus de confiança	Amarelo

Fonte: Autor (2023).

Deste modo, todos os ID levantados foram classificados de acordo com o grau de confiança dos dados. O que possibilitou avaliar a funcionalidade do conjunto de indicadores elaborado como ferramenta para gestão do lodo de esgoto, assim como avaliar e comparar a gestão do lodo entre as ETEs pesquisadas, evidenciando as diferenças entre processos e práticas adotadas.

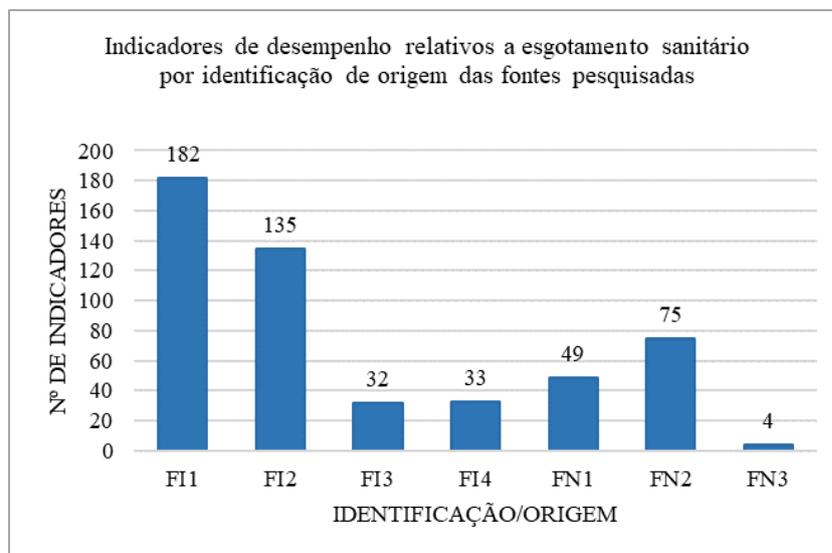
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise dos indicadores de desempenho pesquisados

5.1.1 Indicadores relativos aos sistemas de esgotamento sanitário (SES)

Entre todas as fontes pesquisadas foram identificados um total de 510 indicadores de desempenho relativos aos serviços de esgoto. As fontes internacionais FI1 e FI2 foram as fontes pesquisadas com maior número de indicadores disponíveis representando 62% dos indicadores encontrados na literatura. Considerando as quatro fontes internacionais (FI1 a FI4), estas totalizam 382 ID o que representa 75% dos indicadores, quantidade bem superior às outras três fontes que são nacionais (FN1, FN2 e FN3), conforme mostra a Figura 7.

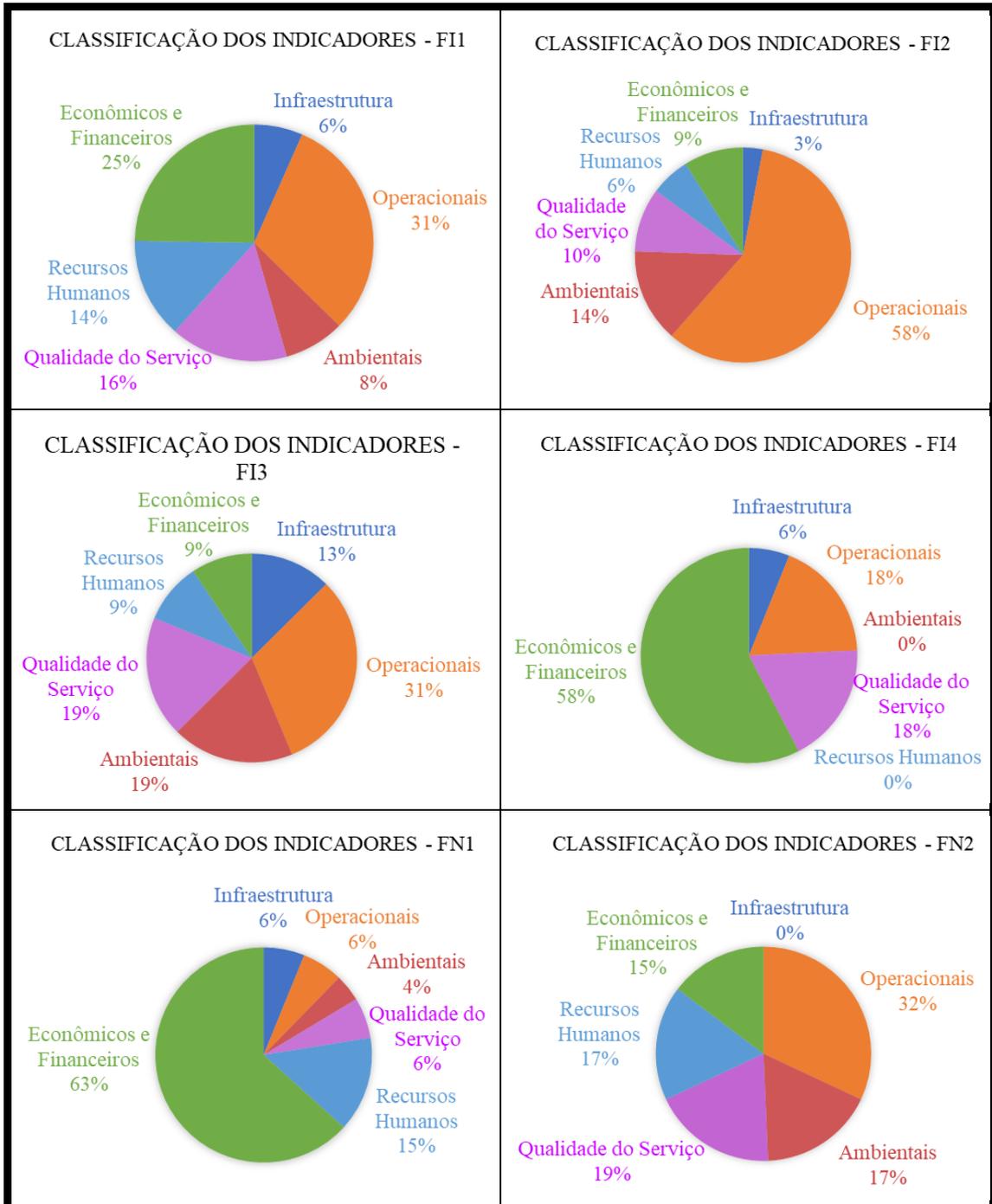
Figura 7 – Indicadores de desempenho relativos a esgotamento sanitário por identificação de origem das fontes pesquisadas

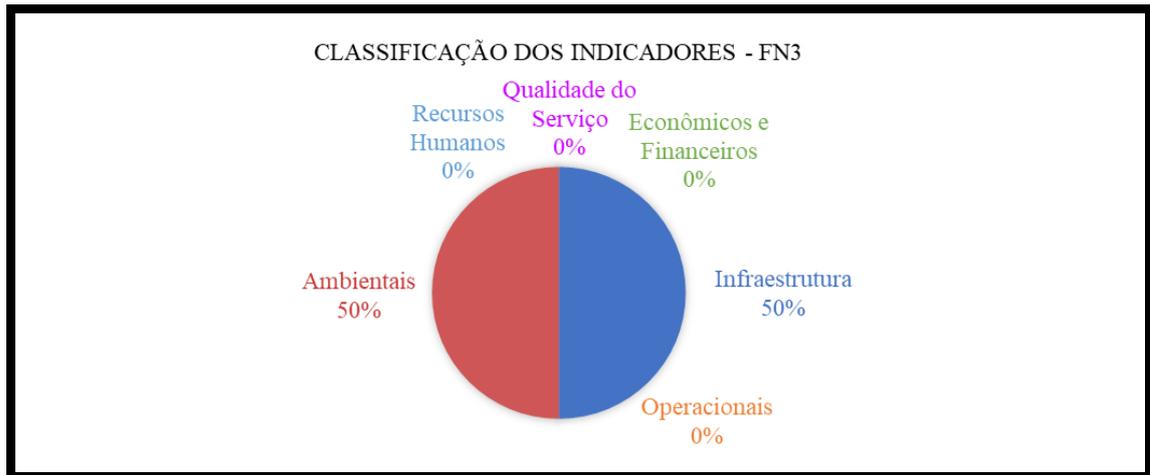


Fonte: Autor (2023).

Para tornar possível a comparação entre os indicadores de desempenho elaborados pelas diferentes instituições, estes foram agrupados em categorias que compreendem suas tipologias. A Figura 8 exibe a distribuição dos indicadores de desempenho entre as categorias, para cada fonte pesquisada.

Figura 8 – Classificação dos Indicadores de Desempenho entre as categorias propostas por Fonte Pesquisada





Fonte: Autor (2023).

A partir da classificação dos indicadores é possível identificar que entre os ID relacionados pela fonte FI1 houve uma distribuição regular entre todas as categorias, sendo o parâmetro operacional, o mais abordado.

A fonte FI2 possui a maior parte de seus indicadores relacionados aos fatores operacionais, seguido dos ambientais e de qualidade do serviço. A distribuição dos indicadores entre todas as categorias também ocorre na fonte FI3. Sendo em maior número entre os operacionais, ambientais e de qualidade do serviço.

Os indicadores de desempenho enumerados pelas fontes FI4 e FN1 têm como principal categoria, os econômicos e financeiros. Sendo o número de indicadores referentes a essa categoria, substancialmente superior às outras.

Os indicadores propostos pela fonte FN2, estão distribuídos de maneira uniforme entre as categorias abordadas, no entanto, o parâmetro infraestrutura não é exposto entre os indicadores.

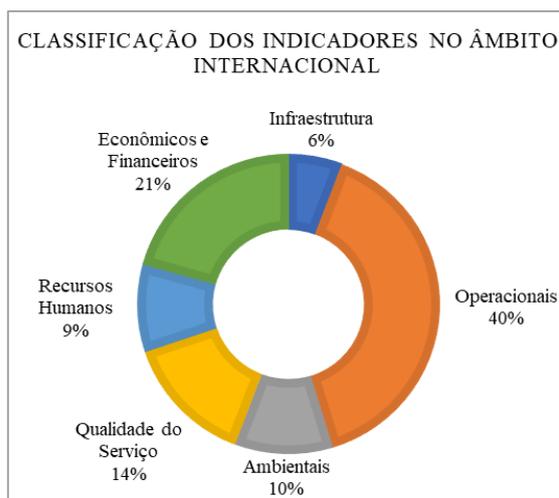
A fonte FN3 limita seus indicadores a apenas duas categorias, são elas ambientais e infraestrutura, e em número muito inferior ao disposto pelas demais fontes.

Agrupando as fontes em Internacionais e Nacionais, verificou-se as diferenças entre os indicadores relacionados em cada esfera, em número de indicadores e em diversidade de aspectos abordados.

As fontes internacionais são responsáveis por um conjunto de 382 indicadores (75%), cuja categoria mais representativa é a operacional (40%), seguida dos econômicos e financeiros (21%). A categoria menos expressiva em número de indicadores é a infraestrutura (6%), conforme pode-se visualizar na Figura 9.

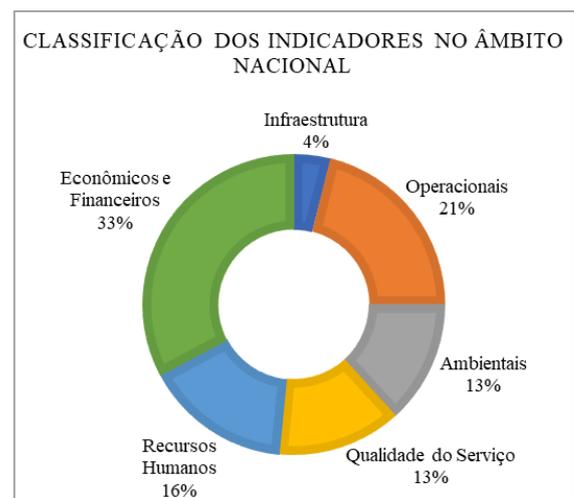
Os indicadores relacionados pelas fontes nacionais totalizam 128 (25%), sendo que a categoria majoritária é dos relacionados aos aspectos econômicos e financeiros que representam 33% dos indicadores. A categoria menos abordada é a de infraestrutura (4%), conforme ilustrado na Figura 10. A categoria operacional em termos percentuais no âmbito nacional é quase a metade, ou seja, 21% dos indicadores, quando comprado com o percentual de indicadores operacional no âmbito internacional que representa 40%.

Figura 9 – Classificação dos indicadores de desempenho no âmbito internacional



Fonte: Autor (2023).

Figura 10 – Classificação dos indicadores de desempenho no âmbito nacional



Fonte: Autor (2023).

Retornando com a origem dos dados levantados, nota-se que as maiores contribuições em número e diversidade de indicadores são das fontes internacionais, em especial IWA, LNEC e ERSAR, respectivamente FI1, FI2 e FI3. Essas publicações compreendem indicadores de todas as categorias, com maior incidência de indicadores operacionais, o que sugere diligência com todas as etapas do sistema de esgoto, atuação que contribui para a gestão eficiente do sistema.

Por outro lado, a FN1, que traz informações referentes ao SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), tem 63% dos seus indicadores referentes aos parâmetros econômicos e financeiros, o que demonstra maior interesse por estes aspectos na gestão dos serviços de esgoto, e mantém em segundo plano a parte de recursos humanos com 15% e em terceiro plano os aspectos operacionais, de qualidade dos serviços prestados e de infraestrutura, que representam cerca de 6% cada.

Considerando que o SNIS é uma fonte oficial de consulta de dados relacionados ao saneamento no Brasil, sendo uma iniciativa governamental, o pequeno número de indicadores que contemplam os parâmetros operacionais, de qualidade do serviço, ambientais e de infraestrutura, contribui com a ideia de que o diagnóstico e controle da qualidade pode ser algo com menor importância, o que de fato não pode ser considerado verdade. A ausência de indicadores que abordam a gestão do lodo entre os indicadores relacionados pelo SNIS também reflete na desatenção com o manejo adequado desse resíduo no Brasil, uma vez que não é exigido que os prestadores forneçam dados relativos ao lodo gerado, como consequência a gestão desse resíduo é negligenciada.

Ainda em âmbito nacional, a FN2, correspondente à ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), traz uma proposta mais abrangente de indicadores. É a terceira publicação com maior número de indicadores, e possui uma distribuição mais proporcional entre as categorias, o que demonstra interesse na gestão do sistema de esgoto como um todo. No entanto, o parâmetro infraestrutura não é abordado entre os indicadores, o que pode tornar o conjunto de indicadores proposto deficiente para a avaliação desse aspecto.

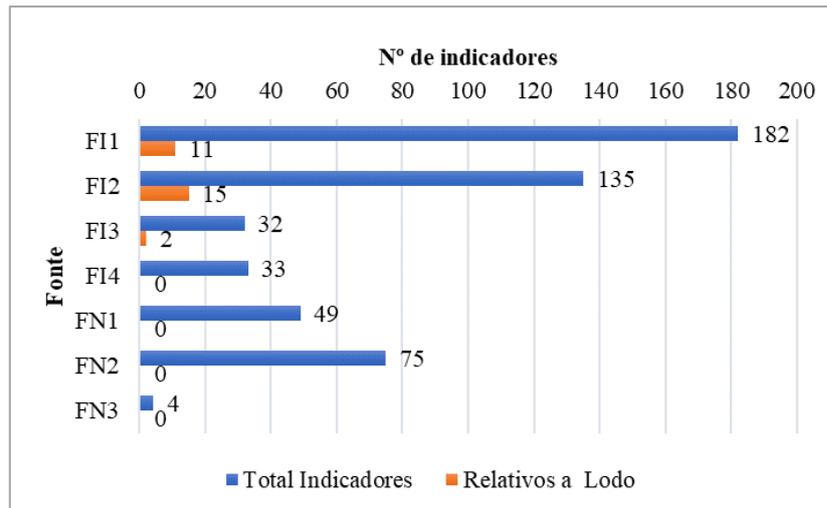
Um ponto de atenção em relação à distribuição dos indicadores tanto entre as fontes nacionais quanto entre as fontes internacionais é a proporção de indicadores que avaliam o parâmetro ambiental. Considerando a manutenção da qualidade ambiental como um objetivo relevante do tratamento de efluentes, é incoerente os indicadores que avaliam esse aspecto representarem apenas cerca de 10% dos ID levantados.

5.1.2 Indicadores relativos ao lodo de esgoto gerado nas ETEs

Em relação aos Indicadores de Desempenho relativos à gestão do lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), verificou-se que estes foram abordados apenas por

três fontes internacionais: FI1, FI2 e FI3. Entre todos os indicadores nacionais pesquisados não foram identificados indicadores que contemplem a gestão do lodo de esgoto, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Indicadores de desempenho relativos ao lodo de esgoto



Fonte: Autor (2023).

Foram levantados um total de **28 indicadores** direcionados para a gestão do lodo gerado, todos em âmbito internacional, o que representa apenas 5% do total de indicadores pesquisados, destacando que no âmbito nacional não foi identificado nas fontes consultadas nenhum indicador relacionado à gestão de lodo de ETE. Os principais aspectos abordados entre eles são a quantidade produzida, as análises da qualidade do lodo, os custos envolvidos e a sua disposição final. A pequena quantidade destes indicadores contrasta com a proporção das despesas referentes ao manejo deste resíduo, em relação à operação total da ETE.

5.2 Seleção de indicadores aplicáveis para a gestão do lodo de esgoto

Entre as fontes de indicadores pesquisadas foram identificados um total de 28 indicadores relacionados com a gestão do lodo de esgoto. Os principais aspectos abordados entre eles são a quantidade produzida, as análises da qualidade do lodo, e a sua disposição final. A relação completa desses indicadores está no Quadro 12.

Quadro 12 – Indicadores de desempenho relativos à gestão do lodo de esgoto

Indicadores relativos a lodo de esgoto			
Fonte	Código	Descrição	Unidade
FI1	wOp52	Análises de lodo	(-/ano)
	wEn6	Produção de lodo em ETE	(kg MS/e.p./ano)
	wEn7	Valorização de lodo em ETE	(%)
	wEn8	Destino final de lodo de ETE	(%)
	wEn9	Destino final de lodo de ETE - Deposição em aterro	(%)
	wEn10	Destino final de lodo de ETE - Incineração	(%)
	wEn11	Destino final de lodo de ETE - Outras formas de destino final	(%)
	wEn12	Remoção de sedimentos de coletores	(ton/km coletor/ano)
	wEn13	Remoção de sedimentos de órgãos complementares da rede	(ton/km coletor/ano)
	wEn14	Remoção de gradeados e areias	(ton/km coletor/ano)
	wEn15	Remoção de sedimentos de sistemas de tratamento local	(ton/e.p./ano)
FI2	PAR07ab	Encaminhamento adequado de lamas do tratamento	(%)
	AR17ab	Produção de lamas no tratamento	(kg/m ³)
FI3	wtER25	Tipo de monitorização da qualidade da água/lamas	(%)
	wtBP01.1	Produção de lodo	(kg lodo/m ³)
	wtBP01.2	Produção de lodo	(kg/kg DBO removido)
	wtBP01.3	Produção de lodo	(kg/kg DQO removido)
	wtBP02	Saída de lodo	(%)
	wtBP03	Descarte de lodo	(%)
	wtBP04	Uso benéfico do lodo	(%)
	wtBP07	Conformidade da qualidade do lodo para uso na agricultura	(%)
	wtBP08	Sólidos secos de lodo	(%)
	wtBP09	Recuperação de Fósforo (P)	(%)
	wtBP10	Descarga de Fósforo (P) em corpos d'água	(%)
	wtFi07.1	Custos de processamento e descarte de lodo	€/m ³
	wtFi07.2	Custos de processamento e descarte de lodo	(%)
	wtEF03	Relação de massa de DBO removida por efluente tratado	(kg DBO removido/m ³)
	wtEF04	Relação de massa de DQO removida por efluente tratado	(kg DQO removido/m ³)

Fonte: Matos (2004), Silva; Matos; Rosa (2016a), Silva; Matos; Rosa, (2016b), ERSAR (2021).

Entre os indicadores relativos ao manejo do lodo de esgoto, alguns parâmetros são abordados pelas três fontes pesquisadas, sendo estas a quantidade de lodo produzido e a destinação final do lodo, o que demonstra a relevância desses dois aspectos. Também são abordados, de formas distintas por cada fonte, parâmetros mais específicos, como a origem do resíduo, análises das características do lodo e os custos associados ao seu manejo.

Um parâmetro não abordado entre os indicadores pesquisados é a tecnologia empregada no tratamento do esgoto, isto é, nenhuma relação é proposta entre o tipo de tratamento utilizado e a produção, ou a qualidade do lodo gerado. Sabendo que os diferentes métodos de tratamento do esgoto impactam diretamente sobre a produção, a frequência de remoção e a abordagem de manejo do lodo, considerar esse aspecto entre os indicadores poderia ser extremamente relevante. Uma justificativa possível para a não abordagem desse parâmetro é a dificuldade de incluir um dado qualitativo como variável. Nesse caso seria viável estabelecer uma relação entre o método de tratamento empregado e os resultados obtidos com os indicadores.

5.3 Agrupamento e complementação dos indicadores de desempenho

A partir dos indicadores de desempenho levantados, objetivando a aplicação destes ID, estes foram agrupados de forma que os indicadores com mesmas variáveis e mesmo método de cálculo foram incorporados. Estes também foram tabulados e ordenados de acordo com o parâmetro avaliado, o que possibilitou a identificação de características abordadas de forma imprecisa e a proposição de novos indicadores complementares. A relação compilada dos indicadores selecionados com base nas fontes pesquisadas e os propostos para complementação é apresentada no Quadro 13.

Os novos indicadores de desempenho foram propostos e elaborados a partir do desdobramento de indicadores existentes, que abordavam diversos parâmetros simultaneamente, e com a finalidade de estabelecer novas relações entre as variáveis. Os critérios para elaboração destes ID são descritos de forma mais detalhada posteriormente.

Quadro 13 – Relação Compilada de Indicadores de Desempenho Aplicáveis ao Lodo de Esgoto

Geração de Lodo				
	Código Original	Novo Cod. ID	Produção de lodo em ETE	Unidade
1	wEn6*	Egl01	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a população atendida pelo sistema	(kg/e.p./ano)
2	wtBP01.1 / AR17ab	Egl02	Relação entre a massa de lodo processado gerado e o volume de esgoto tratado	(kg/m ³)
3	wtBP01.2	Egl03	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a massa de DBO removida	(kg lodo/kg DBO)
4	wtBP01.3	Egl04	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a massa de DQO removida	(kg lodo/kg DQO)
	Código Original	Novo Cod. ID	Análises de lodo	Unidade
5	wOp52	Egl05	Relação entre o número de análises realizadas no lodo e o número de análises requeridas pela legislação durante o período de referência	%
	Código Original	Novo Cod. ID	Monitoramento da qualidade da água/lamas (Rosa et al., 2010)	Unidade
6	wtER25	Egl06	Relação entre a quantidade de unidades operacionais com monitoramento da qualidade do lodo gerado e o total de unidades operacionais da ETE	%
Tratamento do Lodo				
	Código Original	Novo Cod. ID	Encaminhamento adequado de lamas do tratamento	Unidade
7	PAR07ab	Etl01	Porcentagem de lodo gerado em fossas sépticas coletivas e na ETE encaminhado para tratamento em ETE de outra unidade gestora (bruto) ou entregue a operador licenciado (processado).	%
8	NOVO	Etl02	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para tratamento na própria unidade	%
9	NOVO	Etl03	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para desaguamento	%
10	NOVO	Etl04	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para secagem	%
11	NOVO	Etl05	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para outros processos de tratamento	%
12	NOVO	Etl06	Relação entre o consumo de energia elétrica no manejo do lodo e a massa de lodo processado gerado na ETE	kWh/kg
	Código Original	Novo Cod. ID	Sólidos secos de lodo	Unidade
13	wtBP08	Etl07	Concentração de sólidos secos do lodo processado	%
	Código Original	Novo Cod. ID	Conformidade da qualidade do lodo para uso na agricultura	Unidade

14	wtBP07	Etl08	Relação entre a somatória de testes em conformidade com o parâmetro analisado, e o total de testes realizados	%
	Código Original	Novo Cod. ID	Eficiência na remoção de DBO/DQO	Unidade
15	wtEF03**	Etl09	Relação entre a massa de DBO removida e o volume de esgoto tratado durante os dias com dados referentes a remoção de DBO	(kg DBO/m ³)
16	wtEF04**	Etl10	Relação entre a massa de DQO removida e o volume de esgoto tratado durante os dias com dados referentes a remoção de DQO	(kg DQO/m ³)
Destino Final do Lodo				
	Código Original	Novo Cod. ID	Valorização de lodo em ETE	Unidade
17	wEn7*/wtBP04*	Edl01	Relação entre a massa de lodo processado destinado ao uso benéfico e a massa total de lodo processado	%
	Código Original	Novo Cod. ID	Descarte de lodo	Unidade
18	wtBP03	Edl02	Relação entre a massa de lodo processado disposto adequadamente e a massa total de saída de lodo processado	%
19	wEn8	Edl03	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro ou incineradas e a massa total de lodo processado	%
20	wEn9	Edl04	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro e a massa total de lodo processado	%
21	wEn10	Edl05	Relação entre a massa de lodo processado incinerado e a massa total de lodo processado	%
22	wEn11	Edl06	Relação entre a massa de lodo processado com outro destino final (distinto de aterro e incineração) e a massa total de lodo processado	%
	Código Original	Novo Cod. ID	Saída de lodo	Unidade
23	wtBP02	Edl07	Relação entre a massa de saída de lodo e a somatória do lodo processado gerado, lodo processado acumulado no dia 1 do período de avaliação e o lodo processado de outras instalações	%
	Código Original	Novo Cod. ID	Recuperação de Fósforo (P)	Unidade
24	wtBP09	Edl08	Relação entre a massa de fósforo total recuperada e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	%
25	wtBP09a	Edl09	Relação entre a massa de lodo usada na agricultura e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	%
26	wtBP09b**	Edl10	Relação entre a massa de água reutilizada para irrigação e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	%

27	wtBP09c	Edl11	Relação entre a massa de fósforo presente no lodo recuperada e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	%
28	wtBP10* *	Edl12	Relação entre a massa de fósforo descartada em corpos d'água e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	%
Custos com Manejo do Lodo				
	Código Original	Novo Cod. ID	Custos de processamento e descarte de lodo	Unidade
29	wtFi07.1*	Ecl01	Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o volume de efluentes tratados	R\$/m ³
30	wtFi07.2*	Ecl02	Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o custo de funcionamento da ETE	%
Relativos a outros Resíduos Sólidos gerados no SES				
	Código Original	Novo Cod. ID	Remoção de sedimentos	Unidade
31	wEn12**	Ers01	Relação entre a massa de sedimentos removidos da rede e o comprimento da rede	(ton/km/ano)
32	wEn13**	Ers02	Relação entre a massa de sedimentos removidos de estruturas complementares da rede e o comprimento total da rede	(ton/km/ano)
33	wEn14**	Ers03	Relação entre a massa de material removido de gradeamento e caixa de areia e o comprimento da rede	(ton/km/ano)
34	wEn15**	Ers04	Relação entre a massa de sedimentos removidos de sistemas locais pela população atendida por este sistema	(ton/e.p./ano)
35	NOVO	Ers05	Relação entre a massa de sedimentos removidos do sistema e a massa de lodo bruto gerado no tratamento	(kg sed/kg lodo)
	Código Original	Novo Cod. ID	Destino dos sedimentos	Unidade
36	NOVO	Ers06	Relação entre a massa total de sedimentos removidos do sistema e a massa de sedimentos dispostos adequadamente.	(%)

Fonte: Autor (2023).

*indicador adaptado

**indicador indiretamente relacionado ao lodo

NOVO – indicador proposto e elaborado pelo autor

A partir do ID Etl01 foi constatado que não há entre os indicadores levantados, ID que aborde as etapas de tratamento e desaguamento pelas quais o lodo de esgoto é submetido, de forma individual. Sendo assim foram propostos os novos ID **Etl02**, **Etl03**, **Etl04**, **Etl05** e **Etl06** para que seja possível observar o desempenho dos sistemas em relação a esses parâmetros.

Determinados indicadores selecionados apesar de estarem categorizados por suas fontes como indicadores relacionados ao lodo de esgoto não se baseiam em variáveis relativas a

parâmetros do lodo, como **Etl09**, **Etl10**, **Edl10** e **Edl12** que estão ligados mais diretamente à eficiência do sistema, e **Ers01**, **Ers02**, **Ers03** e **Ers04**, que se direcionam à remoção de sedimentos. Apesar da relação extrínseca entre esses indicadores e o lodo de esgoto, os resultados obtidos com esses ID é de extrema relevância para comparação de resultados entre diferentes operadores.

A partir dos indicadores de desempenho existentes relacionados aos sedimentos gerados no processo de tratamento de esgoto, foram propostos os ID **Ers05** e **Ers06**, que relacionam esses sedimentos ao lodo de esgoto. Também foram incluídos os ID **Edl09**, **Edl10** e **Edl11**, que são desdobramentos do indicador original **wtBP09**. Apesar de não serem tratados pelo autor (SILVA et al., 2016) como indicadores independentes, é válido incluí-los na relação de ID a serem aplicados pois estão diretamente ligados à destinação final do lodo de esgoto.

Determinados indicadores dentre o total levantado não abordavam com clareza a unidade ou o estado do lodo a ser considerado como variável, tal situação foi observada nos ID **Egl01** e **Edl01**. Nos indicadores nos quais este cenário foi verificado foram definidos os parâmetros em aberto com base no contexto da variável necessária, e na compatibilidade com os demais indicadores.

Também foi necessária a adaptação de unidades nos indicadores **Ecl01** e **Ecl02**, que por possuírem origem internacional, e estarem relacionados a análise de custos, trazem unidades em Euros. Para adequação aos dados disponíveis nas ETEs brasileiras a unidade foi modificada para Reais, para fim de aplicação destes indicadores.

Para efeito de compatibilização dos dados utilizados e considerando as diferenças de termos usados por cada uma das fontes será considerado como **lodo bruto**, aquele imediatamente após a remoção do sistema de tratamento de esgoto, e **lodo processado**, aquele gerado após ser submetido a todas as etapas de tratamento do lodo disponíveis na ETE.

Dessa forma foram obtidos um total de 36 Indicadores de Desempenho aplicáveis à gestão do lodo de esgoto.

Para identificar os principais aspectos abordados pelo conjunto de indicadores de desempenho obtido, estes foram classificados de acordo com as categorias propostas por Matos (2004), considerando as classificações iniciais por cada fonte, de forma semelhante ao realizado com os indicadores relativos aos serviços de esgotamento sanitário. O Quadro 14 exibe a

classificação determinada para cada indicador, e a Figura 12 a distribuição dos indicadores entre as categorias abrangidas.

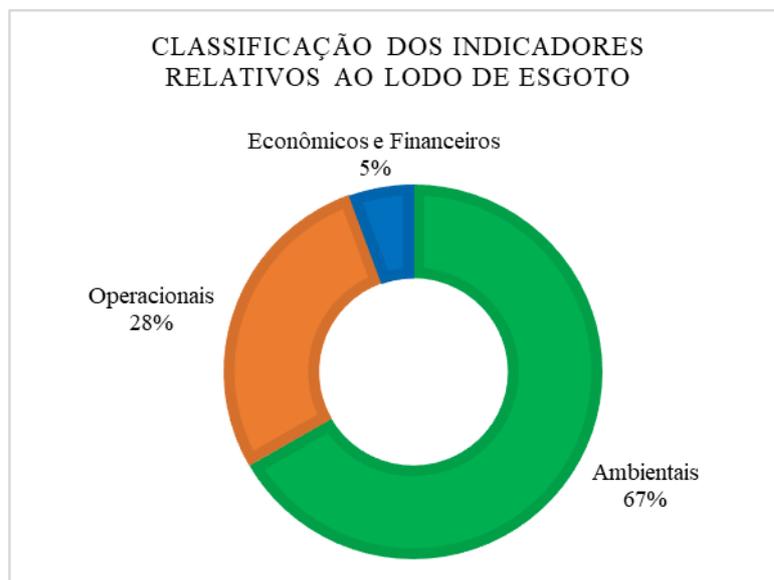
Quadro 14 – Relação de Indicadores de Desempenho Aplicáveis ao Lodo por Categoria proposta por Fonte Pesquisada

Categoria	Cód. Original	Novo Cod. ID	Descrição
Ambiental	wEn6*	Egl01	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a população atendida pelo sistema
Ambiental	wtBP01.1 / AR17ab	Egl02	Relação entre a massa de lodo processado gerado e o volume de esgoto tratado
Ambiental	wtBP01.2	Egl03	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a massa de DBO removida
Ambiental	wtBP01.3	Egl04	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a massa de DQO removida
Ambiental	wtBP08	Etl07	Concentração de sólidos secos do lodo processado
Ambiental	wtBP07	Etl08	Relação entre a somatória de testes em conformidade com o parâmetro analisado, e o total de testes realizados
Ambiental	wEn7*/wtBP04*	Edl01	Relação entre a massa de lodo processado destinado ao uso benéfico e a massa total de lodo processado
Ambiental	wtBP03	Edl02	Relação entre a massa de lodo processado disposto adequadamente e a massa total de saída de lodo processado
Ambiental	wEn8	Edl03	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro ou incineradas e a massa total de lodo processado
Ambiental	wEn9	Edl04	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro e a massa total de lodo processado
Ambiental	wEn10	Edl05	Relação entre a massa de lodo processado incinerado e a massa total de lodo processado
Ambiental	wEn11	Edl06	Relação entre a massa de lodo processado com outro destino final (distinto de aterro e incineração) e a massa total de lodo processado
Ambiental	wtBP02	Edl07	Relação entre a massa de saída de lodo e a somatória do lodo processado gerado, lodo processado acumulado no dia 1 do período de avaliação e o lodo processado de outras instalações
Ambiental	wtBP09	Edl08	Relação entre a massa de fósforo total recuperada e a massa de fósforo presente no esgoto bruto
Ambiental	wtBP09a	Edl09	Relação entre a massa de lodo usada na agricultura e a massa de fósforo presente no esgoto bruto
Ambiental	wtBP09b**	Edl10	Relação entre a massa de água reutilizada para irrigação e a massa de fósforo presente no esgoto bruto
Ambiental	wtBP09c	Edl11	Relação entre a massa de fósforo presente no lodo recuperada e a massa de fósforo presente no esgoto bruto
Ambiental	wtBP10**	Edl12	Relação entre a massa de fósforo descartada em corpos d'água e a massa de fósforo presente no esgoto bruto
Ambiental	wEn12**	Ers01	Relação entre a massa de sedimentos removidos da rede e o comprimento da rede

Ambiental	wEn13**	Ers02	Relação entre a massa de sedimentos removidos de estruturas complementares da rede e o comprimento total da rede
Ambiental	wEn14**	Ers03	Relação entre a massa de material removido de gradeamento e caixa de areia e o comprimento da rede
Ambiental	wEn15**	Ers04	Relação entre a massa de sedimentos removidos de sistemas locais pela população atendida por este sistema
Ambiental	NOVO	Ers05	Relação entre a massa de sedimentos removidos do sistema e a massa de lodo bruto gerado no tratamento
Ambiental	NOVO	Ers06	Relação entre a massa total de sedimentos removidos do sistema e a massa de sedimentos dispostos adequadamente.
Operacional	wOp52	Egl05	Relação entre o número de análises realizadas no lodo e o número de análises requeridas pela legislação durante o período de referência
Operacional	wtER25	Egl06	Relação entre a quantidade de unidades operacionais com monitoramento da qualidade do lodo gerado e o total de unidades operacionais da ETE
Operacional	PAR07ab	Etl01	Porcentagem de lodo gerado em fossas sépticas coletivas e na ETE encaminhado para tratamento em ETE de outra unidade gestora (bruto) ou entregue a operador licenciado (processado).
Operacional	NOVO	Etl02	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para tratamento na própria unidade
Operacional	NOVO	Etl03	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para desaguamento
Operacional	NOVO	Etl04	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para secagem
Operacional	NOVO	Etl05	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para outros processos de tratamento
Operacional	NOVO	Etl06	Relação entre o consumo de energia elétrica no manejo do lodo e a massa de lodo processado gerado na ETE
Operacional	wtEF03**	Etl09	Relação entre a massa de DBO removida e o volume de esgoto tratado durante os dias com dados referentes a remoção de DBO
Operacional	wtEF04**	Etl10	Relação entre a massa de DQO removida e o volume de esgoto tratado durante os dias com dados referentes a remoção de DQO
Econômico e financeiro	wtFi07.1*	Ecl01	Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o volume de efluentes tratados
Econômico e financeiro	wtFi07.2*	Ecl02	Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o custo de funcionamento da ETE

Fonte: Autor (2023).

Figura 12 – Classificação dos Indicadores de Desempenho relativos ao lodo entre as categorias propostas por Fonte Pesquisada



Fonte: Autor (2023).

Entre os ID relativos ao lodo de esgoto foram abordadas apenas as categorias Ambientais, Operacionais e Econômicos e Financeiros, sendo majoritariamente os indicadores ambientais. Essa distribuição releva que o manejo adequado e o monitoramento dos aspectos relacionados ao lodo têm como principal motivação os parâmetros ambientais, seguido dos operacionais e por fim os econômicos e financeiros.

Verifica-se também a partir desta distribuição o contraste em relação aos parâmetros abordados pelos indicadores de desempenho gerais relativos aos serviços de esgoto. Os indicadores ambientais correspondem a pouco mais de 10% do conjunto total de ID levantados, enquanto entre os indicadores relacionados ao lodo essa representação passa para 67%.

Como próxima etapa para viabilizar a aplicação dos indicadores, foram identificadas as variáveis necessárias e, portanto, os dados a serem obtidos com a operação das Estações de Tratamento de Esgoto. Os dados requeridos são apresentados no Quadro 15, e as fórmulas para cálculo de cada ID a partir das variáveis são descritas no **APÊNDICE B – Relação Detalhada e Fórmula de Cálculo do Conjunto de Indicadores de Desempenho Aplicáveis ao Lodo de Esgoto**.

Quadro 15 – Variáveis necessárias para aplicação dos ID

Variáveis para cálculo dos ID		
Cod.	Variável Entrada	Unidade
V01	Massa úmida de lodo bruto gerado (anual)	kg
V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	kg
V03	População atendida	ep
V04	Volume de esgoto tratado (anual)	m ³
V05	Comprimento da rede de esgoto	km
V06	Número de unidades operacionais totais da ETE	unitário
V07	Número de unidades operacionais para manejo do lodo na ETE	unitário
V08	Número de unidades operacionais com monitoramento da qualidade do lodo na ETE	unitário
V09	Massa de DBO removida do esgoto (anual)	kg
V10	Massa de DQO removida do esgoto (anual)	kg
V11	Número de análises do lodo realizadas (anual)	unitário
V12	Número de análises do lodo exigidas em legislação (anual)	unitário
V13	Número de análises do lodo realizadas em conformidade para uso na agricultura (anual)	unitário
V14	Massa úmida de lodo bruto gerado em fossas sépticas coletivas (anual)	kg
V15	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para tratamento em outra ETE (anual)	kg
V16	Porcentagem de lodo processado entregue a operador licenciado/aterro sanitário	%
V17	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para tratamento na própria ETE (anual)	kg
V18	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para desaguamento (anual)	kg
V19	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para secagem (anual)	kg
V20	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para outros processos de tratamento (anual)	kg
V21	Concentração de sólidos secos do lodo processado	%
V22	Massa úmida de lodo processado destinado ao uso benéfico (anual)	kg
V23	Massa úmida de lodo processado disposto adequadamente (anual)	kg
V24	Massa úmida de lodo processado disposto em aterro ou incinerado (anual)	kg
V25	Massa úmida de lodo processado disposto em aterro (anual)	kg
V26	Massa úmida de lodo processado incinerado (anual)	kg
V27	Massa úmida de lodo processado com outros destinos finais (anual)	kg
V28	Massa úmida de lodo processado destinado ao uso na agricultura (anual)	kg
V29	Massa úmida de lodo processado acumulado no dia 1 do período de avaliação	kg
V30	Massa úmida de lodo processado de outras instalações (anual)	kg
V31	Massa úmida de saída de lodo processado (anual)	kg
V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)	kg
V33	Massa de efluente líquido do lodo reutilizado para irrigação (anual)	kg
V34	Massa de fósforo total recuperada (anual)	kg

V35	Massa de fósforo presente no lodo processado recuperado (anual)	kg
V36	Massa de fósforo do efluente líquido de esgoto descartado em corpos d'água (anual)	kg
V37	Massa úmida de sedimentos removidos da rede (anual)	kg
V38	Massa úmida de sedimentos removidos de instalações complementares (anual)	kg
V39	Massa úmida de sedimentos removidos do gradeamento e caixa de areia (anual)	kg
V40	Massa úmida de sedimentos removidos de sistemas locais (anual)	kg
V41	População atendida por sistemas locais	ep
V42	Massa úmida total de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia removidos (anual)	kg
V43	Massa úmida de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia dispostos adequadamente (anual)	kg
V44	Consumo de energia no manejo do lodo (anual)	kWh
V45	Custos de processamento e descarte de lodo (anual)	R\$
V46	Custo de operação da ETE (anual)	R\$

Fonte: Autor (2023).

A partir da identificação dos dados requeridos foi elaborado o Formulário para Coleta de Dados, constante no **APÊNDICE A – Formulário de Coleta de Dados**. Este formulário foi utilizado para consulta aos gestores das Estações de Tratamento de Esgoto, e coleta dos dados necessários.

Nota-se que para aplicar 36 ID há necessidade de se obter 46 variáveis, o que é um número elevado de informações a serem monitoradas e mensuradas pela operação dos sistemas para diagnóstico completo através dos indicadores.

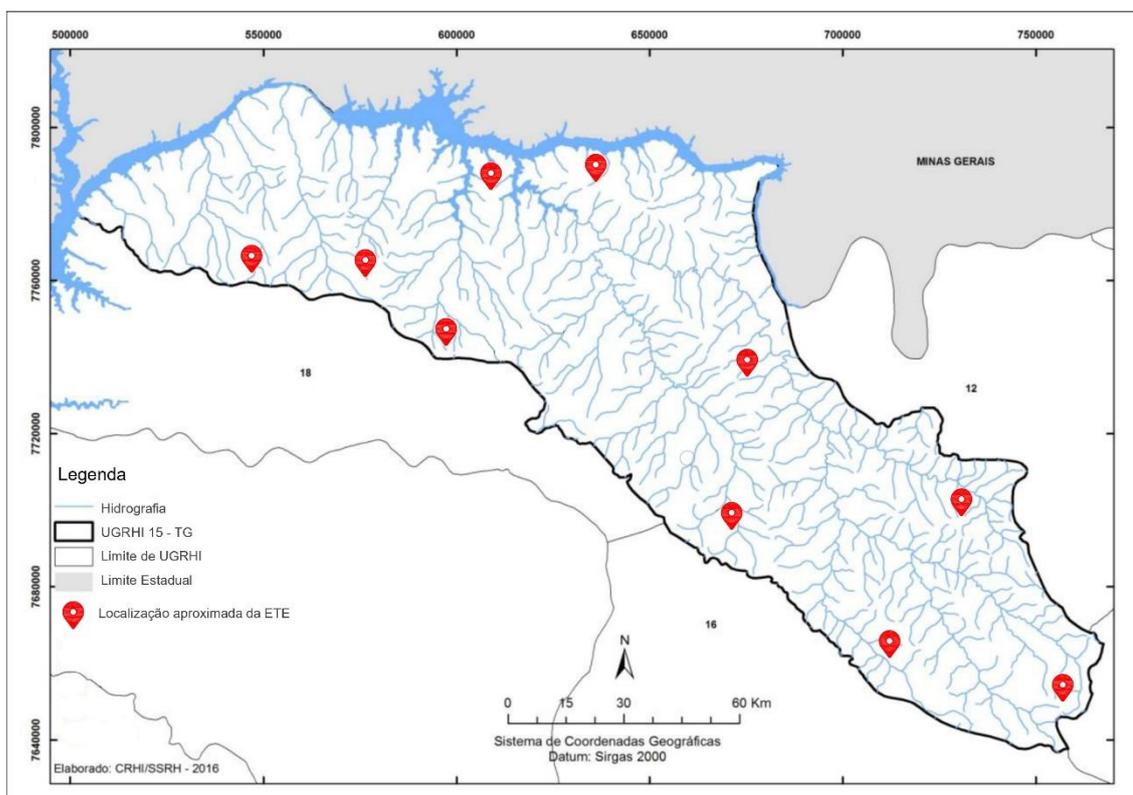
5.4 Aplicação dos indicadores de desempenho nas Estações de Tratamento de Esgoto selecionadas.

Com a finalidade de aplicar o compilado de Indicadores de Desempenho foi definida a região de abrangência da pesquisa pela Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 15 Turvo/Grande. Localizada na região Noroeste do estado de São Paulo, contempla 75 municípios, com área de drenagem de 15.917,89 km² (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS TURVO E GRANDE, 2021).

Para tanto foram definidos 10 municípios localizados dentro da área de abrangência delimitada, que possuíam Estação de Tratamento de Esgoto em seu território. A pesquisa limitou a aplicação a municípios com população superior a 10 mil habitantes, de acordo com o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010). Entre os municípios que se enquadravam no critério estabelecido optou-se por incluir na aplicação da pesquisa aqueles que compreendessem maiores variações de faixas populacionais, de modo que fossem analisados municípios de diferentes portes.

Em cada um dos municípios foram apurados dados referentes a uma Estação de Tratamento de Esgoto, determinada a critério do gestor para aqueles que possuíam mais de uma ETE. A Figura 13 apresenta a localização de cada ETE no contexto da unidade hidrográfica.

Figura 13 – Localização dos municípios selecionados na área de abrangência da UGRHI15



Fonte: Autor (2023).

O Quadro 16, a seguir, relaciona o identificador atribuído às ETEs com a população aproximada do município, a vazão média de operação, e a conduta em relação ao manejo do

lodo. Resultando ainda na relação de estações com Dados Disponibilizados (DD) ou Dados Não Disponibilizados (DND) para a aplicação dos Indicadores de Desempenho.

Quadro 16 – Identificação das ETEs selecionadas

Identif. ETE	População aprox. do município	Vazão média anual	Tecnologia de Tratamento	Ano de implantação	Contexto do LETE	Dados para aplicação dos ID
ETE1	10 mil	15,88l/s	Lagoa anaeróbia + facultativa	1980	Nunca removido	DND
ETE2	11 mil	22,60l/s	Lagoa anaeróbia + facultativa + maturação	2013	Nunca removido	DND
ETE3	12 mil	17,48l/s	Lodos ativados por aeração prolongada	2010	Remoção periódica	DD
ETE4	15 mil	18,61l/s	Lagoa anaeróbia + facultativa	1994	Remoção única – sem dados	DND
ETE5	20 mil	28,72l/s	Lagoa anaeróbia + facultativa	1991	Remoção única	DD
ETE6	40 mil	50,81l/s	Lodos ativados por aeração prolongada	2010	Remoção periódica	DD
ETE7	50 mil	83,58l/s	Lagoa anaeróbia + facultativa	2000	Nunca removido	DND
ETE8	60 mil	77,85l/s	Lagoa anaeróbia + facultativa	1998	Remoção única	DD
ETE9	100 mil	-	Lagoa aerada + lagoa de sedimentação	-	Remoção periódica	DND
ETE10	400 mil	1205l/s	UASB + Lodos ativados convencional	2010	Remoção periódica	DD

Fonte: Autor (2023).

A ETE1 está localizada em município com aproximadamente 10.000 habitantes, sendo que 93,09% desta população é atendida pelo sistema de esgotamento sanitário (SNIS, 2021b), administrado por operador regional. De acordo com os dados obtidos junto à operação, a ETE1 é responsável pelo tratamento do esgoto gerado por 6.400 habitantes, o que equivale a uma vazão média estimada de 15,88l/s, e apresenta uma média anual de 81% de eficiência na remoção de DBO. O sistema de tratamento foi implantado na década de 1980, e é composto por duas unidades de gradeamento e uma caixa de areia na etapa preliminar, seguidos de uma lagoa anaeróbia no tratamento primário e uma lagoa facultativa como tratamento secundário.

O lodo gerado em sistemas com essa tecnologia de tratamento é depositado ao fundo das lagoas, e periodicamente deve ser removido, considerando a manutenção da eficiência do

tratamento. Conforme informado pelos administradores a ETE1 não passou por processo de remoção do lodo gerado até o presente momento.

O município onde a ETE2 está localizada possui população aproximada de 11.000 habitantes, os residentes no município são totalmente atendidos pelo serviço de esgotamento sanitário (SNIS, 2021b), que é administrado por operador regional. Conforme dados coletados a ETE2 foi implantada no ano de 2013 e opera atualmente com vazão média anual de 22,60l/s. O tratamento realizado na ETE fornece uma eficiência de 90% na remoção de DBO, através de um sistema composto por uma unidade de gradeamento e uma de desarenador na etapa preliminar, duas unidades de lagoas anaeróbias realizando o tratamento primário, duas lagoas facultativas como tratamento secundário, e uma lagoa de maturação na etapa de tratamento terciário.

Da mesma forma que ocorre na ETE1, o lodo nesse sistema de tratamento se deposita ao fundo das lagoas, e conforme informado pela operação do sistema, não foi realizada remoção do lodo gerado.

Com população média de 12.000 habitantes o município onde a ETE3 está localizada também conta com outras duas ETEs em operação responsáveis pelo tratamento de esgoto nos distritos pertencentes ao município, juntas elas atendem 100% da população local (SNIS, 2021b). A ETE3 foi implantada no ano de 2010 e é administrada por operador regional. De acordo com as informações coletadas a população atendida pela ETE3 corresponde a 8454 habitantes, gerando uma vazão média anual de esgoto para tratamento de 17,48l/s. A ETE3 utiliza a tecnologia de lodos ativados para o tratamento e opera com eficiência média em remoção de DBO de 93%.

O sistema é composto por duas unidades de gradeamento e dois desarenadores como tratamento preliminar, seguidos de um digestor anaeróbio na etapa de tratamento primário. O tratamento secundário ocorre através do sistema de lodos ativados, contando com um tanque de aeração prolongada, e um decantador secundário circular com recirculação de lodo. Com essa tecnologia de tratamento ocorre a geração de lodo constantemente, e para preservar a eficiência do sistema é essencial manter em equilíbrio o volume de lodo em circulação, portanto, o lodo remanescente após a etapa de decantação secundária é encaminhado para duas lagoas para estabilização e posteriormente aos leitos de secagem onde ocorre o desaguamento do lodo.

A ETE4 está localizada em município com população na faixa de 15.000 habitantes, e conta com 99,67% dessa população atendida pelo sistema de esgotamento sanitário (SNIS, 2021b) que é operado por prestador local. Conforme informações fornecidas pela operação a Estação de Tratamento de Esgoto foi implantada no ano de 1994, e é responsável por atender uma população de 6.300 habitantes. A vazão média de operação do sistema é de 18,61l/s, com eficiência na remoção de DBO na ordem de 75%.

O sistema integra duas unidades de gradeamento e uma caixa de areia como tratamento preliminar, seguidos de uma lagoa anaeróbia na etapa de tratamento primário, e uma lagoa facultativa como tratamento secundário. O lodo depositado ao fundo das lagoas foi removido em uma ocasião, mas não foram fornecidos dados sobre seu manejo e destinação.

O município onde a ETE5 está instalada possui população de aproximadamente 20.000 habitantes, e conta com 100% dos residentes atendidos pelo sistema de esgotamento sanitário, que é administrado por operador regional (SNIS, 2021b). A ETE5 foi implantada no ano de 1991, e conforme dados da operação, atende uma população estimada de 17.231 habitantes. Atualmente a estação opera com vazão média anual de 28,72l/s e o tratamento realizado oferece eficiência de 82% em remoção de DBO.

O sistema de tratamento é composto por duas unidades de gradeamento e uma de desarenador como tratamento preliminar, o tratamento primário ocorre através de uma lagoa anaeróbia e o tratamento secundário é realizado em uma lagoa facultativa. O lodo gerado por meio dessa tecnologia de tratamento é depositado ao fundo das lagoas, sendo em maior quantidade na lagoa anaeróbia, que até o presente momento passou por uma operação de remoção.

A ETE6 está instalada em município com população na ordem de 40.000 habitantes, que são totalmente atendidos pelo sistema de esgotamento sanitário, administrado por operador regional (SNIS, 2021b). A ETE foi implantada no ano de 2010 e atualmente atende uma população de 32.000 pessoas, operando com vazão de 50,8l/s conforme dados fornecidos pela operação, e apresenta eficiência em remoção de DBO na ordem de 92%.

O tratamento é realizado inicialmente por um equipamento para tratamento preliminar, e segue para o tratamento secundário por lodos ativados por aeração prolongada. O lodo gerado no processo de tratamento é encaminhado para leitos de secagem.

A ETE7 localiza-se em município com 50.000 habitantes aproximadamente. O sistema de esgotamento sanitário é operado por administrador regional e atende 100% da população (SNIS, 2021b). Conforme dados fornecidos pela operação, a ETE foi implantada no ano de 2000, e atualmente opera com vazão média de 83,58l/s atendendo uma população de 44.451 habitantes.

O tratamento na ETE7 fornece eficiência média em remoção de DBO de 88%, este é realizado através de duas unidades de gradeamento na etapa preliminar, seguido de duas lagoas anaeróbias no tratamento primário e duas lagoas facultativas realizando o tratamento secundário. Até o momento de realização desta pesquisa não havia sido removido o lodo depositado ao fundo das lagoas.

O município onde a ETE8 é instalada possui população aproximada de 60.000 habitantes, atendidos integralmente pelo sistema de esgotamento sanitário (SNIS, 2021b). O sistema é administrado por operador regional, e inclui também uma segunda ETE. De acordo com as informações fornecidas, a ETE8 foi implantada no ano de 1998 e atende atualmente uma população de 37.045 habitantes. A estação opera com vazão média de 77,85l/s e fornece eficiência de 85% em remoção de DBO.

O sistema é composto por uma unidade de gradeamento e uma de desarenador como tratamento preliminar, seguidos de duas lagoas anaeróbias para tratamento primário e duas lagoas facultativas para o tratamento secundário. O lodo gerado no tratamento é depositado constantemente ao fundo das lagoas, para garantir a continuidade da eficiência do tratamento foi executado, nas lagoas anaeróbias, procedimento de remoção do lodo acumulado.

A ETE9 está localizada em município com população de aproximadamente 100.000 habitantes, o sistema de tratamento é administrado por operador local, e atende 98,04% da população (SNIS, 2021b).

A ETE9 possui como tratamento preliminar uma unidade de gradeamento e duas unidades de desarenadores, em seguida o esgoto é encaminhado para a etapa de tratamento secundário realizado por meio de duas lagoas aeradas seguidas de duas lagoas de sedimentação, onde ocorre o acúmulo de lodo. Não foram fornecidos dados por parte da operação referentes ao manejo do lodo de esgoto gerado.

O município no qual a ETE10 está instalada possui população de aproximadamente 400.000 habitantes, dos quais 99,52% são atendidos pelo sistema de esgotamento sanitário, que é administrado por operador local (SNIS, 2021b). A ETE10 foi implantada no ano de 2010, e é responsável pelo tratamento do esgoto gerado por toda a população, o que corresponde a vazão média de 1205l/s. A tecnologia empregada oferece eficiência em remoção de DBO acima de 95%.

O tratamento preliminar na ETE10 ocorre através de cinco unidades de gradeamento, e duas unidades de desarenadores, em sequência o tratamento primário é realizado por quatro unidades de reatores UASB. Na etapa de tratamento secundário a tecnologia empregada é de lodos ativados convencional, através de quatro unidades. Como última etapa, no tratamento terciário é realizada a desinfecção por cloro, e a pós aeração do efluente. Nesse sistema de tratamento há acúmulo de lodo nas unidades de reatores UASB e nos tanques de aeração, nos quais ocorre a remoção do lodo com periodicidade de 5 anos, aproximadamente.

A partir do levantamento inicial das ETEs foi realizado contato com cada uma delas, solicitando os dados requeridos para aplicação dos ID. Houve devolutiva de nove, das dez ETEs, sendo que entre essas, cinco forneceram dados que se enquadram no escopo desta pesquisa.

A coleta dos dados foi realizada através de formulário, constante no APÊNDICE A – Formulário de Coleta de Dados, encaminhado de forma digital ou aplicado presencialmente de acordo com a disponibilidade dos operadores. O Quadro 17, sintetiza os dados coletados para cada uma das ETEs e as unidades de medidas. Os dados não informados pela operação foram identificados com a sigla DND (dado não disponibilizado).

Quadro 17 – Variáveis de entrada para cálculo dos Indicadores de Desempenho nas cinco ETEs

Variáveis para cálculo dos ID							
Cod.	Variável Entrada	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
V01	Massa úmida de lodo bruto gerado (anual)	DND	DND	DND	49490	214335571	kg
V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
V03	População atendida	8454	17231	32000	37045	500000	ep
V04	Volume de esgoto tratado (anual)	551303	906809	1581774	2454974	37544630	m ³

V05	Comprimento da rede de esgoto	64	83	233	179	2022	km
V06	Número de unidades operacionais totais da ETE	11	8	27	7	35	unitário
V07	Número de unidades operacionais para manejo do lodo na ETE	4	2	24	1	3	unitário
V08	Número de unidades operacionais com monitoramento da qualidade do lodo na ETE	0	0	0	0	0	unitário
V09	Massa de DBO removida do esgoto (anual)	256907	369144	695981	920615	11353496	kg
V10	Massa de DQO removida do esgoto (anual)	568393	636580	1085097	1364966	19786020	kg
V11	Número de análises do lodo realizadas (anual)	1	0	1	0	12	unitário
V12	Número de análises do lodo exigido em legislação (anual)	1	1	1	1	1	unitário
V13	Número de análises do lodo realizadas em conformidade para uso na agricultura (anual)	DND	0	DND	0	DND	unitário
V14	Massa úmida de lodo bruto gerado em fossas sépticas coletivas (anual)	0	0	0	0	0	kg
V15	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para tratamento em outra ETE (anual)	0	0	0	0	0	kg
V16	Porcentagem de lodo processado entregue a operador licenciado/aterro sanitário	100	0	100	0	100	%
V17	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para tratamento na própria ETE (anual)	Total	Total	Total	49490	214335571	kg
V18	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para desaguamento (anual)	Total	Total	Total	49490	214335571	kg
V19	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para secagem (anual)	0	0	Total	0	0	kg
V20	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para outros processos de tratamento (anual)	0	0	0	0	0	kg
V21	Concentração de sólidos secos do lodo processado	91	DND	80	DND	20	%
V22	Massa úmida de lodo processado destinado ao uso benéfico (anual)	0	0	0	0	0	kg
V23	Massa úmida de lodo processado disposto adequadamente (anual)	25570	0	365000	0	16000000	kg
V24	Massa úmida de lodo processado disposto em aterro ou incinerado (anual)	25570	0	365000	0	16000000	kg
V25	Massa úmida de lodo processado disposto em aterro (anual)	25570	0	365000	0	16000000	kg
V26	Massa úmida de lodo processado incinerado (anual)	0	0	0	0	0	kg
V27	Massa úmida de lodo processado com outros destinos finais (anual)	0	0	0	0	0	kg
V28	Massa úmida de lodo processado destinado ao uso na agricultura (anual)	0	0	0	0	0	kg
V29	Massa úmida de lodo processado acumulado no dia 1 do período de avaliação	0	0	0	0	0	kg

V30	Massa úmida de lodo processado de outras instalações (anual)	0	0	0	0	0	kg
V31	Massa úmida de saída de lodo processado (anual)	25570	0	365000	0	16000000	kg
V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)	DND	7463	DND	17430	237847	kg
V33	Massa de efluente líquido do lodo reutilizado para irrigação (anual)	0	0	0	0	0	kg
V34	Massa de fósforo total recuperada (anual)	0	0	0	0	0	kg
V35	Massa de fósforo presente no lodo processado recuperado (anual)	0	0	0	0	0	kg
V36	Massa de fósforo do efluente líquido de esgoto descartado em corpos d'água (anual)	375	4960	DND	12275	175333	kg
V37	Massa úmida de sedimentos removidos da rede (anual)	0	0	DND	0	0	kg
V38	Massa úmida de sedimentos removidos de instalações complementares (anual)	0	0	DND	0	0	kg
V39	Massa úmida de sedimentos removidos do gradeamento e caixa de areia (anual)	15000	20000	DND	12000	7500000	kg
V40	Massa úmida de sedimentos removidos de sistemas locais (anual)	0	0	DND	0	0	kg
V41	População atendida por sistemas locais	0	0	DND	0	0	ep
V42	Massa úmida total de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia removidos (anual)	15000	20000	DND	12000	7500000	kg
V43	Massa úmida de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia dispostos adequadamente (anual)	15000	20000	DND	12000	7500000	kg
V44	Consumo de energia no manejo do lodo (anual)	DND	DND	DND	0	DND	kWh
V45	Custos de processamento e descarte de lodo (anual)	DND	DND	DND	4132	5887419	R\$
V46	Custo de operação da ETE (anual)	DND	DND	DND	29578	16220507	R\$

Fonte: Autor (2023).

Após a coleta dos dados requeridos, os mesmos foram aplicados através de planilhas digitais para cálculo dos indicadores de desempenho. Os resultados obtidos com a aplicação dos ID são expostos no Quadro 18. Os indicadores que não puderam ser aplicados por insuficiência de dados foram identificados com a sigla IA (Impossibilidade de Aplicação).

Quadro 18 – Aplicação dos 36 Indicadores de Desempenho nas cinco ETEs

Geração de Lodo								
Cod. ID	Produção de lodo em ETE	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade	
1	Egl01	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a população atendida pelo sistema	3,02	IA	11,41	0,36	32,00	(kg/e.p./ano)
	V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
	V03	População atendida	8454	17231	32000	37045	500000	ep
2	Egl02	Relação entre a massa de lodo processado gerado e o volume de esgoto tratado	0,05	IA	0,23	0,01	0,43	(kg/m ³)
	V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
	V04	Volume de esgoto tratado (anual)	551303	906809	1581774	2454974	37544630	m ³
3	Egl03	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a massa de DBO removida	0,10	IA	0,52	0,01	1,41	(kg lodo/kg DBO)
	V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
	V09	Massa de DBO removida do esgoto (anual)	256907	369144	695981	920615	11353496	kg
4	Egl04	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a massa de DQO removida	0,04	IA	0,34	0,01	0,81	(kg lodo/kg DQO)
	V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
	V10	Massa de DQO removida do esgoto (anual)	568393	636580	1085097	1364966	19786020	kg
Cod. ID	Análises de lodo	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade	
5	Egl05	Relação entre o número de análises realizadas no lodo e o número de análises requeridas pela legislação durante o período de referência	100,00	0,00	100,00	0,00	1200,00	%
	V11	Número de análises do lodo realizadas (anual)	1	0	1	0	12	unitário
	V12	Número de análises do lodo exigidas em legislação (anual)	1	1	1	1	1	unitário
Cod. ID	Monitoramento da qualidade da água/lodo	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade	
6	Egl06	Relação entre a quantidade de unidades operacionais com monitoramento da qualidade do lodo gerado e o total de unidades operacionais da ETE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
	V08	Número de unidades operacionais com monitoramento da qualidade do lodo na ETE	0	0	0	0	0	unitário
	V06	Número de unidades operacionais totais da ETE	11	8	27	7	35	unitário
Tratamento do Lodo								
Cod. ID	Encaminhamento adequado do lodo ao tratamento	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade	

7	Etl01	Porcentagem de lodo gerado em fossas sépticas coletivas e na ETE encaminhado para tratamento em ETE de outra unidade gestora (bruto) ou entregue a operador licenciado (processado).	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	%
	V01	Massa úmida de lodo bruto gerado (anual)	DND	DND	DND	49490	214335571	kg
	V14	Massa úmida de lodo bruto gerado em fossas sépticas coletivas (anual)	0	0	0	0	0	kg
	V15	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para tratamento em outra ETE (anual)	0	0	0	0	0	kg
	V16	Porcentagem de lodo processado entregue a operador licenciado/aterro sanitário	100	0	100	0	100	%
8	Etl02	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para tratamento na própria unidade	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	%
	V01	Massa úmida de lodo bruto gerado (anual)	DND	DND	DND	49490	214335571	kg
	V17	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para tratamento na própria ETE (anual)	Total	Total	Total	49490	214335571	kg
9	Etl03	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para desaguamento	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	%
	V01	Massa úmida de lodo bruto gerado (anual)	DND	DND	DND	49490	214335571	kg
	V18	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para desaguamento (anual)	Total	Total	Total	49490	214335571	kg
10	Etl04	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para secagem	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	%
	V01	Massa úmida de lodo bruto gerado (anual)	DND	DND	DND	49490	214335571	kg
	V19	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para secagem (anual)	0	0	Total	0	0	kg
11	Etl05	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para outros processos de tratamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
	V01	Massa úmida de lodo bruto gerado (anual)	DND	DND	DND	49490	214335571	kg
	V20	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para outros processos de tratamento (anual)	0	0	0	0	0	kg
12	Etl06	Relação entre o consumo de energia elétrica no manejo do lodo e a massa de lodo processado gerado na ETE	IA	IA	IA	0,00	IA	kWh/kg
	V44	Consumo de energia no manejo do lodo (anual)	DND	DND	DND	0	DND	kWh
	V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
	Cod. ID	Sólidos secos de lodo	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
13	Etl07	Concentração de sólidos secos do lodo processado	90,80	IA	80,00	IA	19,96	%
	V21	Concentração de sólidos secos do lodo processado - obtido em análise	90,80	DND	80,00	DND	19,96	%

Cod. ID	Conformidade da qualidade do lodo para uso na agricultura	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
14	Etl08	IA	IA	IA	IA	IA	%
	V11	1	0	1	0	12	unitário
	V13	DND	0	DND	0	DND	unitário
Cod. ID	Eficiência na remoção de DBO/DQO	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
15	Etl09	0,47	0,41	0,44	0,38	0,30	(kg DBO/m ³)
	V09	256907	369144	695981	920615	11353496	kg
	V04	551303	906809	1581774	2454974	37544630	m ³
16	Etl10	1,03	0,70	0,69	0,56	0,53	(kg DQO/m ³)
	V10	568393	636580	1085097	1364966	19786020	kg
	V04	551303	906809	1581774	2454974	37544630	m ³
Destino Final do Lodo							
Cod. ID	Valorização de lodo em ETE	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
17	Edl01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
	V22	0	0	0	0	0	kg
	V02	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
Cod. ID	Descarte de lodo	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
18	Edl02	100,00	IA	100,00	IA	100,00	%
	V23	25570	0	365000	0	16000000	kg
	V31	25570	0	365000	0	16000000	kg
19	Edl03	100,00	IA	100,00	0,00	100,00	%
	V24	25570	0	365000	0	16000000	kg
	V02	25570	DND	365000	13490	16000000	kg

20	Edl04	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro e a massa total de lodo processado	100,00	IA	100,00	0,00	100,00	%
	V25	Massa úmida de lodo processado disposto em aterro (anual)	25570	0	365000	0	16000000	kg
	V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
21	Edl05	Relação entre a massa de lodo processado incinerado e a massa total de lodo processado	0,00	IA	0,00	0,00	0,00	%
	V26	Massa úmida de lodo processado incinerado (anual)	0	0	0	0	0	kg
	V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
22	Edl06	Relação entre a massa de lodo processado com outro destino final (distinto de aterro e incineração) e a massa total de lodo processado	0,00	IA	0,00	0,00	0,00	%
	V27	Massa úmida de lodo processado com outros destinos finais (anual)	0	0	0	0	0	kg
	V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
	Cod. ID	Saída de lodo	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
23	Edl07	Relação entre a massa de saída de lodo e a somatória do lodo processado gerado, lodo processado acumulado no dia 1 do período de avaliação e o lodo processado de outras instalações	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	%
	V31	Massa úmida de saída de lodo processado (encaminhado para destinação final) (anual)	25570	0	365000	0	16000000	kg
	V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	25570	DND	365000	13490	16000000	kg
	V29	Massa úmida de lodo processado acumulado no dia 1 do período de avaliação	0	0	0	0	0	kg
	V30	Massa úmida de lodo processado de outras instalações (anual)	0	0	0	0	0	kg
	Cod. ID	Recuperação de Fósforo (P)	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
24	Edl08	Relação entre a massa de fósforo total recuperada e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
	V34	Massa de fósforo total recuperada (anual)	0	0	0	0	0	kg
	V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)	DND	7463	DND	17430	237847	kg
25	Edl09	Relação entre a massa de lodo usada na agricultura e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
	V28	Massa úmida de lodo processado destinado ao uso na agricultura (anual)	0	0	0	0	0	kg
	V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)	DND	7463	DND	17430	237847	kg
26	Edl10	Relação entre a massa de água reutilizada para irrigação e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%

V33	Massa de efluente líquido do lodo reutilizado para irrigação (anual)	0	0	0	0	0	kg
V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)	DND	7463	DND	17430	237847	kg
27	Edl11 Relação entre a massa de fósforo presente no lodo recuperada e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	0,00	0,00	IA	0,00	0,00	%
V35	Massa de fósforo presente no lodo processado recuperado (anual)	0	0	0	0	0	kg
V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)	DND	7463	DND	17430	237847	kg
28	Edl12 Relação entre a massa de fósforo descartada em corpos d'água e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	IA	66,46	IA	70,42	73,72	%
V36	Massa de fósforo do efluente líquido de esgoto descartado em corpos d'água (anual)	375	4960	DND	12275	175333	kg
V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)	DND	7463	DND	17430	237847	kg
Custos com Manejo do Lodo							
Cod. ID	Custos de processamento e descarte de lodo	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
29	Ecl01 Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o volume de efluentes tratados	IA	IA	IA	0,00	0,16	R\$/m³
V45	Custos de processamento e descarte de lodo (anual)	DND	DND	DND	4132	5887419	R\$
V04	Volume de esgoto tratado (anual)	551303	906809	1581774	2454974	37544630	m³
30	Ecl02 Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o custo de funcionamento da ETE	IA	IA	IA	13,97	36,30	%
V45	Custos de processamento e descarte de lodo (anual)	DND	DND	DND	4132	5887419	R\$
V46	Custo de operação da ETE (anual)	DND	DND	DND	29578	16220507	R\$
Relativos a outros Resíduos Sólidos gerados no SES							
Cod. ID	Remoção de sedimentos	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
31	Ers01 Relação entre a massa de sedimentos removidos da rede e o comprimento da rede	0,00	0,00	IA	0,00	0,00	(ton/km/ano)
V37	Massa úmida de sedimentos removidos da rede (anual)	0	0	DND	0	0	kg
V05	Comprimento da rede de esgoto	64	83	233	179	2022	km
32	Ers02 Relação entre a massa de sedimentos removidos de estruturas complementares da rede e o comprimento total da rede	0,00	0,00	IA	0,00	0,00	(ton/km/ano)
V38	Massa úmida de sedimentos removidos de instalações complementares (anual)	0	0	DND	0	0	kg
V05	Comprimento da rede de esgoto	64	83	233	179	2022	km
33	Ers03 Relação entre a massa de material removido de gradeamento e caixa de areia e o comprimento da rede	0,23	0,24	IA	0,07	3,71	(ton/km/ano)

V39	Massa úmida de sedimentos removidos do gradeamento e caixa de areia (anual)	15000	20000	DND	12000	7500000	kg
V05	Comprimento da rede de esgoto	64	83	233	179	2022	km
34	Ers04	Relação entre a massa de sedimentos removidos de sistemas locais pela população atendida por este sistema	IA	IA	IA	IA	(ton/ep/ano)
V40	Massa úmida de sedimentos removidos de sistemas locais (anual)	0	0	DND	0	0	kg
V41	População atendida por sistemas locais	0	0	DND	0	0	ep
35	Ers05	Relação entre a massa de sedimentos removidos do sistema e a massa de lodo bruto gerado no tratamento	IA	IA	IA	0,24	0,03 (kg sed/kg lodo)
V42	Massa úmida total de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia removidos (anual)	15000	20000	DND	12000	7500000	kg
V01	Massa úmida de lodo bruto gerado (anual)	DND	DND	DND	49490	214335571	kg
Cod. ID	Destino dos sedimentos	Valor ETE3	Valor ETE5	Valor ETE6	Valor ETE8	Valor ETE10	Unidade
36	Ers06	Porcentagem da massa total de sedimentos removidos do sistema, dispostos adequadamente.	100,00	100,00	IA	100,00	100,00 (%)
V42	Massa úmida total de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia removidos (anual)	15000	20000	DND	12000	7500000	kg
V43	Massa úmida de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia dispostos adequadamente (anual)	15000	20000	DND	12000	7500000	kg

Fonte: Autor (2023).

A partir da análise dos resultados obtidos verifica-se que alguns parâmetros são frequentemente negligenciados pelos operadores. Entre eles o consumo de energia elétrica no manejo do lodo, com dados fornecidos por apenas uma das ETEs. Foram disponibilizados por apenas duas das ETEs analisadas os dados referentes ao custo de operação da ETE, os custos com processamento e descarte do lodo, e a massa de lodo bruto gerado. O que revela pouca atenção por parte dos operadores em relação a esses parâmetros.

As informações fornecidas pela operação referentes aos dados de encaminhamento do lodo bruto para tratamento ou disposição final, requeridos nas variáveis “massa de lodo bruto encaminhado para tratamento em outra ETE (anual)”, “massa de lodo bruto encaminhado para tratamento na própria ETE (anual)”, “massa de lodo bruto encaminhado para desagüamento (anual)” e “massa de lodo bruto encaminhado para secagem (anual)”, aludia apenas a fração do lodo gerado encaminhado para cada processo, não havendo mensuração real da massa do resíduo.

Os resultados das análises laboratoriais do lodo são de extrema relevância para a reutilização dos resíduos gerados, no entanto em nenhuma das ETEs nas quais foi realizada análise do lodo, os resultados foram comparados com as exigências normativas para sua utilização na agricultura. Destacando a desatenção dos mesmos com as possibilidades de reutilização do resíduo.

Entre os resultados obtidos com a aplicação dos Indicadores de Desempenho verifica-se uma ampla variação entre as ETEs analisadas para a relação entre massa de lodo bruto gerado e população atendida. Essa variação se mostra menos acentuada para a relação entre a massa de lodo bruto gerado e o volume de esgoto tratado, assim como na relação com a massa de DBO e DQO removidos.

Em relação às análises laboratoriais, os ID demonstram que são realizadas exclusivamente objetivando o descarte final do lodo processado, inclusive a análise de teor de sólidos. Sendo o número de análises requeridas determinado de acordo com o destino pretendido, conforme Resolução Conama nº 498/2020 (BRASIL, 2020b) para o reúso em solos, ou conforme determinação do órgão regulamentador ambiental do estado para disposição em aterro sanitário.

Os indicadores aplicados expõem ainda que em todas as ETEs analisadas o manejo do lodo é realizado na própria estação de tratamento. Sendo realizada a etapa de desaguamento do lodo integralmente, e secagem do lodo em apenas uma das cinco ETEs analisadas. Nenhuma das ETEs realiza outras etapas de tratamento, e não há unidades operacionais nos sistemas que monitorem a qualidade do lodo.

O consumo de energia elétrica com o manejo do lodo em relação a massa de lodo processado gerado não pode ser avaliado em quatro das cinco ETEs, devido à indisponibilidade de dados.

Os indicadores que abordam a destinação final do lodo processado revelam que em nenhuma das ETEs analisadas é realizada destinação ao uso benéfico, sendo realizado o encaminhamento a aterro sanitário em todas as ETEs que já realizaram a destinação final do lodo. A disposição em aterro sanitário é considerada uma disposição final ambientalmente adequada, mas não atende a recomendação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) no que se refere à reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e o aproveitamento energético dos resíduos.

A recuperação de fósforo presente no esgoto é avaliada através de indicadores que relacionam a destinação do lodo seco na agricultura, e o uso das águas residuais para irrigação com a massa de fósforo presente no esgoto bruto. Em todas as ETEs avaliadas os indicadores demonstram que não há recuperação de fósforo, e naquelas onde é realizada medição da massa de fósforo, verifica-se descarte através do efluente líquido na ordem de 70% do fósforo presente inicialmente no esgoto.

Os ID referentes aos custos puderam ser aplicados em apenas duas das cinco ETEs, e revelaram uma relação decimal entre o custo de manejo do lodo e o volume de esgoto tratado. Enquanto a relação entre o custo de manejo do lodo e o custo de operação da ETE se mostra mais relevante, variando de 14% a 36%. No entanto, os valores fornecidos pelos operadores não abordam a totalidade dos custos, não sendo considerados por exemplo, os custos com pessoal e com destinação final, desta forma os valores obtidos podem não refletir a realidade das ETEs.

Em relação aos sedimentos acumulados no sistema de esgotamento sanitário, as ETEs quantificam apenas aqueles acumulados nas unidades de gradeamento e caixa de areia. Em todos os casos com dados disponibilizados, os sedimentos são encaminhados para aterro sanitário como disposição final.

Estes resultados demonstram que a qualidade da gestão do lodo de esgoto está muito distante do proposto e abordado nas publicações científicas sobre o tema, que apontam processos de tratamento e estabilização do lodo cada vez mais eficientes e enfatizam as múltiplas oportunidades de reutilização do resíduo. Enquanto na prática os operadores realizam apenas a etapa inicial de desaguamento do lodo, o necessário para disposição final em aterro sanitário, e apresentam dificuldades em quantificar e mensurar os parâmetros associados a esse manejo.

5.5 Análise da aplicabilidade dos ID nas ETEs selecionadas

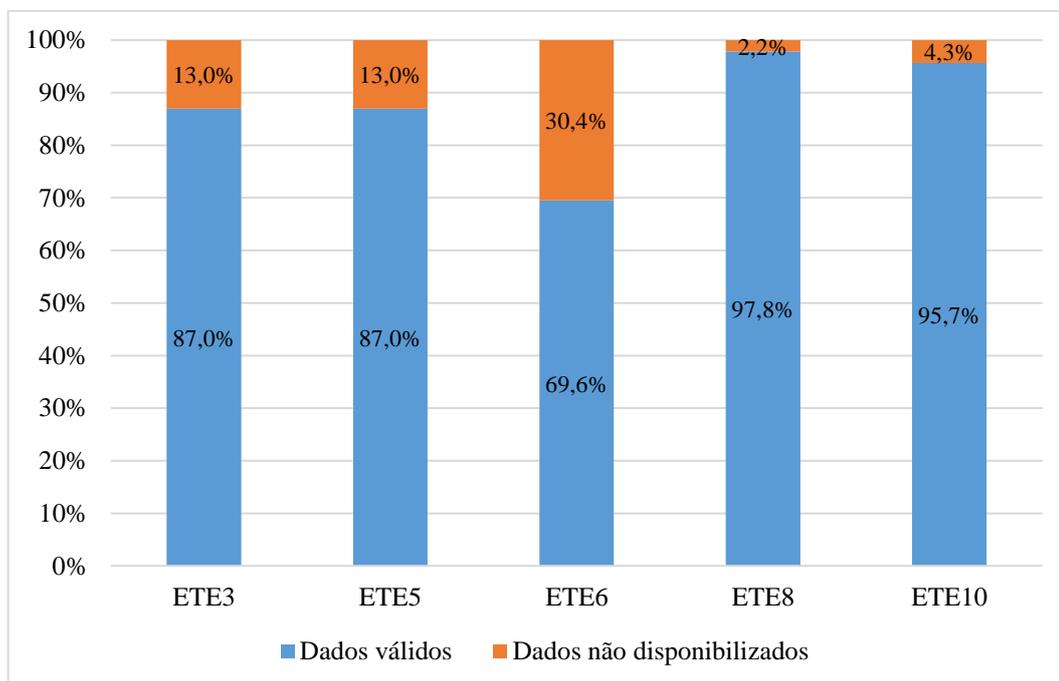
A aplicação dos Indicadores de Desempenho permitiu a comparação entre as ETEs analisadas para cada parâmetro. Avaliando assim a capacidade de cada estação em mensurar os parâmetros relacionados ao lodo gerado, o tipo de manejo ao qual o lodo é submetido, e conseqüentemente a qualidade da gestão desse resíduo. Por meio da aplicação periódica dos ID

é possível observar também o processo de melhoria ao longo do tempo para cada parâmetro analisado.

Sabendo-se as variáveis necessárias para aplicação dos indicadores de desempenho, os operadores interessados em promover melhorias no sistema de gestão do lodo de esgoto são capazes de implantar métodos de medição mais precisos e setorizados para coletar as informações referentes aos parâmetros analisados.

Por outro lado, a grande quantidade de informações requeridas para a aplicação da totalidade de ID pode dificultar o acompanhamento periódico do processo de gestão do lodo. Isso se reflete na ausência de dados disponibilizados pelas ETEs, e na impossibilidade de aplicação de diversos ID. A Figura 14 demonstra a indisponibilidade dos dados fornecidos pelos operadores.

Figura 14 – Proporção entre dados válidos e dados não disponibilizados, por ETE analisada



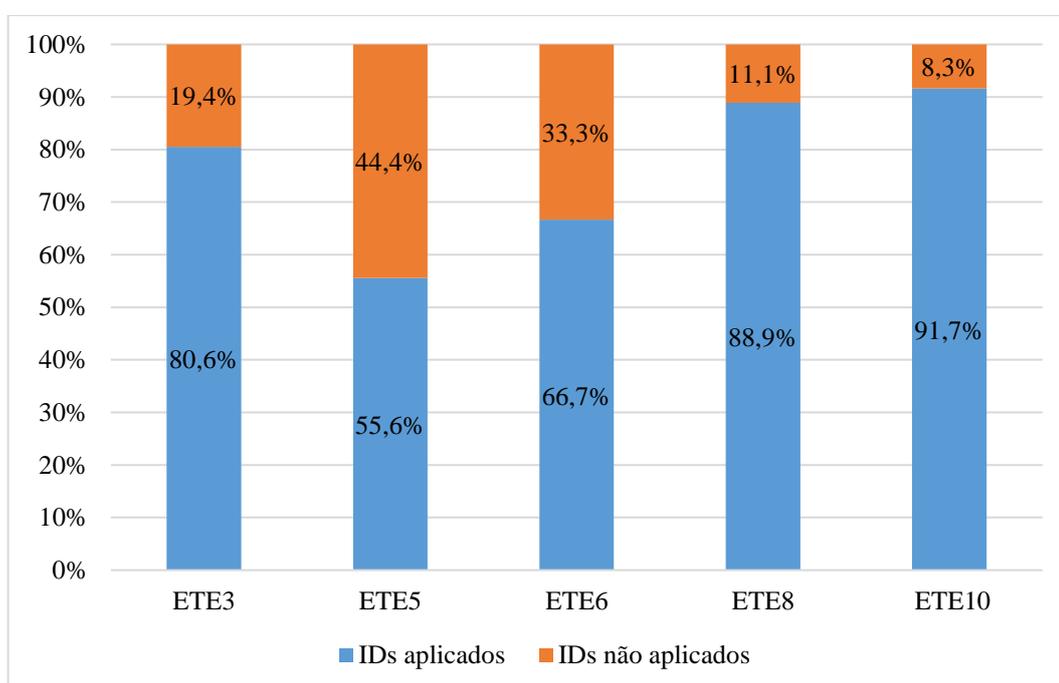
Fonte: Autor (2023).

A porcentagem de dados não disponibilizados entre as ETEs analisadas varia de 2,2% para a ETE 8, a 30,4% para a ETE6. Nesse intervalo verifica-se que a ETE10 apresenta 4,3% de dados indisponíveis, e a ETE3 e ETE5 com 13,0% cada. Essa indisponibilidade de dados

impacta diretamente sobre a aplicação dos ID, ocorrendo impossibilidade de aplicação dos mesmos.

Este impacto da indisponibilidade de dados pode ser visualizado na Figura 15, que exibe a porcentagem de Indicadores de Desempenho que não puderam ser aplicados devido a insuficiência de dados.

Figura 15 – Proporção entre Indicadores de Desempenho aplicados e com impossibilidade de aplicação, por ETE analisada



Fonte: Autor (2023).

Verifica-se que em todas as ETEs analisadas houveram indicadores que não puderam ser aplicados, variando de 8,3% a 44,4% do total de indicadores. A ETE5 apresentou maior número de indicadores não aplicados, com 44,4% do total de indicadores. Seguida da ETE6, com 33,3%, da ETE3 com 19,4%, da ETE8 com 11,1% e da ETE10 com 8,3% dos ID não aplicados.

A proporção de ID não aplicados entre as ETEs se mostra desigual da proporção de variáveis indisponíveis, o que pode ser justificado pela diferença de relevância das variáveis, em relação ao número de indicadores nos quais elas se aplicam. Como demonstrado nos gráficos da ETE5, 13% das variáveis não foram disponibilizadas, o que impactou em 44% dos

ID não possíveis de serem aplicados, a maior proporção entre as ETEs. Por outro lado, a ETE3, com mesmo número de variáveis indisponíveis apresentou apenas 19,4% de ID não aplicados, o que representa menos da metade do que ocorre na ETE5.

Essa variação ocorre de forma semelhante na ETE6, que apresentou o maior número de variáveis indisponíveis, mas ocupa a segunda posição entre ETEs com maior número de ID não aplicados. A ETE8 e a ETE10 apresentam os menores números de variáveis não disponibilizadas, sendo 2,2% e 4,3%, quando replicados aos indicadores essa proporção aumenta significativamente para 11,1% e 8,3% respectivamente.

Observando o número de IDs não aplicados entre as ETEs com disponibilidade de dados, e ainda considerando aquelas que não disponibilizaram dados referentes ao manejo do lodo de esgoto verifica-se maior indisponibilidade de dados entre ETEs que utilizam lagoas anaeróbia e facultativa como tecnologia de tratamento. Essa incidência é ainda mais evidente entre as ETEs de menor porte.

Por outro lado, entre as ETEs que utilizam tecnologias de tratamento como lodos ativados e reator UASB, e que atendem uma população superior, foi possível a aplicação de uma quantidade maior de ID. Esse aspecto pode estar relacionado ao fato destas Estações de Tratamento necessitarem de um manejo contínuo do lodo, e conseqüentemente monitorarem esses parâmetros com maior frequência e precisão ou ainda apresentarem maior nível de automação.

A variação entre dados semelhantes fornecidos pelos operadores das ETEs é um ponto de atenção para a confiabilidade dos dados fornecidos, em concordância ao verificado por Balmér e Hellström (2012), que em pesquisa realizada na Suécia, identificaram que diversos dados para aplicação de indicadores nos serviços de esgoto são fornecidos de forma incorreta. Informações demasiadamente discrepantes podem evidenciar falhas na medição, ou interpretação equivocada do dado requerido.

Para avaliar o grau de confiança dos dados e conseqüentemente dos resultados obtidos foi empregado o método de faixas de confiança para sistemas de indicadores de desempenho recomendado pela NBR ISO 24511/2012.

5.6 Análise do Grau de Confiança e Exatidão dos Indicadores de Desempenho

Seguindo o método de avaliação de faixas de confiança recomendado pela NBR ISO 24511/2012 os graus de confiança foram estimados inicialmente para cada variável levantada. E posteriormente propagados aos indicadores de desempenho resultantes.

Buscando a atribuição dos graus de confiança de forma adequada, foram definidas recomendações que auxiliem a aplicação de forma consistente.

Para faixas de exatidão:

- Para informações sem referência à forma de obtenção foi atribuída faixa de exatidão de > 50% de incerteza.
- Para informações estimadas de forma empírica foi atribuída faixa de exatidão de 20 a 50% de incerteza.
- Para informações estimadas ou calculadas a partir de dados mensurados foi atribuída faixa de exatidão de 5 a 20% de incerteza.
- Para informações mensuradas foi atribuída faixa de exatidão de 0 a 5% de incerteza.

Para faixas de confiança:

- Para informações obtidas através de documentos e sistemas oficiais foi atribuída faixa de confiabilidade de ***.
- Para informações obtidas através de contato direto com a operação foi atribuída faixa de confiabilidade de **.
- Para informações obtidas através de terceiros foi atribuída faixa de confiabilidade de *.

A partir desses critérios, e utilizando a matriz para faixas de confiança, exibida na Figura 5, combinada com a classificação dos ID definida na Figura 6, foram obtidos os resultados exibidos no Quadro 19 referentes ao grau de confiança dos Indicadores de Desempenho aplicados.

Quadro 19 – Valores e Grau de Confiança dos Indicadores de Desempenho por ETE analisada

	Cod. ID	Descrição	Grau de Conf. ETE3	Grau de Conf. ETE5	Grau de Conf. ETE6	Grau de Conf. ETE8	Grau de Conf. ETE10	Unid.
1	Egl01	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a população atendida pelo sistema	3,02	IA	11,41	0,36	32,00	(kg/ e.p./ ano)
2	Egl02	Relação entre a massa de lodo processado gerado e o volume de esgoto tratado	0,05	IA	0,23	0,01	0,43	(kg/m ³)
3	Egl03	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a massa de DBO removida	0,10	IA	0,52	0,01	1,41	(kg lodo/ kg DBO)
4	Egl04	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a massa de DQO removida	0,04	IA	0,34	0,01	0,81	(kg lodo/ kg DQO)
5	Egl05	Relação entre o número de análises realizadas no lodo e o número de análises requeridas pela legislação durante o período de referência	100,00	0,00	100,00	0,00	1200,00	%
6	Egl06	Relação entre a quantidade de unidades operacionais com monitoramento da qualidade do lodo gerado e o total de unidades operacionais da ETE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
7	Etl01	Porcentagem de lodo gerado em fossas sépticas coletivas e na ETE encaminhado para tratamento em ETE de outra unidade gestora (bruto) ou entregue a operador licenciado (processado).	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	%
8	Etl02	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para tratamento na própria unidade	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	%
9	Etl03	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para desaguamento	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	%
10	Etl04	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para secagem	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	%
11	Etl05	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para outros processos de tratamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
12	Etl06	Relação entre o consumo de energia elétrica no manejo do lodo e a massa de lodo processado gerado na ETE	IA	IA	IA	0,00	IA	kWh/ kg
13	Etl07	Concentração de sólidos secos do lodo processado	90,80	IA	80,00	IA	19,96	%
14	Etl08	Relação entre a somatória de testes em conformidade com o parâmetro	IA	IA	IA	IA	IA	%

		analisado, e o total de testes realizados						
15	Etl09	Relação entre a massa de DBO removida e o volume de esgoto tratado durante os dias com dados referentes a remoção de DBO	0,47	0,41	0,44	0,38	0,30	(kg DBO/m ³)
16	Etl10	Relação entre a massa de DQO removida e o volume de esgoto tratado durante os dias com dados referentes a remoção de DQO	1,03	0,70	0,69	0,56	0,53	(kg DQO/m ³)
17	Edl01	Relação entre a massa de lodo processado destinado ao uso benéfico e a massa total de lodo processado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
18	Edl02	Relação entre a massa de lodo processado disposto adequadamente e a massa total de saída de lodo processado	100,00	IA	100,00	IA	100,00	%
19	Edl03	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro ou incineradas e a massa total de lodo processado	100,00	IA	100,00	0,00	100,00	%
20	Edl04	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro e a massa total de lodo processado	100,00	IA	100,00	0,00	100,00	%
21	Edl05	Relação entre a massa de lodo processado incinerado e a massa total de lodo processado	0,00	IA	0,00	0,00	0,00	%
22	Edl06	Relação entre a massa de lodo processado com outro destino final (distinto de aterro e incineração) e a massa total de lodo processado	0,00	IA	0,00	0,00	0,00	%
23	Edl07	Relação entre a massa de saída de lodo e a somatória do lodo processado gerado, lodo processado acumulado no dia 1 do período de avaliação e o lodo processado de outras instalações	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	%
24	Edl08	Relação entre a massa de fósforo total recuperada e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
25	Edl09	Relação entre a massa de lodo usada na agricultura e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
26	Edl10	Relação entre a massa de água reutilizada para irrigação e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
27	Edl11	Relação entre a massa de fósforo presente no lodo recuperada e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	0,00	0,00	IA	0,00	0,00	%
28	Edl12	Relação entre a massa de fósforo descartada em corpos d'água e a	IA	66,46	IA	70,42	73,72	%

		massa de fósforo presente no esgoto bruto						
29	Ecl01	Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o volume de efluentes tratados	IA	IA	IA	0,00	0,16	R\$/m ³
30	Ecl02	Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o custo de funcionamento da ETE	IA	IA	IA	13,97	36,30	%
31	Ers01	Relação entre a massa de sedimentos removidos da rede e o comprimento da rede	0,00	0,00	IA	0,00	0,00	(ton/km/ano)
32	Ers02	Relação entre a massa de sedimentos removidos de estruturas complementares da rede e o comprimento total da rede	0,00	0,00	IA	0,00	0,00	(ton/km/ano)
33	Ers03	Relação entre a massa de material removido de gradeamento e caixa de areia e o comprimento da rede	0,23	0,24	IA	0,07	3,71	(ton/km/ano)
34	Ers04	Relação entre a massa de sedimentos removidos de sistemas locais pela população atendida por este sistema	IA	IA	IA	IA	IA	(ton/ep/ano)
35	Ers05	Relação entre a massa de sedimentos removidos do sistema e a massa de lodo bruto gerado no tratamento	IA	IA	IA	0,24	0,03	(kg sed/ kg lodo)
36	Ers06	Porcentagem da massa total de sedimentos removidos do sistema, dispostos adequadamente.	100,00	100,00	IA	100,00	100,00	(%)

Fonte: Autor (2023).

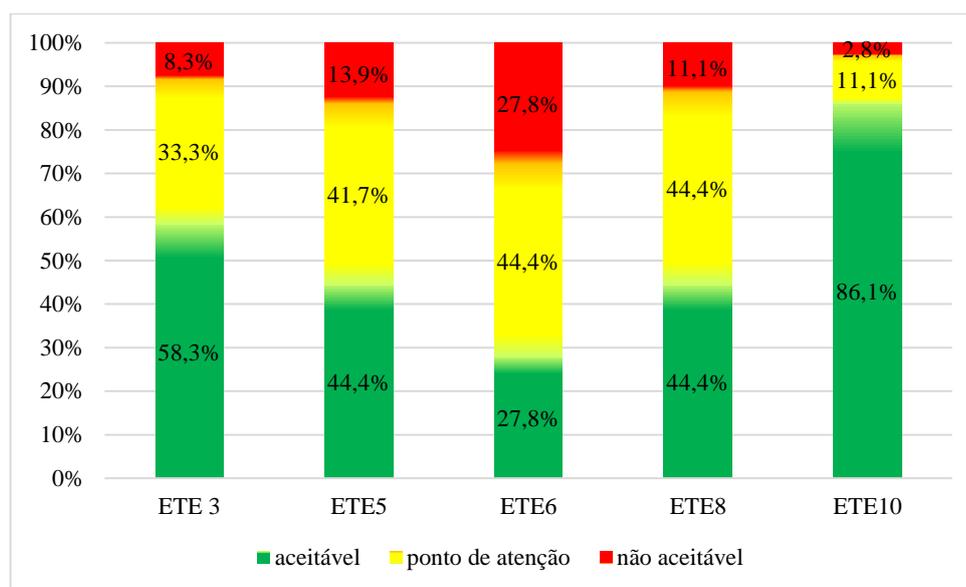
A análise da faixa de confiança dos Indicadores de Desempenho permite avaliar a validade dos resultados obtidos. Os resultados enquadrados como “não aceitáveis” representados pela cor vermelha indicam que, apesar das variáveis terem sido disponibilizadas, a confiabilidade e exatidão desses dados estão abaixo do recomendado pela NBR ISO 24511/2012, o que torna tal resultado questionável.

Os resultados enquadrados na cor amarela indicam que há divergência entre o grau de confiança das variáveis envolvidas no cálculo do ID. Demonstrando a necessidade de atenção em relação aos dados fornecidos para que seja possível obter um resultado aceitável.

São enquadrados com grau de confiança aceitável os resultados dos ID identificados com a cor verde. Para esses indicadores todas as variáveis envolvidas no cálculo obtiveram faixas de exatidão e confiabilidade acima do recomendado pela norma referenciada.

A Figura 16 exibe a porcentagem de indicadores de desempenho classificados em cada faixa de confiança nas ETEs analisadas. O gráfico apresentado evidencia o contraste entre a quantidade de resultados totais obtidos com a aplicação dos ID, e aqueles considerados válidos de acordo com o grau de confiabilidade.

Figura 16 – Porcentagem de ID classificados em cada faixa de confiança, por ETE analisada



Fonte: Autor (2023).

Conforme retratado na Figura 16, em três das cinco ETEs analisadas os indicadores considerados válidos, isso é, na faixa verde (aceitável) representam menos de 50% do total de indicadores aplicados. Destaca-se que a ETE 6, conforme Figura 16, possui 27,8% dos indicadores na faixa vermelha, ou seja, não aceitável em termos de confiabilidade e exatidão.

Também se observa que a ETE10 possui uma quantidade de indicadores com grau de confiança aceitável substancialmente superior às outras ETEs, ou seja, 86,1% na faixa verde (aceitável), o que pode refletir uma gestão mais eficiente do resíduo, e métodos de medição mais aprimorados.

Diante dos resultados obtidos com a análise do grau de confiança, mais precisamente em relação ao elevado número de indicadores com resultados abaixo do grau de confiança desejado, pode-se considerar mais efetivo um conjunto de indicadores em quantidade reduzida, calculados a partir de variáveis que os operadores dos sistemas tenham condições de mensurar mais facilmente.

5.7 Análise do uso dos Indicadores de Desempenho como instrumento de gestão do lodo de esgoto

Considerando a complexidade encontrada em aplicar a totalidade dos indicadores, e a quantidade elevada de resultados com grau de confiança abaixo do recomendado pela NBR ISO 24511/2012 um procedimento que pode se mostrar eficaz para o uso de indicadores como um instrumento de gestão adequado é a seleção de ID que abordam os principais parâmetros a serem observados em relação ao lodo de esgoto.

Com o uso desses indicadores, denominados como Indicadores de Desempenho Estratégicos (IDe), procura-se avaliar os aspectos mais relevantes de gestão do lodo, que possam ser calculados a partir de variáveis de simples obtenção pelos operadores.

A seleção dos indicadores de desempenho estratégicos buscou incluir ID que permitissem avaliar a geração do lodo, no que se refere à quantidade e qualidade, a destinação ao tratamento e destinação final, os custos associados ao seu manejo, e a geração de outros resíduos. A partir da determinação desses parâmetros principais, foram analisados os ID aplicados para identificação daqueles que melhor se enquadram, e que possam ser aplicados com facilidade pelos operadores.

Em relação à quantidade e qualidade do lodo gerado os ID considerados mais eficientes foram “Egl02 – Relação entre a massa de lodo processado gerado e o volume de esgoto tratado” e “Etl07 – Concentração de sólidos secos do lodo processado”. A partir desses ID entende-se que é possível comparar a geração de lodo em ETEs com diferentes capacidades de tratamento, e a eficiência do processo de desaguamento ao qual o lodo está sendo submetido.

No que se refere à destinação do lodo ao tratamento, atribui-se o indicador “Etl02 – Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para tratamento na própria unidade”, e para avaliar a destinação final do lodo foram considerados apropriados os ID “Edl01 – Relação entre a massa de lodo processado destinado ao uso benéfico e a massa total de lodo processado” e “Edl03 – Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro ou incineradas e a massa total de lodo processado”.

Para avaliação dos custos associados ao manejo do lodo de esgoto o indicador selecionado foi “Ecl02 – Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o custo de funcionamento da ETE”. A partir deste indicador espera-se elucidar à operação o impacto representado pelo manejo do lodo, e como aprimorar a gestão desse resíduo pode repercutir sobre o custo de operação da ETE.

Os sedimentos acumulados no sistema de tratamento foram abordados através do ID selecionado “Ers05 - Relação entre a massa de sedimentos removidos do sistema e a massa de lodo bruto gerado no tratamento”. Procura-se avaliar dessa forma o total de resíduos sólidos gerados no tratamento.

Sendo assim, foram denominados de IEL (Indicadores Estratégicos para o Lodo de esgoto) os ID selecionados, resultando em um conjunto de sete indicadores relacionados à geração, quantificação e destinação do lodo. As fórmulas de cálculo dos IEL são descritas no **APÊNDICE C – Relação Detalhada e Fórmula de Cálculo dos Indicadores Estratégicos para o Lodo de Esgoto.**

O Quadro 20 a seguir apresenta os resultados dos 7 (sete) indicadores considerados nesta pesquisa como estratégicos para as ETEs analisadas, considerando também o grau de confiança atribuído a estes.

Quadro 20 – Resultado da aplicação dos sete IEL (Indicadores Estratégicos para o Lodo de esgoto), por ETE analisada

Cod. IEL	Cod. ID	Descrição	ETE3	ETE5	ETE6	ETE8	ETE10	Unid
IEL1	Egl02	Relação entre a massa de lodo processado gerado e o volume de esgoto tratado	0,05	IA	0,23	0,01	0,43	kg/m ³
IEL2	Etl07	Concentração de sólidos secos do lodo processado	90,80	IA	80,00	IA	19,96	%
IEL3	Etl02	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para tratamento na própria unidade	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	%
IEL4	Edl01	Relação entre a massa de lodo processado destinado ao uso benéfico e a massa total de lodo processado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	%
IEL5	Edl03	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro ou	100,00	IA	100,00	0,00	100,00	%

		incineradas e a massa total de lodo processado						
IEL6	Ecl02	Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o custo de funcionamento da ETE	IA	IA	IA	13,97	36,30	%
IEL7	Ers05	Relação entre a massa de sedimentos removidos do sistema e a massa de lodo bruto gerado no tratamento	IA	IA	IA	0,24	0,03	kg sed/ kg lodo

Fonte: Autor (2023).

Os resultados de aplicação dos IDE nas ETEs analisadas revelam que esses parâmetros, considerados como de maior relevância, não estão sendo avaliados de forma eficaz. Para a ETE5 e a ETE8 nenhum dos resultados obtidos se enquadrou na faixa de confiança desejada.

A ETE6 apresentou dois resultados válidos, a ETE3 quatro resultados válidos e a ETE10, com maior número de resultados confiáveis, apresentou 6 resultados aceitáveis. O que corrobora a necessidade de aperfeiçoamento dos métodos de monitoramento do manejo do lodo.

Para aplicação dos indicadores estratégicos são requeridas uma quantidade reduzida de variáveis, possibilitando assim que os operadores dispensem maior atenção ao mensurar esses dados. As variáveis necessárias para os cálculos são expostas no Quadro 21.

Quadro 21 – Variáveis requeridas para aplicação dos sete ID estratégicos

Cod.	Variável	Unidade
V01	Massa úmida de lodo bruto gerado (anual)	kg
V02	Massa úmida de lodo processado gerado (anual)	kg
V04	Volume de esgoto tratado (anual)	m ³
V17	Massa úmida de lodo bruto encaminhado para tratamento na própria ETE (anual)	kg
V21	Concentração de sólidos secos do lodo processado	%
V22	Massa úmida de lodo processado destinado ao uso benéfico (anual)	kg
V24	Massa úmida de lodo processado disposto em aterro ou incinerado (anual)	kg
V42	Massa úmida total de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia removidos (anual)	kg
V45	Custos de processamento e descarte de lodo (anual)	R\$
V46	Custo de operação da ETE (anual)	R\$

Fonte: Autor (2023).

Com o uso dos Indicadores de Desempenho Estratégicos a quantidade de variáveis necessárias para aplicação do conjunto de sete indicadores estratégicos foi reduzida de 46 para 10 variáveis. A quantidade substancialmente menor viabiliza a mensuração dos dados de forma mais criteriosa, repercutindo em resultados com grau de confiança mais elevado.

Os indicadores estratégicos propostos foram selecionados objetivando abordar amplamente os aspectos relacionados com a gestão do lodo de esgoto, e simultaneamente simplificar o levantamento de dados por parte dos operadores.

6 CONCLUSÕES

É notório que a gestão do sistema de esgotamento sanitário de forma integrada é fundamental para o total cumprimento da Política Nacional de Saneamento Básico, incluindo todas as etapas que compõem o sistema, em especial o lodo gerado durante o tratamento do esgoto, que é comumente negligenciado pelos operadores. Para tanto, os Indicadores de Desempenho se mostram uma ferramenta importante para auxiliar a gestão.

A partir da seleção inicial de indicadores de desempenho relacionados ao sistema de esgotamento sanitário, analisando a distribuição dos ID entre as categorias propostas é evidente a diferença de enfoque entre as fontes pesquisadas. A disposição majoritária dos indicadores operacionais em referências internacionais, revela maior preocupação com a eficiência da operação dos serviços de esgoto, enquanto a prevalência de indicadores financeiros em fontes nacionais sugere maior atenção às tarifas, custos, sustentabilidade financeira e demais aspectos econômicos.

A distribuição dos ID reflete a realidade da gestão dos serviços de esgoto no Brasil, ainda priorizando os aspectos econômicos e financeiros, aos relativos à operação e à qualidade do serviço. De outro modo, em âmbito internacional, a gestão global dos serviços, qualidade e condições operacionais é considerada como prioritária dentre as categorias de indicadores de desempenho analisadas.

Conforme observado nos indicadores descritos pelo SNIS, sistema nacional de informações sobre o saneamento de iniciativa governamental, 63% destes são referentes aos parâmetros econômicos e financeiros, enquanto os indicadores relativos aos aspectos operacionais, de qualidade do serviço e de infraestrutura representam cerca de 6% cada. Essa distribuição desigual, e substancialmente inferior de indicadores operacionais, de qualidade do serviço e de infraestrutura contribui com a ideia de que o diagnóstico e controle desses aspectos pode ser algo com menor importância, o que de fato não pode ser considerado verdade. A ausência de indicadores aplicáveis ao lodo de esgoto entre os relacionados por esta fonte reflete a desatenção identificada com o manejo deste resíduo. O fato de os dados relativos ao lodo não serem exigidos pelas autoridades repercute no não monitoramento ou gestão incipiente por parte dos operadores de sistemas de esgotamento sanitário.

Em relação aos indicadores relativos à gestão do lodo de esgoto, foram identificados apenas em três fontes, sendo todas nas publicações internacionais FI1, FI2 e FI3, e em número bastante reduzido, cerca de 5,5%, comparado ao total de indicadores levantados. A ausência de indicadores que abordem esse parâmetro nas publicações brasileiras destaca a incipiência e dificuldade que ocorre em âmbito nacional quanto à gestão desse resíduo.

A aplicação dos Indicadores de Desempenho nas ETEs analisadas confirma a prerrogativa da desatenção que ocorre no Brasil em relação à gestão do manejo do lodo de esgoto. A grande quantidade de dados indisponíveis ou não confiáveis demonstra a necessidade de aprimoramento neste âmbito.

Como recomendação para impulsionar os avanços na gestão desse resíduo, e entendendo que o aprimoramento do manejo do lodo está diretamente associado à exigência de dados pelas fontes oficiais, incluir os Indicadores de Desempenho Estratégicos (IDe) denominados de IEL (Indicadores Estratégicos para o Lodo de esgoto) propostos neste trabalho em fontes oficiais nacionais, como o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), pode proporcionar avanços significativos em relação à atenção dispensada pelos operadores a gestão do lodo, visto que o SNIS não inclui indicadores e dados relativos ao lodo.

Por fim, conclui-se que os Indicadores de Desempenho são um instrumento adequado para a gestão do lodo de esgoto, sobretudo quando associado ao método de avaliação da faixa de confiança dos dados utilizados em sua aplicação. Verificou-se ainda que a utilização do conjunto de indicadores estratégicos proposto, em número reduzido, mostra-se mais apropriado para aplicação nas ETEs, devido ao número menor de variáveis necessárias, e, portanto, factíveis de serem obtidas pelos operadores.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Câmara Temática de Indicadores de Desempenho para o Saneamento Ambiental. Guia de Referência para Medição do Desempenho 2022 – GRMD. 2022.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 24511: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto - Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de esgoto e para a avaliação dos serviços de esgoto. Rio de Janeiro, Brasil, 2012a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 24510: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto - Diretrizes para a avaliação e para a melhoria dos serviços prestados aos usuários. Rio de Janeiro, Brasil, 2012b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 24512: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto - Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de água e para a avaliação dos serviços de água potável. Rio de Janeiro, Brasil, 2012c.

ACHON, Cali Laguna; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 115-122, 2013.

ACHON, Cali Laguna; CORDEIRO, João Sérgio. Gestão de resíduos dos serviços de saneamento (água e esgoto), a Lei 12.305/2010 e os desafios no Brasil. In: **XXXV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS)**, Anais. Cartagena – Colombia. ID 1955, 7 p, 2016.

ACHON, Cali Laguna; KELLNER, Erich; AKUTSU, Jorge. Subsídios para Gestão de Esgotamento Sanitário: Abordagem da Fase Sólida. In: Luliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro, Sandra Medina Benini e Maria Betânia Moreira Amador. (Org.). **Recursos hídricos: gestão e sustentabilidade**. 210 ed. Tupã: ANAP, 2016, v., p. 123-143. ISBN: 978-85-68242-36-0 / D.O.I.: 10.17271/9788568242360.

ADERASA – Asociación de entes reguladores de agua y saneamiento de las Américas. Informe Anual 2021. Grupo Regional de Trabajo de Benchmarking. Lima, 2021.

AKUTSU, Jorge; ACHON, Cali Laguna; KELLNER, Erich. Subsídios para Gestão de Esgotamento Sanitário: Abordagem da Fase Gasosa. In: Luliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro, Sandra Medina Benini e Maria Betânia Moreira Amador. (Org.). **Recursos hídricos: gestão e sustentabilidade**. 210 ed. Tupã: ANAP, 2016, v., p. 102-122. ISBN: 978-85-68242-36-0.

BALMÉR,P.; HELLSTRÖM, D. Performance indicators for wastewater treatment plants. *Water Science & Technology*, 65, 7, p. 1304-1310, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2012.014>.

BARROS, Izabela Pinheiro Alves Felipe. **Proposta de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.210. 2013.

BRASIL. Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998.

BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2007.

BRASIL. Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Lei Nº 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2020a.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020**. Publicada no DOU nº 161, de 21 de agosto de 2020, Seção 1, páginas 265-269, 2020b.

BRINGHENTI, Jacqueline Rogéria et al. Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 891-899, 2018.

CAVALCANTI, Alvaro; TEIXEIRA, Arthur; PONTES, Karen. Evaluation of the efficiency of basic sanitation integrated management in Brazilian municipalities. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 24, p. 9244, 2020.

COLLIVIGNARELLI, Maria Cristina et al. The performance evaluation of wastewater service: a protocol based on performance indicators applied to sewer systems and wastewater treatment plants. **Environmental Technology**, p. 1-18, 2021.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS TURVO E GRANDE. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos. São José do Rio Preto, SP, dezembro/2021. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-TG/21648/tg_rs_2021_relatorio-situacao-cbh-tg-ano-base-2021.pdf.

DA SILVA, Alysson Rogerio; ACHON, Cali Laguna. II-052-Manejo do Lodo de ETE (LETE), Riscos Ocupacionais e a Destinação no Brasil–ETES com Lodos Ativados e Reatores Anaeróbios do Tipo UASB (Estudo De Casos). **30º Congresso ABES 2019**. 2019.

DO AMARAL, Karina Guedes Cubas; AISSE, Miguel Mansur; POSSETTI, Gustavo Rafael Collere. Análise do custo de ciclo de vida do tratamento e destinação final do lodo e biogás, provenientes de ETE que emprega reatores do tipo UASB. **Revista DAE**. São Paulo, 2020.

DORSA, Arlinda Cantero; PEREIRA, Mariana Antonio de Souza; MAGALHÃES, Fernando Jorge Corrêa. Indicators of water supply and domestic outdoor services in the Latin American Integration Route. **Interações (Campo Grande)**, v. 20, p. 237-253, 2019.

ERSAR, LNEC. Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores – 4ª Geração do sistema de avaliação. Entidade Reguladora de Sistemas de Águas e Resíduos e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, 2021.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia C. P. Manual prático para a compostagem de biossólidos. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 1999.

FREDDO, Alessandra. **Caracterização físico-química de lodo proveniente de duas estações de tratamento de esgoto da região oeste do Paraná**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, p. 58. 2014.

GALVÃO JUNIOR, Alceu de Castro; SILVA, Alexandre Caetano. Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto. **Fortaleza: Expressão Gráfica Ltda./Arce**, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2017**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, 2010.

KELLNER, Erich; AKUTSU, Jorge; ACHON, Cali Laguna. Subsídios para Gestão de Esgotamento Sanitário: Abordagem da Fase Líquida. In: Luliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro, Sandra Medina Benini e Maria Betânia Moreira Amador. (Org.). **Recursos hídricos: gestão e sustentabilidade**. 210 ed. Tupã: ANAP, 2016, v., p. 81-101. ISBN: 978-85-68242-36-0.

LOPES DE PAULA, R.; DE SOUZA, M. A. A. Avaliação de Desempenho Operacional de Estações de Tratamento de Esgotos Utilizando Métodos Multiobjetivo e Indicadores – Parte 1: Seleção e Avaliação de Indicadores de Desempenho Operacional de Estações de Tratamento de Esgotos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 11, n. 4, p. 404–428, 2022.

MATOS, Rafaela et al. Indicadores de desempenho para serviços de águas residuais. **Lisboa: IRAR-LNEC**, 2004.

MATOS, Rafaela et al. (Ed.). Performance indicators for wastewater services. **IWA publishing**, 2003.

PALMA-HEREDIA, D.; POCH, M.; CUGUERÓ-ESCOFET, M.À. Implementation of a Decision Support System for Sewage Sludge Management. **Sustainability**, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12219089>.

PEGORINI, Eduardo Sabino et al. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Curitiba: SANEPAR, 1999.

PREISNER, Michał et al. Indicators for resource recovery monitoring within the circular economy model implementation in the wastewater sector. **Journal of Environmental Management**, v. 304, p. 114261, 2022.

QUADROS, Sílvia et al. A performance indicators system for urban wastewater treatment plants. **Water Science and Technology**, v. 62, n. 10, p. 2398-2407, 2010.

ROSA, Maria João et al. PAST21–Iniciativa nacional de avaliação de desempenho de ETA e ETAR urbanas. In: **Anais do 10.º Congresso de Água**. 2010.

SILVA, Alysson Rogerio da. **Gestão dos riscos ocupacionais no manejo do lodo de estações de tratamento de esgotos e a NBR ISO 31000**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 138. 2019.

SILVA, Catarina; MATOS, José Saldanha; ROSA, Maria João. Estratégia para o desenvolvimento da 3.ª geração do sistema de avaliação de desempenho de ETAR. **Revista Águas e Resíduos**, IV.1, 2016a.

SILVA, Catarina; MATOS, José Saldanha; ROSA, Maria João. Performance indicators and indices of sludge management in urban wastewater treatment plants. **Journal of environmental management**, v. 184, p. 307-317, 2016b.

SILVA, Catarina et al. Results of ‘PAST21’–the Portuguese initiative for performance assessment of water and wastewater treatment plants. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 12, n. 3, p. 372-386, 2012.

SILVA, Luana Ribeiro da; ACHON, Cali Laguna; ISAAC, Ricardo de Lima. Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água: Planos Municipais de Resíduos Sólidos e Pesquisas Acadêmicas no Brasil. In: **30 Congresso da ABES 2019**, 2019, Natal/RN. 30º CBESA da ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2019.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico Temático – Serviços de Água e Esgoto**. Brasília, 2021a.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2020 - Tabela Completa de Indicadores Desagregados e Agregados**. Brasília, 2021b.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Glossário de Indicadores - Água e Esgotos**. Brasília, 2020.

VON SPERLING, Tiago Lages; VON SPERLING, Marcos. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 313-322, 2013.

APÊNDICE A – Formulário de Coleta de Dados



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
home-page: www.ppgeu.ufscar.br
e-mail: ppgeu@ufscar.br



Formulário: Lodo de Estações de Tratamento de Esgoto

Este formulário foi elaborado para aplicação de Indicadores de Desempenho para gestão do Lodo gerado em ETEs, para desenvolvimento de pesquisa de Mestrado, pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. Os dados coletados serão tratados de maneira anônima, sendo preservada a identificação das ETEs.

Município: _____ Nome da ETE: _____
Ano de Implantação: _____ Capacidade de tratamento (vazão de projeto): _____
População atendida: _____ Comprimento da rede de esgoto: _____
Tempo de operação da ETE (h/dia): _____

CARACTERÍSTICAS DA ETE

1- Qual a tecnologia de tratamento? (Mencionar e marcar a quantidade de unidades existentes na ETE):

PRELIMINAR:

() Gradeamento - n^o unidades _____ () Desarenador - n^o unidades _____
() Condicionamento químico - n^o unidades _____ () Outros (Quais? _____) - n^o unidades _____

Obs.: _____

PRIMÁRIO:

() Decantador - n^o unidades _____ () Digestão anaeróbia - n^o unidades _____
() UASB - n^o unidades _____ () RAFA - n^o unidades _____
() Lagoa anaeróbia - n^o unidades _____ () Outros (Quais? _____) - n^o unidades _____

Obs.: _____

SECUNDÁRIO:

() Lagoa facultativa - n^o unidades _____ () Lagoa aerada de mistura completa - n^o unidades _____
() Lagoa aerada facultativa - n^o unidades _____ () Lodos ativados convencional - n^o unidades _____
() Lodos ativados p/ aeração prolongada - n^o unidades _____ () Filtros biológicos aeróbios - n^o unidades _____
() Biodiscos - n^o unidades _____ () Biofiltros aerados submersos - n^o unidades _____
() Flotação por ar dissolvido - n^o unidades _____ () Outros (Quais? _____) - n^o unidades _____

Obs.: _____

TERCIÁRIO:

() Desinfecção por cloro - n^o unidades _____ () Desinfecção por ozônio - n^o unidades _____
() Absorção por metabolismo de plantas - n^o unidades _____ () Desnitrificação em reatores biológicos - n^o unidades _____
() Troca iônica - n^o unidades _____ () Osmose reversa - n^o unidades _____
() Lagoa de maturação - n^o unidades _____ () Desinfecção p/ radiação ultravioleta artificial - n^o unidades _____
() Outros (Quais? _____) - n^o unidades _____

Obs.: _____

2- Parâmetros

Dados solicitados (médios)	Esgoto Bruto	Esgoto Tratado	Forma de medição
Vazão média atual (l/s)*			
Volume de Esgoto (m ³)*			
DBO (mg/l)*			
DQO (mg/l)*			
Sólidos Totais (mg/l ou %)*			
Fósforo Total (mg/l)			
pH*			

* Valor médio anual ou o que possuir

3- Limpeza de unidades

Existe limpeza periódica das unidades? () Sim () Não

Unidade: _____ Freq. média de limpeza: _____ Tipo de limpeza: () Manual () Mecanizada

Unidade: _____ Freq. média de limpeza: _____ Tipo de limpeza: () Manual () Mecanizada

Unidade: _____ Freq. média de limpeza: _____ Tipo de limpeza: () Manual () Mecanizada

Unidade: _____ Freq. média de limpeza: _____ Tipo de limpeza: () Manual () Mecanizada

4- São utilizados produtos químicos? () Sim () Não

Etapa tratamento	Produto Utilizado	Quantidade (kg/mês)	Tempo detenção hidráulica



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
home-page: www.ppgeu.ufscar.br
e-mail: ppgeu@ufscar.br



TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DO LODO DE ETE

1- Possui quantificação do lodo gerado no processo de tratamento? () Sim () Não Se sim: () Medida () Estimada
Massa média anual de lodo: _____ *Caso não possua média anual, informar por período
Volume médio anual de lodo: _____ *Preencher caso não possua a quantificação em massa

2- Possui análise de caracterização do lodo? () Sim () Não Nº análises p/ ano: _____

3- Caso exista sistema de remoção de água do lodo, favor preencher a tabela abaixo.

Dados solicitados (média anual)	Lodo bruto	Lodo desaguado	Lodo seco	Efluen Líquido do lodo
Massa total por período (informar período) (ton)				
Massa gerada por ano (ton)				
Massa gerada de outras fontes (ton)				
Massa acumulada início período (ton)				
Teor de Sólidos Totais – ST (%)				
Massa de sólidos (ST kg/dia)				
DBO (mg/l)*				
DQO (mg/l)*				
Fósforo Total (mg/l)				

OBS (informações complementares): _____

4- Quantificação dos sedimentos gerados (média anual)

Sedimentos removidos da rede (ton): _____
Sedimentos removidos de equipamentos complementares (ton): _____
Sedimentos removido do gradeamento e caixa de areia (ton): _____
Sedimentos removidos de sistemas locais (ton): _____

5- Possui sistema de desaguamento e secagem de lodo? () Sim () Não

() Adensamento - Massa: _____ Nº de equipamentos: _____

() Desaguamento - Massa: _____ Nº de equipamentos: _____

() Secagem - Massa: _____ Nº de equipamentos: _____

() Encaminhado para outra ETE - Massa: _____

Ano de implantação do sistema: _____

Equipamentos/sistema utilizados: _____

Produtos químicos utilizados (informar etapa utilizada): _____

Equipamentos/sistema com monitoramento do lodo: _____

6- Possui sistema de aproveitamento do lodo tratado? () Sim () Não

Tipo de aproveitamento: _____ Massa destinada: _____

7- Destinação final do lodo:

() Aterro sanitário - Massa: _____ () Agricultura - Massa: _____

() Incineração - Massa: _____ () Energia - Massa: _____

() Outros: _____ - Massa: _____

8- Destinação da fase líquida:

Retorna ao tratamento (l): _____ Utiliza para irrigação (l): _____

9- Consumo energético

Da ETE: _____ Com o manejo do lodo: _____

CUSTOS

Custos processamento do lodo (anual): _____ Custos destinação do lodo (anual): _____

Custos operacionais da ETE (anual): _____ Custos Energia elétrica (anual): _____

Custos com Produtos químicos (anual): _____

_____ de _____ de _____

APÊNDICE B – Relação Detalhada e Fórmula de Cálculo do Conjunto de Indicadores de Desempenho Aplicáveis ao Lodo de Esgoto

Geração de Lodo				
Código Original	Novo Cod. ID	Produção de lodo em ETE	Fórmula de Cálculo	Unidade
wEn6*	Egl01	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a população atendida pelo sistema	$\frac{V02}{V03}$	(kg/e.p./ano)
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
	V03	População atendida		ep
wtBP01.1 / AR17ab	Egl02	Relação entre a massa de lodo processado gerado e o volume de esgoto tratado	$\frac{V02}{V04}$	(kg/m ³)
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
	V04	Volume de esgoto tratado (anual)		m ³
wtBP01.2	Egl03	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a massa de DBO removida	$\frac{V02}{V09}$	(kg lodo/kg DBO)
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
	V09	Massa de DBO removida do esgoto (anual)		kg
wtBP01.3	Egl04	Relação entre a massa de lodo processado gerado e a massa de DQO removida	$\frac{V02}{V10}$	(kg lodo/kg DQO)
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
	V10	Massa de DQO removida do esgoto (anual)		kg
Código Original	Novo Cod. ID	Análises de lodo	Fórmula de Cálculo	Unidade
wOp52*	Egl05	Relação entre o número de análises realizadas no lodo e o número de análises requeridas pela legislação durante o período de referência	$\frac{V11}{V12} \times 100$	%
	V11	Número de análises do lodo realizadas (anual)		unitário
	V12	Número de análises do lodo exigidas em legislação (anual)		unitário
Código Original	Novo Cod. ID	Monitoramento da qualidade da água/lamas	Fórmula de Cálculo	Unidade
wtER25	Egl06	Relação entre a quantidade de unidades operacionais com monitoramento da qualidade do lodo gerado e o total de unidades operacionais da ETE	$\frac{V08}{V06} \times 100$	%
	V08	Número de unidades operacionais com monitoramento da qualidade do lodo na ETE		unitário
	V06	Número de unidades operacionais totais da ETE		unitário

Tratamento do Lodo				
Código Original	Novo Cod. ID	Encaminhamento adequado de lamas do tratamento	Fórmula de Cálculo	Unidade
PAR07ab	Etl01	Porcentagem de lodo gerado em fossas sépticas coletivas e na ETE encaminhado para tratamento em ETE de outra unidade gestora (bruto) ou entregue a operador licenciado (processado).	$\left[\left(\frac{V15}{(V01 + V14)} \right) + V16 \right] \times 100$	%
	V01	Massa de lodo bruto gerado (anual)		kg
	V14	Massa de lodo bruto gerado em fossas sépticas coletivas (anual)		kg
	V15	Massa de lodo bruto encaminhado para tratamento em outra ETE (anual)		kg
	V16	Porcentagem de lodo processado entregue a operador licenciado/aterro sanitário		%
NOVO	Etl02	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para tratamento na própria unidade	$\frac{V17}{V01} \times 100$	%
	V01	Massa de lodo bruto gerado (anual)		kg
	V17	Massa de lodo bruto encaminhado para tratamento na própria ETE (anual)		kg
NOVO	Etl03	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para desaguamento	$\frac{V18}{V01} \times 100$	%
	V01	Massa de lodo bruto gerado (anual)		kg
	V18	Massa de lodo bruto encaminhado para desaguamento (anual)		kg
NOVO	Etl04	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para secagem	$\frac{V19}{V01} \times 100$	%
	V01	Massa de lodo bruto gerado (anual)		kg
	V19	Massa de lodo bruto encaminhado para secagem (anual)		kg
NOVO	Etl05	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para outros processos de tratamento	$\frac{V20}{V01} \times 100$	%
	V01	Massa de lodo bruto gerado (anual)		kg
	V20	Massa de lodo bruto encaminhado para outros processos de tratamento (anual)		kg
NOVO	Etl06	Relação entre o consumo de energia elétrica no manejo do lodo e a massa de lodo processado gerado na ETE	$\frac{V44}{V02}$	kWh/kg
	V44	Consumo de energia no manejo do lodo (anual)		kWh
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
Código Original	Novo Cod. ID	Sólidos secos de lodo	Fórmula de Cálculo	Unidade
wtBP08	Etl07	Concentração de sólidos secos do lodo processado	(análise)	%
	V21	Concentração de sólidos secos do lodo processado - obtido em análise		%

Código Original	Novo Cod. ID	Conformidade da qualidade do lodo para uso na agricultura	Fórmula de Cálculo	Unidade
wtBP07	EtI08	Relação entre a somatória de testes em conformidade com o parâmetro analisado, e o total de testes realizados	$\frac{V13}{V11} \times 100$	%
	V11	Número de análises do lodo realizadas (anual)		unitário
	V13	Número de análises do lodo realizadas em conformidade para uso na agricultura (anual)		unitário
Código Original	Novo Cod. ID	Eficiência na remoção de DBO/DQO	Fórmula de Cálculo	Unidade
wtEF03**	EtI09	Relação entre a massa de DBO removida e o volume de esgoto tratado durante os dias com dados referentes a remoção de DBO	$\frac{V09}{V04}$	(kg DBO/m ³)
	V09	Massa de DBO removida do esgoto (anual)		kg
	V04	Volume de esgoto tratado (anual)		m ³
wtEF04**	EtI10	Relação entre a massa de DQO removida e o volume de esgoto tratado durante os dias com dados referentes a remoção de DQO	$\frac{V10}{V04}$	(kg DQO/m ³)
	V10	Massa de DQO removida do esgoto (anual)		kg
	V04	Volume de esgoto tratado (anual)		m ³
Destino Final do Lodo				
Código Original	Novo Cod. ID	Valorização de lodo em ETE	Fórmula de Cálculo	Unidade
wEn7* /wtBP04*	EdI01	Relação entre a massa de lodo processado destinado ao uso benéfico e a massa total de lodo processado	$\frac{V22}{V02} \times 100$	%
	V22	Massa de lodo processado destinado ao uso benéfico (anual)		kg
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
Código Original	Novo Cod. ID	Descarte de lodo	Fórmula de Cálculo	Unidade
wtBP03	EdI02	Relação entre a massa de lodo processado disposto adequadamente e a massa total de saída de lodo processado	$\frac{V23}{V31} \times 100$	%
	V23	Massa de lodo processado disposto adequadamente (anual)		kg
	V31	Massa de saída de lodo processado (anual)		kg
wEn8	EdI03	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro ou incineradas e a massa total de lodo processado	$\frac{V24}{V02} \times 100$	%
	V24	Massa de lodo processado disposto em aterro ou incinerado (anual)		kg
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg

wEn9	Edl04	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro e a massa total de lodo processado	$\frac{V25}{V02} \times 100$	%
	V25	Massa de lodo processado disposto em aterro (anual)		kg
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
wEn10	Edl05	Relação entre a massa de lodo processado incinerado e a massa total de lodo processado	$\frac{V26}{V02} \times 100$	%
	V26	Massa de lodo processado incinerado (anual)		kg
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
wEn11	Edl06	Relação entre a massa de lodo processado com outro destino final (distinto de aterro e incineração) e a massa total de lodo processado	$\frac{V27}{V02} \times 100$	%
	V27	Massa de lodo processado com outros destinos finais (anual)		kg
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
Código Original	Novo Cod. ID	Saída de lodo	Fórmula de Cálculo	Unidade
wtBP02	Edl07	Relação entre a massa de saída de lodo e a somatória do lodo processado gerado, lodo processado acumulado no dia 1 do período de avaliação e o lodo processado de outras instalações	$\frac{V31}{(V02 + V29 + V30)} \times 100$	%
	V31	Massa de saída de lodo processado (encaminhado para destinação final) (anual)		kg
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
	V29	Massa de lodo processado acumulado no dia 1 do período de avaliação		kg
	V30	Massa de lodo processado de outras instalações (anual)		kg
Código Original	Novo Cod. ID	Recuperação de Fósforo (P)	Fórmula de Cálculo	Unidade
wtBP09	Edl08	Relação entre a massa de fósforo total recuperada e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	$\frac{V34}{V32} \times 100$	%
	V34	Massa de fósforo total recuperada (anual)		kg
	V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)		kg
wtBP09a	Edl09	Relação entre a massa de lodo usada na agricultura e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	$\frac{V28}{V32} \times 100$	%
	V28	Massa de lodo processado destinado ao uso na agricultura (anual)		kg
	V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)		kg
wtBP09b**	Edl10	Relação entre a massa de água reutilizada para irrigação e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	$\frac{V33}{V32} \times 100$	%

	V33	Massa de efluente líquido do lodo reutilizado para irrigação (anual)		kg
	V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)		kg
wtBP09c	Ed111	Relação entre a massa de fósforo presente no lodo recuperada e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	$\frac{V35}{V32} \times 100$	%
	V35	Massa de fósforo presente no lodo processado recuperado (anual)		kg
	V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)		kg
wtBP10**	Ed112	Relação entre a massa de fósforo descartada em corpos d'água e a massa de fósforo presente no esgoto bruto	$\frac{V36}{V32} \times 100$	%
	V36	Massa de fósforo do efluente líquido de esgoto descartado em corpos d'água (anual)		kg
	V32	Massa de fósforo presente na entrada do esgoto bruto (anual)		kg
Custos com Manejo do Lodo				
Código Original	Novo Cod. ID	Custos de processamento e descarte de lodo	Fórmula de Cálculo	Unidade
wtFi07.1*	Ec101	Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o volume de efluentes tratados	$\frac{V45}{V04}$	R\$/m ³
	V45	Custos de processamento e descarte de lodo (anual)		R\$
	V04	Volume de esgoto tratado (anual)		m ³
wtFi07.2*	Ec102	Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o custo de funcionamento da ETE	$\frac{V45}{V46} \times 100$	%
	V45	Custos de processamento e descarte de lodo (anual)		R\$
	V46	Custo de operação da ETE (anual)		R\$
Relativos a outros Resíduos Sólidos gerados no SES				
Código Original	Novo Cod. ID	Remoção de sedimentos	Fórmula de Cálculo	Unidade
wEn12**	Ers01	Relação entre a massa de sedimentos removidos da rede e o comprimento da rede	$\frac{V37}{V05}$	(ton/km/ano)
	V37	Massa de sedimentos removidos da rede (anual)		kg
	V05	Comprimento da rede de esgoto		km
wEn13**	Ers02	Relação entre a massa de sedimentos removidos de estruturas complementares da rede e o comprimento total da rede	$\frac{V38}{V05}$	(ton/km/ano)
	V38	Massa de sedimentos removidos de instalações complementares (anual)		kg
	V05	Comprimento da rede de esgoto		km

wEn14**	Ers03	Relação entre a massa de material removido de gradeamento e caixa de areia e o comprimento da rede	$\frac{V39}{V05}$	(ton/km/ano)
	V39	Massa de sedimentos removidos do gradeamento e caixa de areia (anual)		kg
	V05	Comprimento da rede de esgoto		km
wEn15**	Ers04	Relação entre a massa de sedimentos removidos de sistemas locais pela população atendida por este sistema	$\frac{V40}{V41}$	(ton/e.p./ano)
	V40	Massa de sedimentos removidos de sistemas locais (anual)		kg
	V41	População atendida por sistemas locais		ep
NOVO	Ers05	Relação entre a massa de sedimentos removidos do sistema e a massa de lodo bruto gerado no tratamento	$\frac{V42}{V01}$	(kg sed/kg lodo)
	V42	Massa total de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia removidos (anual)		kg
	V01	Massa de lodo bruto gerado (anual)		kg
Código Original	Novo Cod. ID	Destino dos sedimentos	Fórmula de Cálculo	Unidade
NOVO	Ers06	Relação entre a massa total de sedimentos removidos do sistema e a massa de sedimentos dispostos adequadamente.	$\frac{V42}{V43} \times 100$	(%)
	V42	Massa total de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia removidos (anual)		kg
	V43	Massa de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia dispostos adequadamente (anual)		kg

APÊNDICE C – Relação Detalhada e Fórmula de Cálculo dos Indicadores Estratégicos para o Lodo de Esgoto

Código IEL	Código ID	Descrição	Fórmula Cálculo	Unidade
Geração de Lodo				
IEL1	Egl02	Relação entre a massa de lodo processado gerado e o volume de esgoto tratado	$\frac{V02}{V04}$	(kg/m ³)
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
	V04	Volume de esgoto tratado (anual)		m ³
Tratamento do Lodo				
IEL2	Etl02	Porcentagem de lodo bruto gerado na ETE encaminhado para tratamento na própria unidade	$\frac{V17}{V01} \times 100$	%
	V01	Massa de lodo bruto gerado (anual)		kg
	V17	Massa de lodo bruto encaminhado para tratamento na própria ETE (anual)		kg
IEL3	Etl07	Concentração de sólidos secos do lodo processado	(análise)	%
	V21	Concentração de sólidos secos do lodo processado - obtido em análise		%
Destino Final do Lodo				
IEL4	Edl01	Relação entre a massa de lodo processado destinado ao uso benéfico e a massa total de lodo processado	$\frac{V22}{V02} \times 100$	%
	V22	Massa de lodo processado destinado ao uso benéfico (anual)		kg
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
IEL5	Edl03	Relação entre a massa de lodo processado disposto em aterro ou incineradas e a massa total de lodo processado	$\frac{V24}{V02} \times 100$	%
	V24	Massa de lodo processado disposto em aterro ou incinerado (anual)		kg
	V02	Massa de lodo processado gerado (anual)		kg
Custos com Manejo do Lodo				
IEL6	Ec102	Relação entre os custos de processamento e descarte de lodo e o custo de funcionamento da ETE	$\frac{V45}{V46} \times 100$	%
	V45	Custos de processamento e descarte de lodo (anual)		R\$
	V46	Custo de operação da ETE (anual)		R\$
Relativos a outros Resíduos Sólidos gerados no SES				
IEL7	Ers05	Relação entre a massa de sedimentos removidos do sistema e a massa de lodo bruto gerado no tratamento	$\frac{V42}{V01}$	(kg sed/kg lodo)
	V42	Massa total de sedimentos, e material do gradeamento e caixa de areia removidos (anual)		kg
	V01	Massa de lodo bruto gerado (anual)		kg

ANEXO A – Parecer Comitê de Ética em Pesquisa - CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Uso de Indicadores de Desempenho para Gestão de Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Esgoto Baseado na NBR ISO 24511:2012

Pesquisador: CAROLINE GANDOLPHI

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 54169521.6.0000.5504

Instituição Proponente: Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.249.108

Apresentação do Projeto:

As informações elencadas nos campos "Apresentação do Projeto", "Objetivo da Pesquisa" e Avaliação dos Riscos e Benefícios foram extraídas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa (PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1862803, de 20/11/2011) e/ou do Projeto Detalhado (USO DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA GESTÃO DE LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO BASEADO NA NBR ISO 24511:2012, de Nov/2021):

RESUMO: Como parte integrante dos serviços de saneamento básico, o tratamento de esgoto ocorre nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) e tem objetivo de reduzir o potencial poluidor do esgoto bruto, atendendo aos parâmetros legais para descarte final dos efluentes. Um dos subprodutos gerados nas ETEs é o lodo de esgoto, que requer tratamento adicional, que facilita seu manuseio, transporte e a preparação para reutilização. A norma NBR ISO 24511/2012 recomenda o uso de indicadores de desempenho como ferramenta para medir a eficiência do tratamento. Essa pesquisa pretende avaliar a gestão do lodo produzido em ETEs, por meio de indicadores de desempenho que estejam de acordo com esta norma. Para tanto, será realizada pesquisa para embasamento teórico sobre a gestão do lodo gerado em ETEs, seguida da seleção de indicadores aplicáveis para a gestão do lodo, e aplicação em três ETEs. A coleta de dados dar-se-á por meio de formulário submetido de forma remota aos responsáveis pela ETE, com base nos quais, pretende-se obter um conjunto de indicadores de desempenho adaptáveis para a gestão do

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235

Bairro: JARDIM GUANABARA

UF: SP

Município: SAO CARLOS

CEP: 13.565-905

Telefone: (16)3351-9685

E-mail: cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 5.249.108

lodo produzido em ETEs brasileiras e uma análise das principais dificuldades associadas à sua aplicação.

HIPÓTESE: Através do desenvolvimento dessa pesquisa espera-se determinar que é possível definir um conjunto de indicadores de desempenho que podem avaliar de forma eficiente a gestão do lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto, com formulações que possam ser adaptáveis à diferentes realidades, conforme preconiza a ISO 24511. Para isso, serão selecionados em meio a literatura existente indicadores utilizados com essa finalidade, a serem adaptados e complementados para atender ao objetivo dessa pesquisa.

Posteriormente, pretende-se verificar a aplicabilidade de um conjunto de ID (indicadores de desempenho) pré-selecionados na literatura para avaliação da gestão do lodo em ETEs. E que os dados operacionais fornecidos estejam de acordo com as prescrições da NBR ISO 24511/2012, no que se refere a verificação do grau de confiança de cada dado/variável usada no cálculo dos indicadores, em termos de confiabilidade e exatidão.

METODOLOGIA, CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO:

A metodologia se divide em três etapas: Para alcançar os objetivos propostos a pesquisa será desenvolvida através das seguintes etapas: (1) Embasamento teórico sobre gestão do lodo de esgoto e uso de indicadores de desempenho, por meio de pesquisa bibliográfica; (2) Análise e compilação de um conjunto de indicadores de desempenho com base em dados da literatura e elaboração do formulário a ser aplicado em três ETEs do estado de São Paulo; (3) Coleta de dados, através do Anexo I – Formulário para Coleta de Dados, enviado aos gestores de três Estações de Tratamento de Esgoto, alvo dessa pesquisa. A metodologia e formulário serão previamente encaminhados para apreciação e aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). A aplicação do formulário será realizada de forma remota, através de e-mail e a comunicação, para sanar eventuais dúvidas, será via telefone ou Google Meet. Os participantes serão funcionários ou representantes das administradoras das ETEs, que possuam acesso às informações solicitados, a serem indicados pela própria empresa. Será realizado contato prévio via telefone ou e-mail para indicação do participante, verificação de sua disponibilidade e determinação dos canais de comunicação mais adequados.

O objetivo da aplicação do formulário é a coleta de dados operacionais referentes às ETEs, portanto a inclusão de participantes deverá considerar os seguintes critérios:

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
Bairro: JARDIM GUANABARA **CEP:** 13.565-905
UF: SP **Município:** SAO CARLOS
Telefone: (16)3351-9685 **E-mail:** cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 5.249.108

- Ter conhecimento técnico a respeito da operação da ETE;
- Ter acesso aos dados operacionais da ETE.

O participante deverá ser substituído na pesquisa sempre que for observado:

- Indisponibilidade para responder o formulário;
- Não ter acesso aos dados operacionais da ETE necessários para a pesquisa.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo primário desta pesquisa é avaliar a viabilidade do uso de um conjunto de indicadores de desempenho para auxiliar a avaliação da gestão do lodo produzido em Estações de Tratamento de Esgoto – ETE, de acordo com os preceitos da NBR ISO 24511/2012.

Como objetivos secundários, enumeram-se:

- Analisar e compilar um conjunto de indicadores de desempenho adaptáveis para aplicação na gestão do lodo gerado em ETEs brasileiras.
- Analisar a viabilidade de aplicação de um conjunto de indicadores de desempenho pré-determinado.
- Analisar a aplicação e o grau de confiança dos indicadores de desempenho de acordo com as recomendações da NBR ISO 24511/2012.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

O preenchimento do formulário ao qual o participante será submetido não lhe oferece risco imediato, porém considera-se a possibilidade de ocorrência de desconforto diante da impossibilidade de acesso às informações solicitadas.

Com o desenvolvimento da pesquisa, será elaborado um conjunto de indicadores de desempenho que possa ser utilizado e/ou adaptado para avaliação da gestão do lodo de esgoto produzido em Estações de Tratamento, que ficarão disponíveis na literatura para aplicação com as devidas adaptações e avaliação de ETEs brasileiras com diferentes tecnologias de tratamento.

Através da aplicação dos indicadores nas ETEs alvo dessa pesquisa, avaliando o grau de confiança dos IDs de acordo com as recomendações da NBR ISO 24511/2012, a pesquisa contribuirá com a difusão das diretrizes estabelecidas pela norma, definidas para avaliar e aprimorar a gestão dos serviços de esgoto. Inteirando os interessados dos propósitos globais relativos aos serviços de saneamento básico e redução de impacto ambiental gerado pelas atividades humanas.

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
Bairro: JARDIM GUANABARA **CEP:** 13.565-905
UF: SP **Município:** SAO CARLOS
Telefone: (16)3351-9685 **E-mail:** cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 5.249.108

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de uma pesquisa estritamente técnica, cuja coleta de dados e preenchimento do formulário não inclui aspectos individuais. Sendo assim, não está sujeita à Resolução CNS nº 466/2012 suas complementares, ou mesmo na CNS nº 510 de 2016 e suas complementares. Os profissionais que responderão ao questionário sugerido apenas serão responsáveis pela coleta e transmissão de dados técnicos a respeito do processo, não se caracterizando, portanto, como "participantes em pesquisa".

Vide, por exemplo, Resolução CNS 510 de 2016, Artigo1, Parágrafo único, insiso VII

"VII - pesquisa que objetiva o aprofundamento teórico de situações que emergem espontânea e contingencialmente na prática profissional, desde que não revelem dados que possam identificar o sujeito;"

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Vide campo "Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações"

Recomendações:

Vide campo "Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações"

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Agradecemos as providências e os cuidados tomados pelos pesquisadores ao apresentarem a 1ª versão do protocolo de pesquisa ao CEP da UFSCar. Conforme entendimento do parecerista, não há necessidade de registro da pesquisa e seus protocolos pelo sistema CEP/CONEP.

Considerações Finais a critério do CEP:

Diante do exposto, o Comitê de ética em pesquisa - CEP, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS nº 510 de 2016, manifesta-se por considerar que não há necessidade de registro ou avaliação da pesquisa e seus protocolos pelo sistema CEP/CONEP. Esta manifestação não exime os pesquisadores de submeterem novas propostas ao CEP/CONEP caso haja mudanças significativas nas metodologias e instrumentos desta pesquisa ou em propostas futuras.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
----------------	---------	----------	-------	----------

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
Bairro: JARDIM GUANABARA **CEP:** 13.565-905
UF: SP **Município:** SAO CARLOS
Telefone: (16)3351-9685 **E-mail:** cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 5.249.108

Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_P ROJETO_1862803.pdf	24/11/2021 22:15:59		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Detalhado.pdf	24/11/2021 22:08:27	CAROLINE GANDOLPHI	Aceito
Outros	Formulario.pdf	24/11/2021 21:59:07	CAROLINE GANDOLPHI	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	24/11/2021 21:58:55	CAROLINE GANDOLPHI	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.pdf	24/11/2021 21:58:17	CAROLINE GANDOLPHI	Aceito

Situação do Parecer:

Retirado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO CARLOS, 17 de Fevereiro de 2022

Assinado por:
Adriana Sanches Garcia de Araújo
(Coordenador(a))

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
Bairro: JARDIM GUANABARA **CEP:** 13.565-905
UF: SP **Município:** SAO CARLOS
Telefone: (16)3351-9685 **E-mail:** cephumanos@ufscar.br