ANÁLISE E AUTOMATIZAÇÃO EM SIG COMO OPÇÃO PARA O MAPEAMENTO DE LANÇAMENTOS POTENCIAIS DE SISTEMA DE ESGOTAMENTO – ETAPA II

Bruno Pereira Toniolo[(1)]
Doutorando em Ciências Ambientais pela Unesp Sorocaba e atua como tecnólogo em construção civil na Sabesp.
Bruno Henrique Bocato
Possui MBA, tecnólogo elétrico-eletrônico e atua como gerente de Serviços Técnicos na Sabesp.
Ricardo Cardoso Silva
Possui MBA e atua como engenheiro mecânico na Sabesp.
Darllan Collins da Cunha e Silva
Doutor, engenheiro ambiental e atua como professor na Unesp Sorocaba.
Roberto Wagner Lourenço
Doutor, geógrafo e atua como professor na Unesp Sorocaba.

Endereço[(1)]**:** Rua Sumidouro, 448 – Pinheiros – São Paulo – CEP: 05428-010 – SP – Cel: +55 (11) 9542-12126 – e-mail: bruperton.cad@gmail.com.

RESUMO

O lançamento de efluentes não tratados em corpos d'água representa uma séria preocupação para empresas de saneamento, especialmente quando não são devidamente identificados, resultando em consequências ambientais adversas. O presente estudo propôs o prosseguimento de uma metodologia desenvolvida inicialmente para mapear potenciais pontos de descarga de esgoto em uma bacia hidrográfica, usando técnicas de geoprocessamento no software QGIS, porém desta vez o método foi empregado em onze município operados pela Sabesp, situados na zona oeste da Região Metropolitana de São Paulo. Durante o processo, foram identificados 1.076 potenciais pontos de descarga, sendo 59,57% em situação de Interligado, seguido de 9,20% como Existente – não interligado, 9,66% como Inacessível, 14,41% como Não localizado e 7,16% como Obstruído. Esta segunda etapa corroborou as 22 etapas metodológicas, baseadas na orientação da rede coletora vetorial, cuja validação foi realizada por meio de inspeção visual. Apesar da eficácia demonstrada pelo modelo em estudos preditos, ressalta-se a importância de seu aprimoramento, sobretudo mediante a inclusão de um modelo digital de terreno (MDT) como referencial altimétrico único. Tal refinamento é essencial para potencializar a eficácia do método na detecção e gestão de descargas inadequadas de esgoto, contribuindo, assim, para a preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento, Esgoto, Saneamento Básico, Vistoria.

INTRODUÇÃO

A liberação de efluentes sem tratamento prévio nos corpos hídricos gera impactos que afetam os quatro fundamentos do saneamento essencial, envolvendo os sistemas de escoamento de esgoto, provisão de água potável, coleta e descarte de resíduos sólidos, e a gestão de águas pluviais urbanas, conforme estabelecido na legislação nacional de saneamento básico (MORAIS, 2010), como disposto na Lei nº 11.445 (Brasil, 2007).

O crescimento contínuo no uso de recursos hídricos, calculado em cerca de 1% ao ano devido ao aumento da população, juntamente com os padrões de consumo e o progresso econômico, como indicado pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2021), impõe uma carga considerável sobre a administração sustentável deste recurso vital. Neste cenário, a crescente necessidade por água tratada emerge como um desafio significativo.

As águas de superfície desempenham um papel crucial no fornecimento de água devido à sua facilidade de acesso. No entanto, essas fontes hídricas e o solo estão vulneráveis à poluição por produtos e subprodutos derivados de várias atividades humanas, conhecidos como descargas in natura, incluindo agricultura, indústria, mineração, áreas urbanas densamente povoadas, sistemas de saneamento inadequados, entre outros (FERREIRA, 2017).

Portanto, a relação entre a crescente demanda por água tratada e a vulnerabilidade das águas de superfície, águas subterrâneas e solo à contaminação enfatiza a importância vital do mapeamento das descargas de efluentes não tratados. Assim, a preservação e a vigilância rigorosa dessas fontes de água tornam-se essenciais para garantir que as necessidades presentes e futuras de abastecimento sejam atendidas de maneira segura e sustentável, protegendo, assim, a qualidade da água e os ecossistemas aquáticos (NERY et al., 2020).

Conforme Von Sperling (2007) e Fraga et al. (2021), os impactos ambientais primários resultantes da liberação in natura de efluentes incluem: a contaminação e poluição da água potável, apresentando um risco direto à saúde pública; a degradação dos ecossistemas aquáticos, manifestada pela morte de organismos como peixes, anfíbios e flora, além da propagação de doenças transmitidas pela água que proporcionam condições ideais para a proliferação de bactérias e vírus patogênicos; a diminuição da biodiversidade, especialmente de espécies nativas; a contaminação do solo, comprometendo sua qualidade e fertilidade; a contaminação do lençol freático, tornando-o inadequado para consumo humano e uso agrícola; a eutrofização, que promove o crescimento descontrolado de algas, resultando na asfixia da vida aquática; a perda de recreação e turismo, devido à diminuição do interesse público em corpos d'água poluídos para atividades de lazer e banho; o aumento dos custos de manutenção municipal, uma vez que a poluição gera despesas adicionais com serviços de limpeza e recuperação ambiental; e as mudanças climáticas, decorrentes da liberação de metano e outros gases de efeito estufa provenientes da decomposição da matéria orgânica.

A conexão dos lançamentos de efluentes não tratados torna-se, portanto, uma necessidade para as empresas de saneamento básico alcançarem a universalização do acesso ao sistema de coleta e tratamento de esgoto até 2033, visando atingir uma cobertura de 90%, conforme estipulado pelo Novo Marco do Saneamento – Lei 11.445/2020 (Brasil, 2020). No entanto, esse requisito é altamente desafiador devido ao prazo estabelecido - relativamente curto - e à grande necessidade de investimento para a realização das obras de saneamento, além do cenário preocupante atual: 44,2% da população brasileira não possui acesso à rede coletora de esgoto e apenas 51,2% do esgoto coletado é tratado, conforme dados do SNIS de 2021 (2023).

Assim, as técnicas de geoprocessamento, provenientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), emergem como uma ferramenta poderosa para identificar fenômenos físicos que influenciam na contaminação dos recursos naturais, incluindo as descargas de efluentes por meio da análise da declividade da rede coletora. Seu uso já está consolidado em diversas áreas, como planejamento urbano, gestão de recursos hídricos e, mais recentemente, no campo do saneamento básico. Dessa forma, o SIG representa uma ferramenta valiosa para mapear, modelar e compreender padrões geográficos e espaciais (TONIOLO, 2020).

Toniolo et al. (2023) automatizaram em SIG uma rotina para identificação de lançamentos potenciais de esgoto, inicialmente aplicada à Bacia Hidrográfica do Rio Cotia, de forma que dos 290 pontos identificados, 223 estavam em operação, com destinos estimados de 26% para corpos d'água permanentes, 25,5% para galerias de águas pluviais e 48,4% para o solo. Logo, o objetivo deste trabalho foi ampliar a sistematização criada pelos autores acima para os municípios operados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) Oeste.

METOLODOGIA

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abarca a Superintendência Oeste (OO), anteriormente denominada Unidade de Negócio Oeste (OO), englobando diversos municípios do Estado de São Paulo (SP), como Barueri, Santana de Parnaíba, Pirapora do Bom Jesus, Cotia, Vargem Grande Paulista, Itapevi, Carapicuíba, Jandira, Osasco, Taboão da Serra e parte de São Paulo (incluindo os bairros Butantã, Campo Limpo, Jaguaré, Morumbi e Pirajussara). A OO é uma divisão da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

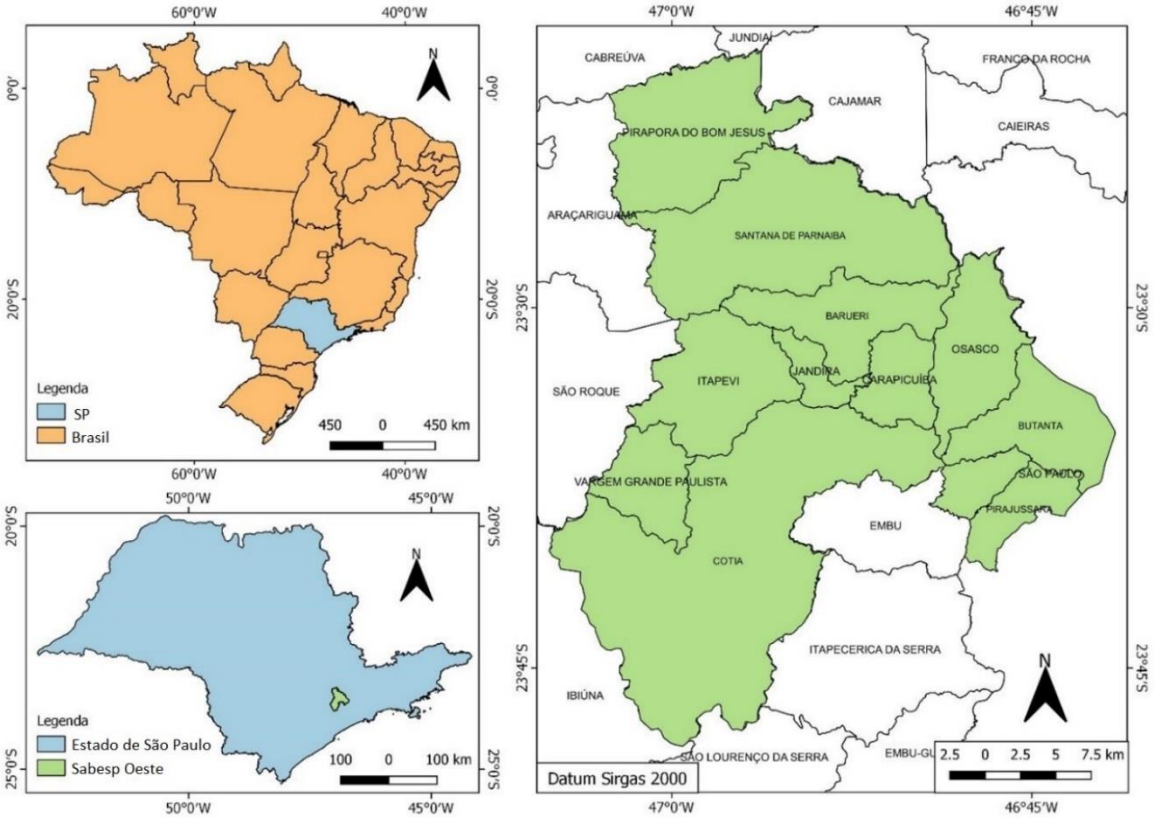
A OO, estabelecida em 1996, abrange uma extensão territorial de 1.035,84 km² e presta serviços a cerca de 3,5 milhões de consumidores, gerenciando os sistemas de distribuição de água e coleta de esgoto. Caracterizada por um crescimento e expansão constantes, a região oeste possui uma infraestrutura composta por 11,7 mil km de redes de distribuição e ramais de água tratada, bem como 7,1 mil km de rede de coleta e ramais de esgoto sanitário, com aproximadamente 916 mil conexões de água e 611 mil conexões de efluentes domésticos, desempenhando um papel central na atuação da Sabesp (SABESP, 2021).

A área de estudo está situada entre as sub-bacias hidrográficas Tietê-Sorocaba e Alto do Tietê. O solo predominante é do tipo Cambissolo Háplico, exceto na região norte (Reserva do Morro Grande), onde é encontrado o Argissolo Vermelho Amarelo (Rossi, 2017). Em termos de geomorfologia, a região da OO é majoritariamente composta por domínios de Cinturões Móveis Neoproterozóicos, com exceção dos municípios de Osasco e São Paulo, que possuem áreas de Bacias e Coberturas Sedimentares, além de Depósitos Sedimentares Quaternários (CPRM, 2006).

A inclinação média da OO é aproximadamente de 15%, variando de uma altitude de 643,29 m a 1.200,94 m. Quanto à hidrografia, ela possui uma extensão de 2.541 m de rede de drenagem e cerca de 1.200 nascentes na região, com os principais cursos d'água incluindo o Rio Tietê com 45 km de extensão, o Rio Cotia com 39 km, o Rio São João do Barueri com 20 km e o Rio Pirajussara com 13,5 km (SIMA, 2016).

A Figura 1 apresenta a localização da Superintendência Oeste.

Figura 1 – Mapa de localização da Superintendência Oeste (OO), situada na RMSP.



Fonte: Autoria própria.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia baseou-se no refinamento da automatização proposta por Toniolo et al. (2023), com uso do software QGIS, fundamentando-se no sentido de vetorização dos planos de informação – rede coletora – convergente ao fluxo do esgoto, ou seja, de cota altimétrica maior (montante) para cota altimétrica menor (jusante) e classificando os conexões (poço de visita, poço de inspeção, terminal de limpeza e caixa de passagem) como lançamento potencial aquele que não tem rede coletora a sair.

Assim, o Quadro 1 apresenta as fontes e materiais utilizados nesta pesquisa:

Quadro 1 – Materiais e fontes usados na metodologia.

Tipo	Descrição	Comentários	Fonte
Software SIG de código aberto	QGIS 3.22.0 “Białowieża”	Somente comandos nativos, sem uso de complementos.	QGIS (2023)
Software SIG corporativo	SIGNOS 4.3.0.9	Usado na Sabesp, plataforma Smallworld pela empresa General Eletric.	GE (2023)
Camada vetorial tipo linha	Rede coletora	Principais atributos: diâmetro, material, estado, tipo, profundidade, declividade e data de instalação.	Plantas cadastrais de esgoto, cadastro técnico A4 e as-builts das obras executadas da Sabesp Oeste.
Camada vetorial tipo ponto	Singularidades (poço de visita, poço de inspeção, caixa de passagem e terminal de limpeza)	Principais atributos: estado, tipo, profundidade e data de instalação.	Plantas cadastrais de esgoto, cadastro técnico A4 e as-builts das obras executadas da Sabesp Oeste.
Camada vetorial tipo ponto	Lançamento de esgoto / efluente não tratado	Cadastrados. Principais atributos: tipo, estado, data de instalação e data de abandono.	Plantas cadastrais de esgoto, cadastro técnico A4 e as-builts das obras executadas da Sabesp Oeste.

Fonte: Toniolo et al. (2023).

O Quadro 2 apresenta o roteiro das etapas de mapeamento dos lançamentos potenciais.

Quadro 2 – Roteiro com etapas de comandos no SIG para mapeamento dos lançamentos potenciais.

Etapa	Descrição
1	Inserir camada de rede coletora no QGIS.
2	Confirmar a direção da rede coletora, que obrigatoriamente deve ser montante a jusante, isto é, por gravidade: Em Propriedades, configurar a Simbologia como Símbolo Simples e na opção "tipo da camada Símbolo" escolher "Seta".
3	Caso alguma feição da rede coletora esteja com a direção invertida, aplicar o comando Inverter a direção da linha na Caixa de Ferramentas de Processamento.
4	Inserir camada de singularidades (poço de visita, caixa de passagem etc.) no QGIS.
5	Abrir a tabela de atributos da camada da rede coletora.
6	Entrar no modo de edição da camada.
7	Criar um novo campo, tipo decimal, chamado "X_INICIO", com a expressão "x(start_point($geometry))", para extrair a coordenada X a montante da rede coletora.
8	Criar um novo campo, tipo número decimal, chamado "X_FIM", com a expressão "x(end_point($geometry))", para extrair as X coordenada X a jusante da rede coletora.
9	Criar um novo campo, tipo decimal, chamado "Y_INICIO", com a expressão "y(start_point($geometry))", para extrair a coordenada Y a montante da rede coletora.
10	Criar um novo campo, tipo número decimal, chamado "Y_FIM", com a expressão "y(end_point($geometry))", para extrair as X coordenada X a jusante da rede coletora.
11	Salvar alterações e sair do modo de edição.
12	Exportar a tabela de atributos da camada de rede coletora em formato CSV.
13	Importar esta tabela como "Texto delimitado", opção "Coordenadas de ponto", com o nome da camada como "Pontos_Montante", escolhendo os campos "X_INICIO" e "Y_INICIO". Atenção para usar o mesmo datum horizontal da camada da rede coletora.
14	Idem à etapa 11, mas para camada a "Pontos_Jusante", escolhendo os campos "X_FIM" E "Y_FIM".
15	Ambas camadas de pontos geradas são temporárias, então salvar em diretório como formato shapefile.
16	Criar Índice Espacial para a camadas de singularidades e pontos Jusante e Montante.
17	Selecionar por localização a camada de singularidades, ao comparar com a camada "Pontos_Jusante", escolhendo como predicado geométrico "interseccionam" e a opção "Criar uma nova seleção".
18	Idem à etapa 15, mas comparar com a camada "Pontos_Montante" e escolhendo a opção "Remover da seleção atual".
19	Eventualmente as etapas 17 e 18 podem falhar. Nesse caso criar um Buffer com raio de 10 cm e repeti-las.

Fonte: Toniolo et al. (2023).

Os lançamentos potenciais foram mapeados por tipo de destinação e tipo de conexão, assim como foi feita a validação de duas formas: a) vistoria de campo, com uso de teste de corante, para classificação da situação do lançamento potencial associada a uma articulação (mosaico) de folhas de inspeção, e b) comparação de similaridade com outra metodologia de mapeamento de lançamento potencial, desenvolvida no SIG corporativo da SABESP pelo Departamento de Gestão de Ativos da Sabesp (ABRAHÃO, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram identificados um total de 1.076 (mil e setenta e oito) lançamentos potenciais, classificados em cinco situações, as quais são:

1. Lançamento existente – não interligado: é quando a rede coletora lança o esgoto diretamente no curso d'água, GAP ou solo, isto é, não existe tratamento do efluente, sendo a condição indesejada e passível de regularização via projeto e obra.

2. Lançamento interligado: é quando a rede coletora foi conectada a outra rede ou coletor tronco, conduzindo o esgoto para a estação de tratamento (ETE) e interrompendo o descarte in natura, isto é, a condição ideal.

3. Lançamento inacessível: lançamento situado em local de difícil acesso como propriedade privada, mata fechada, comunidade, área de risco etc, sendo uma condição inconclusiva, ou seja, não se sabe se o lançamento está existente ou interligado.

4. Lançamento não localizado: é quando o fiscal não conseguiu identificar a localização da conexão de esgoto, geralmente este coberto por revestimento asfáltico ou edificação construídos posteriormente á instalação do posso, sendo uma condição também inconclusiva.

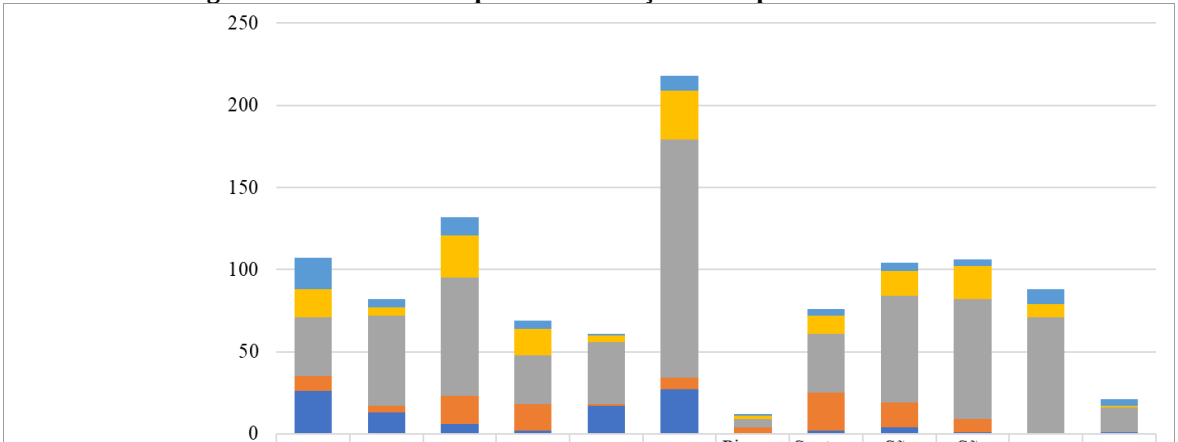
5. Lançamento obstruído: é quando o poço foi localizado, porém o fiscal não conseguiu efetuar a inspeção visual em função de obstrução diversa – entulhamento, assoreamento, refluxo, invasão de água pluvial etc –, impossibilitando a conferência do descarte do efluente.

Ressalta-se que na metodologia só foram consideradas as conexões em estado de operação, isto é, a despeito do estado de conservação, de forma que não foram computadas as singularidades do tipo abandonadas, excluídas, desativadas e em construção.

Identificaram-se 155 (cento e cinquenta e cinco) lançamentos potenciais indevidos devido a erros cadastrais nos planos de informação utilizados. Notavelmente, a ausência de preenchimento do campo "CotaFundo" na camada de singularidades e a direção invertida na camada de rede coletora foram os principais problemas identificados. Assim, torna-se imperativo que esses dois critérios sejam rigorosamente verificados antes da aplicação da sistematização, a fim de assegurar a integridade dos resultados.

Apesar da automatização não considerar como critério a declividade da rede coletora, no SIG representada pela diferença entre as cotas de fundo das conexões de montante a jusante, o resultado obtido foi expressivo, conforme apresenta a Figura 2, que exibe a frequência da situação dos lançamentos potenciais para cada município da Superintendência Oeste.

Figura 2 – Gráfico de frequência dos lançamentos potenciais vistoriados.



	Barueri	Carapicuíba	Cotia	Itapevi	Jandira	Osasco	Pirapora do Bom Jesus	Santana de Parnaíba	São Paulo (Butantã)	São Paulo (Pirajussara)	Taboão da Serra	Vargem Grande Paulista
Obstruído	19	5	11	5	1	9	1	4	5	4	9	4
Não localizado	17	5	26	16	4	30	2	11	15	20	8	1
Interligado	36	55	72	30	38	145	5	36	65	73	71	15
Inacessível	9	4	17	16	1	7	4	23	15	8		
Existente - não interligado	26	13	6	2	17	27		2	4	1		1

Fonte: Autoria própria.

Analisando a Figura 2, verifica-se que o município com maior quantidade de lançamentos potenciais é Osasco, com um total de 218 (duzentos e dezoito unidades), seguido do município de Cotia, com 132 (cento e trinta e dois) unidades vistoriadas. Já os municípios com menor contagem de lançamentos potenciais são Vargem Grande Paulista e Pirapora do Bom Jesus, com 21 (vinte e um) e 12 (doze) unidades, respectivamente.

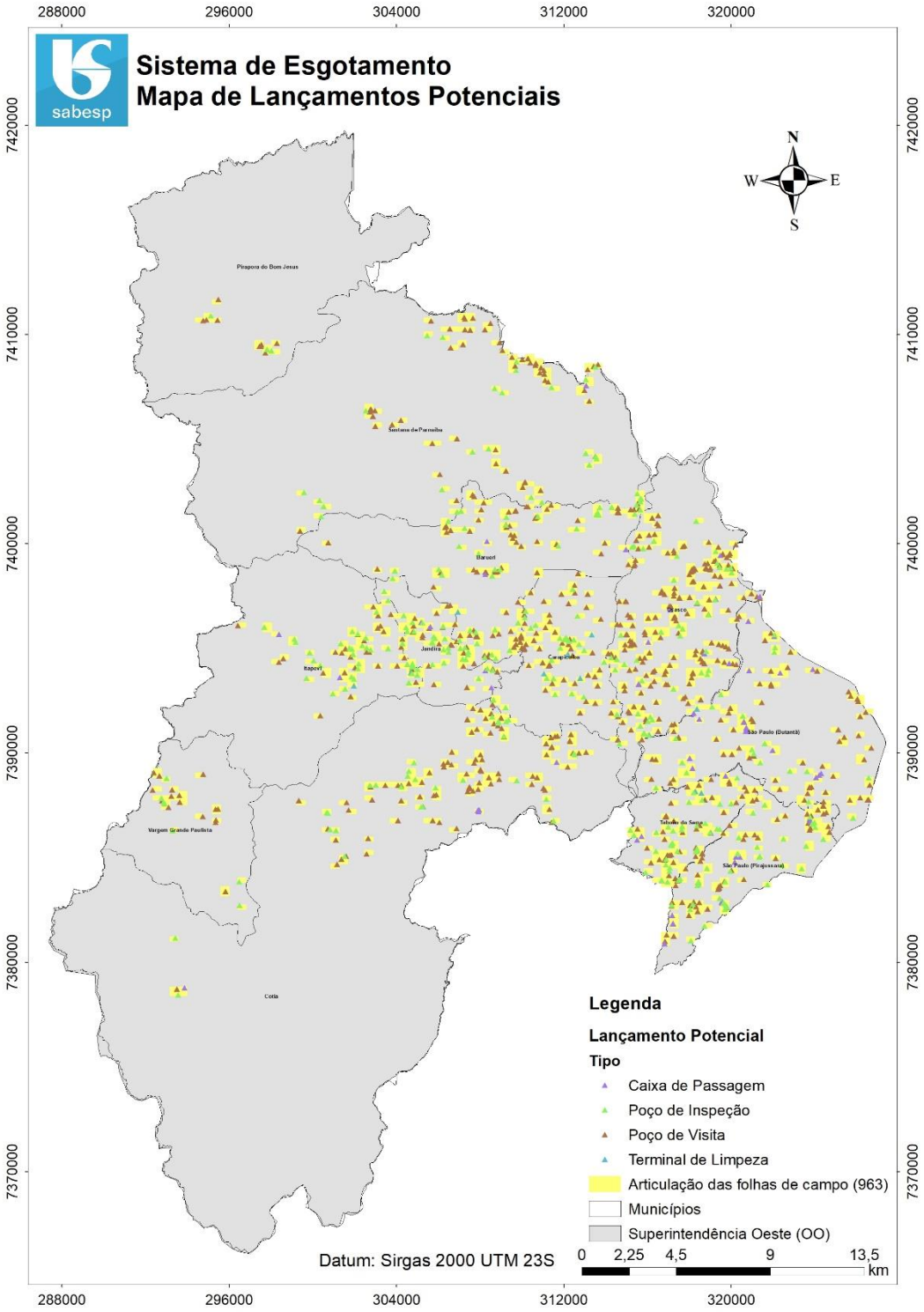
Ainda a verificar a Figura 2, nota-se que a situação predominante dos lançamentos vistoriados é do tipo 2, ou seja, Interligado, totalizando 641 (seiscentos e quarenta e um) unidades, o que corresponde a 59,57% de todo conjunto, seguido de 9,20% como Existente – não interligado (99 unidades), 9,66% como Inacessível (104), 14,41% como Não localizado (155) e 7,16% como Obstruído (77).

Este contexto corrobora, a despeito de eventuais problemas de manutenção, a preocupação ambiental da SABESP em relação à obrigatoriedade do tratamento do esgotamento sanitário, reforçando seu compromisso ao atendimento das metas de universalização dos serviços públicos de saneamento básico até 2033 para os municípios que integram a URAE 1 – Sudeste (SABESP, 2023).

A Figura 3 apresenta o mapa com os lançamentos potenciais categorizados pelo tipo de conexão de esgoto, associados a um mosaico composto de 963 folhas de campo, sendo: 63 Caixas de Passagem (CP), 329 Poços de Inspeção (PI), 689 Poços de Visita (PV) e 11 Terminais de Limpeza (TL).

A análise da Figura 3 revela que as singularidades do tipo PV (Poço de Visita) e PI (Ponto de Inspeção) são mais facilmente identificáveis durante as vistorias de campo, pois esses dispositivos possuem tampões que permitem a verificação visual das redes coletoras de entrada e saída. Em contraste, os dispositivos do tipo CP (Caixa de Passagem) e TL (Terminal de Limpeza) não possuem sistema de abertura, sendo utilizados apenas para mudança de orientação e/ou material da tubulação e desobstrução do esgoto, respectivamente. Devido à dificuldade de manutenção associada a esses dispositivos, ambos foram descontinuados pela Sabesp há algum tempo (SABESP, 2022).

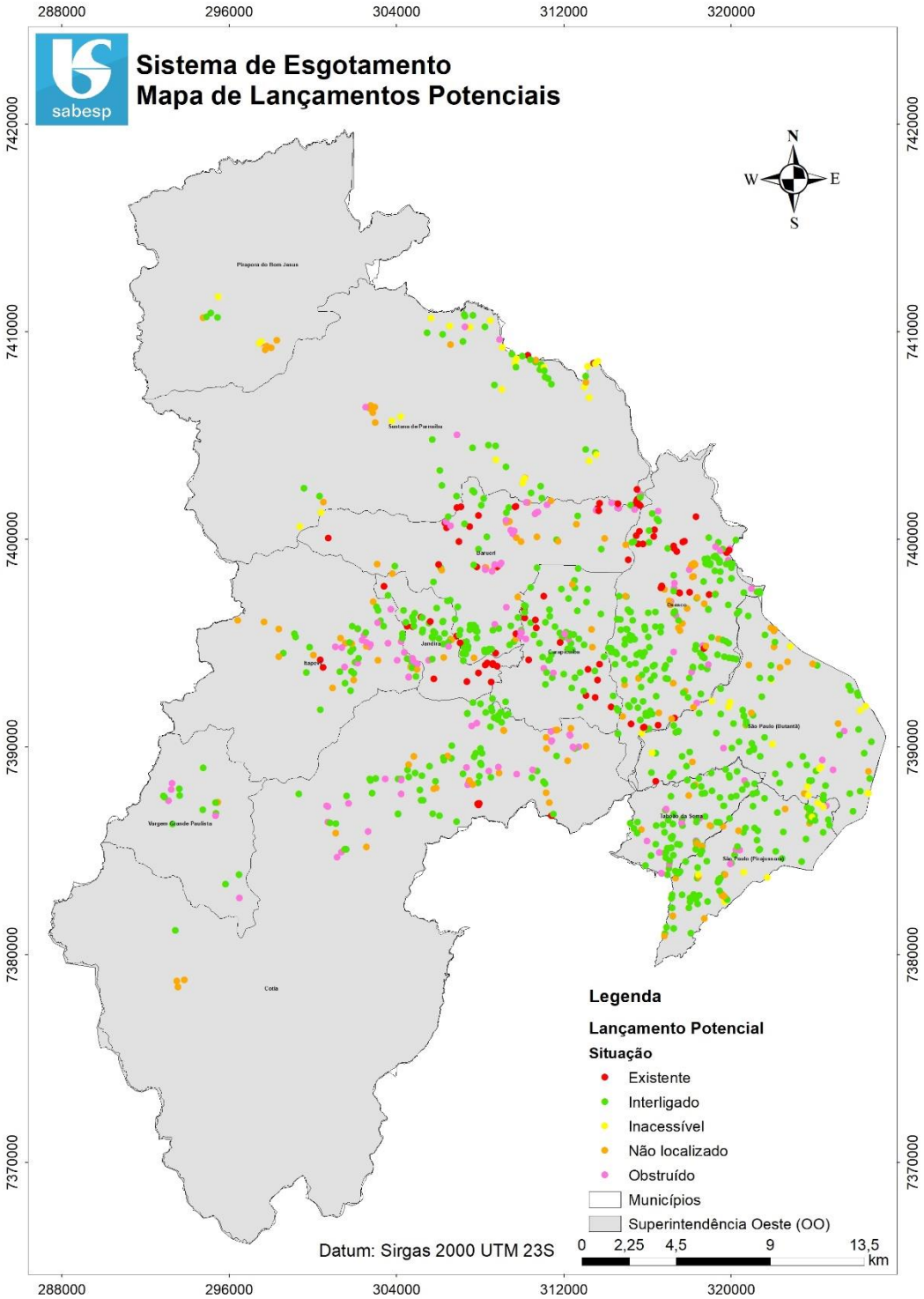
Figura 3 – Mapa de lançamento potencial por tipo de singularidade de esgoto com mosaico.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 4 apresenta o mapa de lançamentos potenciais classificados pela situação da vistoria, apontando uma similaridade do aglomerado de poços nos municípios mais urbanizados como Osasco e São Paulo, por exemplo.

Figura 4 – Mapa de lançamento potencial por situação vistoriada.



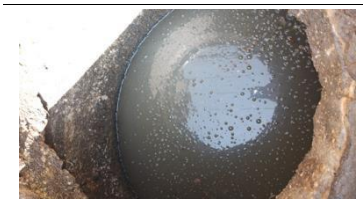
Fonte: Autoria própria.

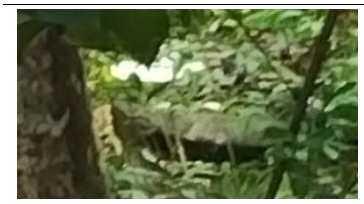
Analisando a Figura 4, verifica-se que os lançamentos do tipo Interligado (cor verde) tendem a estar mais próximos entre si em relação aos demais. Isso ocorre, pois geralmente a SABESP tende a regularizar seus lançamentos por bacia de esgotamento, separadas por contratos. Um exemplo que ocorre atualmente são as obras da do Programa denominado Integra Tietê, em sua quarta etapa, desde 1992, que irá despoluir o principal corpo hídrico paulista (SÃO PAULO, 2023).

O Quadro 3 apresenta os resultados de 17 lançamentos vistoriados, revelando a presença de 12 pontos de lançamento de efluentes não tratados em córregos, solo ou áreas de preservação permanente (APPs), assim como evidencia as dificuldades encontradas durante a vistoria de campo para a correta inspeção de potenciais lançamentos de efluentes.

Quadro 3. Relatório da situação dos lançamentos vistoriados.

Foto	*Nº do Lançamento Potencial*	*Nº Folha de Campo*	*Situação*
	253	131	Lançamento localizado, despejando em córrego, feito teste de corante.
	A	131	Lançamento não localizado. PVs a montante e a jusante cobertos. PV próximo estava travado, não sendo possível abertura do mesmo.
	24	28	Lançamento localizado, feito teste de corante, rede danificada lança ao córrego.
-	237	28	Lançamento não localizado, situado em ocupação irregular. Sem foto – atividades ilícitas.
	B	28	Lançamento localizado, PV sem fluxo, pois rede coletora está danificada à montante.
	223	155	Lançamento não localizado, PV travado, não foi possível aplicar teste de corante.
	259	155	Lançamento não localizado, PV travado, não foi possível aplicar teste de corante, pois rede coletora à montante não está interligada.

	58	155	Lançamento localizado, PV afogado, despejando da viela em boca de lobo (GAP).
	C	155	Lançamento não localizado, PV travado, não foi possível aplicar teste de corante, pois rede coletora à montante não está interligada.
	D	120	Lançamento localizado, rede coletora existente, mas não cadastrado no SIG da Sabesp (rede sem cadastro).
	E	120	Lançamento localizado, PV recoberto de asfalto, porém aplicado teste em PV à jusante e confirmado despejo em córrego.
	138	78	Lançamento localizado, PV despeja em PV de entrada da Estação Elevatória de Esgoto (EEE).
	73	78	Lançamento localizado, despejando em GAP.
	E	120	Lançamento localizado, PV recoberto de asfalto, porém aplicado teste em PV à jusante e confirmado despejo em córrego.
	162	78	Lançamento localizado, PV coberto e aplicado teste de corante.

	158	142	Lançamento localizado, PV afogado e inoperante.
	247	78	Lançamento localizado, acesso difícil (mata fechada), despejando em rua paralela, à jusante.
	35	78	Lançamento localizado, aplicado teste, lança em GAP.
	248	78	Lançamento não localizado, pois PV estava recoberto de asfalto (camada grossa), não visível.

Fonte: Toniolo et al. (2023).

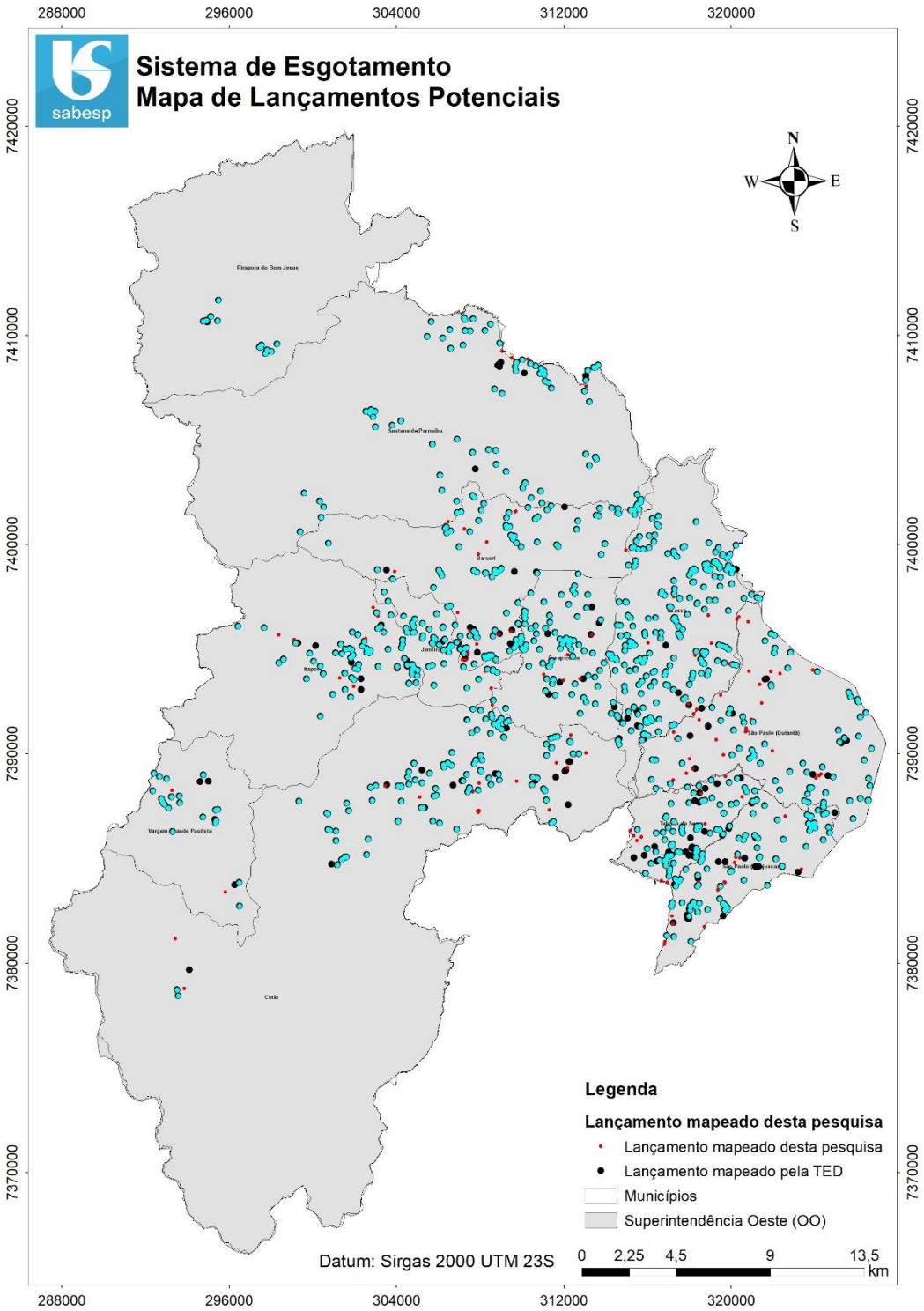
A automatização de processos em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), apesar de suas limitações, apresenta vantagens significativas. Esse método reduz drasticamente o tempo de conferência necessário pelo analista, em comparação com a inspeção visual e manual de cada ponto de interesse, resultando em uma economia indireta dos custos associados à hora-homem. No entanto, a inspeção visual e manual ainda é essencial para a validação, constituindo uma etapa crítica do modelo automatizado e não podendo ser negligenciada, a fim de assegurar a precisão do processo (ROSA, 2013).

O desenvolvimento de inspeções de campo robustas e eficazes é um elemento crucial na implementação da Resolução CONAMA 430/2011, que define diretrizes abrangentes para o gerenciamento de efluentes e a proteção de recursos hídricos. Tais inspeções garantem o cumprimento rigoroso das normas estabelecidas, verificando se as instalações industriais e de tratamento de efluentes operam em consonância com as diretrizes ambientais em vigor. Além disso, possibilitam a identificação de potenciais infrações e falhas no processo de tratamento de efluentes, permitindo a intervenção imediata e a implementação de medidas corretivas para prevenir a poluição ambiental. Dessa maneira, as inspeções de campo assumem um papel fundamental na preservação dos recursos hídricos e na promoção da sustentabilidade ambiental, assegurando que os padrões de qualidade da água sejam atendidos de forma eficaz e eficiente (CONAMA, 2011).

A Figura 5 apresenta a comparação do mapeamento desta pesquisa com o mapeamento feito pelo Departamento de Gestão de Ativos da Sabesp (TED): apontando um índice de acerto de 87,38%, ou seja, as coordenadas geográficas de 928 unidades mapeadas deste trabalho coincidiram são as mesmas das 1.092 unidades mapeadas pela TED. Estas unidades coincidentes estão destacadas na cor azul da Figura 5.

Esta ocorrência confirma que não importa o SIG a ser usado, de forma que se as ferramentas geotecnológicas forem aplicadas corretamente, os resultados deverão ser semelhantes, conforme fundamenta ABRAHÃO (2020).

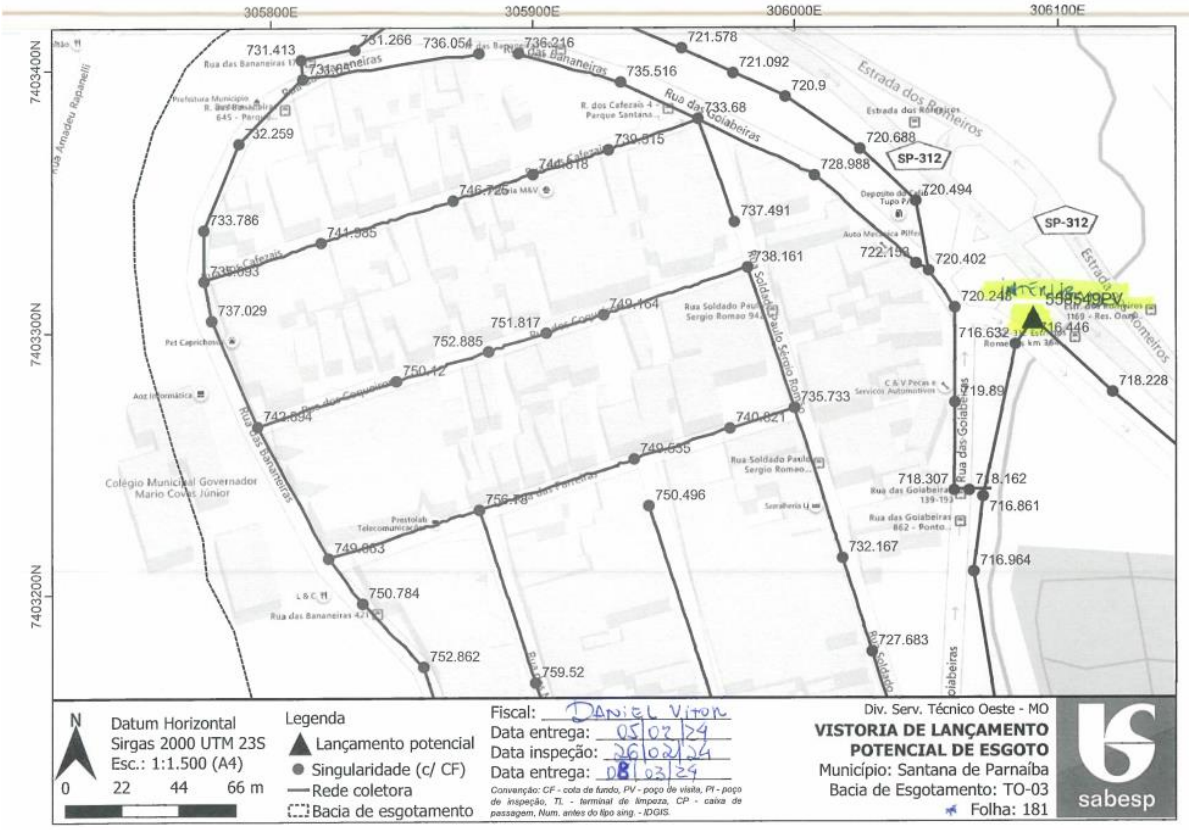
Figura 5. Mapa comparativo entre rotina atual com rotina da TED Sabesp.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 6 complementa o estudo, apresentando uma folha de campo vistoriada, em formato A4 e escala 1:1.500, contendo todas as informações necessárias para a identificação do lançamento potencial: coordenadas UTM, barra de escalas, legenda com identificação de ruas, rede coletora, hidrografia, lançamento potencial e singularidades.

Figura 6. Exemplo de folha de campo vistoriada.



Fonte: Autoria própria.

A análise da Figura 6 reforça que as vistorias de campo, além da inspeção visual, podem ser complementadas por técnicas adicionais para aprimorar a identificação de lançamentos de efluentes. Três métodos eficazes nesse sentido são: teste de corante, teste de fumaça e televisionamento (NUVOLARI, 2011).

- Teste de corante: O teste de corante em redes de esgoto consiste na introdução de um corante não tóxico e colorido no sistema com o objetivo de detectar vazamentos, obstruções e problemas de fluxo. O corante, ao percorrer a rede, revela pontos de fuga através da coloração da água ou do solo em áreas adjacentes. Essa técnica se destaca pela simplicidade, baixo custo e efetividade na identificação de falhas na rede coletora.

- Teste de fumaça: No teste de fumaça, uma substância não tóxica em forma de fumaça é injetada por meio de uma bomba em pontos específicos da rede de esgoto. A fumaça, ao encontrar vazamentos ou conexões defeituosas, migra para a superfície, indicando a localização precisa dos pontos de lançamento de efluentes. Essa técnica se mostra vantajosa por ser rápida, segura e eficiente na identificação de falhas em tubulações e conexões subterrâneas.

- Televisionamento: O televisionamento, por sua vez, consiste na inserção de uma câmera de alta resolução atrelada a um cabo flexível na tubulação para a filmagem do interior da mesma. Essa técnica permite uma inspeção detalhada das condições das tubulações, possibilitando a identificação precisa de fissuras, rachaduras, obstruções e outros problemas que podem comprometer a integridade da rede e gerar lançamentos de efluentes. Apesar de representar um custo mais elevado em comparação aos testes de corante e fumaça, o televisionamento oferece uma visão abrangente do estado interno das tubulações, subsidiando a tomada de decisões assertivas para reparos e manutenções.

CONCLUSÕES

A utilização de SIG para a sistematização de lançamentos potenciais de efluentes se apresenta como uma ferramenta promissora para a gestão ambiental, especialmente na identificação de pontos de despejo inadequado. A aplicação dessa metodologia em caráter preliminar permite direcionar ações de fiscalização e monitoramento, contribuindo para a proteção dos recursos hídricos e a preservação do meio ambiente.

As varreduras são essenciais para validar o destino e estado do lançamento potencial, permitindo a alteração do seu status no SIG corporativo, isto é, o "definitivo" substituindo o "provisório", além de registrar o dinamismo do ambiente antrópico que constantemente altera as características limnológicas do efluente, em função, por exemplo de mudanças na infraestrutura viária, recobrimento de vias, instalação de novas fábricas etc.

Por fim, como terceira etapa desta pesquisa, recomendam-se a aplicação da metodologia para todos os municípios operados da Sabesp, usando como referência altimétrica um modelo digital de terreno (MDT), único.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAHÃO, N. C. *Aplicações GIS para empresas de saneamento básico*. Editora ABES, ed. 1, São Paulo, 2020.

2. BRASIL. Lei nº11.445 de 5 de janeiro de 2007. *Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico*; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2007.

3. BRASIL. Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020. *Atualiza o marco legal do saneamento e altera a Lei nº 9.984*, de 17 de julho de 2.000. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2020.

4. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2011.

5. FERREIRA, R. *Conheça os diferentes tipos de água*, 2017. Disp. em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2017/03/conheca-os-diferentes-tipos-de-agua/#:~:text=%C3%81guas%20superficiais%3A%20como%20o%20pr%C3%B3priofonte%20de%20abastecimento%20do%20planeta>. Acesso em: 1 jun. 2024.

6. FRAGA, M. S.; ALMEIDA, L. T.; ABREU, M. C.; SILVA, F. B.; REIS, G. B.; FERREIRA, R. G. *Avaliação da qualidade das águas superficiais na circunscrição hidrográfica do rio Piranga utilizando análise estatística multivariada e não paramétrica*. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 02, p. 694-710, 2021.

7. GE. General Eletric. Geospatial Information Systems - *Smallworld GISspatial Information Systems* - Smallworld GIS, 2023. Disponível em: < https://www.ge.com/digital/applications/smallworld-gis-geospatial-asset-management>. Acesso em: 02 out. 2023.

8. MORAIS, E. B. *Indicadores microbiológicos, metais e índice de qualidade da água (IQA) associados ao uso e ocupação da terra para avaliação da qualidade ambiental da microbacia do rio cabeça, na bacia do rio Corumbataí, SP*. Rio Claro. 2010. 158 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências.

9. NERY, L. M.; SIMONETTI, V. C.; MACHADO, L. P.; SILVA, D. C. C. *Geotecnologias aplicadas na análise do risco de contaminação de poços de água no município de Sorocaba, SP*. *Holos Environment*, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 214–230, 2020. DOI: 10.14295/holos.v20i2.12376. Disponível em: <https://holos.emnuvens.com.br/holos/article/view/12376>. Acesso em: 15 mar. 2024.

10. NUVOLARI, A. Esgoto Sanitário: *Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola*. São Paulo: Editora Bucher, 2ª ed., 2011.

11. ONU. Organização das Nações Unidas. Agências da ONU lançam *Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos*, 2021. Disp. em:<https://brasil.un.org/ptbr/123077-agencias-da-onu-lancam-relatorio-mundial-sobre-o-desenvolvimento-dos-recursoshidricos>. Acesso em: 16 jan. 2024.

12. QGIS. *Manual de treinamentos QGIS*, 2023. Disponível em: < Manual de treinamento QGIS — documentação QGIS Documentation https://docs.qgis.org/3.28/pt_BR/docs/training_manual/index.html>. Acesso em: 01 out. 2023.

13. ROSA, R. *Introdução ao Geoprocessamento*. Uberlândia: UFU, 142 p., 2013.

14. SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. *Relatório de Sustentabilidade 2022.* São Paulo: Sabesp, 2023.

15. SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. *Especificações Técnicas, Regulamentação de Preços e Critérios de Medição: Banco de Preços de Obras e Serviços de Engenharia*. São Paulo: Sabesp, 3ª ed., rev. 2.61, 2022.

16. SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Servidor do Cadastro Oeste. *Mapas temáticos da Unidade Oeste – MO Sabesp*. São Paulo, 2021. Mapas diversos: 118,9 x 84,1 cm. Escala: 1:20.000.

17. SÃO PAULO (Estado). Relatório nº 88 219-205 – *Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Rio Cotia: Caracterização Regional*. Drenatec Engenharia S/C ltda & Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. São Paulo, 2007.

18. SÃO PAULO (Estado). *Integra Tietê. Sobre o programa*. 2023. Disponível em: < https://semil.sp.gov.br/integratiete/programa/>. Acesso em 03 jun. 2024.

19. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Painel de Indicadores*, 2023. Disponível em: <http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua_esgoto/mapa-esgoto/>. Acesso em: 02 mai. 2024.

20. TONIOLO, B. P. *Metodologia de avaliação de degradação ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento e Sensoriamento Remoto na Bacia Hidrográfica do Rio Cotia – SP*. Dissertação de Mestrado, 123 f. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Sorocaba, SP, 2020.

21. TONIOLO, B. P.; BOCATO, H. B.; SIMAS I. T. H.; SILVA, D. C. C.; LOURENÇO, R. W. *Análise automatização em SIG como opçõ para o mapeamento de lançamentos potenciais de Sistema de esgotamento – Etapa 1*. Anais… Sustentare & WIPIS, 2023.

22. VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 452 f., 2007.