



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

FELIPE REIS DA CRUZ

VALIDAÇÃO E CORREÇÃO TOPOLÓGICA EM DADOS VETORIAIS: ESTUDO DE  
CASO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE CARTOGRAFIA TEMÁTICA EM SALVADOR

SALVADOR

2025

FELIPE REIS DA CRUZ

VALIDAÇÃO E CORREÇÃO TOPOLÓGICA EM DADOS VETORIAIS: ESTUDO DE CASO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE CARTOGRAFIA TEMÁTICA EM SALVADOR

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da disciplina GENG0045 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II, do Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia da Universidade Federal da Bahia.

Orientador: Prof Dr. Fabiano Peixoto Freiman  
Coorientador: Prof Dr. Mauro Alixandrini

SALVADOR

2025

---

C957 Cruz, Felipe Reis da.

Validação e correção topológica em dados vetoriais: estudo de caso para implementação de cartografia temática em Salvador / Felipe Reis da Cruz. – Salvador, 2025.

58f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Peixoto Freiman.

Coorientador: Prof. Dr. Mauro Alixandrini.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Curso de Graduação em Agrimensura e Cartográfica, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2025.

1. Topologia. 2. Geoprocessamento. 3. Cartografia fiscal. I. Freiman, Fabiano Peixoto. II. Alixandrini, Mauro. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

---

CDD: 514

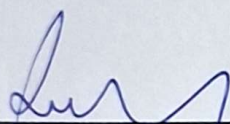
Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Bernadete  
Sinay Neves, Escola Politécnica – UFBA.

## TERMO DE APROVAÇÃO

FELIPE REIS DA CRUZ

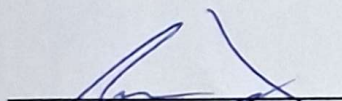
### VALIDAÇÃO E CORREÇÃO TOPOLÓGICA EM DADOS VETORIAIS: ESTUDO DE CASO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE CARTOGRAFIA TEMÁTICA EM SALVADOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.



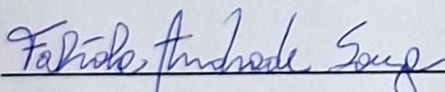
Prof.º Dr. Fabiano Peixoto Freiman

Orientador(a) – Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA



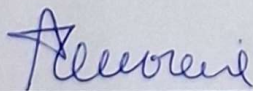
Prof.º Dr. Mauro José Alixandrini Junior

Coorientador - Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA



Prof(a). Mscª Fabiola Andrade Souza

Membro - Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia , UFBA



Dilson Tanajura Moreira

Membro Externo - Núcleo de Geodadaos SEFAZ, PMS

Salvador, 10 de Dezembro de 2025.

## Validação e correção topológica em dados vetoriais: Estudo de caso para implementação de cartografia temática em Salvador

### RESUMO

A consistência topológica em dados geoespaciais é um requisito imprescindível para a gestão territorial. Este trabalho propõe e valida uma metodologia híbrida para a correção de inconsistências em bases vetoriais extensas, focando na produção de cartografia temática fiscal em Salvador. O estudo de caso partiu de um universo de mais de 1 milhão de feições do CDGV, composto por conjuntos homologados e não homologados, que apresentavam 136.142 inconsistências identificadas. A metodologia foi estruturada em dois fluxos de desenvolvimento iterativos, baseados na arquitetura PostgreSQL/PostGIS e nas ferramentas QGIS/DSG Tools. A aplicação detalha as dificuldades metodológicas encontradas, como a introdução de novos erros pelo *ST\_Snap*, e as soluções híbridas desenvolvidas, como o uso de "buffer negativo" em SQL para corrigir erros de contenção. O processo resultou em uma base de dados íntegra com 544.746 lotes e 16.182 quadras hierarquicamente consistentes. Como resultado final, a consistência topológica permitiu a implementação de Triggers no PostGIS, criando uma base de dados geoespaciais íntegra que automatiza a geração de geocódigos e se protege contra erros futuros. A metodologia híbrida, combinando SQL, plugins e revisão manual, é validada como uma solução robusta para o tratamento de dados geoespaciais legados e complexos.

**Palavras-chave:** Topologia; Geoprocessamento; PostGIS; QGIS; SQL; Cartografia Fiscal; Validação de Dados; Banco de Dados Geoespacial.

### ABSTRACT

Topological consistency in geospatial data is an essential requirement for territorial management. This work proposes and validates a hybrid methodology for correcting inconsistencies in extensive vector databases, focusing on the production of fiscal thematic cartography in Salvador. The case study started from a universe of more than 1 million CDGV features, composed of homologated and non-homologated sets, which presented 136,142 identified inconsistencies. The methodology was structured in two iterative development flows, based on the PostgreSQL/PostGIS architecture and on the QGIS/DSG Tools tools. The application details the methodological difficulties encountered, such as the introduction of new errors by *ST\_Snap*, and the hybrid solutions developed, such as the use of "negative buffer" in SQL to correct containment errors. The process resulted in an integrated database with 544,746 parcels and 16,182 blocks hierarchically consistent. As a final result, the topological consistency allowed the implementation of Triggers in PostGIS, creating an integrated geospatial database that automates the generation of geocodes and protects itself against future errors. The hybrid methodology, combining SQL, plugins, and manual review, is validated as a robust solution for the treatment of legacy and complex geospatial data.

**Keywords:** Topology; Geoprocessing; PostGIS; QGIS; SQL; Fiscal Cartography; Data Validation; Geospatial Database.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Vetores disponíveis no CDGV.</b>	<b>9</b>
<b>Figura 2 - Divisão de vetores homologados e não homologados</b>	<b>13</b>
<b>Figura 3 - Modelo adaptado para a metodologia proposta</b>	<b>14</b>
<b>Figura 4 - Diagrama de funcionamento</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5 - Fluxograma metodológico.</b>	<b>19</b>
<b>Figura 6 - Ferramenta de filtro do QGIS, exemplo de aplicação da consulta de objetos.</b>	<b>24</b>
<b>Figura 7 - Exemplo de Correção Semântico-Geométrica.</b>	<b>26</b>
<b>Figura 8 - Verificação topológica com plugin nativo do QGIS.</b>	<b>27</b>
<b>Figura 9 - Descrição de parâmetros da ferramenta Limpeza topológica de Polígonos.</b>	<b>28</b>
<b>Figura 10 - Resultado da verificação topológica após procedimento.</b>	<b>30</b>
<b>Figura 11 - Vizinhança com erros de completude visíveis.</b>	<b>31</b>
<b>Figura 12 - Vetores consolidados após união dos lotes.</b>	<b>32</b>
<b>Figura 13 - Área de propriedade particular das ilhas e do continente.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 14 - Separação entre os vetores da parte homologada e os lotes 7 a 10.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 15 - Quadras Fiscais geradas após fluxo 1.</b>	<b>45</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Inventário de dados utilizados.	15
Quadro 2 – Estrutura de compatibilização semântica.	23
Quadro 3 – Filtros aplicados para cada objeto de interesse da compatibilização semântica.	24
Quadro 4 – Script SQL para mesclar polígonos pequenos.	37
Quadro 5 – Script SQL de remoção de vértices duplicados.	39
Quadro 6 – Script SQL para reduzir geometrias de lotes fiscais.	39
Quadro 7 – Script SQL para numerar quadras fiscais.	48
Quadro 8 – Script SQL para numerar lotes fiscais.	49
Quadro 9 – Trigger de Validação de Hierarquia (Lote-Quadra).	50
Quadro 10 – Trigger de Validação de Topologia (Sobreposição de Lotes).	50
Quadro 11 – Trigger de Automação de Geocódigo (sql).	50

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 – Quantificação de erros topológicos por lote na base de polígono geral</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 2 – Quantificação de erros topológicos na base de lotes fiscais continental</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 3 – Quantificação de resultados na base de lotes fiscais</b>	<b>46</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	8
1.2. JUSTIFICATIVA	10
1.3. OBJETIVO	11
<b>2. METODOLOGIA</b>	<b>11</b>
2.1. CONJUNTO DE DADOS	12
2.2. AMBIENTE E FERRAMENTAS	15
2.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
<b>3. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO E RESULTADOS</b>	<b>20</b>
3.1. APLICAÇÃO	21
3.1.1. FLUXO 1: CONFECÇÃO DE QUADRAS FISCAIS	21
3.1.1.1. PROCESSAMENTO DAS CLASSES DE APOIO (HOMOLOGADA)	21
3.1.1.2. PROCESSAMENTO DAS CLASSES DE APOIO (NÃO HOMOLOGADA)	22
3.1.1.2.1. COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA	23
3.1.1.2.2. VERIFICAÇÃO E CORREÇÃO TOPOLÓGICA	27
3.1.1.3. CONSOLIDAÇÃO DAS CLASSES DE APOIO	32
3.1.1.4. CONSOLIDAÇÃO DE QUADRAS FISCAIS	33
3.1.2. FLUXO 2: CONFECÇÃO DOS LOTES FISCAIS	34
3.1.2.1. PROCESSAMENTO	34
3.1.2.2. VERIFICAÇÃO E CORREÇÃO TOPOLÓGICA	37
3.1.3. VALIDAÇÃO FINAL E ITERAÇÃO	38
3.2. RESULTADOS	41
3.2.1. CONFECÇÃO DE QUADRAS FISCAIS	42
3.2.1.1. COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA	42
3.2.1.2. CORREÇÃO TOPOLÓGICA BASE NÃO HOMOLOGADA	42
3.2.2. CONFECÇÃO DE LOTES FISCAIS	46
3.2.2.1. PROCESSAMENTO	46
3.2.2.2. CORREÇÃO TOPOLÓGICA	46
3.2.3. CARTOGRAFIA TEMÁTICA FISCAL	47
3.2.3.1. SETORES FISCAIS	47
3.2.3.2. QUADRAS FISCAIS	47
3.2.3.3. LOTES FISCAIS	47
3.2.3.4. REGRAS E FUNÇÕES	48
3.3. DISCUSSÕES	51
<b>4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No contexto da administração pública e do planejamento urbano, a organização e a integridade dos dados geoespaciais são fundamentais para uma gestão territorial eficaz, uma vez que fornecem subsídios técnicos para análises espaciais consistentes, formulação de políticas públicas, e planejamento de infraestrutura. A modelagem adequada das classes espaciais, como setores, quadras e lotes fiscais, permite não apenas a arrecadação justa de tributos, mas também a implementação de políticas públicas precisas e o correto zoneamento urbano (Nascimento *et al.*, 2020).

Entretanto, a presença de inconsistências topológicas e estruturais em bancos de dados geográficos (BDG) compromete diretamente a confiabilidade das análises espaciais, dificultando processos de atualização cadastral e a geração de novas bases temáticas. Tais inconsistências geram retrabalho, elevação de custos e perda de eficiência nos processos decisórios da gestão pública municipal (França; Portugal, 2022).

A modelagem de dados geoespaciais e sua implementação têm como objetivo principal representar objetos localizados espacialmente em um sistema de referência; tal representação é concebida de forma a possibilitar maior aderência à realidade. Para isso, a modelagem segue conceitos lógicos e de integridade, de modo a garantir que os dados possam ser manipulados futuramente, apresentando alto potencial de análise e confiabilidade (Lizardo; Davis Jr, 2017).

A consistência topológica da base cartográfica é um requisito para a confiabilidade das análises espaciais e para a viabilidade de processos automatizados no âmbito da gestão territorial. No contexto do Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), essa base deve constituir o alicerce para a estruturação de um sistema integrado e progressivo. No entanto, observa-se que, na realidade brasileira, a elaboração da base cartográfica frequentemente não é acompanhada por fases de consolidação cadastral, o que resulta em dados geoespaciais com falhas topológicas e/ou semânticas (Erba, 2007; Silva *et al.*, 2023).

Tais inconsistências comprometem a plena utilização dos dados geoespaciais e dificultam a aplicação de análises automatizadas em áreas críticas como o zoneamento urbano, a tributação e o planejamento territorial. Além disso, impedem a reorganização eficiente desses dados em novos produtos temáticos,

limitando seu potencial em diferentes frentes da gestão pública. Como resultado, a cartografia básica é sobrecarregada com demandas que exigiam, na verdade, um sistema cadastral mais estruturado e evoluído. Esse cenário gera um ciclo contínuo de reprocessamento cartográfico e alta demanda para projetos aerofotogramétricos, os quais não são capazes de corrigir problemas estruturais que originam essas deficiências (Silva *et al.*, 2023).

### **1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

Apesar da existência de especificações técnicas nacionais, como a ET-EDGV (Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais), ET-ADGV (Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais), ET-CQDG (Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais) e ET-PCDG (Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais), desenvolvidas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro e homologadas pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), sua aplicação efetiva nos municípios ainda é limitada, variando conforme suas capacidades técnicas e operacionais (Brasil, 2016; 2017; 2018).

Essa limitação evidencia uma lacuna significativa: a ausência de metodologias consolidadas e automatizadas de verificação e correção topológica em bases geoespaciais extensas. Em muitos casos, a manutenção da integridade dos dados depende de inspeções manuais e da terceirização de serviços técnicos, o que aumenta os custos, reduz a autonomia institucional e compromete a padronização das informações (Guia *et al.*, 2016; França & Portugal, 2022).

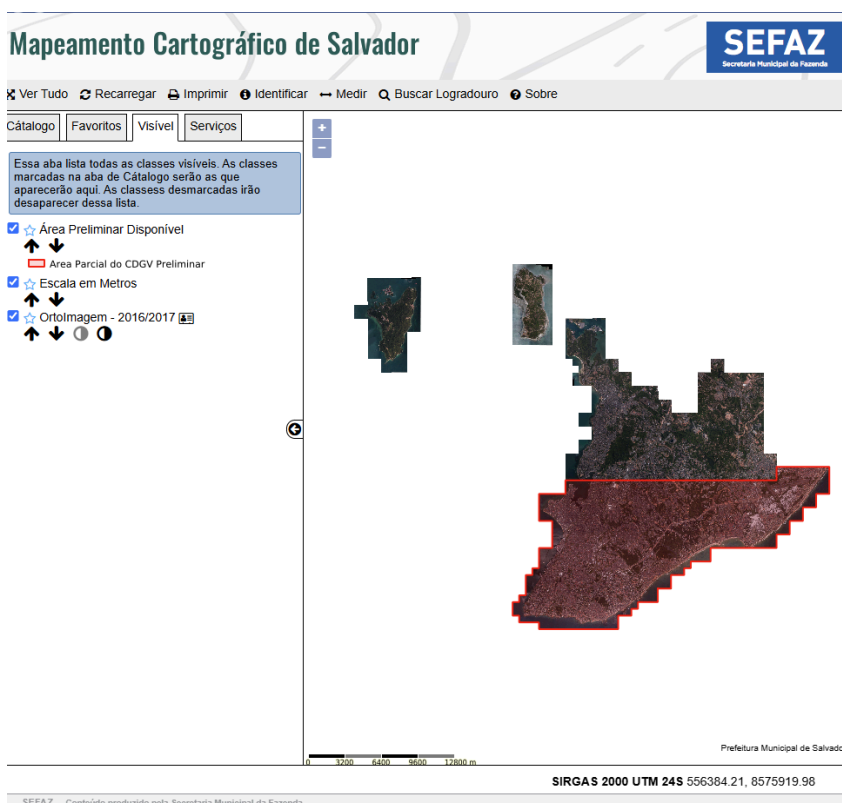
Com o avanço das tecnologias de geoinformação, observa-se a crescente disponibilidade de ferramentas capazes de organizar e verificar dados espaciais. No entanto, a incorporação sistemática desses recursos aos fluxos de trabalho dos órgãos públicos ainda é restrita, o que dificulta a consolidação de uma cultura institucional voltada à gestão ativa e à integridade das bases geográficas (Santos Jr & Ribeiro, 2012).

Essa problemática é especialmente crítica em cidades de grande porte, como Salvador, cuja cartografia oficial resulta do projeto aerofotogramétrico de 2016. Dentre os produtos gerados, destaca-se o Conjunto de Dados Geoespaciais Vetoriais de Salvador (CDGV), composto por dados restituídos em escala 1:1.000, com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) Classe A. Contudo, apenas parte do

território encontra-se homologada e publicada (Figura 1). Esse cenário estabelece o desafio técnico de converter cartografia sistemática contemplando parte homologada e não homologada existente em uma base de cartografia temática voltada especificamente para fins fiscais.

Para que a transição seja viável e resulte em dados confiáveis para a gestão tributária, evidencia-se a necessidade de um processo rigoroso de verificação e correção topológica das feições, assegurando a integridade necessária antes da consolidação definitiva dessa nova camada temática.

**Figura 1 - Vetores disponíveis no CDGV.**



FONTE: SEFAZ-PMS(2025).

A coexistência de conjuntos de dados não homologados e sem validação topológica impõe limitações técnicas críticas à fidedignidade da base cartográfica. Enquanto a parcela homologada do território pressupõe o atendimento a padrões de qualidade, a ausência dessa consistência nas áreas brutas resulta em feições com sobreposições, lacunas e geometrias inválidas que comprometem diretamente a precisão dos cálculos de área e a fidelidade das análises espaciais.

No contexto da cartografia temática fiscal, tais inconsistências impedem a automação de rotinas cadastrais e a geração de geocódigos precisos, gerando incertezas técnicas que inviabilizam o uso direto do dado para fins tributários sem um tratamento prévio que assegure a integridade topológica das feições.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A verificação e correção topológica das bases geoespaciais é uma etapa imprescindível para garantir a integridade e a usabilidade dos dados. Apesar dos avanços tecnológicos, a maioria das prefeituras ainda depende de processos manuais, pouco integrados e com baixo controle de qualidade. Assim, torna-se necessária a adoção de arquiteturas de dados mais robustas, capazes de automatizar a validação e correção de erros topológicos em larga escala.

Nesse sentido, a implementação de bancos de dados geoespaciais relacionais, como o PostgreSQL/PostGIS, representa uma solução eficiente que além de suprir requisitos técnicos reflete em um ganho estratégico a nível institucional por ter arquitetura *Open Source* refletindo em um *software* livre e de código aberto. Essas características garantem maior autonomia institucional diminuindo a dependência da terceirização, possibilitando que a organização usufrua do maior potencial de soberania e independência dos seus dados simultaneamente diminuindo custos e otimizando processos com metodologia próprias e replicáveis.

Essa estrutura permite impor regras topológicas diretamente na base de dados, garantindo controle de integridade contínuo, automação de correções e melhor gerenciamento das informações (Martín Jiménez & Rodríguez Espinosa, 2022). Aliada à flexibilidade operacional de ferramentas livres como o QGIS, essa abordagem possibilita a criação de fluxos metodológicos consistentes, escaláveis e replicáveis no contexto da gestão pública municipal.

A relevância deste estudo está na proposição e aplicação de procedimentos de verificação e correção topológica em uma base vetorial municipal, com foco em dados extensos e heterogêneos como os de Salvador, que resgatam o investimento público na cartografia de 2016/17(CDGV) ao garantir a consistência da base de referência tornando-a utilizável e confiável. O trabalho contribui para a geração de novas camadas temáticas estáveis, fortalecendo o planejamento urbano e

preparando a administração municipal para ambientes digitais e inteligentes (*Smart Cities*) (Ribeiro, 2023).

### **1.3. OBJETIVO**

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver e aplicar procedimentos de verificação e correção topológica em bases geoespaciais extensas, assegurando a consistência dos dados em nível municipal para composição de novas bases cartográficas temáticas. Como estudo de caso, utilizam-se os dados do município de Salvador, adaptando sua base de referência para apoiar ações de planejamento urbano e gestão territorial.

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar o contexto da base vetorial do município de Salvador;
- b) Catalogar e quantificar inconsistências topológicas;
- c) Propor a aplicação de correção topológicas específicas;
- d) Compor novas classes cartográficas e analisar sua consistência final.

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, traçou-se o fluxo metodológico apresentado na Seção 2, que segue.

## **2. METODOLOGIA**

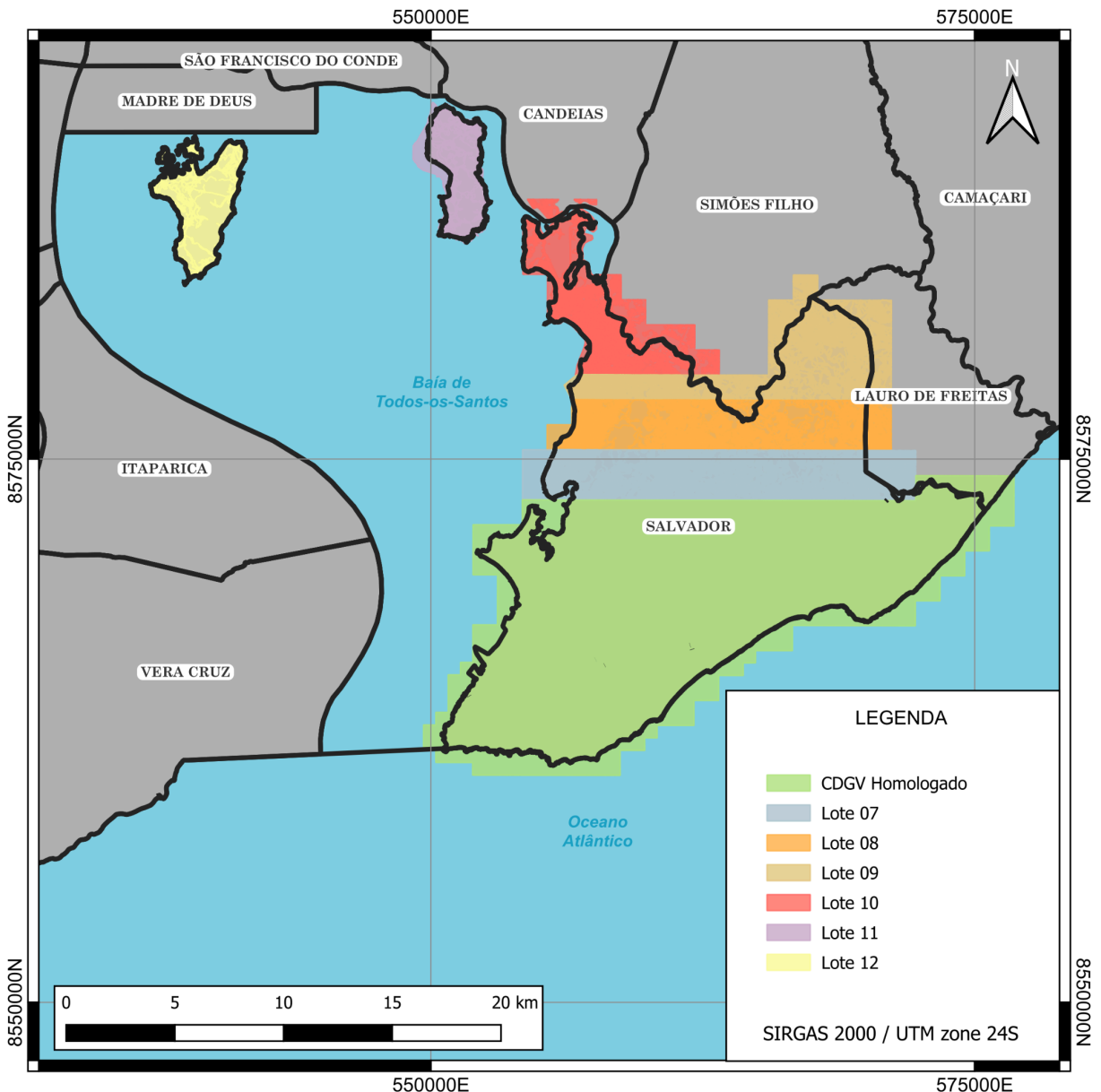
Esta seção descreve os materiais, ferramentas e procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento deste trabalho. O delineamento metodológico foi estruturado para assegurar a reprodutibilidade dos resultados e a coerência entre os objetos propostos. Inicialmente, são apresentados os dados e modelos conceituais utilizados, seguidos pela caracterização do ambiente computacional e ferramentas empregadas na implementação da metodologia. As etapas de processamento foram orientadas pelas normas técnicas nacionais aplicáveis à modelagem e validação de dados geoespaciais, garantindo consistência topológica e integridade estrutural dos produtos gerados.

## **2.1. CONJUNTO DE DADOS**

A base cartográfica vetorial utilizada como insumo é oriunda do acervo do Núcleo de Geodados da Secretaria da Fazenda (SEFAZ) do município de Salvador - BA. O acesso aos dados foi concedido institucionalmente, por meio da participação no projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Cartografia Temática Fiscal vinculado ao órgão.

A cartografia municipal é composta por um conjunto de informações geoespaciais homologadas e de domínio público, bem como por dados ainda em processo de validação interna à época da pesquisa, os dados homologados possuem classificação e estrutura baseada na ET-EDGV e os dados não homologados estão separados em lotes que vão do 7 ao 12 e dividem esses dados em parcelas distintas, essa divisão está detalhada na Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Divisão de vetores homologados e não homologados

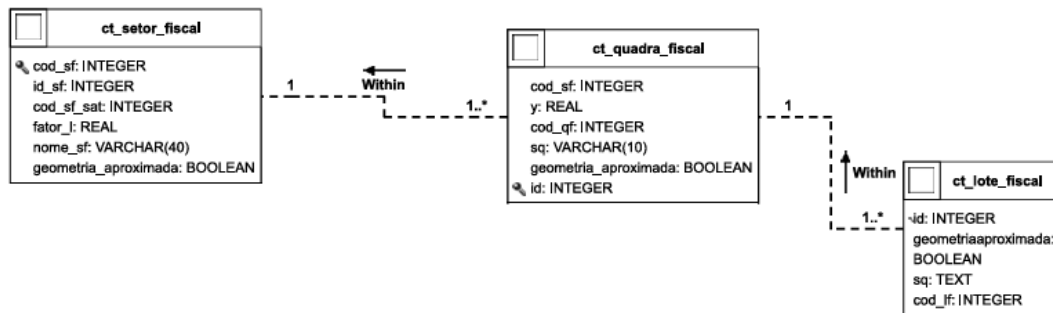


FONTE: O autor (2025).

O modelo de referência do Núcleo de Geodados prioriza a criação e edição de três classes cartográficas principais voltadas à representação fiscal: `ct_setor_fiscal`; `ct_quadra_fiscal`; `ct_lote_fiscal`.

A geração destas classes, com integridade topológica aceitável, exige correções topológicas prévias dos dados base - objetivo central deste trabalho. Para esta pesquisa, o modelo foi adaptado e restringido às três classes vetoriais anteriormente mencionadas, resultando em uma estrutura mais simples e direcionada. A modelagem foi desenvolvida na plataforma *OMT-G Design* proposta por Lizardo e Davis Jr. (2014). O resultado está na Figura 3, a seguir.

Figura 3 - Modelo adaptado para a metodologia proposta



Fonte: O autor(2025).

O modelo conceitual apresentado na Figura 3 utiliza a notação *OMT-G* (*Object-Oriented Modeling Technique for Geographic Applications*) para estabelecer a hierarquia da cartografia temática fiscal. A relação fundamental é a de contenção topológica (*within*): um Setor Fiscal contém  $n$  Quadras Fiscais, que por sua vez contêm  $n$  Lotes Fiscais.

Os atributos definidos para estas classes visam a integração cadastral:

- **cod\_sf, cod\_qf, cod\_lf**: representam os códigos administrativos sequenciais de Setor, Quadra e Lote.
- **id**: chave primária única para gestão no banco de dados.
- **sq**: geocode resultante da concatenação do Setor e da Quadra, essencial para a indexação espacial.
- **geometria\_aproximada**: um campo booleano que atua como indicador de qualidade, sinalizando se a feição passou por ajuste manual ou se é proveniente da restituição bruta sem validação de campo.

A operacionalização deste modelo depende do vasto inventário detalhado no Quadro 1. O uso dos dados foi estratificado em dois grandes fluxos:

1. **Geração de Quadras (Fluxo 1)**: Utilizou-se a base homologada de classes de apoio (como CBGE\_TRECHO\_ARRUAMENTO) e os polígono\_geral não homologados para definir os divisores espaciais (rede viária e vias de pedestre) que segmentam os setores para dar origem as quadras.
2. **Geração de Lotes (Fluxo 2)**: Este fluxo processou o maior volume de dados, combinando os **415.506** objetos da classe área de propriedade particular

homologado (referência de qualidade da prefeitura) com os **154.800** objetos não homologados classificados como área de propriedade particular.

Todos os objetos classificados como área de propriedade particular(homologados e não homologados) são lotes fiscais em potencial, que serão tratados conforme a aplicação do fluxo 2.

**Quadro 1 – Inventário de dados utilizados.**

<b>Categoria do Insumo</b>	<b>Nome(s) Camada(s)</b>	<b>Status</b>	<b>Quant. de Feições</b>	<b>Uso Principal no TCC</b>
Polígonos da restituição bruta	poligono_geral (Lotes 7–12)	Não Homologado	488.551	Insumo para ct_rede_viaria e ct_via_pedestre (1)
Lotes Fiscais Brutos	area_de_propriedade_particular (Lotes 7–12)	Não Homologado	154.800	Insumo para ct_lote_fiscal (2)
Lotes Fiscais Brutos	area_de_propriedade_particular	Homologado	415.506	Insumo para ct_lote_fiscal (2)
Classes de Apoio - CDGV	CBGE_TRECHO_..., TRA_PONTE_..., etc.	Homologado	84.978	Insumo para ct_rede_viaria e ct_via_pedestre (1)
Setores Fiscais	ct_setor_fiscal	Homologado	114	Contém ct_quadra_fiscal

Fonte: O autor(2025).

## 2.2. AMBIENTE E FERRAMENTAS

A extensão dos dados em nível municipal e o volume de feições inviabilizavam a validação topológica e a manipulação de dados em um modelo operacional baseado em arquivos *shapefile*. A implementação dos dados em um banco de dados geoespacial foi, portanto, uma decisão estratégica do P&D para garantir performance, indexação e integração direta com o SIG, facilitando a aplicação de rotinas e scripts complexos de verificação.

O ambiente operacional foi composto pelos seguintes elementos:

- **Hardware:** Estação de trabalho equipada com processador Intel Core i5 de 13ª geração, 16 GB de memória RAM e unidade de armazenamento SSD de 512 GB. Essa configuração é a recomendada para garantir o desempenho estável e a fluidez no processamento de bases extensas, permitindo que o

QGIS 3.26 e o PostgreSQL 15 operem com folga na indexação espacial, renderização de camadas e execução de consultas SQL complexas, evitando gargalos de entrada e saída durante a manipulação dos mais de 1 milhão de feições analisadas neste estudo.

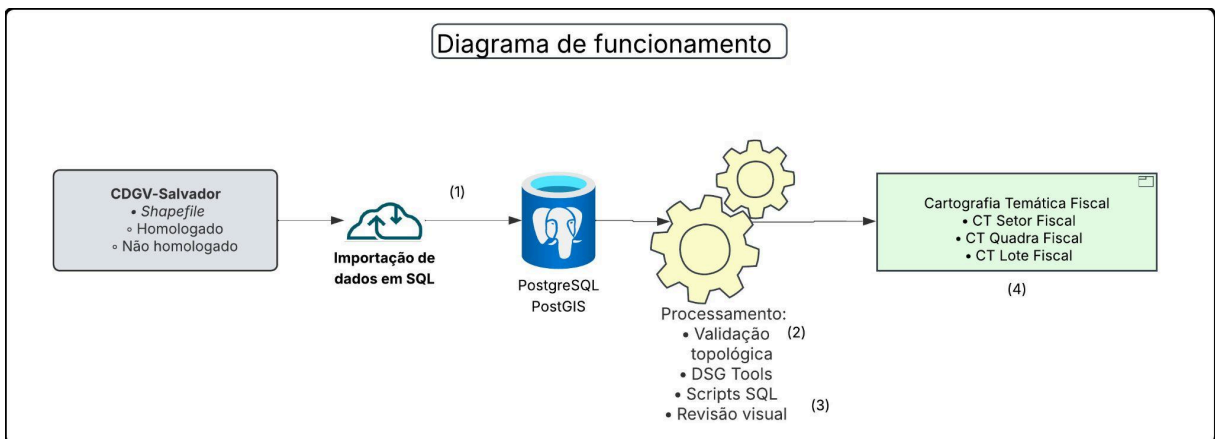
- **Banco de Dados (SGBD):** PostgreSQL (versão 15>), sistema de gerenciamento de banco de dados relacional de código aberto.
- **Extensão Espacial:** PostGIS, extensão do PostgreSQL que adiciona suporte a objetos geográficos, permitindo o armazenamento, a consulta e a análise de dados espaciais diretamente no banco por meio de operadores topológicos.
- **Software SIG (Desktop):** QGIS (versão 3.26 ou superior), um software de Sistema de Informação Geográfica de código aberto, utilizado para manipulação, visualização e processamento dos dados.
- **Plugins do QGIS:** DSG Tools, um conjunto de ferramentas desenvolvido pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro voltado para a adequação à ET-EDGV e a ferramenta Validador Topológico, plugin nativo do QGIS, empregado na identificação e correção de erros geométricos.
- **Software Auxiliar:** LibreOffice (versão 25 ou superior) ou equivalente, para manipulação de planilhas e dados alfanuméricos.
- **Inteligência Artificial (IA) Generativa:** ferramentas como ChatGPT (*OpenAI*) e Gemini (Google) foram utilizadas de forma iterativa para depuração de códigos, diagnóstico de erros e revisão metodológica e textual, conforme diretrizes de Peixoto et al. (2025).

### 2.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A operacionalização da metodologia é apresentada sob duas perspectivas complementares. A Figura 4 (Diagrama de Funcionamento) ilustra o fluxo macroestrutural e a arquitetura de sistemas utilizada, demonstrando a transição dos dados brutos em shapefile para o ambiente PostgreSQL/PostGIS, onde as ferramentas *DSG Tools* e *scripts SQL* são aplicadas para gerar o produto final.

A ingestão em base de dados foi realizada de forma simples, sem modelagem prévia com auxílio do QGIS, apenas para suprir a demanda de processamento com dados em formato mais leve e eficaz.

Figura 4 - Diagrama de funcionamento



Fonte: O autor(2025).

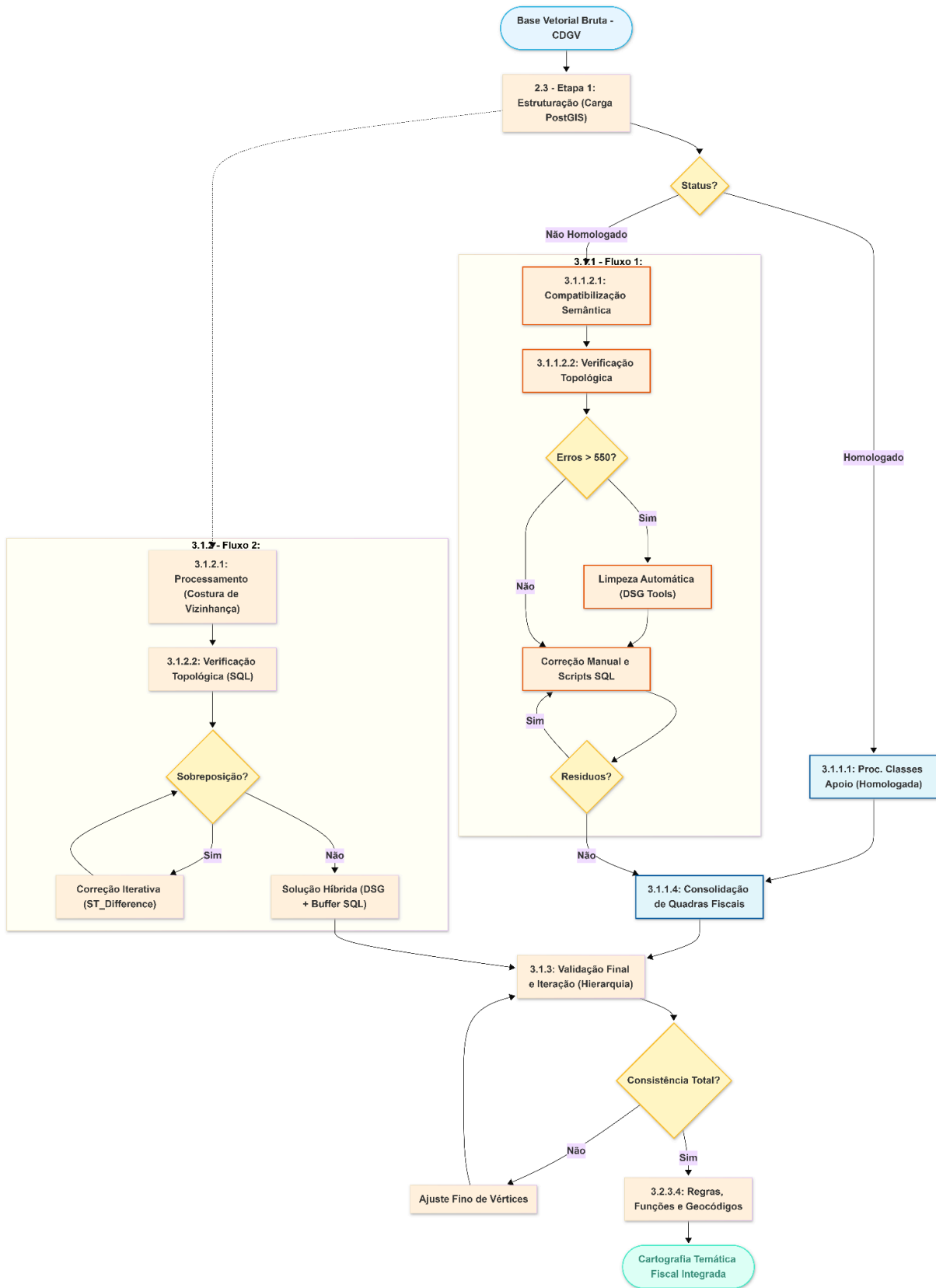
1. **Estruturação:** A primeira etapa consistiu na migração de todos os dados vetoriais brutos (detalhados no Quadro 1) do formato *shapefile* para um banco de dados geoespacial PostgreSQL com a extensão PostGIS. Os dados foram carregados de forma independente da estrutura original do DSGTools. A carga misturou bases homologadas e não homologadas para permitir a conferência de completude espacial, mas foram mantidas em tabelas distintas no PostGIS para preservar a rastreabilidade até a convergência final no modelo conceitual.
2. **Diagnóstico:** A segunda etapa foi a verificação da integridade topológica dos dados de insumo não homologados e na área de propriedade particular homologada. A validação topográfica sistemática (DSGTools) foi priorizada para a base não homologada. Na base homologada, o diagnóstico foi de conferência de vizinhança. O tratamento metodológico envolveu diagnóstico via Validador Topológico do QGIS, Validador Topológico do DSG Tools e diagnóstico via Scripts SQL. Neste ponto, foram aplicados critérios de qualidade topológica baseados nas normas técnicas nacionais, especificamente a ET-CQDG que determina a validação topológica e garantia desta para todos os vetores, especificamente a ausência de sobreposições, ausência de geometrias inválidas, ausência de lacunas injustificadas e ausência de multipartes. No ambiente PostGIS, esta verificação se traduziu no uso de funções espaciais como *ST\_IsValid()* (para geometrias válidas), *ST\_Overlaps()* (para sobreposições), *ST\_Intersects()* (para interseções) e *ST\_Within()* (para contenção).

3. **Tratamento:** A terceira etapa foi a correção das inconsistências topológicas e semânticas identificadas. Este procedimento combinou a aplicação de ferramentas automatizadas de limpeza topológica do plugin DSG Tools, alinhado e programado pela DSG para atender à ET-EDGV com a execução de *scripts* SQL utilizando funções como *ST\_Difference()*, *ST\_Snap()*, *ST\_Union()*, *ST\_MakeValid()* para correções em lote no banco de dados.
4. **Produção:** A etapa final consistiu na geração e validação das classes temáticas fiscais, conforme a hierarquia do modelo conceitual (Figura 3). Esta fase envolveu operações de geoprocessamento e uma nova rodada de verificação de conformidade topológica (ex: garantir que lotes não se sobrepõem e estão contidos em suas respectivas quadras que por consequência precisam estar contidas em seus respectivos setores fiscais), bem como ajustes manuais para compatibilização entre as camadas.

Complementarmente, a Figura 5 (Fluxograma Metodológico) detalha a inteligência operacional do processo. Enquanto a Figura 4 mostra “por onde” o dado passa, a Figura 5 explica 'como' ele é tratado, separando as rotas de decisão para as bases homologadas e não homologadas. Nela, observa-se que o processo não é linear, mas iterativo: os dados passam por ciclos de diagnóstico e correção automática; caso os erros residuais persistam ou novos erros sejam introduzidos, o fluxo retorna para ajustes manuais ou *scripts* refinados.

Esta distinção é fundamental, pois a cartografia temática fiscal exige que a hierarquia seja respeitada, o que demanda que a validação das quadras ocorra e seja consolidada antes da produção definitiva dos lotes, garantindo a aderência topológica total entre as camadas.

Figura 5 - Fluxograma metodológico.



Fonte: O autor (2025).

O fluxograma metodológico (Figura 5) ilustra o fluxo de trabalho completo, que se inicia com a "Base vetorial(com erros)" e se divide em duas rotas de tratamento principais: "Homologada" e "Não homologada". O fluxo da base "Homologada" foca na geração de quadras fiscais, passando por revisão de consistência, verificação de erros e um ciclo de correção iterativo (com *QGIS*, *DSG* e *59SQL*) até que a validade seja atingida. A validade é considerada atingida quando o Verificador Topológico do *QGIS*, do *DSG Tools* e *scripts SQL* reportam zero erros para as regras de: Não sobrepor; Não possuir lacunas (exceto logradouros); Não possuir geometrias inválidas; Não possuir geometrias multiparte; e Estar contido na feição pai (Hierarquia).

Paralelamente, o fluxo "Não homologada" passa por etapas de "Compatibilização semântica" e "Verificação de erros topológicos", seguidas de uma correção automatizada (*DSG Tools*) e "Correção manual de vértices". Por fim, ambos os fluxos convergem para o processamento da "area\_de\_propriedade\_particular" (Homologada e Não Homologada), que passa por sua própria validação, compatibilização manual e estabelecimento de regras para gerar os lotes fiscais, culminando na "Base Temática fiscal validada".

Cabe ressaltar que este estudo integra um projeto institucional de P&D de maior envergadura na SEFAZ Salvador, o qual engloba diversos procedimentos e etapas complementares à gestão territorial municipal. Dentro deste contexto, todas as proposições metodológicas aqui apresentadas foram debatidas e validadas coletivamente com a equipe técnica do órgão.

A execução das etapas operacionais contou com o apoio da equipe do Núcleo de Geodados da SEFAZ, que atuou como força de trabalho nas edições manuais e na revisão semântica (detalhada na Subseção 3.1.1.2.1). Contudo, o foco central deste trabalho, bem como o desenvolvimento das rotinas de automação SQL e a estruturação do fluxo de validação híbrida, constituem a contribuição técnica específica proposta e implementada pelo autor.

A Seção 3 detalha a execução dos procedimentos metodológicos e os desafios práticos de cada etapa no contexto do estudo de caso da SEFAZ Salvador.

### **3. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO E RESULTADOS**

Nesta seção são descritas as aplicações dos procedimentos metodológicos no contexto dos dados geoespaciais vetoriais do município de Salvador, incluindo a demonstração dos respectivos resultados e seus impactos para as etapas subsequentes.

### **3.1. APLICAÇÃO**

A primeira etapa consistiu na análise e separação da base cartográfica em dois conjuntos distintos:

- CDGV homologado: abrangendo a porção sul do município, validada por processos oficiais e consolidada conforme critérios técnicos normativos;
- CDGV não homologado: relativo à região norte, sem validação formal e apresentando inconsistências estruturais e topológicas visíveis.

Essa divisão foi importante para permitir diagnósticos diferenciados e definir estratégias específicas de validação e correção de inconsistências. Os dados homologados foram considerados confiáveis, por já terem passado por processos prévios de aprovação e publicação; por isso, não foram modificados, a priori, durante a composição das novas classes temáticas. Por outro lado, os dados não homologados foram classificados como brutos, dada a ausência de classificação consistente, presença de vetores incompletos e alta incidência de erros topológicos.

#### **3.1.1. FLUXO 1: CONFECÇÃO DE QUADRAS FISCAIS**

Para a confecção das quadras fiscais, os procedimentos indicados nos tópicos que seguem foram executados.

##### **3.1.1.1. PROCESSAMENTO DAS CLASSES DE APOIO (HOMOLOGADA)**

A etapa seguinte envolveu a preparação das classes de apoio necessárias para gerar a camada de quadras fiscais a partir da base homologada. Essa base contém múltiplas classes vetoriais representando elementos da cartografia oficial de Salvador. Foram elaboradas duas classes de apoio:

- “CT\_RED\_VIARIA”: resultante da união da classe “CBGE\_TRECHO\_ARRUAMENTO\_A” e CBGE\_ESTACIONAMENTO\_A com a generalização da categoria "Obra de Arte Viária", composta pelas classes: “TRA\_PONTE\_A”, “TRA\_PASSAGEM\_ELEVADA\_VIADUTO” e “TRA\_TUNEL\_A”.
- “CT\_VIA\_PEDESTRE”: construída a partir da generalização de elementos relacionados à mobilidade urbana: “EMU\_ACESSO\_A”, “EMU\_ESCADARIA\_A”, “EMU\_RAMPA\_A”, “EMU\_ELEVADOR\_A” e complementada pela classe “CBGE\_PASSEIO\_A”.

Estas generalizações tiveram como objetivo consolidar os principais elementos da cartografia que funcionam como divisores espaciais efetivos, permitindo a segmentação contínua e coerente do território em quadras fiscais. Durante esta etapa, as geometrias foram reorganizadas e revisadas para evitar sobreposições, duplicidades, lacunas e geometrias inválidas que pudessem comprometer a consistência topológica da cartografia urbana.

Embora o processamento desses vetores tenha sido relativamente simples na área homologada, constatou-se um cenário mais complexo ao lidar com os vetores não homologados, que apresentavam inconsistências diversas e demandam estratégias específicas de correção e classificação.

### **3.1.1.2. PROCESSAMENTO DAS CLASSES DE APOIO (NÃO HOMOLOGADA)**

A análise inicial da base vetorial não homologada revelou um estado estrutural precário, caracterizado por classificações imprecisas, inconsistentes ou ausentes, além de falhas na completude e vetorização. Essas deficiências comprometeram a coerência topológica e a integridade semântica dos dados, inviabilizando sua utilização direta na modelagem cartográfica.

Foram, então, identificadas as classes de interesse e associadas às nomenclaturas originais presentes no atributo “*layer*”, originado dos procedimentos de restituição bruta sem homologação, sendo a melhor aproximação existente para uma classificação. Essa correspondência possibilitou a reorganização e filtragem

das feições relevantes ao escopo da cartografia fiscal, restabelecendo a coerência estrutural mínima necessária à etapa de validação topológica.

### 3.1.1.2.1. COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA

Como parte desse processo, foi concebida a etapa de compatibilização semântica, que consistiu em analisar e registrar as classificações encontradas, sugerindo correções baseadas em inspeção visual detalhada realizada no QGIS. Essa análise foi documentada em planilhas eletrônicas, que além de apontarem falhas de classificação, também registraram inconsistências de omissão e comissão na vetorização, conforme especifica a ET-CQDG.

A inspeção visual ocorreu com o auxílio de quadrículas SICAD na escala 1:1000, permitindo a análise sistemática de cada porção do território. Para cada inconsistência encontrada, foram descritos: o ID do objeto inconsistente, a numeração da quadrícula, o tipo de inconsistência identificado, a classificação mais adequada sugerida e comentários complementares sobre o problema observado. Essa estrutura de registro está ilustrada no Quadro 2, a seguir.

**Quadro 2 – Estrutura de compatibilização semântica.**

<b>Campo</b>	<b>Formato</b>	<b>Conteúdo</b>
ID	Inteiro	Identificação do objeto analisado
Quadrícula	Inteiro	Identificação da quadrícula em que o objeto foi observado
Inconsistência	Texto	Classificação do tipo de inconsistência
Observação	Texto	Sugestão de classificação do objeto analisado
Descrição	Texto	Breve comentário sobre a sugestão de correção
Revisão	Texto	Espaço reservado para sinalizar discrepância de entendimento ao revisar as análises

Fonte: Adaptado pelo autor (2025).

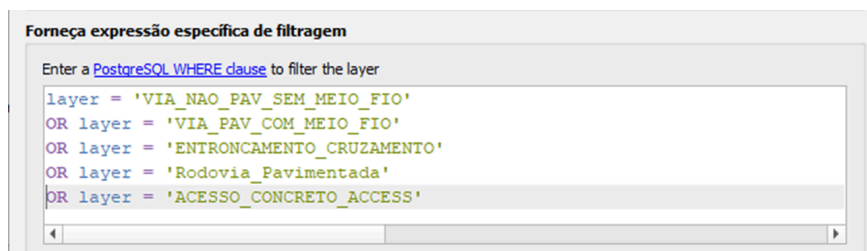
Devido à grande quantidade de vetores e à extensão territorial abrangida, essa atividade foi realizada pela equipe do Núcleo de Geodados em sistema de

dupla conferência: um integrante realizava a análise inicial de um lote de dados e, em seguida, outro integrante revisava todas as observações, apontando eventuais divergências para discussão e decisão final.

A etapa final da compatibilização semântica consistiu na correção das inconsistências observadas, realizada com o suporte do QGIS. Para isso, foram aplicados filtros que permitiram identificar rapidamente os objetos classificados de forma inadequada ou com ausência de classificação, possibilitando ajustes diretos nos atributos.

Um exemplo prático dessa estratégia é apresentado na Figura 6, que ilustra a aplicação do filtro para identificar feições correspondentes à classe `cbge_trecho_arruamento` dentro do arquivo `poligono_geral_lote_10`.

**Figura 6 - Ferramenta de filtro do QGIS, exemplo de aplicação da consulta de objetos.**



Fonte: O autor (2025).

Esta abordagem permitiu identificar os objetos classificados de forma inadequada ou com ausência de classificação para a aplicação de ajustes diretos nos atributos, além de correções geométricas pontuais em casos de duplicidades, sobreposições e lacunas identificadas durante a análise. Outros filtros foram aplicados para auxiliar na compatibilização semântica da base de dados, como apresentado no Quadro 3.

**Quadro 3 – Filtros aplicados para cada objeto de interesse da compatibilização semântica.**

Classe de apoio	Camada ET-EDGV	Filtro com base no layer do polígono geral
CT_rede_viaria	CBGE_trecho_arruamento	LAYER = 'VIA_NAO_PAV_SEM_MEIO_FIO' OR "LAYER" = 'VIA_PAV_COM_MEIO_FIO' OR "LAYER" = 'ENTRONCAMENTO_CRUZAMENTO' OR "LAYER" = 'Rodovia_Pavimentada' OR "LAYER" = 'ACESSO_CONCRETO_ACCESS'
	TRA_ponte	LAYER = 'PONTE'
	TRA_passagem_eleva	Não encontrado

	da_viaduto	
	TRA_tunel	Não encontrado
CT_via_pedestre	CBGE_passeio	LAYER = 'CALCADA_PAVIMENTADA'
	EMU_elevador	Não encontrado
	EMU_escadaria	"LAYER" = 'ESCADARIA'
	EMU_acesso	Não encontrado
	CBGE_estacionamento	LAYER = 'ESTACIONAMENTO'

Fonte: Adpatado pelo autor (2025).

Para além dos filtros (Quadro 3), a inspeção visual documentada (Quadro 2, Subseção 3.1.1.2.1) foi determinante para identificar não apenas erros de classificação, mas também erros semântico-geométricos complexos. A Figura 7 ilustra um exemplo completo desse processo: uma feição classificada incorretamente como "estacionamento" foi identificada na planilha, analisada, e exigiu uma nova vetorização para ser corretamente decomposta em suas três feições reais (vegetação, passeio e o estacionamento reduzido)."

Figura 7 - Exemplo de Correção Semântico-Geométrica.

347	129997	7	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de passeio	or id = 129997	separado
348	130076	7	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de passeio	or id = 130076	separado
349	130292	7	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de passeio	or id = 130292	acesso e passeio sem estacionamento
350	131687	8	2. Restituição incorreta	Completar estacionamento	or id = 131687	mesclar com feição 131673, separado pass
351	131985	9	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de passeio e de poligono com classificação incerta	or id = 131985	separado vegetacao e passeio
352	131987	6	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de passeio	or id = 131987	só trecho de arruamento
353	132545	8	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de passeio e de poligono com classificação incerta	or id = 132545	arruamento e passeio separados
354	133600	8	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de poligono com classificação incerta	or id = 133600	é só passeio
355	133762	5	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de passeio	or id = 133762	separado
356	133772	7	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de passeio	or id = 133772	trecho arruamento separado de estacionamento
357	133919	7	2. Restituição incorreta	Separar área de propriedade particular de poligono com classificação incerta	or id = 133919	estacionamento fragmentado
358	134078	7	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de passeio	or id = 134078	
359	134314	6	2. Restituição incorreta	Separar estacionamento de passeio	or id = 134314	



Fonte: O autor (2025).

Embora seja um processo complexo, optou-se por não detalhá-lo neste trabalho, pois seu objetivo central está concentrado na etapa subsequente: à verificação e correção topológica sistemática das camadas vetoriais, visando a consistência espacial necessária para a produção da cartografia temática fiscal.

Desta forma, a compatibilização semântica foi concebida como um passo intermediário importante, que assegurou a coerência mínima dos dados não homologados, tornando-os aptos a integrar o processo principal de detecção, quantificação e correção de erros topológicos.

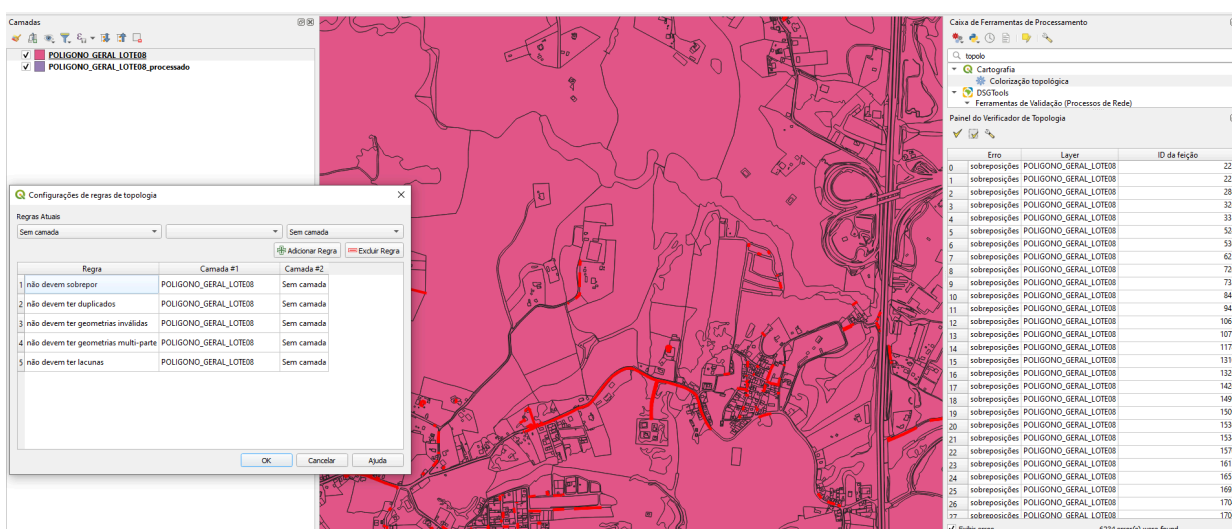
### 3.1.1.2.2. VERIFICAÇÃO E CORREÇÃO TOPOLÓGICA

Após a compatibilização semântica dos vetores para formação das classes de apoio (CT\_RED\_VIARIA e CT\_VIA\_PEDESTRE), as áreas homologada e não homologada foram compatibilizadas e foi realizada a etapa de verificação e correção topológica de todo o conjunto vetorial não homologado para garantir completude em todo o conjunto. Essa etapa teve caráter sistemático e automatizado, utilizando principalmente o plugin *DSG Tools* no ambiente do software *QGIS*, associado ao gerenciamento dos dados em um banco de dados *PostgreSQL/PostGIS*. A escolha desse ambiente integrado ocorreu devido ao grande volume de dados, que inviabiliza o processamento eficiente apenas em ambiente desktop.

A etapa de verificação e correção topológica teve início com o uso do verificador topológico do *QGIS*, uma ferramenta que permite identificar inconsistências como sobreposições, lacunas, geometrias duplicadas ou inválidas. Contudo, conforme esperado, a verificação topológica via *QGIS* em arquivos *Shapefile* mostrou-se lenta e por vezes ineficaz.

A Figura 8 apresenta a configuração da ferramenta para identificar os erros topológicos de sobreposições, lacunas, geometrias inválidas, geometrias duplicadas e multipartes.

Figura 8 - Verificação topológica com *plugin* nativo do *QGIS*.



Fonte: O autor (2025).

Para superar essa limitação, o processamento foi executado com vetores implementados no banco de dados PostgreSQL/PostGIS, conforme a arquitetura

definida na Seção 2.2. Essa abordagem permitiu o ganho de desempenho necessário para viabilizar a continuidade do processo de detecção de erros topológicos em um conjunto de dados de grande escala.

Para realizar as correções de forma automatizada, foi utilizado o plugin DSG Tools, desenvolvido pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG). Conforme o manual técnico do plugin, a ferramenta de Limpeza Topológica de Polígonos foi a que melhor atendeu às necessidades do projeto.

A Figura 9 demonstra os parâmetros utilizados pela ferramenta, com as suas respectivas descrições.

**Figura 9 - Descrição de parâmetros da ferramenta Limpeza topológica de Polígonos.**

Os parâmetros do processo são descritos na tabela abaixo, seguindo a ordem em que são apresentados na interface:

Parâmetro	Tipo	Opcional	Descrição
Camada de entrada	Camada vetorial	Não	Camada a ser limpa.
Processar apenas feições selecionadas	Booleano	Não	Indica se o algoritmo deve ser executado apenas para as feições selecionadas da camada de entrada.
Raio de atração ( <i>snap</i> )	Real	Não	Distância entre as feições para que sejam coladas/atraídas.
Área mínima	Real	Não	Área mínima para que o polígono seja considerado pelo GRASS (áreas menores que este parâmetro serão eliminadas).
Flags	Camada vetorial	Sim	Camada na qual serão exibidos os flags do algoritmo e seu local.

Fonte: Diretoria de Serviços Geográficos.

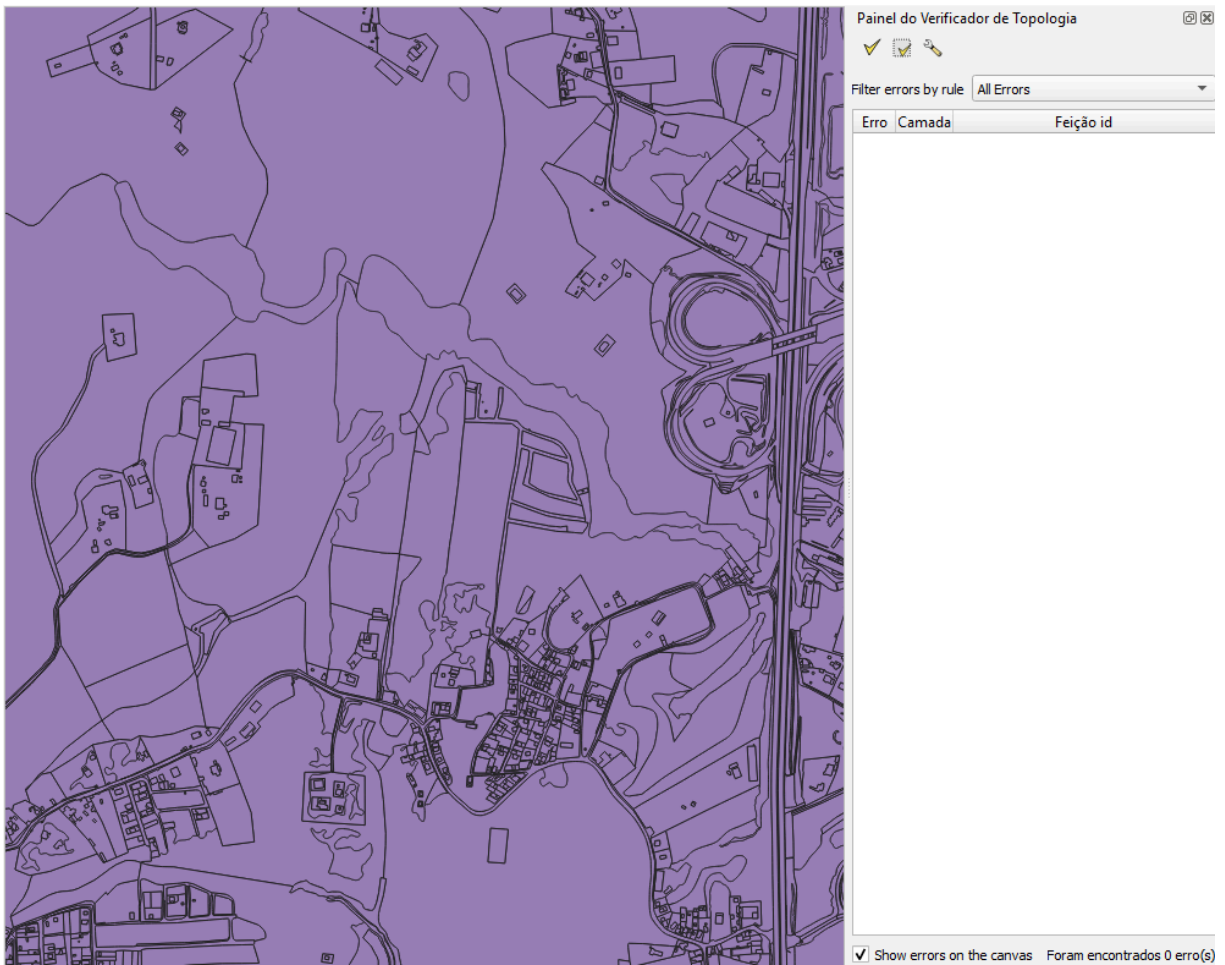
Os parâmetros desta ferramenta foram definidos com base nas características da ortoimagem de referência que possui *Ground Sample Distance*(GSD) de 10 cm, ou seja o pixel da imagem equivale a 0.1 m em solo:

1. O "Raio de atração" foi fixado em 0.1 m, para adequar vértices dentro desse limiar, compatível com GSD.
2. A "Área mínima" foi definida em 0.05 m<sup>2</sup> (correspondente a 5 pixels), instruindo o algoritmo a eliminar polígonos menores que este limiar.

Essa estratégia possibilitou a padronização e a regularização topológica das camadas, criando condições para que as etapas seguintes, como a geração das quadras fiscais, pudessem ocorrer sobre uma base espacialmente consistente e confiável.

Apesar da alta eficácia da ferramenta de Limpeza Topológica de Polígonos do QGIS (DSG Tools) na limpeza interna de cada lote, o processo não foi uma solução completa. Restaram algumas inconsistências residuais e, o mais importante, a ferramenta não resolveu a principal barreira para a consolidação: a incompatibilidade de vizinhança entre as fronteiras dos lotes 7 a 10 demonstrada na Figura 11. A Figura 10 a seguir demonstra o resultado da verificação topológica após as correções da ferramenta Limpeza Topológica de Polígonos e edições manuais.

**Figura 10 - Resultado da verificação topológica após procedimento.**

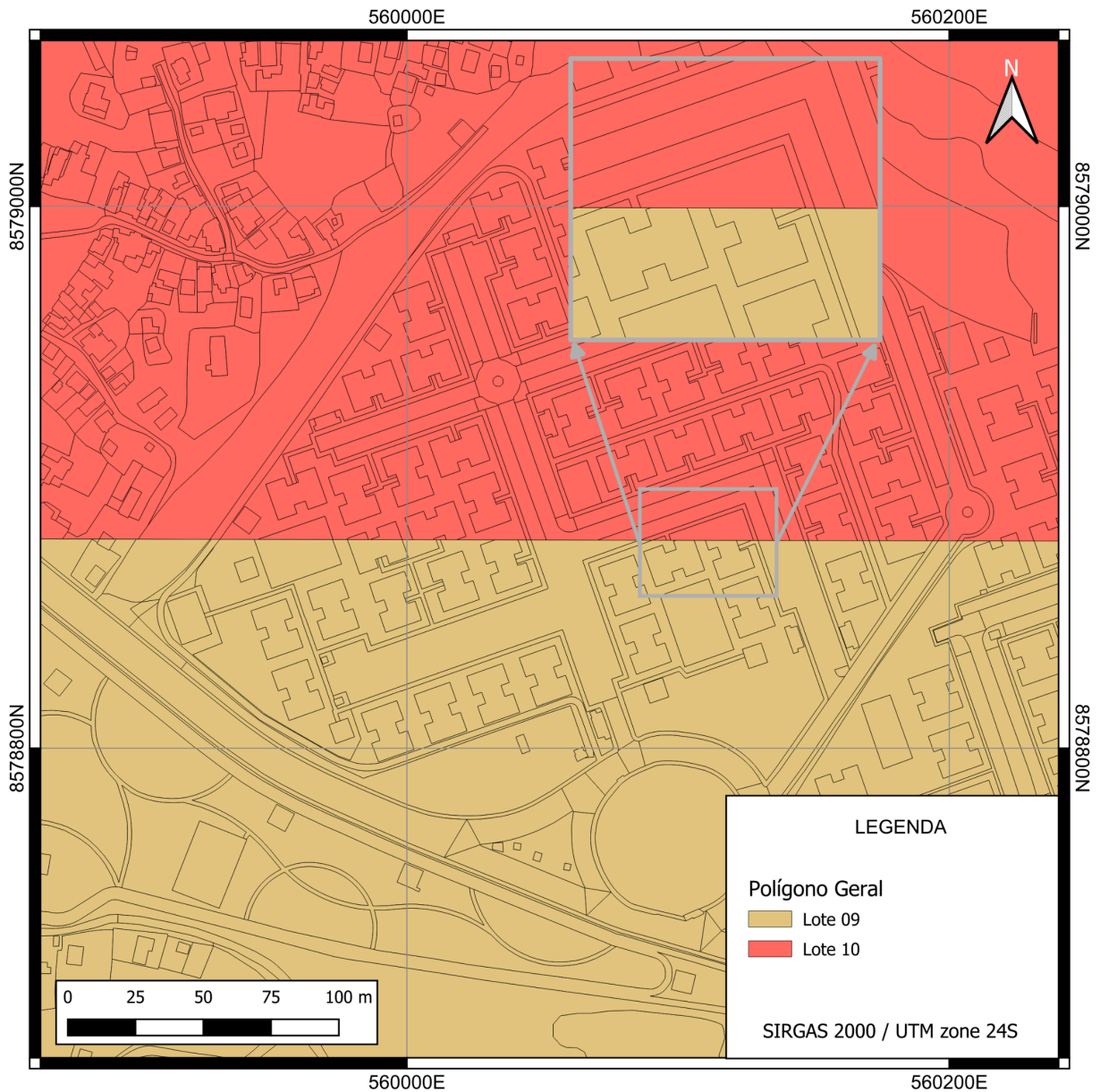


Fonte: O autor (2025).

Portanto, foi necessária uma etapa final de consolidação e correção manual. Para os lotes 7 a 10, as fronteiras foram "costuradas" manualmente utilizando as ferramentas de vetorização avançada do QGIS, como a "Ferramenta de Aderência" e a "Edição Topológica". Para os lotes 11 e 12, que não possuíam vizinhança, o processo se restringiu à correção pontual dos erros residuais.

A Figura 11 apresenta um exemplo da vizinhança entre os lotes 9 e 10 dos polígonos gerais, apresentando incompatibilidades.

**Figura 11 - Vizinhança com erros de completude visíveis.**



Fonte: O autor (2025).

Apenas após este tratamento manual híbrido, os dados foram unidos para formar as camadas finais deste fluxo, agora sem incidência de erros topológicos detectáveis pelo QGIS. A Figura 12, a seguir, demonstra os vetores após a consolidação da união entre camadas e tratamentos manuais para compatibilização e completude.

Figura 12 - Vetores consolidados após união dos lotes.



Fonte: O autor (2025).

### 3.1.1.3. CONSOLIDAÇÃO DAS CLASSES DE APOIO

A confecção das classes de apoio “CT\_RED\_VIARIA” e “CT\_VIA\_PEDESTRE” foi realizada por meio de operações de generalização e união entre as camadas previamente descritas na base cartográfica. Neste momento, as bases homologadas e não homologadas, convergem devido às correções realizadas compatibilizando classes de apoio similares quanto à consistência topológica.

Esse procedimento teve caráter complementar e visou consolidar os principais elementos lineares que funcionam como divisores espaciais, possibilitando, em etapa posterior, o recorte da camada de setores fiscais para a criação das quadras fiscais.

#### **3.1.1.4. CONSOLIDAÇÃO DE QUADRAS FISCAIS**

A camada de quadras fiscais foi gerada por meio do recorte espacial das duas classes de apoio, “CT\_RED\_VIARIA” e “CT\_VIA\_PEDESTRE”, sobre a camada de setores fiscais. Embora essa operação não constitua o foco central deste trabalho, a verificação e correção topológica nessas camadas foi indispensável para garantir a consistência e a aderência ao modelo conceitual.

As correções e inspeções foram conduzidas utilizando o verificador topológico do QGIS, configurado para não considerar lacunas, já que determinados espaços entre as quadras correspondem a áreas reais ocupadas pelas vias de circulação que não possuem representação vetorial na classe de quadras fiscais, estas áreas correspondem a lacunas reais que são espaços não cadastrados no modelo, portanto a ocorrência deste tipo de lacuna não remete a um erro topológico e sim a uma previsão dos requisitos impostos. Nessa etapa, não foi aplicada a ferramenta de limpeza topológica de polígonos do DSG *Tools*, pois o controle foi realizado de forma direcionada por meio de verificações específicas voltadas ao atendimento das regras iniciais do modelo conceitual.

Para maior precisão, foram combinados procedimentos automatizados via plugins de conferência topológica do DSG *Tools* e consultas *SQL* utilizando operadores topológicos como *ST\_Within*, *ST\_IsValid*, *ST\_Intersects* no banco *PostgreSQL/PostGIS*. Essas consultas permitiram detectar e corrigir inconsistências como pontos duplicados, geometrias inválidas, sobreposições entre quadras e casos de não aderência das quadras dentro de seus respectivos setores fiscais. Essa abordagem integrada contribuiu para alcançar o nível de consistência exigido pelo modelo de dados, viabilizando as etapas subsequentes de geração e organização dos lotes fiscais.

### **3.1.2. FLUXO 2: CONFECÇÃO DOS LOTES FISCAIS**

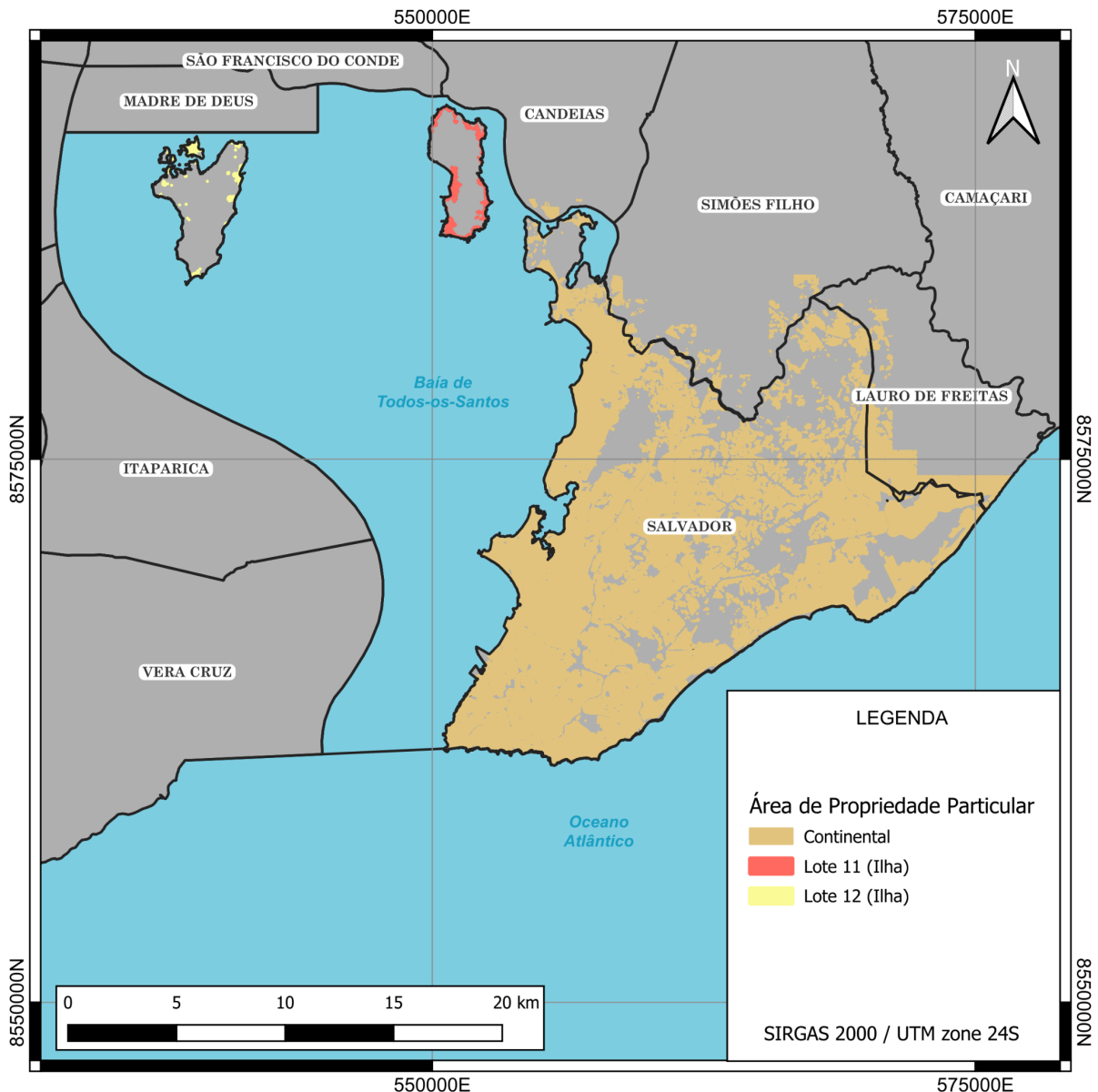
#### **3.1.2.1. PROCESSAMENTO**

O Fluxo 2 partiu do universo total de 570.306 feições da camada `area_de_propriedade_particular` (homologada e não homologada), conforme detalhado no Quadro 1.

Este universo foi imediatamente separado em dois grupos de tratamento distintos. O primeiro grupo, as "ilhas" (correspondentes aos Lotes 11 e 12, totalizando 3.380 feições), por não possuírem vizinhança de contato com as demais áreas, seguiu para um fluxo de correção topológica interna mais simples e foi consolidado ao final.

A Figura 13 demonstra a separação entre os vetores correspondentes às ilhas e à "massa continental", as ilhas constituem a menor parte do conjunto e menor complexidade no processamento devido ao seu fator geográfico anular a vizinhança entre lotes, por este motivo os vetores que possuíam vizinhança direta foram priorizados no processo.

Figura 13 - Área de propriedade particular das ilhas e do continente.

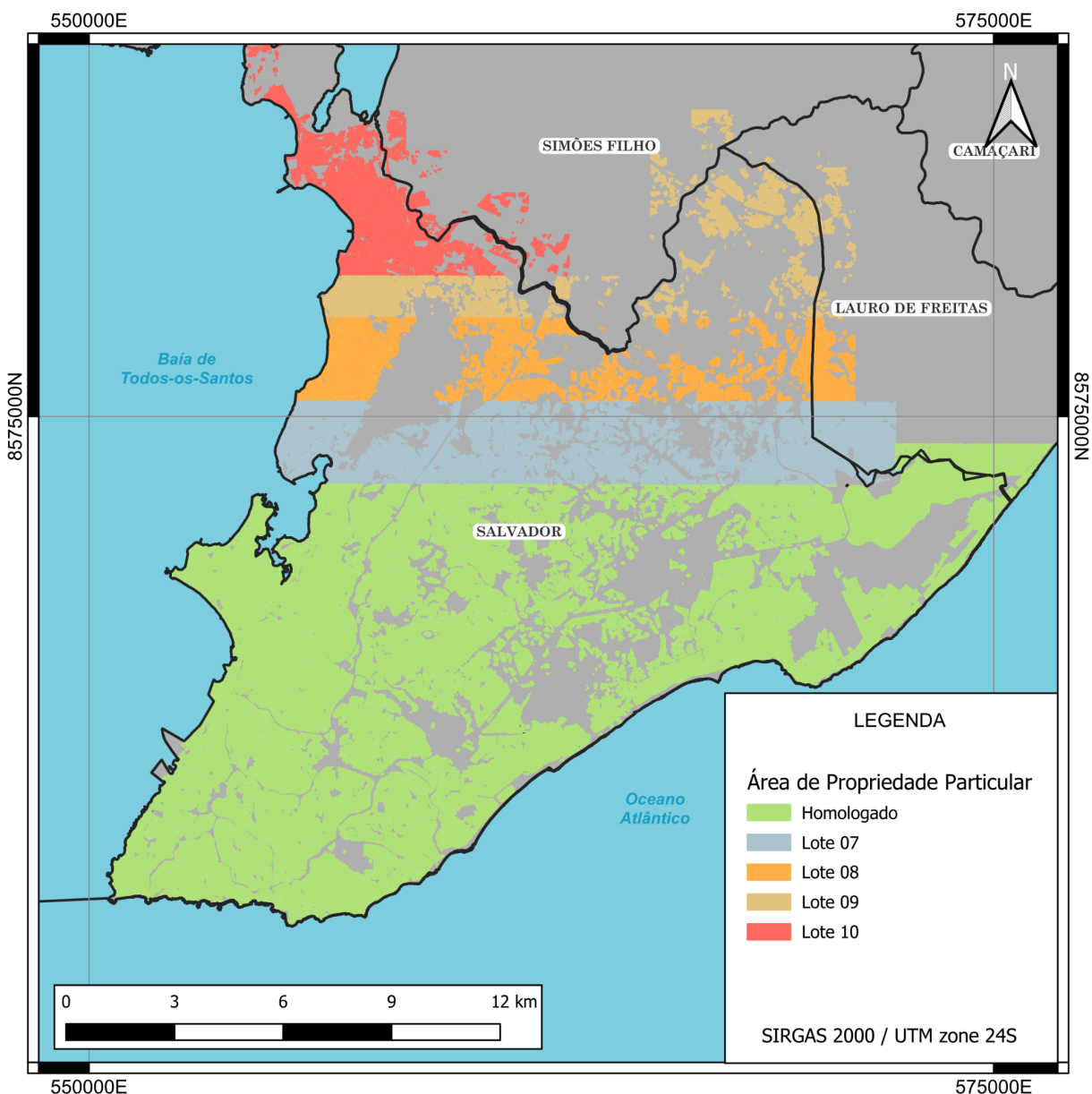


Fonte: O autor (2025).

O segundo grupo, a "massa continental" (lotes homologados + lotes 7 a 10, totalizando 566.926 feições), apresentava um relevante desafio metodológico: as fronteiras entre as 5 camadas de origem (H + 4 lotes NH) eram completamente incompatíveis.

A Figura 14 demonstra a ausência de completude entre feições dos vetores homologados e os lotes 7 a 10, deixando explícito a divisão entre os lotes e a necessidade de compatibilização em suas fronteiras.

Figura 14 - Separação entre os vetores da parte homologada e os lotes 7 a 10.



Fonte: O autor (2025).

Portanto, este grupo (a "massa continental") exigiu uma etapa prévia de compatibilização manual de vizinhança. Utilizando as ferramentas de vetorização avançada do QGIS, como a "Ferramenta de Aderência" e a "Edição Topológica", os limites entre estas camadas foram "costuradas" manualmente para garantir a continuidade espacial e consistência com a ortoimagem do município.

O desenvolvimento iterativo e as correções topológicas complexas que serão descritas na seção 3.1.2.2 referem-se ao tratamento deste conjunto principal de 566.926 feições.

### 3.1.2.2. VERIFICAÇÃO E CORREÇÃO TOPOLÓGICA

O tratamento deste conjunto de 566.926 feições exigiu um processo iterativo em SQL, muito mais complexo que o Fluxo 1. O diagnóstico inicial revelou uma série de inconsistências, como sobreposições, geometrias inválidas, polígonos pequenos e vértices duplicados.

#### Fase 1: Correção de Consistência Interna

Inicialmente, foram aplicadas funções de "limpeza" que não dependiam de vizinhança. *ST\_RemoveRepeatedPoints* foi usada para eliminar vértices com distância submilimétrica (ex: 0,00001m), um resíduo comum de vetorização. *ST\_Dump* foi aplicado para explodir as feições multipartes em geometrias simples, e geometrias nulas ou com menos de 4 pontos (que não formam polígonos válidos) foram removidas.

O tratamento mais complexo desta fase foi a correção de polígonos pequenos, que não possuem significado fiscal. O Quadro 4 apresenta um *script* SQL que identifica esses polígonos e os "funde" (*ST\_Union*) ao polígono vizinho (*ST\_Touches*) que possui a maior área, garantindo a área total, isto implica numa variação da área, que não resultará em impactos relevantes para o produto final.

**Quadro 4 – Script SQL para mesclar polígonos pequenos.**

```
WITH pequenos AS (
  -- Seleciona as feições menores que 2m²
  SELECT id, geom FROM temp.lote_teste_def2 WHERE ST_Area(geom) < 2
),
maiores AS (
  -- Para cada polígono pequeno, encontra o vizinho com maior área
  SELECT DISTINCT ON (p.id)
    p.id AS id_pequeno, m.id AS id_maior,
    m.geom AS geom_maior, p.geom AS geom_pequeno
  FROM pequenos p
  JOIN temp.lote_teste_def2 m ON ST_Touches(p.geom, m.geom)
  WHERE ST_Area(m.geom) >= 2
  ORDER BY p.id, ST_Area(m.geom) DESC -- Prioriza o maior vizinho
),
atualizados AS (
  -- Atualiza a geometria dos polígonos maiores
  UPDATE temp.lote_teste_def2 m
  SET geom = ST_Union(m.geom, maiores.geom_pequeno)
  FROM maiores WHERE m.id = maiores.id_maior
)
-- Remove os polígonos pequenos que foram mesclados
DELETE FROM temp.lote_teste_def2
WHERE id IN (SELECT id_pequeno FROM maiores);
```

Fonte: O autor (2025).

## **Fase 2: Correção de Sobreposições**

Este foi o maior desafio metodológico. A primeira abordagem consistiu em identificar pares de sobreposição (*ST\_Overlaps*) e subtrair a área de interseção da geometria do polígono maior, usando *ST\_Difference*. Este processo foi executado iterativamente, demonstrando avanços, porém estagnou e não convergiu para zero erros, restando 1.677 sobreposições.

Para lidar com as sobreposições submilimétricas restantes (resíduos de precisão), o método foi refinado aplicando-se um *ST\_Buffer* (ex: 0,01m) à geometria de subtração, forçando uma correção mais agressiva tomando como critério um valor menor que o GSD da ortomagem de referência. Esta abordagem iterativa se mostrou mais eficaz, reduzindo os erros a 120, mas demonstrou a complexidade do problema.

## **Fase 3: Aplicação de *ST\_Snap***

A tentativa de forçar a aderência dos lotes às quadras para garantir a regra *ST\_Within* usando a função *ST\_Snap* foi testada. No entanto, este método se provou pouco eficaz topologicamente. A aderência forçada introduziu novas geometrias inválidas, criando erros de topologia à medida que solucionava o problema de contimento.

Este processo concluiu que a automação total em SQL era complexa e gerava novos erros. O desenvolvimento resultou em um impasse metodológico: um conjunto de dados com bons índices de contenção, mas um número elevado de erros topológicos milimétricos que o SQL não conseguia resolver.

### **3.1.3. VALIDAÇÃO FINAL E ITERAÇÃO**

Diante do impasse do alto índice de erros topológicos, foi implementado um reprocessamento final que abandonou a automação pura em SQL e adotou uma solução híbrida.

#### **Etapa 1: Correção Topológica com DSG Tools**

A primeira etapa desta solução foi aplicar a ferramenta "Limpeza Topológica de Polígonos" do DSG Tools sobre a base de lotes. Como esperado, esta ferramenta foi altamente eficaz e anulou os erros topológicos .

## Etapa 2: A Solução de Contenção

Contudo, a limpeza do DSG Tools introduziu um novo problema, quebrando a regra *ST\_Within* para milhares de lotes para corrigir este "vazamento" de lotes, foi aplicada novamente a remoção de pontos duplicados e uma nova solução final: um *script* SQL que aplicava um "buffer negativo" para "encolher" os lotes e forçá-los para dentro das quadras, conforme descrito nos Quadro 5 e 6 , a seguir.

### Quadro 5 – Script SQL de remoção de vértices duplicados.

```
--Remove vértices duplicados e valida a geometria
UPDATE temp.lote_teste_def SET geom =
ST_CollectionExtract(ST_MakeValid(ST_RemoveRepeatedPoints(geom, 0.00001)),
3);
```

Fonte: O autor (2025).

### Quadro 6 – Script SQL para reduzir geometrias de lotes fiscais.

```
CREATE TABLE temp.lote_corrigido_por_quadra AS
WITH intersecao AS (
  SELECT l.id AS lote_id, q.id AS quadra_id,
  ST_Intersection(l.geom, q.geom) AS inter_geom,
  ST_Area(ST_Intersection(l.geom, q.geom)) AS inter_area,
  ST_Area(l.geom) AS lote_area
  FROM temp.lote_teste_def10 l
  JOIN sqle.ct_quadra_fiscal q ON ST_Intersects(l.geom, q.geom)
  WHERE NOT ST_Within(l.geom, q.geom)
),
intersecao_filtrada AS (
  SELECT DISTINCT ON (lote_id) lote_id,
  ST_Buffer(ST_CollectionExtract(inter_geom, 3), -0.01, 1) AS nova_geom
  FROM intersecao
  WHERE inter_area / lote_area > 0.9 -- Selecciona lotes +90% contidos
  ORDER BY lote_id, inter_area DESC
)
SELECT lote_id AS id, nova_geom AS geom FROM intersecao_filtrada;

DELETE FROM temp.lote_teste_def10 l
WHERE l.id IN (
  SELECT DISTINCT ON (l.id)
  l.id
  FROM temp.lote_teste_def10 l
  JOIN sqle.ct_quadra_fiscal q
  ON ST_Intersects(l.geom, q.geom)
  WHERE NOT ST_Within(l.geom, q.geom)
```

```

        AND ST_Area(ST_Intersection(l.geom, q.geom)) / ST_Area(l.geom) > 0.9
    ORDER BY l.id, ST_Area(ST_Intersection(l.geom, q.geom)) DESC
);

CREATE TABLE temp.lotes_corrigidos_dump AS
SELECT
    l.id,
    (ST_Dump(l.geom)).geom AS geom
FROM temp.lote_teste_def10 l
WHERE ST_NumGeometries(l.geom) > 1;

delete
from temp.lotes_corrigidos_dump
WHERE ST_Area(geom) < 3;

delete
from temp.lote_teste_def10 l
WHERE ST_NumGeometries(l.geom) > 1;

insert into temp.lote_teste_def10(geom)
select geom
from temp.lotes_corrigidos_dump;

```

Fonte: O autor (2025).

A etapa final da aplicação consistiu em garantir a integridade hierárquica do modelo conceitual, que estabelece que os Lotes Fiscais devem estar perfeitamente contidos em suas respectivas Quadras Fiscais, e estas em seus Setores Fiscais.

Após a conclusão dos Fluxos 1 e 2 , foi executada uma rodada de validação topológica de contenção no PostgreSQL/PostGIS e validade topológica no QGIS. O objetivo era identificar quaisquer inconsistências no relacionamento entre as camadas-filhas e as camadas-mães, que poderiam ter surgido devido às diferentes origens dos dados brutos e a propagação de inconsistências topológicas menores aos produtos finais.

Esta validação foi realizada através de consultas SQL, utilizando principalmente as funções ST\_Within para identificar feições que violassem a hierarquia. Foram procurados lotes que não estavam inteiramente contidos por nenhuma quadra, e quadras que não estavam inteiramente contidas em setores fiscais.

Além disso com o verificador de topologia do QGIS foram testados novamente os erros topológicos básicos de sobreposição, lacunas, geometria inválida e duplicidade de feições geométricas.

O diagnóstico dessas consultas revelou algumas inconsistências, confirmando que o processo não poderia ser simples e linear. Este achado exigiu a

conferência e correção mútua entre as camadas produto envolvidas na cartografia temática fiscal.

Diante de cada inconsistência, como um lote incompatível à sua quadra ou incompatível com a visualização em ortoimagem, foi realizada uma inspeção visual seguida de um ajuste manual de vértices. Esse ajuste exigiu uma decisão técnica caso a caso para determinar qual geometria deveria ser alterada. Em algumas situações, quando o Lote era considerado a geometria mais fidedigna, a fronteira da Quadra era editada para "abraçar" o seu limite. Em outros casos, o Lote era "clipado" ou ajustado para se adequar à fronteira da Quadra, que era tida como referência correta.

Havia ainda cenários que exigiam o ajuste simultâneo de toda a hierarquia de Setor, Quadra e Lote. Nestes pontos, as ferramentas de vetorização avançada do QGIS foram imprescindíveis para a garantia topológica, especialmente as Ferramentas de "Aderência" e "Edição Topológica", que permitiram a edição compartilhada de vértices entre as três camadas simultaneamente.

É importante destacar que, embora críticas para a integridade final do modelo, essas edições manuais foram de baixa magnitude. Elas se restringiram a ajustes finos, como a compatibilização visual entre o vetor e a ortoimagem, e a garantia da aderência topológica intercamadas (Setor-Quadra-Lote), que não foram completamente resolvidas pelos procedimentos automatizados.

Este ciclo iterativo final de "validar (SQL) - inspecionar (QGIS) - corrigir (SQL/Manual)" foi repetido até que a base fosse considerada estruturalmente íntegra, sendo então encaminhada para a quantificação final dos resultados.

### **3.2. RESULTADOS**

Nesta seção, são apresentados os resultados quantitativos da aplicação metodológica descrita na Seção [3.1](#). Os dados são organizados de forma a demonstrar o estado inicial das bases de dados ("Antes") e os ganhos obtidos após os procedimentos de correção ("Depois"), fundamentando a análise de eficácia da metodologia proposta.

### **3.2.1. CONFECÇÃO DE QUADRAS FISCAIS**

#### **3.2.1.1. COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA**

Conforme descrito na metodologia (3.1.1.2.1), a compatibilização semântica foi uma etapa preparatória. O objetivo não foi analisar exaustivamente todas as 488.551 feições das camadas de polígono geral, mas sim corrigir o subconjunto de feições que seriam usadas para compor as classes de apoio (ct\_rede\_viaria e ct\_via\_pedestre) por meios de filtros, a partir de inspeções visuais sistematizadas com catálogo e revisão das inconsistências encontradas com suporte de planilhas. Este procedimento permitiu a assimilação do estado dos vetores, por demandar uma inspeção visual detalhada vetor a vetor.

O processo consistiu na aplicação de filtros para isolar este subconjunto. Uma inspeção visual e correções manuais foram realizadas para garantir a coerência da classificação. Embora uma catalogação quantitativa das correções semânticas não tenha sido o foco desta etapa, o procedimento foi relevante para assegurar a aptidão dos dados para o tratamento topológico subsequente.

#### **3.2.1.2. CORREÇÃO TOPOLÓGICA BASE NÃO HOMOLOGADA**

Diferente da semântica, a correção topológica foi aplicada de forma sistemática ao universo completo de 488.551 feições das camadas de polígono geral. Esta etapa (descrita em [3.1.1.2.2](#)) permitiu garantir a integridade estrutural e a correta vizinhança entre todas as feições da área não homologada.

O diagnóstico inicial revelou um cenário de alta complexidade. Como o processamento foi executado individualmente antes da consolidação, a Tabela 1 a seguir, detalha a quantificação dos erros topológicos encontrados em cada um dos seis lotes de polígono geral, antes e depois da aplicação da metodologia de correção automatizada com o uso do plugin DSG Tools.

**Tabela 1 – Quantificação de erros topológicos por lote na base de polígono geral**

<b>Lote (Feições Totais)</b>	<b>Tipo de erro topológico</b>	<b>Quantidade (antes)</b>	<b>Quantidade (depois)</b>	<b>Método de correção</b>
Lote 07 (187.621)	Sobreposições	248	0	Vetorização Avançada QGIS
	Lacunas	92	0	Vetorização Avançada QGIS
Subtotal Lote 07	—	340	0	100% corrigido
Lote 08 (114.747)	Sobreposições	6.174	0	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Lacunas	60	221	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Geometrias inválidas	0	220	N/A (erro introduzido)
	Geometrias duplicadas	0	2	N/A (erro introduzido)
Subtotal Lote 08	—	6.234	443	92,9% corrigido
Lote 09 (73.910)	Sobreposições	1.113	68	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Lacunas	2.109	277	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Geometrias inválidas	0	173	N/A (erro introduzido)
	Geometrias duplicadas	1	3	N/A (erro introduzido)
Subtotal Lote 09	—	3.223	521	83,8% corrigido
Lote 10 (100.438)	Sobreposições	2.418	0	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Lacunas	4.655	126	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Geometrias inválidas	18	139	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Geometrias duplicadas	0	11	N/A (erro introduzido)
	Feições multipartes	11	0	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
Subtotal Lote 10	—	7.102	276	96,1% corrigido
Lote 11 (6.938)	Sobreposições	588	14	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Lacunas	1.864	14	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Geometrias inválidas	23	0	Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools

	Feições multipartes	7	0 Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
Subtotal Lote 11	—	2.482	28 98,9% corrigido
Lote 12 (4.897)	Sobreposições	413	0 Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Lacunas	2.120	23 Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Geometrias inválidas	12	29 Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
	Geometrias duplicadas	0	3 N/A (erro introduzido)
	Feições multipartes	3	0 Limpeza Topológica de Polígonos - DSG Tools
Subtotal Lote 12	—	2.548	55 97,8% corrigido
TOTAL GERAL	—	21.929	1.323 94,0% corrigido

Fonte: O autor (2025).

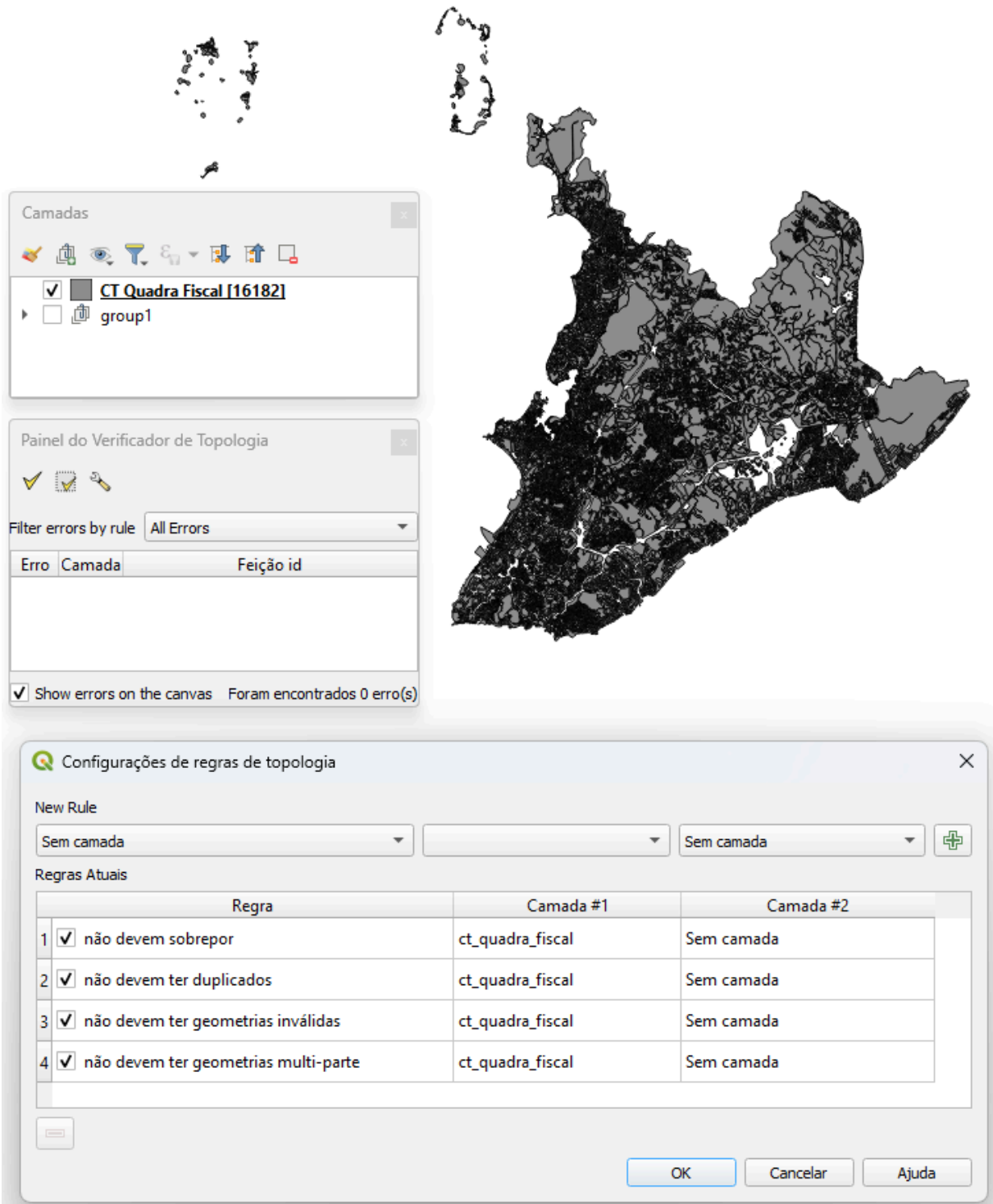
A Tabela 1 demonstra a eficácia da metodologia mista. Para o Lote 07, com baixo volume de erros (340), a correção manual foi 100% eficaz. Para os lotes mais complexos (Lotes 08-12), a ferramenta de Limpeza Topológica do DSG Tools foi eficiente, corrigindo 94% do total de 21.929 erros encontrados.

Os 1.323 erros residuais (majoritariamente geometrias inválidas e lacunas introduzidas pelo processo) foram então tratados na etapa de consolidação manual, conforme descrito em [3.1.1.2.2.](#)

Ao fim deste processo híbrido, obteve-se um conjunto de dados para o Fluxo 1 sem incidência de erros topológicos detectáveis pelo QGIS. As camadas finais resultaram em 478102 feições para a camada uniao\_lotes (Lotes 7-10), 6.999 feições para o Lote 11 e 5.011 feições para o Lote 12.

A aplicação do fluxo 1, permitiu gerar 16182 feições da Classe Temática Quadra Fiscal, de forma consistente e sem erros de topologia, a conferência com a respectiva validade topológica está representada na Figura 15, abaixo.

Figura 15 - Quadras Fiscais geradas após fluxo 1.



Fonte: O autor (2025).

### 3.2.2. CONFECÇÃO DE LOTES FISCAIS

#### 3.2.2.1. PROCESSAMENTO

Este fluxo tratou o universo total de 570.306 feições da camada `area_de_propriedade_particular`. Conforme explicado na Aplicação, este universo foi dividido em dois grupos de tratamento: as "ilhas" (3.380 feições) seguiram um fluxo de correção mais simples, enquanto o desenvolvimento iterativo foi focado na "massa continental" (566.926 feições). A Tabela 2 contém os resultados iniciais.

**Tabela 2 – Quantificação de erros topológicos na base de lotes fiscais continental**

<b>Tipo de Inconsistência</b>	<b>Ferramenta de Detecção</b>	<b>Quantidade</b>
Sobreposições	Verificador Topológico(QGIS)	3110
Geometrias Inválidas	Verificador Topológico(QGIS)	89
Geometrias Duplicadas	Verificador Topológico(QGIS)	28
Feições Multipartes	Verificador Topológico(QGIS)	14
Geometrias Nulas	PostGIS (SQL)	11
Polígonos Pequenos (< 2m <sup>2</sup> )	PostGIS (SQL)	494
Feições com Vértices Duplicados	PostGIS (SQL)	61
Feições fora das quadras	PostGIS (SQL)	110406
Total de Inconsistências Identificadas -		114213

Fonte: O autor (2025).

#### 3.2.2.2. CORREÇÃO TOPOLÓGICA

Diferente da correção linear do Fluxo 1, os resultados do Fluxo 2 refletem a correção topológica iterativa e complexa descrita na Aplicação. A Tabela 3 resume os resultados quantitativos das principais etapas desse processo, mostrando como a solução de um problema gerava um novo desafio, até a solução final.

**Tabela 3 – Quantificação de resultados na base de lotes fiscais**

<b>Etapa do P&amp;D</b>	<b>Erros de Sobreposição</b>	<b>Erros de Contenção</b>	<b>Erros Topológicos</b>
1. Diagnóstico "Antes"	3.110	110.406	114213
2. Processo Inicial em SQL	14614	4.000	15.004
3. Aplicação do DSG Tools	0	54.000	0
4. Solução de Contenção	0	0	1148(lacunas reais)

Fonte: O autor (2025).

A solução de contenção aplicada após união dos lotes fiscais continentais aos lotes 11 e 12, ilhas isoladas, resultou em 1148 lacunas, as quais remetem a espaços reais entre os vetores e não em erros topológicos verdadeiros.

A Tabela 3 ilustra a complexidade da metodologia. As tentativas de correção automatizada em SQL estagnaram em múltiplos impasses. A aplicação do DSG Tools resolveu a topologia, mas quebrou a contenção (*ST\_Within*). A solução final de "buffer negativo" resolveu a contenção e manteve integridade topológica.

Após a conclusão da etapa 4, as edições realizadas em lotes fiscais se resumiram a compatibilidade entre vértices e a realidade observada em ortoimagem junto a compatibilização inter camadas com os setores e quadras fiscais.

### **3.2.3. CARTOGRAFIA TEMÁTICA FISCAL**

Esta seção apresenta os resultados quantitativos dos produtos finais gerados, após a conclusão de todas as etapas de correção e do processo de iteração manual.

#### **3.2.3.1. SETORES FISCAIS**

A base original de 114 feições de setor fiscal homologadas foi utilizada como camada-mãe. Todos os setores exigiram ajustes finos manuais em seus vértices (via edição topológica no QGIS) para garantir a contenção perfeita das quadras fiscais corrigidas. Mantendo o mesmo quantitativo de feições e edições imperceptíveis em escala.

#### **3.2.3.2. QUADRAS FISCAIS**

Após a consolidação das classes de apoio (Fluxo 1) e a iteração da validação final (3.1.3), foram geradas 16182 feições de quadras fiscais topologicamente válidas e 100% contidas em seus respectivos setores.

#### **3.2.3.3. LOTES FISCAIS**

Após o complexo desenvolvimento do Fluxo 2, a integração das "ilhas" (3.380 feições) e o processamento da correção manual, a base final foi consolidada em 544.746 feições de lotes fiscais topologicamente válidos e 100% contidos em suas

respectivas quadras. O processo identificou 1.148 lacunas finais, interpretadas como logradouros ou áreas públicas não cadastradas.

### 3.2.3.4. REGRAS E FUNÇÕES

Os dados topologicamente válidos e consistentes permitiram aplicar regras de integridade que antes eram inviáveis. A consistência topológica *ST\_Within* (Lote-Quadra-Setor), garantida na Aplicação (3.1.3), permitiu a geração de um geocódigo hierárquico e espacialmente ordenado para toda a cartografia temática.

Os Quadros 7 e 8 descrevem processos executados em SQL, seguindo uma lógica de propagação para aplicar às feições um geocódigo hierárquico:

- Propagação hierárquica: O código do *ct\_setor\_fiscal* (*cod\_sf*) foi propagado para as quadras (*ct\_quadra\_fiscal*) que ele continha (*ST\_Within*).
- Numeração Espacial (Quadras): As quadras foram numeradas dentro de cada setor (*PARTITION BY cod\_sf*), seguindo uma varredura espacial (sul-norte e oeste-leste), como demonstra o Quadro 7, esta numeração é apenas para a versão estável do dado, uma *trigger* irá controlar uma nova numeração sequencial para continuidade de edições.
- Concatenação (Geocódigo SQ): Os códigos foram concatenados para formar o geocódigo Setor-Quadra (“sq”).
- Repetição: O processo foi repetido, propagando o *sq* para os lotes (*ct\_lote\_fiscal*), que foram então numerados espacialmente (Quadro 8) para criar o geocódigo “sql”.

**Quadro 7 – Script SQL para numerar quadras fiscais.**

```
UPDATE sqle.ct_quadra_fiscal q
SET cod_sf = s.cod_sf
FROM sqle.ct_setor_fiscal s
WHERE ST_within(q.geom, s.geom);

UPDATE sqle.ct_quadra_fiscal AS t
SET cod_qf = sub.rn
FROM (
    SELECT
        id,
        ROW_NUMBER() OVER (
            PARTITION BY cod_sf
            ORDER BY ST_Y(ST_Centroid(geom)) + ST_X(ST_Centroid(geom))
        ) AS rn
```

```

FROM sqle.ct_quadra_fiscal
) AS sub
WHERE t.id = sub.id;

UPDATE sqle.ct_quadra_fiscal
SET sq = LPAD(cod_sf::text, 3, '0') || LPAD(cod_qf::text, 4, '0');

```

Fonte: O autor (2025).

#### Quadro 8 – Script SQL para numerar lotes fiscais.

```

UPDATE sqle.ct_lote_fiscal l
SET sq = q.sq
FROM sqle.ct_quadra_fiscal q
WHERE ST_Within(l.geom, q.geom);

UPDATE sqle.ct_lote_fiscal AS t
SET cod_lf = sub.rn
FROM (
    SELECT
        id,
        ROW_NUMBER() OVER (
            PARTITION BY sq
            ORDER BY ST_Y(ST_Centroid(geom)) + ST_X(ST_Centroid(geom))
        ) AS rn
    FROM sqle.ct_lote_fiscal
) AS sub
WHERE t.id = sub.id;

UPDATE sqle.ct_lote_fiscal
set sql = sq || LPAD(cod_lf::text, 4, '0');

```

Fonte: O autor (2025).

A execução bem-sucedida destes scripts é o resultado direto da garantia de integridade topológica alcançada, viabilizando a automação da gestão cadastral. Além disso, algumas funções para controle de qualidade dos dados foram implementadas com o objetivo de manter a integridade topológica mesmo após edições futuras e prevendo a atualização cartográfica das classes, os Quadros 9, 10 e 11 contêm algumas dessas funções implementadas, o Quadro 11, em especial, altera a semântica de numeração aplicada no Quadro 7, de forma a proteger a versão estável dos dados e prosseguir com uma nova numeração sequencial para novas feições, em que os objetos mais recentes passam a ter as maiores numerações.

### Quadro 9 – Trigger de Validação de Hierarquia (Lote-Quadra).

```
CREATE FUNCTION sqle.fn_validar_lote_em_quadra() RETURNS trigger
  LANGUAGE plpgsql
  AS $$
BEGIN
  -- Verifica se o lote está dentro de alguma quadra fiscal
  IF NOT EXISTS (
    SELECT 1
    FROM sqle.ct_quadra_fiscal qf
    WHERE ST_Within(NEW.geom, qf.geom)
  ) THEN
    RAISE EXCEPTION 'A geometria do lote não está contida em nenhuma quadra
fiscal.';
  END IF;
  RETURN NEW;
END;
$$;
```

Fonte: O autor (2025).

### Quadro 10 – Trigger de Validação de Topologia (Sobreposição de Lotes).

```
CREATE FUNCTION sqle.verificar_sobreposicao_lote() RETURNS trigger
  LANGUAGE plpgsql
  AS $$
BEGIN
  -- Verifica se a nova geometria sobrepõe qualquer outra
  IF EXISTS (
    SELECT 1
    FROM sqle.ct_lote_fiscal b
    WHERE b.id <> NEW.id
    AND ST_Overlaps(b.geom, NEW.geom)
  ) THEN
    RAISE EXCEPTION 'A geometria sobrepõe outra feição existente.';
  END IF;
  RETURN NEW;
END;
$$;
```

Fonte: O autor (2025).

### Quadro 11 – Trigger de Automação de Geocódigo (sql).

```
CREATE FUNCTION sqle.atualiza_sql_lote() RETURNS trigger
  LANGUAGE plpgsql
  AS $$
DECLARE
  v_sq varchar(10);      -- Variável para armazenar o sq
  maior_cod_lf INTEGER; -- Variável para o maior cod_lf
BEGIN
  -- 1. Busca o sq da quadra fiscal que contém o lote
  SELECT sq INTO v_sq
  FROM sqle.ct_quadra_fiscal
  WHERE ST_Within(NEW.geom, geom)
  LIMIT 1;

  -- 2. Se encontrar a quadra...
```

```

IF v_sq IS NOT NULL THEN
    NEW.sq := v_sq;
    -- 3. Busca o maior cod_lf já existente para a quadra
    if NEW.cod_lf is null then
        SELECT COALESCE(MAX(cod_lf), 0) INTO maior_cod_lf
        FROM sqle.ct_lote_fiscal
        WHERE sq = NEW.sq;

        -- 4. Define o novo cod_lf como o próximo valor
        NEW.cod_lf := maior_cod_lf + 1;

        -- 5. Concatena o geocódigo final 'sql'
        NEW.sql := CONCAT(LPAD(NEW.sq::text, 6, '0'),
LPAD(NEW.cod_lf::text, 4, '0'));
    END if;
ELSE
    RAISE EXCEPTION 'Nenhuma quadra fiscal encontrada contendo a
geometria.';
END IF;
RETURN NEW;
END;
$$;

```

Fonte: O autor (2025).

### 3.3. DISCUSSÕES

Os resultados quantitativos e o processo de aplicação revelam desafios metodológicos significativos e validam a arquitetura de dados proposta. A discussão a seguir interpreta esses resultados à luz dos problemas definidos na introdução.

Este trabalho quantificou o desafio real de adaptar dados cartográficos brutos, heterogêneos e em grande escala (mais de 1 milhão de feições de insumo) a um modelo conceitual rígido (Setor-Quadra-Lote). As Tabelas [1](#) e [2](#) provam que os dados de entrada eram inutilizáveis em seu estado original, apresentando um total combinado de 136.142 inconsistências identificadas (21.929 no Fluxo 1 e 114.213 no Fluxo 2).

O desenvolvimento descrito na aplicação ([3.1](#)) demonstrou que não existe uma solução única para este problema. O Fluxo 2 ([3.1.2.2](#)), em particular, expôs as limitações de uma abordagem puramente SQL, onde a tentativa de automação (*ST\_Snap*) apresentou avanços, porém introduzindo centenas de novas geometrias inválidas. Fato explicado pela complexidade em cumprir as regras de integridade topológica e o relacionamento de contenção hierárquica simultaneamente entre as camadas, remetendo a necessidade em realizar ajustes direcionados. A regra de contenção hierárquica (*ST\_Within*), crucial para o Fluxo 2, foi o fator que transformou

o processo em um ciclo iterativo, o que não aconteceu no Fluxo 1. A tese de que a correção de dados legados não é linear é muito bem provada pelo Fluxo 2

O principal resultado deste trabalho não foi apenas a limpeza dos dados, mas a transformação de uma base vetorial inutilizada e inconfiável em uma cartografia temática ativa e funcional. A incorporação limitada de ferramentas e tecnologias foi um fator superado pelo projeto ao apresentar soluções inovadoras que rompem com antigas práticas institucionais.

A garantia da consistência topológica, que culminou nos 544.746 lotes válidos, foi o que permitiu a edição e a aplicação de regras que eram impossíveis anteriormente. A Seção [3.2.3.4](#) é a prova concreta deste benefício. A implementação de Triggers de validação (como “fn\_validar\_lote\_em\_quadra”, [Quadro 9](#)) e de automação (como “atualiza\_sql\_lote”, [Quadro 11](#)) muda o paradigma da SEFAZ: de um "ciclo contínuo de reprocessamento" para um sistema de validação contínua que se protege de erros futuros. A capacidade de gerar geocódigos hierárquicos com “ROW\_NUMBER()” (Quadros [7](#) e [8](#)) é a prova final de que a base de dados agora possui alto potencial de análise e confiabilidade, como preconizado por Lizardo & Davis Jr (2017).

#### **4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS**

Este trabalho propôs e aplicou uma metodologia híbrida para a validação e correção topológica de dados vetoriais extensos, utilizando como estudo de caso a cartografia temática fiscal de Salvador. O problema, definido na introdução, era a existência de dados brutos inconsistentes e a ausência de metodologias consolidadas para tratá-los, levando a um ciclo de retrabalho.

A metodologia desenvolvida e aplicada provou ser uma solução robusta. A arquitetura (PostgreSQL/PostGIS + QGIS/DSG Tools) e o desenvolvimento iterativo foram capazes de processar mais de 1 milhão de feições de entrada e corrigir 136.142 inconsistências identificadas. Mesmo diante dos complexos impasses metodológicos, a abordagem híbrida (SQL/Plugin/Manual) foi capaz de entregar um produto final de alta confiabilidade: 16.182 quadras e 544.746 lotes topologicamente íntegros e 100% contidos em sua hierarquia.

O benefício desta consistência foi demonstrado nos Resultados ([3.2.3.4](#)), em que a base íntegra e consistente permitiu a automação da geração de geocódigos

(Quadros 7 e 8) e a implementação de *Triggers* (Quadros 9-11) que garantem a integridade futura dos dados. Os objetivos específicos foram, portanto, atingidos.

Com base nestes resultados, são propostas as seguintes recomendações:

- **Consolidação de ferramentas Open Source na gestão pública.** Este trabalho comprovou que as ferramentas *open source* (PostgreSQL/PostGIS e QGIS) não são apenas alternativas viáveis, mas soluções seguras para a gestão de dados espaciais extensos e complexos, superando as limitações de performance e integridade de fluxos baseados em *shapefile*. Sua eficiência, vasta documentação e capacidade de automação (via SQL) permitem que práticas institucionais robustas, como as deste projeto, sejam adotadas para um melhor tratamento dos dados, fortalecendo a soberania institucional e controle da informação .
- **Integração de profissionais de TI e Geoprocessamento.** O P&D do Fluxo 2 (3.1.2.2) demonstrou que a correção de problemas complexos de topologia e contenção é, fundamentalmente, uma tarefa de ciência de dados espaciais. A solução exigiu profunda pesquisa de scripts SQL, funções espaciais e lógica de banco de dados, indo muito além das ferramentas tradicionais de SIG. Recomenda-se o fomento de equipes multidisciplinares para o desenvolvimento de soluções espaciais modernas.
- **Revisão da subutilização de tecnologias SGBD em nível nacional.** O fato de que a migração de *shapefiles* para *PostGIS* (uma tecnologia consolidada há décadas) ainda ser considerada uma inovação metodológica em 2025, como foi neste projeto, evidencia um "atraso" na adoção tecnológica institucional no Brasil. Recomenda-se que a consolidação de ferramentas, plugins e funções SQL (como os *Triggers* aqui demonstrados) seja revista em âmbito nacional, como forma de assegurar uma melhor gestão de dados oficiais e potencializar a integração com a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), a validação topológica e a integridade em SGBD's são imprescindíveis para publicação e interoperabilidade dos dados, estes fatores garantem a compatibilização entre fontes distintas..
- **Validação da Acurácia Posicional (PEC) e Conformidade com a ET-CQDG.** Este trabalho focou na integridade topológica (a relação entre as feições), mas não na acurácia posicional (a relação da feição com o mundo real). Os métodos de correção automatizada, como o "raio de atração" de

10cm do DSG Tools e o "buffer negativo", inevitavelmente alteram a geometria original. Recomenda-se um estudo futuro para ampliar a análise dos impactos geométricos dessas alterações na escala 1:1.000, buscando definir o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) do produto final. Este estudo deve aplicar os métodos de amostragem estatística previstos na ET-CQDG, atestando a qualidade posicional além da topológica. Isto deve validar e homologar edições realizadas nos dados não homologados, que até então serviram apenas de insumo para composição da cartografia temática fiscal.

- **Integração com Validação de Campo.** Para validar de forma precisa tanto a acurácia posicional quanto a semântica da metodologia, recomenda-se a integração da metodologia com uma etapa de conferência de campo. A validação em campo de áreas de amostra corrigidas seria a etapa final para atestar a confiabilidade absoluta do método híbrido.
- **Aplicação e Escalabilidade da Metodologia.** A metodologia híbrida provou ser eficaz para o contexto complexo de Salvador. Recomenda-se a aplicação e adaptação deste fluxo de trabalho em outros contextos institucionais (municipais, estaduais ou federais, como o SPU) que enfrentam desafios similares de correção de grandes massas de dados vetoriais inconsistentes.
- **Estabilidade e Continuidade.** A implementação dos Triggers ('fn\_validar\_lote\_em\_quadra' e 'verificar\_sobreposicao\_lote') significa que o banco de dados agora se autoprotege de erros futuros de topologia e hierarquia, garantindo a integridade contínua e em tempo real.
- **Automação e Integração a Sistemas.** A automação da geração do geocódigo hierárquico (sql) é um resultado prático de alto valor. A função atualiza\_sql\_lote (Quadro 11) transforma o dado vetorial (geométrico) em informação fiscal (alfanumérica), pronta para ser integrada aos sistemas de tributação do município, cumprindo o objetivo final da Cartografia Temática Fiscal.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Ana B. B. et al. **Geração de base cartográfica para fins de cadastro técnico multifinalitário utilizando ARP**. 2022. Disponível em: <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/view/342>. Acesso em: 16 maio 2025.

ANDRADE, Luiz Claudio. **Integridade topológica em sistemas de bancos de dados espaciais**. Universidade de Brasília, 2018. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/handle/10482/34641?locale=es>. Acesso em: 16 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Diretoria de Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) 3.0**. Brasília: Exército Brasileiro, 2018. Disponível em: <https://geoportal.eb.mil.br/portal/index.php/et-edgv/et-adgv>. Acesso em: 16 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Diretoria de Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV) 3.0**. Brasília: Exército Brasileiro, 2017. Disponível em: <https://geoportal.eb.mil.br/portal/index.php/et-edgv/et-edgv>. Acesso em: 16 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Diretoria de Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG)**. Brasília: Exército Brasileiro, 2016. Disponível em: <https://geoportal.eb.mil.br/portal/index.php/et-edgv/et-pcdg>. Acesso em: 16 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Diretoria de Serviço Geográfico. **Manual de uso do complemento DSGTools para o QGIS**. Versão 4.2. Brasília, DF: 2º Centro de Geoinformação, 18 ago. 2021. Disponível em: <https://github.com/dsgoficial/DsgTools/wiki>. Acesso em: 16 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Plano de ação para implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE)**. Brasília: CONCAR, 2010. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/GrupodeArquivos/documentos-tecnicos>. Acesso em: 16 maio 2025.

BRASIL. Secretaria de Patrimônio da União. **Metodologia de conversão de dados geoespaciais da SPU: validação topológica**. Brasília: SPU, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/gestao/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/geoinformacao/normas-e-padroes-1/MetodologiaDeConversaodeDadosValidaoTopologicav3.0.pdf>. Acesso em: 16 maio 2025.

DAVIS JR, Clodoveu Augusto; BORGES, Karla; LAENDER, Alberto Henrique. **Restrições de Integridade em Bancos de Dados Geográficos**. III Workshop Brasileiro de Geoinformática (GeoInfo 2001). Rio de Janeiro (RJ), 2001. Disponível em: <https://www.dcc.ufmg.br/~clodoveu/files/100.40/AC030.%202001%20Restricoes%20de%20integridade%20em%20bancos%20de%20dados%20geograficos.pdf>. Acesso em: 16 maio 2025.

ERBA, Diego Alfonso (org.). **Catastro multifinalitario aplicado a la gestión territorial: conceitos e aplicações**. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2007.

FRANÇA, Leandro Luiz Silva de; PORTUGAL, José Luiz. Consistência topológica de dados geoespaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 3, p. 480–498, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n3-61508. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/61508>. Acesso em: 16 maio 2025.

GOODCHILD, Michael F. Geographic information systems and science: today and tomorrow. **Annals of GIS**, v. 15, n. 1, p. 3–9, 20 nov. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878522009001611>. Acesso em: 16 maio 2025.

GUIA, George Alex da; MATTOS, Humberto; BUZAR NETO, Jamil; VIEIRA, Eliezer. Geotecnologias na administração pública. **Revista Desafios do Desenvolvimento**, Brasília, ano 13, ed. 87, 17 jun. 2016. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3265](https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=3265). Acesso em: 16 maio 2025.

KUNG, H.; KUNG, L.; GARDINER, A. Comparing Top-down with Bottom-up Approaches: Teaching Data Modeling. **Information Systems Education Journal**, v. 11, n. 1, p. 14-24, 2013.

LIZARDO, Luís Eduardo Oliveira; DAVIS, Clodoveu Augusto. **OMT-G Designer: A Web Tool for Modeling Geographic Databases in OMT-G**. In: INDULSKA, Marta; PURAO, Sandeep (Orgs.). *Advances in Conceptual Modeling. Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer International Publishing, 2014. v. 8823 p. 228–233.

LIZARDO, Luís Eduardo Oliveira; DAVIS, Clodoveu Augusto. **A PostGIS extension to support advanced spatial data types and integrity constraints**. In: SIGSPATIAL'17: 25TH ACM SIGSPATIAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS. Redondo Beach CA USA: ACM, 7 nov. 2017. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3139958.3140020>. Acesso em: 22 out. 2025.

MARTÍN JIMÉNEZ, Juan Manuel; RODRÍGUEZ ESPINOSA, Víctor Manuel. *Sistematización de la información de catastro utilizando POSTGRESQL-POSTGIS. Aplicación al análisis de usos del suelo urbano en Alcalá de Henares, España*. **Estudios Geográficos**, v. 83, n. 292, p. e098, 14 jun. 2022.

NASCIMENTO, Shirley et al. **A Importância da sistematização de um banco dados geográficos vetoriais da divisão político-administrativa do município de Dom Pedrito/RS para usos ambientais e agropecuários**. 2020. Disponível em: <https://periodicos.uerr.edu.br/index.php/ambiente/article/view/363>. Acesso em: 16 maio 2025.

OLIVEIRA, Bruno. **Modelagem conceitual e implementação de banco de dados geotécnicos tridimensionais (BDGT)**. G.TD-182/2023, 2023. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNB\\_385119abec766abd8944b158fe04b110](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNB_385119abec766abd8944b158fe04b110). Acesso em: 16 maio 2025.

PEIXOTO, Adriano de Lemos Alves et al. **Guia para uso ético e responsável da inteligência artificial generativa na Universidade Federal da Bahia**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2025. Disponível em: [https://www.ufba.br/sites/portal.ufba.br/files/guia\\_para\\_uso\\_etico\\_e\\_responsavel\\_da\\_inteligencia\\_artificial\\_generativa\\_na\\_universidade\\_federal\\_da\\_bahia.pdf](https://www.ufba.br/sites/portal.ufba.br/files/guia_para_uso_etico_e_responsavel_da_inteligencia_artificial_generativa_na_universidade_federal_da_bahia.pdf). Acesso em: 24 julho 2025.

RIBEIRO, Murilo Borges. **Uma plataforma para integração de dados para cidades inteligentes**. Mestrado em Ciência da Computação — São Paulo: Universidade de São Paulo, 20 dez. 2023. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45134/tde-29012024-105400/pt-br.php>

. Acesso em: 16 maio 2025.

SANTOS JUNIOR, W. M.; RIBEIRO, G. P. **Qualidade dos dados geográficos disponibilizados em ambiente de sistema de informação geográfica na internet**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., 2012, Recife. Anais... Recife: UFPE, 2012. p. 1-8.

SILVA, Everton et al. (org.). **Cadastro territorial multifinalitário aplicado à gestão municipal [recurso eletrônico]**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2023. 214 p. ISBN 978-85-8328-172-6. DOI: 10.5281/zenodo.7869277. Disponível em: <https://www.capacidades.gov.br/capaciteca/cadastro-territorial-multifinalitario-aplicado-a-gestao-municipal>. Acesso em: 04 Abril 2025.

XAVIER, Laura; MEIRELES, Tatiana; SANTIL, Fernando A. Análise das inconsistências topológicas nos dados do CAR: um estudo de caso para o município de Barão de Melgaço - MT. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 11, n. 1, p. 337–354, 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/376329930>. Acesso em: 16 maio 2025.