Arquitetura de Governança de Dados Espaciais aplicada ao Cadastro Territorial Multifinalitário de Redes de Esgotamento Sanitário

Spatial Data Governance Architecture applied to the Multipurpose Technical Cadaster of Wastewater Networks

Mário Henrique Gomes dos Santos[1]

Juciela Cristina dos Santos[2]

Michelle Adelino Cerqueira[3]

RESUMO: O registro As-Built de infraestruturas de saneamento baseia-se historicamente em rotinas de desenho manual (CAD) e bancos de dados vetoriais não relacionais (como o Shapefile). Essa prática passiva gera frequentes falhas topológicas e permite a persistência de inconsistências hidráulicas severas, como contra-declives e profundidades fora de norma. Este artigo apresenta a estruturação e a validação de um sistema automatizado de governança espacial no ambiente QGIS (via PyQGIS), ancorado no padrão de banco de dados GeoPackage. A metodologia consistiu na divisão espacial denominada "Trindade Topológica" (nós, eixos principais e ramais) e no desenvolvimento de formulários paramétricos que substituem a digitalização livre. Utilizando algoritmos de referenciamento linear e interpolação tridimensional, o sistema garante a conexão geométrica perfeita entre as feições e calcula de forma autônoma parâmetros executivos, como o desnível e a declividade (m/m). Foram implementadas travas lógicas de engenharia que bloqueiam o salvamento de dados fisicamente inviáveis, forçando a correção topográfica em tempo real. Adicionalmente, adotou-se uma codificação alfanumérica estrutural e um módulo de auditoria multimídia via caminhos relativos (Relative Paths). Os resultados atestam a minimização de erros de conectividade (undershoots e overshoots) e a viabilidade da migração do banco de dados para o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) e plataformas de visualização em nuvem (WebGIS). O sistema desenvolvido converte o QGIS de uma prancheta de desenho digital em um auditor ativo, atuando como mecanismo automatizado de validação da consistência topológica e hidráulica.

Palavras-chave: QGIS; Automação Espacial; Saneamento Básico; Topologia; Cadastro Técnico Multifinalitário.

ABSTRACT: The As-Built registration of sanitation infrastructures has historically relied on manual drawing routines (CAD) and non-relational vector databases (such as Shapefile). This passive practice frequently generates topological flaws and allows the persistence of severe hydraulic inconsistencies, such as counter-slopes and non-compliant depths. This article presents the structuring and validation of an automated spatial data governance system in the QGIS environment (via PyQGIS), anchored in the GeoPackage database standard. The methodology consisted of a spatial division termed the "Topological Trinity" (nodes, main axes, and branches) and the development of parametric forms that replace freehand digitization. Using linear referencing algorithms and three-dimensional interpolation, the system ensures perfect geometric connections between features and autonomously calculates executive parameters, such as elevation drop and slope (m/m). Engineering logic locks were implemented to block the saving of physically unfeasible data, forcing real-time topographic correction. Additionally, a structural alphanumeric coding and a multimedia audit module using relative paths were adopted. The results attest to the minimization of connectivity errors (undershoots and overshoots) and the feasibility of migrating the database to a Multipurpose Technical Cadastre (MTC) and cloud visualization platforms (WebGIS). The developed system converts QGIS from a digital drawing board into an active auditor, acting as an automated mechanism for validating topological and hydraulic consistency.

Keywords: QGIS; Spatial Automation; Basic Sanitation; Topology; Multipurpose Technical Cadastre.

[1] Universidade Federal de Alagoas - Centro de Ciências Agrárias / E-mail mario.santos@ceca.ufal.br
[2] Universidade Federal de Alagoas - Centro de Ciências Agrárias / E-mail juciela.santos@ceca.ufal.br
[3] Universidade Federal de Alagoas - Centro de Ciências Agrárias / E-mail michelle.cerqueira@ceca.ufal.br

1. INTRODUÇÃO

A crescente complexidade da gestão das infraestruturas urbanas exige que os sistemas de cadastro deixem de desempenhar apenas a função de registro cartográfico para assumirem o papel de plataformas integradas de produção, armazenamento e compartilhamento de informações espaciais. No setor de saneamento básico, essa necessidade é ainda mais evidente, uma vez que as redes subterrâneas constituem ativos de elevada relevância para o planejamento urbano, a operação dos serviços públicos e a manutenção da infraestrutura municipal. Nesse contexto, a qualidade dos dados espaciais torna-se um requisito essencial para garantir a confiabilidade das análises técnicas e o suporte à tomada de decisão.

Historicamente, o cadastro As-Built de redes de saneamento foi desenvolvido com base em ferramentas de Desenho Assistido por Computador (CAD), nas quais a representação gráfica e as informações descritivas permanecem frequentemente dissociadas. Esse modelo de trabalho exige intensa intervenção manual durante o processo de digitalização e atualização dos dados, favorecendo inconsistências geométricas, duplicidades cadastrais e falhas de conectividade entre os elementos da rede. Além disso, a inexistência de mecanismos automáticos de validação permite que erros topológicos e hidráulicos sejam incorporados à base cartográfica, comprometendo sua utilização em análises posteriores (MULLER; GERICKE; PIETERSEN, 2021).

A evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) modificou significativamente essa realidade ao incorporar recursos de modelagem espacial, bancos de dados geográficos e mecanismos automáticos de validação topológica. Esforços para automatizar o traçado de redes e extrair parâmetros de engenharia em ambientes SIG já são observados na literatura, a exemplo dos trabalhos de Alzamora e Elvira (2019) com o QGISRed e as modelagens de Costa, Albuquerque e Paiva (2018). Diferentemente dos ambientes CAD, os SIG permitem que geometrias e atributos sejam tratados de forma integrada, preservando relações espaciais, restrições geométricas e regras de consistência durante todo o ciclo de vida da informação.

Ferramentas como o QGIS disponibilizam funcionalidades nativas de edição topológica, indexação espacial e automação por meio da biblioteca PyQGIS, possibilitando a implementação de rotinas computacionais voltadas à redução de erros operacionais. Iniciativas recentes, como o desenvolvimento do plugin QWater (ALMERIO, 2024), evidenciam a aplicação prática dessa biblioteca.

Apesar desses avanços, entre os principais problemas encontrados na modelagem de redes lineares destacam-se as descontinuidades provocadas por undershoots e overshoots, resultantes da ausência de aderência geométrica entre feições adjacentes, já que muitas ferramentas não possuem travas restritivas de salvamento na origem do dado. Essas inconsistências comprometem a formação do grafo da rede e podem inviabilizar procedimentos como roteamento, modelagem hidráulica, cálculo de declividades e identificação de conectividade entre elementos. Dessa forma, a aplicação de regras topológicas deixa de representar apenas uma boa prática cartográfica e passa a constituir um mecanismo de controle da qualidade dos dados geoespaciais.

Além da consistência geométrica, a qualidade de um cadastro digital depende da estrutura do banco de dados utilizado para armazenar as informações espaciais. Durante muitos anos, o formato Shapefile consolidou-se como padrão de intercâmbio entre diferentes plataformas SIG. Entretanto, suas limitações estruturais — como a fragmentação em múltiplos arquivos, restrições na nomenclatura de atributos, ausência de mecanismos relacionais robustos e limitações para armazenamento de metadados — restringem sua utilização em sistemas mais complexos de gestão territorial.

Nesse cenário, o GeoPackage, padronizado pelo Open Geospatial Consortium (OGC), apresenta-se como uma alternativa tecnicamente mais adequada para aplicações que demandam interoperabilidade, integridade dos dados e armazenamento relacional. Fundamentado em banco de dados SQLite, o formato permite reunir geometrias, atributos, tabelas auxiliares e metadados em um único arquivo, favorecendo operações em campo, sincronização entre equipes e utilização em ambientes com conectividade limitada (HASSAN et al., 2016; OGC).

Sob a perspectiva da governança de dados espaciais, entretanto, a adoção de tecnologias geoespaciais representa apenas parte da solução. A governança efetiva, conforme os preceitos do Integrated Geospatial Information Framework (UN-GGIM, 2018), exige que a tecnologia seja sustentada por padrões de dados normalizados e políticas de interoperabilidade. O verdadeiro avanço ocorre quando os dados produzidos passam a integrar um modelo de informações estruturado, interoperável e reutilizável por diferentes setores da administração pública. Essa concepção corresponde aos princípios do Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), cuja finalidade consiste em estabelecer uma base territorial única, capaz de subsidiar simultaneamente atividades de planejamento urbano, gestão ambiental, infraestrutura, tributação, regularização fundiária e prestação de serviços públicos (OLIANI, 2016; AMORIM; SOUZA; YAMASHITA, 2008).

No contexto das redes de saneamento, a incorporação dos princípios do CTM permite que informações tradicionalmente restritas à operação da concessionária — como diâmetros, profundidades, declividades, localização de poços de visita e ramais prediais — sejam integradas a bases cadastrais de superfície, informações imobiliárias e registros fotográficos, formando um modelo geoespacial unificado. Autores como Carneiro et al. (2020), ao discutirem a aplicação de normas de modelagem de domínio administrativo (como o LADM - ISO 19152), reforçam que a separação lógica e estrutural das entidades é o que garante a integridade e o valor multifinalitário da infraestrutura mapeada. Complementarmente, a evolução dos ambientes WebGIS amplia o alcance dessas bases de dados ao possibilitar sua disponibilização em plataformas colaborativas acessíveis por diferentes órgãos públicos e equipes de campo. A integração entre bancos de dados relacionais, automação por meio de scripts e interfaces web favorece a consolidação de ecossistemas digitais voltados à governança territorial, aproximando o cadastro de infraestrutura dos conceitos contemporâneos de cidades inteligentes, interoperabilidade e gestão integrada da informação espacial.

Nesse contexto, o desenvolvimento de ferramentas capazes de automatizar procedimentos de cadastro, validar regras topológicas durante a inserção dos dados e estruturar bancos geográficos compatíveis com os princípios do Cadastro Técnico Multifinalitário representa uma importante contribuição para a modernização dos processos de produção e gestão das informações espaciais relacionadas às redes de saneamento

Desenvolver e validar uma arquitetura de governança de dados espaciais para o cadastro As-Built de redes de esgotamento sanitário, fundamentada em ambiente QGIS/PyQGIS e estruturada segundo os princípios do Cadastro Territorial Multifinalitário, visando integrar informações geométricas, hidráulicas, cadastrais e multimídia em um banco de dados geográfico interoperável.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi dividida em duas etapas principais: primeiro, o desenvolvimento da ferramenta de automação e modelagem do banco de dados; em seguida, a validação do sistema utilizando um estudo de caso real de engenharia de saneamento.

A ferramenta foi desenvolvida no QGIS, utilizando a linguagem Python e a API PyQGIS para a criação dos algoritmos. Como matriz de armazenamento, optou-se pelo formato GeoPackage (OGC), com o objetivo de contornar as limitações estruturais e de limite de caracteres do tradicional Shapefile.O processo de automação consistiu, basicamente, em substituir o desenho manual por formulários paramétricos de entrada. Na prática, em vez de o operador desenhar (vetorizar) linhas e pontos livremente na tela, ele apenas digita as coordenadas e cotas levantadas em campo. A partir dessas informações, os scripts desenvolvidos rodam em segundo plano para gerar a geometria correta e preencher a tabela de atributos com os resultados dos cálculos.Para estruturar a rede adequadamente (separando nós, eixos principais e ramais), o código utiliza referenciamento linear e interpolação tridimensional (Z_snap). Dessa forma, o sistema consegue projetar ortogonalmente a posição dos ramais sobre a rede principal, extrair cotas e calcular a declividade real (m/m) de forma automática. Além disso, foram configuradas travas lógicas no próprio banco de dados para impedir o cadastro de feições fisicamente incorretas, bloqueando, por exemplo, o salvamento de trechos em contra-declive.

A validação prática do sistema ocorreu durante a consolidação do *As-Built* da rede de esgotamento sanitário do município de Capela, em Alagoas. Ao todo, foram processados 2.088,46 metros de rede, estruturados em 50 trechos de eixo principal, 65 nós (entre poços de visita e terminais de limpeza) e 43 ramais prediais.

Como o algoritmo desenvolvido foi extraido as cotas e declividades por geometria analítica direta a partir das coordenadas informadas, o sistema foi utilizado para auditar o traçado topográfico gerado de forma tradicional no AutoCAD Civil 3D. O confronto dos dados mostrou que a automação no QGIS consegue detectar rapidamente as falhas de conexão (*snapping*) que costumam passar despercebidas no desenho manual, corrigindo a consistência topográfica direto no banco de dados.

2.1. Materiais e Dados de Entrada

Os dados primitivos de altimetria e posicionamento plano-altimétrico (X, Y, Z) empregados na validação da ferramenta foram coletados *in loco* por meio de equipamentos GNSS (I73+ e I50), operando no método cinemático em tempo real (RTK — *Real Time Kinematic*) para coleta do posicionamento das estruturas primárias e secundárias. E a Estação Total (Sanding Sts 752 R10U), utilizada especificamente para o nivelamento e a conferência das cotas de fundo dos tubos.

2.2. Modelagem do Banco de Dados e Trindade Topológica

A arquitetura do banco de dados geográfico foi estruturada sob o princípio da separação lógica das geometrias, conceituada no projeto como "Trindade Topológica". Este modelo estabelece a divisão das entidades espaciais em três camadas relacionais isoladas: Nós - que representam as estruturas pontuais como caixas de inspeção e hidrômetros; Eixos Principais - correspondentes às linhas da rede tronco coletora; e Ramais - que configuram as linhas de conexão secundária entre as edificações e a rede. Esta normalização previne a corrupção do modelo relacional ao proibir a fusão inadequada de atributos hidráulicos de subsolo (como cotas de fundo e profundidades) com parâmetros comerciais e cadastrais de superfície (como

numeração predial e registros fotográficos) na mesma tabela.

2.3. Motor Matemático e Referenciamento Linear

Para erradicar a inconsistência topológica inerente ao desenho manual e ao uso não supervisionado de algoritmos de menor distância geométrica (aderência simples no plano cartesiano), desenvolveu-se um motor de cálculo vetorial fundamentado no Referenciamento Linear**.** O algoritmo emprega o índice espacial nativo da ferramenta para localizar o eixo principal mais próximo e projeta ortogonalmente a coordenada do nó sobre o respectivo segmento de reta.

A definição altimétrica no ponto exato de intersecção é obtida por interpolação tridimensional. O algoritmo calcula a fração de distância longitudinal do ponto de conexão em relação ao comprimento total do tubo e aplica a equação (1):

$$ZSnap = Zinicial + f * (Zfinal - Zinicial) \quad (1)$$

f - A fração da distância desejada;
Zsnap – A cota Interpolada de Chegada;
Zinicio – Cota do Montante;
Zfinal – Cota do Jusante.

Essa expressão matemática foi utilizada para extrair a cota de fundo interpolada. A partir deste referenciamento, o sistema deduz instantaneamente parâmetros críticos de engenharia, como a declividade do ramal, calculada por meio da relação ΔZ/Distância.

2.4. Travas Lógicas e Auditoria Multimídia

A governança dos dados durante o fluxo de inserção em campo é assegurada pela implementação de mecanismos algorítmicos de validação restritiva, denominados travas de engenharia. O sistema foi programado para atuar de maneira preditiva, avaliando a viabilidade física do fluxo gravitacional em tempo real. Caso a rotina identifique inconsistências hidráulicas severas, tais como cotas que geram contra-declives ou profundidades fisicamente impossíveis, o salvamento da feição é bloqueado sistemicamente, forçando a correção topográfica prévia.

Para garantir a rastreabilidade unívoca das infraestruturas e a integridade relacional do sistema, desenvolveu-se uma codificação alfanumérica estrutural para a chave primária de cada feição. A prática de campo demonstrou que a dependência de identificadores comerciais — como numeração predial oficial ou registros de hidrômetros — introduz falhas severas e dados nulos (NULL) no banco de dados, dada a alta incidência de imóveis irregulares. Portanto, o identificador foi modelado com base na hierarquia topológica da rede (Bacia de Contribuição e Trecho), desvinculando definitivamente a infraestrutura de engenharia das inconsistências do cadastro urbano de superfície.

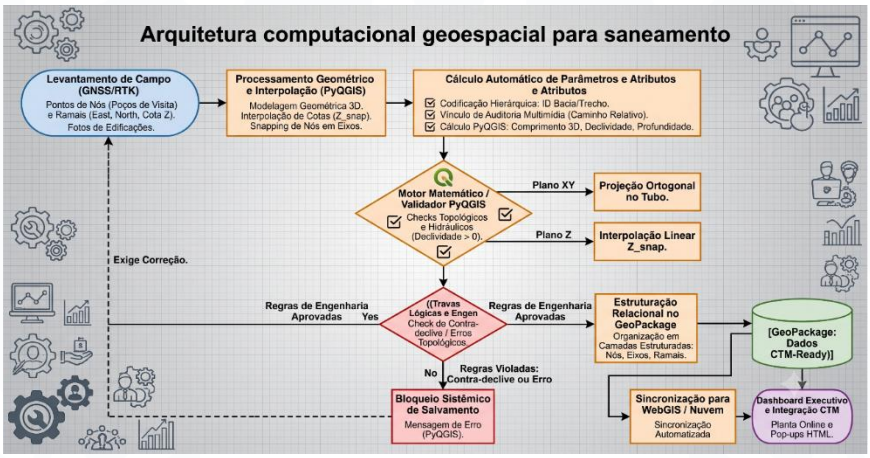
De forma complementar e atrelada a essa codificação primária, implementou-se um módulo de auditoria visual multimídia projetado para o Cadastro Territorial Multifinalitário. Para preservar o desempenho e a integridade do banco de dados, os registos fotográficos *As-Built* não são embutidos nas tabelas espaciais. Em vez disso, o código gera caminhos relativos universais para os arquivos locais associados ao código do trecho. Essa arquitetura viabiliza a renderização dinâmica das evidências visuais em formulários integrados e pop-ups executivos, tanto em ambiente desktop quanto em plataformas web, sem sobrecarregar o contêiner de armazenamento.

3. RESULTADO E DISCURSSÕES

A principal contribuição da arquitetura proposta consiste na estruturação de um modelo de dados geográfico orientado aos princípios do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), fundamentado na separação lógica das entidades espaciais e na integração entre informações geométricas, hidráulicas e cadastrais. Para isso, o banco de dados foi desenvolvido utilizando o padrão GeoPackage, permitindo armazenar, em um único repositório, geometrias, atributos descritivos e informações auxiliares necessárias à operação do sistema.

A modelagem adotada foi baseada na segregação das feições em três classes principais: eixos da rede coletora, nós estruturais (poços de visita e caixas de inspeção) e ramais prediais. Essa separação evita redundâncias de atributos, reduz inconsistências decorrentes da duplicidade de informações e favorece a manutenção da integridade relacional do banco de dados. A Figura 01 apresenta a arquitetura computacional desenvolvida para o sistema, evidenciando o fluxo de processamento dos dados desde a coleta em campo até sua disponibilização em ambiente WebGIS. Observa-se que a modelagem proposta integra rotinas de validação geométrica, processamento automático de atributos e armazenamento em banco de dados relacional, constituindo uma arquitetura compatível com os princípios de interoperabilidade e governança de dados espaciais.

Figura 01: Arquitetura Computacional geoespacial



Fonte: autor (2026)

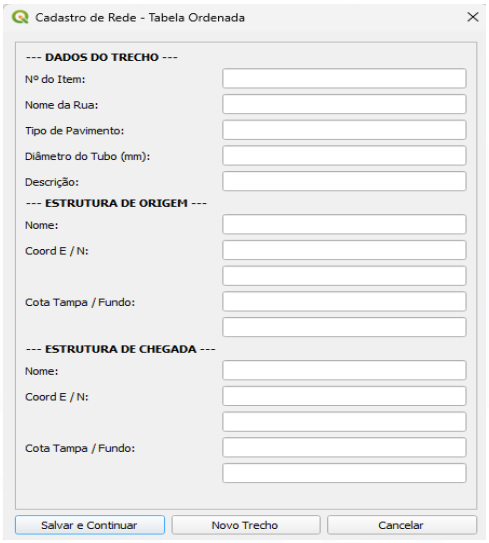
A adoção do GeoPackage mostrou-seadequada por permitir a consolidação das diferentes camadas temáticas em um único arquivo, preservando relacionamentos entre entidades espaciais e facilitando futuras integrações com outros sistemas de informações territoriais.
Esse modelo aproxima o cadastro de infraestrutura dos conceitos do Cadastro Territorial Multifinalitário, uma vez que permite que diferentes setores utilizem uma mesma base territorial para finalidades distintas, mantendo a consistência das informações espaciais.

3.1. Automatização do cadastro e da continuidade topológica da rede

Após a estruturação do banco de dados, desenvolveu-se uma interface paramétrica destinada ao cadastro da rede coletora de esgoto. Diferentemente dos procedimentos convencionais baseados em desenho livre, a ferramenta desenvolvida orienta o operador durante a inserção dos dados, reduzindo a necessidade de edição manual das geometrias.

O formulário de cadastro (Figura 02) permite que atributos referentes à infraestrutura sejam registrados simultaneamente à criação das feições espaciais, estabelecendo uma associação direta entre os dados coletados em campo e sua representação cartográfica.

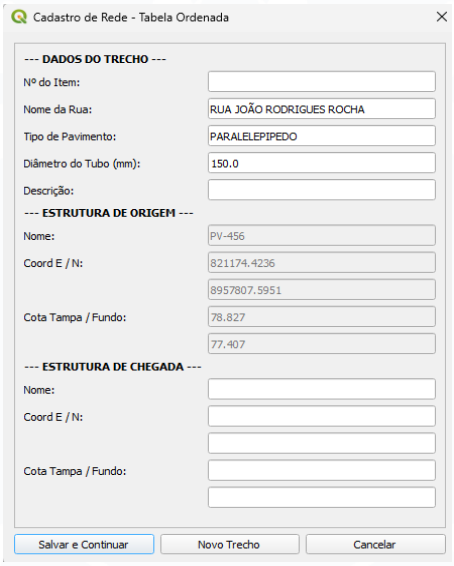
Figura 02: Formulário de cadastro da Rede Principal



Fonte: autor (2026)

Um dos principais avanços observados foi a implementação do mecanismo de continuidade automática da rede (Figura 03). Após o salvamento de um trecho, as informações da estrutura de chegada são automaticamente transferidas para o trecho subsequente, eliminando a necessidade de redigitação das coordenadas e cotas da estrutura compartilhada.

Figura 03: Continuidade do Formulário de Cadastro



Fonte: autor (2026)

Essa rotina reduz significativamente a possibilidade de erros de digitação e garante que a conectividade geométrica entre os segmentos seja preservada durante todo o processo de cadastro. Como consequência, evita-se a ocorrência de descontinuidades topológicas frequentemente observadas em processos convencionais de digitalização, contribuindo para a formação de um grafo espacial consistente e adequado às futuras análises hidráulicas.

Além da melhoria da consistência geométrica, essa estratégia reduz o tempo necessário para cadastramento em campo, diminui retrabalhos decorrentes da correção de inconsistências e aumenta a padronização das informações produzidas.

3.2. Validação automática da consistência topológica e hidráulica

Outro resultado relevante refere-se ao desenvolvimento de mecanismos automáticos de validação durante o processo de cadastro.

A ferramenta implementa rotinas baseadas em projeção ortogonal, referenciamento linear e interpolação tridimensional para determinar automaticamente o ponto de conexão entre os ramais prediais e a rede principal. A partir dessa definição geométrica, são calculados parâmetros hidráulicos como extensão do ramal, profundidade, cota de fundo e declividade.
Diferentemente do procedimento convencional, no qual esses cálculos são realizados manualmente ou por meio de planilhas auxiliares, o sistema executa essas operações automaticamente durante a inserção das informações no banco de dados.

Paralelamente, foram implementadas regras de validação que verificam a coerência física das informações produzidas. Caso sejam identificadas situações incompatíveis com o funcionamento hidráulico da rede, como declividades negativas, profundidades inconsistentes ou conexões inviáveis, o sistema bloqueia o salvamento da feição até que as inconsistências sejam corrigidas.

Essa abordagem transfere parte do controle de qualidade para o momento da produção do dado, reduzindo a propagação de erros para etapas posteriores do cadastro e contribuindo para a confiabilidade das informações armazenadas.

3.3. Organização das informações e integração dos atributos

Os formulários desenvolvidos alimentam automaticamente o banco de dados geográfico, permitindo que cada elemento cadastrado seja representado por um conjunto estruturado de atributos espaciais e alfanuméricos.

A Figura 04 apresenta parte da tabela de atributos produzida para os trechos da rede coletora. Observa-se que o banco de dados reúne tanto informações inseridas diretamente pelo operador quanto atributos calculados automaticamente pelo sistema, incluindo distâncias, declividades, profundidades e demais parâmetros necessários às atividades de engenharia.
Essa distinção entre dados observados e dados derivados reduz a necessidade de cálculos posteriores, aumenta a rastreabilidade das informações e favorece processos de auditoria e controle de qualidade.

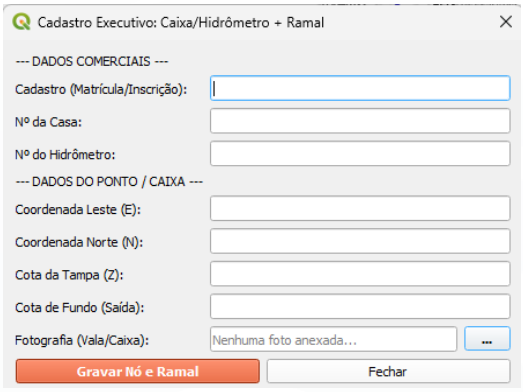
A utilização de identificadores estruturados também possibilita estabelecer relações entre diferentes componentes da infraestrutura, permitindo a organização hierárquica da rede e facilitando futuras integrações com bases cadastrais municipais.

3.4. Auditoria multimídia e integração com o Cadastro Técnico Multifinalitário

A última etapa do fluxo desenvolvido corresponde à integração das informações técnicas com registros fotográficos obtidos durante a execução da obra.

A interface apresentada na Figura 04 permite associar imagens às feições espaciais por meio de caminhos relativos, preservando a integridade do banco de dados sem incorporar arquivos binários diretamente ao GeoPackage.

Figura 04: Formulário de cadastro da Rede Secundária

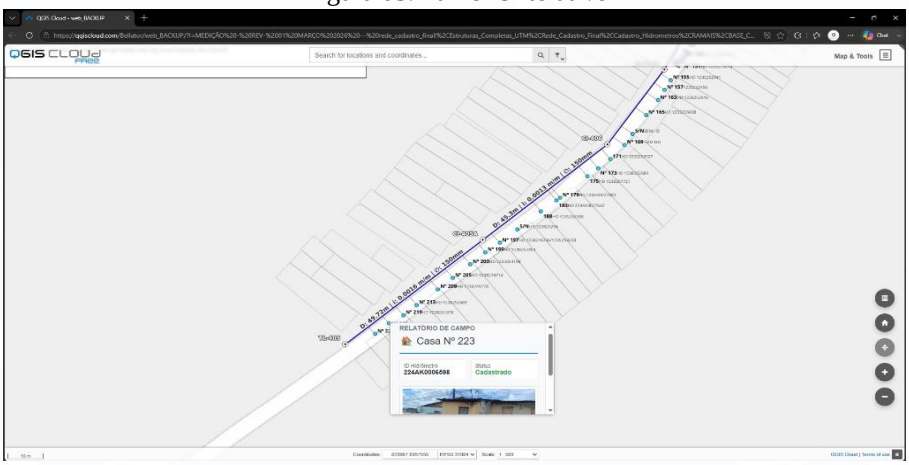


Fonte: autor (2026)

Como resultado, cada elemento cadastrado passa a possuir documentação técnica complementar disponível para consulta tanto em ambiente desktop quanto em plataformas WebGIS.

O painel interativo ilustrado na Figura 05 demonstra a integração entre geometria, atributos hidráulicos e registos fotográficos, permitindo que equipes de fiscalização, manutenção e gestão territorial acessem simultaneamente informações espaciais e evidências visuais da infraestrutura implantada.

Figura 05: Painel Onterativo



Fonte: autor (2026)

Sob a perspectiva do Cadastro Territorial Multifinalitário, essa integração amplia significativamente o potencial de utilização da base de dados. Além de atender às demandas operacionais da concessionária de saneamento, o modelo passa a oferecer informações passíveis de utilização por diferentes setores da administração pública, favorecendo atividades de planejamento urbano, gestão da infraestrutura, fiscalização de obras, regularização territorial e manutenção preventiva dos ativos públicos.

3.5. Contribuições para o Cadastro Territorial Multifinalitário

Os resultados obtidos demonstram que a arquitetura desenvolvida ultrapassa a simples digitalização de redes de esgotamento sanitário, estabelecendo um modelo de governança de dados espaciais compatível com os princípios do Cadastro Territorial Multifinalitário.

Entre as principais contribuições observadas destacam-se: (i) a utilização de um banco de dados relacional estruturado em GeoPackage; (ii) a separação lógica das entidades espaciais; (iii) a automatização do cálculo dos atributos hidráulicos; (iv) a implementação de mecanismos de validação topológica durante a produção dos dados; (v) a integração de registos fotográficos ao cadastro geográfico; e (vi) a possibilidade de disponibilização das informações em plataformas WebGIS. A tabela 01 sintetiza os parâmetros tecnológicos incorporados a este modelo.

Essas características tornam o sistema apto a apoiar não apenas atividades de cadastro executivo de redes de saneamento, mas também processos mais amplos de gestão territorial, interoperabilidade entre bases de dados e governança da informação espacial, aspectos fundamentais para a consolidação de um Cadastro Técnico Multifinalitário.

Tabela 01: Parâmetros incorporados ao modelo

Característica	Sistema desenvolvido	Contribuição ao CTM
Banco relacional	GeoPackage	Integração de dados
Nós separados	Sim	Integridade espacial
Ramais	Sim	Cadastro de infraestrutura
Fotografias	Sim	Auditoria
Chave única	Sim	Governança
WebGIS	Sim	Compartilhamento
Dados hidráulicos	Sim	Planejamento
Regras topológicas	Sim	Qualidade dos dados

Fonte: autor (2026)

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma arquitetura para a governança de dados espaciais aplicada ao cadastro As-Built de redes de esgotamento sanitário, implementada em ambiente QGIS/PyQGIS e orientada nos princípios do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM). Os resultados indicam que a integração entre modelagem geográfica, banco de dados relacional, automação computacional e mecanismos de validação topológica podem contribuir para o aperfeiçoamento da produção, do controle de qualidade e da gestão das informações espaciais referente à infraestrutura subterrânea.

A estruturação da base de dados em GeoPackage, com separação lógica entre eixos da rede, nós estruturais e ramais prediais, mostrou-se adequada para preservar a integridade relacional das informações e favorecer sua interoperabilidade com outros sistemas de gestão territorial. Essa organização possibilita que atributos geométricos, hidráulicos, cadastrais e registos fotográficos sejam integrados em uma única base de dados, ampliando as possibilidades de utilização dessas informações para além das atividades operacionais das concessionárias de saneamento.

Os resultados evidenciaram que a utilização de formulários paramétricos, associada à implementação de algoritmos de referenciamento linear, interpolação tridimensional e validação topológica, contribui para a padronização do processo de cadastramento e para a redução de inconsistências normalmente associadas aos procedimentos convencionais de digitalização. Do mesmo modo, a automatização do cálculo de parâmetros hidráulicos durante a inserção dos dados reduz a necessidade de etapas posteriores de processamento incorporou mecanismos de controle de qualidade na etapa de produção da informação.

Outro aspecto relevante refere-se à incorporação de rotinas de auditoria multimídia e de identificação estruturada das feições, ampliando a rastreabilidade dos elementos cadastrados e favorecendo processos de inspeção, manutenção e fiscalização. Sob essa perspectiva, o modelo proposto aproxima o cadastro de infraestrutura dos conceitos contemporâneos de governança de dados espaciais, interoperabilidade e gestão integrada da informação territorial.

Dessa forma, entende-se que a principal contribuição deste trabalho não reside apenas no desenvolvimento de uma ferramenta computacional, mas na proposição de uma arquitetura de dados capaz de integrar procedimentos de engenharia, modelagem geoespacial e gestão territorial em uma estrutura compatível com os princípios do Cadastro Técnico Multifinalitário. Ao promover a produção de dados espacialmente consistentes, estruturados e passíveis de compartilhamento entre diferentes setores, a arquitetura proposta amplia o potencial de utilização das informações de infraestrutura como suporte ao planejamento urbano, à gestão de ativos públicos e à modernização dos sistemas cadastrais municipais.

Como perspectivas futuras, recomenda-se a adaptação da arquitetura para outras infraestruturas urbanas, como redes de abastecimento de água, drenagem pluvial e distribuição de energia, bem como sua integração com plataformas WebGIS e Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE), mediante a utilização de serviços, Metadados e especificações estabelecidas pelo Open Geospatial Consortium (OGC), favorecendo o acesso controlado e o compartilhamento das informações entre concessionárias e órgãos públicos.

Adicionalmente, estudos futuros poderão investigar a compatibilização da arquitetura com modelos conceituais de referência para a administração territorial, como o Land Administration Domain Model (LADM). Essa aproximação deverá considerar os limites e as finalidades específicas do modelo, avaliando de que maneiras informações sobre infraestrutura e serviços públicos podem ser relacionadas às unidades territoriais, aos direitos, às responsabilidades e às restrições representadas nos sistemas de administração territorial. Tal desenvolvimento poderá fortalecer a integração da solução a ecossistemas digitais mais amplos de governança e gestão do território.

Referências

AMORIM, A.; DE SOUZA, G. H. B.; YAMASHITA, M. C. Cadastro técnico multifinalitário via internet: um importante instrumento de apoio ao planejamento municipal. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2008. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44874.

CARNEIRO, A. F. T. et al. O Cadastro Territorial Multifinalitário e a Norma ISO 19152 (LADM): Perspectivas para a modelagem do cadastro no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. 4, p. 770-785, 2020.

HASSAN, H. R. B., et al. GeoPackage data format for collaborative mapping of geospatial data in limited network environments. 2016. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/7b5d/374202ec8c56418c56ce173dd79670a3df43.pdf.

MULLER, A. L.; GERICKE, O. J.; PIETERSEN, J. P. J. Methodological approach for the compilation of a water distribution network model using QGIS and EPANET. **SciELO South Africa**, 2021. Disponível em: https://scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-20192020000400004.

OGC - OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. **GeoPackage Encoding Standard**. Disponível em: https://www.geopackage.org/.

OLIANI, L. O. **Noções De Cadastro Territorial Multifinalitário - CTM**. Série de Cadernos Técnicos do CREA-PR, 2016. Disponível em: https://paranainterativo.pr.gov.br/gerenciadorConteudo/images/nocoes_cadastro_territorial_web.pdf.

QGIS PROJECT. **QGIS Documentation: Topological Editing and Topology Checker**. Disponível em: https://docs.qgis.org/latest/en/docs/gentle_gis_introduction/topology.html.

UN-GGIM - UNITED NATIONS COMMITTEE OF EXPERTS ON GLOBAL GEOSPATIAL INFORMATION MANAGEMENT. **Integrated Geospatial Information Framework (IGIF) - Part 1: Overarching Strategic Framework**. Nova York: Nações Unidas, 2018.