



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS
DA GEOINFORMAÇÃO

JOSÉ GABRIEL VIEIRA SANTOS

**UMA ABORDAGEM *FIT-FOR-PURPOSE* PARA O APRIMORAMENTO DO
CADASTRO TÉCNICO DA COMPESA – COMPANHIA PERNAMBUCANA DE
SANEAMENTO**

Recife

2022

JOSÉ GABRIEL VIEIRA SANTOS

**UMA ABORDAGEM *FIT-FOR-PURPOSE* PARA O APRIMORAMENTO DO
CADASTRO TÉCNICO DA COMPESA – COMPANHIA PERNAMBUCANA DE
SANEAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Orientadora: Profa. Dra. Andrea Flávia Tenório Carneiro.

Recife

2022

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S237a	Santos, José Gabriel Vieira. Uma abordagem <i>Fit-For-Purpose</i> para o aprimoramento do cadastro técnico da COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento / José Gabriel Vieira Santos. – 2022. 88 f.: il., figs., tabs., abrev. e siglas. Orientadora: Profa. Dra. Andrea Flávia Tenório Carneiro. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2022. Inclui referências, apêndice e anexo. 1. Engenharia cartográfica. 2. Cadastro 3D. 3. <i>Fit-For-Purpose</i>. 4. Sistema de abastecimento de água. I. Carneiro, Andrea Flávia Tenório (Orientadora). II. Título UFPE 526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2022-215
-------	---

JOSÉ GABRIEL VIEIRA SANTOS

**UMA ABORDAGEM *FIT-FOR-PURPOSE* PARA O APRIMORAMENTO DO
CADASTRO TÉCNICO DA COMPESA – COMPANHIA PERNAMBUCANA DE
SANEAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 23/03/2022.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Andrea Flávia Tenório Carneiro (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Fabrizio de Luiz Rosito Listo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Guilherme Henrique Barros de Souza (Examinador Externo)
Universidade Estadual Paulista

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão primeiramente a Deus pelas bênçãos que me concede, pelas pessoas que coloca em minha vida, pelas oportunidades que me proporciona, pela força que me foi dada e por ser meu guia. Sem Ele, nada eu seria.

Aos meus pais, Maria José e Ivanildo, por todo amor, toda a luta ao meu lado, todo o estímulo e encorajamento, por não me deixarem desistir e me fazerem acreditar que é possível. Vocês são a minha base e a minha vida.

À minha namorada Rayssa pelo apoio, por também não me deixar desistir diante das dificuldades, pelo seu esforço e por passar por tudo isso ao meu lado.

Aos amigos que a universidade me deu, em especial aos meus irmãos e irmãs: Eduardo, Laizy e Evelyn. Obrigado por toda amizade e companheirismo que vocês me deram, tornando minha caminhada menos onerosa.

À toda gerência de projetos de engenharia da COMPESA, em especial ao gerente Artur Correia Rodrigues, pelo acolhimento, confiança e conhecimento compartilhado no meu primeiro ano como funcionário na companhia. A GPE é uma família.

A todos os professores que de forma direta e indireta participaram da minha formação, principalmente aos professores do departamento de Engenharia Cartográfica e em especial a professora Dr. Andrea Flávia Tenório Carneiro pela orientação, incentivo e toda contribuição no decorrer desta pesquisa.

Agradecer também aos professores Fabrizio de Luiz Rosito Listo e Guilherme Henrique Barros de Souza pela participação na banca e enriquecedora colaboração no presente trabalho.

RESUMO

Sistemas de administração territoriais cujo núcleo é constituído pelos cadastros e registros territoriais, tem condições de integrar dados temáticos variados, inclusive aqueles que constituem os cadastros técnicos de redes de infraestrutura, como saneamento, energia e comunicações. O conceito tradicional do cadastro está baseado no levantamento preciso dos limites das parcelas e sua localização, porém, atualmente reconhece-se a dificuldade que muitos países tem para estruturar tais cadastros. Dessa forma, surge o conceito de cadastro *Fit-For-Purpose*, ou adequado à finalidade, com princípios baseados na flexibilidade, acessibilidade e confiabilidade, dentre outros. Nesse contexto, esta pesquisa visa aplicar os conceitos e métodos do cadastro *Fit-For-Purpose* ao aprimoramento do cadastro técnico de redes de água, por meio da integração de dados de diferentes fontes e utilização de dados tridimensionais no banco de dados geográficos existente. O desenvolvimento da proposta utilizou como estudo de caso a estrutura das informações cadastrais da COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento, com vistas a identificar as possibilidades de integração e aprimoramento dos sistemas. A integração ao banco de dados geográficos, de dados de formatos e fontes variadas, foi testada com o cadastro do município de Goiana-PE, que dispunha de um acervo de projetos mais completo e variado. Como resultado, foi desenvolvido um método para a alimentação do banco de dados geográficos a partir de um passivo de arquivos referentes a projetos concluídos disponíveis na Gerência de Projetos de Engenharia – GPE, onde as informações referentes aos projetos podem ser acessadas pelos colaboradores através do *SIGWEB* da COMPESA (GISCOMP). Por outro lado, a pesquisa buscou investigar e testar a coleta e inclusão de dados tridimensionais referentes à profundidade de dutos subterrâneos, um dado relevante cuja inclusão no sistema pode representar o embrião de um cadastro 3D. Nesse caso, foi testada uma metodologia para obtenção de dados 3D utilizando o *Ground Penetrating Radar* – *GPR*, aproveitando uma demanda do projeto de triplicação da BR232, localizada em Recife-PE. Como resultado, foram obtidos radargramas e gerados plantas e perfis cuja precisão de posicionamento vertical foi considerado adequada para a necessidade, de forma que o cadastro realizado servirá de base para elaboração de projeto. Por fim, foram apresentadas sugestões de pesquisas futuras, como por exemplo, a associação do *pipe locator* ao *GPR* e a estruturação de uma camada de estudos de concepção no banco de dados geográficos.

Palavras-chave: cadastro 3D; *fit-for-purpose*; sistema de abastecimento de água.

ABSTRACT

Land administration systems whose core is constituted by cadastres and land registries, are able to integrate various thematic data, including those that constitute the cadastres of infrastructure networks or utilities cadastres, such as sanitation, energy and communications. The traditional concept of cadastre is based on the precise survey of parcel boundaries and their location, but currently it is recognized the difficulty that many countries have to structure such cadastres. Thus, the concept of a fit-for-purpose cadastre arises, with principles based on flexibility, accessibility, and reliability, among others. In this context, this research aims to apply the concepts and methods of fit-for-purpose cadastre to the improvement of the technical cadastre of water networks, through the integration of data from different sources and the use of three-dimensional data in the existing geographic database. The development of the proposal used as a case study the structure of the cadastral information of COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento, in order to identify the possibilities of integration and improvement of the systems. The integration to the geographic database, of data from various formats and sources, was tested with the cadastre of the municipality of Goiana-PE, which had a more complete and varied collection of projects. As a result, a method was developed for feeding the geographic database from a passive of files referring to completed projects available at the Engineering Projects Management – GPE, where the information regarding the projects can be accessed by the collaborators through the SIGWEB COMPESA (GISCOMP). On the other hand, the research tried to investigate and test the collection and inclusion of three-dimensional data referring to the depth of underground pipelines, a relevant data whose inclusion in the system may represent the embryo of a 3D cadastre. In this case, a methodology for obtaining three-dimensional data using Ground Penetrating Radar - GPR was tested, taking advantage of a demand from the BR232 triplication project, located in Recife-PE. As a result, radargrams were obtained and plants and profiles were generated whose vertical positioning accuracy was considered adequate for the need, so that the registration performed will serve as a basis for project preparation. Finally, suggestions for future research were presented, such as the association of the pipe locator to the GPR and the structuring of a layer of design studies in the geographic database.

Keywords: 3D cadastre; fit-for-purpose; water supply system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Simplificação do funcionamento do GPR	25
Figura 2 –	Metodologia utilizada na pesquisa.....	29
Figura 3 –	Área de estudo da implantação do SAA projetado no GISCOMP - Goiana.....	30
Figura 4 –	Informações disponíveis no banco de projetos concluídos.....	31
Figura 5 –	Metodologia para implementação das informações no BDG.....	32
Figura 6 –	Elementos do SAA Goiana, onde em verde é representado a adutora, vermelho a rede projetada, azul a rede existente, amarelo os lotes, a estação elevatória de água tratada (EEAT Flexeiras), bem como os reservatórios elevados e apoiados (REL e RAP), além dos macromedidores em branco.....	32
Figura 7 –	Tela de instalação do plugin AnotherDXFImporter.....	33
Figura 8 –	Tela de execução do plugin AnotherDXFImporter.....	34
Figura 9 –	Trecho de rede de abastecimento de água projetada para o município de Goiana/PE, contendo macromedidores em formato de bloco no <i>AutoCAD</i>	38
Figura 10 –	Trecho de rede de abastecimento de água, onde tem-se conexão do tipo Cap com formato de geometria irregular.....	38
Figura 11 –	Área de estudo do mapeamento 3D – BR232.....	40
Figura 12 –	Mapa de solo para área de estudo do mapeamento 3D – BR232.....	41
Figura 13 –	Definição dos trechos de mapeamento por <i>GPR</i>	44
Figura 14 –	Equipamento GPR utilizado no levantamento.....	45
Figura 15 –	Modelo Digital do Terreno para área de estudo na BR-232.....	47
Figura 16 –	Mapa de declividade para área de estudo na BR-232.....	48
Figura 17 –	Recorte da captação de água bruta projetada para o SAA do município de Goiana.....	49
Figura 18 –	Recorte da EEAB projetada para o SAA do município de Goiana.....	50
Figura 19 –	Recorte da adutora de água bruta projetada para o SAA do município de Goiana.....	50
Figura 20 –	Recorte da adutora de água tratada projetada para SAA do município de Goiana.....	51

Figura 21 –	Recorte do reservatório projeto para o SAA para o município de Goiana.....	51
Figura 22 –	Recorte da rede de distribuição projetada para o SAA do município de Goiana.....	52
Figura 23 –	Recorte geral do SAA projetado para o município de Goiana.....	53
Figura 24 –	Trechos 01 e 03 do levantamento por <i>GPR</i>	54
Figura 25 –	Radargrama para o trecho 01 do levantamento por <i>GPR</i>	55
Figura 26 –	Radargrama para o trecho 03 do levantamento por <i>GPR</i>	55
Figura 27 –	Trecho 02 do levantamento por <i>GPR</i>	56
Figura 28 –	Radargrama para o trecho 02 do levantamento por <i>GPR</i>	56
Figura 29 –	Trecho 04 do levantamento por <i>GPR</i>	57
Figura 30 –	Radargrama para o trecho 04 do levantamento por <i>GPR</i>	57
Figura 31 –	Trecho 05 do levantamento por <i>GPR</i>	58
Figura 32 –	Radargrama para o trecho 05 do levantamento por <i>GPR</i>	58
Figura 33 –	Trecho 06 do levantamento por <i>GPR</i>	59
Figura 34 –	Radargrama para o trecho 06 do levantamento por <i>GPR</i>	59
Figura 35 –	Trecho 07 do levantamento por <i>GPR</i>	60
Figura 36 –	Radargrama para o trecho 07 do levantamento por <i>GPR</i>	60
Figura 37 –	Trechos 08-1 e 08-2 do levantamento por <i>GPR</i>	61
Figura 38 –	Radargrama para o trecho 08-1 do levantamento por <i>GPR</i>	61
Figura 39 –	Radargrama para o trecho 08-2 do levantamento por <i>GPR</i>	62
Figura 40 –	Trecho 09 do levantamento por <i>GPR</i>	63
Figura 41 –	Radargrama para o trecho 09 do levantamento por <i>GPR</i>	63
Figura 42 –	Trechos 10-1 e 10-2 do levantamento por <i>GPR</i>	64
Figura 43 –	Radargrama para o trecho 10-1 do levantamento por <i>GPR</i>	65
Figura 44 –	Radargrama para o trecho 10-2 do levantamento por <i>GPR</i>	65
Figura 45 –	Trecho 11-1 do levantamento por <i>GPR</i>	66
Figura 46 –	Radargrama para o trecho 11-1 do levantamento por <i>GPR</i>	66
Figura 47 –	Trechos 11-2 do levantamento por <i>GPR</i>	67
Figura 48 –	Radargrama para o trecho 11-2 do levantamento por <i>GPR</i>	67
Figura 49 –	Trecho 11-3 do levantamento por <i>GPR</i>	68
Figura 50 –	Radargrama para o trecho 11-3 do levantamento por <i>GPR</i>	68
Figura 51 –	Trecho 11-4 do levantamento por <i>GPR</i>	69

Figura 52 –	Radargrama para o trecho 11-4 do levantamento por <i>GPR</i>	69
Figura 53 –	Trecho 11-5 do levantamento por <i>GPR</i>	70
Figura 54 –	Radargrama para o trecho 11-5 do levantamento por <i>GPR</i>	70
Figura 55 –	Trecho 11-6 do levantamento por <i>GPR</i>	71
Figura 56 –	Radargrama para o trecho 11-6 do levantamento por <i>GPR</i>	71
Figura 57 –	Trecho 12 do levantamento por <i>GPR</i>	72
Figura 58 –	Radargrama para o trecho 12 do levantamento por <i>GPR</i>	72
Figura 59 –	Trecho 13 do levantamento por <i>GPR</i>	73
Figura 60 –	Radargrama para o trecho 13 do levantamento por <i>GPR</i>	73
Figura 61 –	Trecho 14 do levantamento por <i>GPR</i>	74
Figura 62 –	Radargrama para o trecho 14 do levantamento por <i>GPR</i>	74
Figura 63 –	Trechos de <i>GPR</i> em planta com traçado das tubulações identificadas...	77
Figura 64 –	Perfil compreendido entre os trechos 11-5 e a caixa-07.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de solo e minerais e suas respectivas propriedades eletromagnéticas.....	26
Tabela 2 – Dicionário de dados para adutora projetada.....	35
Tabela 3 – Frequências das antenas <i>GPR</i> x Profundidade mapeada.....	46
Tabela 4 – Resumo do levantamento por <i>GPR</i>	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BDG	Banco de Dados Geográficos
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
Casan	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
Celesc	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CIM	City Information Modeling
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CORS	Continuously Operating Reference Stations
CTM	Cadastro Territorial Multifinalitário
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
EEAT	Estação Elevatória de Água Tratada
ETA	Estação de Tratamento de Água
FDTD	Finite Differences Time Domain
FIG	International Federation of Geometers
GDB	geodatabase
GIS	Geographic Information System
GPE	Gerência de Projetos de Engenharia
GPR	Ground Penetrating Radar
GPS	Global Positioning System
GSSI	Geophysical Survey System Inc
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
LADM	Land Administration Domain Model
MDL	Model Definition Language
MDT	Modelo Digital do Terreno
NBR	Norma Brasileira
NDT	Network Diagnostic Tool
ONU	Organização das Nações Unidas
PDF	Portable Document Format
RAP	Reservatório Apoiado

REL	Reservatório Elevado
RMR	Região Metropolitana do Recife
RPA	Remotely Piloted Aircraft
RRRs	Right, Restriction and Responsibility
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TPS	Terrestrial Positioning System
UML	Unified Modeling Language
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	ESTADO DA ARTE	19
3.2	CADASTRO <i>FIT-FOR-PURPOSE</i>	21
3.3	CADASTRO 3D	23
3.3.1	O <i>Ground Penetrating Radar (GPR)</i> na coleta de dados sobre infraestruturas subterrâneas	25
4	METODOLOGIA	28
4.1	IMPLEMENTAÇÃO DOS DADOS DE PROJETOS PARA SAA NO GISCOMP (AMBIENTE DO TIPO SIGWEB DA COMPESA)	29
4.2	MAPEAMENTO DE TUBULAÇÕES SUBTERRÂNEAS – CADASTRO 3D	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO DE SAA – GOIANA NO BDG	49
5.2	CADASTRO 3D VIA <i>FIT-FOR-PURPOSE</i>	53
6	CONCLUSÕES	80
7	RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	82
	REFERÊNCIAS	83
	APÊNDICE A – MAPA DAS ADUTORAS AO LONGO DA BR-232	87
	ANEXO A – PERFIS LONGITUDINAIS DAS ADUTORAS AO LONGO DA BR-232	88

1 INTRODUÇÃO

Questões relacionadas à propriedade de terra, gestão territorial e planejamento urbano são bastante discutidas quando se fala de desenvolvimento global. Lemmen *et al.*, (2015) ressaltam que a agenda de desenvolvimento pós 2015 da ONU inclui a consideração de questões territoriais em uma ampla gama de objetivos e o Comitê de Especialistas da ONU em Gestão Global de Informações Geoespaciais (UN-GGIM) fornece orientações para que sejam desenvolvidas tecnologias visando o apoio ao aprimoramento de sistemas de administração territorial.

Outro ponto de intenso debate refere-se à preservação e gerenciamento dos recursos hídricos, tanto pela escassez de água potável quanto pela importância de se ter água disponível para higienização pessoal e dos ambientes, como vem sendo expressamente observado na pandemia do novo coronavírus (iniciada no ano de 2019), de forma que tanto a população quanto a comunidade acadêmica e os setores públicos e privados devem se unir com o objetivo de cuidar e administrar esse bem.

Com isso, as empresas responsáveis pela gestão da água devem sempre buscar aprimorar seus serviços, a fim de garantir um maior cuidado não só com a qualidade, mas também com o desperdício causado por danos nas redes de água subterrâneas. Esse aperfeiçoamento da gestão de recursos hídricos depende diretamente de uma boa administração territorial, de forma a permitir conhecer e ter um maior controle sobre os elementos de sua propriedade e atuação. Assim, os cadastros das redes de infraestrutura (água, energia, comunicações) devem ser aprimorados, no sentido de documentar e gerenciar adequadamente as suas redes de distribuição e equipamentos, bem como a sua relação com as pessoas e o território no qual se inserem.

Por sua vez, as questões relacionadas à administração territorial estão completamente ligadas à aplicação do cadastro territorial. Em linhas gerais, esse cadastro trata das relações entre pessoas e terra, evidenciando as características físicas/posicionais, descritivas, legais, entre outras. Já os cadastros técnicos das concessionárias de serviços são estruturados para descrever os elementos das suas redes específicas, relacionando-os com suas principais características (atributos) e também buscando associar à situação de posse territorial que define os direitos, restrições e responsabilidades incidentes sobre cada parcela.

Em uma visão mais aprofundada, o Cadastro Territorial Multifinalitário – CTM é definido por Carneiro, Erba e Augusto (2012) como sendo um cadastro que contempla aspectos econômicos, físicos e jurídicos tradicionais, dados ambientais e sociais. Os autores

complementam ainda, que o CTM é estruturado a partir da integração de instituições cujas atividades estejam interligadas direta ou indiretamente ao controle territorial, tornando-se importante a conexão do cadastro com o registro de imóveis, órgãos estatais e as concessionárias de serviço público.

Esta integração de informações também deve ocorrer (preferencialmente) no interior de cada instituição. Isto quer dizer que as secretarias, gerências ou setores institucionais devem possuir uma comunicação de dados através de padrões estabelecidos, configurando assim uma interoperabilidade entre eles.

Alguns autores como Rahmatizadeh *et al.*, (2018) afirmam que a comunidade fundiária e cadastral compreende que o problema da maioria da população mundial não ter acesso a sistemas de administração territorial adequados, para registrar suas informações territoriais, pode estar fortemente relacionado ao processo de coleta de dados, onde o uso de métodos de coleta de informações espaciais altamente precisos, caros e demorados é superestimado. Para superar isso, métodos inovadores de coleta de dados espaciais devem ser empregados.

Para contornar esse problema, o Banco Mundial em conjunto com a *International Federation of Geometers – FIG* (Federação Internacional de Geômetras) sugerem uma abordagem de administração fundiária adequada a necessidade (*Fit-For-Purpose*), permitindo que sistemas de administração territorial apropriados sejam construídos em um tempo relativamente curto, a custos acessíveis e com a oportunidade de atualização quando necessário (LEMMEN *et al.*, 2015).

Esse tipo administração de terra, via *Fit-For-Purpose*, é fundamentado por três elementos principais: a estrutura espacial, legal e institucional. O conjunto desses componentes fornecem um sistema de administração de terras adequado para finalidades específicas. Cada componente deve ser focado para acomodar e atender às necessidades atuais com uma certa flexibilidade, a qual pode ser melhorada ao longo do tempo (ENEMARK *et al.*, 2016).

Dessa forma, observa-se que definir métodos de aquisição de dados adequados à necessidade para implantação ou atualização dos direitos, deveres e obrigações relacionados a terra e propriedades, é essencial para se implementar ferramentas de administração territorial em todo o mundo.

Considerando a abordagem *Fit-For-Purpose* e diante das dificuldades encontradas para a implantação de uma gestão territorial, cada governo ou instituição poderá utilizar um método diferente de coleta de dados espaciais para atingir suas metas e objetivos de

administração territorial, ou seja, simplesmente para tornar possível a adequação a seus propósitos.

Além da gestão territorial bidimensional, com a evolução do desenvolvimento urbano surge uma nova problemática: o aumento da demanda por direitos, deveres e responsabilidades (*Right, Restriction and Responsibility – RRRs*) de terrenos e propriedades 3D. Isso ocorre devido a elevação da densidade populacional e consequentemente a expansão do número de imóveis com mais de um pavimento (expansão vertical das cidades).

Esse fato também se aplica ao número de túneis, cabos e dutos para redes de infraestrutura (água, eletricidade, telefonia, gás, cabos de fibra ótica, TV a cabo) das cidades, de forma que o conhecimento sobre o comportamento dessas redes é extremamente importante para o planejamento de projetos de infraestrutura, futuras instalações de equipamentos públicos e novos loteamentos, além de ordenar o uso do subsolo (SOUZA, 2011).

Como ferramentas para auxiliar no atendimento a essas demandas, novos procedimentos de aquisição, armazenamento, processamento e representação dos dados espaciais foram desenvolvidos, resultando em novas possibilidades com relação ao uso da informação geoespacial, incluindo a geração de modelos de objetos tridimensionais (3D). A partir desses modelos é possível compreender o comportamento de alguns fenômenos, possibilitando maiores formas de intervenção por diferentes estratégias traçadas.

Como alternativa para a aquisição de informações referentes à 3ª dimensão (nesse caso, a profundidade), aparece a utilização do *Ground Penetrating Radar – GPR* também conhecido como radar de sondagem no solo ou georadar, o qual se caracteriza por ser uma ferramenta geofísica com uma ampla gama de aplicações.

Nos últimos 30 anos, o *GPR* tem sido usado com sucesso para auxiliar na resolução de problemas em diversos campos, como arqueologia, caracterização ambiental de locais, glaciologia, hidrologia, detecção de minas terrestres/munições não explodidas, sedimentologia e geologia estrutural (PRIYANKA *et al.*, 2021).

O *GPR* também é geralmente empregado para detectar infraestruturas subterrâneas e pode ser usado para aplicações como estratigrafia de subsuperfície, arqueologia e perícia (SENTHIL *et al.*, 2021). Segundo Bachiri *et al.*, (2021) pesquisas mostram que o Radar de Penetração no Solo (*GPR*) pode ser uma maneira eficaz e eficiente de mapear sistemas de dutos enterrados.

Nesse sentido, as pesquisas do Cadastro Territorial também foram influenciadas por essas questões, o que tem motivado diversos pesquisadores a verificarem as demandas e impactos sobre o sistema cadastral do chamado Cadastro 3D (SOUZA, 2011).

Como exemplo de instituições em que existe uma grande demanda pelo cadastro 3D temos as concessionárias de serviços públicos, como a Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, que possui um cadastro 2D oriundo de informações de acervos, gerências de obras e outras fontes. No que diz respeito aos cadastros de redes de infraestrutura, mais especificamente os cadastros de redes de água e esgoto, é extremamente importante considerar a inclusão da terceira dimensão para melhor caracterizar as redes subterrâneas.

Nesse contexto, esta pesquisa visa propor o aprimoramento do cadastro técnico da COMPESA, com base nos princípios do cadastro *Fit-For-Purpose*, com a integração de dados de diferentes fontes e soluções para a inclusão da componente 3D, de forma a melhor caracterizar as estruturas subterrâneas.

A disponibilização dos dados de projeto no GISCOMP, visa organizar dados, atributos e detalhamentos em uma única plataforma de fácil e rápida visualização por todos os setores da companhia, também tornando possível comparar os dados que foram projetados com os que estão atualmente cadastrados (foram executado em campo), permitindo avaliar as modificações ocorridas e identificar inconsistências, caso existam.

Ainda, a utilização de dados cadastrais em três dimensões possibilitará conhecer informações mais abrangentes sobre as redes de infraestruturas, como por exemplo a profundidade em que a rede se encontra, diminuindo a quantidade de perfurações “às cegas” e consequentemente os danos causados à rede. Com isso, o gasto do setor público com reparos as redes e os prejuízos causados ao meio ambiente poderão ser reduzidos, bem como minimizadas as interrupções nos serviços prestados à população.

Essa pesquisa também se justifica pelo seu pioneirismo em associar a abordagem *Fit-For-Purpose* ao mapeamento de infraestruturas subterrâneas, visando menor onerosidade e viabilizar sua implementação no Brasil.

2 OBJETIVOS

Nessa seção é apresentada o objetivo que se pretende atingir com a pesquisa e as etapas necessárias para que o mesmo seja alcançado, subdividindo-os em objetivo geral e objetivos específicos.

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor o aperfeiçoamento do cadastro técnico do sistema de abastecimento de água (SAA) da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, por meio da integração de dados de diferentes fontes e utilização de informações tridimensionais (cadastro 3D) no banco de dados geográficos existente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender os conceitos e métodos do cadastro *Fit-For-Purpose* e a viabilidade de sua utilização no aprimoramento de cadastros de redes de infraestrutura;
- Descrever a atual estrutura das informações cadastrais da COMPESA, com vistas a identificar as possibilidades de aprimoramento dos sistemas, com base nos conceitos e experiências do cadastro *Fit-For-Purpose*;
- Propor a integração, ao atual banco de dados geográficos, de dados de formatos e fontes variadas, referentes a projetos concluídos;
- Investigar e testar a coleta e inclusão de dados tridimensionais referentes ao cadastro do Sistema de Abastecimento de Água da COMPESA.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica da pesquisa baseou-se na identificação e análise do estado da arte referente ao aprimoramento de cadastros de redes de infraestruturas. Para isso, a pesquisa bibliográfica tratou da estruturação de cadastros *Fit-For-Purpose*, visando a integração de dados de diferentes fontes, uma necessidade para os cadastros técnicos brasileiros. Também se investigou a implementação de cadastros 3D de redes de infraestrutura subterrânea, especialmente no que se refere aos métodos de coleta de dados de profundidade.

3.1 ESTADO DA ARTE

O interesse no desenvolvimento do espaço subterrâneo está aumentando devido à superlotação nas áreas urbanas, e essa tendência deve continuar no futuro. Portanto, existe a necessidade de estabelecer e gerenciar sistematicamente as informações sobre o subsolo. Essas informações incluem tanto o status físico, que indica a localização ou forma do espaço, quanto o status dos direitos relacionados à propriedade e uso do espaço.

Döner (2021), estudou a literatura do cadastro tridimensional (3D) em termos de aspectos legais, institucionais e técnicos. Na pesquisa, 441 publicações produzidas entre 2001 e 2019 foram analisadas. Na literatura, que inclui publicações de 59 países diferentes, o autor demonstra que um consenso internacional sobre os aspectos legais, institucionais e técnicos de uma solução de cadastro 3D parece difícil. Porém, do ponto de vista técnico, a tecnologia necessária para usar dados digitais 3D para registro amadureceu suficientemente nos últimos vinte anos.

Hajji *et al.*, (2021) apresentaram o desenvolvimento de uma abordagem integrada, chamada de *BIM-3D GIS*, para o Cadastro 3D em Marrocos. No artigo, é demonstrada a relevância da integração baseada em *BIM – Building Information Modeling* e *SIG 3D* para o gerenciamento eficiente da informação cadastral. Um Modelo de Dados Conceituais (*MDL*) fundamentado em uma extensão do *CityGML* foi proposto para o gerenciamento de informações cadastrais no Marrocos. Em seguida, um processo de modelagem *BIM* foi desenvolvido de acordo com as especificações do modelo e convertido para o formato *CityGML*. Posteriormente, uma base de dados geográficos (*GDB*) 3D foi implementada no *ArcGIS* com base no *MDL* proposto. Os autores também indicam que o sucesso dos sistemas cadastrais 3D depende da definição de estruturas legais e institucionais e requer a implementação de soluções técnicas de alto desempenho.

Vučić *et al.*, (2020) abordaram desde questões históricas relacionadas com a aquisição de dados cadastrais na Croácia, até a atualização do modelo de dados, não só incluindo as componentes legais do cadastro, como também propostas de melhorias nos processos relativos ao levantamento cadastral, de forma a aproximar o cadastro de imóveis a um cadastro 3D.

Šarlah *et al.*, (2020) utilizaram a aplicação do modelo cinemático *GPR-TPS* com alta precisão 3D para o mapeamento de infraestruturas de serviços públicos subterrâneos, em um estudo de caso em locais urbanos de Celje – Eslovênia. Esse modelo consiste no uso do radar de penetração no solo (*GPR*) com uma configuração de levantamento cinemático e sistema de posicionamento terrestre de auto-rastreamento (robótico) (*TPS*) para a aquisição, processamento e visualização de infraestruturas subterrâneas em ambiente urbano. De acordo com os autores, os resultados mostram que o modelo cinemático *GPR-TPS* para aquisição de dados pode atingir uma precisão de menos de 15 centímetros.

No Brasil, algumas pesquisas relacionadas ao Cadastro 3D também vêm sendo desenvolvidas podendo-se citar, dentre outras: Costa (2016), Ferreira, Farias e Oliveira (2018), Mastella, Ferreira e Oliveira (2018), Silva (2017).

Ferreira, Farias e Oliveira (2018) apresentam o estado da arte do Cadastro Tridimensional no Brasil e no mundo. Os pesquisadores enfatizam a necessidade de individualização dos direitos, mudando a bidimensionalidade para a tridimensionalidade no cadastro, trazendo progressivamente uma visão do mundo real. Os autores abordam as condições atuais do cadastro territorial brasileiro e a importância de implantação do cadastro 3D, bem como os modelos cadastrais aplicados em diversos países, como: Holanda, Bélgica, Reino Unido, Alemanha, Eslovênia, Rússia e Austrália.

Costa (2016) desenvolveu uma metodologia para a modelagem do Cadastro 3D de edifícios com base no *Land Administration Domain Model – LADM*, envolvendo no estudo a experiência de alguns países na modelagem do cadastro 3D a partir do *LADM* e sua aplicabilidade para o cadastro de edifícios. As informações utilizadas foram referentes ao cadastro territorial do município do Recife-PE, objetivando demonstrar a importância e viabilidade do cadastro 3D de apartamentos nas grandes cidades. As modelagens fizeram uso da linguagem UML através de diagramas de classe, por meio da estrutura de herança proposta pelo *LADM* e *CityGML*. Assim, foram gerados modelo de análise, *LADM 3D*, *CityGML* e o *LADM 3D* combinado ao *CityGML*.

Já Mastella, Ferreira e Oliveira (2018) analisaram o potencial da integração entre as bases de dados da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – Casan e das Centrais

Elétricas de Santa Catarina – Celesc, utilizando *BIM* conjuntamente ao Cadastro 3D, *CIM* (Modelagem de Informações das Cidades) e a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Os resultados mostraram que ambas as concessionárias possuem deficiências com relação aos aspectos analisados, com poucas informações relacionadas ao Cadastro 3D sobre profundidade das tubulações ou altura dos postes, bancos de dados não estruturados ao *CIM*, um tratamento inicial as questões de *Smart Cities*, poucas informações aplicadas a modelagem *BIM*, chegando até mesmo a não possuir um Sistema de Informações Geográficas – SIG, como seria o caso da Casan, trabalhando apenas com dados *CAD*. Os pesquisadores concluem que as concessionárias têm condições e demandam por uma modelagem 3D *BIM*, porém precisam de reformas estruturais profundas na interoperabilidade dos seus projetos, aprimorar a parametrização dos objetos, bem como ampliar e sistematizar os metadados.

Analogamente aos diversos pesquisadores do Cadastro 3D, Silva (2017) ressalta que determinar a localização de redes subterrâneas de infraestrutura é um grande desafio, e a realidade da maioria dos países é que estas informações não se encontram facilmente disponíveis. Nesse sentido, a autora desenvolveu um modelo de cadastro de redes de abastecimento d'água baseado na ISO 19.152 de 2012, a qual estabelece o *Land Administration Domain Model – LADM*, referente a modelos para domínio de administração de terras.

Silva (2017) utilizou dados do cadastro de redes de abastecimento de água da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, onde foi utilizada a linguagem UML para a modelagem, sua implementação realizada no software *DBDesigner* e executada no *QGIS* em conjunto com o *PostgreSQL/PostGIS*. Por fim, foi gerada uma visualização 3D da rede, tomando como base o recorte de uma quadra.

Com isso, os estudos citados contribuíram para o embasamento dessa pesquisa, de modo que possibilitou conhecer as demandas, funcionamento e propostas para o cadastro 3D, não só para o Brasil como também internacionalmente. Ainda, também foi possível analisar métodos para aquisição de dados tridimensionais, bem como compreender o cadastro 3D especificamente para redes de abastecimento de água através das modelagens desenvolvidas.

3.2 CADASTRO *FIT-FOR-PURPOSE*

A abordagem de administração de terras adequadas para uma finalidade descrita pela *Federação Internacional de Geômetras (FIG)* e na publicação conjunta do Banco Mundial fornece um plano para a implementação de sistemas de administração e cadastro de terras adequadas.

Esta abordagem, conforme definida pela *FIG* e pelo Banco Mundial, é orientada para autoridades que têm uma necessidade urgente de construir sistemas de administração de terras sustentáveis e com boa relação custo-benefício identificando como a terra é ocupada e usada.

Segundo Zein (2016), a abordagem *Fit-For-Purpose* é caracterizada por:

- flexibilidade - na captura de dados espaciais permitindo uso e ocupação variados;
- inclusividade - cobre toda a posse e toda a terra;
- participativo para aquisição e uso de dados - garante o apoio da comunidade;
- acessível no estabelecimento, operação e uso;
- confiável - fornece informações confiáveis e atualizadas;
- alcançável em um curto espaço de tempo, utilizando os recursos disponíveis;
- atualizável - permite atualização e melhoria incrementais ao longo do tempo em resposta às necessidades sociais e legais e às oportunidades econômicas emergentes.

A abordagem adequada à finalidade consiste em quatro princípios-chave:

- Uso de limites de campo visual para delinear áreas rurais e periurbanas (esses limites não são determinados com precisão e se relacionam a características físicas, em vez de limites fixos);
- Uso de imagens aéreas de média resolução ou imagens de satélite de alta resolução para delineamento de terras, que custam muito menos do que levantamentos de campo;
- Basear os requisitos de exatidão das informações sobre o solo em um propósito, em vez de em padrões técnicos que muitas vezes são incompatíveis com a infraestrutura existente de um país; e
- Atualização contínua, atualização e melhoria dos dados espaciais conforme necessário/relevante e de acordo com os objetivos da política fundiária.

No contexto dessa pesquisa, as características e princípios do cadastro *Fit-For-Purpose* possibilitam a integração ao cadastro técnico de dados de diferentes fontes, que estão dispersos em setores da companhia. Como resultado, espera-se melhorar o acesso às informações de uma forma mais ágil e segura, trazendo benefícios imediatos para a gestão dos sistemas.

Zein (2016) descreve resumidamente o cadastro *Fit-For-Purpose* e propõe um modelo para sua implementação. O autor define que a implantação de um cadastro está dividida em

duas etapas: coleta de dados e desenvolvimento de um sistema de administração territorial, e com base nisso, é demonstrado que as características e os princípios-chave da abordagem *Fit-For-Purpose* podem ser cumpridos por um custo não superior a US\$ 7,00 por parcela.

Balas *et al.*, (2017) validou uma abordagem *Fit-For-Purpose* desenvolvida em Moçambique para o programa “Terra Segura”: uma combinação incluindo tecnologias móveis e de nuvem, uma metodologia harmonizada para registros individuais, delimitações de comunidades e outros mecanismos específicos.

Abidoye, Oluwadare e Babalola (2019), propuseram um modelo que adota a estrutura do conceito *Fit-For-Purpose* para integrar valores de altura no cadastro 2D existente. O modelo considera a metodologia para integração de dados de altura variando de atividades técnicas (aquisição de dados, processamento e avaliação de precisão) e questões institucionais para enquadramento legal. A estratégia visa garantir a demarcação de limites físicos 3D no espaço geométrico (2.5D) em um sistema de referência espacial uniforme que define de forma abrangente a localização no eixo de três componentes.

O estudo estabeleceu ainda as possíveis vantagens comparativas dos métodos de aquisição de dados de altura e concluiu que a escolha dos métodos de implementação do cadastro 3D seria afetada pelo custo, qualidade, tempo e tamanho necessários para a implementação do projeto.

3.3 CADASTRO 3D

O cadastro 3D é um conceito de administração de terras que permite o registro de direitos no espaço topológico 3D com ênfase nos três (3) eixos componentes (X, Y e Z) como consideração espacial; ao passo que a prática do atual levantamento cadastral restringe a propriedade de direitos, deveres e restrições em 2D (X e Y). Em vista disso, há necessidade, portanto, para a inclusão de valores de altura em todos os cadastros 2D existentes em antecipação ao levantamento cadastral 3D em um futuro próximo.

Neste contexto, estudos como Žiūrienė *et al.*, (2006), Stoter e Oosterom (2006) e Nebiker *et al.*, (2010) ressaltam que diversos têm sido os estudos na área de aquisição, modelagem, representação e disponibilidade de dados espaciais em 3D, com diferentes finalidades e aplicações, como por exemplo, planejamento urbano, turismo, guias de rotas, *geomarketing* e etc.

Rahmatizadeh *et al.*, (2018) apontam como sendo importante observar que, embora a coleta de dados em 3D seja muito mais cara e exija mais recursos, pode fornecer novas

oportunidades para representar uma forma mais completa de extensões de *RRRs* de terras, propriedades e infraestruturas.

Carneiro, Erba e Augusto (2012), abordam as questões referentes aos cadastros brasileiros (rural e urbano) e apontam a necessidade de considerar os dados tridimensionais para o cadastro no país.

Souza (2011), trata a visualização 3D como um dos principais focos de pesquisa e tópico mais visado pelo mercado de tecnologias. Porém, segundo Kitsakis *et al.*, (2016), mesmo considerando o fato de que grande parte dos estudos relacionados a gestão territorial abordam o tema de cadastro 3D, isto não se reflete nos sistemas cadastrais na maioria dos países.

Países como Áustria e Brasil, não possibilitam o registro dos direitos 3D em seus sistemas cadastrais. Já para a Grécia e Polônia, ambos possuem sistemas cadastrais parcialmente 3D, apresentando algumas características que fazem parte de um cadastro 3D. Pode-se citar como exemplo, as leis elaboradas (lei 3.741 que dispõe sobre propriedades com mais de um pavimento) na Grécia para os objetos com características 3D e o cadastro com a informação de condomínios separadas em camadas na Polônia (KITSAKIS *et al.*, 2016).

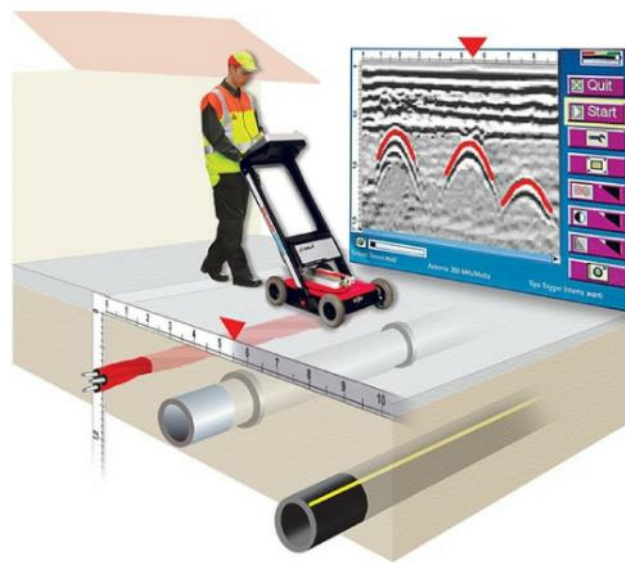
Na Áustria, apesar de possuir uma cultura cadastral e já ter vários tipos de objetos 3D registrados em seu sistema, ainda existe a busca por aprimoramento do cadastro territorial, observando as pesquisas mundiais a respeito do cadastro 3D (KITSAKIS *et al.*, 2016). Na Croácia as propriedades particulares são registradas em 2D contendo a informação do andar ao qual o direito de propriedade é exercido, de forma que possa ser considerado como um cadastro parcialmente em 3D (PANCHINIAK, 2017).

A Suécia, Alemanha e Austrália destacam-se mundialmente por possuírem o que há de mais evoluído com relação ao cadastro 3D (GRUBER *et al.*, (2014); ICSM, (2015); KITSAKIS *et al.*, (2016)). A Suécia já possui normas para cadastro 3D e legislação para condomínios desde o ano de 2004 e 2009, respectivamente. Em 2015, foi publicado na Austrália um documento chamado de Cadastro 2034, o qual foca bastante no cadastro 3D (ICSM, 2015). Na Alemanha, tem crescido a demanda por informações espaciais tridimensionais em diversos setores e está se desenvolvendo um cadastro com informações em 3D (GRUBER *et al.*, 2014).

3.3.1 O *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR) NA COLETA DE DADOS SOBRE ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS

O radar de penetração no solo (*GPR*) é usado para obter informações do subsolo com base no contraste das propriedades do meio. A figura 1 corresponde a uma ilustração simplificada da operação do *GPR* ao emitir o pulso eletromagnético no subsolo e este ser refletido por um duto subterrâneo resultando nas hipérboles contidas nos radargramas.

Figura 1 – Simplificação do funcionamento do *GPR*



Fonte: Geotech (2022)

De acordo com Aguiar (2005), podemos citar 5 fatores que influenciam nos estudos do *GPR*: composição química/mineralógica do meio, granulometria, densidade, porosidade e fluido intersticial existente.

A composição química refere-se a abundância de seus elementos componentes, a porosidade depende do material, o que está diretamente a sua granulometria e densidade. Já o fluido intersticial é função da quantidade de água, proporcionalidade água-ar e da existência de outro tipo de gás (AGUIAR, 2005).

Em outras palavras, existe uma influência sobre a propagação da onda eletromagnética emitida pelo *GPR*, que é exercida pelas diferentes características geotécnicas e químicas dos meios: porosidade, tamanho do grão, composição química, conteúdo de água, de argila e de minerais (AGUIAR 2005).

A tabela 1 agrupa os minerais e tipos de solo de acordo com suas características eletromagnéticas:

Tabela 1 – Tipos de solo e minerais e suas respectivas propriedades eletromagnéticas

Minerais	Condutividade	Permissividade Relativa		Resistividade
1º - Grupos Metais	Muito Baixa	Muito Elevada		----
2º - Grupos Semimetais	---	---		$10^{-6} < \Omega m < 10^{11}$
3º - Grupo Silicatos	---	$4 < \varepsilon < 12$		$\Omega m > 10^{11}$
Solo	Umidade	Grau de Saturação	Atenuação f (frequência)	Permissividade
1º - Grupo Terrenos Argilosos e Argilas	Baixa	Inferior a 5%	Elevada	Diminui
2º - Grupo	---	Inferior a 5%	Menor que 1º grupo	Depende da Frequência
3º - Grupo Areias Secas e Úmidas (não saturadas)	---	Inferior a 5%	$< 1\text{dB}$ para $f < 10^8$ $10 < \alpha < 20\text{dB}$	Suave para frequências $< 10\text{GHz}$
4º - Grupo Gelo	---	Inferior a 5%	$\leq 1\text{dB/m}$ para $f = 10\text{GHz}$	Constante

Fonte: Garcia (1997)

Segundo SANTOS (2019), a frequência central da antena também é um fator limitante na penetração da onda eletromagnética, em subsuperfície. O aumento da frequência da onda transmitida tem como resultado uma maior resolução e uma menor profundidade de penetração.

Alguns autores realizaram recentes pesquisas nesse ramo, onde podemos citar: Massarelli, Campanale e Uricchio (2021); Senthil *et al.*, (2021) e Bachiri *et al.*, (2021).

Massarelli, Campanale e Uricchio (2021), utilizaram o *GPR* como uma ferramenta funcional para mapear a presença de resíduos enterrados na Itália. Priyanka *et al.*, (2021), realizaram uma revisão das aplicações do *GPR* como uma ferramenta de diagnóstico de rede

(*NDT - Network Diagnostic Tool*), onde apresentam as variáveis e aspectos pertinentes ao processo de aquisição de dados por meio do georadar.

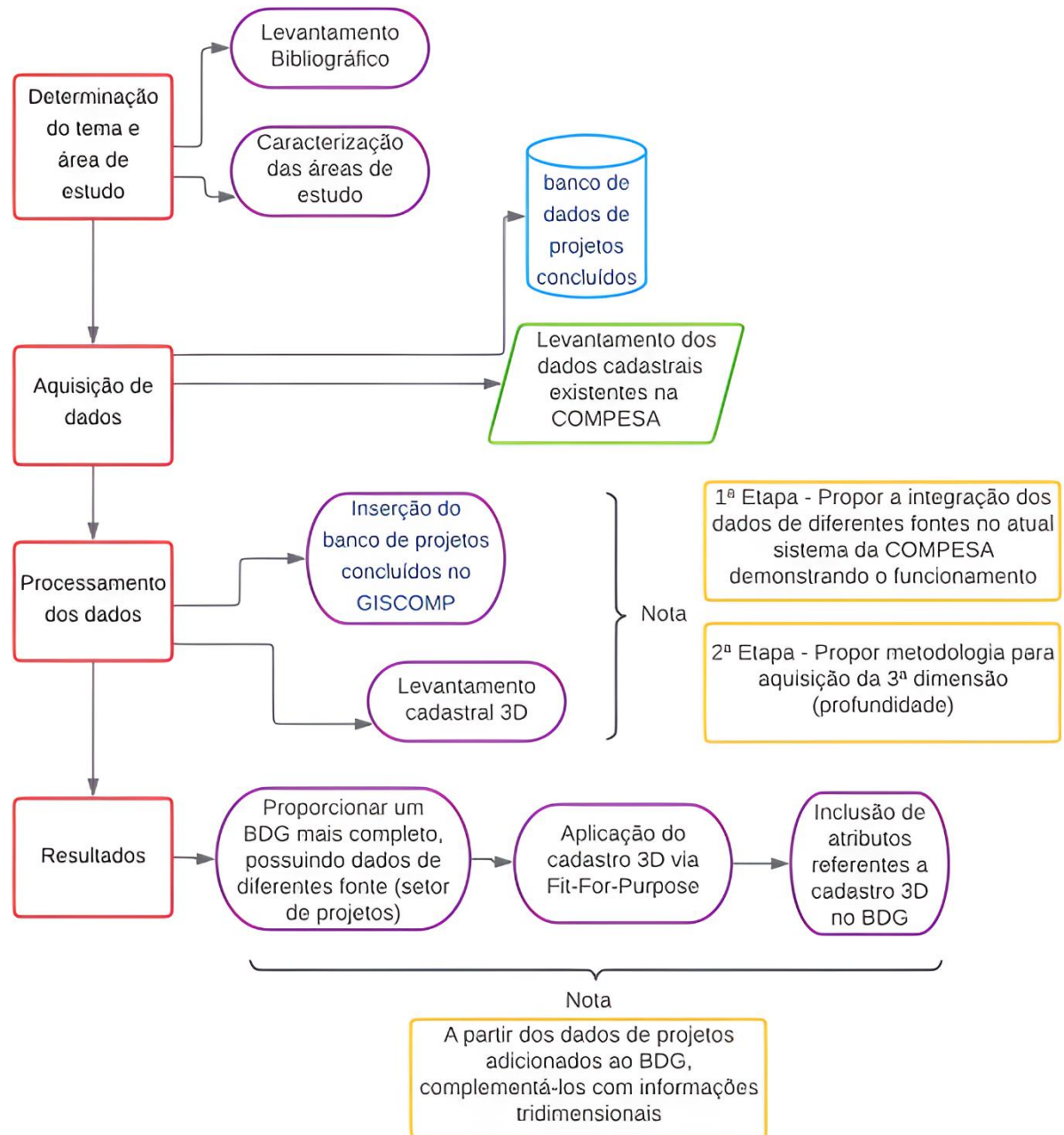
Já Senthil *et al.*, (2021), analisaram um estudo de caso abrangente sobre *GPR* cobrindo as aplicações de quatro casos de detecção para perfuração e escavação sem abertura de valas; dois casos em profundidade de rocha para estimar materiais de construção e fundações; e dois casos de monitoramento de barragens. Nessa pesquisa os autores enfatizaram que a profundidade de penetração e a resolução do sinal, dependem da frequência das ondas eletromagnéticas geradas pela antena, onde foi utilizada frequências diferentes para cada aplicação. Também apresentam a metodologia adotada para a varredura *GPR* da face vertical a montante e a jusante da barragem. O *GPR* foi efetivamente empregado para localizar a estrutura, estimar a profundidade da cobertura e a espessura da alvenaria, bem como sua homogeneidade nas antigas barragens.

Bachiri *et al.*, (2021), utilizaram a aquisição de dados de radar de penetração no solo para detectar desequilíbrios e tubulações subterrâneas. Os autores apresentam uma técnica de análise de dados *GPR*, que é inicialmente gerada pela aplicação do método de Domínio de Tempo de Diferenças Finitas (*FDTD*) para estimar a espessura das camadas de subsuperfície e caracterizar os sistemas de tubulações enterradas no subsolo. Em investigações práticas, o equipamento *GPR* com uma antena de 400 MHz foi usada para detectar desequilíbrios e tubulações subterrâneas. Os perfis *GPR* (radargramas) forneceram detalhes sobre as formas e a natureza do alvo no subsolo. De acordo com o estudo, esses perfis podem detectar tubulações de água e também outros sistemas até uma profundidade de aproximadamente 2 m.

4 METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa buscou testar o aprimoramento do cadastro técnico de redes de água a partir da aplicação dos princípios do cadastro *Fit-For-Purpose*, mais especificamente no que diz respeito à integração de dados de diferentes fontes. Também foi testado o levantamento por *GPR*, conforme identificado na revisão bibliográfica, para a coleta de dados sobre a profundidade de dutos, bem como a inclusão desse dado no cadastro, como um dado preliminar para um cadastro 3D. A aplicação foi realizada no cadastro técnico da COMPESA, utilizando duas áreas de estudo, de acordo com a disponibilização dos dados necessários para a realização do trabalho. O fluxograma da figura 2 mostra um esquema da metodologia utilizada na pesquisa, cujas etapas são detalhadas nos itens seguintes.

Figura 2 – Metodologia utilizada na pesquisa



Fonte: O autor (2021)

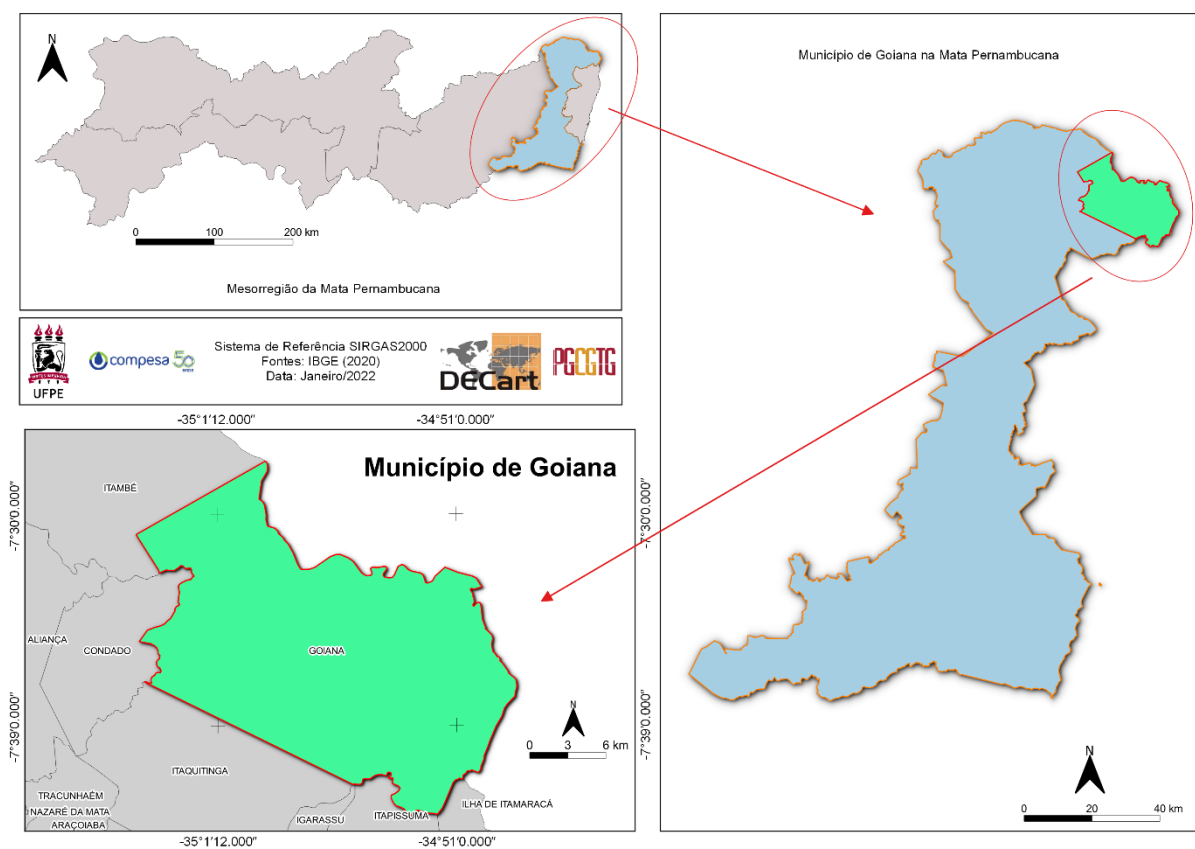
4.1 IMPLEMENTAÇÃO DOS DADOS DE PROJETOS PARA SAA NO GISCOMP (AMBIENTE DO TIPO SIGWEB DA COMPESA)

Com relação à utilização de dados cadastrais de diferentes fontes no banco de dados geográficos da COMPESA, foi utilizado como estudo de caso o SAA projetado para o município de Goiana-PE, visando demonstrar como está estruturado o banco de dados geográficos para a camada de projetos. A escolha dessa área de estudo deu-se porque o banco

de dados de projetos desse município é considerado o mais completo, possuindo assim uma maior diversidade de dados a serem tratados e integrados.

A cidade de Goiana faz parte da mesorregião da zona da mata, onde segundo censo do IBGE (2010), possui uma população de 75644 habitantes, com estimativa de 80055 habitantes para o ano de 2020. Sua área de unidade territorial (2020) equivale a 445,405 km², com bioma predominantemente de mata atlântica, PIB per capita (2018) igual a R\$ 116122,91 e IDHM (2010) de 0,651. A figura 3 mostra um mapa de localização do município em estudo.

Figura 3 – Área de estudo da implantação do SAA projetado no GISCOMP - Goiana



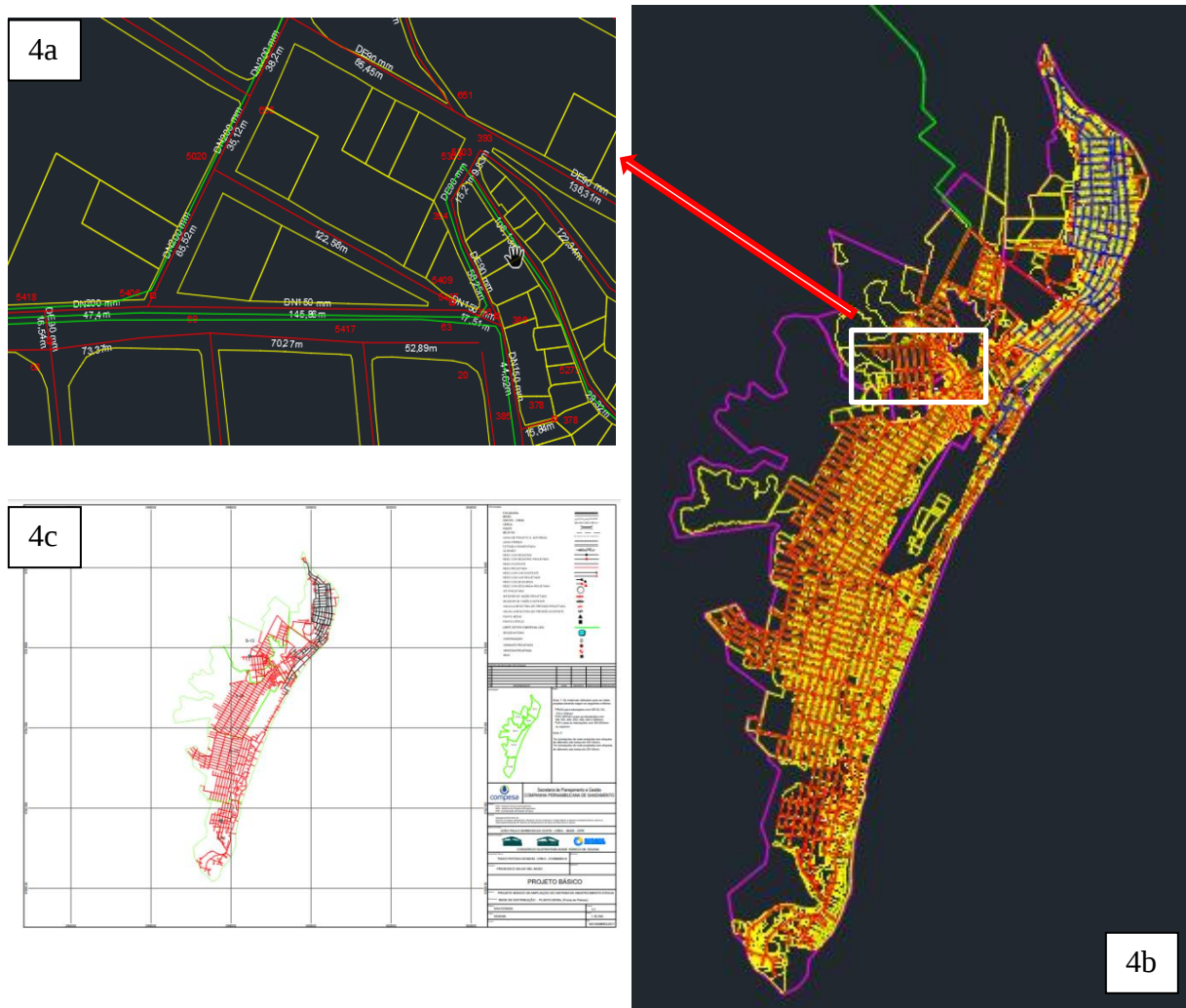
Fonte: O autor (2022)

Atualmente, o banco de dados geográficos da COMPESA possui informações de sistemas de abastecimento de água, referente a dados comumente chamados de “existentes” e que dizem respeito as redes efetivamente implantadas. Em contrapartida, o Banco de Dados Geográficos – BDG também possui suporte e estruturação para receber dados “projetados” que correspondem aos projetos desenvolvidos, como é o exemplo da camada “SAA projetado”.

A Gerência de Projetos de Engenharia – GPE possui o banco de dados referente aos dados projetados do sistema de abastecimento de água. Esse banco possui arquivos em

formatos de *CAD* e *PDF*, armazenados por projetos de localidades ou municípios, contendo dados gráficos e descritivos separadamente. Os arquivos em *CAD* possuem os dados gráficos dos elementos do SAA (adutora, rede, reservatórios e etc.), enquanto que os principais atributos de cada feição são apresentados nos relatórios, memórias de cálculo e memoriais descritivos do sistema projetado. As figuras 4a, 4b e 4c ilustram esses dados:

Figura 4 – Informações disponíveis no banco de projetos concluídos



Fonte – Compesa (2021)

O projeto do município de Goiana é considerado um dos mais completos da base de dados projetados, com relação a tipos de estruturas. Esse projeto contém diversos elementos que compõem um SAA, possuindo informações de captação, adutora de água bruta e tratada, rede, conexões, hidrômetros, ventosas, válvulas redutoras de pressão, descargas, macromedidores, estações elevatórias, estações de tratamento de água, reservatórios apoiados e elevados.

A partir daí, foram aplicados os conceitos de cadastro adequado à finalidade para aperfeiçoar o banco de dados cadastral através da integração de dados de diferentes fontes. O esquema da figura 5 ilustra as etapas gerais desenvolvidas nessa atividade:

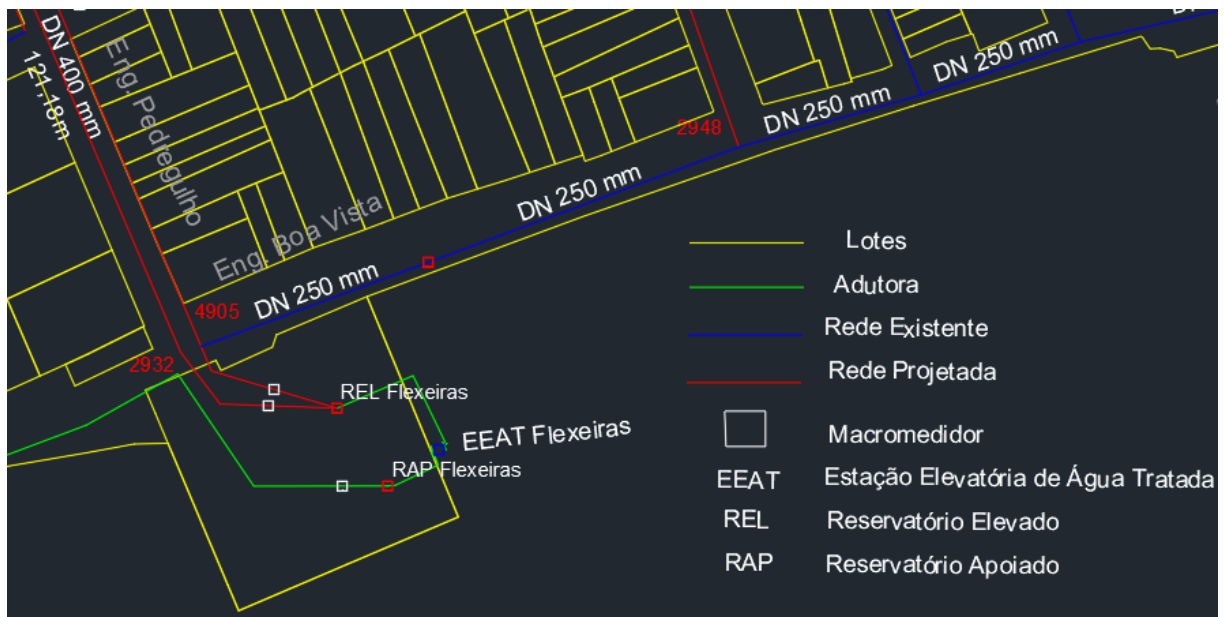
Figura 5 – Metodologia para implementação das informações no BDG



Fonte: O autor (2021)

Para a inserção das informações do projeto do SAA Goiana, foi observada na camada de SAA_Projetado a existência de várias classes de feições, cada um deles equivalente a um tipo de elemento constituinte do SAA, como por exemplo: “Adutora projetada”, “Rede projetada”, “Estação Elevatória projetada”, “Registro projetado”, “Conexão projetada” e etc. A figura 6 exemplifica esses elementos no arquivo em CAD.

Figura 6 – Elementos do SAA Goiana, onde em verde é representado a adutora, vermelho a rede projetada, azul a rede existente, amarelo os lotes, a estação elevatória de água tratada (EEAT Flexeiras), bem como os reservatórios elevados e apoiados (REL e RAP), além dos macromedidores em branco



Fonte: Compesa (2021)

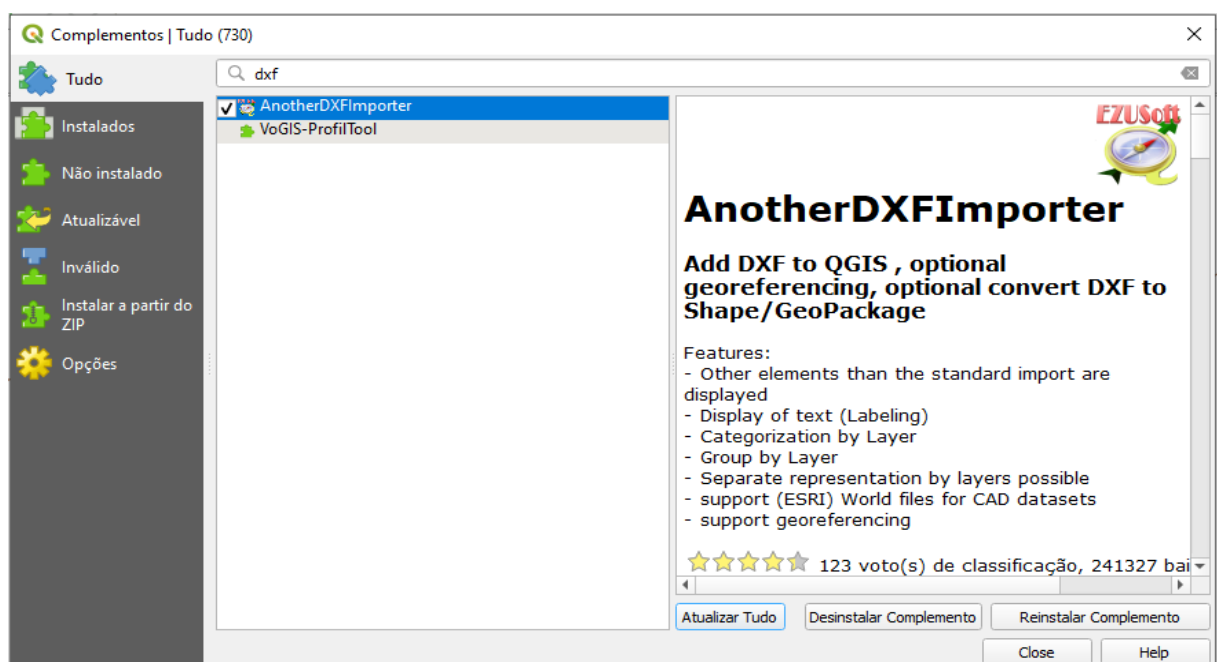
Dessa forma, fez-se necessário isolar cada uma das camadas presentes no arquivo de projeto referente ao município de Goiana, visto que devido a estruturação das camadas no banco de dados geográficos não é possível adicionar um SAA de um município completamente (contendo adutora, rede, reservatórios e etc.) de uma única vez. Sendo assim, de posse dos dados de projeto em formato *CAD*, foi realizada uma filtragem manual das camadas de interesse presentes no arquivo de projeto que irão compor a respectiva camada no *GIS*.

Nessa etapa, são separadas as camadas contendo os pontos, linhas ou polígonos e seus respectivos atributos (em formato de texto – *label*) e adicionadas em um novo arquivo com a extensão “.dxf”. Esse procedimento é realizado para possibilitar a compatibilidade dessas informações com o software *QGIS*.

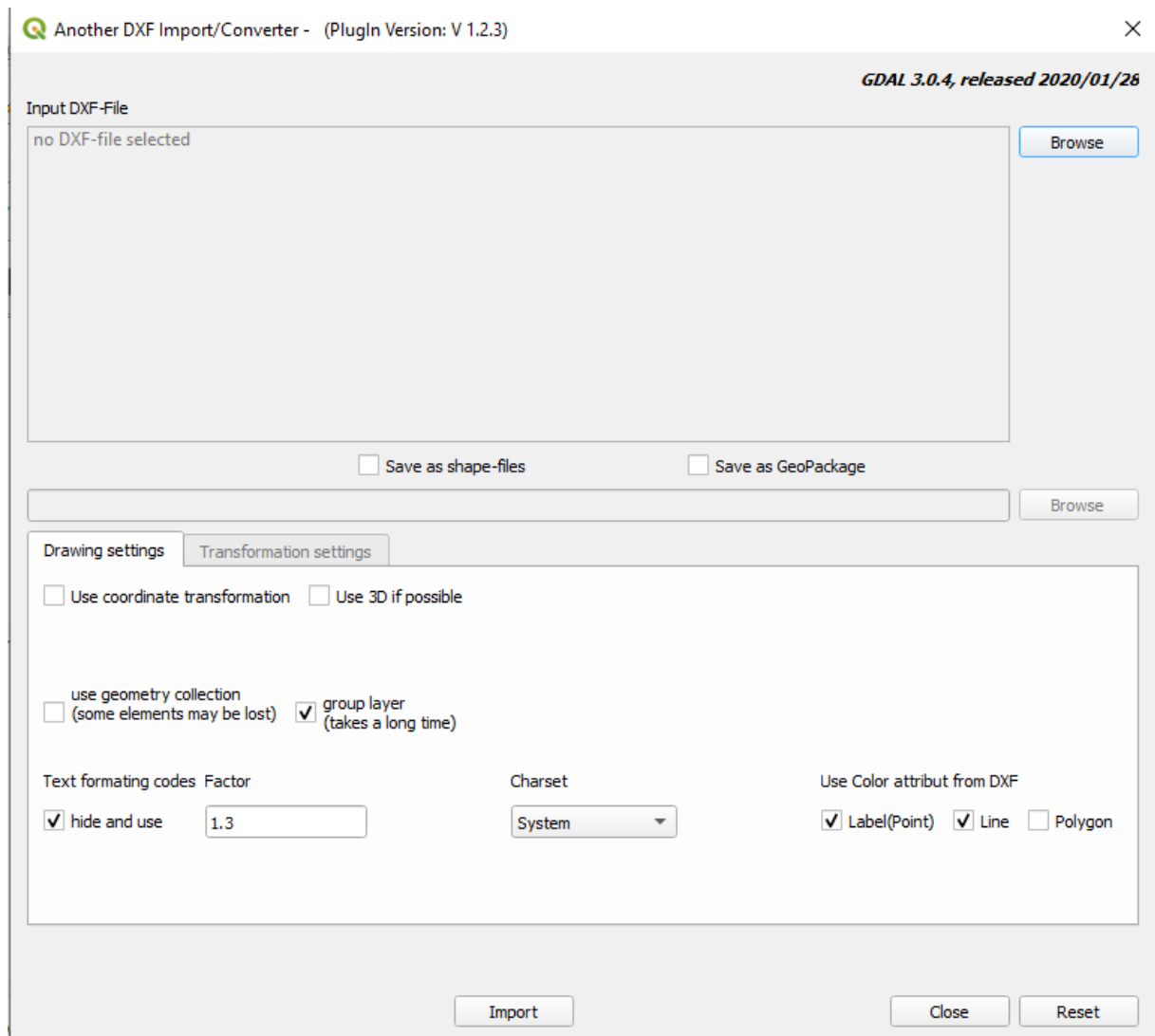
Dentro do *QGIS*, utilizou-se o *plugin* “*AnotherDXFImporter*” para realizar a importação do arquivo contendo as feições de interesse, de forma que esse complemento conserva toda a estrutura do arquivo origem, mantendo dentro do *software* toda a configuração da informação textual dos atributos em forma de rotulo, assim como acontece em arquivos *CAD*.

As figuras 7 e 8 ilustram a tela de instalação e de funcionamento do *plugin* *AnotherDXFImporter*, respectivamente, onde é possível verificar suas configurações, como por exemplo salvar os arquivos em *shapefile* ou *GeoPackage*, simultaneamente a importação dos arquivos.

Figura 7 – Tela de instalação do *plugin* *AnotherDXFImporter*



Fonte: *QGIS* 3.10 (2021)

Figura 8 – Tela de execução do *plugin AnotherDXFImporter*

Fonte: QGIS 3.10 (2021)

Essa configuração dos textos dentro do *GIS*, facilita o preenchimento manual dos atributos a cada respectiva feição, evitando a necessidade de se alternar entre a visualização da geometria do elemento no *GIS* e seu atributo em outra aba no *CAD*.

Em seguida, foi indicado o respectivo sistema de referência e de projeção a qual pertencia originalmente as feições (SIRGAS2000 – *UTM* fuso 25S) e procedeu-se a alimentação de todos os atributos conhecidos na tabela de cada elemento.

Dentro de cada classe de feição, existem diversos atributos que continuam caracterizando os elementos gráficos que foram inseridos. Para exemplificar, tem-se: “tipo de água”, onde diferencia-se adutoras de água bruta e tratada; “tipo de adução” que pode ser por gravidade ou recalque; “tipo de reservatório” para discriminar os reservatórios apoiados, elevados ou de compensação; “tipo de conexão”, onde se define se a conexão é do tipo tê, tê redutor, curva, cap e etc. A tabela 2 mostra um exemplo do dicionário de dados para adutora

(elemento a ser cadastrado na segunda etapa da metodologia dessa pesquisa) contido no normativo da COMPESA.

Tabela 2 - Dicionário de dados para adutora projetada

Adutora Projetada – SAA	
Atributo	Descrição
Código identificador	Código identificador único do dado projetado
Código do município	Código do município onde está inserido o objeto projetado
Código da localidade	Código da localidade onde está inserido o objeto projetado
Latitude (UTM) – Ponto inicial	Coordenada sul (S), no ponto inicial da adutora projetada, em SIRGAS2000 UTM (em metros)
Longitude (UTM) – Ponto inicial	Coordenada leste (E), no ponto inicial da adutora projetada, em SIRGAS2000 UTM (em metros)
Latitude (UTM) – Ponto final	Coordenada sul (S), no ponto final da adutora projetada, em SIRGAS2000 UTM (em metros)
Longitude (UTM) – Ponto final	Coordenada leste (E), no ponto final da adutora projetada, em SIRGAS2000 UTM (em metros)
Latitude (Graus) – Ponto inicial	Coordenada sul (S), no ponto inicial da adutora projetada, em SIRGAS2000 (em graus)
Longitude (Graus) – Ponto inicial	Coordenada leste (E), no ponto inicial da adutora projetada, em SIRGAS2000 (em graus)
Latitude (Graus) – Ponto final	Coordenada sul (S), no ponto final da adutora projetada, em SIRGAS2000 (em graus)
Longitude (Graus) – Ponto final	Coordenada leste (E), no ponto final da adutora projetada, em SIRGAS2000 (em graus)

Toponímia do sistema	Nome do sistema de abastecimento de água existente ou projetado que contenha o objeto projetado
Tipo de água	Classificação da água transportada na tubulação projetada, se água bruta ou água tratada
Tipo de adução	Classificação da tubulação projetada quanto a forma de transporte da água. Ex.: gravidade, recalque
Material	Material predominante de composição do objeto projetado
Diâmetro nominal	Diâmetro nominal da tubulação projetada (em milímetros)
Diâmetro interno	Diâmetro interno da tubulação projetada (em milímetros)
Tipo de junção	Especificação dos tipos de junções do objeto projetado. Ex: JM, JE, Rosca, etc.
Classe de pressão	Classe de pressão do tubo conforme especificação do fabricante
Cota a jusante	Cota da geratriz inferior da tubulação projetada, em relação ao ponto final da adutora, considerando seu fluxo
Cota a montante	Cota da geratriz inferior da tubulação projetada, em relação ao ponto inicial da adutora, considerando seu fluxo
Comprimento	Extensão da tubulação projetada (em metros)
Declividade	Declividade do trecho da adutora projetada (em percentual)
Vazão	Vazão de projeto no trecho da tubulação (em litros por segundo)
Coeficiente de rugosidade	Coeficiente de rugosidade do tubo conforme utilizado na memória de cálculo do projeto
Perda de carga unitária	Perda de carga unitária no trecho da tubulação projetada (em metros por quilômetros)
Recobrimento	Profundidade da camada de recobrimento medida entre o terreno e

	a geratriz superior do tubo
Tipo de pavimento	Material utilizado no pavimento sobre o trecho do objeto projetado
Observação	Informações relevantes adicionais
Número do contrato	Número do contrato do projeto
Enable	Campo de criação e preenchimento automáticos relacionados à criação da rede geométrica

Fonte: Adaptado da GTC-ITR-006-01 - Compesa (2021)

Após essa análise, foi realizada a conversão dos dados para que todos sejam georreferenciados ao SIRGAS2000, devido ao fato de que as informações devem ser inseridas no GISCOMP com coordenadas geográficas.

No passado, as informações eram lançadas no GISCOMP com seus respectivos sistemas de projeções cartográficas. Porém, devido a problemas em análises de elementos localizados em mais de um fuso, optou-se pela utilização de dados sem um sistema de projeção, georreferenciados apenas pelo sistema geodésico de referência.

Posteriormente à etapa de conversão dos dados para SIRGAS2000, os dados passaram por tratamento, onde foi verificado sua consistência topológica e geométrica. Esse procedimento é necessário devido as informações serem originárias do *CAD*, podendo haver algumas inconsistências em suas geometrias que não são aceitas em ambiente *GIS*.

Alguns elementos do projeto precisaram de tratamento especial, visto que algumas feições que devem ser representadas, por exemplo em forma de pontos no *GIS*, estão no *CAD* com outra estruturação (linha ou bloco) (figura 9).

Figura 9 – Trecho de rede de abastecimento de água projetada para o município de Goiana/PE, contendo macromedidores em formato de bloco no *AutoCAD*.

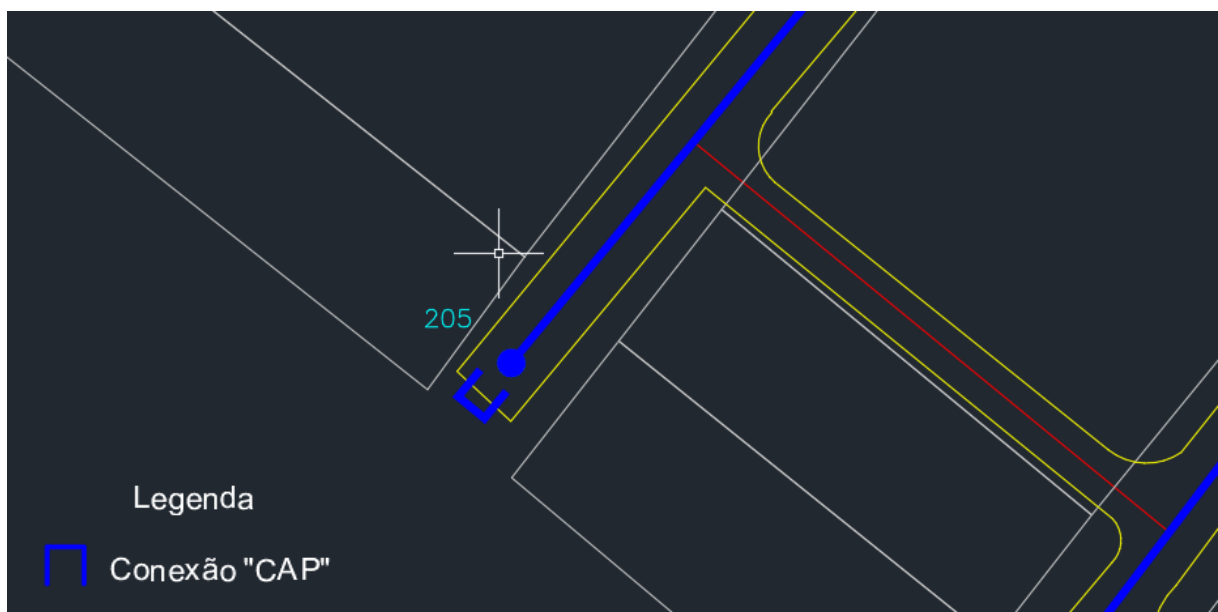


Fonte: Compesa (2021)

Para esse caso, foi realizado no *QGIS* o processamento vetorial de extração do centroide das feições, gerando os pontos necessários para a sua representação.

Outro caso particular é apresentado na figura 10, onde por não ser representado através de uma geometria regular, o procedimento de gerar o centroide resulta em um ponto que não coincide com o fim do trecho de rede, sendo necessário realizar o deslocamento manual dos pontos.

Figura 10 – Trecho de rede de abastecimento de água, onde tem-se conexão do tipo Cap com formato de geometria irregular



Fonte: Compesa (2021)

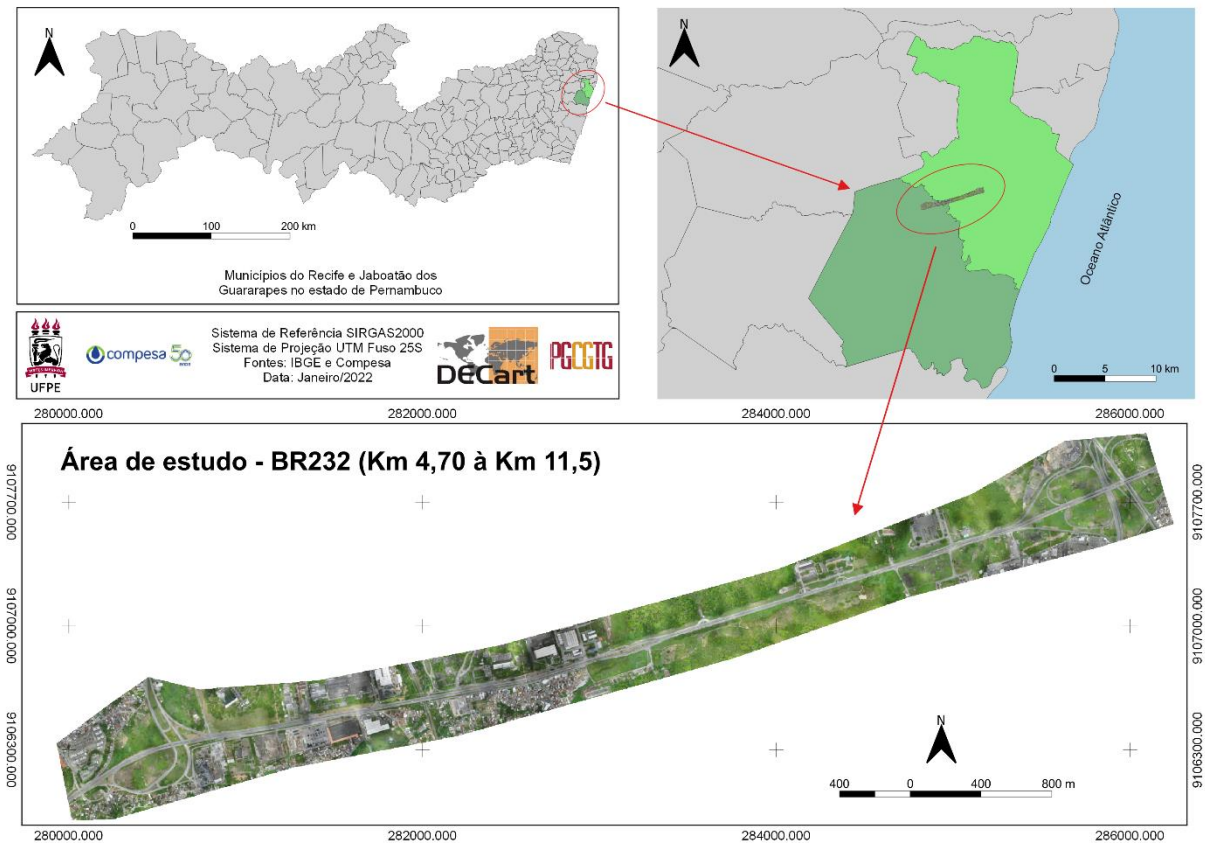
Feito isso, as informações foram inseridas no banco de dados geográficos através do *software Arcgis*. A inserção dos dados consiste na criação de uma versão “filha” configurada de acordo com seu “usuário Compesa” (usuário e senha da rede), onde após criar essa versão efetua-se todas as alterações necessárias nas camadas, tanto na parte geométrica como nos atributos. Ao final do trabalho, com todas as alterações salvas, transfere-se as alterações das versões “filhas” criadas pelos diversos técnicos que utilizam o BDG para a versão “Pai”.

Nessa transferência de alterações de versão pode haver conflito entre diferentes usuários modificando uma mesma camada. Com isso, no processo de unificação das modificações, seleciona-se a resolução de conflitos por atributos (opção de resolução por coluna).

4.2 MAPEAMENTO DE TUBULAÇÕES SUBTERRÂNEAS – CADASTRO 3D

Para a execução das etapas de coleta e implementação de dados sobre profundidade de dutos subterrâneos, a área de estudo compreendeu parte da BR-232, que vai do entroncamento com a Abdias de Carvalho até a ETA Castelo Branco, trecho localizado em Recife-PE. A escolha dessa área de estudo, diversa da utilizada anteriormente para o teste da integração de dados, deu-se pela demanda por informações sobre a existência e profundidade de dutos, decorrente do projeto de triplicação da rodovia BR-232. A figura 11 ilustra a localização desse trecho:

Figura 11 – Área de estudo do mapeamento 3D – BR232



Fonte: O autor (2022)

Para essa área também foi elaborado um mapa sobre os tipos de solos (figura 11). A representação tomou como base o Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE) através do “Mapa de reconhecimento de baixa e média intensidade de solos do estado de Pernambuco” de autoria da Embrapa, publicado no ano de 2018 e que representa a distribuição espacial dos solos do estado do Pernambuco, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2006), em uma escala de 1:100000.

Por meio da figura 12, observa-se que ao longo da área de estudo são apresentados 3 tipos de solos: Gleissolo Háptico, Argissolo Vermelho-Amarelo e Área urbana.

Os Gleissolos compreendem solos minerais, hidromórficos, que apresentam horizonte glei dentro de 50 cm a partir da superfície ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização) ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos (EMBRAPA, 2018).

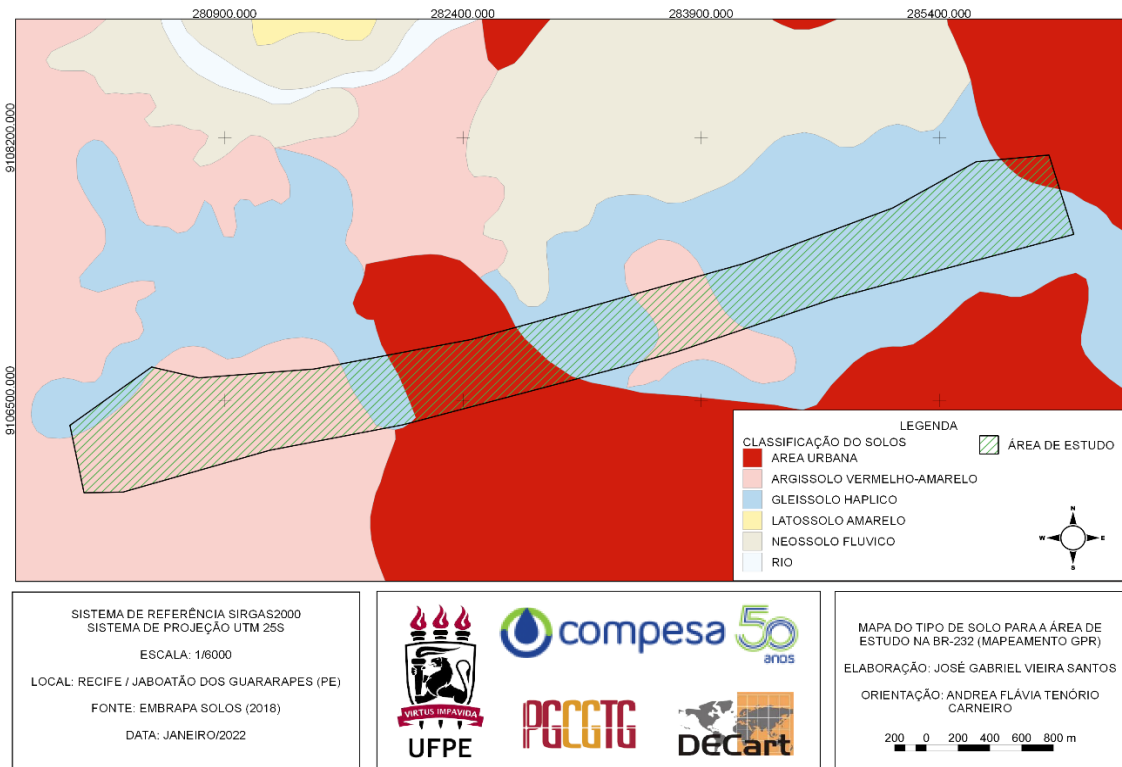
Os solos desta classe se encontram permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente ou a saturação ocorre por fluxo lateral no solo. Em qualquer circunstância, a água do solo pode se elevar por

ascensão capilar atingindo a superfície, ou seja, são solos mal ou muito mal drenados em condições naturais e eventualmente formados em áreas inclinadas sob influência do afloramento de água subterrânea (EMBRAPA, 2018).

Já os Argissolos são solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter aluminico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para ser enquadrado nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (EMBRAPA, 2018).

Grande parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes, onde a transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual. Possuem profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas e mais raramente brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este (EMBRAPA, 2018).

Figura 12 – Mapa de solo para área de estudo do mapeamento 3D – BR232



Fonte: Embrapa (2018)

Dessa forma, identificada a necessidade de caracterizar de forma tridimensional as estruturas subterrâneas e tendo o *GPR* como uma das possibilidades para a coleta desses dados, partiu-se para um estudo de caso baseado na solicitação emitida através do Ofício Circular Nº 01/2021, referente a verificação da necessidade de intervenção em adutora e rede de água da Compesa, devido a possível interferência do projeto de triplicação da BR-232, no trecho da ETA Castelo Branco ao entroncamento com a avenida Abdias de Carvalho.

Assim, comparou-se os arquivos do projeto inicialmente previsto para a triplicação com as redes já cadastradas pela Compesa, presente no setor de cadastro técnico. Essa análise gerou dúvidas, uma vez que existiam tubulações subterrâneas no local (fazendo-se necessário conhecer sua profundidade) e tínhamos trechos em que a projeção da via (BR-232) a ser triplicada se encontrava muito próxima a adutora da COMPESA.

Com isso, iniciou-se o processo de contratação de empresa prestadora de serviço, a fim de auxiliar na execução das atividades de cadastro do SAA presente as margens da BR-232. Para isso, foi necessário elaborar um Termo de Referência, documento que indica quais as metodologias que deverão ser utilizadas na realização do serviço, precisões exigidas, produtos e respectivos formatos em que serão entregues, e demais especificações pertinentes a realização do trabalho.

Como o cadastro 3D não é um serviço comumente utilizado, foram realizados pesquisas e debates a respeito de qual tecnologia seria aplicada ao mapeamento de tubulações subterrâneas. Foi estabelecido que a identificação das redes e adutoras subterrâneas deveria ser realizada através de método de levantamento não destrutivos, visando a menor ruptura possível da superfície e eliminar ou minimizar danos as próprias tubulações da COMPESA, ao sistema viário e o meio ambiente. Dessa forma, foi recomendado através do Termo de Referência da contratação, como primeira opção para o mapeamento de interferências no solo a utilização do *GPR* (*Ground Penetration Radar*) também conhecido como georadar, conforme é indicado na norma ABNT NBR 15935/2011.

O método utilizado pelo georadar consiste em uma técnica de reflexão de ondas eletromagnéticas de alta frequência: uma antena transmissora emite um pulso eletromagnético que é propagado no solo e reflete em interfaces que apresentam propriedades eletromagnéticas contrastantes. E tudo isso é captado por uma antena receptora no aparelho.

Também foi indicado que os parâmetros utilizados na configuração do georadar (frequência da antena, quantidade de *samples/scan*, quantidade de *scan/metro* e etc.) deveriam ser compatíveis com o diâmetro, tipo de material e a profundidade das tubulações, bem como

com as características do solo (condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade eletromagnética), de forma a possibilitar a identificação clara das feições.

Com relação à precisão exigida para esse levantamento, nos trechos em que as tubulações subterrâneas se encontrem mais próximas a superfície e seja possível sua identificação com antenas de alta frequência do georadar, a acurácia posicional vertical – σ_V deveria ser ≤ 15 cm. Nos locais, onde as tubulações subterrâneas se localizem a maiores profundidades, necessitando a utilização de antenas com menores frequência, a acurácia posicional vertical – σ_V deveria ser ≤ 25 cm.

A escolha para as tolerâncias de precisão vertical, baseou-se no que seria a própria precisão do equipamento (fornecida após consulta a alguns prestadores de serviço), visto que ao exigir uma melhor precisão, a mesma poderia não ser atingida, o que inviabilizaria o levantamento. Dessa forma, se fundamentou o levantamento cadastral no conceito de cadastro “*Fit-For-Purpose*”, adequando-o à realidade e necessidade.

A precisão estabelecida para a profundidade atende a finalidade do levantamento, visto que nesse caso se tratando de adutoras de grande porte (com diâmetros de 1500 e 1200 mm), uma incerteza de até 25 cm não comprometeria a tomada de decisão a respeito do remanejamento ou não das tubulações.

Para iniciar os trabalhos de campo do mapeamento por georadar, foram definidas áreas específicas não contínuas em que deveriam ser realizadas esse mapeamento, de forma que, ainda assim, fosse abrangido todo o trecho de estudo. Essas áreas foram denominadas de trecho-01 a trecho-14 e são apresentadas na figura 13:

Figura 13 – Definição dos trechos de mapeamento por GPR



Fonte: O autor (2022)

A definição dessas áreas de mapeamento por georadar considerou o elevado custo para se realizar o mapeamento de forma contínua em todos os trechos de adutora (longitudinal e travessias pela BR-232) e baseou-se no fato de que comumente as tubulações seguem padrões de traçado sem grandes oscilações planialtimétricas, ou seja, considerando pequenos intervalos entre os trechos de georadar, as tubulações não deveriam sofrer grandes variações de profundidade. Além disso, nesse pequeno intervalo, identificando um ponto inicial e final sua parte planimétrica também estaria definida.

Na realização do levantamento de campo, foi utilizado um equipamento *GPR* equivalente ao sistema *SIR3000* da *GSSI (Geophysical Survey System Inc)* conforme figura 14, antena blindada (não sofrendo interferência de ruído externo) com uma frequência de 400 MHz e configuração de operação monoestática. O levantamento foi executado através da contratação da empresa Plonus – Soluções em engenharia e meio ambiente, supervisionado e gerido no âmbito da COMPESA pelo autor da pesquisa.

Figura 14 – Equipamento GPR utilizado no levantamento



Fonte: O autor (2021)

Foi utilizada a frequência de 400 MHz devido à probabilidade das tubulações subterrâneas não se encontrarem a grandes profundidades. A tabela 3 apresenta a relação da frequência da antena com a profundidade a ser mapeada:

Tabela 3 – Frequências das antenas *GPR* x Profundidade mapeada

Frequência Central (MHz)	Profundidade Máxima de Penetração (m)
1000	1
400	2
200	4
100	25
50	30
25	40
10	50

Fonte: Santos (2019)

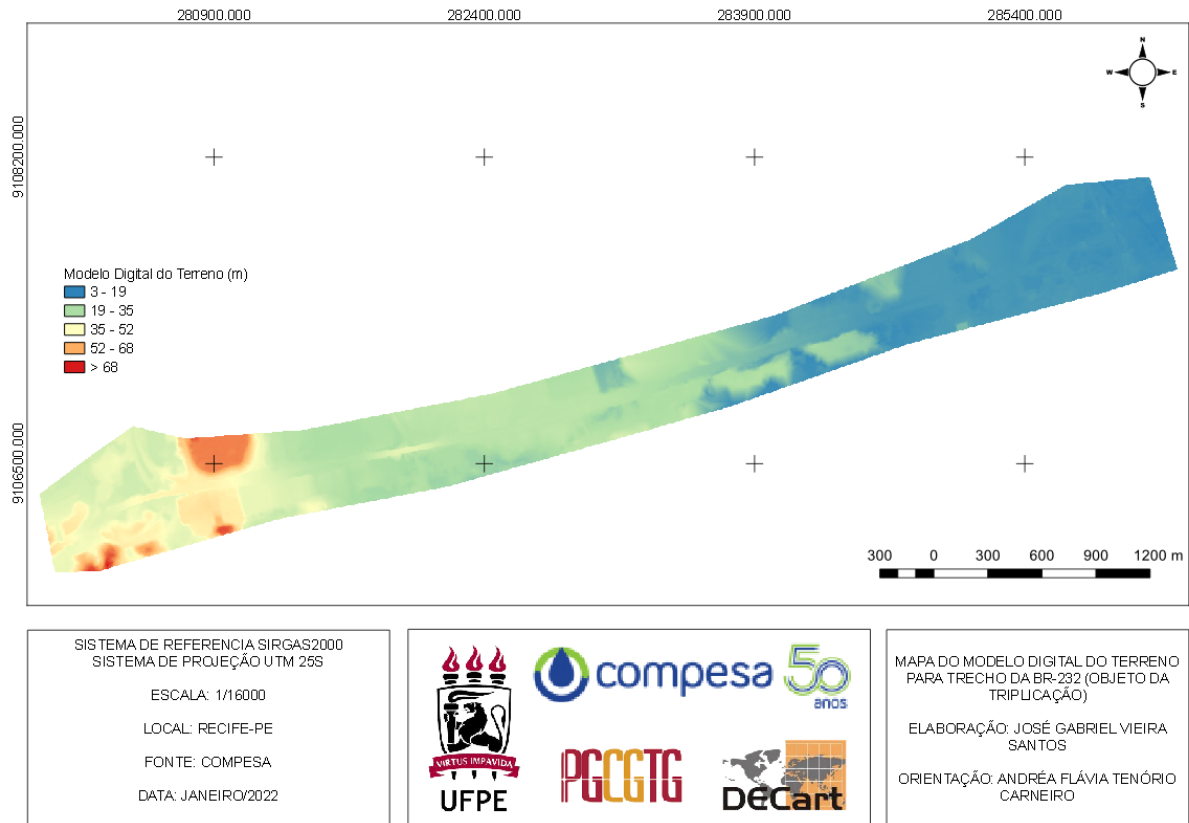
O método de aquisição das imagens do *GPR* denominadas de radargramas, fez uso do “*common offset*”, o qual consiste em uma técnica de afastamento constante onde a geometria das antenas transmissoras e receptoras se mantém fixas à medida que se move o *GPR* em velocidade constante.

Baseado na provável posição em que se encontravam as tubulações, as quais foram definidas pelo material disponibilizado pelo cadastro técnico, foram definidas e executadas seções com *GPR* dentro de cada área de investigação.

A visualização e tratamento dos dados obtidos foram realizados através do *software RADAN 6.6*, sendo utilizadas as ferramentas de normalização de distância, correção de posicionamento, removedor de sombras, correção de velocidade e ajuste de ganhos.

Por fim, complementando o mapeamento de tubulações subterrâneas e visando ter uma base completa para o caso de ser necessário ações de remanejamento das adutoras, também foi previsto o levantamento topográfico cadastral ao longo das adutoras, contemplando os elementos que fazem parte do sistema de abastecimento de água, vias, meio fio, construções, cursos de água, elaboração de curvas de nível e etc. Além disso, foram gerados produtos como mosaico de ortofotos e Modelo Digital do Terreno – MDT com resolução de 0,05m e 0,5m respectivamente, a partir de um levantamento aerofotogramétrico com VANT/RPA. A figura 15 mostra o MDT da área.

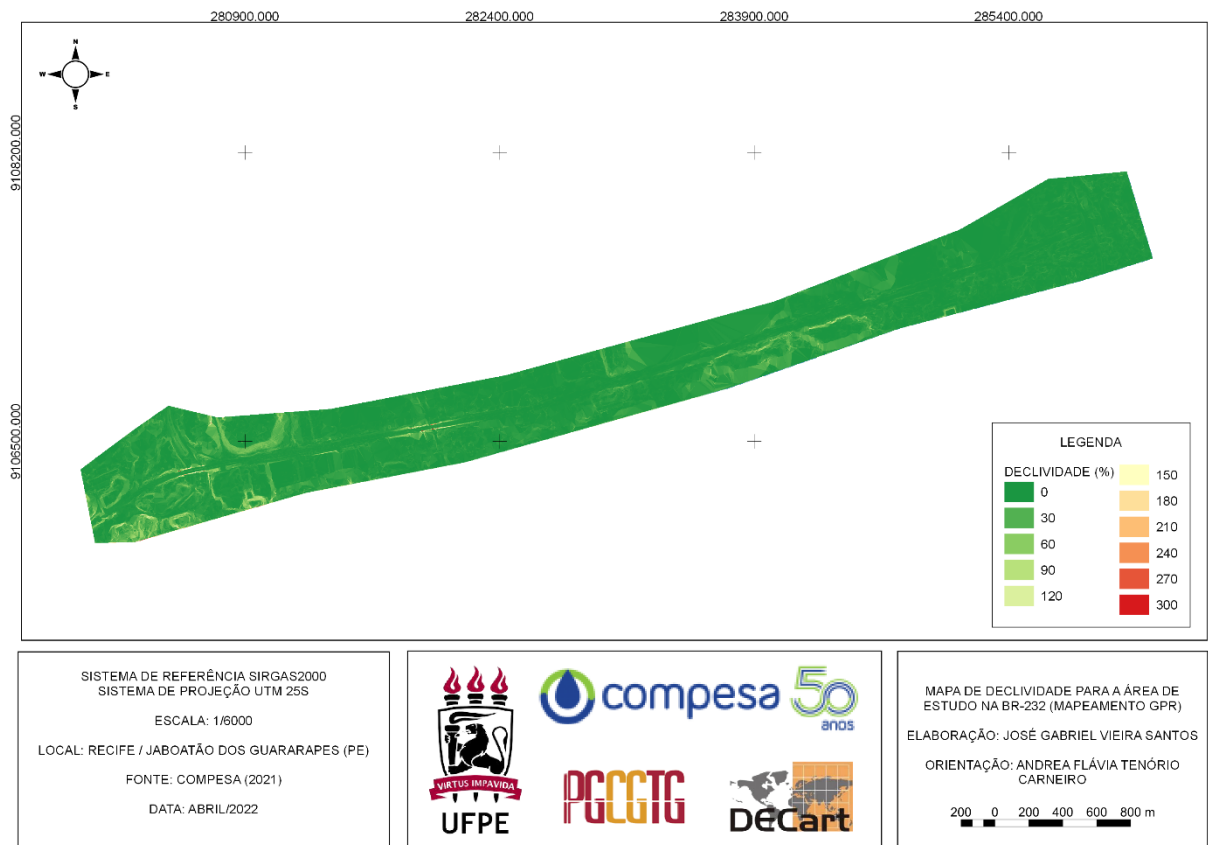
Figura 15 – Modelo Digital do Terreno para área de estudo na BR-232



Fonte: O autor (2022)

A partir do MDT, foi elaborado um mapa de declividade com o objetivo de avaliar a se a topografia do terreno possibilitaria de executar facilmente a condução do equipamento GPR na área. Assim, observou-se que a maior parte da área de estudo apresenta uma declividade $d < 30\%$. A figura 16 apresenta o mapa de declividade elaborado.

Figura 16 – Mapa de declividade para área de estudo na BR-232



Fonte: O autor (2022)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

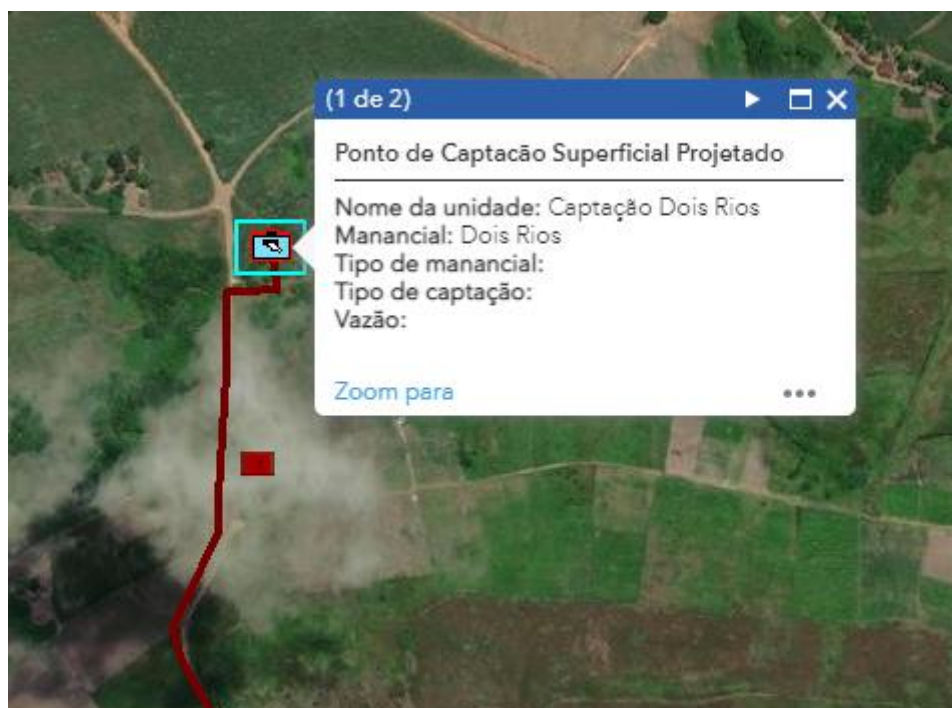
Nessa seção, serão apresentados, comentados e interpretados os resultados obtidos nessa pesquisa.

5.1 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO DE SAA – GOIANA NO BDG

Por meio da implementação do passivo de projetos concluídos no GISCOMP, dados gráficos e descritivos foram reunidos em um único ambiente de fácil consulta e visualização por qualquer usuário da companhia, onde também é possível a comparação entre dados projetados e dados cadastrados (executados), unificando informações em uma única base e assim, tornar o cadastro técnico da COMPESA cada vez mais completo utilizando dados de diferentes fontes.

Com resultado obtido da implementação do banco de projetos concluídos no BDG da COMPESA, todo o SAA projetado para o município de Goiana foi inserido. Informações como o local de captação do sistema, traçado das adutoras, localização das estações elevatórias, hidrantes, registros, descargas, ventosas, bem como suas principais características de interesse podem ser consultados através do *SIGWEB* da instituição. As imagens 17 a 22 ilustram essas informações:

Figura 17 – Recorte da captação de água bruta projetada para o SAA do município de Goiana



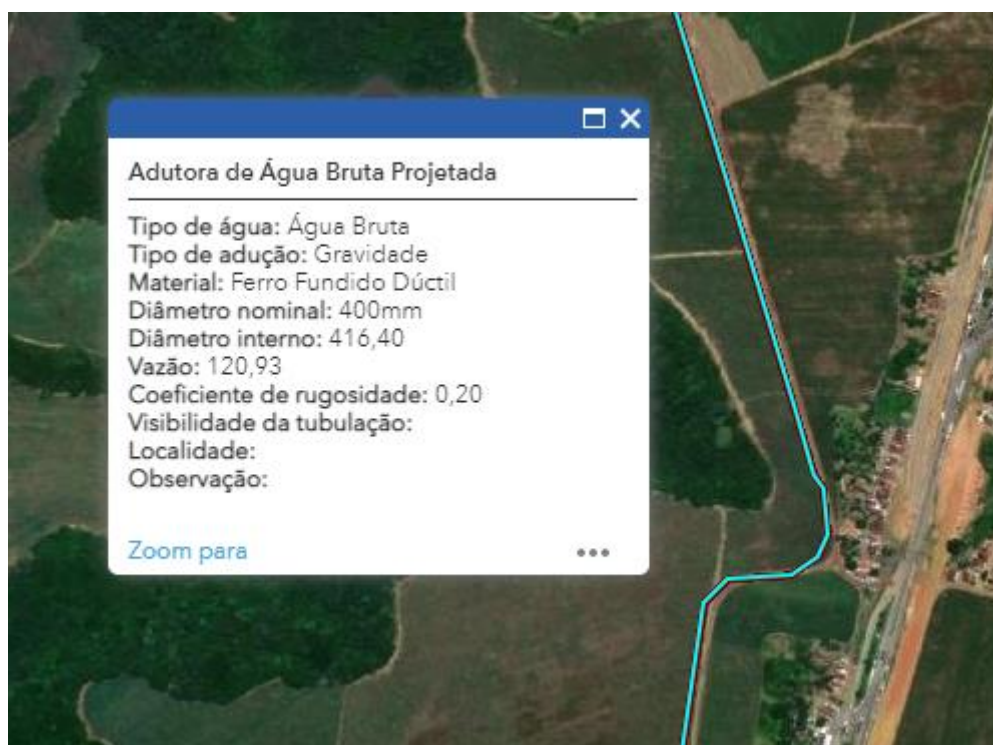
Fonte: o autor (2022) / Base de dados da COMPESA

Figura 18 - Recorte da EEAB projetada para o SAA do município de Goiana



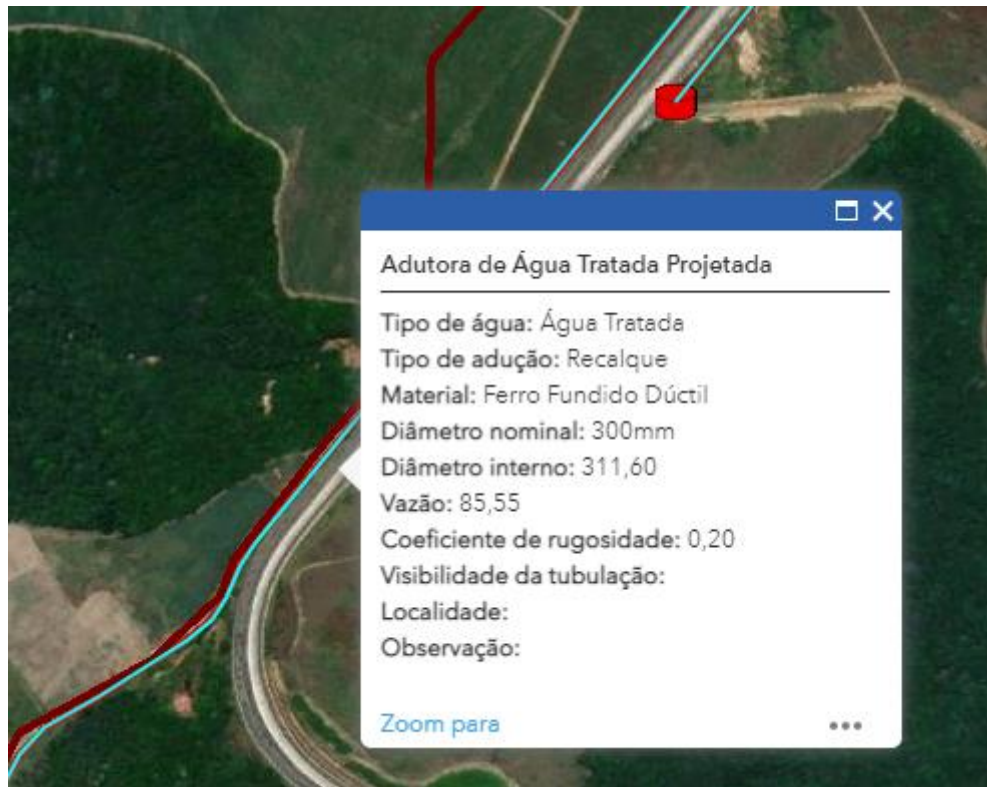
Fonte: o autor (2022) / Base de dados da COMPESA

Figura 19 - Recorte da adutora de água bruta projetada para o SAA do município de Goiana



Fonte: o autor (2022) / Base de dados da COMPESA

Figura 20 – Recorte da adutora de água tratada projetada para SAA do município de Goiana



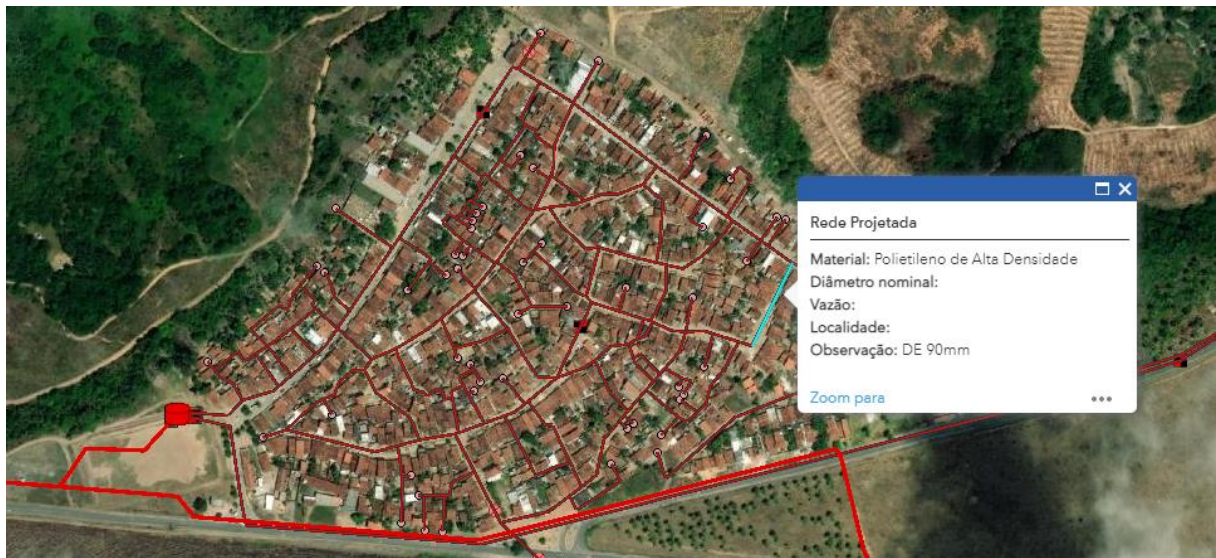
Fonte: o autor (2022) / Base de dados da COMPESA

Figura 21 – Recorte do reservatório projeto para o SAA para o município de Goiana



Fonte: o autor (2022) / Base de dados da COMPESA

Figura 22 - Recorte da rede de distribuição projetada para o SAA do município de Goiana



Fonte: o autor (2022) / Base de dados da COMPESA

Após a inserção dos dados gráficos e descritivos do projeto, foi possível observar a disponibilidade de dados importantes, mas que não possuem seu respectivo campo de informações. Assim, planeja-se a criação de novos atributos, como por exemplo o de diâmetro externo e profundidade (para o cadastro 3D), entre outros que forem julgados necessários. Esse processo é um pouco complexo, visto que as modificações na estrutura do banco de dados geográficos são realizadas através de revisões, em períodos pré-determinados, das normas vigentes de cadastro técnico.

Embora a criação de novos campos possa não se concretizar antes da revisão das normas atuais da COMPESA, essas informações podem ser inseridas no campo “observação” (já existente no sistema) não deixando de serem disponibilizadas no GISCOMP (conforme apresentado na figura 22).

Por fim, tem-se a representação geral do SAA para o município de Goiana dentro do GISCOMP (figura 23).

Figura 23 - Recorte geral do SAA projetado para o município de Goiana



Fonte: o autor (2022) / Base de dados da COMPESA

Além do município de Goiana, diversos outros SAA também já foram inseridos no GISCOMP, atualmente. A camada hoje possui feições de projetos por todo o território pernambucano, desde o litoral ao sertão.

5.2 CADASTRO 3D VIA *FIT-FOR-PURPOSE*

Como resultado desta etapa foram obtidos os dados a respeito da 3ª dimensão (eixo Z - profundidade) do cadastro da rede, através da utilização do levantamento topográfico cadastral associado ao mapeamento de tubulações subterrâneas por meio do georadar. A proposta desse trabalho é inserir esses dados no banco de dados geográficos, através da criação do campo “profundidade”, de forma que se configure a caracterização do cadastro 3D preliminar para as redes da COMPESA.

O mapeamento de tubulações subterrâneas por método não destrutivo utilizando georadar resultou nos radargramas de diversos pontos ao longo do trecho de estudo, os quais foram interpretados pelo prestador de serviço (Plonus – Soluções em engenharia e meio ambiente) contratado para a execução do levantamento, mediante a entrega dos produtos e relatório final à COMPESA.

Para os trechos 01 e 03, verifica-se que o comportamento espectral das respostas obtidas nos pontos T1 e T3 são bastantes parecidas, de forma que podemos inferir que a tubulação identificada possui as mesmas características como diâmetro e material, além de possuir a mesma profundidade, se tratando assim da mesma tubulação e consistindo numa travessia pela BR-232. Observa-se também que, de acordo com o perfil do radargrama, existem vários dutos na mesma profundidade e estão posicionadas lateralmente.

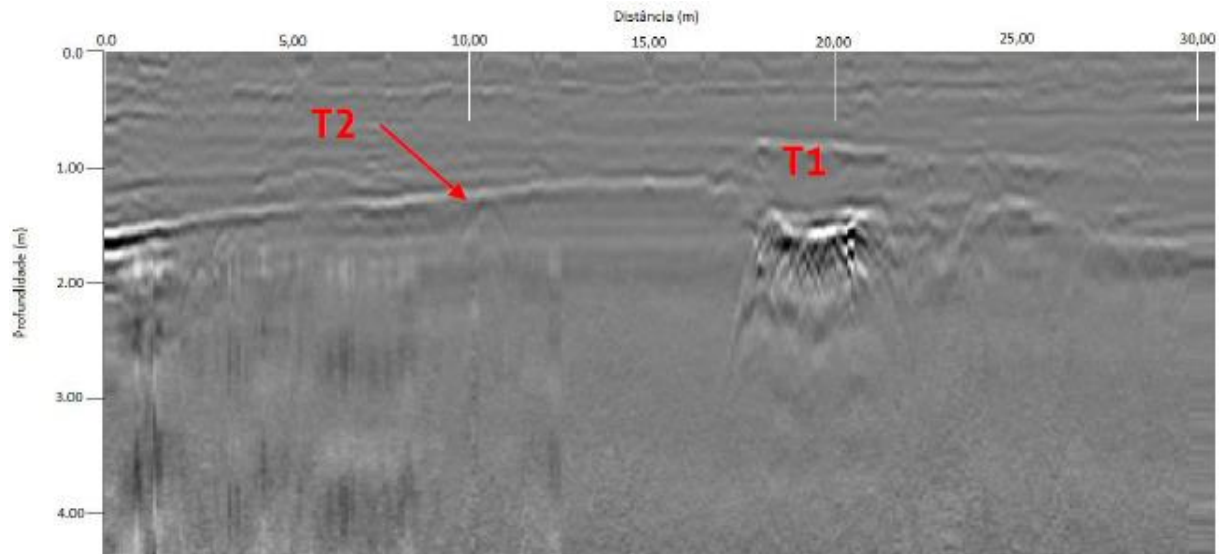
As figuras 24, 25 e 26 ilustram os trechos 01 e 03 com os pontos identificados e seus respectivos radargramas.

Figura 24 – Trechos 01 e 03 do levantamento por GPR



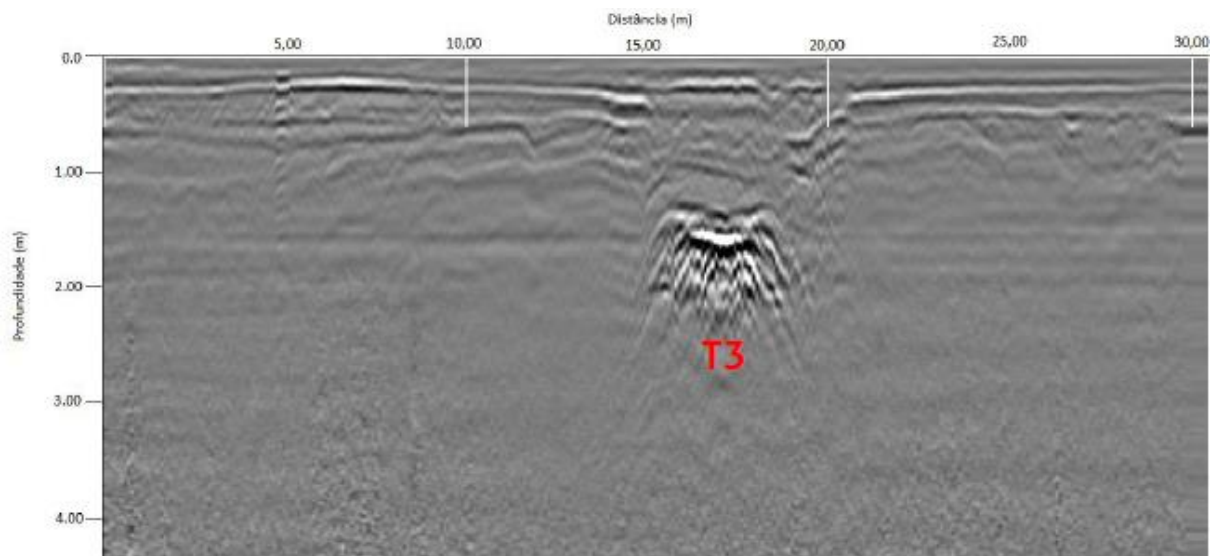
Fonte: Compesa (2022)

Figura 25 – Radargrama para o trecho 01 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 26 – Radargrama para o trecho 03 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Com relação ao trecho 02, identificou-se uma hipérbole de tubulação, na posição 25,00m a partir do ponto inicial do trecho e na profundidade de aproximadamente 0,30m (T1).

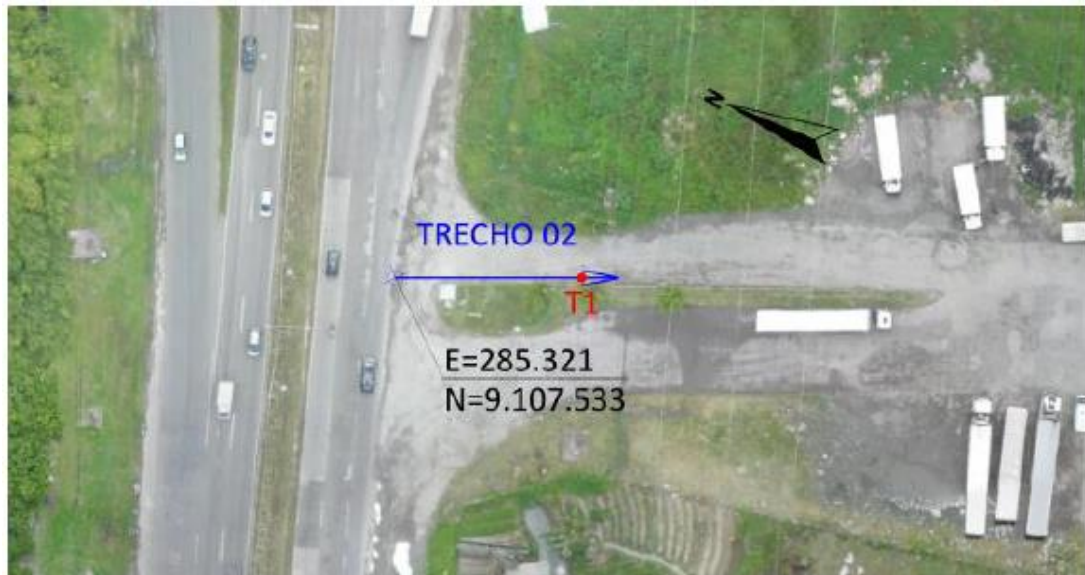
Porém, apesar da identificação do ponto T1, o radargrama do trecho 02 revela um comportamento esperado para levantamentos realizados em locais que sofreram processo de aterramento ou solos com grande umidade, acarretando no aumento da condutividade elétrica e consequentemente perturbações no pulso. Como resultado, tem-se algumas interferências no radargrama, tornando confusa a interpretação dos padrões das feições mapeadas.

Esse fato pode ser justificado pelo tipo de solo em que se encontra o trecho de GPR em questão. O trecho 02 localiza-se na área abrangida pelo tipo Gleissolo Háplico, conforme

visto na figura 12, que se configura como sendo um solo encharcado, com excesso de umidade por ser um solo hidromórfico.

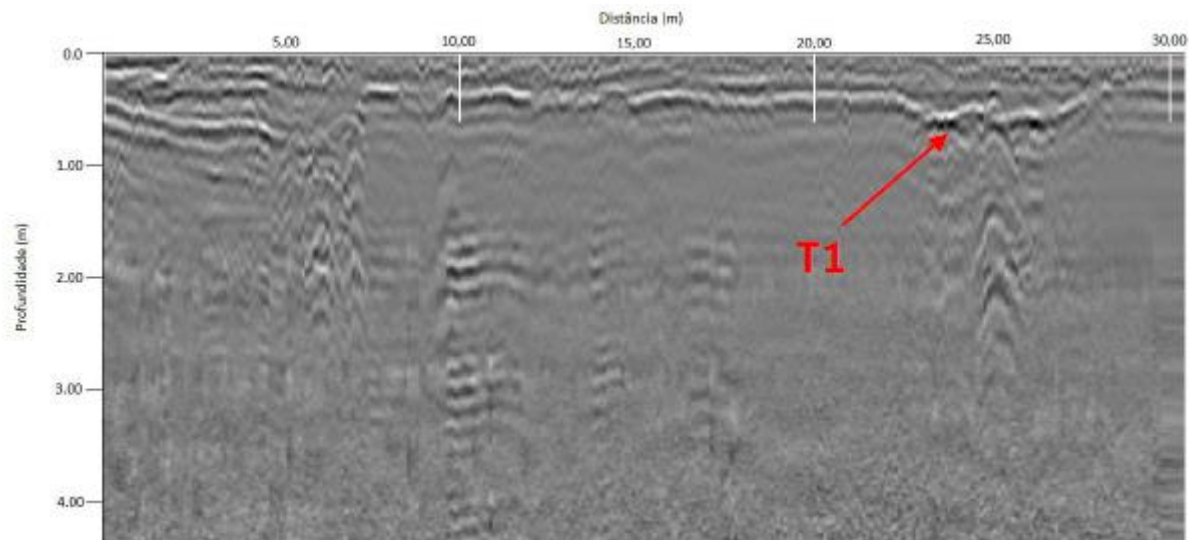
As figuras 27 e 28 ilustram o trecho 02 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 27 – Trecho 02 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 28 – Radargrama para o trecho 02 do levantamento por GPR

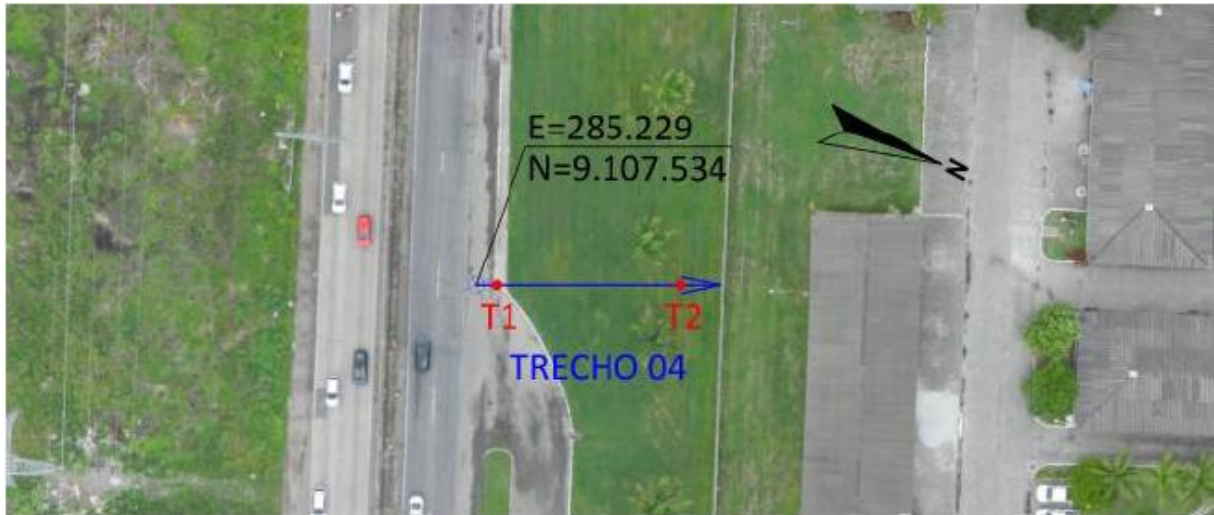


Fonte: Compesa (2022)

Analisando o radargrama do trecho 04 foram identificados alguns pontos que indicam o topo da tubulação subterrânea. Com distância de 2,5m do início da seção e aproximadamente 1,00m de profundidade temos o ponto T1 e na posição de aproximadamente 24m com cerca de 1,80m de profundidade, o ponto T2.

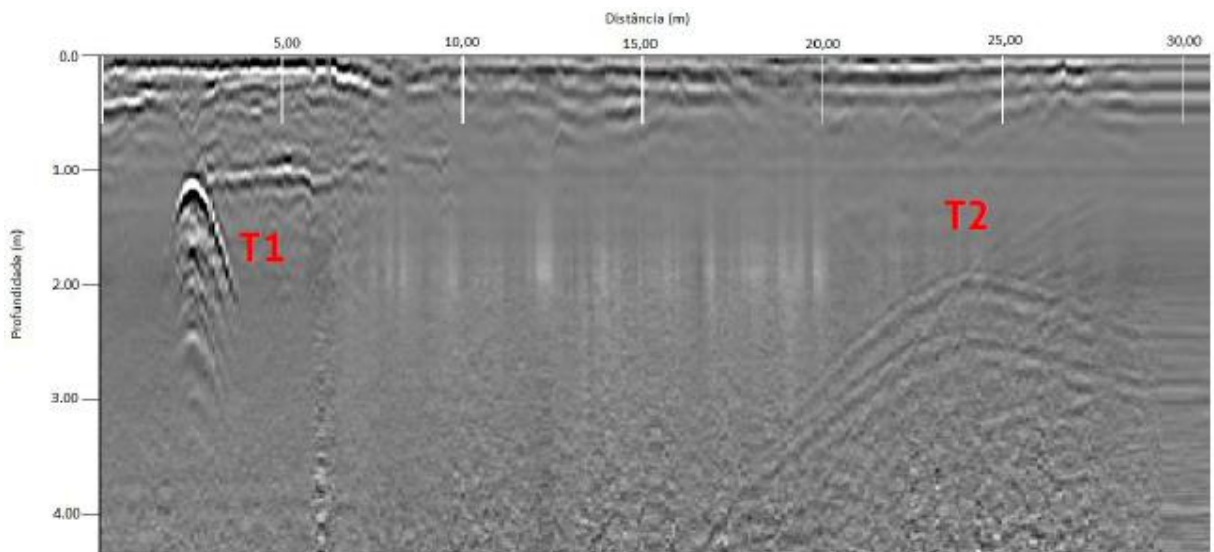
As figuras 29 e 30 ilustram o trecho 04 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 29 – Trecho 04 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 30 – Radargrama para o trecho 04 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Considerando o radargrama do trecho 05 é possível identificar nitidamente cinco hipérboles. Entre as posições de 3,50m a 10,50m existe o ponto T1 com profundidade $\cong 0,80\text{m}$, seguido de T2 com profundidade de aproximadamente 1,40m, T3 com profundidade de $\cong 1,50\text{m}$ e T4 na profundidade $\cong 3,20\text{m}$. Pouco depois da posição de 21m, também aparece o ponto T5 à aproximadamente 1,00m abaixo da superfície.

As pequenas hipérboles entre as distâncias de 10,50m - 21m e próximas à superfície, ocorreu devido a malha de ferro (armadura) das placas de concreto presentes no local.

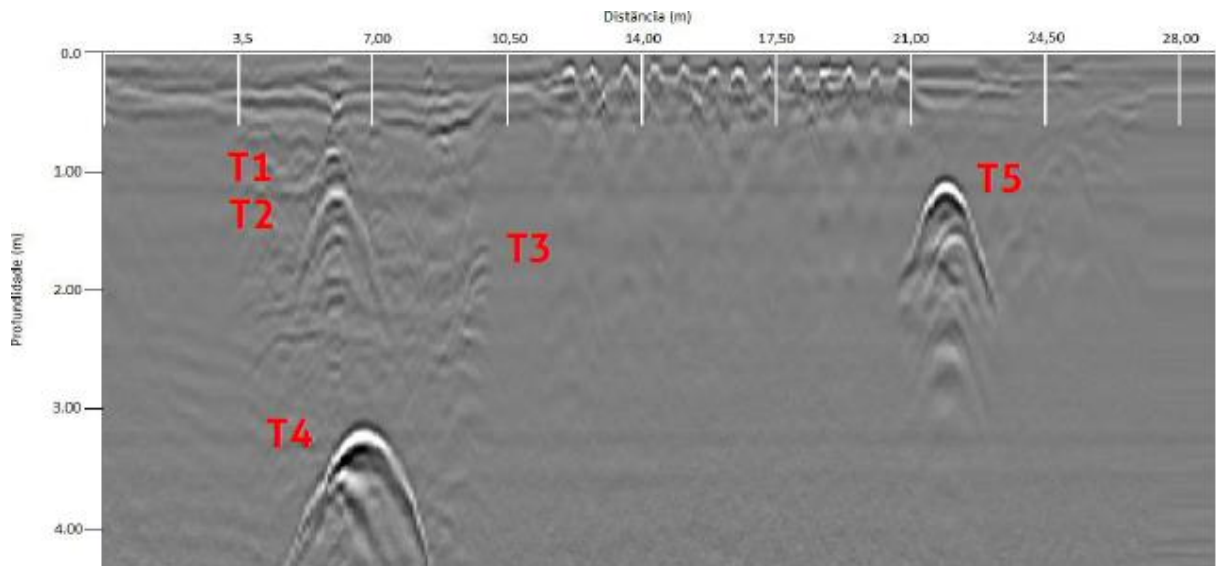
As figuras 31 e 32 ilustram o trecho 05 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 31 – Trecho 05 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 32 – Radargrama para o trecho 05 do levantamento por GPR



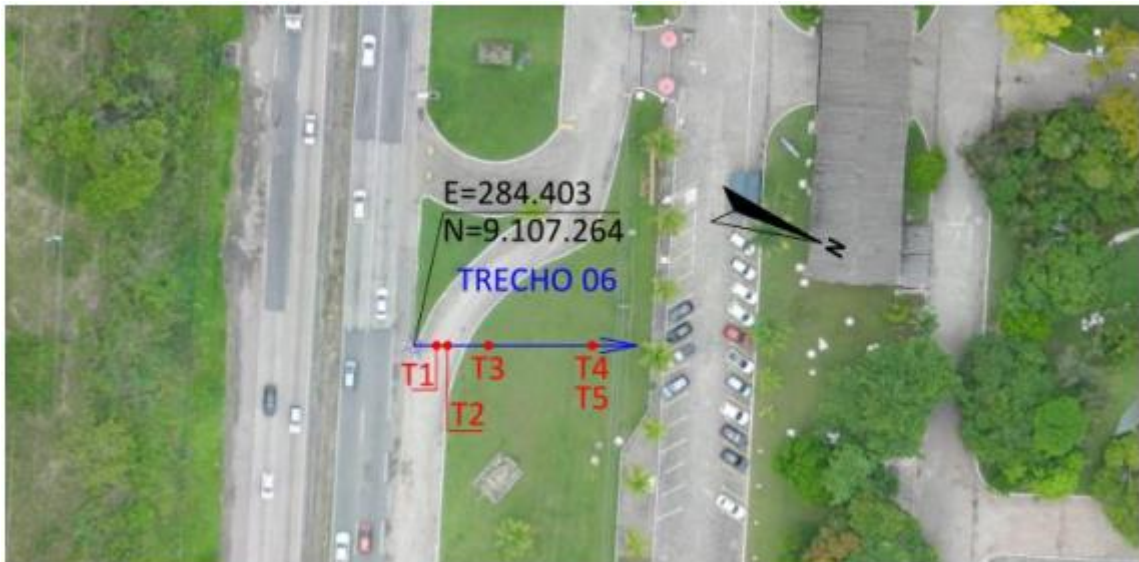
Fonte: Compesa (2022)

Pelo radargrama do trecho 06 é possível identificar outras cinco tubulações. 3 delas localizam-se entre as posições de 0,00m a 10,00m: T1 com profundidade $\cong 0,80\text{m}$, T2 com

profundidade $\cong 1,50\text{m}$ e T3 com profundidade de $\cong 2,20\text{m}$. Já entre as posições de 24,00m a 25,00m aparecem o T4 e T5 com profundidade entre 0,80m e 0,90m.

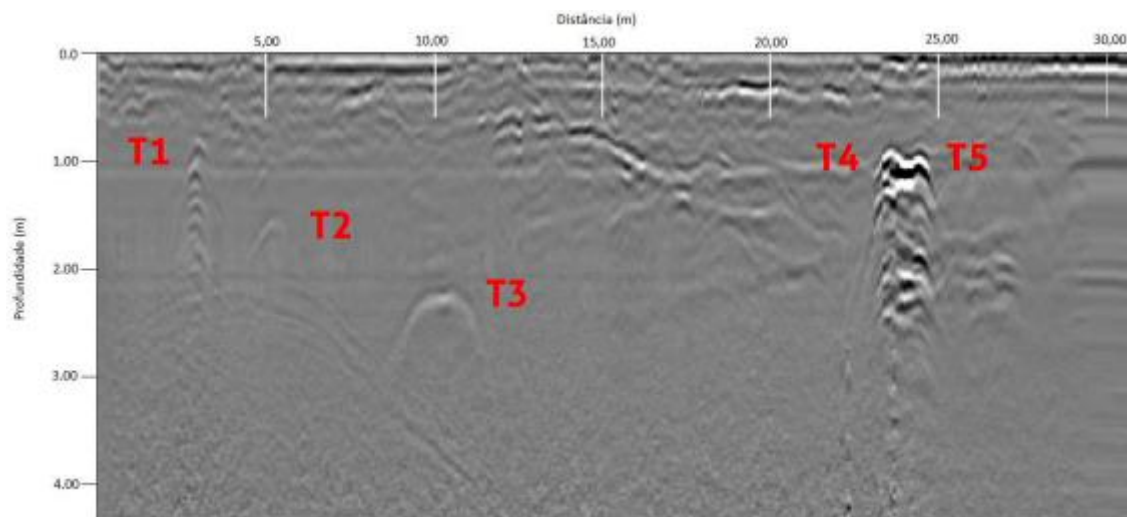
As figuras 33 e 34 ilustram o trecho 06 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 33 – Trecho 06 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 34 – Radargrama para o trecho 06 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Entretanto, analisando as figuras 35 e 36 observa-se que também houveram trechos de mapeamento por georadar, em que não se pôde identificar claramente as feições de interesse.

O radargrama da figura 36 apresenta um comportamento que ocorre em solos de zonas de aterro, de umidade alta, solos extremamente argilosos e ricos em minerais de ferro. Esse

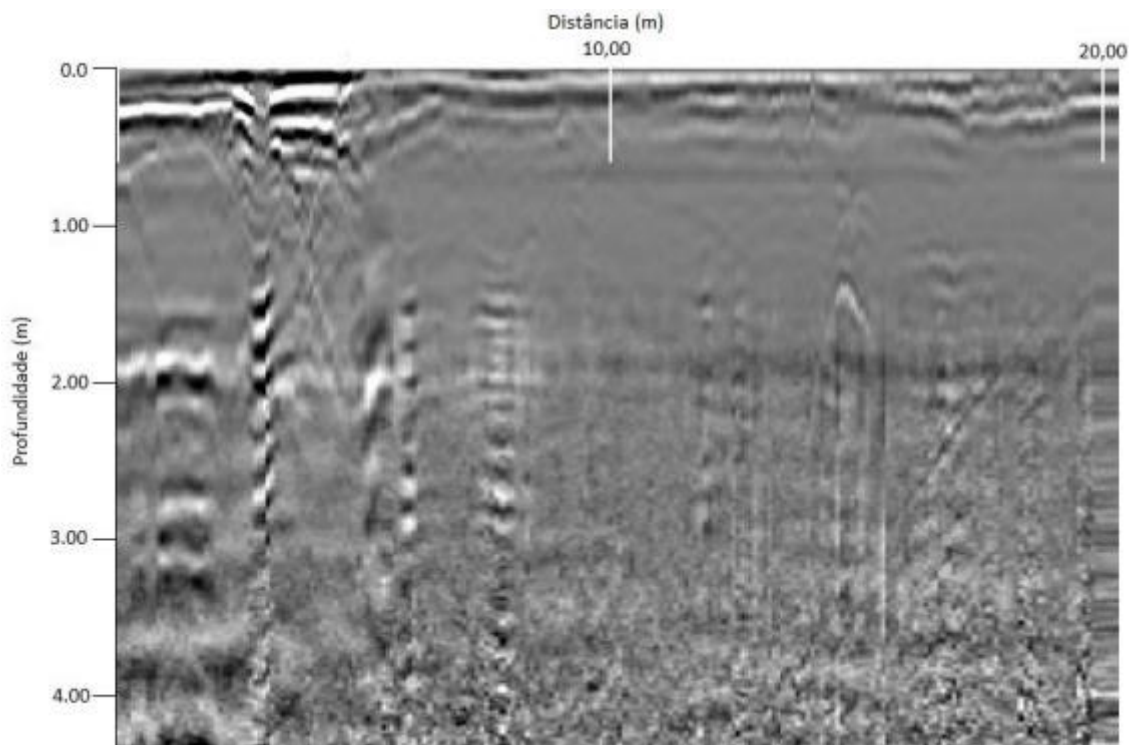
comportamento pode ser justificado pela ocorrência de solo do tipo argissolo na área do trecho 07.

Figura 32 – Trecho 07 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 33 – Radargrama para o trecho 07 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Seguindo, para os radargramas dos trechos 08-1 e 08-2 identifica-se de forma bastante clara duas feições subterrâneas. Verificou-se que nos 10 primeiros metros da seção com sentido transversal a BR-232, em ambos os trechos, têm-se uma tubulação com traçado

longitudinal a rodovia com uma profundidade variando entre 0,80 e 1,20 metros (pontos T1 e T3), aproximadamente. Da mesma forma, é possível identificar também outra tubulação subterrânea entre as distâncias de 10 a 20 metros das seções do *GPR* com profundidade a cerca de 1 metro.

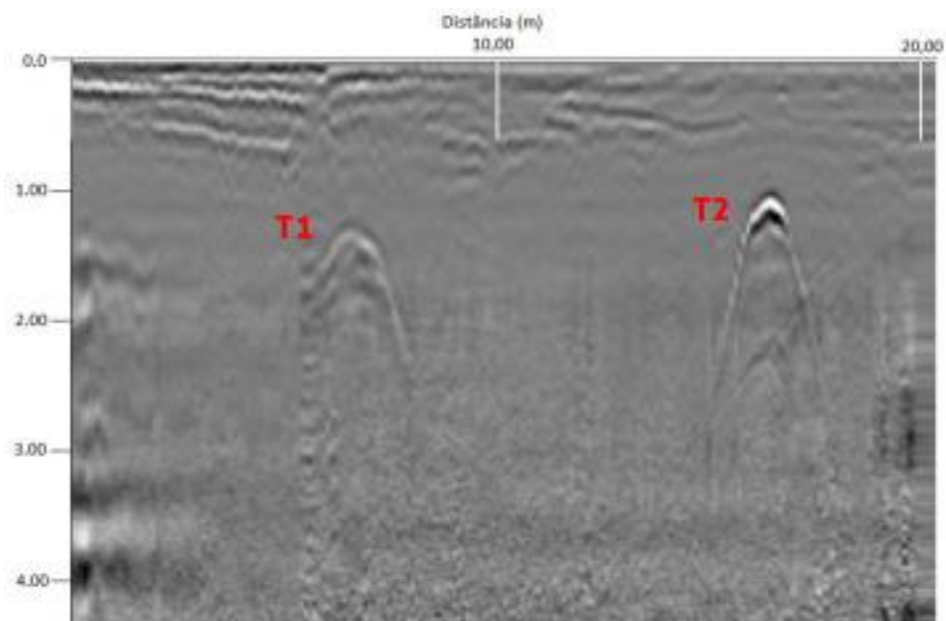
As figuras 37, 38 e 39 ilustram os trechos 08-1 e 08-2 com os pontos identificados e seu respectivos radargramas.

Figura 37 – Trechos 08-1 e 08-2 do levantamento por *GPR*



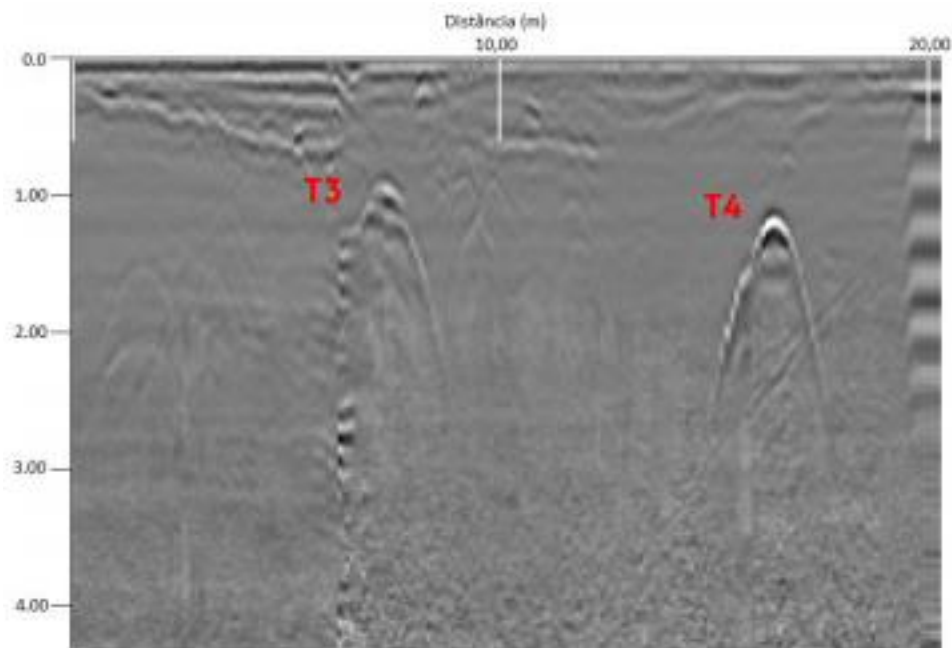
Fonte: Compesa (2022)

Figura 38 – Radargrama para o trecho 08-1 do levantamento por *GPR*



Fonte: Compesa (2022)

Figura 39 – Radargrama para o trecho 08-2 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Através do radargrama relacionado ao trecho 09, nas posições de 10,00m a 20,00m entre 1,00m a 3,00m de profundidade, percebe-se várias hipérboles indicando que existem muitas tubulações nesse trecho. Pela diferença de tamanho e excentricidade das hipérboles as tubulações possuem diâmetros diferentes.

Em torno de 7,00m de distância também foi identificada uma grande interferência no radargrama, a partir de 1m até a profundidade final do perfil, que geralmente é provocada por algum objeto metálico na superfície durante a execução do levantamento.

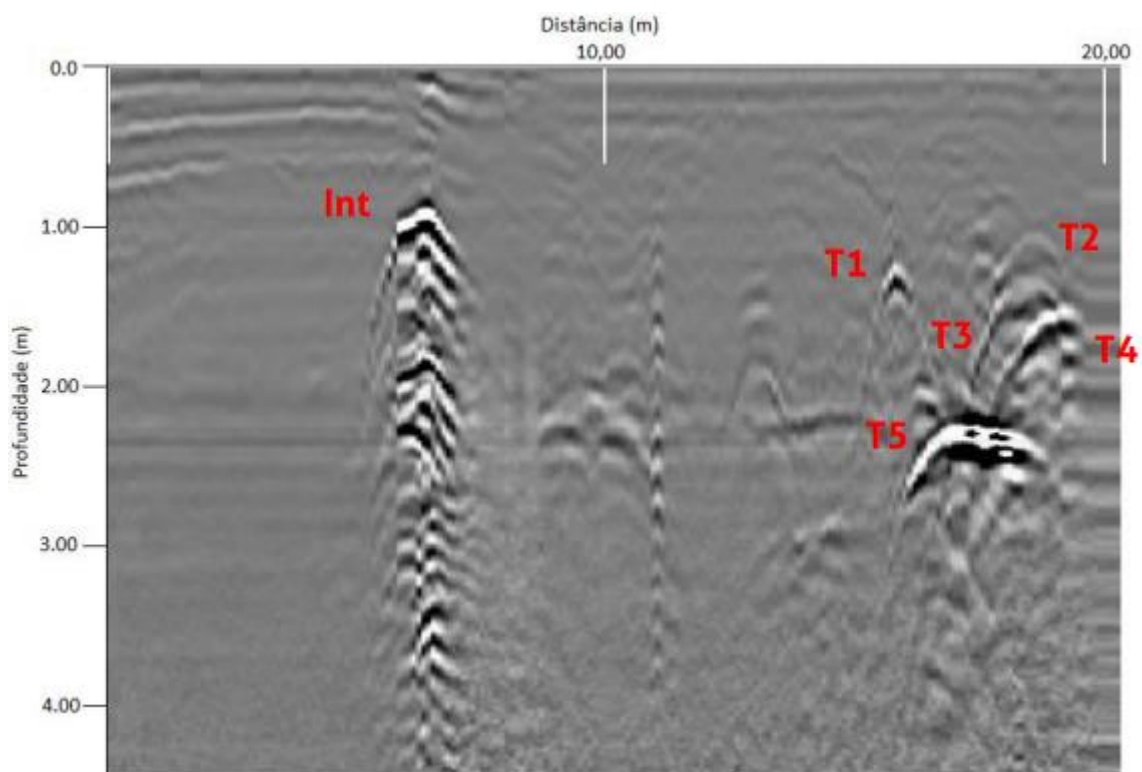
As figuras 40 e 41 ilustram o trecho 09 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 40 – Trecho 09 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 41 – Radargrama para o trecho 09 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

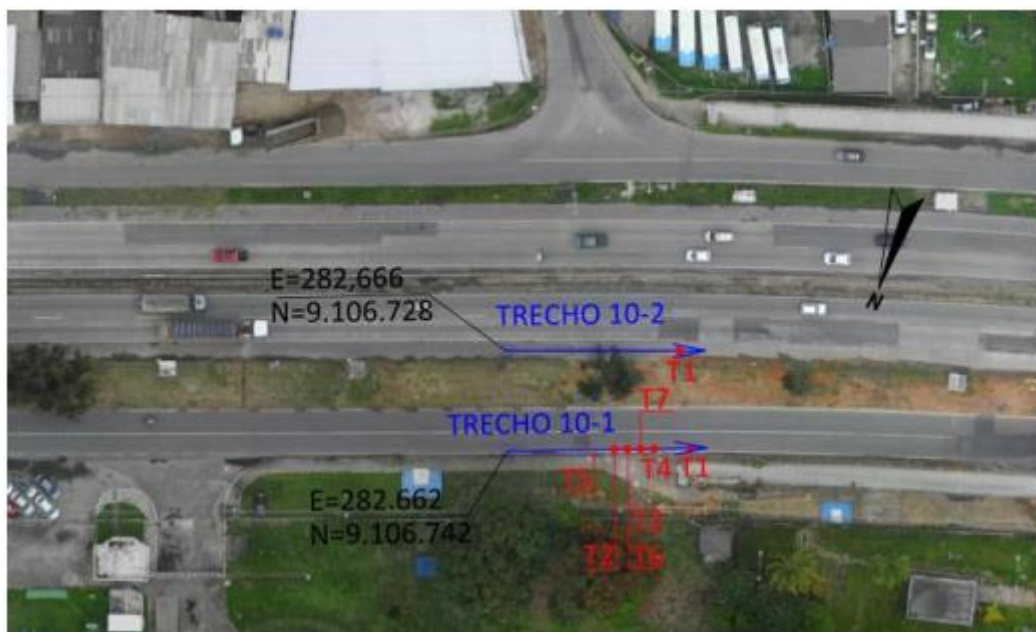
Para o trecho 10-1, foram identificadas hipérboles T2, T3 e T4 nas profundidades de 0,40m a 0,60m que podem indicar o topo tubulações de pequeno diâmetro. Nas posições de 25,00m a 30,00m existe uma grande hipérbole indicando o topo de uma tubulação de maior porte com $\cong 0,80\text{m}$ de profundidade denominada de T1. No decorrer de quase todo o perfil e

nas profundidades de 1,00m a 2,60m são observados um grande número de hipérboles com diferentes energias refletidas, indicando tubulações de diâmetros variados, como por exemplo: T6, T7 e T8. Nesse radargrama, ainda se nota entre as posições de 10,00m a 15,00m em $\cong$ 1,00m de profundidade, outra grande hipérbole indicando o topo de uma tubulação de maior porte (T5).

Analisando o radargrama do trecho 10-2 observamos que a indicação de uma tubulação de grande porte, vista no final da seção 01, também é apresentada na seção 02. Essa tubulação se apresentou bastante contrastante e encontra-se no posicionamento entre 23,00m a 28,00m e profundidade de aproximadamente 1,00m, indicando ser a continuidade da tubulação observada na primeira seção desse trecho.

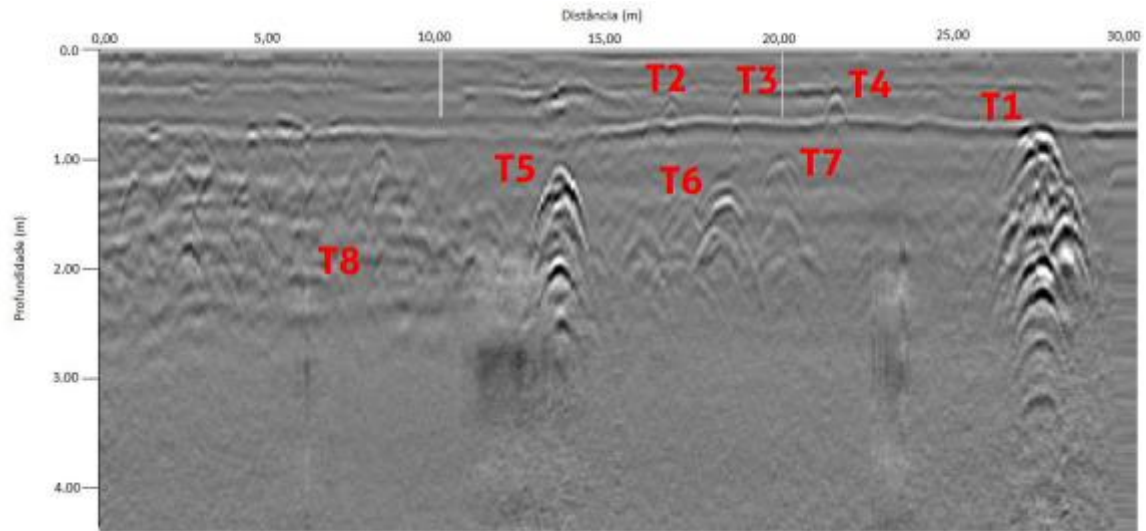
As figuras 42, 43 e 44 ilustram os trechos 10-1 e 10-2 com os pontos identificados e seus respectivos radargramas.

Figura 42 – Trechos 10-1 e 10-2 do levantamento por GPR



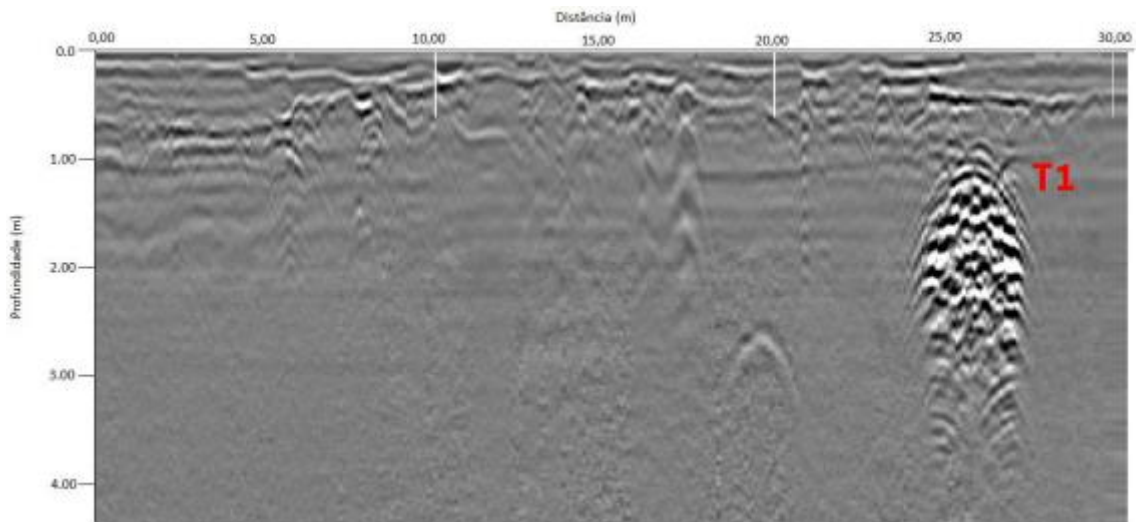
Fonte: Compesa (2022)

Figura 43 – Radargrama para o trecho 10-1 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 44 – Radargrama para o trecho 10-2 do levantamento por GPR

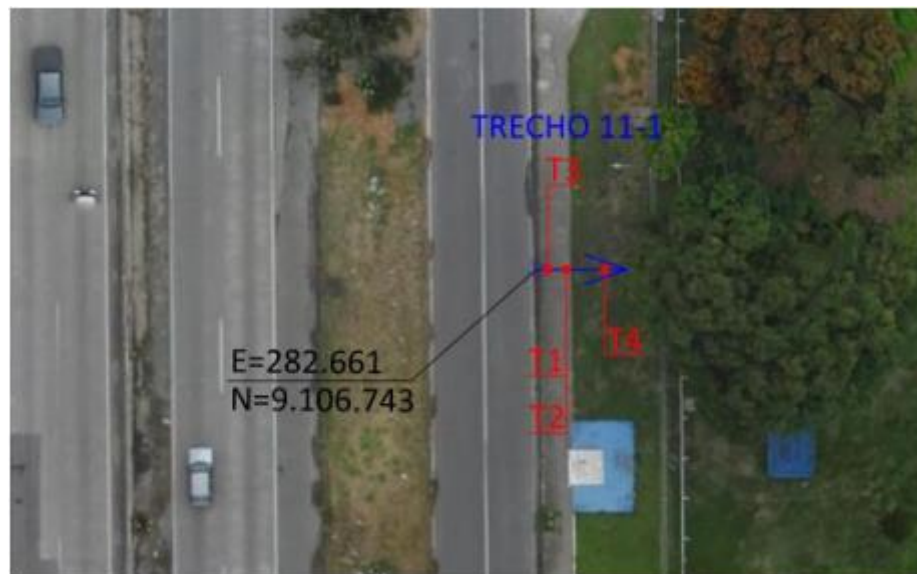


Fonte: Compesa (2022)

Para o próximo trecho (11-1), foi possível indicar feições hiperbólicas (T1 e T2) entre as posições de 1,50m a 3,00m na profundidade $\cong 0,50$ m. Outras hipérboles foram identificadas na posição de 0,00m a 1,50m (T4) e 4,50m (T3), ambas na profundidade de $\cong 1,50$ m. Apesar dos pontos identificados, o radargrama apresentou bastante interferência de sinal.

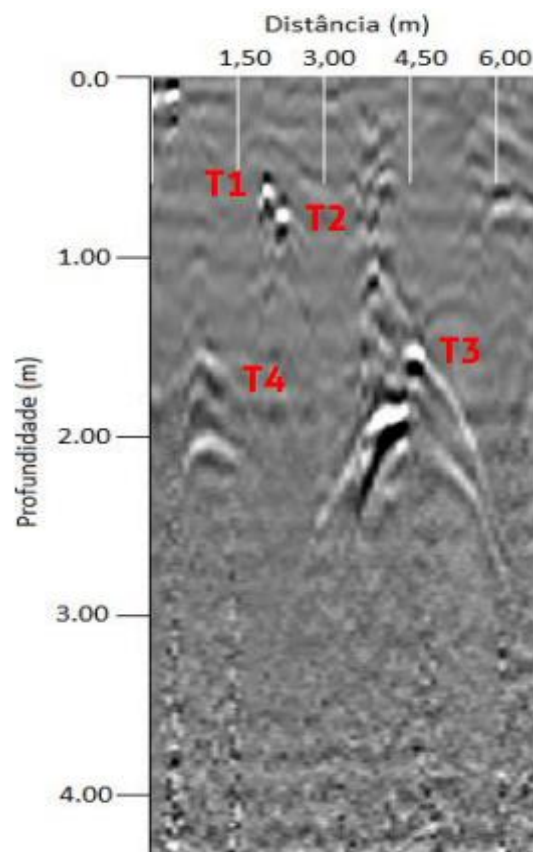
As figuras 45 e 46 ilustram o trecho 11-1 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 45 – Trecho 11-1 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 46 – Radargrama para o trecho 11-1 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Analisando o 2º radargrama do Trecho 11, é possível indicar tubulações nas posições de 5,00m a 10,00m, com pouco menos de 0,50m de profundidade, como é o caso de T1 e T2.

Na posição 5,50m com cerca de $\cong 0,80\text{m}$ de profundidade temos mais uma tubulação (T3), bem como na posição de 7,50m com cerca de 1,20m de profundidade (T4).

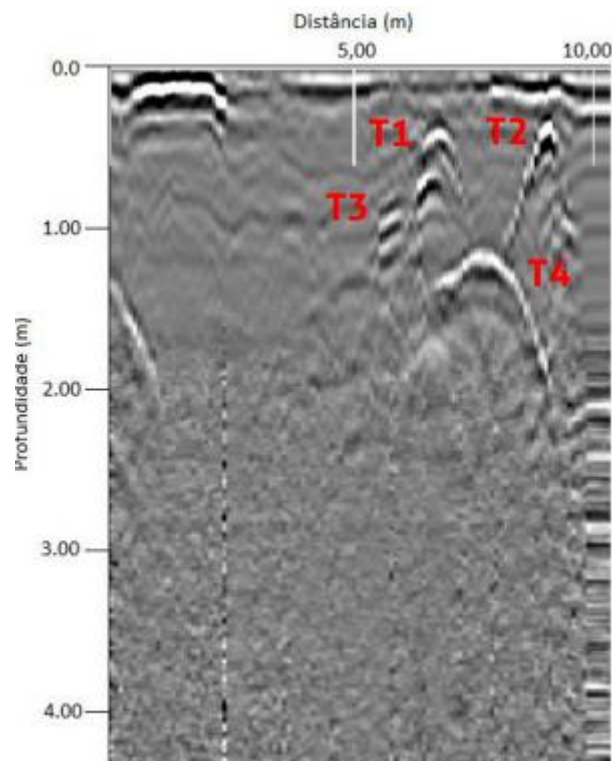
As figuras 47 e 48 ilustram o trecho 11-2 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 47 – Trechos 11-2 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 48 – Radargrama para o trecho 11-2 do levantamento por GPR



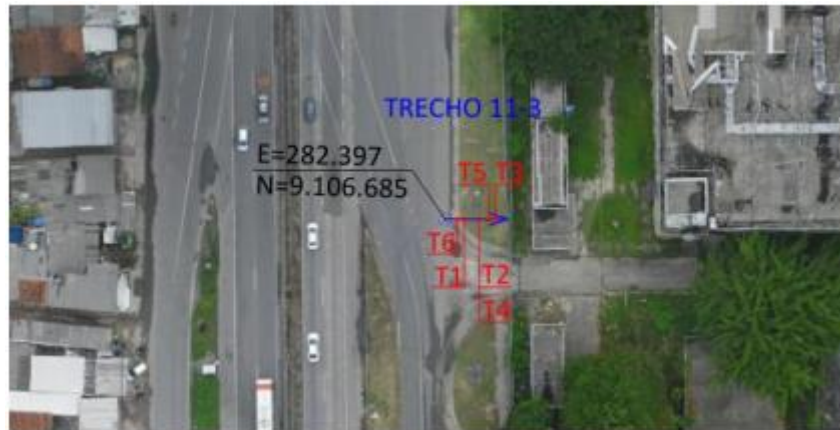
Fonte: Compesa (2022)

Considerando o radargrama do trecho 11-3, as tubulações estão presentes nas posições de 0,00m a 5,00m com profundidades de $\cong 0,60\text{m}$ (T1) e $\cong 2,20\text{m}$ (T6), bem como nas

posições de 5,00m a 10,00m com profundidades de $\cong 1,00\text{m}$ (T2), $\cong 1,20\text{m}$ (T4 e T3) e cerca de 1,40m (T5).

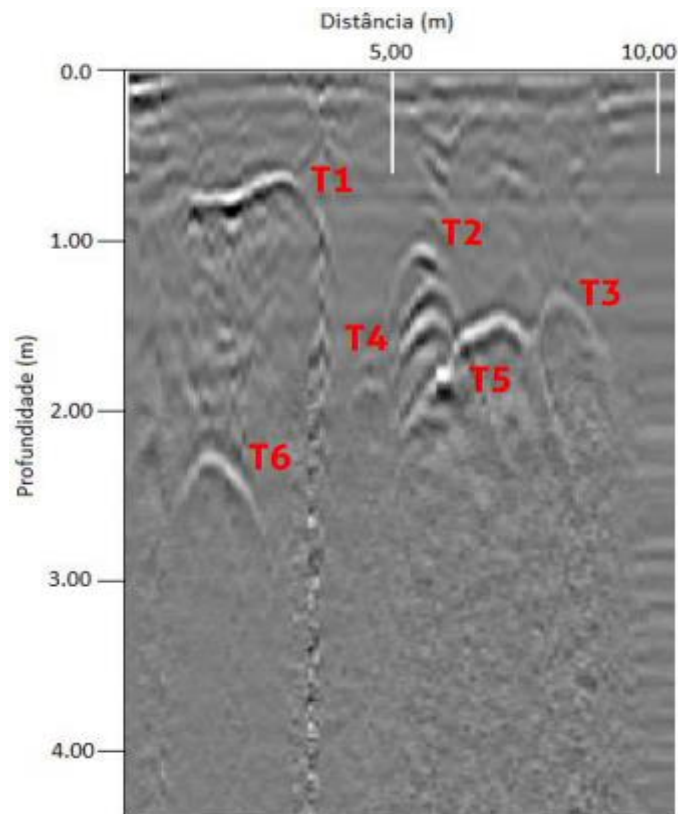
As figuras 49 e 50 ilustram o trecho 11-3 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 49 – Trecho 11-3 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 50 – Radargrama para o trecho 11-3 do levantamento por GPR



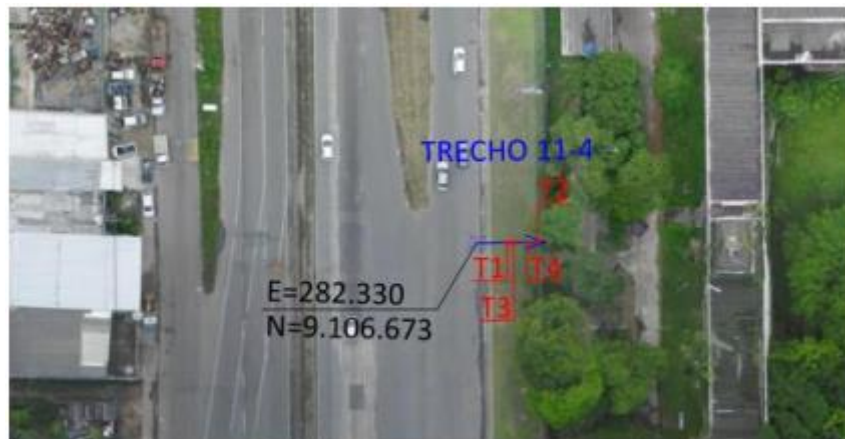
Fonte: Compesa (2022)

O radargrama do trecho 11-4 indica tubulações por todos os 10 metros de perfil. Na posição de 4,00m a 5,00m com $\cong 0,80\text{m}$ de profundidade foi apresentado uma provável

sequência vertical de tubulações que vai até a profundidade de $\cong 2,20\text{m}$ (T1) e nas posições entre 5,00m e 10,00m observa-se três tubulações com profundidades de $\cong 0,80\text{m}$ (T2), $\cong 1,50\text{m}$ (T3) e $\cong 1,60\text{m}$ (T4).

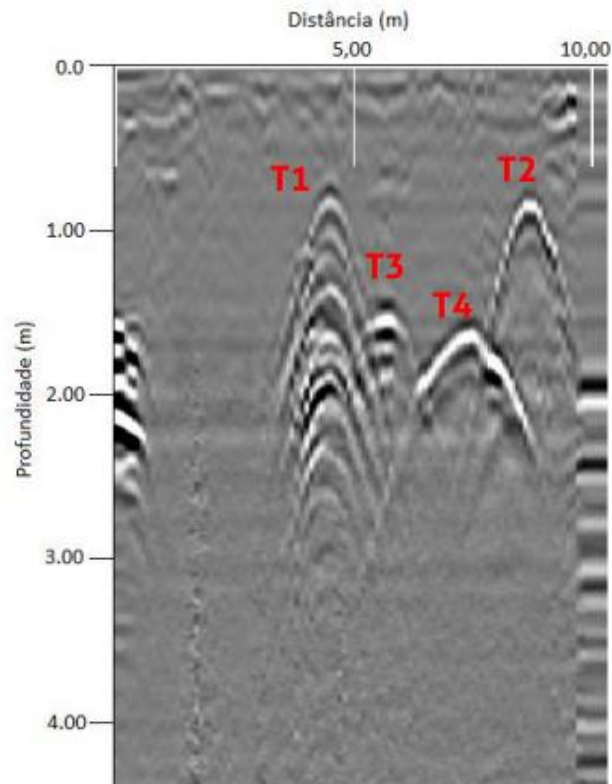
As figuras 51 e 52 ilustram o trecho 11-4 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 51 – Trecho 11-4 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 52 – Radargrama para o trecho 11-4 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Com relação ao radargrama da seção 11-5: na distância de 5,00m com $\cong 0,80$ m de profundidade temos o que parece ser uma sequência de tubulações que vai até $\cong 2,20$ m de profundidade (T1) e na posição 5,00m a 10,00m observa-se duas tubulações com profundidade de $\cong 1,80$ m (T2) e $\cong 2,20$ m (T3).

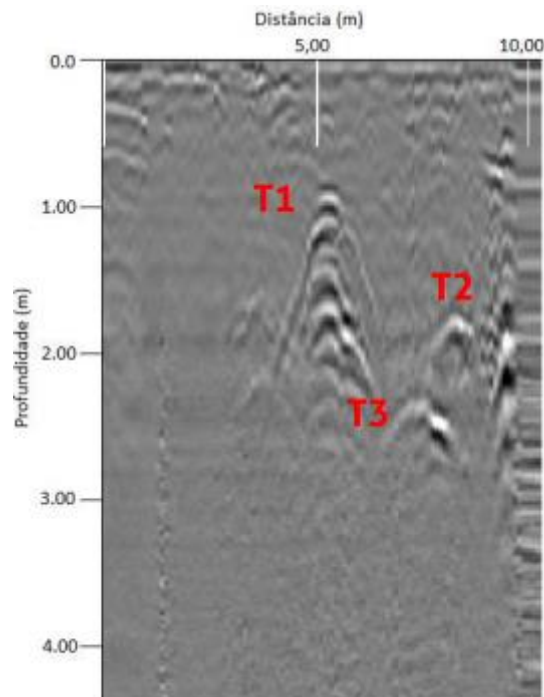
As figuras 53 e 54 ilustram o trecho 11-5 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 53 – Trecho 11-5 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 54 – Radargrama para o trecho 11-5 do levantamento por GPR

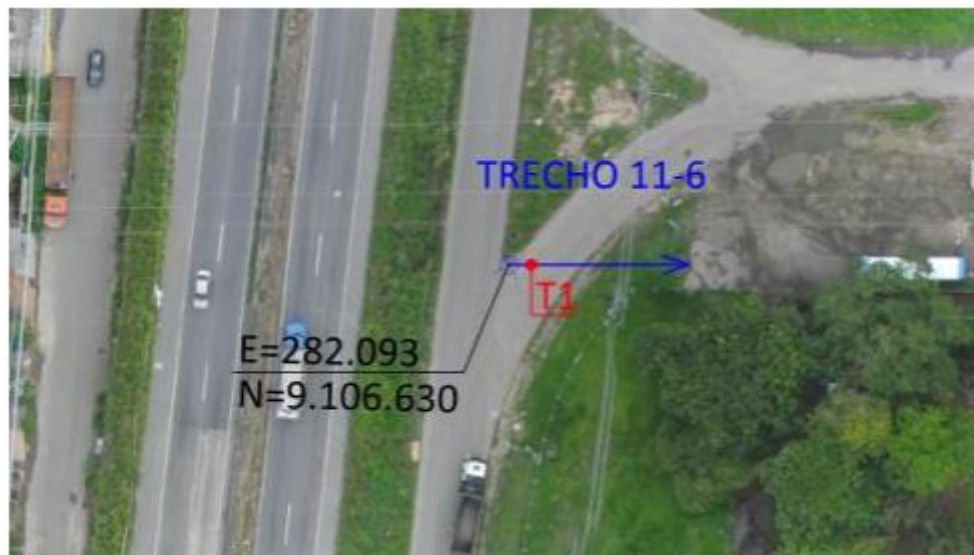


Fonte: Compesa (2022)

Pelo radargrama da última seção do trecho 11 (11-6) não foi possível identificar claramente feições hiperbólicas no perfil. Apenas uma hipérbole T1 pode ser indicada nesse perfil na posição 0,00m a 5,00m com $\cong 1,10\text{m}$ de profundidade.

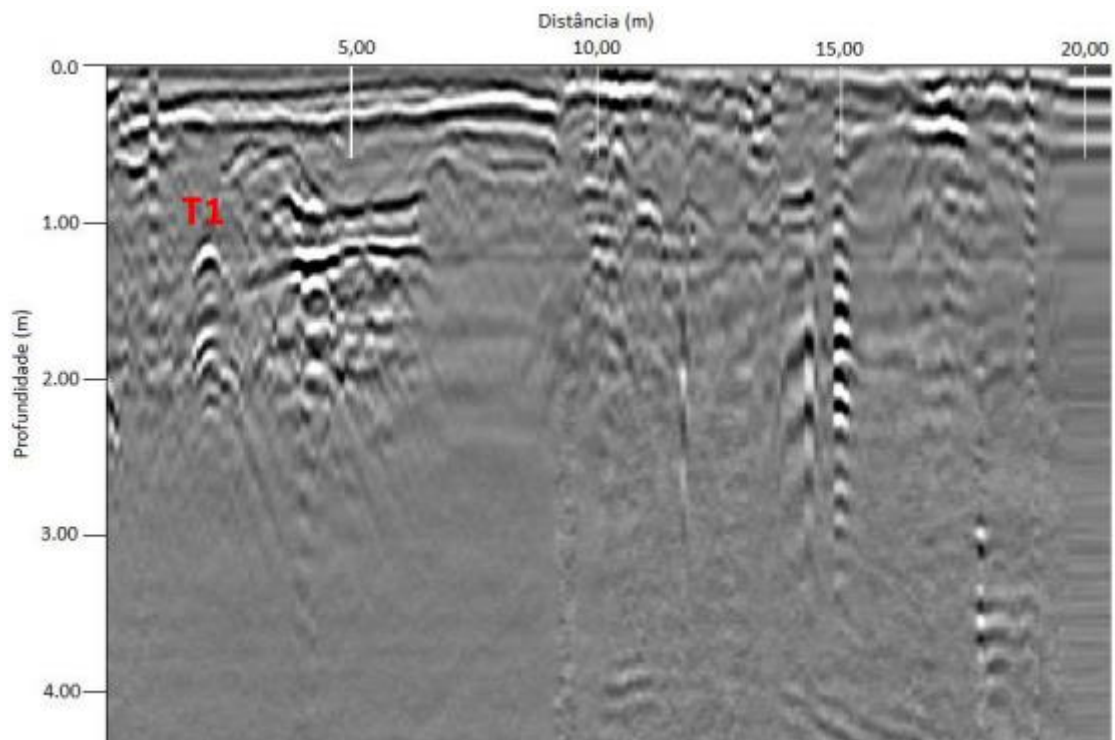
As figuras 55 e 56 ilustram o trecho 11-6 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 55 – Trecho 11-6 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 56 – Radargrama para o trecho 11-6 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Através do radargrama do trecho 12 é foram identificadas feições hiperbólicas concentradas entre 18,00m e 20,00m com as profundidades de: $\cong 1,30\text{m}$ (T1), $\cong 1,80\text{m}$ (T2), $\cong 2,20\text{m}$ (T3) e $\cong 3,00\text{m}$ (T4).

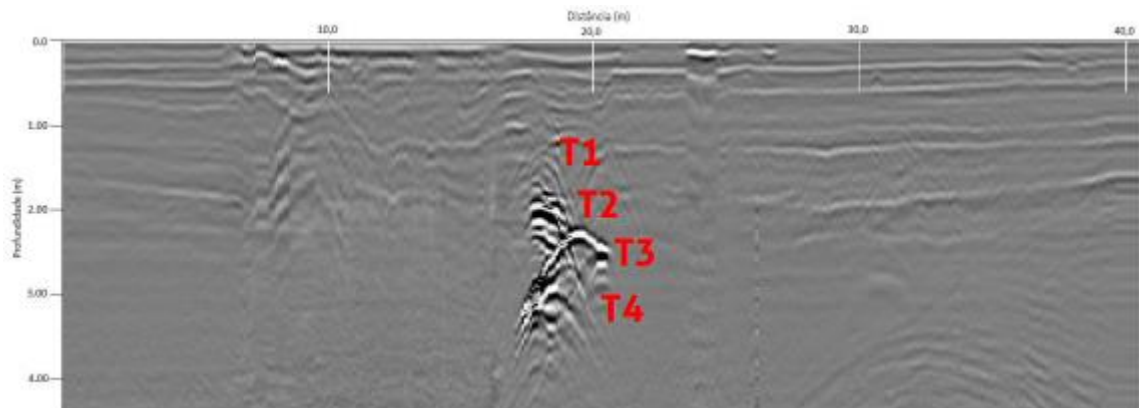
As figuras 57 e 58 ilustram o trecho 12 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 57 – Trecho 12 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 58 – Radargrama para o trecho 12 do levantamento por GPR

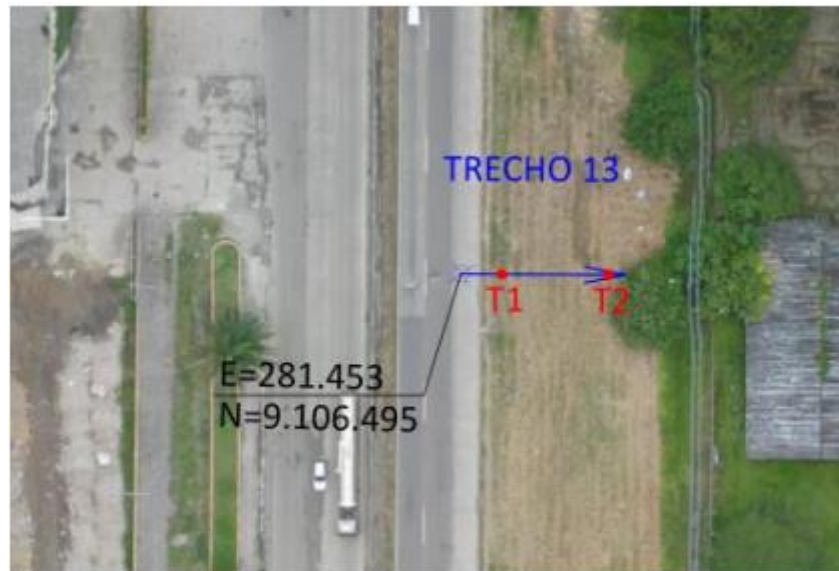


Fonte: Compesa (2022)

Posteriormente, analisando o radargrama do penúltimo trecho (seção 13) não foi possível identificar perfeitamente as tubulações no perfil. Ainda assim, é possível observar o que seriam feições hiperbólicas referentes a algumas tubulações em dois pontos: posições de 0,00m a 10,0m com $\cong 3,20\text{m}$ de profundidade (T1) e posição 20,00m com $\cong 2,00\text{m}$ de profundidade (T2).

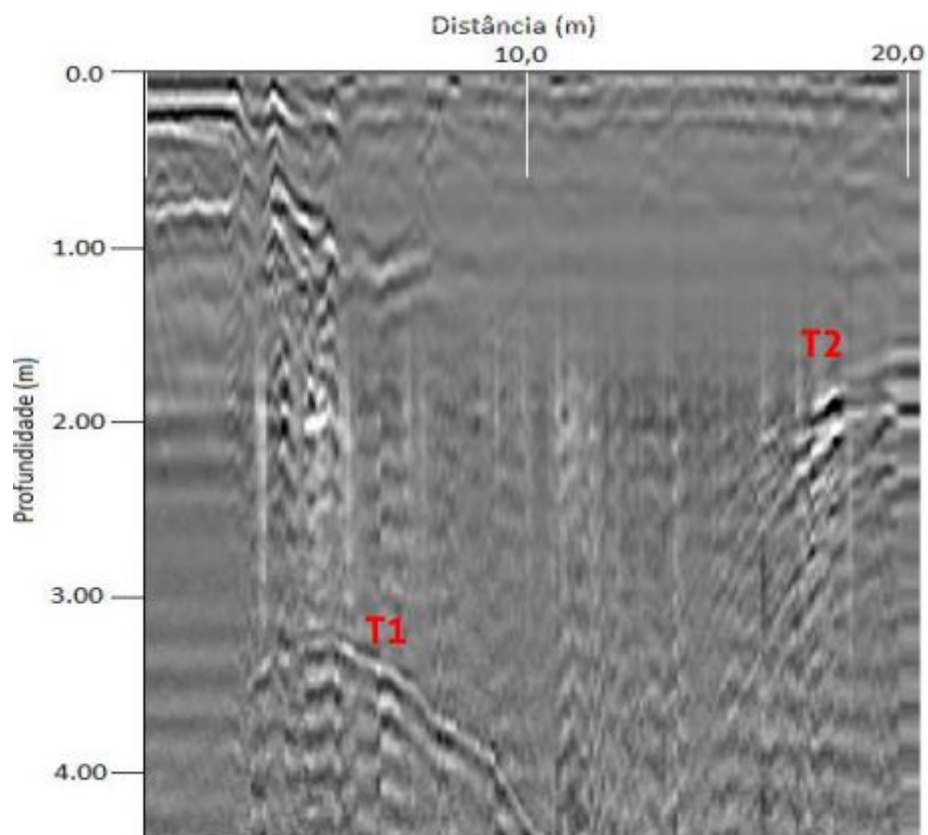
As figuras 56 e 60 ilustram o trecho 13 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 59 – Trecho 13 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 60 – Radargrama para o trecho 13 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Analisando o radargrama do trecho 14, foram identificadas feições hiperbólicas nas posições de 0,00m a 3,00m com $\cong 1,50$ m de profundidade (T1) e na distância de 18,00m com profundidade de $\cong 1,50$ m.

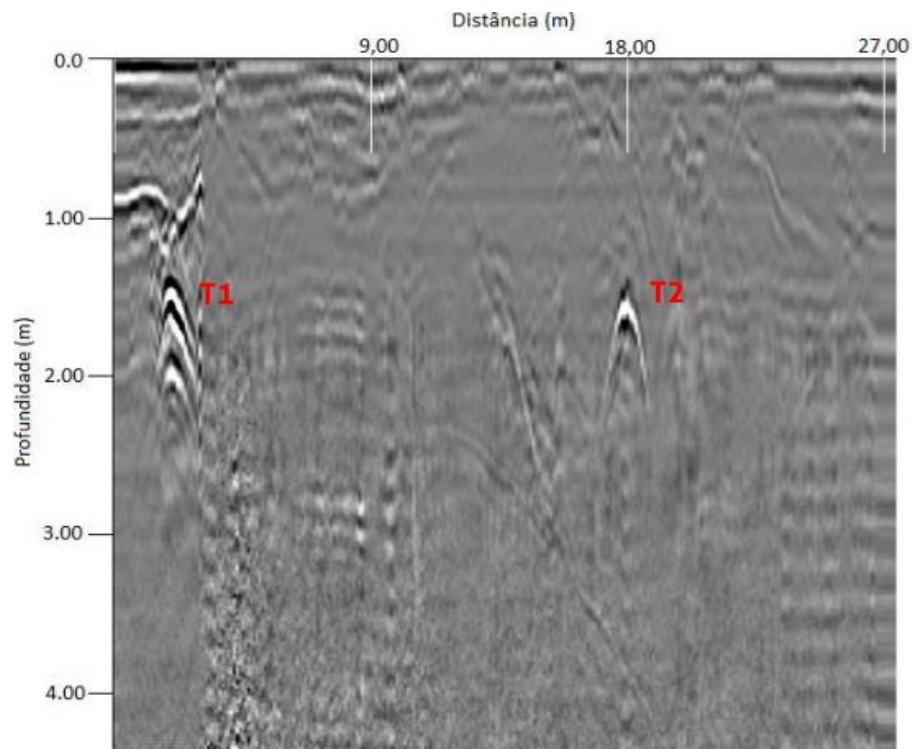
As figuras 61 e 62 ilustram o trecho 14 com os pontos identificados e seu respectivo radargrama.

Figura 61 – Trecho 14 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

Figura 62 – Radargrama para o trecho 14 do levantamento por GPR



Fonte: Compesa (2022)

A tabela 4 resume os trechos de levantamento por *GPR* e quantidade de pontos que foram identificadas as tubulações em cada um deles.

Tabela 4 – Resumo do levantamento por *GPR*

Trechos <i>GPR</i>	Pontos Identificados	Profundidade (m)
Trecho 01	T1	0,50
	T2	0,30
Trecho 02	T1	0,30
Trecho 03	T3	0,50
Trecho 04	T1	1,00
	T2	1,80
Trecho 05	T1	0,80
	T2	1,40
	T3	1,50
	T4	3,20
	T5	1,00
Trecho 06	T1	0,80
	T2	1,50
	T3	2,20
	T4	0,80
	T5	0,90
Trecho 07	Não Identificado	-
Trecho 08-1	T1	1,00
	T2	1,00
Trecho 08-2	T1	0,80
	T2	1,00
Trecho 09	T1	1,40
	T2	1,20
	T3	1,60
	T4	1,80
	T5	2,20
Trecho 10-1	T1	0,80
	T2	0,60

	T3	0,40
	T4	0,40
	T5	1,00
	T6	1,20
	T7	1,00
	T8	2,00
Trecho 10-2	T1	1,00
Trecho 11-1	T1	0,50
	T2	0,50
	T3	1,50
	T4	1,50
Trecho 11-2	T1	0,30
	T2	0,30
	T3	0,80
	T4	1,20
Trecho 11-3	T1	0,60
	T2	1,00
	T3	1,20
	T4	1,20
	T5	1,40
	T6	2,20
Trecho 11-4	T1	0,80
	T2	0,80
	T3	1,50
	T4	1,60
Trecho 11-5	T1	0,80
	T2	1,80
	T3	2,20
Trecho 11-6	T1	1,10
Trecho 12	T1	1,30
	T2	1,80
	T3	2,20
	T4	3,00

Trecho 13	T1	3,20
	T2	2,00
Trecho 14	T1	1,50
	T2	1,50

Fonte: O autor (2022)

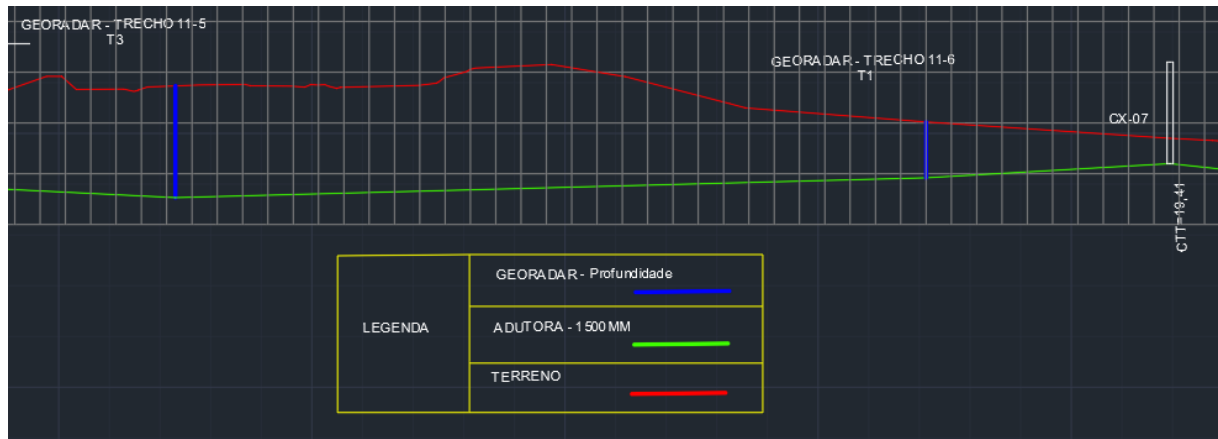
Por fim, após o término dos levantamentos topográfico da área e de posse das informações planialtimétricas cadastrais do trecho mapeado foram elaborados planta e perfil indicando cota do terreno, profundidade da tubulação, pontos identificados pelo *GPR* e caixas, que será utilizada para análise do impacto da triplicação da BR-232 sobre a rede que compõe SAA da área e possível projeto de remanejamento. As figuras 63a, 63b e 64 ilustram, como exemplos, alguns trechos de georadar em planta e um dos trechos do perfil; os traçados e perfis (com exagero vertical) completos encontram-se no apêndice A e anexo A, respectivamente.

Figuras 63a e 63b – Trechos de *GPR* em planta com traçado das tubulações identificadas



Fonte: Compesa (2022)

Figura 64 – Perfil compreendido entre os trechos 11-5 e a caixa-07



Fonte: Compesa (2022)

Como pode ser visto na figura 64, em algumas áreas também foram coletadas as profundidades das tubulações através de medições por GNSS em caixas de válvulas, ventosas e descargas (CX 07 na figura 61), a fim de complementar as informações do GPR ao longo de todo o trecho das adutoras.

Finalizado todas as etapas, os dados inseridos no BDG irão servir para que possam ser consultadas as informações do que foi projetado para determinado sistema de abastecimento de água, como diâmetro nominal, material, vazão, tipo de água, tipo de adução e demais características pertinentes ao sistema em questão.

Além disso, as informações sobre os projetos possibilitam o monitoramento das alterações realizadas com o passar do tempo, em toda a rede de abastecimento de água, uma vez que será possível comparar os dados da camada de projetos com a camada de informações existentes (projetos executados). Essa análise é bastante pertinente, pois as redes podem sofrer alterações entre o que foi projetado e o que realmente foi executado, como também pode haver modificações em suas características devido a diversas intervenções/reparos ocorridos ao longo dos anos. Através da comparação entre o que foi planejado e o que está atualmente executado, poderão ser identificados motivos para falhas no sistema.

Com relação a etapa do mapeamento 3D, os dados obtidos são fundamentais para a avaliação da necessidade de intervenção na rede e posterior elaboração do projeto, visto que as duas etapas dependem diretamente da localização e profundidade das tubulações.

É evidente a necessidade da verificação do impacto do projeto da triplicação na rede de água da COMPESA e verificação do cadastro das tubulações, considerando a importância do sistema Tapacurá, presente no local, que é responsável por aproximadamente 36% do volume de água distribuído na Região Metropolitana do Recife – RMR, abrangendo os municípios de Recife, São Lourenço da Mata, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes

(COMPESA, 2016) e que se pretende executar o projeto da BR-232 sem causar danos a essa rede, o que poderia ocasionar em desperdício de água e interrupção do abastecimento de grande parte da população.

Posteriormente, os dados obtidos no mapeamento por *GPR* irão integrar o cadastro técnico da COMPESA consistindo na implementação de características tridimensionais inerentes a rede de abastecimento de água, tornando o cadastro da companhia cada vez mais completo.

6 CONCLUSÕES

A pesquisa buscou avaliar a aplicação dos princípios do cadastro *Fit-For-Purpose*, ou adequado à finalidade, ao aprimoramento do cadastro técnico de uma companhia de saneamento, além de investigar a viabilidade e necessidade de inclusão de dados referentes às redes subterrâneas, caracterizando um prenúncio de um cadastro 3D. Essa investigação foi considerada relevante, considerando estudos anteriores, em âmbito internacional, que indicam metodologias a serem aplicadas em tais casos, e pesquisas realizadas em âmbito nacional, mostrando a necessidade do aperfeiçoamento dos cadastros técnicos de concessionárias.

Através da pesquisa foi possível compreender os conceitos da abordagem *Fit-For-Purpose*, onde a aplicação dos princípios para o *Fit-For-Purpose* foi realizada no cadastro do SAA (Sistema de Abastecimento de Água) da COMPESA, demonstrando sua viabilidade no aprimoramento do cadastro de redes de infraestruturas e consistiu na integração de dados cadastrais com características 2D, referentes a projetos, no sistema de informações geográficas da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. Esses projetos passaram a compor o banco de dados geográficos da COMPESA, e estão disponíveis aos colaboradores da companhia através do GISCOMP.

Apesar do GISCOMP ser um ambiente do tipo *SIGWEB* fechado, acessado apenas por usuários da companhia, a metodologia utilizada nessa pesquisa aplica-se a qualquer SIG aberto ao usuário.

Após o conhecimento da estruturação do sistema, obtida com a primeira parte da pesquisa, também foi apresentada uma metodologia para obtenção de um componente tridimensional do cadastro utilizando o *GPR*, com o objetivo de obter profundidades de tubulações subterrâneas (rede de água).

Com isso, foi demonstrada a necessidade e a viabilidade de se utilizar dados tridimensionais no cadastro técnico, constituindo informação de grande importância para a completa caracterização do objeto cadastral, seja acima ou abaixo do solo, bem como para que sejam tomadas as devidas ações posteriores.

Porém, notou-se que o levantamento via *GPR* também possui algumas limitações pedológicas, geológicas e topográficas, devendo-se considerar as propriedades eletromagnéticas do solo e minerais, bem como as características do relevo para se realizar o deslocamento do equipamento sobre o terreno. Esses fatores podem inviabilizar a execução do levantamento, como também impossibilitar a identificação clara dos objetos mapeados.

Além disso, constatou-se outra limitação do georadar, visto que por ser uma ferramenta onde necessita-se do contato com o objeto a ser mapeado, pode ser necessário realizar intervenções no tráfego da rodovia, para que seja possível transitar com o GPR sobre a seção de mapeamento pré-determinada. Para aplicações em redes de infraestruturas subterrâneas, isso deverá frequentemente ocorrer, pois essas redes sempre são implantadas utilizando as faixas de domínios das rodovias.

Entretanto, ao comparar a quantidade de trechos que foram identificadas as interferências subterrâneas, com as que não foi possível realizar o devido mapeamento, conclui-se que a influência da sua limitação no estudo realizado nessa pesquisa, pode ser considerada como baixa (<5% ou 1 em 21 trechos), de forma que não prejudicou os resultados.

Ainda assim, para contornar essas ocorrências indesejáveis, pode-se realizar testes com novos levantamentos em locais próximos ao trecho no qual não foi possível a identificação das interferências subterrâneas, a fim de se realizar o mapeamento num solo com estado e/ou características um pouco diferentes.

Os resultados demonstraram que, apesar das limitações encontradas no levantamento com GPR onde ocorreram trechos em que não foi possível identificar as tubulações, para a aplicação analisada e para a área de estudo testada, a utilização do georadar na obtenção de dados de profundidade de dutos foi considerada satisfatória e atendeu às necessidades.

Apesar da pesquisa possuir uma área de estudo diferente para a aplicação da metodologia de levantamento cadastral 3D em relação à primeira etapa do trabalho, a mesma pode ser aplicada para qualquer localidade e sistema semelhante.

Dessa forma, conclui-se que a pesquisa atendeu aos objetivos propostos, utilizando dados de diferentes fontes (dados de projetos), realizando uma abordagem de cadastro 3D para sistema de abastecimento de água e aprimoramento do cadastro técnico da COMPESA.

7 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Diante das dificuldades encontradas em se identificar quais das tubulações representadas no radargrama são as de interesse do mapeamento, seria interessante a realização de pesquisas visando desenvolver outras metodologias para a solução desse problema.

Também pode ser associado, de forma complementar ao mapeamento por *GPR*, o detector de massa metálica (*pipe locator*), facilitando a indicação de onde se localizam as redes.

Com relação às atividades desenvolvidas envolvendo a implementação do banco de dados de projetos, estas foram muito bem avaliadas dentro da gerência, de forma que surgiram outras ideias.

Uma das sugestões seria adicionar uma camada no GISCOMP referente a estudos de concepção, onde essa camada iria corresponder a uma etapa anterior a fase de desenvolvimento do projeto. Essa necessidade surgiu devido a existência de um catálogo de estudos de concepção desenvolvidos a alguns anos, o qual reúne informações sobre projetos que estão sendo executados atualmente e outros que ainda serão implementados.

Esse dado encontra-se atualmente em meio físico (papel impresso) e de certa forma, seria bastante pertinente passar a utilizar as informações desse catálogo de estudos de concepção, como definição de um traçado prévio, cálculos de vazão, entre outras coisas, em vez de se recriar/reprojetar essas informações nos estudos futuros de projetos. A utilização dessa informação em larga escala deve-se passar pela implementação dos dados em um SIG, devido às diversas vantagens citadas na presente pesquisa.

Outra questão que merece ser desenvolvida é a integração do cadastro técnico aos cadastros imobiliários ou multifinalitários, onde estão identificados os direitos, restrições e responsabilidades que incidem sobre cada unidade territorial. A integração com cadastros rurais, por exemplo, indicaria a localização de assentamentos, áreas quilombolas ou indígenas, evitando-se a inclusão de projetos nessas áreas, nas quais os processos de desapropriação são mais complexos.

REFERÊNCIAS

- ABIDOYE, A. I; OLUWADARE, C. O; BABALOLA, S. O. Suggested framework for integrating elevation data into existing planimetric cadastre system in Nigeria. **Journal of Geomatics and Environmental Research**, Vol. 2, No. 1, December 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/339336263_SUGGESTED_FRAMEWORK_FOR_INTEGRATING_ELEVATION_DATA_INTO_EXISTING_PLANIMETRIC_CADASTRE_SYSTEM_IN_NIGERIA>. Acesso em: 02/05/2021.
- AGUIAR, J. C. M. **Radar de penetração no solo (GPR): Aspectos geofísicos e geodésicos, processamento e análise em pavimento flexível**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/3360/1/arquivo4915_1.pdf>. Acesso em: 27/09/2021.
- BACHIRI, T. et al. (2022) Ground Penetrating Radar Data Acquisition to Detect Imbalances and Underground Pipes. In: BENNANI, S; LAKHRISSE, Y; KHAISSIDI, G; MANSOURI, A; KHAMLIHI, Y. (eds) WITS 2020. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 745. **Springer**, Singapore. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-981-33-6893-4_92>. Acesso em: 23/09/2021.
- BALAS, M. et al. **A Fit-For-Purpose land cadastre in Mozambique**. World bank conference on land and poverty. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/316595965_A_Fit-For-Purpose_Land_Cadastre_in_Mozambique>. Acesso em: 02/05/2021.
- CARNEIRO, A. F. T; ERBA, D. A; AUGUSTO, E. A. A. Cadastro multifinalitário 3D: conceitos e perspectivas de implantação no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**. N0 64/2: 257-271. (2012).
- COMPESA. Companhia Pernambucana de Saneamento. **Consulta Pública de Resultados por Manancial**. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos – Seinfra. Governo de Pernambuco. 2016. Disponível em: <<https://servicos.compesa.com.br/abastecimento-de-agua/>>. Acesso em: 11/04/2022.
- COMPESA. **Companhia Pernambucana de Saneamento**. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos – Seinfra. Governo de Pernambuco. 2021.
- COMPESA. Companhia Pernambucana de Saneamento. **GTC-ITR-006-01: Procedimentos para cadastro de sistema de abastecimento de água em sistema de informação geográfica** (instrução de trabalho). Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos – Seinfra. Governo de Pernambuco. 2021.
- COSTA, T. S. P. S. **Modelagem de cadastro 3D de edifícios com base na ISO 19.152 (LADM)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/25079/1/DISSERTA%20Talita%20Stael%20Pimenta%20da%20Silva%20Costa.pdf>>. Acesso em: 27/09/2021.

DÖNER, F. Analysis of literature on 3D cadastre. **International Journal of Engineering and Geosciences** – 2021; 6(2); 90-97. Disponível em: <<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1214823>>. Acesso em 23/09/2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **ZAPE – Mapa de reconhecimento de baixa e média intensidade de solos do estado de Pernambuco**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Governo Federal. 2018. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Asolo_pernambuco_wgs84>. Acesso em: 04/03/2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Governo Federal. 5ª ed. Brasília. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 04/03/2022.

ENEMARK, S; MCLAREN, R; LEMMEN, C. Fit-For-Purpose land administration guiding principles. **GLTN reference**. 2016.

FERREIRA, B; FARIAS, J. L. P; OLIVEIRA, F. H. **O estado da arte do cadastro 3D no Brasil e no mundo**. 13º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial. Anais do COBRAC. Florianópolis – SC. 2018. Disponível em: <<https://ocs.cobrac.ufsc.br/index.php/cobrac/cobrac2018/paper/view/619/164>>. Acesso em: 23/09/2021.

GARCIA, F. **Aplicaciones de la técnica geofísica de prospección por geo-radar, englaciología e ingeniería civil**. Tese de doutorado. Universidad Politécnica de Cataluña. Espanha. 1997.

GEOTECH. **Everything about: Georadar (Ground penetrating radar)**. Site. Disponível em: <<https://www.geotech.hr/en/georadar-geotech/>>. Acesso em: 09/04/2022.

GRUBER, U; RIECKEN, J; SEIFERT, M. Germany on the Way to 3D-Cadastre. In: **Proc. FIG Congress**. 2014. p. 1-11.

HAJJI, R. et al. Development of an Integrated BIM-3D GIS Approach for 3D Cadastre in Morocco. **ISPRS Int. J. Geo-Inf.** 2021, 10, 351. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2220-9964/10/5/351>>. Acesso em: 14/02/2022.

ICSM. **Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (Comitê Intergovernamental de Levantamento e Mapeamento da Austrália)**. 2015.

KITSAKIS, D. et al. **3D Real Property Legal Concepts and Cadastre: A Comparative Study of Selected Countries to Propose a Way Forward**. In: 5th International FIG Workshop on 3D Cadastres, 18-20 October 2016, Athens, Greece. 2016. p. 1-24.

LEMMEN, C. et al. A new era in land administration emerges. **GIM Internacional**. 2015. Disponível em: <<https://www.gim-international.com/content/article/a-new-era-in-land-administration-emerges>>. Acesso em: 02/05/2021.

MASSARELLI, C; CAMPANALE, C; URICCHIO, V. F. Ground Penetrating Radar as a Functional Tool to Outline the Presence of Buried Waste: A Case Study in South Italy.

Sustainability, 2021, 13(7), 3805. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su13073805>>. Acesso em: 23/09/2021.

MASTELLA, A. F. M; FERREIRA, B; OLIVEIRA, F. H. **Potencial integração entre as bases de dados da Casan e Celesc utilizando BIM, face ao cadastro 3D, CIM, INDE e políticas de transparência**. 13º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial. Anais do COBRAC. Florianópolis – SC. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Andre-Fabiano-Mastella/publication/334114334_Potential_integration_between_CASAN_and_CEELESC_databases_using_BIM_supported_by_3D_cadastro_CIM_INDE_and_transparency_policies_theories/links/5d17afb3299bf1547c892912/Potential-integration-between-CASAN-and-CELESC-databases-using-BIM-supported-by-3D-cadastro-CIM-INDE-and-transparency-policies-theories.pdf>. Acesso em: 23/09/2021.

NEBIKER, S; BLEISCH, S; CHRISTEN, M. “Rich point clouds in virtual globes – A new paradigm in city modeling?”. **Computers, Environment and Urban Systems**. Elsevier. ISSN: 0198- 9715. 2010.

PANCHINIAK, T. **Discussão sobre modelos conceituais relacionados ao cadastro territorial: estudo de caso de Joinville**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial). Florianópolis – SC. 2017.

PRIYANKA, A. et al. Review of Applications of Ground Penetrating Radar as NDT Tool. **ASEAN Journal of Science and Engineering**. p, 155-118. 2021. Disponível em: <<https://ejournal.upi.edu/index.php/AJSE/article/view/37975>>. Acesso em: 12/10/2021.

QGIS. **Versão 3.10, A Coruña**. 2021. Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site/>. Acesso em: 22/02/2022.

RAHMATIZADEH, S. et al. A framework for selecting a fit-for-purpose data collection method in land administration. **Land Use Policy**, 70. p. 162–171. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.034>>. Acesso em: 02/05/2021.

SANTOS, R. V. **Aplicação do método GPR (Ground Penetrating Radar) no estudo de vazios em rochas carbonáticas**. Monografia (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2019.

ŠARLAH, N. et al. Application of Kinematic GPR TPS Model with High 3D Georeference Accuracy for Underground Utility Infrastructure Mapping: A Case Study from Urban Sites in Celje, Slovenia. **Remote Sens**. 2020, 12, 1228; doi:10.3390/rs12081228.

SENTHIL, P. et al. Applications of Ground Penetrating Radar — A Comprehensive Case Study. In: MEHTA, Y. A; CARNACINA, I; KUMAR, D. N; RAO, K. R; KUMARI, M. (eds) **Advances in Water Resources and Transportation Engineering**. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 149. **Springer**, Singapore. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-1303-6_3>. Acesso em: 23/09/2021.

SILVA, W. O. **Proposta de um modelo de cadastro de redes de abastecimento d’água, de acordo com a ISO/FDIS 19.152**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2017. Disponível em:

<<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/29669/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Wedja%20de%20Oliveira%20Silva.pdf>>. Acesso em: 27/09/2021.

SOUZA, G. H. B. **Método de modelagem da parcela espacial para o cadastro tridimensional**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas. Universidade Estadual Paulista – Unesp. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas). Presidente Prudente. 2011.

STOTER, J; OOSTEROM, P.V. 3D Cadastre in an International Context: legal, organizational and technological aspects. New York, EUA: CRC **Taylor & Francis**. 2006.

VUČIĆ, N. et al. Initial 3D cadastre registration by cadastral resurvey in the Republic of Croatia. **Land Use Policy**. v. 98, November 2020, 104335. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104335>>. Acesso em: 23/09/2021.

ZEIN, T. **Fit-for-purpose land administration: an implementation model for cadastre and land administration systems**. World bank conference on land and poverty. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/316876771_FIT-FOR-PURPOSE_LAND_ADMINISTRATION_AN_IMPLEMENTATION_MODEL_FOR_CADASTRE_AND_LAND_ADMINISTRATION_SYSTEMS>. Acesso em: 02/05/2021.

ŽIŪRIENĖ, R. et al. Development of 3D city model applying cadastral information. **Geodesy and Cartography**. 2006. Vol XXXII. No 2 51 – 56.

APÊNDICE A – MAPA DAS ADUTORAS AO LONGO DA BR-232



ANEXO A – PERFIS LONGITUDINAIS DAS ADUTORAS AO LONGO DA BR-232