

PROPOSTA DE MODELAGEM 3D DE DADOS DE SUBSUPERFÍCIE URBANA, COM O USO DE RADAR DE PENETRAÇÃO DO SOLO (GPR) E TÉCNICAS DE GEOTECNOLOGIAS

Proposal for 3D Modeling of Urban Subsurface Data with the use Ground Penetration Radar (GPR) and Geotechnology Techniques

Laion Werner Toralles

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Escola Politécnica – Engenharia Civil

São Leopoldo – Rio Grande do Sul

laion_lwt@hotmail.com

Reginaldo Macedônio da Silva

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Professor Doutor dos cursos de Eng. Cartográfica e de Agrimensura, Eng. Civil e Arquitetura

São Leopoldo – Rio Grande do Sul

macedonios@unisinobr

Resumo:

A obtenção de dados de subsuperfície é de suma importância para qualquer empresa pública ou privada, pois isso auxilia na tomada de decisão, quando se está definindo a posição, por onde irá passar uma tubulação, seja ela de gás, água, esgoto ou até mesmo um mineroduto. Para isso é necessário que esteja mapeado a subsuperfície, de onde estão passando outras tubulações. Sendo assim, este trabalho visa contribuir na implementação de um cadastro em três dimensões (3D) de infraestrutura urbana de subsuperfície. Tal proposta tem como objetivo viabilizar um cadastro 3D de subsuperfície, integrando diferentes técnicas de coleta e manipulação de dados. Entre essas técnicas utilizou-se equipamentos como estação total, GPS e radar de penetração do solo (GPR). Para a integração dos dados foi coletada a topografia local, posições de tubulações de saneamento entre outros equipamentos de infraestrutura urbana, que possam contribuir para a modelagem 3D da subsuperfície. Para a manipulação dos dados utilizou-se os softwares SktechUp e AutoCad Map 3D. Como resultado final foi possível modelar em três dimensões os dados coletados em campo, onde o GPR auxiliou na identificação de informações de subsuperfície. Portanto, esse trabalho visa contribuir, tanto para a iniciativa privada, quanto para órgãos do poder público, na modelagem em três dimensões de dados de subsuperfície.

Palavras-chave: subsuperfície, cadastro 3D, GPR

The capture of subsurface data is the very important to many public and private companys, because it is a decision-making tool, when a position of plumbing is being defined, where a pipe will pass, whether it be gas, water, sewage or even a pipeline. Related to this, it is necessary to map the subsurface, where the tubulations are located. This work aims a contribute to the implementation of a three dimensional (3D) cadastre of urban subsurface infrastructure. The purpose is to enable a subsurface 3D cadastre, that integrates different data collection and manipulation techniques. The equipments used for data collect are total station, GPS and ground penetration radar (GPR). To integration of the topography local data, from pipeline positions and some infrastructure devices were collected to allow the 3D molding of subsurface. For data manipulation the softwares SktechUp and AutoCad Map 3D software were used. This research possibled to identify and manipulate the field data and assisted the identification of subsurface information. In this way, it aims to contribute to the private initiative and to the public administration, in the three-dimensional modeling of subsurface data.

Keywords: subsurface, 3D cadastre, GPR.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente o Brasil possui problemas com limites de propriedades e falta na organização dos cadastros urbanos. Segundo Erba *et al.* (2005), a legislação territorial do Império, apesar de ter concepção e objetivos claros de demarcação e registro das parcelas que compunham os patrimônios público e privado, não teve a eficiência desejada pelos administradores da época. O principal erro recaiu na falta de ligação entre os registros de títulos e os documentos cartográficos produzidos pelos profissionais.

Problemas ligados com delimitações de propriedade causam sérios problemas para quem possui um imóvel e frequentemente acarretam em problemas de cunho judicial, que na maioria dos casos causam algum tipo de prejuízo para ambas às partes envolvidas. Contudo problemas com divisas não são os únicos causados por cadastros precários, a infraestrutura municipal, o planejamento urbano e a política fiscal urbana são alguns outros exemplos de setores prejudicados.

Segundo Neal (2004), a superfície terrestre sempre foi mais importante para o ser humano do que a subsuperfície, pois é nela onde construímos a maioria das edificações e onde colhemos a maioria dos recursos que consumimos. Entretanto nos últimos séculos o entendimento do nosso subsolo tornou-se essencial para o desenvolvimento das sociedades.

Se quando falamos de cadastro de superfície já nos deparamos com inúmeros problemas, quando falamos de subsuperfície isso não é diferente. Segundo Bhering *et al.* (2010), cadastros ineficientes, errôneos ou até inexistentes da rede de esgoto e drenagem em municípios não são exceções, mas sim maioria. A falta de cadastros digitais do sistema hidrossanitário prejudica muito o planejamento para manutenção e ampliação da rede.

Diversos estudos buscam encontrar a melhor forma de cadastro urbano, que satisfaça as demandas públicas, da população e das companhias. Não existe um consenso sobre a melhor forma de cadastro, mas está cada vez mais evidente a necessidade do uso de novas tecnologias, como georreferenciamento, SIG e também o uso de softwares modernos tanto livres como pagos.

Segundo Bhering *et al.* (2010), as empresas públicas e privadas do setor de saneamento buscam melhorar os níveis de eficiência e ampliar a cobertura, mas a falta de um cadastro completo e confiável torna esse processo mais difícil e oneroso.

Devido a complexibilidade para se fazer um cadastro, durante muito tempo os limites das parcelas existentes eram levantados em duas dimensões, mas com os avanços de novas tecnologias, para os levantamentos cadastrais, tornou-se possível a inserção de dados espaciais em 3D (três dimensões). Segundo Paixão (2012), os dados espaciais em 3D possuem os valores verdadeiros de alturas e volume (X,Y,Z). Geralmente, nestes se representam os edifícios, parcelas subterrâneas, entre outros. Estes dados podem compor um cadastro urbano em 3D e ajudar a identificar espaços aéreos e subterrâneos.

Atualmente muitos municípios brasileiros estão implementando cadastros 3D de superfície por diversas razões, e também, tem-se escrito muitos trabalhos acadêmicos voltados para esse assunto devido a sua importância. Já o cadastro 3D de subsuperfície é um assunto onde se tem um déficit de informações, de trabalhos acadêmicos e de casos de aplicações. Porém, esse déficit

não se deve a não importância desse cadastro, pois o conhecimento da subsuperfície é tão necessário quanto da superfície.

Portanto, o trabalho tem como objetivo executar uma modelagem 3D de dados de subsuperfície, a partir do uso de radar de penetração do solo (GPR) apoiado em técnicas de geotecnologias, tendo como objeto de estudo tubulações enterradas dentro do Campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos).

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no Campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) na cidade de São Leopoldo, próximo ao prédio C02 e do estacionamento C1, conforme identificada na figura 1.

O Campus da Unisinos, em São Leopoldo, fica localizado aproximadamente 32 km da capital gaúcha Porto Alegre.

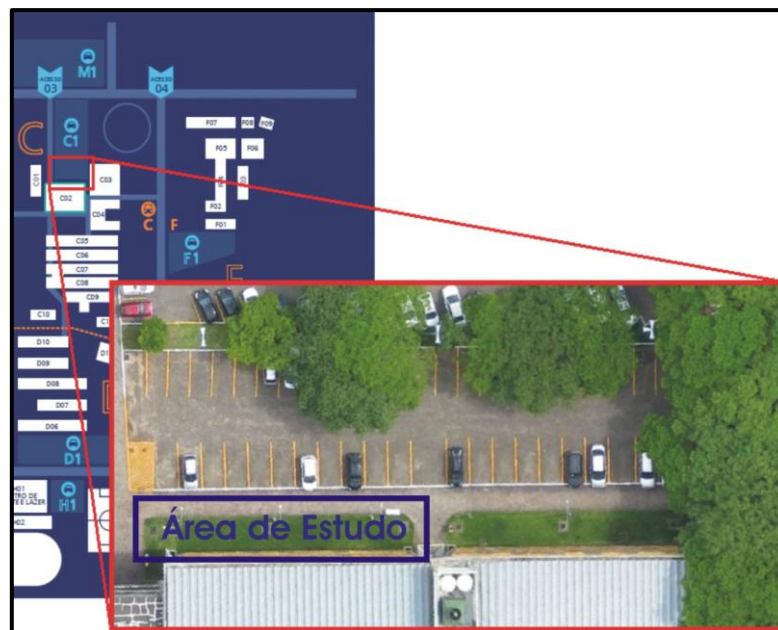


Figura 1 – Localização da área de estudo

Fonte: Autores

3. COLETA DOS DADOS

3.1. Levantamento Topográfico com GNSS/GPS e Estação Total

Para execução do levantamento planialtimétrico cadastral, em primeiro lugar foi necessário fazer o transporte de coordenadas de um marco geodésico (M02 - figura 2), para um ponto topográfico próximo da área de estudo. Este transporte de coordenadas foi executado utilizando-se equipamento GNSS/GPS-RTK Hiper Lite, sendo a correção diferencial executada via rádio

frequência em tempo real.

Durante a execução do transporte de coordenadas, para o ponto topográfico georreferenciado, utilizou-se como sistema geodésico de referência o Datum geocêntrico SIRGAS2000. As coordenadas geodésicas obtidas foram convertidas para o plano no sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) no fuso 22 sul.

No processo de transporte de coordenadas adotou-se como referência para altimetria (Z) a altitude elipsoidal.



Figura 2 – Transporte de coordenadas do marco M02 para um ponto próximo da área de estudo

Fonte: Autores

De posse das coordenadas do ponto topográfico, iniciou-se o levantamento planialtimétrico cadastral georreferenciado da área de estudo. Para isso, utilizou-se uma Estação Total da marca Leica TS02, executando-se a pontaria no ponto de ré no marco M02, para obtenção do azimute.

Durante o levantamento cadastral das informações (perímetro da área de estudo, postes de iluminação entre outros) foi necessário, em alguns locais da área estudo, colocar o bastão telescópico com o prisma, na parte inferior das caixas de drenagem pluvial (figura 3). Esse procedimento foi necessário para medição das tubulações enterradas, que posteriormente foram utilizados como pontos de controle para validação das seções geofísicas obtidas com GPR.



Figura 3 – Levantamento cadastral da tubulação com estação total

Fonte: Autores

3.2. Levantamento das Seções Geofísicas com GPR (radar de penetração do solo)

Para se fazer as leituras da subsuperfície utilizando o equipamento GPR, foi necessário primeiramente escolher qual a antena que melhor atendia as necessidades do levantamento. As antenas GPR são divididas quanto as suas especificações de frequência da onda, que segundo Porsani (2011), de acordo com a frequência a antena alcançará uma determinada profundidade. Quanto maior a frequência de uma antena, menor será a profundidade para coleta de dados e maior será a resolução teórica, e quanto menor a frequência maior a profundidade e menor a resolução teórica. A tabela 1 apresenta a relação entre a frequência de uma antena com a profundidade máxima de penetração e a resolução teórica.

Tabela 1 – Frequência, profundidade de penetração e resolução teórica

Frequência (MHz)	Profundidade Máxima de Penetração (m)	Resolução Teórica (m)
250	4	0,125 a 0,250
100	25	0,250 a 0,500
50	30	0,500 a 1

Fonte: Porsani (2011)

Além da frequência da antena, outra característica que a diferencia é, se ela é blindada ou não. Segundo Silva (2014), as antenas blindadas (*Shielded*), sofrem menos com interferências externas provocadas por objetos metálicos e necessitam um carrinho específico para serem utilizadas. As antenas blindadas têm seu uso dificultado em terrenos acidentado. Já as antenas não blindadas (*Snake*), sofrem mais interferências por objetos metálicos e necessitam uma mochila específica para o seu uso. Outra propriedade importante é a velocidade da onda, essa pode ser configurada diretamente no equipamento GPR. A escolha da velocidade da onda deve levar em conta o material onde se pretende passar o GPR.

Para a coleta de dados, foi utilizada a seguinte metodologia:

- **Antena utilizada:** foi feito uma análise prévia do local e constatado que as tubulações de interesse se encontravam em uma profundidade média de 3 metros. Sendo assim, a antena mais indicada para o uso, foi a de 250 MHz, por ter uma maior resolução teórica;
- **Definição dos alinhamentos para a passagem do aparelho:** essa escolha levou em consideração uma análise geral da área de estudo onde foram escolhidos 1 alinhamento de 30 metros paralelo a uma rede de drenagem existente (linha 1), 4 alinhamentos de 4 metros que cruzavam perpendicularmente a mesma rede de drenagem (linhas 2, 3, 4 e 5) e 1 alinhamento de 30 metros em que não se tem conhecimento da infraestrutura enterrada (linha 6), que podem ser observadas na figura 4;

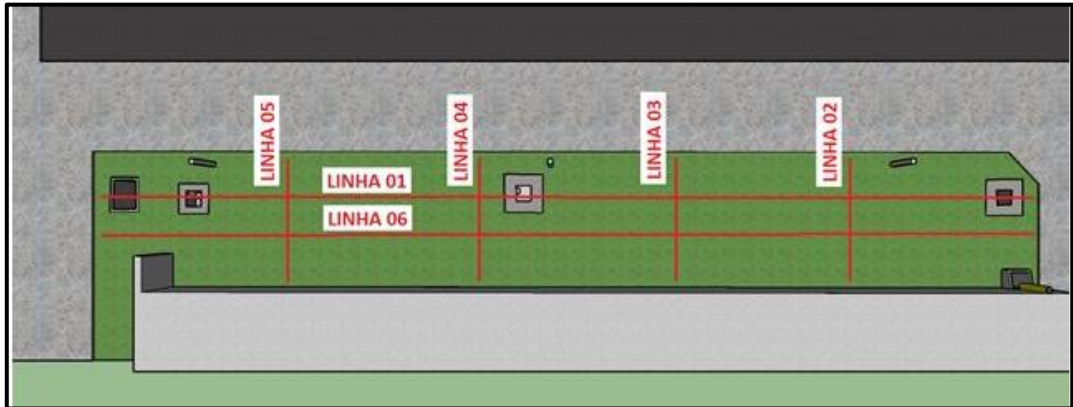


Figura 4 – Definição dos alinhamentos para passagem do equipamento GPR
Fonte: Autores

- **Materialização dos alinhamentos:** foram cravadas estacas de madeira no solo para delimitar os alinhamentos de passagem do equipamento GPR. As posições dessas estacas foram coletadas posteriormente com uma Estação Total para auxiliar na modelagem 3D;
- **Configuração das antenas:** foram feitas leituras dos alinhamentos utilizando duas configurações de velocidade da onda, primeiramente foi coletado os dados usando uma velocidade de 0,06 m/ns (indicado para solos de areia saturada) e posteriormente foi utilizada a velocidade de 0,15 m/ns (indicado para solos de areia seca), devido à situação do tipo de solo da área de estudo;
- **Aquisição das seções geofísicas:** para aquisição das seções geofísicas foram utilizadas trenas (figura 5), para se ter o direcionamento dos alinhamentos, facilitando a passagem do carrinho com a antena blindada.



Figura 5 – Aquisição das seções geofísicas, alinhadas com trenas, para passagem do equipamento GPR
Fonte: Autores

4. RESULTADOS

4.1. Processamento do Levantamento Topográfico

Os dados adquiridos com a Estação Total foram processados, utilizando-se para isso, o software Posição, obtendo-se como resultado final um total de 85 pontos georreferenciados, da área de estudo. Posteriormente, esses pontos foram exportados no formato *DXF*, para importação e interpretação no software AutoCad Map 3D (figura 6).

Depois de interpretadas e executadas às devidas conexões entre os pontos, os mesmos foram exportados para modelagem 3D no software SketchUp.



Figura 6 – Pontos obtidos da Estação Total e importados no software AutoCad Map 3D
Fonte: Autores

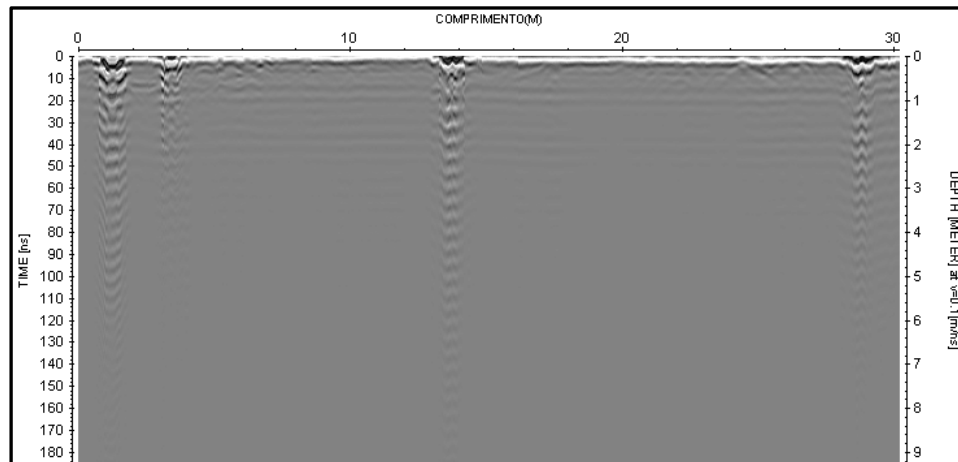
4.2. Processamento das Seções Geofísicas

Os dados coletados com equipamento GPR foram baixados no computador e processados, utilizando-se o *software* Reflexw, que é específico para processamento de dados geofísicos.

No processamento dos dados brutos, foi necessário seguir uma rotina de procedimentos, para melhorar a visualização dos alvos nas seções geofísicas, bem como, deixá-las mais legíveis para interpretação.

Dentre os procedimentos seguidos no processamento pode-se citar:

1. Filtro 1D – subtração da média (*subtract_mean* (*dewow* – dessaturação)) utilizado para eliminar as frequências baixas e para corrigir os efeitos de saturação da amplitude, gerada pela indução eletromagnética entre as antenas (emissora-receptora), através da remoção da média entre os traços (figura 7);
2. Correção do tempo zero (*static correction*) – cuja função foi corrigir a posição zero do terreno, ou seja, eliminar o espaço entre a antena e o início da superfície do terreno;

Figura 7 – Seção geofísica após a correção do tempo zero – *static correction*

Fonte: Autores

3. Filtro 2D – remoção do plano de fundo (*background removal*), utilizado para realçar os refletores pontuais e inclinados, além de remover reverberações das antenas de alta frequência do radargrama;
4. Filtro 1D – utilizou-se o filtro de frequência passa-banda (*bandpassfrequency*) para eliminar um determinado conjunto de baixas e altas frequências, sendo selecionado apenas um conjunto desejável de frequências, para isso utilizou-se a seleção manual de 4 pontos (*lower outaff, lower plateau, upper plateau e upper outaff*);
5. Migração do tempo em profundidade (*migration-time/depth-conversion*) – executou-se a conversão do tempo em profundidade, utilizando-se neste trabalho uma hipérbole (*hiperb*) de 0,10 m/ns para todas as seções geofísicas;
6. Exportação (*export*) – para exportação das seções geofísicas utilizou-se o formato *tif* (figura 8), pois esse formato foi utilizado para importação no *software SketchUp Pro*.

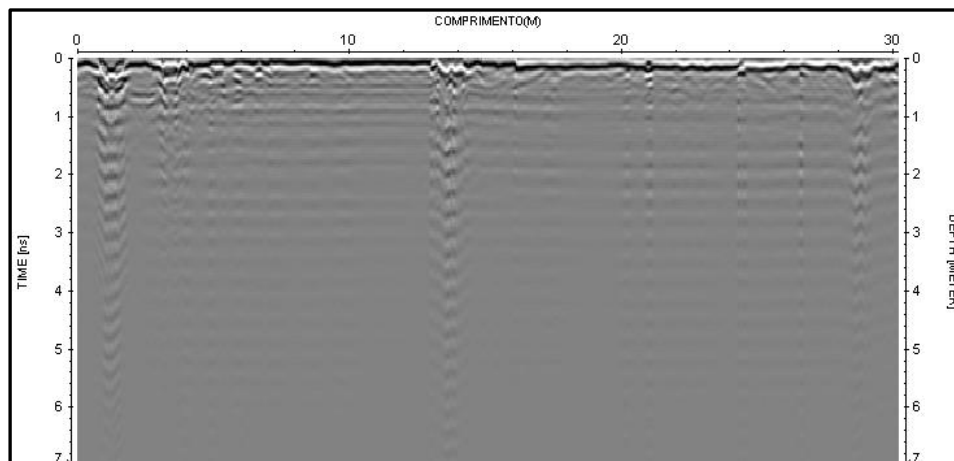


Figura 8 – Seção geofísica processada e exportada no formato tif

Fonte: Autores

4.3. Modelagem 3D – Integração dos dados de superfície e subsuperfície

Com os pontos inseridos na base cartográfica, foi verificado que todos os pontos coincidiram com as suas posições no terreno. Portanto, com todos os dados devidamente digitalizados no formato *dwg*, o próximo passo foi o início da modelagem 3D no *software SketchUp Pro*.

A versão *SketchUp Pro* possui um comando específico para importar arquivos *dwg* que permitiu a modelagem do levantamento planialtimétrico cadastral no *software*. A modelagem seguiu os preceitos básicos de um desenho 3D, usando comandos específicos do *software* gerando linhas, planos e volumes, respeitando todas as dimensões da base cartográfica e do levantamento topográfico.

O nível de detalhes do modelo 3D foi relativo à quantidade de pontos coletados no levantamento topográfico. Os pontos coletados foram na sua maioria referentes à rede de drenagem pluvial que foi o foco desse trabalho. A interpretação dos dados foi fundamental para a correta modelagem (figura 9).

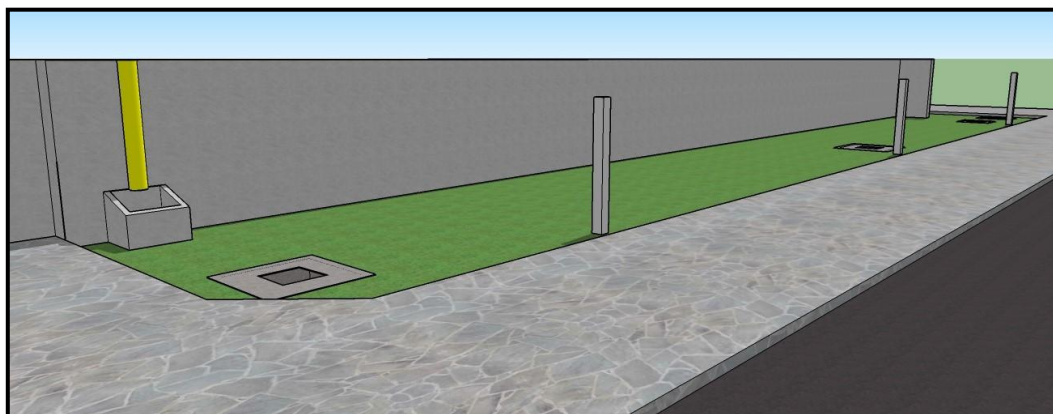


Figura 9 – Modelagem 3D do levantamento topográfico

Fonte: Autores

Depois de gerada a modelagem 3D com o levantamento topográfico executou-se a integração dos dados de subsuperfície com as seções geofísicas.

Para isso, primeiramente foram identificados os pontos que correspondiam aos alinhamentos onde o equipamento GPR foi passado. Nesses alinhamentos, foram inseridas as seções geofísicas (arquivo no formato *tif*) correspondentes aos devidos trechos, por meio de comandos específicos do *software SketchUp Pro*. A parte superior das seções geofísicas foram alinhadas na cota de representação do solo. Posteriormente foi utilizado um comando para converter a escala das seções, para a mesma usada na modelagem.

Por fim foi executada a sobreposição das seções geofísicas geradas, obtidas com equipamento GPR, junto com a modelagem obtida a partir do levantamento topográfico, utilizando-se a Estação Total. Com isso pode-se comparar os dados e verificar a eficiência do levantamento geofísico, utilizando equipamento GPR.

Como se pode verificar na figura 10, os sinais do GPR mostram com clareza da posição das caixas de inspeção.

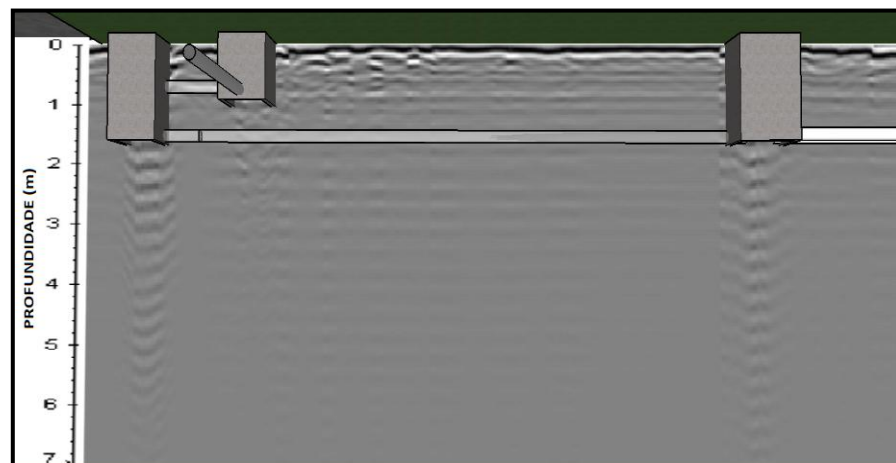


Figura 10 – Modelagem 3D – Integração com os dados de subsuperfície

Fonte: Autores

Na figura 11 é possível observar uma tubulação enterrada, na qual pode ser executada a sua modelagem, integrando os dados de superfície com os dados de subsuperfície.

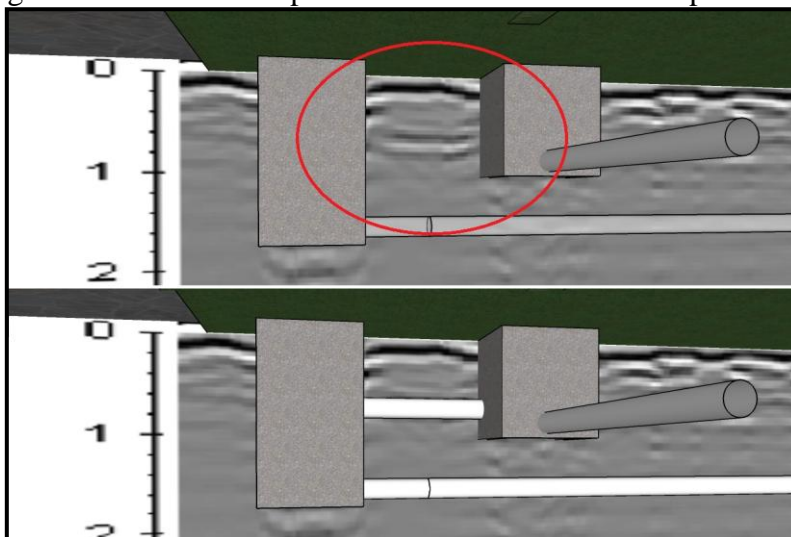


Figura 11 – Tubulação identificada na seção geofísica e modela em 3D
Fonte: Autores

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho estudou separadamente e em conjunto, diferentes técnicas de medição e coleta de dados em campo com o objetivo de elaborar uma forma de cadastro 3D de subsuperfície.

A área de estudo foi escolhida por estar dentro da universidade onde esse trabalho foi desenvolvido e por possuir um sistema de drenagem subterrâneo conhecido. Essa escolha se mostrou muito satisfatória, pois permitiu a passagem do equipamento GPR sem obstáculos além de não possuir declividade acentuada, o que facilitou na interpretação dos dados. Outro ponto positivo foi que as caixas de inspeção presentes no local estavam em boas condições, permitindo a coleta das cotas altimétricas da posição das tubulações com o uso de Estação Total.

O georreferenciamento da área foi executado utilizando-se um aparelho de GNSS/GPS/RTK, apresentando bons resultados, onde todas as coordenadas coletadas em campo corresponderam aos pontos da base georreferenciada do campus da Unisinos. A confirmação do correto georreferenciamento da área de estudo, também foi dada com a verificação de alguns pontos utilizando Estação Total.

O levantamento topográfico cadastral foi executado com Estação Total, que permitiu a coleta das coordenadas de todos os pontos necessários para a conclusão da proposta. A Estação Total foi primeiramente posicionada em um ponto georreferenciado, tendo como base para a obtenção do azimute outro ponto georreferenciado, e todo o levantamento seguiu mantendo-se essa referência. Foram levantados alguns pontos do entorno da área de interesse como limites de edificações e limites dos estacionamentos, mas o foco do levantamento foi a coleta de dados de tubos e o fundo de 4 caixas de inspeção presentes na área.

Apesar dos dados mostrarem corretamente a posição das caixas de inspeção e também a posição de uma tubulação encontrada a menos de 1 metro de profundidade, não foi possível identificar a posição e profundidade de outras tubulações mais profundas.

Embora a modelagem 3D não ser rápida e prática, ela se mostrou eficiente na integração dos dados geofísicos com os dados do levantamento topográfico.

Devido à multidisciplinaridade, e mesmo os métodos de cadastro já consolidados, é necessário executar novos experimentos e testar outras frequências de antenas para melhorar o procedimento na identificação e interpretação de tubulações mais profundas, que não foi possível nesse trabalho.

O uso do aparelho de GNSS/GPS/RTK para georreferenciar o local a ser cadastrado, se mostrou muito eficiente e prático. Mesmo sendo uma tecnologia já consagrada, o georreferenciamento muitas vezes não é utilizado em cadastros de infraestrutura, onde se comprovou alguns problemas de posicionamento a partir da base cartográfica do Campus da Unisinos em São Leopoldo.

O uso da Estação Total como já era esperado foi bem-sucedida na coleta de dados superficiais, mas tem muitas limitações para coletar dados que estão na subsuperfície.

Quanto à aquisição das seções geofísicas, o equipamento GPR mesmo usando duas configurações de velocidade de onda (0,06m/ns e 0,15m/ns), não foi possível identificar as posições dos tubos de PVC que estavam enterrados abaixo de 1 metro da superfície. A provável causa da não leitura da posição dos tubos foi o uso da antena de 250MHz, o que sugere-se complementar o trabalho em uso futuro, com a utilização de outras antenas de maior frequência, para cadastrar essas tubulações.

A escolha do *software AutoCad Map 3D*, supriu todas as necessidades exigidas para a etapa do georreferenciamento da base cartográfica, além de servir de apoio para a vetorização das informações coletadas em campo e posterior utilização em outros *softwares* como o *SketchUp Pro*.

Já o uso do *software SketchUp Pro* apesar de ter sido suficiente para modelar a área piloto em 3D, se mostrou um *software* pouco prático para esse uso.

Por fim, esse trabalho apresentou uma proposta dentro dos objetivos iniciais, que gerou como resultado um cadastro 3D de subsuperfície. Sendo um trabalho inicial, **onde** muitos pontos ainda podem ser melhorados, e que também, já servem como sugestões para futuros trabalhos, com o uso do equipamento GPR a partir de outras frequências de antenas ou outro tipo de equipamento para coletar dados de objetos enterrados, onde o uso da Estação Total é inviável. Outro ponto é a modelagem 3D, que pode ser melhorada ou ainda se pode buscar outros *softwares* que cumpram com mais eficiência esse objetivo

Agradecimentos

Agradecimentos ao pessoal do Laboratório de Geomensura e do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital dos curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Engenharia Civil e Geologia.

Referências Bibliográficas

BHERING, E. M.; FILHO, J. L.; CALIJURI, M. L.; SOUZA, L. A. **Sistema de informação da rede de infra-estrutura sanitária de Cachoeiro de Itapemirim-ES.**,2010.

ERBA, D. A.; O cadastro territorial: presente, passado e futuro. In: ERBA et al. (Org.) **Cadastro multifinalitário como instrumento de política fiscal urbana.** Rio de Janeiro, 2005. 144p.

NEAL, A.; Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth-Science Reviews** 66. p.261-330. Wolverhampton, 2004.

PAIXÃO, S. K. S.; NICHOLS, S.; CARNEIRO, A. F. T. **Cadastro territorial multifinalitário: Dados e problemas de implementação do convencional ao 3D e 4D.** Curitiba, 2012.

PORSANI, J. L.; **Método GPR: Aplicações em Geologia, Geotecnia, Meio Ambiente e Planejamento Urbano.** XIII Escola de Verão de Geofísica. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, R. M. da. **Análise da Exatidão Posicional na Integração de Dados de (Sub)superfície em Modelos Digitais de Afloramentos a Partir de Sensores Remotos não Orbitais.** Tese de Doutorado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Geologia, São Leopoldo, 2014. 107p.