

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**INTEROPERABILIDADE ENTRE BIM E GIS APLICADA A
PROJETOS DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA**

AYALLA ESTEPHANE DE ALMEIDA SANTOS

**ORIENTADOR: ELEUDO ESTEVES DE ARAUJO SILVA
JUNIOR**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM
ENGENHARIA AMBIENTAL II**

BRASÍLIA/DF: MAIO/2022

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**INTEROPERABILIDADE ENTRE BIM E GIS APLICADA A
PROJETOS DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA**

AYALLA ESTEPHANE DE ALMEIDA SANTOS

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

**ELEUDO ESTEVES DE ARAUJO SILVA JUNIOR, DSc (UnB)
(ORIENTADOR)**

**FÉLIX ALVES DA SILVA JUNIOR, DSc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**MATHEUS LIMA DE BARROS, BSc
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 04 DE MAIO DE 2022.

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, AYALLA ESTEPHANE DE ALMEIDA

Interoperabilidade entre BIM e GIS aplicada a projetos de infraestrutura ferroviária.

xiii, 82 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2022)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. GIS

2. BIM

3. Interoperabilidade

4. Infraestrutura

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, A.E.A. (2022). Interoperabilidade entre BIM e GIS aplicada a projetos de infraestrutura ferroviária. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 82 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ayalla Estephane de Almeida Santos

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Interoperabilidade entre BIM e GIS aplicada a projetos de infraestrutura ferroviária.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2022

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Ayalla Estephane de Almeida Santos
ayalla0731@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Deus pai, único e perfeito, por sua infinita bondade e misericórdia, que sempre me sustentou nos momentos mais difíceis da minha vida. Por guiar meus passos e por ter me capacitado física, emocionalmente e intelectualmente nessa jornada tão incrível e desafiadora da minha existência. Deus em minha vida, foi sobrenatural.

À minha mãe Aynoan, minha melhor amiga, a mulher mais incrível, forte e inspiradora que conheço. Por toda força, amor, carinho, amizade e suporte que sempre me deu. Obrigada por ter me mostrado desde cedo o valor do estudo, por sempre ter dado seu tudo por mim e por nossa família.

À minha irmã Beatriz, por todo seu amor, amizade, carinhos e cuidado, que sempre se fizeram presentes em cada momento da minha vida. Os momentos aos seu lado foram cruciais para que eu conseguisse completar essa jornada.

Às minhas tias Sulamita e Tânia que me servem de verdadeira inspiração. Desde a minha infância me apresentaram ao mundo do conhecimento e sempre encheram nossas vidas de arte e cultura. Muito obrigada por todo amor, carinho e cuidado.

À minha querida Marcia, que sempre se fez presente em minha vida, que tem um coração enorme e cheio de amor. Que sempre foi tão carinhosa e amável comigo e com a nossa família. Obrigada por estar sempre presente em minha vida e por todo o seu amor e afeto.

Ao meu orientador Eleudo, por toda sua disponibilidade e boa vontade em transmitir seus conhecimentos desde que nos conhecemos na matéria de Cartografia. Obrigada por sempre ter sido tão gentil, solícito e presente quando precisei. Obrigada por me ajudar na escolha do tema deste trabalho e por ter me dado a oportunidade de participar no grupo de pesquisa da UnB conjuntamente com a Valec.

Ao meu amor Eric, por tanto carinho, amor, amizade e confiança. Pelos diversos momentos em que assistimos filmes, conversamos infinitamente, corremos juntos e passeamos despreziosamente. Conhecer você na UnB tornou minha vida mais leve e feliz no ambiente universitário.

À minha amiga Samara, por toda a sua lealdade e amizade. Por sempre ter um ombro amigo e palavras de afeto. Por se fazer tão presente em todos os momentos na minha vida e da minha família. Obrigada pelas infinitas corridas que corremos juntas e que sempre tornaram nossas vidas mais felizes.

RESUMO

Tem sido crescente nos últimos anos o uso da metodologia *Building Information Modeling* (BIM). Com uso do BIM é possível um controle de todo o ciclo de vida de uma obra, desde a fase de planejamento, passando pela execução até seu encerramento. Com o uso do BIM consegue-se resultados em tempo real e atualizações em projetos de uma forma dinâmica. Uma interoperabilidade de interesse é entre o BIM e o GIS (Sistema de Informações Geográficas). Com um GIS é possível a localização de um objeto no espaço através de suas coordenadas (x,y,z) e o armazenamento dessas coordenadas em bancos de dados georreferenciados. As Geotecnologias utilizam essas informações geoespaciais para os mais diversos tipos de análises, como por exemplo, mapas topográficos, análises espaciais de infraestrutura, ambientais, mapeamento de problemas urbanos e ruais dentre outros. Espera-se com a interoperabilidade entre o BIM e o GIS uma dinamização no fluxo de informação entre estes dois, onde projetistas tomarão, por exemplo, decisões mais direcionadas, como a escolha de uma área para construção, materiais que deverão ser usados e impactos que poderão ser produzidos. Visando-se o estudo dessa interoperabilidade, modelou-se um trecho ferroviário no Civil 3D e posteriormente se realizou alguns testes com o *software* ArcGIS. Conseguiu-se exportar apenas o traçado da ferrovia e a realização de uma tabulação cruzada no ArcGIS Pro. Tentou-se exportar o projeto construído no Civil 3D diretamente para o ArcGIS com o formato DXF, no entanto, o ArcGIS não reconheceu os objetos. Foi avaliada a quantidade de objetos IFC relacionados à infraestrutura em uma biblioteca BIM nacional, constatando-se que a quantidade de objetos é muito baixa. Testou-se também a interoperabilidade entre os *softwares* Infracore e Civil 3D. Esperava-se exportar o traçado ferroviário para o Infracore, porém o Infracore não reconheceu o trecho ferroviário conforme o esperado.

Palavras-chave: BIM, GIS, interoperabilidade, infraestrutura, ferrovia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. OBJETIVO GERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. GEOPROCESSAMENTO E GEOTECNOLOGIAS	4
3.1.1. Sensoriamento Remoto	9
3.1.2. Sistema de Informações Geográficas (GIS).....	13
3.2. BUILDING INFORMATION MODELING	15
3.2.1. Conceitos e características	15
3.2.2. Usos BIM	16
3.2.3. Modelagem Paramétrica.....	17
3.2.4. Ferramentas BIM	18
3.2.5. Interoperabilidade	29
3.2.5.1. Interoperabilidade BIM e GIS.....	20
3.2.5.2. BIM e projetos de Infraestrutura	21
4. METODOLOGIA.....	23
4.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
4.2. MODELAGEM DE TRECHO FERROVIÁRIO	28
4.2.1 Importação de curvas de nível.....	28
4.2.1.1. Importação de curvas de nível pelo ArcGIS.....	28
4.2.1.2. Importação de curvas de nível pelo Infracore.....	30
4.2.2. Criação de alinhamento ferroviário	32
4.2.3. Criação do perfil de elevação do alinhamento desenhado.....	35
4.2.4. Criação do greide de projeto.....	37

4.2.5. Criação do corredor ferroviário.....	39
4.2.5.1. Criação de superfície do corredor	42
4.2.6. Criação de seções e cálculo de volumes	43
4.3. INTEROPERABILIDADE ENTRE BIM E GIS	47
4.3.1. Ferramenta Publicar para ArcGIS	47
4.3.2. ArcGIS Pro	47
4.3.3. Exportação de objetos do Civil 3D para o ArcGIS Pro	48
4.4. BIBLIOTECAS DE OBJETOS IFC	48
4.5. INTEROPERABILIDADE ENTRE CIVIL 3D E INFRAWORKS	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1. QUANTITATIVOS DE VOLUMES DE ESCAVAÇÃO PARA CORTE E ATERRO	51
5.2. RESULTADOS DOS TESTES REALIZADOS COM A FERRAMENTA PUBLICAR PARA ARCGIS	52
5.3. RESULTADOS DOS TESTES REALIZADOS COM O ARCGIS PRO	54
5.3.1. Importação de curvas de nível.....	54
5.3.2. Importação do alinhamento ferroviário.....	54
5.4. RESULTADOS DOS TESTES REALIZADOS NA EXPORTAÇÃO DE OBJETOS DO CIVIL 3D PARA O ARCGIS PRO	57
5.5. RESULTADOS DAS PESQUISAS DE OBJETOS IFC	58
5.6. RESULTADOS DA INTEROPERABILIDADE ENTRE O CIVIL 3D E O INFRAWORKS.....	60
6. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Mapa cadastral (modificado de www.dpi.inpe.br)	4
Figura 3.2 – Mapa Temático de Declividade (Codeplan, 2020)	5
Figura 3.3 – Mapa do Metrô-DF 2021 (disponível em www.metro.df.gov.br).....	6
Figura 3.4 – MNT com isolinhas de Topografia (Câmara et al. 2001)	7
Figura 3.5 – Imagem de Brasília – 2021 (modificada de Google Earth Pro)	7
Figura 3.6 – Sistema de Sensoriamento Remoto (Moreira, 2001)	10
Figura 3.7 – Da esquerda para a direita, imagens dos satélites, Landsat com resolução espacial de 30m, Spot com 10 m e Ikonos com 1 m, de uma porção do lago Paranoá de Brasília. (Meneses & Almeida, 2012)	11
Figura 3.8 – Espectro da radiação eletromagnética (disponível em: escola.tecnico.ulisboa.pt).....	11
Figura 3.9 – Imagens com diferentes resoluções radiométricas (Meneses & Almeida, 2012)	12
Figura 3.10 – Estrutura Geral de um GIS (Câmara <i>et al.</i> , 2001).....	14
Figura 3.11 – Tabela comparativa Infraestrutura x Edificações (BIM) (Corrêa <i>et al.</i> 2019)	22
Figura 4.1 – Mapa das Ferrovias Brasileiras (modificado de Valec)	23
Figura 4.2 – Trecho da FIOIOL (modificado de Valec)	24
Figura 4.3 – Trecho que será construída da FIOIOL III (Valec, 2020)	25
Figura 4.4 – Trecho final da FIOIOL III (modificado de Valec, 2020)	25
Figura 4.5 – Área selecionada para modelagem da linha férrea (Google Earth Pro, 2022)	26
Figura 4.6 – Cenário futuro proposto pelo Zoneamento Ecológico-Econômico de Tocantins (modificado de ZEE-TO, 2017)	27
Figura 4.7 – Disciplinas de Projetos Ferroviários (disponível em www.e-zigurat.com).....	28
Figura 4.8 – Criação de novo campo na tabela de atributos.....	29

Figura 4.9 – Execução da ferramenta Calcular Campo.....	29
Figura 4.10 – Ferramenta de geração de modelo	30
Figura 4.11 – Criação de polígono para geração de um novo modelo no Infracad31	31
Figura 4.12 – Mudança no sistema de coordenadas de LL84 para SIRGAS 2000	31
Figura 4.13 – Modelo Gerado pelo Infracad	32
Figura 4.14 – Importação do modelo gerado no Infracad para o Civil 3D	32
Figura 4.15 – Ferramenta de criação de alinhamento	33
Figura 4.16 – Configurações da criação do eixo	33
Figura 4.17 – Ferramenta de inserção de curvas.....	34
Figura 4.18 – Norma de projeto geométrico (modificado de Valec, 2011)	34
Figura 4.19 – Resultado do alinhamento desenhado após a inserção das curvas	35
Figura 4.20 – Comprimento total do alinhamento desenhado	35
Figura 4.21 – Ferramenta de criação de perfil da superfície	36
Figura 4.22 – Criação de perfil da superfície	36
Figura 4.23 – Trecho do perfil de elevação do alinhamento desenhado	36
Figura 4.24 – Perfil de elevação entre as estacas 9+300 e 9+581,802.....	37
Figura 4.25 – Ferramenta de criação do greide	38
Figura 4.26 – Normas de inserção de curvas verticais (modificado de Valec, 2011)	38
Figura 4.27 – Parâmetros do greide de projeto	38
Figura 4.28 – Greide traçado	39
Figura 4.29 – Trecho do greide em comparação com terreno natural.....	39
Figura 4.30 – Criação de montagem para inserção de seção tipo.....	39
Figura 4.31 – Centro do eixo do projeto.....	40
Figura 4.32 – Seção tipo com talude padrão.....	40
Figura 4.33 – Modelo de talude padrão utilizado para montagem do corredor	40
Figura 4.34 – Especificações do Talude padrão utilizado.....	41

Figura 4.35 – Criação de corredor ferroviário	41
Figura 4.36 – Corredor ferroviário em formato 3D	42
Figura 4.37 – Criação de nova superfície do corredor	42
Figura 4.38 – Superfície da ferrovia	43
Figura 4.39 – Vista 3D da superfície do corredor ferroviário	43
Figura 4.40 – Criação de seções transversais do eixo ferroviário	44
Figura 4.41 – Linhas de seções transversais	44
Figura 4.42 – Gráficos de seções transversais	45
Figura 4.43 – Vista da seção transversal na estaca 0+0,000	45
Figura 4.44 – Parâmetros utilizados para o cálculo de material	46
Figura 4.45 – Estacas com perfis de material de corte e aterro	46
Figura 4.46 – Ferramenta de conexão entre Civil 3D e ArcGIS	47
Figura 4.47 – Criação de novo projeto no ArcGIS	47
Figura 4.48 – Exportação de objetos no formato DWG para o formato DXF	48
Figura 4.49 – Biblioteca Nacional BIM	49
Figura 4.50 – Exportação de projeto do eixo ferroviário em formato IMX	49
Figura 4.51 – Formatos de arquivos aceitos pelo Infracore	50
Figura 5.1 – Tabela de volume e área de corte e aterro para diferentes seções	51
Figura 5.2 – Elementos disponíveis para publicação no ArcGIS	52
Figura 5.3 – Camada disponível para criação	52
Figura 5.4 – Camada criada no ArcGIS online	53
Figura 5.5 – Traçado da ferrovia com buffer de 1 km	53
Figura 5.6 – Mensagem de erro ao copiar dados na tabela de atributos.....	54
Figura 5.7 – Importação do traçado da ferrovia do ArcGIS online para o ArcGIS Pro	55
Figura 5.8 – Criação de buffer de 100 metros do eixo da ferrovia	55
Figura 5.9 – Reclassificação dos dados de elevação	56

Figura 5.10 – Resultado da reclassificação do modelo digital de elevação	56
Figura 5.11 – Tabulação cruzada entre o modelo digital de elevação e o buffer	57
Figura 5.12 – Resultado da importação de objetos no formato DXF	58
Figura 5.13 – Categorias de pesquisa na biblioteca Nacional de BIM	58
Figura 5.14 – Objetos de infraestrutura disponíveis na Biblioteca Nacional de BIM	59
Figura 5.15 – Objetos disponíveis na categoria de materiais de construção	59
Figura 5.16 – Pesquisa de objetos BIM na categoria de infraestrutura e mobilidade	60
Figura 5.17 – Objetos importados para o Infracore no formato IMX	60
Figura 5.18 – Configuração do projeto importado do Civil 3D.....	61
Figura 5.19 – Resultado da importação do projeto no Infracore no formato IMX	61
Figura 5.20 – Resultado da importação no formato SDF	62

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

BA – Bahia

BIM – *Building Information Modeling*

CBERS – *China-Brazil Earth Resources Satellite* (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres)

CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal

D – Dimensão

DF – Distrito Federal

DWG – arquivo *drawing* do AutoCAD

DXF – arquivo *drawing* do AutoCAD

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*

FIOL – Ferrovia de Integração Oeste-Leste

GIS – Sistema de Informação Geográfica

GPS – Sistema de Posicionamento Global

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFC – *Industry Foundation Classes*

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Km – Quilômetro

m – Metro

MDE – Modelo Digital de Elevação

MNT – Modelo Numérico de Terreno

nm – Nanômetro

PIB – Produto Interno Bruto

Pixel – *Picture element* (elemento da imagem)

QGIS – *Quantum GIS*

RDBMS – Sistemas de gerenciamento de banco de dados relacional

Revit – *Revit Architecture*

GIS – Sistemas de Informação Geográfica

SPOT – *Satellite Pour l'Observation de la Terre*

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SR – Sensoriamento Remoto

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

t – Tempo

TIN – *Triangular Irregular Network*

TO – Tocantins

USGS – *United States Geological Survey*

ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico

1. INTRODUÇÃO

Grande tem sido a necessidade do ser humano em adquirir conhecimentos e informações sobre a geografia e os recursos disponíveis de cada lugar. Informações geográficas que antes eram elaboradas e trabalhadas em mapas de papel, hoje podem ser elaboradas e trabalhadas de forma digital e computacional com o uso do Geoprocessamento. O geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas.

Um Sistema de Informações Geográficas (GIS) é uma técnica de Geoprocessamento cujo sistema pode adquirir, editar e gerenciar dados por meio de bancos de dados georreferenciados. Pode também compatibilizar informações em diferentes planos de informações, como por exemplo, mapas e informações topográficas. Outra ferramenta de Geoprocessamento inclui o Sensoriamento Remoto, que consiste em adquirir informações de um objeto por meio da sua energia refletida ou emitida, transformando-as em imagens, gráficos ou dados numéricos. Essas técnicas utilizadas são chamadas de Geotecnologias, técnicas utilizadas na coleta, processamento, análise e disponibilização de informações geográficas.

Com o uso das geotecnologias, pode-se fazer análises espaciais e mapeamento de problemas urbanos e rurais, com informações geográficas, físicas, topográficas, ou de infraestrutura. Com essas informações pode-se resolver problemas de modo mais otimizado, com soluções mais eficientes e tempos mais curtos. Na área ambiental, pode-se utilizar geotecnologias para acompanhamento de áreas suscetíveis à erosão, queimadas, poluições, enchentes, disposição irregular de resíduos, dentre outros. Quando aplicado a infraestrutura, o GIS pode ser utilizado na área industrial, transportes, serviços, engenharia e logística, se tornando uma importante ferramenta nesses setores. O GIS pode avaliar como se dará a junção do meio natural com os projetos de infraestrutura, entendendo como se darão os diversos impactos e norteando ações de planejamento que venham a mitigar esses impactos.

Existe uma grande necessidade em se fazer projetos de infraestrutura em que se conheça todas as fases da obra bem como sua manutenção durante sua operação e após o encerramento de suas atividades. Grande tem sido nos últimos anos o avanço no uso da tecnologia BIM (*Building Information Modeling*), para projetos de infraestrutura.

O uso da tecnologia pode ser aplicado em todas as etapas do ciclo de vida de um empreendimento, desde a sua concepção, passando pelo projeto e pela construção até chegar à fase de operação e manutenção, sendo que todas as informações são trabalhadas de forma

colaborativa entre os diversos profissionais de diversas áreas. Com informações concisas em qualquer etapa do projeto, reduz-se o tempo e os erros que seriam gerados caso se fizessem simultâneos desenhos em todas as áreas do projeto.

Todos os atributos dos objetos no projeto são regidos por regras paramétricas, o que significa que ao se mexer em determinado elemento do projeto, outro que esteja ligado a ele já será automaticamente reconfigurado. De acordo com Eastman *et al.* (2014), o modelo gerado pela metodologia BIM é projetado diretamente em vez de ser gerado a partir de múltiplas vistas 2D (duas dimensões), o que acarreta que o projeto pode ser usado em qualquer etapa de processo e suas dimensões serão as mais exatas possíveis.

Uma característica de modelos BIM é uma interoperabilidade entre este e diversos outros *softwares*. Em face disso, criou-se o IFC (*Industry Foundation Classes*), um padrão para modelos BIM criado para a troca e compartilhamento de dados em BIM entre diferentes fornecedores de *software*. Apesar de existir o formato IFC de compartilhamento, a biblioteca de objetos de infraestrutura ainda é escassa, e existe, muitas vezes, perda e deturpação de informações durante a importação ou exportação de objetos (Andrade & Ruschel, 2009).

Uma interoperabilidade de grande interesse é entre a metodologia BIM e o GIS. Com a interoperabilidade entre os dois sistemas, os projetistas poderão tomar decisões mais precisas sobre melhores lugares para se construir, materiais que devem ser usados na construção, áreas sujeitas a inundações e abalos sísmicos, possíveis problemas ambientais ocasionados pelas construções, dentre outros.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho possui como objetivo geral a análise das potencialidades de interoperabilidade entre a metodologia BIM (*Building Information Modeling*) e o GIS (*Geographic Information System*) aplicada a obras de infraestrutura ferroviária.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar e avaliar os dados gratuitos adquiridos para elaboração de produtos cartográficos que auxiliem na execução do trabalho.
- Gerar um modelo em BIM de um trecho ferroviário com o *software* Civil 3D.
- Integrar dados GIS com dados BIM.
- Realizar uma análise de buffer do espaço de domínio da ferrovia.
- Realizar uma tabulação cruzada entre um dado em BIM e um dado em GIS.
- Analisar a interoperabilidade entre o Civil 3D e o Infracore.
- Analisar uma biblioteca de objetos IFC voltada para infraestrutura.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. GEOPROCESSAMENTO E GEOTECNOLOGIAS

De acordo com Câmara *et al.* (2001), Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. É uma ferramenta de análise da combinação de mapas e dados, que possibilita o armazenamento dessas informações em um ambiente computacional com o surgimento da tecnologia de informática a partir da segunda metade do século 20.

Uma informação geográfica ou geolocalização, diz respeito à localização no espaço por meio de coordenadas geográficas, possibilitando a integração de diversas disciplinas e diferentes áreas do conhecimento para o desenvolvimento de estudos de fenômenos ambientais e urbanos. Profissionais como ecólogos, geógrafos, engenheiros, sociólogos, arquitetos, entre outros, podem coletar e usar as informações para o que lhes for benéfico.

O Manual Técnico em Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de número 14 (2019) e Câmara *et al.* (2001), definem cinco tipos de dados no Geoprocessamento, sendo eles:

- Dados de referência e cadastrais: é a parte espacial de referência para o GIS, armazenada em forma de coordenadas, podendo ser vetorial ou matricial e seus atributos não gráficos são armazenados em um banco de dados. A Figura 3.1 apresenta um exemplo de um mapa cadastral da América do Sul com dados de Produto Interno Bruto (PIB) e população de alguns países, adquirido do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE):

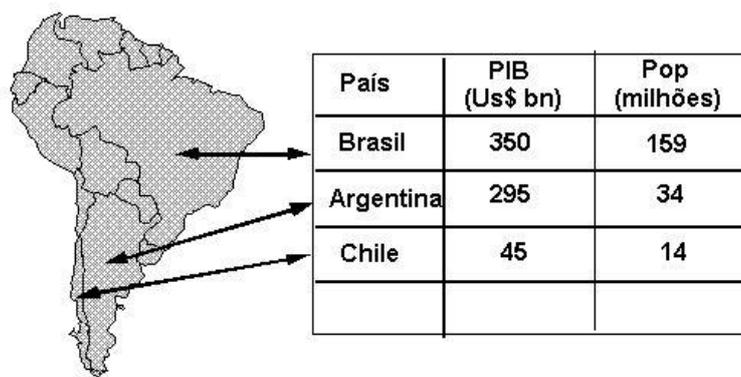


Figura 3.1 – Mapa cadastral (modificado de www.dpi.inpe.br)

- Dados temáticos: admitem tanto representação matricial quanto vetorial, e são dados referentes à temática a ser abordada no GIS, podendo ser dados estatísticos, de vegetação, de uso do solo, de geologia, entre outros. A Figura 3.2 apresenta um mapa de declividade do Distrito Federal.

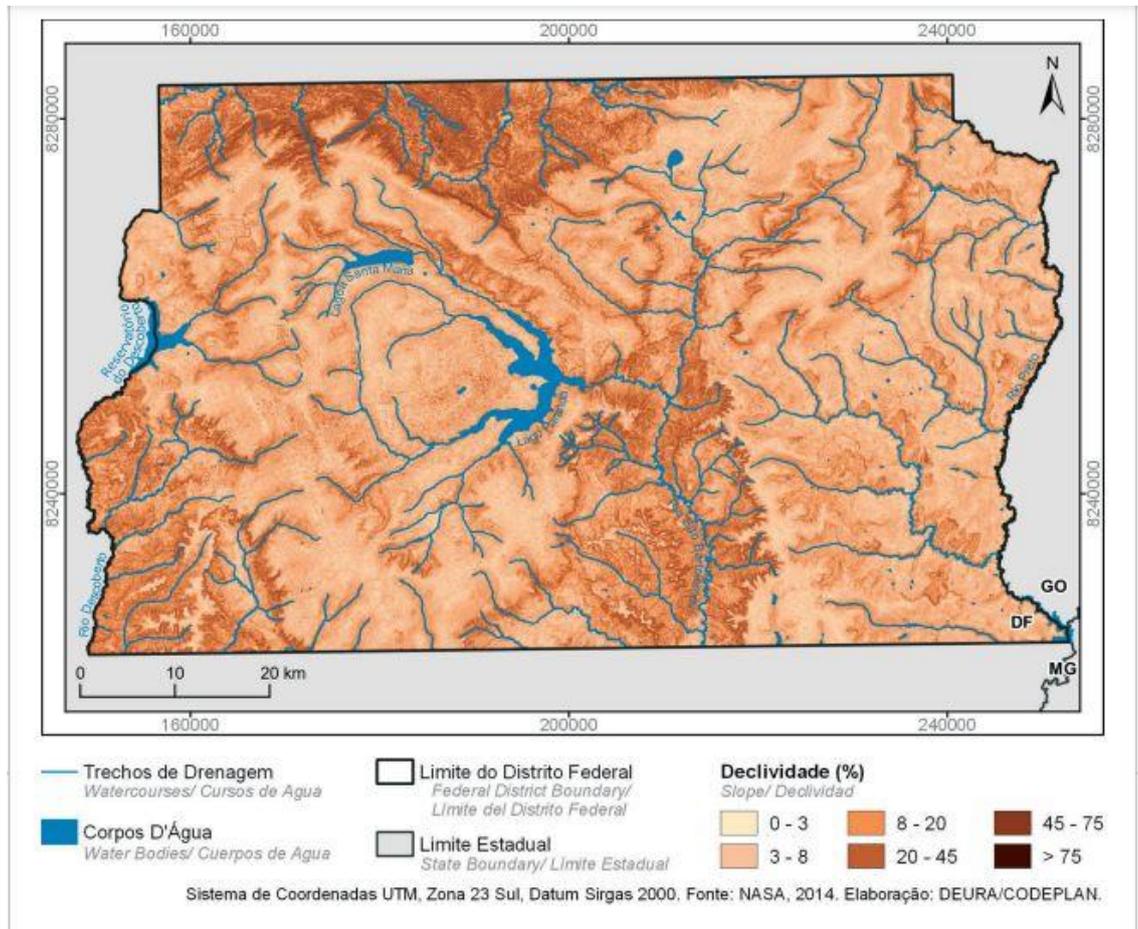


Figura 3.2 – Mapa Temático de Declividade (Codeplan, 2020)

- Redes: são parte dos dados de referência e temáticos que são armazenados em forma de coordenadas vetoriais, com a topologia arco-nó e seus atributos não gráficos são guardados em um banco de dados. Um exemplo pode ser visto na Figura 3.3.

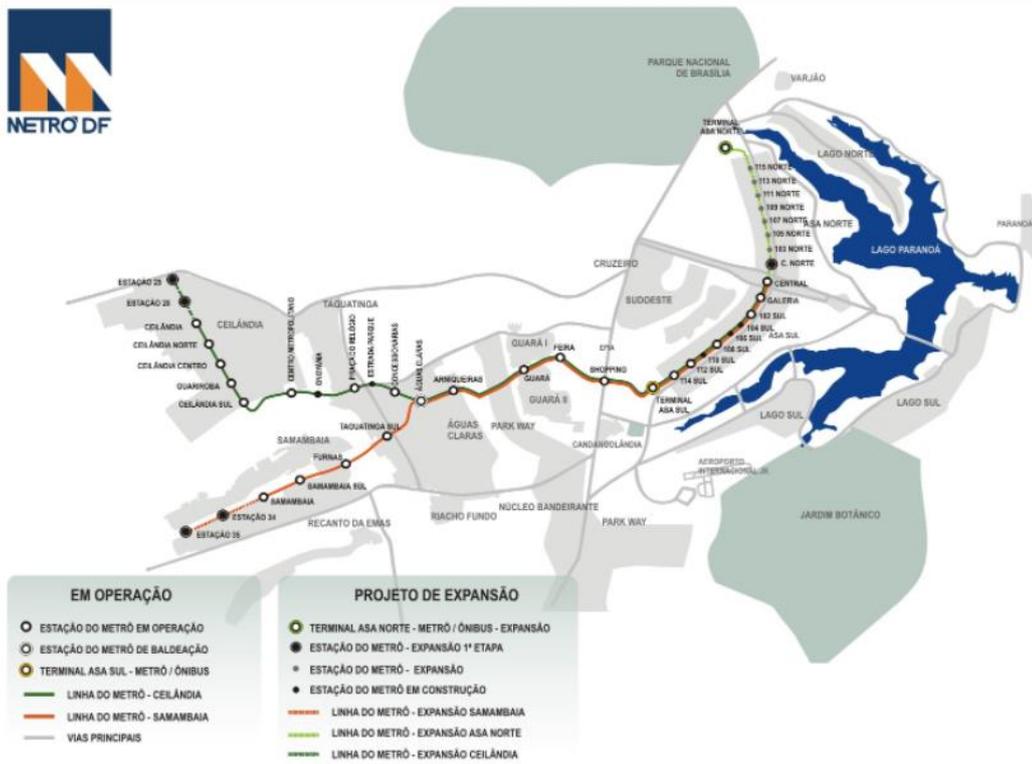


Figura 3.3 – Mapa do Metrô-DF 2021 (disponível em www.metro.df.gov.br)

- Modelo Numérico de Terreno (MNT): pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y) , em um referencial qualquer, com atributos denotados de z , que descrevem, a partir de valores numéricos, a variação contínua da superfície. Um exemplo de MNT pode ser observado na Figura 3.4.

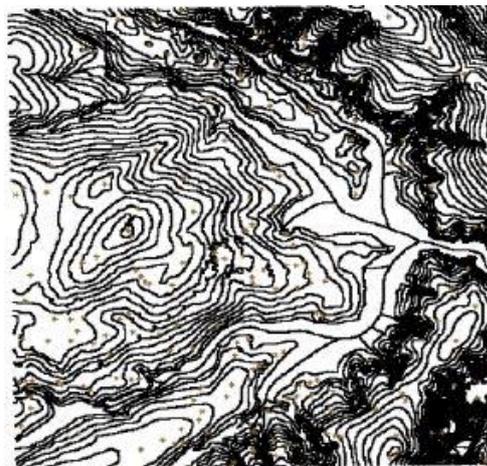


Figura 3.4 – MNT com isolinhas de Topografia (Câmara *et al.* 2001)

- Dados de Imagens ou Sensoriamento Remoto (SR): são insumos tanto para mapeamento de referência, quanto para mapeamento temático, e são armazenadas em representação matricial. Por exemplo: imagens do território - um conjunto de imagens da superfície da Terra obtidas por sensores a bordo de satélites artificiais (imagens de satélites) ou aeronaves (fotografias aéreas), também inclui fotografias da paisagem (Figura 3.5).

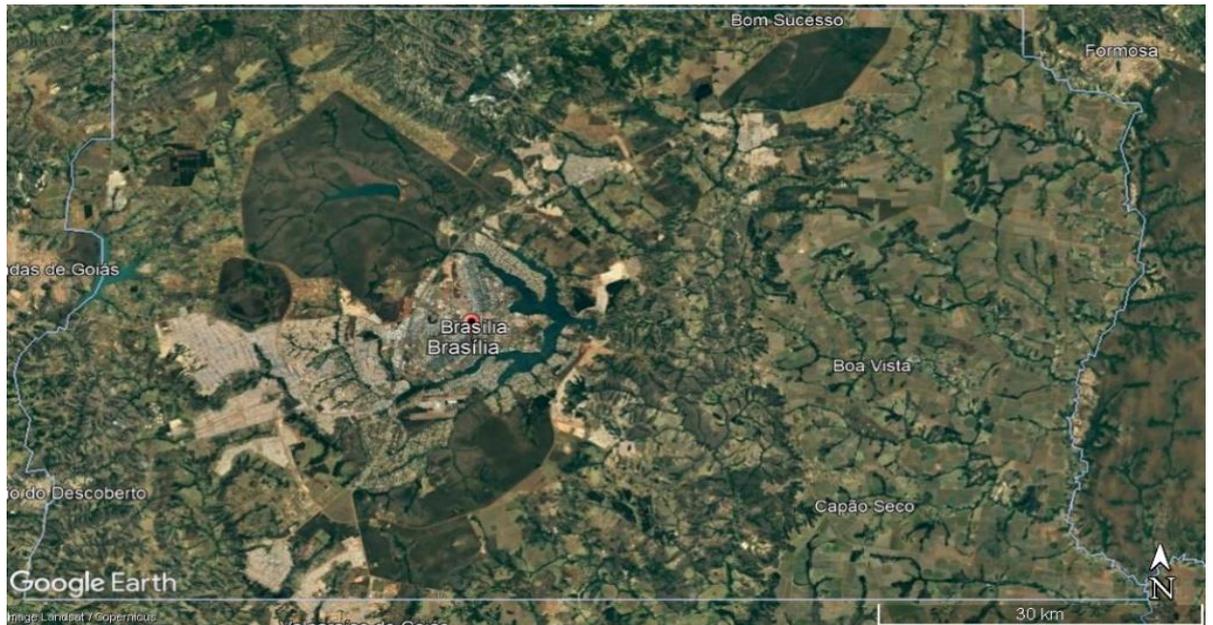


Figura 3.5 – Imagem de Brasília – 2021 (modificada de Google Earth Pro)

De acordo com Câmara *et al.* (2001), o espaço pode ser modelado segundo duas visões complementares: geo-campos e geo-objetos. Um geo-campo representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, num dado tempo t , enquanto geo-objeto é um elemento único que possui atributos não-espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas.

É consenso entre alguns autores a existência de dois tipos de dados no geoprocessamento: dados espaciais e dados alfanuméricos (Câmara *et al.*, 2001; Fitz 2008). Dados espaciais são dados que podem ser representados de forma gráfica e que descrevem fenômenos aos quais estejam associados alguma dimensão espacial, podendo ser um mapa temático, um plano de informação entre outros. Dados espaciais podem ser representados de forma matricial ou vetorial.

- Dados espaciais em formato matricial: podem ser armazenados em uma estrutura matricial, ou em grade (*raster structure*). A estrutura de dados é representada por

uma matriz com n linhas e m colunas, $M(n,m)$, em que cada célula, denominada de *pixel* apresenta um valor (z) associado, que pode representar um tom de cinza ou uma cor. Alguns exemplos desse tipo de representação incluem mapas digitalizados, imagens de satélite, imagens de fotografia digital.

- Dados espaciais em formato vetorial: para sua representação consideram-se três elementos gráficos (ponto, linha poligonal e área (polígono)). Um *ponto* é um par ordenado (x, y) de coordenadas espaciais. Além das coordenadas, outros dados não-espaciais (atributos) podem ser utilizados para indicar de que tipo de ponto se está tratando.

De acordo com Fitz (2008) e Câmara *et al.* (2001), no uso da representação vetorial, a depender da escala utilizada, as entidades podem receber diferentes caracterizações. Uma cidade, por exemplo, numa escala pequena (1:1.000.000) pode ser representada por um ponto. Em uma escala média (1:250.000), a mesma cidade pode ser representada por um polígono. Finalmente, em uma escala muito grande (1:10.000), pode ser representada por um conjunto de pontos (paradas, pontos de ônibus e telefones públicos), linhas (caminhos, estradas, ruas e avenidas) e polígonos (quadras, praças e parques). Existem também os dados alfanuméricos, também chamados de não-espaciais, são dados constituídos por caracteres (letras, números ou sinais gráficos) que podem ser armazenados em tabelas, as quais podem formar um banco de dados.

Cabe destaque, também, o conceito de Geotecnologias. De acordo com Rosa (2005) e Fitz (2008), Geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em *hardware* e *software* que juntos constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões. Dentre as geotecnologias podemos destacar: Sistemas de Informação Geográfica (GIS), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Posicionamento Global (GPS), Topografia, Aerofotogrametria. Geotecnologias trouxeram avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico.

3.1.1. Sensoriamento Remoto

Fitz (2008), Tôsto *et al.* (2014) e Jensen (2010) definem o Sensoriamento Remoto como uma ciência capaz de coletar dados ou informações de um objeto a partir da energia refletida por esse objeto, através da utilização de dispositivos sensores colocados em aviões, satélites ou até mesmo na superfície da Terra. O termo remoto é utilizado por não haver contato entre o sensor e o objeto ou entre o sensor e a superfície terrestre.

Os sensores são dispositivos capazes de captar a energia refletida ou emitida por uma superfície qualquer e registrá-la na forma de dados digitais diversos, como por exemplo, imagens, gráficos, dados numéricos etc. Após interagir com a radiação eletromagnética incidente, os objetos (edificações, vegetação, áreas agrícolas etc.) refletem essa radiação de um modo diferente, e isso representa sua assinatura espectral (Moreira, 2001).

O sistema sensor pode ser composto por um conjunto coletor de lentes, espelho ou antenas e um sistema de registro (detetor) que pode ser um filme ou um outro dispositivo e um processador para processar os dados coletados. Os dados processados são transformados em imagem ou uma curva espectral, podendo ser armazenados, manipulados e analisados por meio de *softwares* específicos, como por exemplo, ArcGIS, QGIS, Spring, Google Earth dentre outros. Um exemplo de um sistema de Sensoriamento Remoto pode ser observado na Figura 3.6.

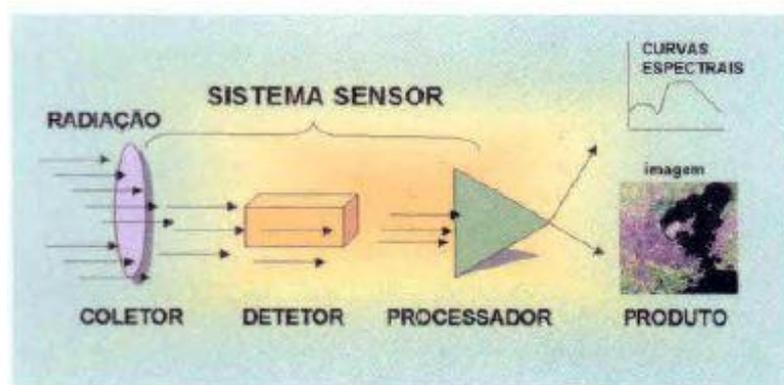


Figura 3.6 – Sistema de Sensoriamento Remoto (Moreira, 2001)

Fitz (2008) e Lorenzetti (2015) ainda classificam os sensores de acordo com a origem da fonte de energia, podendo ser eles passivos ou ativos:

- Sensores Passivos: sensores que medem a radiação refletida e/ou emitida pelos alvos, que provém de uma fonte externa. São denominados de sensores passivos, porque

eles não possuem radiação própria, isto é, dependem de uma fonte de iluminação externa. Alguns exemplos incluem o sol, câmera e filmadora fotográfica sem flash.

- **Sensores Ativos:** são sensores que possuem uma fonte de radiação própria, isto é, não dependem de uma fonte externa para irradiar o alvo. Neste caso, o sensor emite um fluxo de radiação em determinada faixa espectral que interage com os alvos na superfície da Terra e a parte que é refletida é, então, captada pelo sensor. Exemplos disso são os radares, lasers e radiômetros de micro-onda.

Existem quatro tipos de resolução que descrevem as características das imagens, sendo elas: resolução espacial, resolução espectral, resolução radiométrica e resolução temporal (Câmara *et al*, 2001; Fitz, 2008; Jensen, 2010; Meneses & Almeida, 2012; Tôsto, 2014).

- **Resolução Espacial:**

A resolução espacial é uma medida do menor detalhe discernível em uma imagem. Quantitativamente, a resolução espacial pode ser expressa em várias formas, sendo que as mais comuns são pares de linha por unidade de distância e pontos (*pixels*) por unidade de distância.

Para que um objeto possa ser detectado, o tamanho deste deve ser, no mínimo, igual ou maior do que o tamanho do elemento de resolução no terreno, ou seja, da resolução espacial. Por exemplo, se uma casa tem 20 m x 20 m de tamanho, a resolução espacial da imagem deveria ser, no mínimo, de 20 metros para que essa casa possa ser identificada na imagem. Alguns exemplos de diferentes resoluções espaciais podem ser vistos na Figura 3.7.



Figura 3.7 – Da esquerda para a direita, imagens dos satélites, Landsat com resolução espacial de 30m, Spot com 10 m e Ikonos com 1 m, de uma porção do lago Paranoá de Brasília. (Meneses & Almeida, 2012)

- **Resolução Espectral:**

A resolução espectral envolve pelo menos três parâmetros de medida: i) o número de bandas que o sensor possui; ii) a largura em comprimento de onda das bandas; e iii) as posições que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético (Figura 3.8):

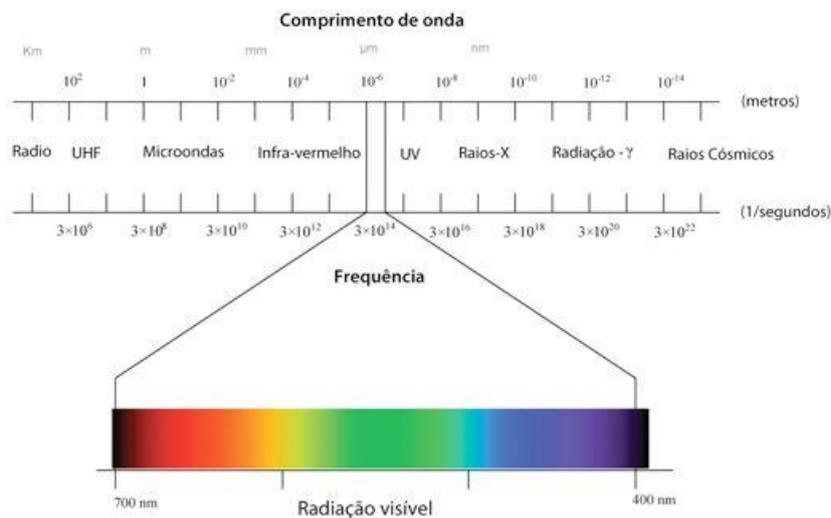


Figura 3.8 – Espectro da radiação eletromagnética (disponível em: e-escola.tecnico.ulisboa.pt)

Um sensor tem melhor resolução espectral se ele possui maior número de bandas situadas em diferentes regiões espectrais e com larguras estreitas de comprimentos de onda. Essa necessidade é devido às diferenças relativas de reflectância entre os materiais da superfície da terra, que permitem distinguir um material do outro, em determinados comprimentos de onda.

Quanto à largura da banda, ela deve ser dimensionada em concordância com as larguras das feições de absorção exibidas pelos espectros de reflectância de cada material. As feições de absorções são identificadores de composições dos tipos de rochas, solos, vegetação e água, e normalmente, são da ordem de 10 a 20 nm.

- **Resolução Radiométrica:**

É a medida pelos detectores da intensidade de radiância da área de cada pixel unitário. Quanto maior a resolução radiométrica, maior será a capacidade do detector para medir as diferenças de intensidades dos níveis de radiância. Ela define o número de níveis de radiância que o detector pode discriminar.

Em função da intensidade da radiação de entrada no sensor, a resposta de saída dos detectores é convertida eletronicamente em um número digital discreto. Também se dá o nome de

quantização à medida da resolução radiométrica. A quantização do sinal é medida pelo intervalo de número de valores digitais usados para expressar os valores de radiância medidos pelo detector. A quantização é normalmente expressa em termos de números de dígitos binários (*bits*). Quanto maior é a quantização, maior será a qualidade visual da imagem (Figura 3.9).

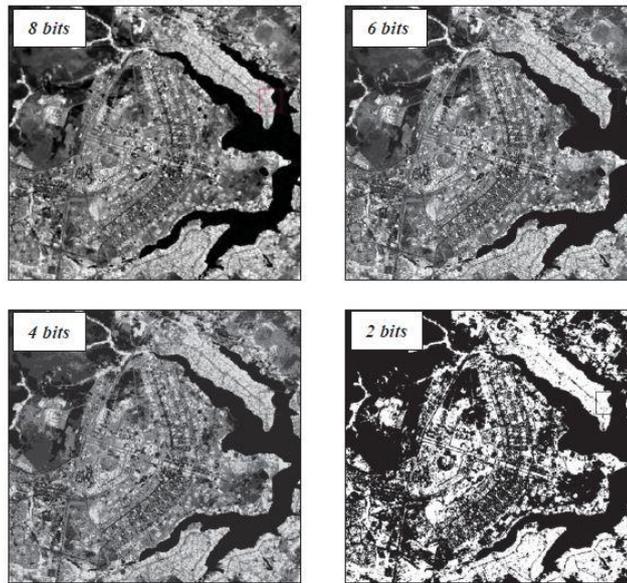


Figura 3.9 – Imagens com diferentes resoluções radiométricas (Meneses & Almeida, 2012)

- **Resolução Temporal:**

Refere-se à frequência que o sensor revisita uma área e obtém imagens periódicas ao longo de sua vida útil. Isso só é possível porque os satélites de sensoriamento remoto executam uma órbita heliosíncrona, que é um caso particular de uma órbita semipolar. O plano de órbita é sempre fixo e ortogonal ao sentido de rotação da Terra. Assim, o satélite passa sobre o mesmo ponto da superfície da Terra na mesma hora. Orbitam com uma inclinação em relação ao equador de 97° a 98° a uma altitude nominal próxima de 550 a 900 km.

Um exemplo que pode ser analisado é o satélite Landsat. Sua órbita cobre uma faixa no terreno de 185 km de largura. As órbitas tomadas no mesmo dia se distanciam entre si de 2.875 km, sendo necessários 16 dias para concluir o recobrimento total do globo. O princípio é o mesmo para qualquer outro satélite. O que irá variar é a resolução temporal do imageamento, pois cada sensor imageia faixas no terreno de larguras diferentes.

A resolução temporal é fundamental para acompanhar ou detectar a evolução ou mudanças que ocorrem na Terra, principalmente para alvos mais dinâmicos, como o ciclo fenológico

de culturas, desmatamentos, desastres ambientais, tendo forte impacto no monitoramento ambiental.

3.1.2. Sistema de Informações Geográficas (GIS)

O termo Sistemas de Informação Geográfica (GIS) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, interrelacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum - a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num GIS devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica (Câmara *et al.* 2001).

De modo geral, em um GIS pode-se fazer aquisição e edição de dados bem como o seu gerenciamento por meio de um banco de dados. Pode-se também realizar análises geográficas de dados e representá-los da forma que se julgar ser adequada. As funções disponíveis em um GIS se adequam às necessidades do usuário, tendo-se, então, diferentes tipos de GIS com as características para o qual for projetado.

Um GIS apresenta mecanismos que combinam informações por meio de algoritmos de manipulação e análise de dados, bem como a possibilidade de consulta, visualização e plotagem do conteúdo da base de dados que foi georreferenciado. Em uma única base de dados pode-se inserir e integrar informações espaciais que provenham de dados cartográficos, dados censitários, cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.

Um GIS é arquitetado de acordo com a Figura 3.10, que é composto pela interface do GIS com o usuário, a entrada e integração de dados, consulta e análise espacial, visualização e plotagem de dados, a gerência de dados e o banco de dados que está sendo utilizado.

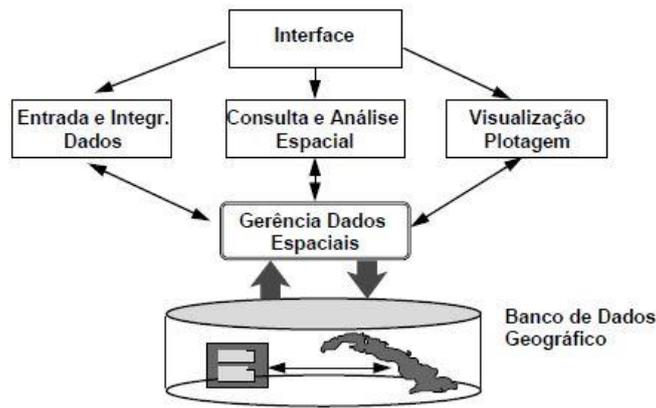


Figura 3.10 – Estrutura Geral de um GIS (Câmara *et al.*, 2001)

Uma importante ferramenta GIS é o *software* ArcGIS. O ArcGIS é um *software* da empresa ESRI, uma empresa americana especializada em soluções para a área de informações geográficas. O ArcGIS se baseia na localização espacial para os mais diversos tipos de análises. As informações adquiridas podem ser compartilhadas com outras pessoas por meio de aplicativos, mapas e relatórios (ESRI, 2021).

De acordo com a ESRI, algumas análises do ArcGIS incluem:

- **Análise Espacial:** é possível a integração de dados no ArcGIS com dados próprios ou dados geográficos globais da própria ESRI. Com os dados é possível a elaboração de mapas e análise de dados, análise do terreno geográfico utilizado e os objetos físicos que os compõem. Pode-se identificar padrões nos dados e se fazer modelos preditivos em função dos dados coletados e analisados.
- **Imageamento e Sensoriamento Remoto:** com imagens próprias ou do próprio ArcGIS, pode-se realizar análise e exploração dos dados geospaciais utilizados, como por exemplo, cobertura do uso do solo, objetos e feições da Terra, tanto instantaneamente, quanto num período comparativo. Pode-se criar mapas com as imagens e dados analisados, como por exemplo, modelos digitais de elevação, malhas 3D, mapas topográficos, mapas de temperatura etc.
- **Gestão de Dados:** o ArcGIS possui um conjunto completo de ferramentas que fornecem flexibilidade para armazenar, editar e gerir dados de forma correlata com os projetos que estão sendo executados. Permite acessar, usar e armazenar dados GIS usando o método que mais se encaixa e otimiza para o projeto em execução. Os dados podem ser armazenados e trabalhados da seguinte forma:
 - ✓ Arquivos individuais: dados trabalhados individualmente.

- ✓ Base de dados: pode-se fazer conexões diretas com vários sistemas de gerenciamento de banco de dados relacional (RDBMS) e grandes bancos de dados.
- ✓ *Geodatabases*: armazena dados GIS em um repositório central facilitando o acesso e a gestão. Pode ser utilizado no ambiente desktop, servidor ou em aplicativos móveis.
- ✓ *Cloud*: pode-se armazenar dados na nuvem ESRI com o ArcGIS Online ou em sua própria infraestrutura de nuvem pessoal. O ArcGIS pode ser implantado em algumas plataformas de nuvem, como por exemplo, Amazon Web Services, Microsoft Azure.

3.2. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

3.2.1. Conceitos e características

O BIM (*Building Information Modeling*) é um processo ou uma metodologia aplicada à construção virtual de um empreendimento, uma vez que possibilita utilizar o modelo virtual do empreendimento para a realização de diversas análises, antes mesmo de sua construção física. Esse processo reduz o custo da construção do empreendimento, pois permite antecipar eventuais incompatibilidades no projeto, melhorar o planejamento e a valoração de sua execução, além de fornecer subsídios para as etapas de operação e manutenção (Cardoso, 2020).

De acordo com Eastman *et al.* (2014), o BIM é uma metodologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção, sendo esses modelos caracterizados por:

- **Componentes de construção:** são representações digitais dos objetos e podem ser associados a atributos (gráficos e dados) computáveis e regras paramétricas.
- **Componentes atrelados a dados que descrevem seu comportamento:** são necessários para análises e processos de trabalho, como por exemplo, análises energéticas.
- **Dados consistentes e não redundantes:** toda modificação nos dados dos componentes pode ser observada em sua totalidade.
- **Dados coordenados:** um modelo pode ser visualizado de maneira coordenada.

Na Arquitetura, Construção Civil e Engenharia, a metodologia BIM serve como uma ferramenta que auxilia na simulação do desenvolvimento de uma cidade, município, bairro; como uma obra irá se comportar diante de variações climáticas, como será a questão energética do empreendimento, o material gasto na execução do empreendimento entre outros. A metodologia BIM permite, então, simular todo o ciclo de vida de um empreendimento, desde sua fase de projeto, execução e depois de seu encerramento. Com o uso do BIM, torna-se possível análises de viabilidade econômica, ambiental, urbanística e social dos empreendimentos, desde curto a longo prazo.

3.2.2. Usos BIM

O *BIMe Initiative* formulou um documento de usos BIM de acordo com Succar (2009), que fornece uma lista com os diversos usos BIM que podem ser aplicados ao ciclo de vida de um empreendimento. Alguns dos usos descritos são:

Captura e representação: modelo de uso que permite a investigação inicial de possibilidades de projeto e requisitos espaciais. Ocorre durante a subfase do Projeto Conceitual e pode utilizar Ferramentas de Análise Espacial especializadas, como por exemplo, documentação 2D, detalhamento 3D, fotogrametria, comunicação visual e agrimensura.

Planejamento e design: uso de ferramentas de software e equipamentos especializados para capturar e representar espaços e ambientes físicos. Contemplam etapas como: conceituação, planejamento da construção e demolição, planejamento de operações, seleção e especificação etc.

Simulação e quantificação: uso de ferramentas de softwares para realizar vários tipos de simulações e estimativas baseadas em modelos, como por exemplo, análise de acessibilidade, análise acústica, estimativa de custo, uso de energia, detecção de conflitos dentre outros.

Construção e fabricação: usos de modelos BIM para fins específicos de construção e fabricação, como por exemplo, impressões 3D, logística de construção, pré-fabricados arquitetônicos.

Operação e manutenção: desenho de modelos para desenhar, operar e manter uma instalação. Alguns exemplos incluem: manutenção de ativos, construções automatizadas, utilização em tempo real dentre outros.

Vinculação e extensão: Vinculação de modelos BIM e seus componentes a outros bancos de dados, como por exemplo, bancos de dados GIS.

3.2.3. Modelagem Paramétrica

Sendo desenvolvida nos anos 1980, a modelagem paramétrica não representa objetos com geometria e propriedades fixas, ao invés disso, ela representa objetos por parâmetros e regras que determinam a geometria, assim como algumas propriedades e características não geométricas (Eastman *et al.* 2014). Os objetos de um projeto podem ser alterados automaticamente a depender dos seus parâmetros, das regras de cada objeto e do contexto em que se encontram.

A depender do usuário, objetos paramétricos mais complexos podem ser modelados de acordo com as necessidades do projeto. Os atributos de cada objeto se fazem necessários para se entender o comportamento de cada um desses objetos frente a diferentes interfaces e análises, podendo-se estimar seus custos e os mais diversos tipos de aplicações.

Em um projeto paramétrico, não se projeta objetos isolados, como por exemplo, uma parede ou uma porta, ao invés disso, projeta-se uma família ou uma classe de elementos, com regras que controlam os parâmetros sobre os quais cada elemento do projeto irá variar, sendo que cada elemento terá seu próprio modo de variação a depender da situação. Pode-se definir um objeto, por exemplo, em função dos seus ângulos, parâmetros relacionados com distâncias, entre outros.

Um exemplo que pode ser examinado, por exemplo, é o de modelagem de um eixo ferroviário ou rodoviário. Ao se projetar um eixo, todas as condições do projeto são possíveis de edição pelo projetista, desde o comprimento do eixo até a declividade em que a rodovia ou ferrovia irá operar. Ao se atualizar o comprimento ou largura desse eixo, todo o restante do projeto sofre alterações, desde o volume a ser escavado ou aterrado, até o quantitativo de material necessário, por exemplo, para a construção dos trilhos na ferrovia, de material de pavimentação e diversos outros elementos agregadores ao projeto. Todas essas análises e atualizações são realizadas, por diversas vezes, de uma maneira rápida e eficiente, e as informações transmitidas para as equipes de projeto.

3.2.4. Ferramentas BIM

Ao se utilizar modelagens paramétricas, se faz necessário algumas ferramentas BIM de criação e edição que contenham diferentes capacidades. As principais capacidades que devem ser observadas, de acordo com Eastman *et al.* (2014), são as seguintes:

- Interface do usuário: ferramentas que sejam intuitivas e de fácil aprendizado. Menus que sejam consistentes com suas funcionalidades e que sigam um determinado padrão, botões de ajuda ao usuário em tempo real dentre outros.
- Geração de desenhos: visualização eficiente e rápida nos desenhos do projeto à medida que for feita qualquer modificação.
- Desenvolvimento de objetos paramétricos personalizados: ferramentas de fácil manuseio na modelagem de objetos paramétricos que sejam conectados de forma eficiente à interface usuário.
- Escalabilidade: habilidade do sistema em combinar projetos de grande escala à modelagem com alto nível de detalhamento. Habilidade de um sistema responder bem independentemente das informações em escala 3D que ele contenha.
- Interoperabilidade: os modelos que são gerados, em grande parte, são para compartilhamento em diversos tipos de aplicações. O BIM possibilita a interface entre diferentes tipos de produtos através de padrões abertos de intercâmbio de dados.
- Ambiente multiusuário: ambientes que permitam o compartilhamento entre os mesmos integrantes da equipe de um projeto. Edições podem ser feitas por múltiplos usuários dentro de um único projeto.

A escolha entre determinado tipo de *software* irá depender das funcionalidades oferecidas, na simplicidade de aplicação, execução, na possibilidade de se trabalhar com diferentes materiais e os produtos entregados.

A seguir são citados alguns dos principais *softwares* das fabricantes AUTODESK e GRAPHISOFT com foco na modelagem BIM. São alguns dos principais softwares utilizados pela Engenharia e Arquitetura direcionada à infraestrutura.

- **AUTODESK**

Civil 3D: é um *software* desenvolvido para atender às demandas e necessidades da área civil. Suas ferramentas auxiliam os projetistas nas tomadas de decisões e projetos em áreas como terraplanagem, infraestrutura, drenagem, loteamento, projetos geométricos, transporte etc. Permite um projeto inteligente e baseado em modelos, conectado à produção de plantas,

integração e automação de projetos, simplificação, análise e otimização e dá suporte ao BIM durante todo o ciclo de vida do projeto (AUTODESK, 2022).

Infraworks: é uma ferramenta que proporciona a modificação de projetos de infraestrutura civil em 3D. Além disso, possibilita o gerenciamento de modelos de infraestrutura em grande escala, tendo como base diversos bancos de dados já existente, prevendo de forma real como o projeto vai funcionar no ambiente já definido (AUTODESK, 2022).

Revit: Revit Architecture: possui ferramentas para esboço, criação de tabelas, anotação e produção de documentos. Possibilita fluxos de trabalho em BIM e inclui ferramentas especializadas e automatizadas para cada disciplina de AEC. (AUTODESK, 2002).

- **GRAPHISOFT**

ArchiCad: suas análises incluem desde a modelagem e animação de curvas até interfaces de energia e sustentabilidade. A modelagem pode ser feita em qualquer nível de detalhe – do modelo volumétrico conceitual ao Modelo de Informação da Construção. Pode-se começar com um elemento básico e se adicionar detalhes à medida que o design evolui. Podem ser usadas ferramentas que representam elementos de construção reais como paredes, vigas e lajes (GRAPHISOFT, 2022).

3.2.5. Interoperabilidade

A interoperabilidade representa a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos tipos de especialistas contribuam para o trabalho em questão (Eastman *et al.* 2014). É regida por princípios, padrões, diretrizes e às vezes modelos que os profissionais devem aplicar de modo a se obter os componentes e seus arranjos em ordem adequada para se alcançar os objetivos e fluxos desejados. A interoperabilidade independe da localização e pode ocorrer dentro de uma mesma organização ou com diferentes organizações, em qualquer hora e a qualquer momento.

Na interoperabilidade de dados, um dos maiores dificultadores é a falta de padrões de dados para compartilhamento, visto que, cada *software* tem seu próprio formato de arquivo e, à medida que um projeto se desenvolve, se torna mais complexo o compartilhamento de forma integral de toda a informação relativa ao projeto entre os diferentes *softwares* e projetistas envolvidos.

Pensando-se na integração de sistemas BIM, a buildingSMART International criou o IFC (*Industry Foundation Classes*), um padrão aberto para modelos BIM desenvolvido para a

troca e compartilhamento de dados entre aplicativos desenvolvidos por diferentes fornecedores de *software* e com uma maior flexibilização. Os objetos IFC são utilizados principalmente pela indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), através do compartilhamento de elementos utilizados na construção, como por exemplo, paredes e portas; elementos estruturais, como por exemplo, vigas e pilares; e elementos de edifícios, como partes hidráulicas e elétricas.

Apesar de existir o IFC, a interoperabilidade entre os diferentes *softwares* ainda é um grande desafio. Não são todos os *softwares* BIM que utilizam o formato IFC, logo, a interoperabilidade não é possível entre todos os *softwares*. Para projetos de infraestrutura o banco de dados de objetos ainda é muito limitado e muitas vezes os objetos disponíveis não atendem às especificações do projeto. Na migração de um *software* para outro podem existir perdas ou dificuldades na interpretação das informações, problemas que podem ser minimizados ao se trabalhar com *softwares* da mesma empresa, como por exemplo, os *softwares* da AUTODESK (Civil 3D e InRoads). Outro problema que pode ocorrer é a alteração no tamanho do arquivo ao se exportar de um *software* para outro (Bazjanack *et al.*, 2008; Andrade & Ruschel, 2009; Lai & Deng, 2018).

3.2.5.1. Interoperabilidade BIM e GIS

A integração entre o BIM e GIS permite a gestão eficaz da informação em diversas etapas do ciclo de vida de um projeto, ou seja, planejamento, projeto, construção, operação e manutenção. As informações em qualquer escala espacial e temporal podem estar disponíveis nesse sistema para diferentes formulários. O gerenciamento eficaz de informações heterogêneas de diferentes fontes também pode fornecer suportes essenciais para a tomada de decisão (Liu *et al.* 2017).

As informações de um GIS podem facilitar aplicações BIM, como por exemplo, a seleção do local e o layout de materiais no local, enquanto os modelos BIM podem ajudar a gerar modelos detalhados em um GIS e levar a uma maior utilidade no gerenciamento de projetos (Wang *et al.* 2019).

De acordo com a AUTODESK, as vantagens de ter dados GIS e de projeto mais integrados incluem:

- Melhora da coordenação de solicitações de dados GIS;

- Aprimoramento dos fluxos de trabalho de otimização de projeto;
- Atualizações de dados de campo no escritório mais eficientes;
- Melhor consistência entre GIS e dados de projeto.

Com a integração desses dados, poder-se-á tomar melhores decisões nas fases iniciais de um planejamento, que acarretará impactos sociais, ambientais e econômicos menores. Pretende-se, também, ao se trabalhar com o GIS e o BIM de forma integrada, a disposição de projetos na nuvem, o que implicará em profissionais trabalhando de forma conjunta independente de sua localização e sem a necessidade de se estar constantemente convertendo as informações geradas (AUTODESK, 2019)

3.2.5.2. BIM e projetos de Infraestrutura

Infraestrutura pode ser definido como um conjunto de condições necessárias para viabilizar a produção futura de bens e serviços e, sobretudo, o fluxo de mercadorias, dados, matérias-primas e mão de obra, que permite o funcionamento das transações econômicas em determinado espaço geográfico (Oliveira, 2018).

De acordo com Penn & Parker (2018), os principais setores de infraestrutura podem ser listados como:

1. Sistemas de transporte (estradas, rodovias, ferrovias, pontes, túneis, canais, comportas, portos, aeroportos, transporte coletivo e hidrovias)
2. Estruturas (incluindo edificações, pontes, barragens e diques)
3. Sistemas de abastecimento e tratamento de água
4. Sistemas de tratamento e condução de águas residuais
5. Sistemas de gestão de resíduos sólidos (coleta, reutilização, reciclagem e disposição de resíduos)
6. Sistemas de gestão de resíduos perigosos
7. Sistemas de gestão de águas pluviais
8. Parques, escolas, e outras instalações governamentais
9. Sistemas de energia (produção de energia, transmissão e distribuição)
10. Sistemas de comunicação (telefone, computador etc.)

Visando um maior desenvolvimento na indústria de construção, em 2019 foi instituído o Decreto 9.983, que dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* – BIM BR, visando à promoção de um ambiente adequado ao seu investimento e sua difusão em todo o país. Com a difusão do BIM, o governo federal espera maiores ganhos de produtividade no setor de construção civil, ganhos de qualidade nas obras públicas, redução de aditivos contratuais em projetos, reduções nos custos de vida de empreendimentos e diversos outros objetivos.

Com o decreto instituído pelo Governo Federal, espera-se um maior investimento na disseminação da metodologia BIM, não só para a área de edificações, mas principalmente na área de infraestrutura, já que é uma área de potenciais impactos na sociedade e cuja implementação promoverá um elevado desenvolvimento social e econômico.

A complexidade de um modelo BIM é decorrente da quantidade de objetos presentes no modelo, bem como a variabilidade de atributos constituintes de cada um dos objetos. Quanto maior a quantidade tanto de objetos quanto de atributos, maior a complexidade do modelo BIM estudado. Quando comparados a modelos de edificações, os modelos de estruturas de transporte têm complexidade reduzida (Corrêa *et al.* 2019).

Côrrea *et al.* (2019), apresenta uma comparação das principais diferenças entre BIM para projetos de infraestrutura e BIM para edificações (Figura 3.11).

INFRAESTRUTURA	BIM	EDIFICAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> • Menor complexidade modelo; • Poucos softwares modeladores; • Cliente principal é público; • Baixa interoperabilidade; • BIM no início; • Baixo número de pesquisas; • Cultura projetista e construtor; 		<ul style="list-style-type: none"> • Maior complexidade modelo; • Mais softwares modeladores; • Cliente principal é privado; • Razoável interoperabilidade; • BIM já maduro; • Diversas pesquisas; • Alavancado pelos projetistas;

Figura 3.11 – Tabela comparativa Infraestrutura x Edificações (BIM) (Côrrea *et al.* 2019)

4. METODOLOGIA

4.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para o presente trabalho não se desejava escolher uma área de um modo aleatório, sendo assim, foi feita uma pesquisa sobre as ferrovias já construídas no Brasil e algumas que ainda estão em processo de construção. O processo de pesquisa das ferrovias foi feito no site da Valec Engenharia Construções e Ferrovias S.A. (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Mapa das Ferrovias Brasileiras (modificado de Valec)

A VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. é uma empresa pública, sob a forma de sociedade por ações, vinculada ao Ministério da Infraestrutura. É organizada sob a forma de sociedade anônima de capital fechado, controlada pela União e cujo objetivo principal é a construção e exploração da malha ferroviária brasileira.

Um projeto que chamou atenção foi o da Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL) que ainda está em processo de construção. Segundo a Valec, terá um comprimento aproximado

de 1.527 km de extensão e fará a ligação do futuro porto de Ilhéus/BA até Figueirópolis/TO, sendo que em Figueirópolis, a ferrovia se conectará à Ferrovia de Integração Norte-Sul (Figura 4.2).



Figura 4.2 – Trecho da FIOL (modificado de Valec)

De acordo com a Valec, a proposta de construção da FIOL é proporcionar um modo de transporte mais econômico para o transporte de cargas de longas distâncias e que promova uma ligação com a malha ferroviária brasileira. Pretende-se, então, um escoamento da produção agrícola e da mineração por meio do porto que será construído em Ilhéus.

A FIOL está dividida em 3 trechos principais denominados FIOL I, FIOL II e FIOL III. O trecho FIOL I liga Ilhéus até Caetité, tem 537 km de extensão e está subdividido nos lotes 01F, 02F, 02FA, 03F e 04F. O trecho da FIOL II liga Caetité/BA até Barreiras/BA, com uma extensão de 485,4 km e é subdividido nos lotes 05F, 05FA, 06F e 07F em. A FIOL III ligará Barreiras até Figueirópolis.

A área escolhida para execução deste trabalho se baseou no trecho da FIOL III que ainda será construído (Figura 4.3). Com o auxílio de um mapa disponibilizado no site da Valec, pôde-se visualizar qual será o traçado da ferrovia da FIOL III, selecionando-se uma área que será próxima ao trecho final da ferrovia, na cidade de Figueirópolis (Figura 4.4).



Figura 4.3 – Trecho que será construída da FIOL III (Valec, 2020)

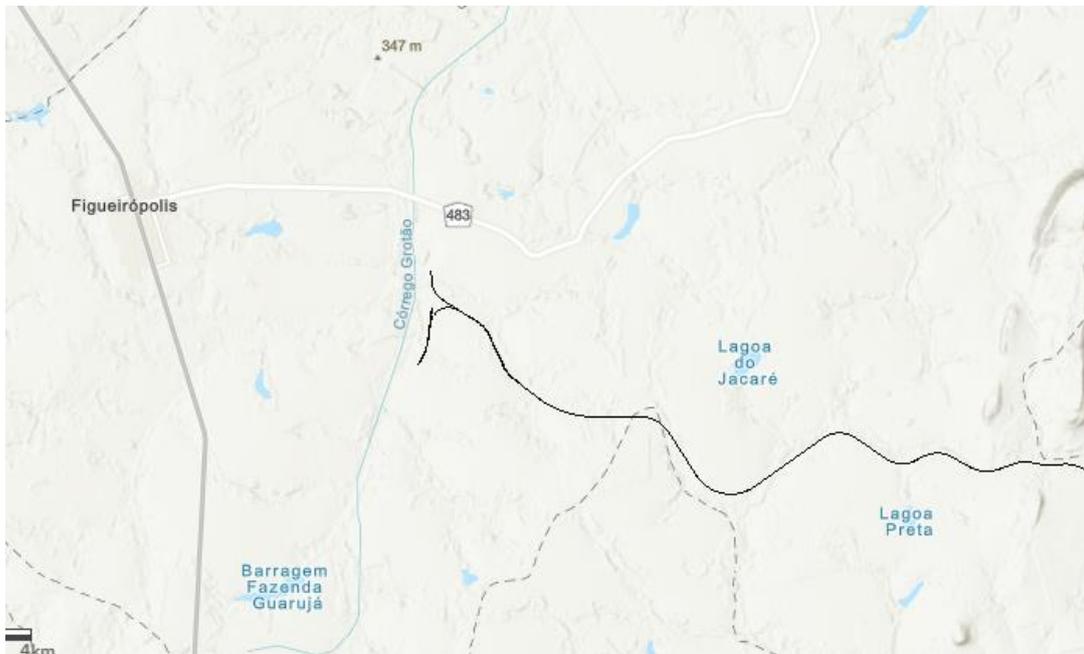


Figura 4.4 – Trecho final da FIOL III (modificado de Valec, 2020)

Com o auxílio do Google Earth, pôde-se visualizar a área escolhida e algumas de suas características, como por exemplo, os corpos d'água existentes e estradas locais, de modo a se ter uma orientação de onde poderia ser modelado o trecho ferroviário. Foram inseridos alguns marcadores em pontos específicos para servirem como ponto de referência, como por exemplo, o marcador do Córrego do Grotão e Lagoa do Jacaré (Figura 4.5).

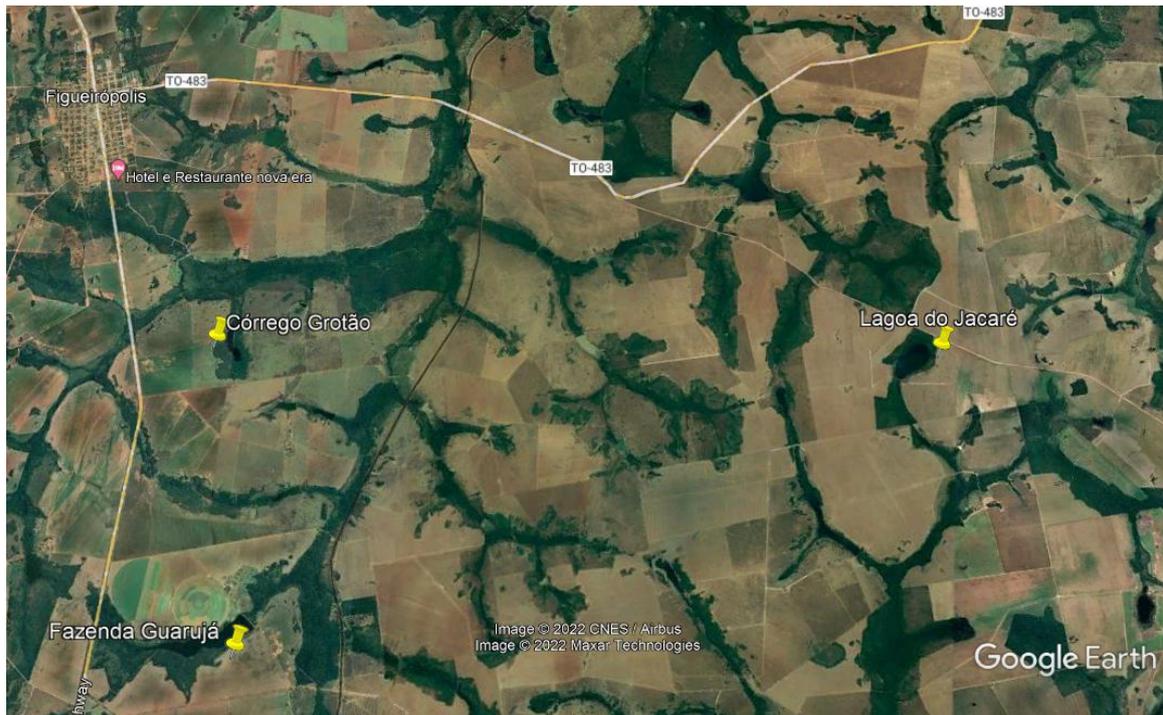


Figura 4.5 – Área selecionada para modelagem da linha férrea (Google Earth Pro, 2022)

Outro ponto levado em consideração foi o Zoneamento Ecológico- Econômico de Tocantins. Como pode ser observado na Figura 4.7, o cenário futuro proposto é a criação do eixo Ferroviário e a área escolhida para este trabalho se encontra numa área de dinamização econômica, não estando próxima de Unidades de Conservação ou de Terras indígenas.

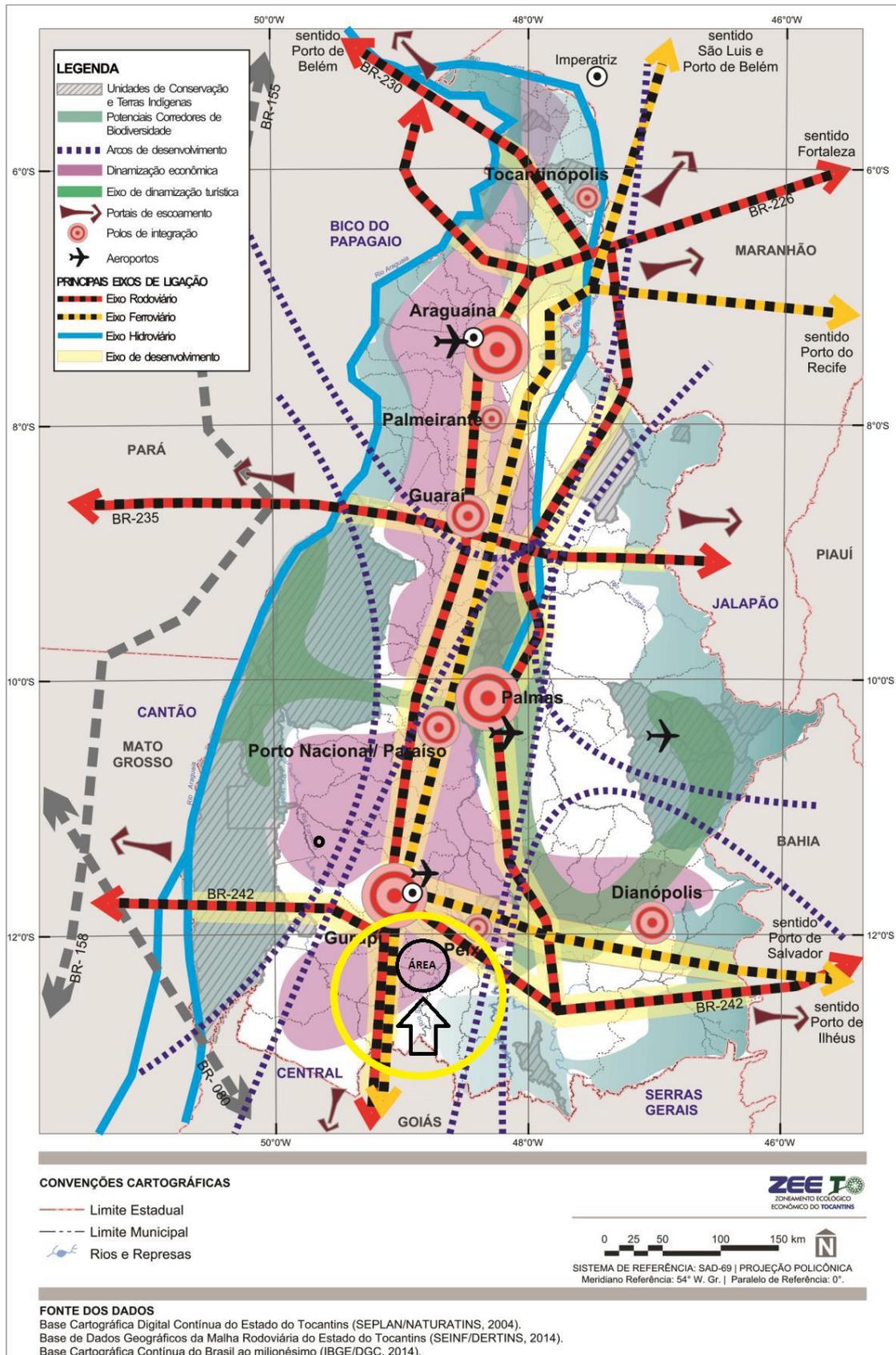


Figura 4.6 – Cenário futuro proposto pelo Zoneamento Ecológico-Econômico de Tocantins (modificado de ZEE-TO, 2017)

4.2. MODELAGEM DE TRECHO FERROVIÁRIO

Um projeto ferroviário envolve diversas disciplinas e profissionais de diferentes áreas, como por exemplo, geólogos, engenheiros civis, arquitetos, construtores, dentre outros. Na construção de uma ferrovia é necessário, por exemplo, um estudo topográfico, pois dependendo da variação topográfica, será necessário um elevado trabalho de corte e aterro de modo a se cumprir os valores de declividade previstos em norma. Também são realizados estudos de interferência, em que as interferências podem vir na forma de um rio, uma cidade, uma estrada etc. Estudos ambientais também são extremamente importantes, pois uma ferrovia não pode cruzar, por exemplo, uma área de proteção ambiental. Na Figura 4.7 estão elencados os diversos tipos de estudos e de projetos que devem ser executados na construção de uma ferrovia.

Disciplinas de Projetos Ferroviários	
Estudos Ferroviários	Projeto de OAE (Pontes, Viadutos, ...)
Estudos Topográficos	Projeto de Obras Complementares
Estudos Geológicos e Geotécnicos	Projeto de Solução de Interferências
Estudos Hidrológicos	Projeto de Estabilização de Taludes e Encostas
Estudos de Apoio Ambiental	Projeto de Túneis
Estudos de Interferências	Projeto de Pátios e Terminais
Estudos de Traçado	Projeto de Sistemas e Sinalização Ferroviária
Estudos de Simulação Operacional	Projeto de Iluminação
Estudos de Desapropriação	Projeto de Paisagismo
Projeto de Superestrutura Ferroviária	Projeto de Desapropriação
Projeto Geométrico	Projeto de Infraestrutura Temporária (canteiros, ...)
Projeto de Terraplenagem	Planejamento da Construção
Projeto de Drenagem e OAC (bueiros, alas, ...)	Orçamento da Obra

Figura 4.7 – Disciplinas de Projetos Ferroviários (disponível em www.e-zigurat.com)

Neste trabalho foi realizado um breve estudo de interferências e estudo topográfico com o objetivo de se desenvolver um projeto geométrico e projeto de terraplanagem.

Importante ressaltar que a norma utilizada para o traçado das curvas horizontais e verticais foi a norma de Projeto geométrico - 80-EG-000A-17-0000 utilizada nos projetos da Valec.

4.2.1 Importação de curvas de nível

4.2.1.1. Importação de curvas de nível pelo ArcGIS

A princípio tentou-se a exportação de curvas de nível para o Civil 3D através de um projeto executado com um modelo digital de elevação (MDE) no ArcGIS. O MDE foi adquirido no site Earth Explorer da USGS (*United States Geological Survey*) e com um MDE da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). O USGS é o Serviço Geológico dos Estados

Unidos, uma instituição científica que se dedica a estudar os recursos naturais terrestres e a missão SRTM, é uma missão que realiza o levantamento topográfico de toda a superfície terrestre, com o objetivo de produzir um banco de dados digital de todo o planeta.

Para a exportação foi necessário a criação de um novo campo chamado Elevation na tabela de atributos das curvas de nível e a cópia dos valores de elevação contidos no campo Contour para o novo campo criado (Figura 4.8).

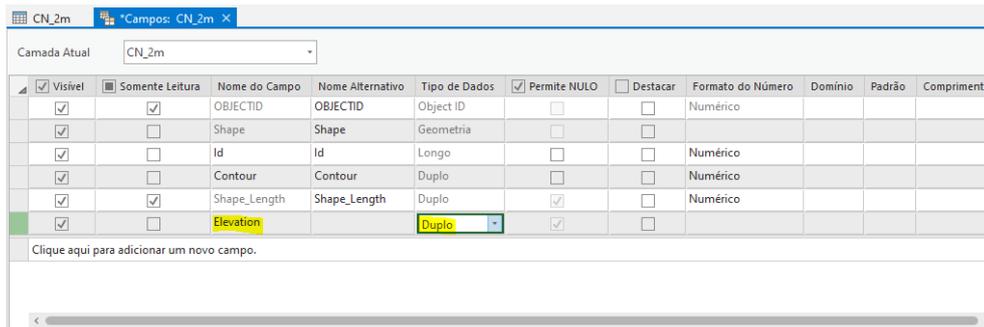


Figura 4.8 – Criação de novo campo na tabela de atributos

Para a cópia dos valores de Contour foi necessário a execução de um algoritmo com a ferramenta Calcular Campo (Figura 4.9), que igualaria o campo Contour ao campo Elevation.

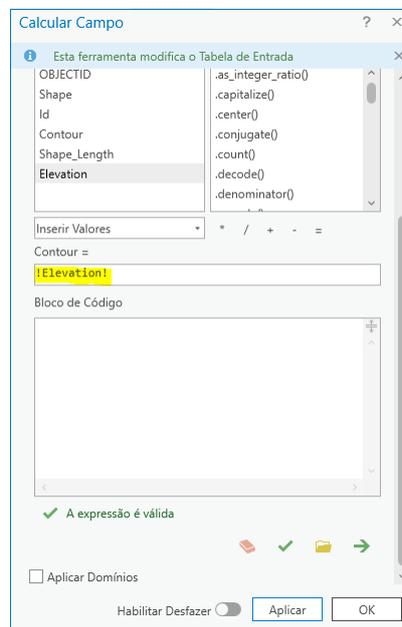


Figura 4.9 – Execução da ferramenta Calcular Campo

4.2.1.2. Importação de curvas de nível pelo Infracworks

A segunda tentativa de exportação foi pelo *software* Infracworks. No Infracworks utilizou-se a ferramenta Gerador de Modelo (Figura 4.10) para a criação de um modelo da área a ser trabalhada. O modelo gerado foi chamado de Ferrovia_TCC_Ayalla.



Figura 4.10 – Ferramenta de geração de modelo

O Gerador de modelo utiliza a nuvem para localizar camadas de dados e, em seguida, cria um modelo para uma área específica. Os dados globais do terreno estão disponíveis em resoluções de 10 e 30 metros, dependendo da localização geográfica da área de interesse. Entre -60° e $+60^{\circ}$ de latitude, são utilizados dados do SRTM com resolução de 30m, que são os disponibilizados para o Brasil (AUTODESK, 2022).

No Infracworks é possível se criar um modelo a partir da importação de um arquivo que contenha um polígono e é possível se desenhar um polígono ou retângulo. Neste trabalho optou-se por desenhar um polígono na área de interesse (Figura 4.11). O modelo foi criado com o sistema de coordenadas LL84 mas que posteriormente à sua criação foi alterado para o SIRGAS 2000 (Figura 4.12). Ao se gerar um modelo com as coordenadas SIRGAS 2000 o modelo gerado estava sendo criado sem as elevações.

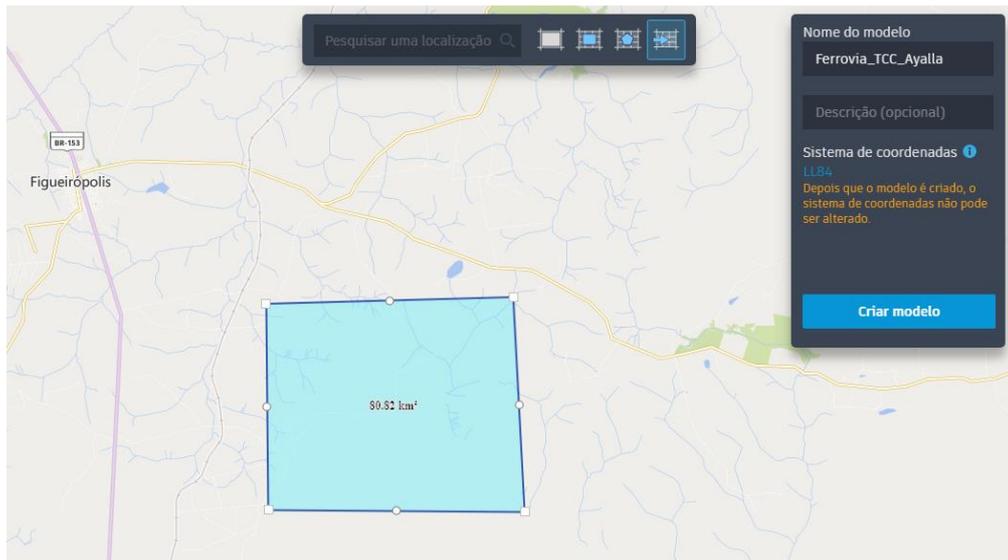


Figura 4.11 – Criação de polígono para geração de um novo modelo no Infratech

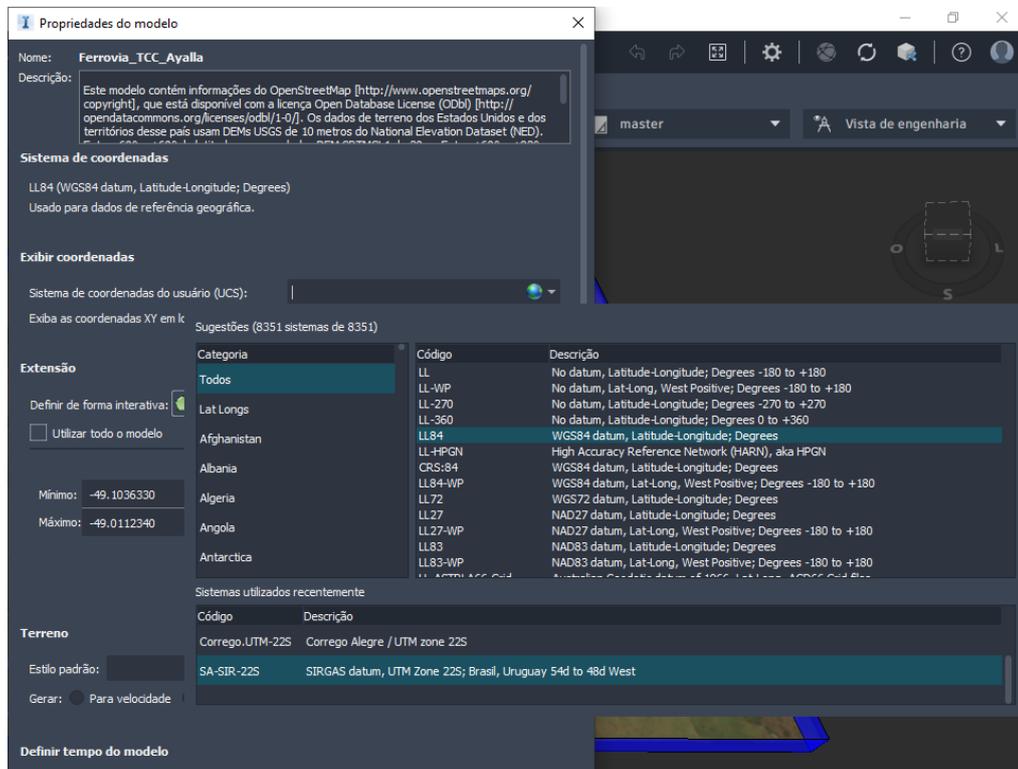


Figura 4.12 – Mudança no sistema de coordenadas de LL84 para SIRGAS 2000

O modelo da área gerado (Figura 4.13), foi exportado com o Datum SIRGAS 2000 e no formato IMX, que é um formato de conexão entre o Civil 3D e o Infratech. O modelo gerado é exportado no formato de superfície e é acompanhado das curvas de nível da área.

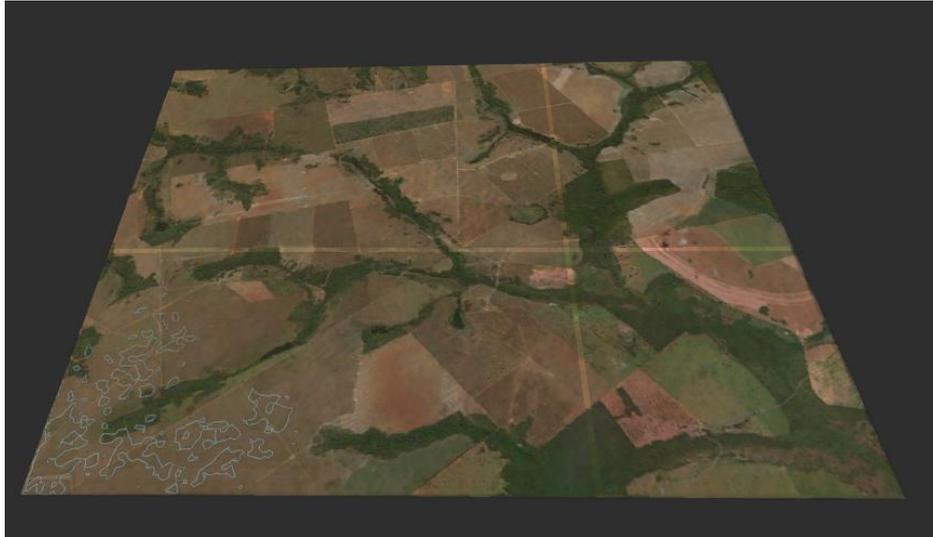


Figura 4.13 – Modelo Gerado pelo Infracworks

Posteriormente criou-se um projeto no Civil 3D com as coordenadas em SIRGAS 2000 e importou-se o modelo gerado no Infracworks. Ativou-se a ferramenta de mapas contida no Civil 3D para verificação se a exportação e importação do modelo foi feita da forma correta (Figura 4.14). A superfície gerada no Infracworks é do tipo grid.

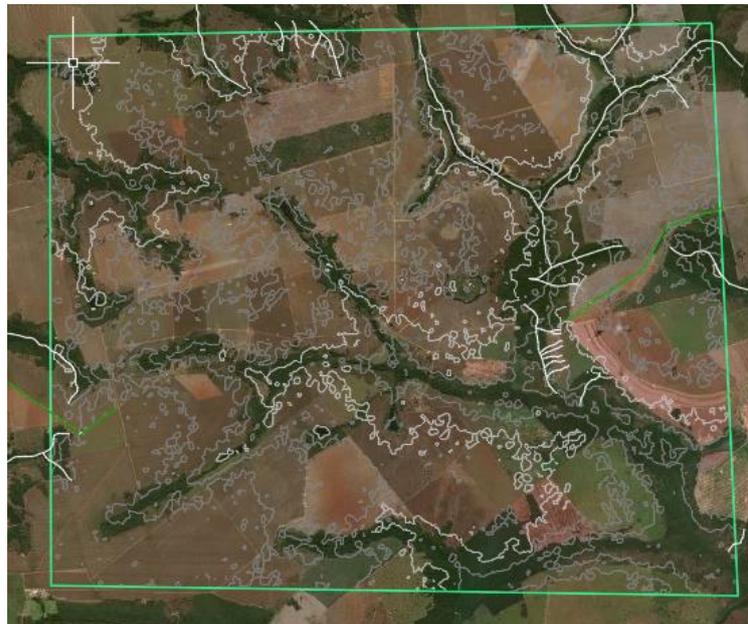


Figura 4.14 – Importação do modelo gerado no Infracworks para o Civil 3D

4.2.2. Criação de alinhamento ferroviário

Para a criação do alinhamento ferroviário utilizou-se a Ferramenta de Criação de alinhamento do Civil 3D (Figura 4.15). Na criação do alinhamento podem ser configurados

alguns parâmetros, como por exemplo, a marcação das legendas nas estacas e no alinhamento, bem como a configuração do tipo de eixo que será criado (Figura 4.16). O Eixo foi criado com o nome de Alinhamento_Ferrovia_Ayalla e utilizou-se um alinhamento do tipo diverso e uma opção de legenda cada 20 e 100 metros.

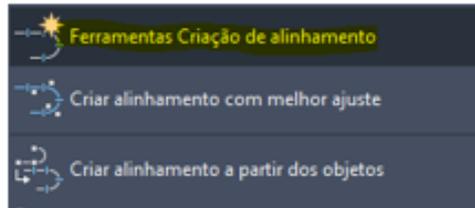


Figura 4.15 – Ferramenta de criação de alinhamento

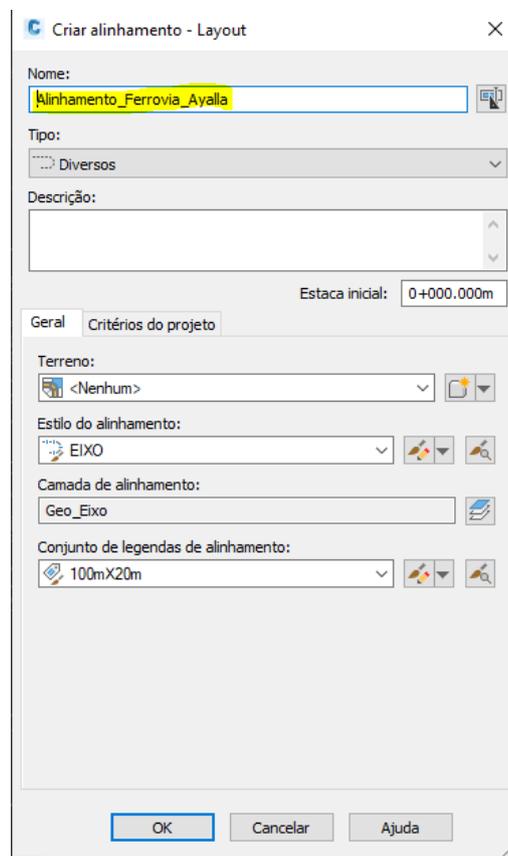


Figura 4.16 – Configurações da criação do eixo

No desenho do eixo, primeiramente é necessário o desenho de tangentes com a ferramenta Tangente-Tangente (sem curvas) (Figura 4.17).

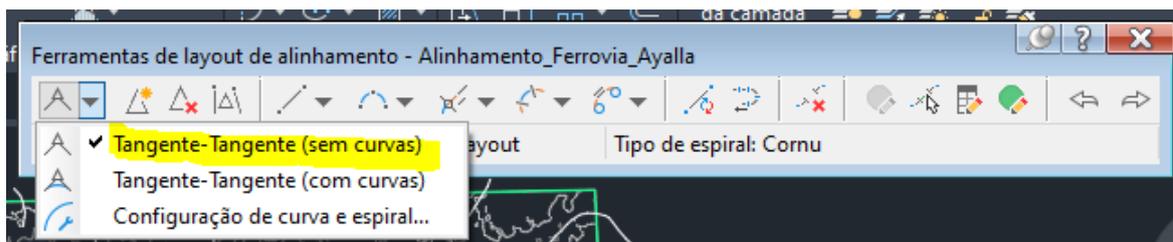


Figura 4.17 – Ferramenta de inserção de curvas

Após o desenho das tangentes, é necessário a inserção das curvas em cada uma dessas tangentes. Utilizou-se a Ferramenta de inserção de curvas Espiral-curva-espiral livre (entre duas entidades) e os valores de curvas adotados foram os descritos na norma de Projeto Geométrico que a Valec adota em seus projetos (Figura 4.18). Neste trabalho utilizou-se a curva de raio 491.141 com e seus respectivos parâmetros.

RAIO (m)	GRAU DA CURVA(G ₂₀)	Lc	COMPENSAÇÃO DE CURVA (%)
3437.752	0°20'	-	0.02
2291.838	0°30'	30	0.03
1718.883	0°40'	40	0.04
1375.111	0°50'	50	0.05
1145.930	1°00'	60	0.06
982.230	1°10'	70	0.07
859.456	1°20'	80	0.08
763.966	1°30'	90	0.09
687.574	1°40'	100	0.10
625.072	1°50'	110	0.11
572.987	2°00'	120	0.12
528.916	2°10'	130	0.13
491.141	2°20'	140	0.14
458.403	2°30'	150	0.15
429.757	2°40'	160	0.16
404.482	2°50'	170	0.17
382.016	3°00'	180	0.18
361.914	3°10'	190	0.19
343.823	3°20'	203	0.20

Figura 4.18 – Norma de projeto geométrico (modificado de Valec, 2011)

O resultado do alinhamento e da inserção de curvas pode ser visto na Figura 4.19. O alinhamento desenhado teve um comprimento total de 9.581,802 km (Figura 4.20).



Figura 4.19 – Resultado do alinhamento desenhado após a inserção das curvas

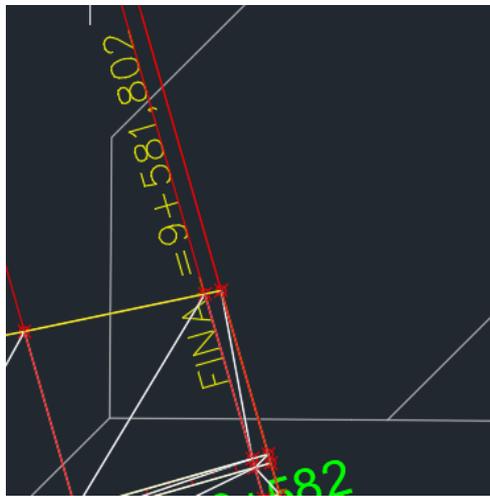


Figura 4.20 – Comprimento total do alinhamento desenhado

Importante destacar que a geometria real do eixo desenhado pela Valec é composta por muitíssimas curvas e que as curvas que foram desenhadas neste trabalho são simplificadas, desenhadas apenas para fins didáticos.

4.2.3. Criação do perfil de elevação do alinhamento desenhado

Para a criação do perfil de elevação, utilizou-se a ferramenta Criar perfil da superfície (Figura 4.21). A superfície utilizada foi a importada pelo modelo do Infracore e o alinhamento utilizado foi o Alinhamento_Ferrovia_Ayalla (Figura 4.22).

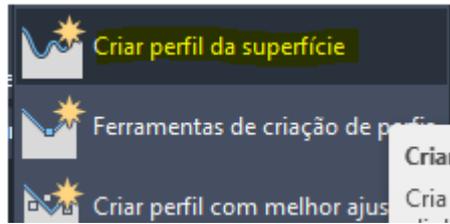


Figura 4.21 – Ferramenta de criação de perfil da superfície

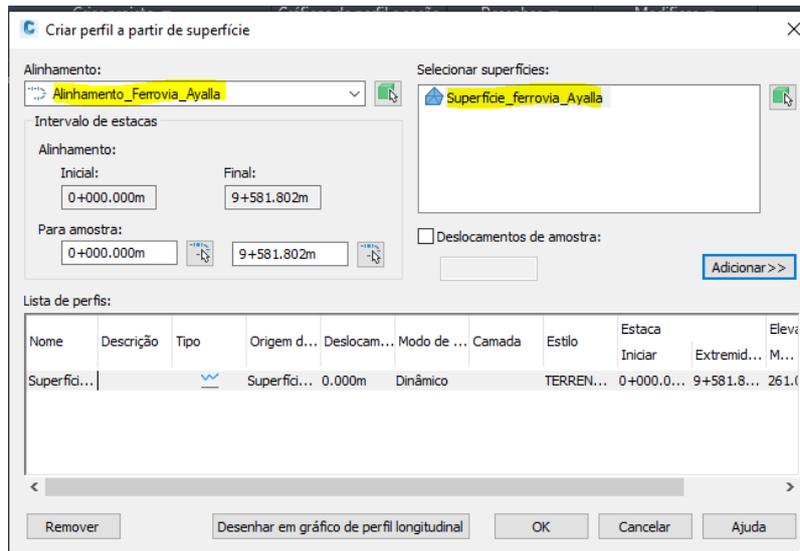


Figura 4.22 – Criação de perfil da superfície

Foi criado um perfil de elevação que englobou todo o comprimento do alinhamento desenhado. Esse comprimento poderia ter sido editado caso fosse desejado. Na Figura 4.23 é possível observar o desenho do perfil de elevação de uma parte do alinhamento desenhado.

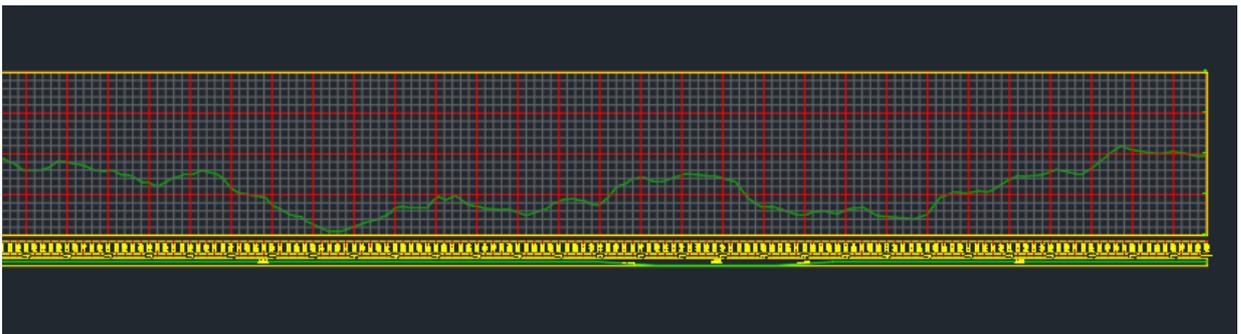


Figura 4.23 – Trecho do perfil de elevação do alinhamento desenhado

Os valores na parte inferior do perfil são relativos à geometria horizontal e vertical do alinhamento e são gerados de forma automática pelo Civil 3D, visto que é um software BIM. Um trecho mais detalhado da elevação pode ser visto na Figura 4.24, entre as estacas 9+300 e 9+581,802.

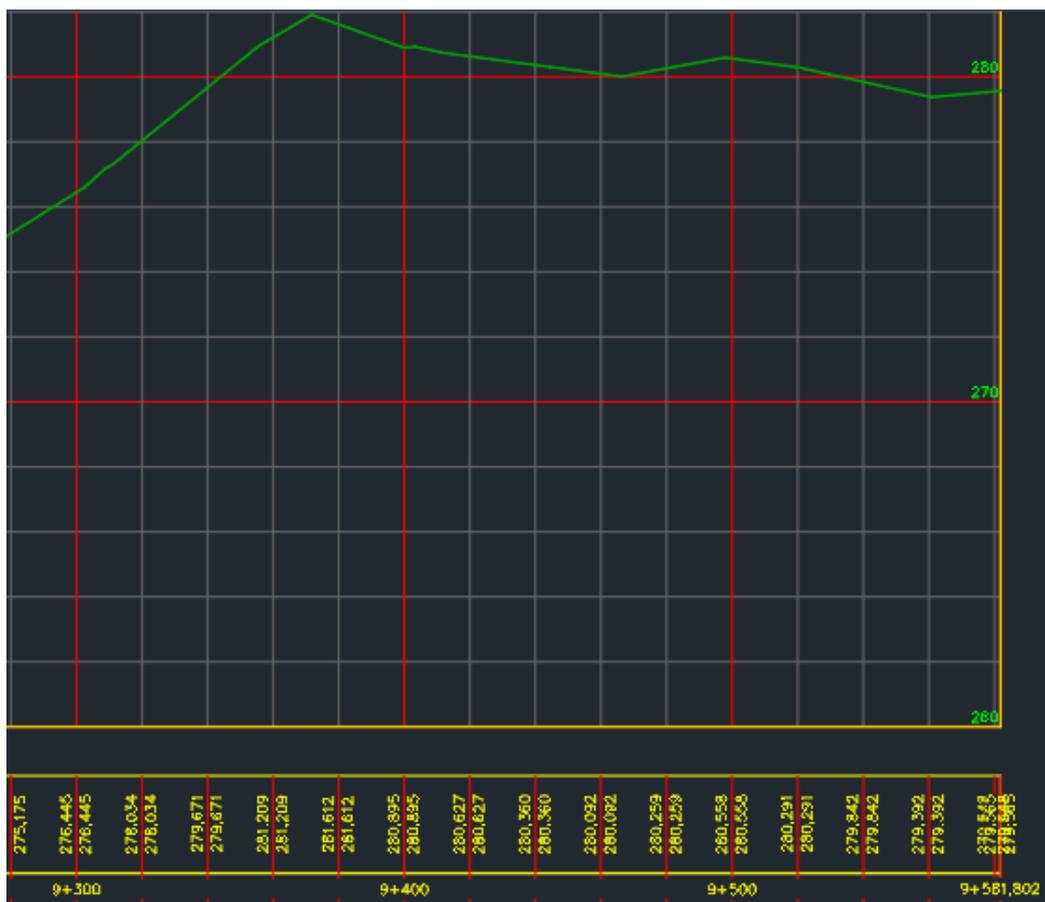


Figura 4.24 – Perfil de elevação entre as estacas 9+300 e 9+581,802

4.2.4. Criação do greide de projeto

Os greides são os parâmetros de aclave, declive e das curvas de um projeto. São parâmetros fundamentais no desenho do traçado geométrico vertical de um projeto. No traçado do greide deste projeto buscou-se atender à algumas especificações que constam na Norma de Projeto Geométrico da Valec relativas a curvas verticais em projetos ferroviários.

O processo de inserção de curvas do greide foi muito parecido com o da criação do alinhamento. Utilizou-se a Ferramenta Criação de perfis (Figura 4.25) e em seguida ajustou-se alguns parâmetros de criação do greide, como por exemplo, o padrão de legenda inserida ao longo do greide.

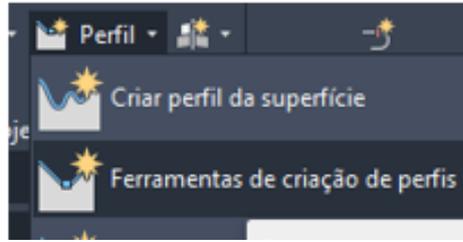


Figura 4.25 – Ferramenta de criação do greide

A princípio se desenhou as tangentes das curvas e em seguida se inseriu as curvas. As curvas inseridas foram posteriormente ajustadas de acordo com os padrões da Norma de Projeto Geométrico da Valec (Figura 4.26).

O comprimento da curva vertical será calculado pela expressão:

$$y = \frac{20i_1 - i_2}{\text{taxa de variacao}} \quad i \text{ em porcentagem}$$

Taxa de variação de 0,033% $y = 606,06 (i_1 - i_2)$

Taxa de variação de 0,066% $y = 303,03 (i_1 - i_2)$

O comprimento mínimo da curva vertical será 60 m.

Cálculo do fator k da parábola (em metros):

$$k = \frac{y}{i_1 - i_2}$$

Figura 4.26 – Normas de inserção de curvas verticais (modificado de Valec, 2011)

Alguns parâmetros de projetos adotados foram, por exemplo, a distância mínima de dois metros entre cada curva e o valor de k acima de 303, valor mínimo especificado pela Valec. A distância mínima entre as curvas garantirá uma maior durabilidade da ferrovia e o k diz respeito à suavidade da curva. Em função dessas especificações, os parâmetros do greide gerado podem ser observados na Figura 4.27.

Estaca do PVI	Elevação do PVI	Entrada da declividade	Saída da declividade	A (Mudança de declividade)	Tipo da curva do perfil	Valor de K
0+000.000m	270.000m		0.4950%			
2+020.000m	280.000m	0.4950%	-0.4950%	0.9901%	Cume	465.789
4+040.000m	270.000m	-0.4950%	0.3980%	0.8931%	Côncavo	481.294
6+050.000m	278.000m	0.3980%	-0.6000%	0.9980%	Cume	400.798
8+050.000m	266.000m	-0.6000%	0.3917%	0.9917%	Côncavo	403.350
9+581.802m	272.000m	0.3917%				

Figura 4.27 – Parâmetros do greide de projeto

É possível se observar todo o traçado do greide na Figura 4.28 e um zoom em um trecho do greide onde se observa o terreno natural com traçado em verde e o greide em traçado azul (Figura 4.29).



Figura 4.28 – Greide traçado

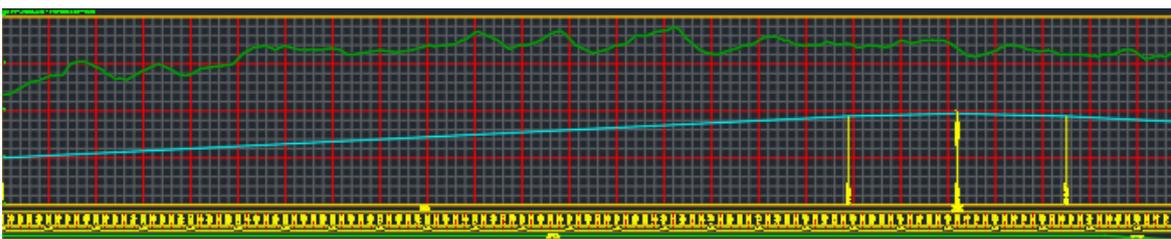


Figura 4.29 – Trecho do greide em comparação com terreno natural

4.2.5. Criação do corredor ferroviário

Primeiramente desenhou-se um círculo com 250 metros de diâmetro onde posteriormente será criada a seção tipo. A criação da montagem pode ser observada na Figura 4.30.

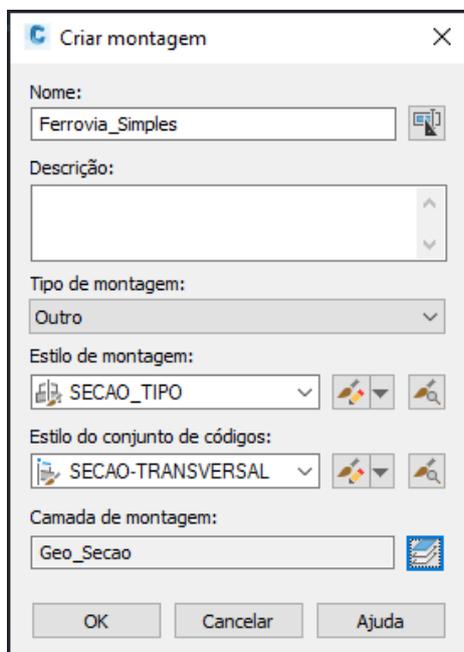


Figura 4.30 – Criação de montagem para inserção de seção tipo

Ao se criar a montagem, basta clicar dentro do círculo criado anteriormente que será criado o centro do eixo do projeto na cota do greide (Figura 4.31).



Figura 4.31 – Centro do eixo do projeto

No centro do eixo do projeto adicionou-se a seção tipo e posteriormente adicionou-se um talude padrão (Figura 4.32). A seção tipo foi inserida de acordo com os padrões da Valec e o talude utilizado foi um dos modelos disponíveis no Civil 3D (Figura 4.33). Na seção tipo criada podem ser adicionados outros elementos de uma ferrovia, como por exemplo, o lastro, sublastro, taludes etc.

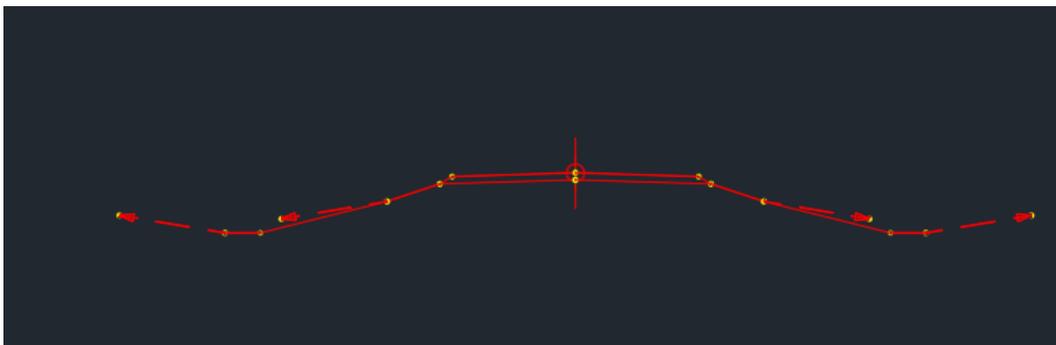


Figura 4.32 – Seção tipo com talude padrão

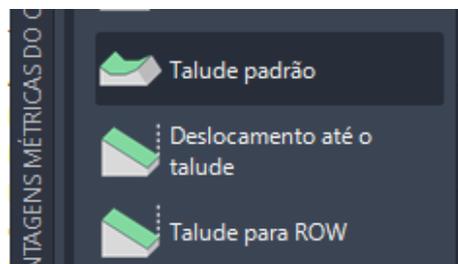


Figura 4.33 – Modelo de talude padrão utilizado para montagem do corredor

As especificações do Talude padrão utilizado constam na 4.34.

Parâmetros	
Versão	R2019
Lado	Direita
Vínculo do talude	Incluir vínculo de talude
Inclinação de corte horizontal	6.00:1
Altura máxima de corte horizontal	1.500m
Inclinação de corte médio	4.00:1
Altura máxima de corte médio	3.000m
Inclinação de corte íngreme	2.00:1
Largura de inclinação lateral	3.600m
Inclinação posterior	4.00:1
Largura da valeta	1.000m
Inclinação de aterro plano	6.00:1
Altura máxima de aterro horizontal	1.500m
Inclinação média de aterro	4.00:1
Altura máxima de aterro médio	3.000m
Inclinação de aterro vertical	2.00:1
Largura de defesa	0.600m
Inclinação de defesa	-2.0000%
Incluir defesa	Ignorar defesa
Largura até pilastra	0.300
Opção de arredondamento	Nenhum
Arredondar por	Comprimento
Parâmetro de arredondamento	0.500m
Triangulação de arredondamento	6
Colocar material revestido	Nenhum
Limite 1 da inclinação	1.00:1
Espessura do material 1	0.300m
Nome do material 1	Rip Rap
Limite 2 de inclinação	2.00:1

Figura 4.34 – Especificações do Talude padrão utilizado

Após a inserção dos elementos, com a ferramenta Criar corredor, será criado um corredor ferroviário com os elementos inseridos (Figura 4.35). Utilizou-se o perfil do greide para a criação do corredor, a seção tipo criada e a superfície importada do Infracworks.

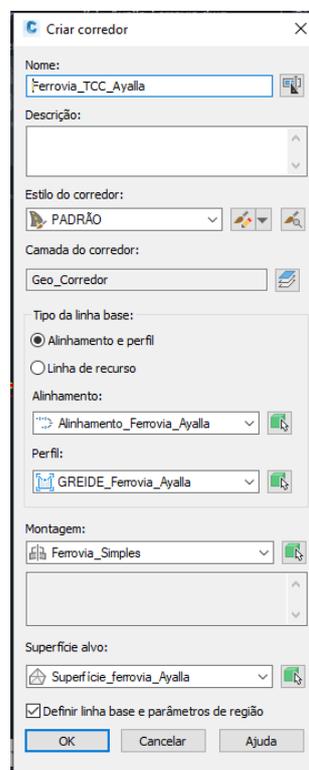


Figura 4.35 – Criação de corredor ferroviário

O resultado da criação do corredor em formato 3D pode ser observado na Figura 4.36.

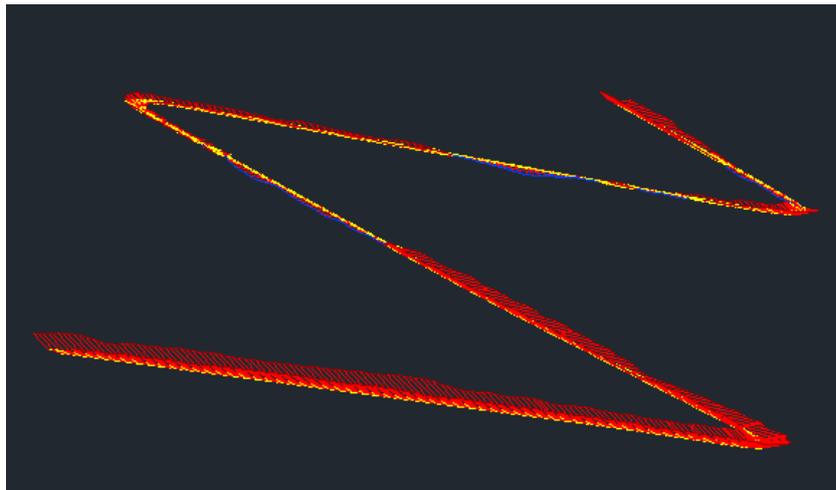


Figura 4.36 – Corredor ferroviário em formato 3D

4.2.5.1. Criação de superfície do corredor

Na aba de propriedades do corredor criado, no ícone de Superfícies, criou-se uma superfície com o nome de Ferrovia_TCC_Ayalla_Datum. A especificação de Datum foi utilizada pois representa a cota da terraplanagem, ou seja, foi criada uma superfície com os pontos mais baixos da ferrovia (AUTODESK, 2022). Na aba de limites também se configurou para ser criada apenas uma triangulação dentro dos limites da ferrovia. Por fim se configurou os pontos de inserção dos taludes na aba de Padrões de taludes (Figura 4.37). A superfície do corredor gerada no Civil 3D é do tipo TIN (*Triangular Irregular Network*).

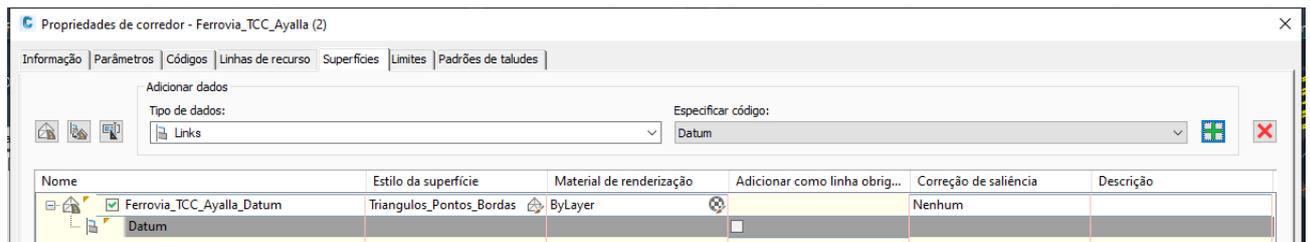


Figura 4.37 – Criação de nova superfície do corredor

O resultado da criação da superfície da ferrovia pode ser observado na Figura 4.38.

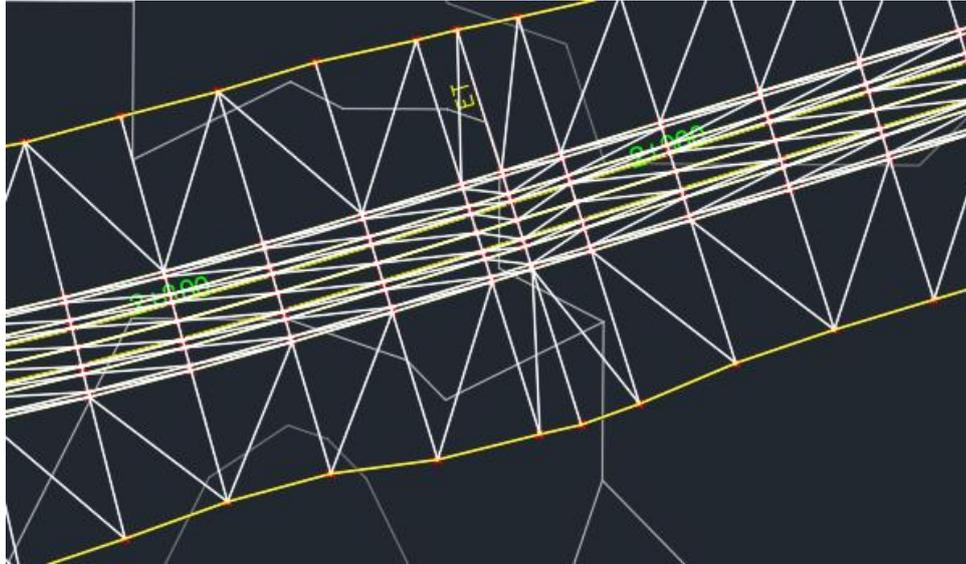


Figura 4.38 – Superfície da ferrovia

O resultado em 3D da superfície do corredor criado pode ser visto na Figura 4.39.

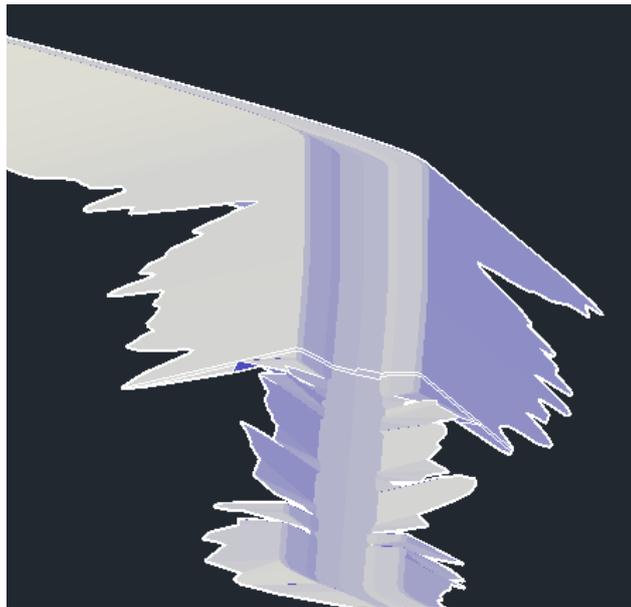


Figura 4.39 – Vista 3D da superfície do corredor ferroviário

4.2.6. Criação de Seções e cálculo de volumes

Com a ferramenta Linhas de amostras e selecionando-se o eixo de interesse, foi possível configurar alguns parâmetros para a criação de linhas de amostra das seções. Alguns parâmetros escolhidos foram a seção transversal da ferrovia, o Datum da ferrovia e o terreno

natural (Figura 4.40). Outro parâmetro escolhido foi em quais lugares deveriam ser criadas as linhas de amostra, onde optou-se por se construir linhas a partir de todas as estacas do corredor.

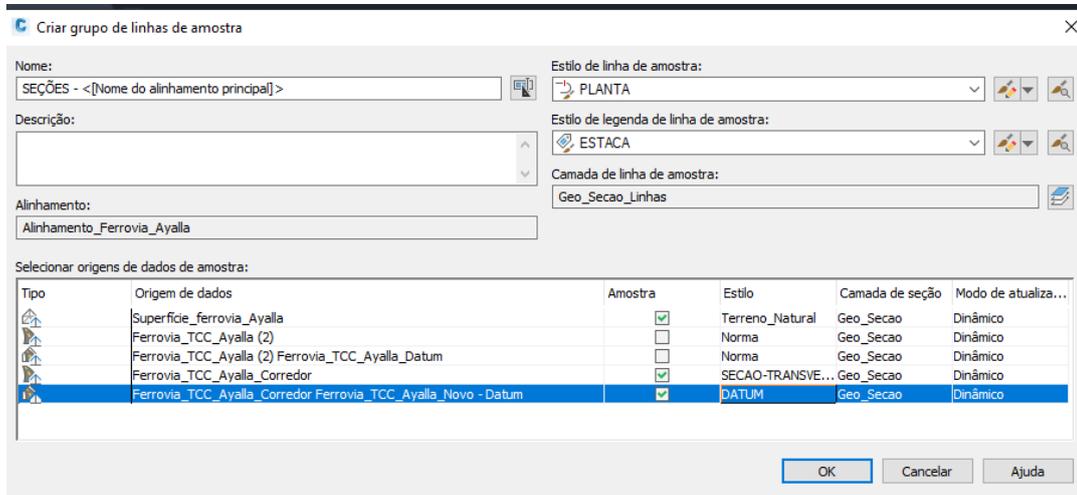


Figura 4.40 – Criação de seções transversais do eixo ferroviário

Outras configurações incluíram o comprimento total de criação das linhas e as larguras das faixas das linhas ao longo do corredor, que para este projeto foi de 70 metros na direita e na esquerda do eixo. O resultado da criação de linhas de seções pode ser observado na Figura 4.41.

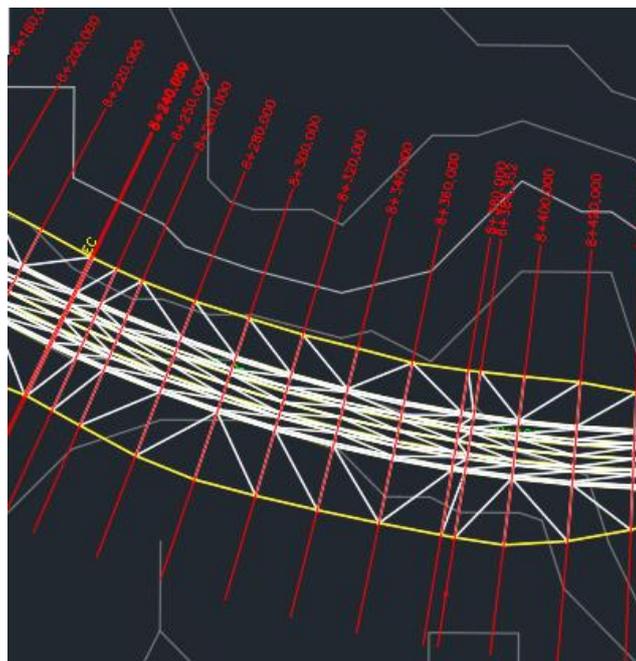


Figura 4.41 – Linhas de seções transversais

Com a ferramenta de Gráficos de seção, foi possível se gerar as vistas das seções transversais das linhas de corte das seções (Figura 4.42).



Figura 4.42 – Gráficos de seções transversais

É possível a visualização de uma das seções transversais geradas. A estaca utilizada é a inicial (Figura 4.43).



Figura 4.43 – Vista da seção transversal na estaca 0+0,000

Para o cálculo do material foi utilizada a ferramenta Calcular materiais. Foram definidos alguns parâmetros principais para entrarem no cálculo, como por exemplo, que superfície representa o perfil existente e qual perfil representa o Datum da ferrovia (Figura 4.44)

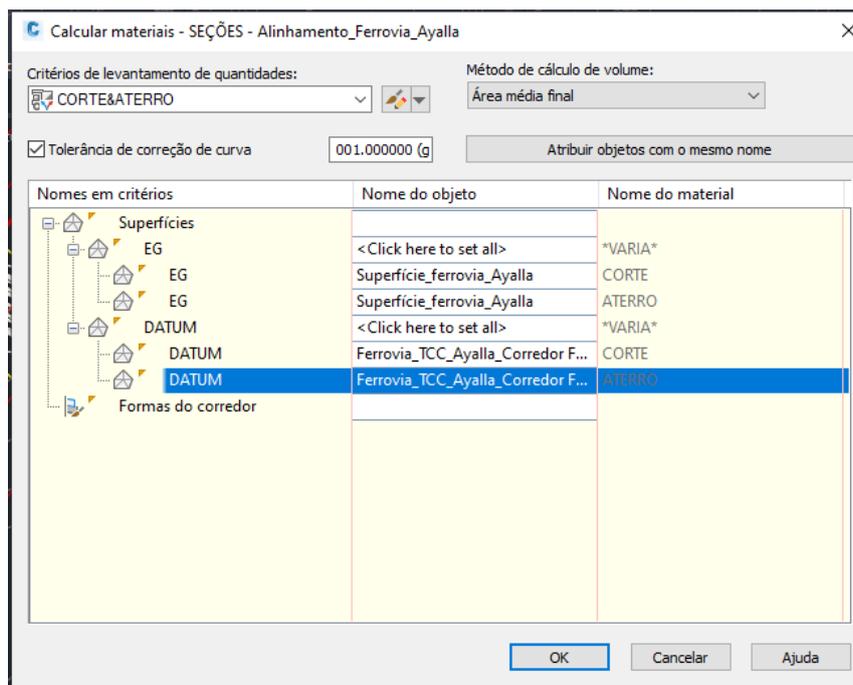


Figura 4.44 – Parâmetros utilizados para o cálculo de material

O resultado obtido foi o cálculo de materiais de todas as seções. O cálculo de uma das seções pode ser visualizado na Figura 4.45. A área em vermelho é o material necessário para o aterro e o em azul é o material de corte.

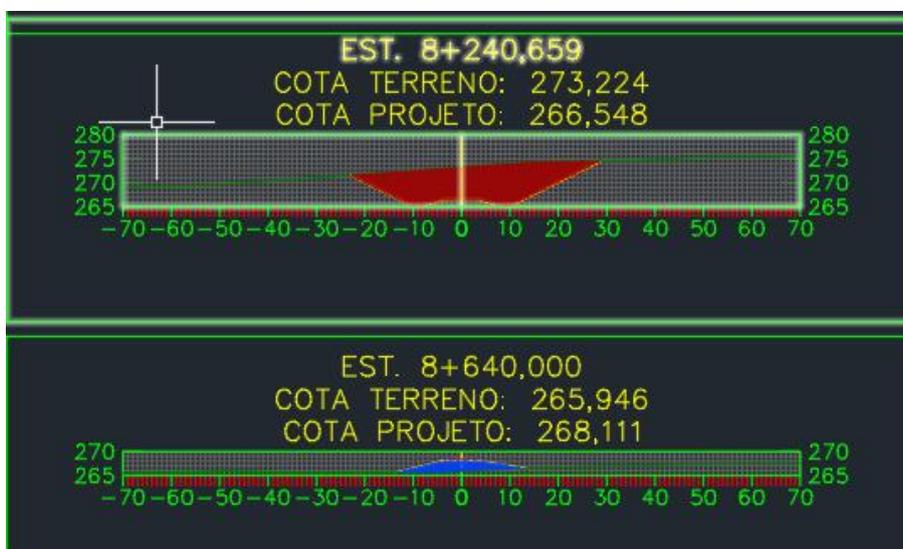


Figura 4.45 – Estacas com perfis de material de corte e aterro

Para o cálculo dos volumes de corte e aterro, foi utilizada a ferramenta Tabela de Volumes Totais.

4.3. INTEROPERABILIDADE ENTRE BIM E GIS

4.3.1. Ferramenta Publicar para ArcGIS

A primeira interoperabilidade testada foi com a ferramenta Publicar para ArcGIS, disponível no *software* do Civil 3D (Figura 4.46). Para a exportação foi necessário realização de login na conta ArcGIS.

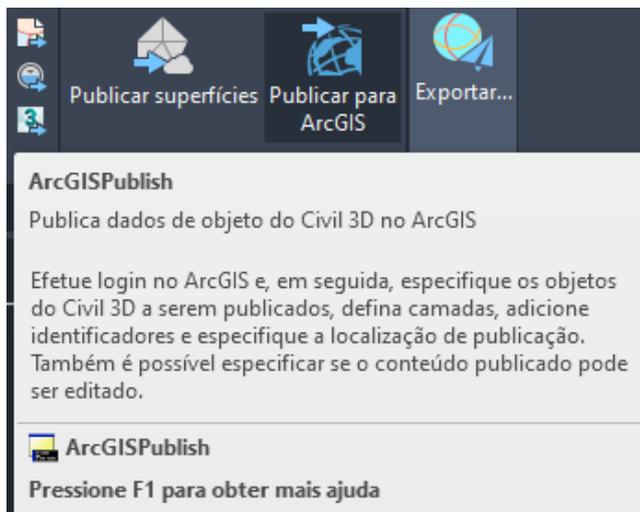


Figura 4.46 – Ferramenta de conexão entre Civil 3D e ArcGIS

4.3.2. ArcGIS Pro

Primeiramente foi necessário a criação de um novo projeto no ArcGIS Pro. O projeto foi inicialmente criado sem um sistema de coordenadas, mas que foi alterado posteriormente para o SIRGAS 2000 (Figura 4.47). Inseriu-se o polígono envolvente da área trabalhada e o Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado anteriormente. Recortou-se o MDE original para ficar de acordo com o tamanho do polígono.

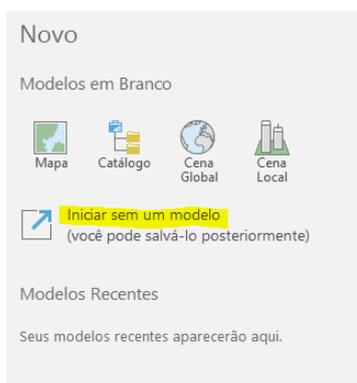


Figura 4.47 – Criação de novo projeto no ArcGIS

Com o modelo de elevação já recortado de acordo com a área do projeto, criou-se um mapa de declividade em porcentagem da área de estudo, um buffer do alinhamento da ferrovia e uma tabulação cruzada entre o buffer criado e o mapa de declividade.

4.3.3. Exportação de objetos do Civil 3D para o ArcGIS Pro

Neste método foram selecionados alguns objetos criados no Civil 3D, incluindo os gráficos de seções, o greide e o alinhamento ferroviário. Estes objetos foram exportados em um novo arquivo no formato DXF (Figura 4.48). Esse formato é utilizado no intercâmbio de modelos CAD entre diferentes *softwares*. O método utilizado é descrito pela ESRI para exportação de objetos CAD para feições *geodatabases*.

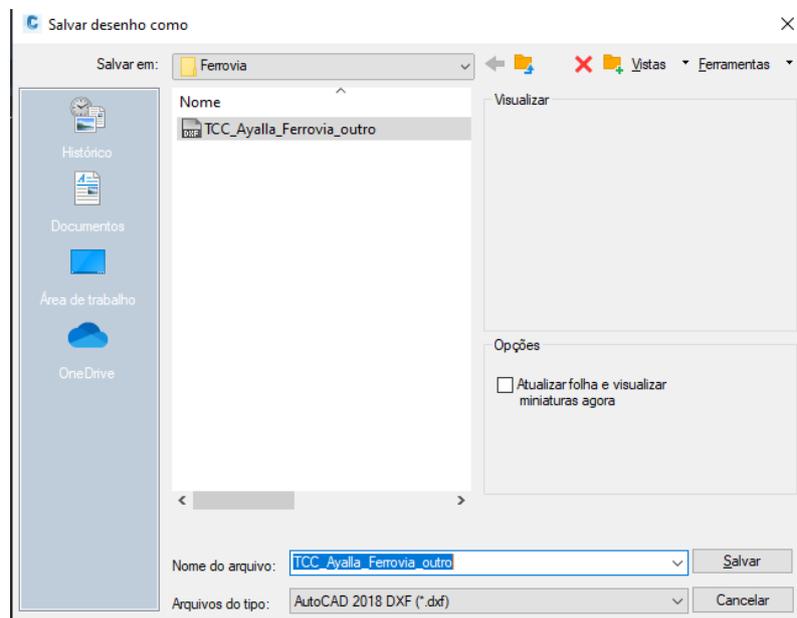


Figura 4.48 – Exportação de objetos no formato DWG para o formato DXF

4.4. BIBLIOTECAS DE OBJETOS IFC

Foi feita uma pesquisa sobre bibliotecas brasileiras de objetos BIM. A biblioteca encontrada foi uma disponível na Plataforma BIMBR. O BIM BR É um site criado pelo governo federal para a hospedagem de conteúdos sobre a Modelagem da Informação da Construção e a Biblioteca Nacional BIM (BNBIM), que se tornou um repositório de bibliotecas virtuais BIM no Brasil (Figura 4.49).

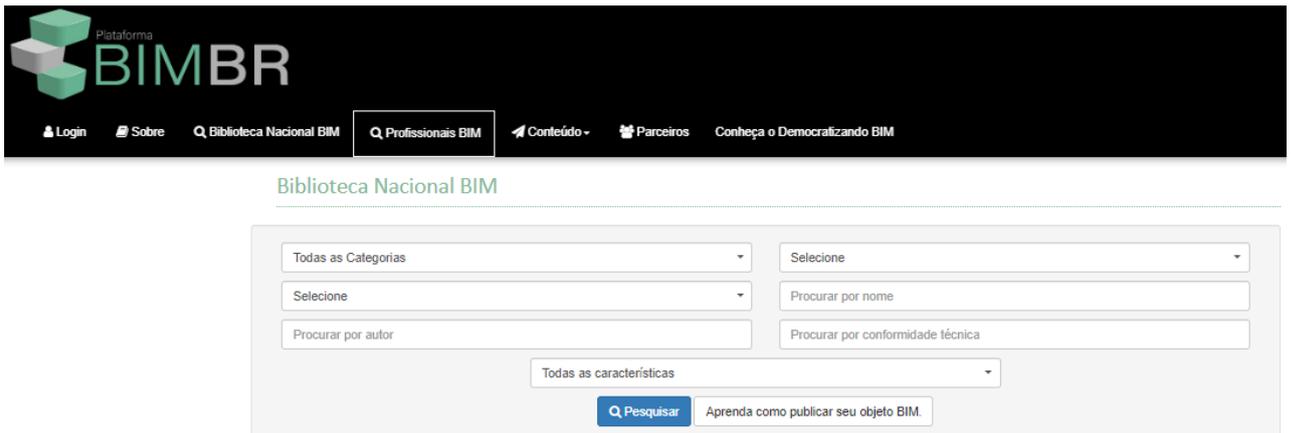


Figura 4.49 – Biblioteca Nacional BIM

4.5. INTEROPERABILIDADE ENTRE CIVIL 3D E INFRAWORKS

Para se testar a interoperabilidade entre o Civil 3D e o Infracworks, exportou-se o projeto do eixo ferroviário primeiramente no formato IMX (Figura 4.50).

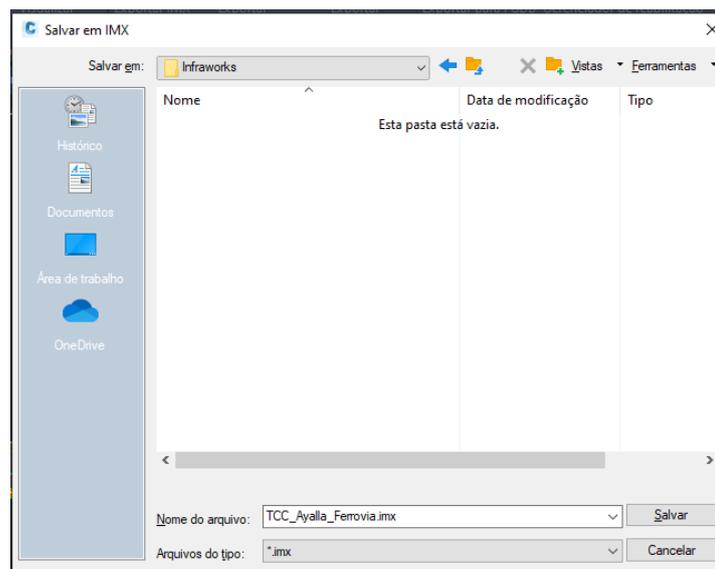


Figura 4.50 – Exportação de projeto do eixo ferroviário em formato IMX

Foi exportado, também, apenas o eixo ferroviário no formato SDF, um dos formatos de arquivo aceitos pelo Infracworks (Figura 4.51). Neste formato exportado, o Infracworks pode reconhecer alguns elementos presentes em um projeto do Civil 3D, como por exemplo, vias e alinhamentos.



Figura 4.51 – Formatos de arquivos aceitos pelo Infraworks

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. QUANTITATIVOS DE VOLUMES DE ESCAVAÇÃO PARA CORTE E ATERRO

Foi gerada uma tabela de quantitativos de área e volume relativo a corte e aterro para cada uma das seções anteriormente criadas (Figura 5.1). O método de cálculo de volume foi pelo Método das Seções, e é importante ressaltar que os quantitativos de volumes podem ser recalculados a depender de qualquer alteração que venha a ser feita no projeto, característica muito importante de modelos BIM.

VOLUME TOTAL							
Estaca	Área de Corte (m ²)	Área de Aterro (m ²)	Volume de Corte (m ³)	Volume de Aterro (m ³)	Volum. Corte Acum. (m ³)	Volum Aterro Acum. (m ³)	Volume Líquido (m ³)
0+0,00	756,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0+20,00	764,50	0,00	15208,13	0,00	15208,13	0,00	15208,13
0+40,00	845,99	0,00	16104,87	0,00	31313,00	0,00	31313,00
0+60,00	933,00	0,00	17789,90	0,00	49102,90	0,00	49102,90
0+80,00	982,49	0,00	19154,98	0,00	68257,88	0,00	68257,88
0+100,00	1024,74	0,00	20072,37	0,00	88330,25	0,00	88330,25
0+120,00	1038,94	0,00	20636,84	0,00	108967,09	0,00	108967,09
0+140,00	1162,11	0,00	22010,55	0,00	130977,65	0,00	130977,65
0+160,00	1250,95	0,00	24130,67	0,00	155108,31	0,00	155108,31
0+180,00	1233,88	0,00	24848,34	0,00	179956,66	0,00	179956,66
0+200,00	1156,11	0,00	23899,96	0,00	203856,62	0,00	203856,62
0+220,00	1025,90	0,00	21820,09	0,00	225676,71	0,00	225676,71
0+240,00	923,39	0,00	19492,90	0,00	245169,61	0,00	245169,61
0+260,00	890,69	0,00	18140,81	0,00	263310,42	0,00	263310,42

Figura 5.1 – Tabela de volume e área de corte e aterro para diferentes seções

O volume total de aterro calculado foi de 123.303,24 m³ e o de corte total foi de 4.141.118,07 m³. Ressalta-se que os volumes e áreas gerados são geométricos, sem coeficiente de empolamento, ou seja, deve ser feita uma readequação dos quantitativos gerados de modo a se obter os reais valores de materiais a serem adquiridos.

5.2. RESULTADOS DOS TESTES REALIZADOS COM A FERRAMENTA PUBLICAR PARA ARCGIS

Durante a exportação dos elementos para o ArcGIS aparecerem alguns elementos criados no projeto ferroviário, como por exemplo, o alinhamento ferroviário e o greide (Figura 5.2).

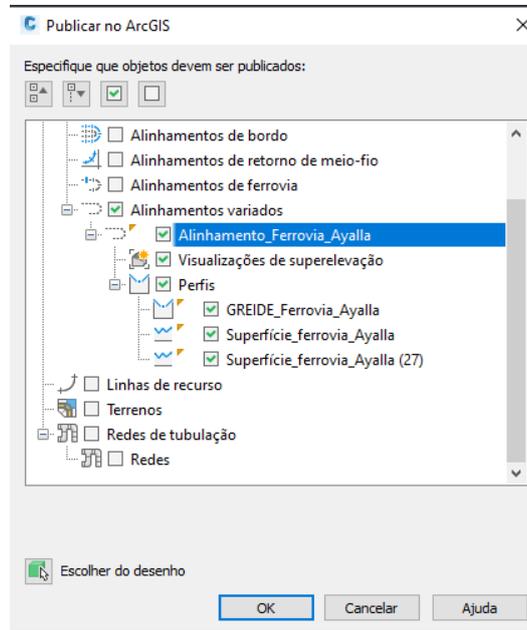


Figura 5.2 – Elementos disponíveis para publicação no ArcGIS

Ao se definir a camada, a única opção disponível foi o Alinhamento do eixo criado e em formato de linha (Figura 5.3).

Definição de camada

Tipo de objeto	Categoria do ArcGIS	Nome da camada do ArcGIS
Alinhamentos	Linha	Alignment
<input checked="" type="checkbox"/> Atributos de origem	Atributos ArcGIS	
<input checked="" type="checkbox"/> Name	<input type="text" value="Name"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Length	<input type="text" value="Length"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> StartingStation	<input type="text" value="StartingStation"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> EndingStation	<input type="text" value="EndingStation"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> DesignSpeed	<input type="text" value="DesignSpeed"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Site	<input type="text" value="Site"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Description	<input type="text" value="Description"/>	

Figura 5.3 – Camada disponível para criação

A camada foi criada no ArcGIS online e somente com o alinhamento do eixo ferroviário (Figura 5.4).



Figura 5.4 – Camada criada no ArcGIS online

Foi executada uma análise com a ferramenta Buffer. Essa ferramenta cria um polígono envolvente ao redor do objeto com a distância desejada. Para essa análise escolheu-se a distância de 1 km. O resultado pode ser observado na Figura 5.5.

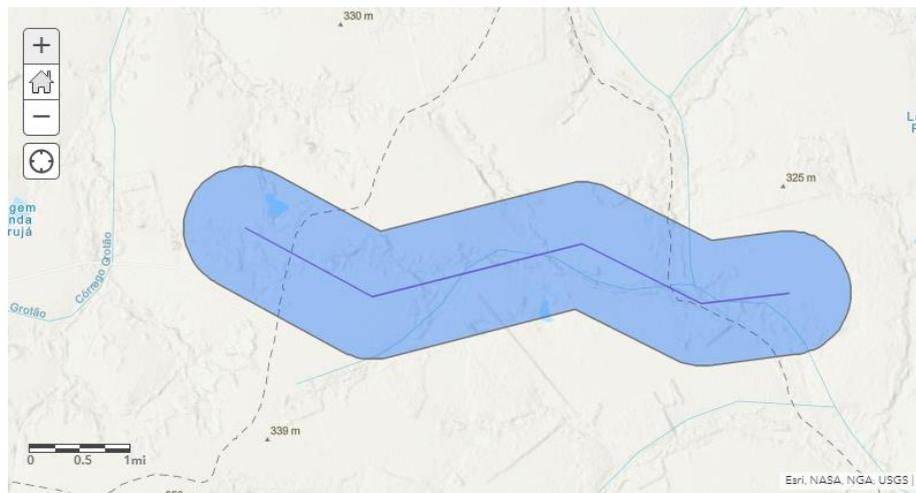


Figura 5.5 – Traçado da ferrovia com buffer de 1 km

Com a criação do Buffer, a única análise que pôde ser feita, foi de modo visual. Um buffer em um projeto de infraestrutura poderia ser utilizado, por exemplo, para se descrever a área de influência e até onde poderia chegar o impacto ambiental gerado por uma obra. Um dado desse tipo poderia ser utilizado para um estudo de viabilidade ambiental.

Caso fosse se construir um metrô, por exemplo, poderia ser realizada uma análise da viabilidade econômica decorrente da construção, sendo realizada uma análise da área e da população atendida.

Um ponto a ser discutido, é que na importação para o ArcGIS dos dados produzidos no Civil 3D, apenas o traçado da ferrovia foi de fato importado. Na importação não veio, por exemplo, o perfil de elevação, o traçado do greide, os outros elementos da ferrovia ou a área com as curvas de nível. Caso fosse possível se trabalhar com esses outros elementos, poderiam ser realizadas análises de interoperabilidade mais precisas.

5.3. RESULTADOS DOS TESTES REALIZADOS COM O ARCGIS PRO

5.3.1. Importação de curvas de nível

Ao se tentar importar os valores do campo Contour para o campo Elevation, o ArcGIS apresentou uma mensagem de erro (Figura 5.6). Acredita-se que o que possa ter acontecido é que algum dos valores do campo Contour tenha vindo com alguma incompatibilidade no formato, como por exemplo, um ponto ao invés de uma vírgula.

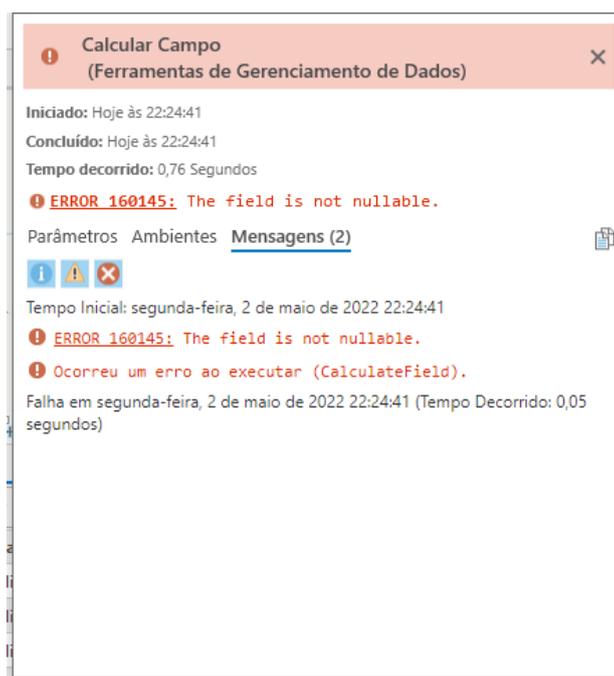


Figura 5.6 – Mensagem de erro ao copiar dados na tabela de atributos

5.3.2. Importação do alinhamento ferroviário

No ArcGIS Pro é possível a importação da camada da ferrovia diretamente do ArcGIS online (Figura 5.7), o que é um grande benefício no quesito de compartilhamento de informações. Esse tipo de dado poderia ser trabalhado por uma equipe, por exemplo.

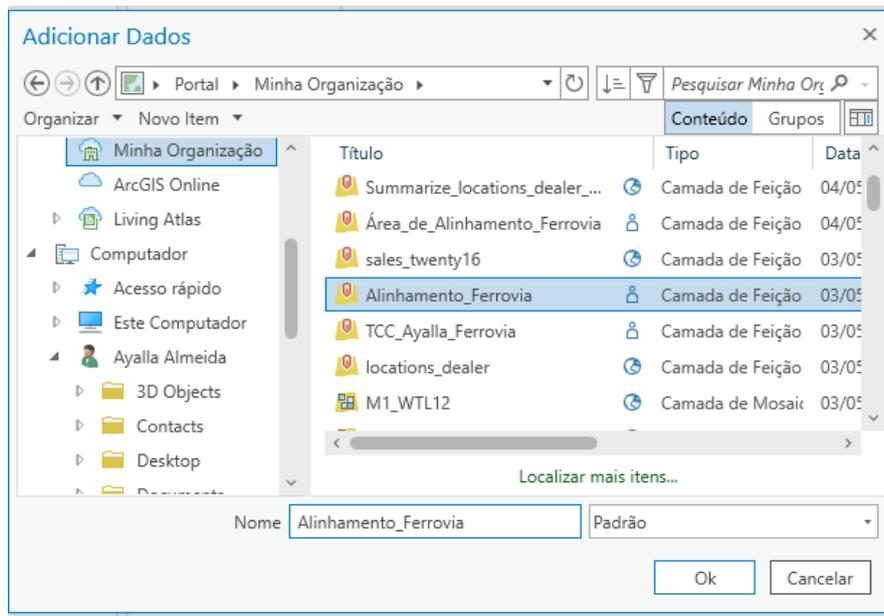


Figura 5.7 – Importação do traçado da ferrovia do ArcGIS online para o ArcGIS Pro

Foi criado um buffer de 100 m com o alinhamento da ferrovia (Figura 5.8). O objetivo principal com a criação do buffer foi o de criar um polígono que pudesse ser utilizado como área de influência e cruzamento de dados. Com o buffer e o mapa de declividade seria possível se verificar os atributos em comum entre os dois.

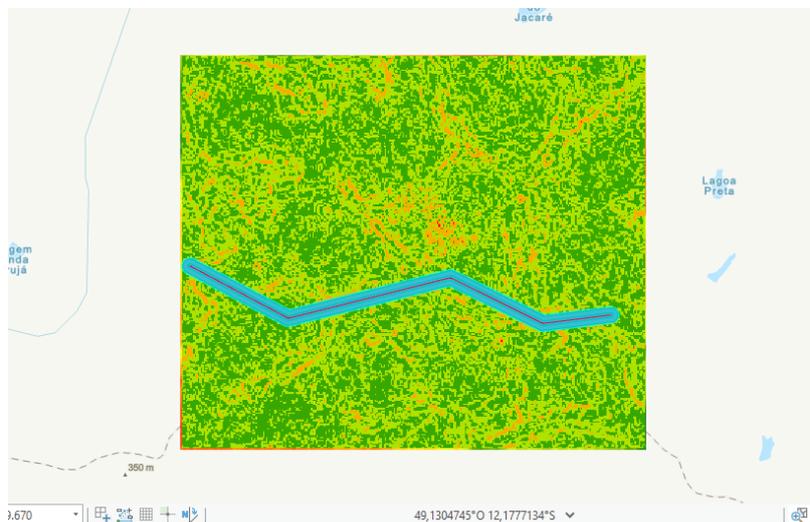


Figura 5.8 – Criação de buffer de 100 metros do eixo da ferrovia

Ao se executar a tabulação cruzada com os dados do buffer e os dados do mapa de declividade, houve uma mensagem de erro, pois os dados de declividade estavam em porcentagem e os dados do buffer em área, logo, o processo não pôde ser concluído. Optou-se então por se realizar uma tabulação cruzada com os dados do MDE da área recortada e com o buffer criado.

Para a realização da tabulação cruzada com o buffer e o MDE, optou-se por se realizar uma reclassificação dos valores de elevação de forma a se condensar os dados (Figura 5.9).

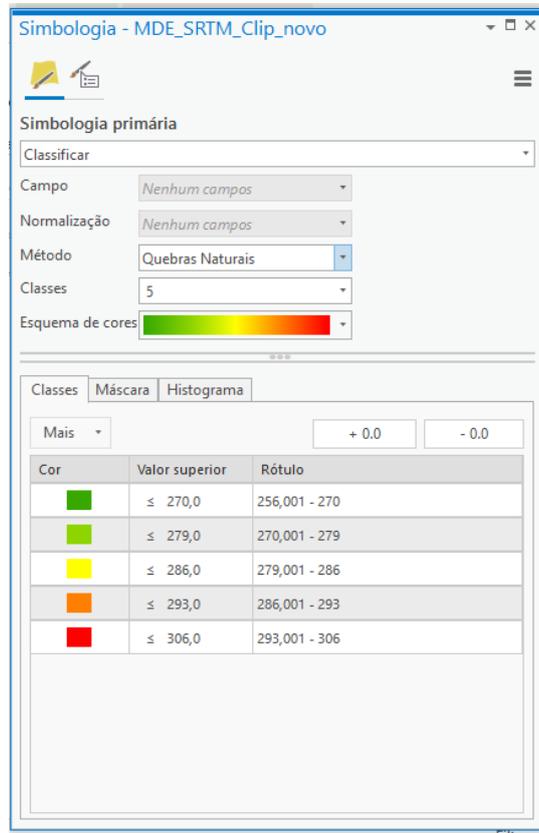


Figura 5.9 – Reclassificação dos dados de elevação

O resultado da reclassificação do MDE pode ser observado na Figura 5.10.

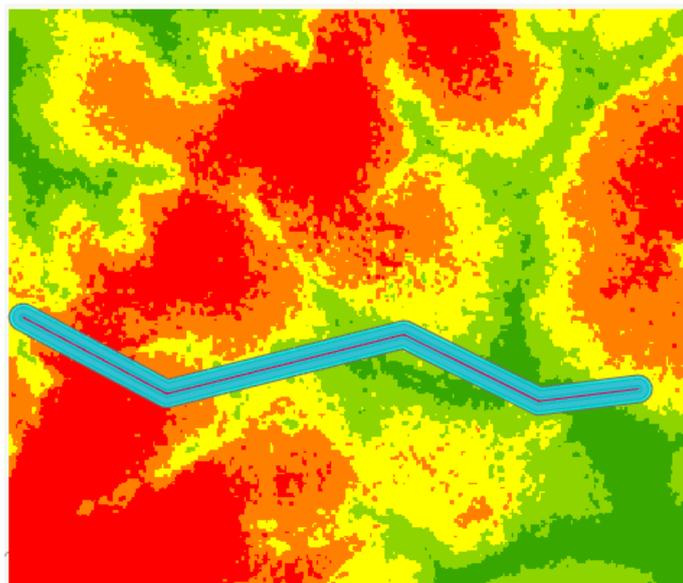


Figura 5.10 – Resultado da reclassificação do modelo digital de elevação

Com a ferramenta de Tabulação Cruzada conseguiu-se como resultado uma tabela de comparação de dados. Nessa análise, os dados de comparação foram os valores de elevação, tanto para o MDE, quanto para o buffer (Figura 5.11).

	OBJECTID *	Value	OBJECTID_1	Count	Area
5	5	263	1	37	0,000003
6	6	264	1	48	0,000004
7	7	265	1	78	0,000006
8	8	266	1	82	0,000006
9	9	267	1	109	0,000008
10	10	268	1	96	0,000007
11	11	269	1	100	0,000008
12	12	270	1	102	0,000008
13	13	271	1	79	0,000006
14	14	272	1	121	0,000009
15	15	273	1	118	0,000009
16	16	274	1	123	0,000009
17	17	275	1	175	0,000014
18	18	276	1	176	0,000014
19	19	277	1	197	0,000015

Figura 5.11 – Tabulação cruzada entre o modelo digital de elevação e o buffer

Os dados da tabulação cruzada mostram o quantitativo de objetos em comum entre a área de projeto e o buffer. Na linha 9, por exemplo, existe uma área com 109 objetos e elevação de 267 metros.

5.4. RESULTADOS DOS TESTES REALIZADOS NA EXPORTAÇÃO DE OBJETOS DO CIVIL 3D PARA O ARCGIS PRO

Na importação dos objetos para o ArcGIS, os únicos objetos reconhecidos foram o polígono da área de criação do eixo ferroviário e o círculo criado para a construção da seção tipo. Os objetos importados vieram sem estar conectados à nenhuma coordenada geográfica (figura 5.12).

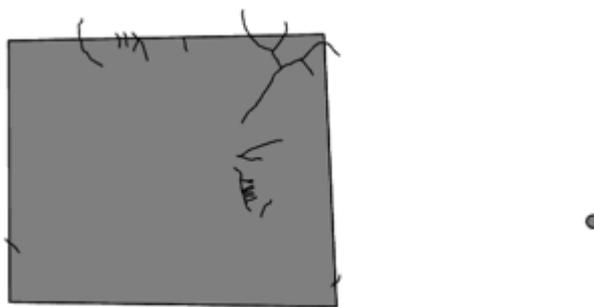


Figura 5.12 – Resultado da importação de objetos no formato DXF

Uma possível causa, de acordo com a ESRI, é que na exportação não foram recalculados alguns dados de feição, levando a uma incompatibilização do dado e da sua visualização no ArcGIS.

5.5. RESULTADOS DAS PESQUISAS DE OBJETOS IFC

O levantamento de objetos BIM na biblioteca nacional apresentou um total de resultado de 1.772 objetos. Esses objetos estavam divididos em diferentes categorias, como por exemplo, construção, engenharia de infraestrutura urbana, equipamentos e maquinários dentre outros (Figura 5.13).

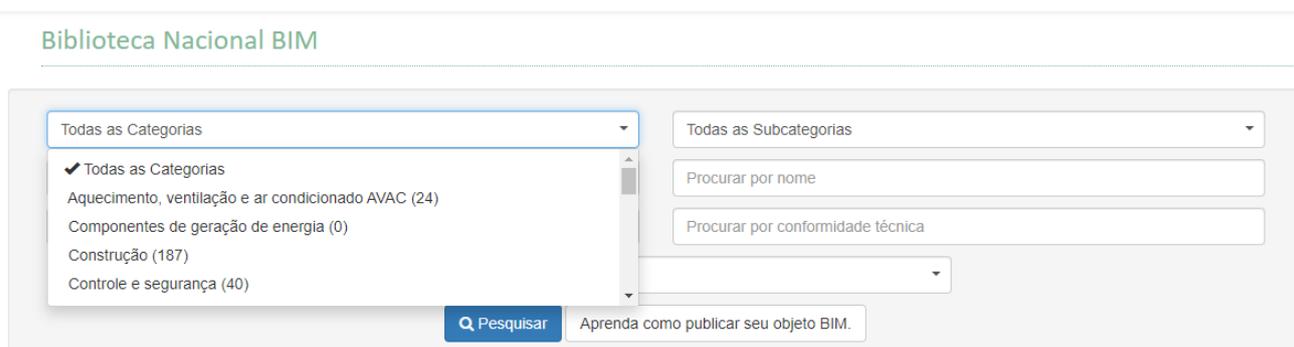


Figura 5.13 – Categorias de pesquisa na biblioteca Nacional de BIM

A pesquisa na categoria de Engenharia e Infraestrutura urbana remeteu um total de 69 objetos dos mais diversos tipos, como por exemplo, drenos, muros de arrimo, poço de visita, sarjetas, valetas e outros dispositivos de drenagem (Figura 5.14).

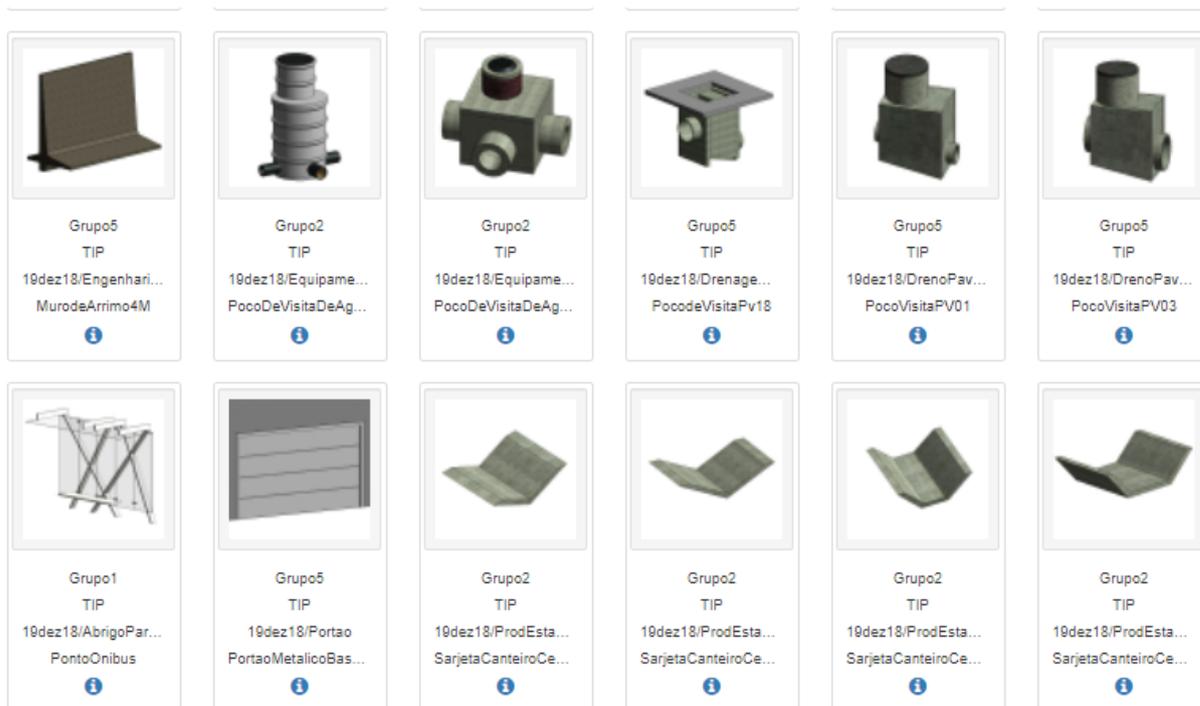


Figura 5.14 – Objetos de infraestrutura disponíveis na Biblioteca Nacional de BIM

A categoria que mais retomou resultados durante a pesquisa, foi a categoria de materiais de construção, com 424 objetos. Esses objetos estavam subdivididos em algumas subcategorias, como por exemplo, blocos e tijolos, sinalização, rampas e superestrutura (Figura 5.15).

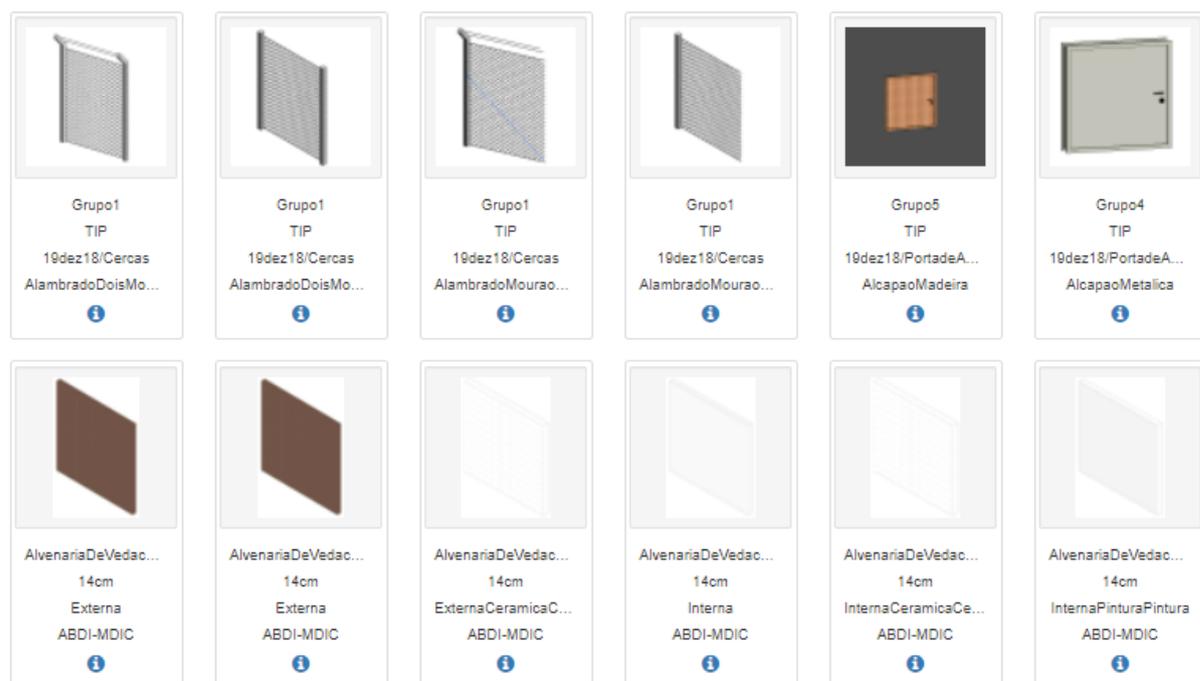


Figura 5.15 – Objetos disponíveis na categoria de materiais de construção

Ao se pesquisar na categoria de Infraestrutura e mobilidade, pesquisou-se sobre algum objeto disponível para ferrovia. A pesquisa retornou um total de zero resultados (Figura 5.16). O resultado já era esperado, visto que ainda é muito baixo o número de objetos BIM para projetos de infraestrutura e principalmente direcionado a ferrovias.

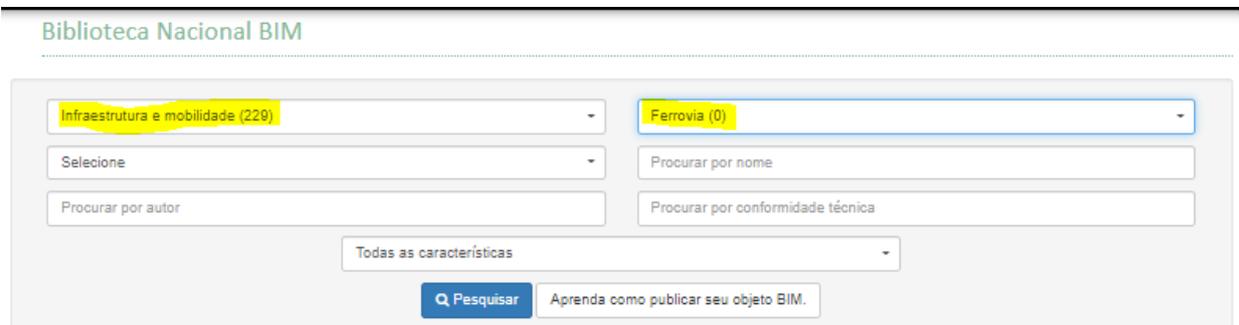


Figura 5.16 – Pesquisa de objetos BIM na categoria de infraestrutura e mobilidade

5.6. RESULTADOS DA INTEROPERABILIDADE ENTRE O CIVIL 3D E O INFRAWORKS

A primeira importação realizada foi a do projeto no formato IMX. Neste formato o Infracworks apenas reconheceu as superfícies e vias (Figura 5.17).

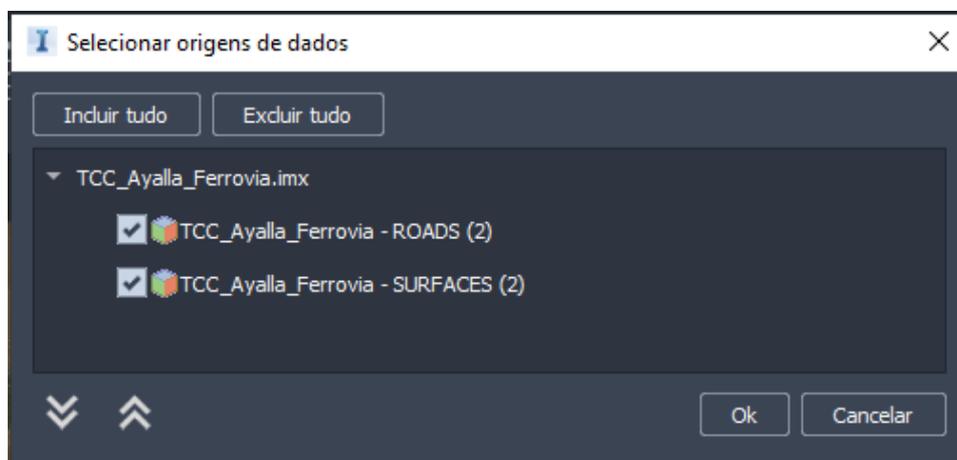


Figura 5.17 – Objetos importados para o Infracworks no formato IMX

Ao se importar o modelo do Civil 3D, é necessária uma pré-configuração do modelo, com a escolha por exemplo, do tipo de representação das vias Figura 5.18.

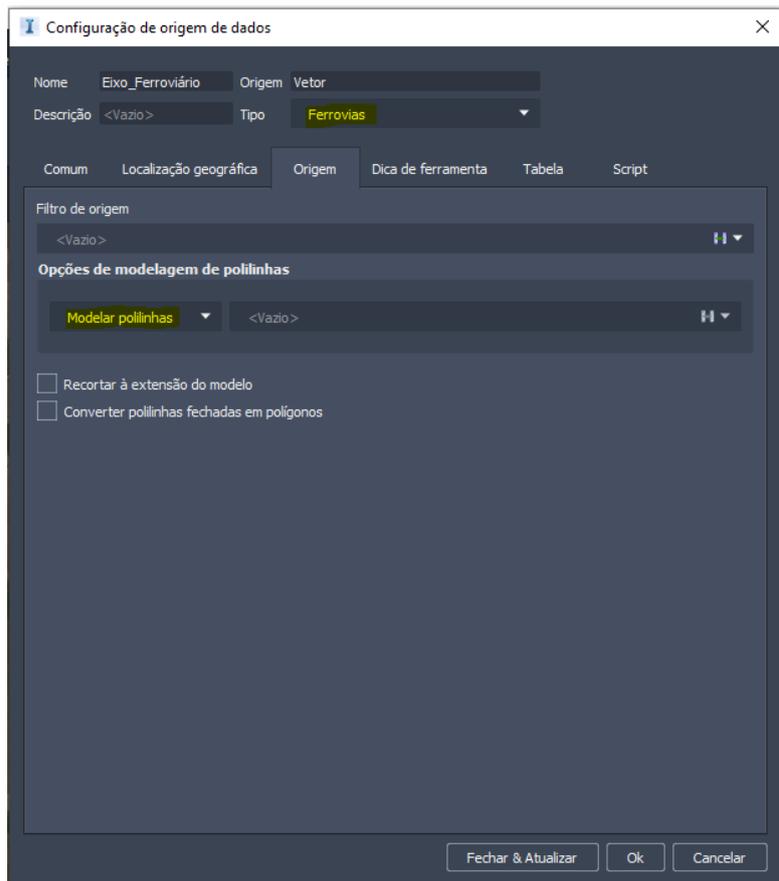


Figura 5.18 – Configuração do projeto importado do Civil 3D

Na importação no formato IMX não foi reconhecido nenhum elemento do eixo ferroviário modelado anteriormente (Figura 5.19).



Figura 5.19 – Resultado da importação do projeto no Infracore no formato IMX

Outra importação realizada foi no formato SDF, no entanto, o Infracore não reconheceu nenhum elemento do eixo ferroviário (Figura 5.20).

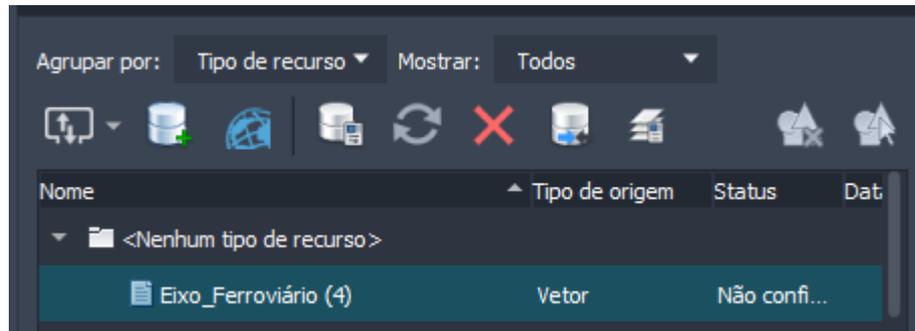


Figura 5.20 – Resultado da importação no formato SDF

Era esperada uma maior interoperabilidade entre o Civil 3D e o Infracore, visto que, de acordo com a AUTODESK, o Infracore reconheceria os alinhamentos de trilhos e outros componentes de estrada ou ferrovias e seriam mantidos componentes de estradas e precisâo do alinhamento de trilhos de origem. Uma hipôtese é que pode ter ocorrido algum problema no intercâmbio de dados devido à mudança de coordenadas posteriormente à criaçao do modelo no Infracore.

6. CONCLUSÃO

A modelagem do trecho ferroviário e os dados gerados foram satisfatórios. Um dos principais objetivos nesta etapa era a produção da tabela de quantitativos de volume de materiais que seriam gastos, por exemplo, caso esse trecho ferroviário fosse ser construído. Uma das dificuldades encontradas foi material didático que oferecesse um amplo suporte para a modelagem do trecho.

Ao se analisar a interoperabilidade entre um *software* como o Civil 3D e o ArcGIS, o esperado era conseguir uma maior interoperabilidade entre estes dois, no entanto, os desafios foram muitos no quesito troca de informação entre cada um deles.

Ao se exportar o projeto do Civil 3D para o ArcGIS com a ferramenta de exportação contida no Civil 3D, o projeto foi exportado para o ArcGIS online e somente foi reconhecido o alinhamento da ferrovia, não sendo possível se trabalhar com nenhum dos outros dados produzidos na modelagem do trecho ferroviário.

O resultado obtido com a integração de um objeto BIM e um dado GIS no ArcGIS Pro foi satisfatória, visto que foi possível a construção da tabulação cruzada entre o dado em BIM e o dado em GIS. No entanto, também se desejava a integração de outros elementos gerados na modelagem do trecho ferroviário, como por exemplo, a superfície do corredor que foi criada. Uma dificuldade ao se trabalhar com o *software* ArcGIS é que a licença estudantil tem curta duração, e após esse prazo, não foi mais possível se trabalhar com o ArcGIS.

A importação dos objetos pelo ArcGIS Pro diretamente do Civil 3D no formato DXF não foi satisfatória, visto que o ArcGIS só reconheceu como polígonos a área da ferrovia e o círculo criado para modelagem da seção tipo. Os polígonos importados não continham nenhum dado espacial.

A pesquisa de uma Biblioteca nacional de objetos BIM direcionada à infraestrutura foi satisfatória. Foi observado que a quantidade de objetos disponíveis para infraestrutura ainda é muito reduzida ao se comparar com a quantidade de objetos para o setor de construção. Observou-se, também, que na biblioteca analisada não existia nenhum objeto específico para ferrovia.

A análise da interoperabilidade entre o Civil 3D e o Infracore não foi satisfatória. Esperava-se conseguir uma maior interoperabilidade por se tratar de *softwares* da AUTODESK. Esperava-se levar os traçados do eixo ferroviário para o Infracore para fins de visualização.

Para pesquisas futuras sugere-se: trabalhar com um GIS de acesso livre, para que não ocorram intercorrências com uso de licenças. Também se sugere a modelagem de testes de interoperabilidade com outras obras de infraestrutura, visto que é uma área com muito potencial a ser desenvolvida.

Para estudos futuros sugere-se que sejam realizados outros estudos posteriores à concepção da modelagem do eixo ferroviário, como por exemplo, cronogramas, orçamento, operação e manutenção do projeto, visto que são assuntos complexos e que demandariam um tempo elevado de estudo e execução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, M. L. V. X., RUSCHEL, R. C. (2009). “Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC.” *Gestão e Tecnologia de Projetos*, 4(2), 76-111.
- ASSOCIAÇÃO DE ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. O que você precisa saber sobre o BIM. Disponível em: <https://aeasjc.org.br/2020/09/02/o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-bim/>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- AUTODESK. Desmistificando o BIM com foco em Infraestrutura. Brasil. 2017. Disponível em <https://blogs.autodesk.com/mundoaec/desmistificando-o-bim-com-foco-em-infraestrutura/>. Último acesso em 29/09/2021
- AUTODESK. Integração BIM e GIS: Projetos Mais Inteligentes, Melhores Resultados. Disponível em: <https://blogs.autodesk.com/mundoaec/integracao-bim-e-gis-projetos-mais-inteligentes-melhores-resultados/>. Acesso em: 13 out. 2021.
- AUTODESK. Model Builder. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/infraworks/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/InfraWorks-Basics/files/GUID-071FB6F4-AE4A-4F3D-8869-9F39D9988561-htm.html>. Acesso em: 12 mai. 2022.
- BAZJANACK, V. (2008). “IFC BIM-Based Methodology for SemiAutomated Building Energy Performance Simulation.”, University of California – Building Technologies Department, Berkeley, CA, 15 p.
- BIBLUS. Plataforma BIM BR, a biblioteca mundial para baixar objetos BIM. Disponível em: <https://biblus.accasoftware.com/ptb/plataforma-bim-br-a-biblioteca-mundial-para-baixar-objetos-bim/>. Acesso em: 2 abr. 2022.
- BIME INITIATIVE. 211in Model Uses Table. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bimexcellence.org/files/211in-Model-Uses-Table.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2022.
- BRASIL. Decreto nº 9.983, de 22 DE agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Lex: coletânea de legislação: edição federal, Brasília, DF, 2019.

- CÂMARA, G., DAVISA, C., MONTEIRO, A. M. V. (2001). Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: Ministério da Ciência e Tecnologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 345 p.
- CARDOSO, M.C., (2020). Autodesk: Civil 3D 2020: aplicações BIM para projetos de Infraestrutura. Érica, São Paulo, SP, 1.ed., 528 p.
- CODEPLAN. Atlas do Distrito Federal 2020. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2020-Cap%C3%ADtulo-2.pdf>. Acesso em: 15 out. 2021.
- CORREA, S.L.P.; SIVIERO, L.F.; FREITAS, R.O.; CORREA, F.R.; SANTOS, E.T. (2019). BIM para infraestrutura de transportes. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, Campinas, SP. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC.
- EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2. ed., John Wiley & Sons, New Jersey, 648 p.
- EASTMAN, C., TELCHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. (2014). Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. Bookman, Porto Alegre, RS, 483 p.
- ESRI. How To: Export geodatabase feature classes to CAD including annotation using the Export to CAD Tool. Disponível em: <https://support.esri.com/en/technical-article/000008383>. Acesso em: 12 mai. 2022.
- ESRI. Problem: Export to CAD creates empty files that do not display in AutoCAD or ArcGIS Desktop. Disponível em: <https://support.esri.com/en/technical-article/000008383>. Acesso em: 12 mai. 2022.
- EMBRAPA. Geotecnologia. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-geotecnologias/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 1 set. 2021.
- EMBRAPA. SRTM - Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>. Acesso em: 27 fev. 2022.
- FITZ, P. R. (2008). Geoprocessamento sem complicação. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 160 p.

- GEOPORTAL - SIGVALEC. Geoportal. Disponível em: <https://sig.valec.gov.br/portal/home/>. Acesso em: 28 mar. 2022.
- GOVERNO DE SANTA CATARINA. 2015. Secretaria de Estado do Planejamento. Caderno de Especificações de Projetos em BIM: Termo de Referência de Apresentação das Diretrizes Projetuais. Santa Catarina, PR, 97 p.
- GRAPHISOFT. O que há de novo no Archicad 25? Disponível em: <https://graphisoft.com/br/solucoes/archicad/archicad-25>. Acesso em: 12 mai. 2022.
- IBGE. 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manuais Técnicos em Geociências número 14: Acesso e Uso de Dados Espaciais. Rio de Janeiro: IBGE, 139 p.
- IMAGEM. Imagens & Sensoriamento Remoto. Disponível em: <https://www.img.com.br/pt-br/arcgis/produtos/imagem-e-sensoriamento-remoto/visao-geral>. Acesso em: 15 set. 2021.
- INPE. Satélite sino-brasileiro CBERS-4 completa seis anos em órbita. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5624. Acesso em: 24 set. 2021.
- INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO. Natureza dualística da radiação electromagnética. Disponível em: <http://e-escola.tecnico.ulisboa.pt/topico.asp?id=437>. Acesso em: 12 set. 2021.
- JENSEN, J.R. (2010). Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Parêntese Editora, São José dos Campos, SP, 598 p.
- LABTOPOPE. Laboratório Topográfico de Pernambuco. Disponível em: <https://www.labtopope.com.br/>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- LAI, H.; DENG, X. (2018). “Interoperability analysis of IFC-Based data Exchange between heterogeneous BIM software”, *Journal of Civil Engineering and Management*, 24(7), 537-555.
- LIU, X.; WANG, X.; WRIGHT, G.; CHENG, J.C.P.; LI, X.; LIU, R. (2017). “A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS).” *International Journal of Geo-Information*, 6(2), 53.

- MENESES, P. R., ALMEIDA, T. (2012). Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. CNPq, Brasília, DF, 266 p.
- NBS NATIONAL BIM LIBRARY. The only collection of high quality BIM objects certified to meet the NBS BIM Object Standard. Disponível em: <https://www.nationalbimlibrary.com/en/>. Acesso em: 19 abr. 2022.
- OLIVEIRA, G. (2018). Desafios da infraestrutura no Brasil. Trevisan Editora, São Paulo, SP, 1. Ed., 40 p.
- PENN, M. R., PARKER, P.J. (2017). Introdução à infraestrutura: para engenharia civil e ambiental. LTC, Rio de Janeiro, RJ, 1.ed., 390 p.
- PLATAFORMA BIMBR. FAÇA PARTE DA REVOLUÇÃO NA CONSTRUÇÃO. Disponível em: <https://plataformabimbr.abdi.com.br/bimBr/#/>. Acesso em: 31 mar. 2022.
- PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DA AREA DE INFLUENCIA DA FERROVIA NORTE-SUL NO ESTADO DO TOCANTINS. BASE DE DADOS: DADOS GEORREFERENCIADOS. Disponível em: <http://pdris.seplan.to.gov.br/index.php/dados-georreferenciados>. Acesso em: 3 mar. 2022.
- SAEPRO. Diferenças entre o CAD tradicional e o conceito BIM. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/saepro/saepro-2/conheca-o-projeto/diferencas-entre-o-cad-tradicional-e-o-conceito-bim/>. Acesso em: 1 out. 2021.
- SPBIM ARQUITETURA DIGITAL. O QUE É O INFRAWORKS?. Disponível em: <https://spbim.com.br/o-que-e-o-infracworks/>. Acesso em: 4 mar. 2022.
- SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES GEORREFERENCIADAS. Manuais: Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: 25 ago. 2021.
- SUCCAR, B. (2008). “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders.” *Automation in Construction*, 18(2009), 357–375.

- TÔSTO, S.G., RODRIGUES, C.A.G., BOLFE, E.L., BATISTELLA, M. (2014). Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF, Embrapa, 248 p.
- VALEC ENGENHARIA, CONSTRUÇÕES E FERROVIAS S.A. Ferrovias. Disponível em: <https://www.valec.gov.br/ferrovias>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- VALEC, Engenharia, Construções e Ferrovias. VALEC: 80-EG-000A-17-0000: PROJETO GEOMÉTRICO. 2011. Brasil.
- VERNADAT, F.; CHEN, D.; DOUMEINGTS, G. (2008). “Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future.”, *Computers in Industry*, 59(7), 647 – 659.
- WANG, H.; PAN, Y.; LUO, X. (2019).” Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis.” *Automation in Construction*, 103 (2019), 41–52.
- ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO TOCANTINS. Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins - Produtos Técnicos. Disponível em: <https://zee.seplan.to.gov.br/produtos-zee-to/relatorios-tecnicos/zoneamento-ecologico-economico-do-tocantins---produtos-tecnicos/>. Acesso em: 15 fev. 2022.