



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

JOÃO VITHOR LIMA GUERREIRO

**ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM EM PROJETOS
GEOMÉTRICOS DE VIAS DE BAIXO TRÁFEGO**

**FORTALEZA
2023**

JOÃO VITHOR LIMA GUERREIRO

ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM EM PROJETOS
GEOMÉTRICOS DE VIAS DE BAIXO TRÁFEGO

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Iuri Sidney Bessa

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G965e Guerreiro, João Vithor Lima.

Estudo de caso : aplicação da metodologia BIM em projetos geométricos de vias de baixo tráfego / João Vithor Lima Guerreiro. – 2023.

103 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Iuri Sidney Bessa.

1. BIM. 2. Infraestrutura. 3. Projeto. 4. Drenagem. I. Título.

CDD 620

JOÃO VITHOR LIMA GUERREIRO

ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM EM PROJETOS
GEOMÉTRICOS DE VIAS DE BAIXO TRÁFEGO

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Iuri Sidney Bessa

Aprovada em: 13/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Iuri Sidney Bessa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Waldemiro de Aquino Pereira Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jorge Luiz Oliveira Lucas Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha mãe, Merylane Lima Guerreiro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela minha vida e por me dar forças, coragem e saúde para enfrentar os variados obstáculos que apareceram durante o período de curso.

Ao Prof. Dr. Iuri Sidney Bessa pela sua admirável dedicação disponibilidade e paciência para me orientar na elaboração deste trabalho, desde o momento em que acolheu o tema. Sem dúvidas seu apoio, profissionalismo e amizade foram fundamentais para que chegar até aqui.

À minha mãe, Merylane Lima Guerreiro, que com sua força de mulher e mãe-solo, é meu exemplo para enfrentar os desafios e adversidades do vidas sem perder a esperança em um amanhã melhor que o hoje. Sua fé inabalável e seu jeito único de encarar as expiações e provas são exemplos que carrego para enfrentar de cabeça erguida e coração aberto os desafios da vida. Sem seu apoio, seu carinho, acolhimento e conselhos e ensinamentos, eu não teria conseguido a maior parte de tudo que conquistei na minha vida até aqui.

A Marcos Maia, meu melhor amigo, que é um verdadeiro presente na minha vida desde o primeiro momento que nos encontramos. Seus conselhos, sua paciência e amizade (e conhecimento em informática) foram cruciais em vários momentos decisivos de minha vida e no desenvolvimento deste trabalho. Seu jeito diferenciado de encarar os desafios e adversidades da vida acadêmica, profissional e pessoal me inspiraram para encarar os desafios que me levaram até o fim desta jornada. Até por isso, o considero o irmão que a UFC me deu.

A Wilton Silveira (in memoriam), pelo seu apoio no aspecto profissional e na seara pessoal. Seu profissionalismo e vasta experiência em projetos de infraestrutura foram decisivos na definição do tema e dos objetivos deste projeto. Além disso, sua paciência em me ensinar e disposição em compartilhar seu grande conhecimento nas ferramentas computacionais BIM pavimentaram o caminho que eu trilharia até a conclusão deste trabalho. Seus conselhos e ensinamentos seguirão me acompanhando para toda a vida profissional e pessoal.

Ao Engenheiro Marcelo da Costa Teixeira, por abrir as portas de seu escritório para que eu pudesse estagiar, oferecendo assim uma oportunidade valiosa de aprendizado e me dando oportunidade para crescer, além de disponibilizar recursos técnicos para que eu pudesse concluir este trabalho. A sua confiança em minhas capacidades de aprender e executar, abriram o caminho para meu interesse na área, fortalecendo assim a motivação para

desenvolver este trabalho. Além disso, sua paciência em ensinar e compartilhar sua experiência na área de projetos, mesmo em momentos de bastante correria, foi crucial para a elaboração do trabalho e com certeza levarei seu exemplo para a vida toda.

Aos colegas da Construtec Engenharia e Consultoria pela troca de conhecimento que possibilitaram inspirações para o desenvolvimento deste trabalho, bem como meu crescimento profissional e pessoal.

Aos meus companheiros de faculdade, ao qual formamos um grupo que se uniu para enfrentar juntos as dificuldades impostas durante a trajetória acadêmica, além de tornar o convívio na universidade mais leve e permitindo rir até mesmo nos momentos de maior ansiedade e preocupação. Guardarei com carinho os momentos compartilhados e os ensinamentos trocados.

À banca examinadora pelo tempo dedicado à paciência e leitura deste trabalho, bem como pelas valiosas colaborações e sugestões.

RESUMO

Diante da necessidade de oferecer uma infraestrutura de transporte capaz de atender as demandas populacionais, as administrações públicas municipais vêm recorrendo a paramentar as antigas estradas vicinais de terra com pavimentação que possa oferecer condições suficientes para o transporte de pessoas e mercadorias. Dado que estas vias geralmente possuem baixo volume de tráfego, procura-se executar um projeto simples, o que não descarta que a estrutura possa ter qualidade, uma vida útil prolongada e que ofereça segurança e o conforto para quem possa usufruir da via. Logo, a adoção do BIM (*Building Information Modelling*) permite ao projetista conciliar os aspectos físicos e geométricos da via através de um modelo parametrizado sujeito a simulações e testes durante a etapa de projeto, a fim de dar uma perspectiva mais próxima da realidade, assim economizando tempo e evitando repetição de trabalho ou perca de dados durante o processo de elaboração do projeto pela equipe responsável. Desta forma, o presente trabalho apresenta uma proposta uma rotina de trabalho através da elaboração de um fluxograma de decisões a serem tomadas ao se identificar, através do modelo BIM elaborado, como proceder intervenções que dê condições adequadas de drenagem do pavimento, evitando que sua vida útil seja drasticamente reduzida além de atender parâmetros de segurança e conforto mínimos propostos pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Através do desenvolvimento de um projeto geométrico para intervenções em uma via de baixo tráfego e com pouca infraestrutura, foi possível organizar em três vertentes (drenagem, conforto e visibilidade) uma sequência lógica de tomada de decisões para quais alterações realizar nesta via, a partir da atribuição de parâmetros de projeto ao modelo da via existente obtido pelos *softwares* BIM. O desenvolvimento das propostas de tomada de decisões foi possível através da aplicação das ferramentas dos programas computacionais BIM disponíveis em um estudo de caso de uma via local na sede do município de Aquiraz-CE.

Palavras-chave: BIM, Infraestrutura, Projeto, Drenagem.

ABSTRACT

Faced with the need to provide a transport infrastructure capable of meeting population demands, municipal public administrations have resorted to paving the old dirt roads to provide sufficient conditions for the transport of people and goods. Given that these roads generally have a low volume of traffic, an attempt was made to execute a simple project, which does not rule out that the structure may have quality, a prolonged useful life and offer safety and comfort for those who can use the road. Therefore, the adoption of BIM (Building Information Modelling) allows the designer to reconcile the physical and geometric aspects of the road through a parameterized model subject to simulations and tests during the design stage, to give a perspective closer to reality, as well as saving time and avoiding repetition of work or loss of data during the project elaboration process by the responsible team. In this way, the present work presents a proposal for a work routine through the elaboration of a flowchart of decisions to be taken when identifying, through the BIM model elaborated, how to proceed with interventions that provide adequate conditions for the drainage of the pavement, avoiding that its life service is drastically reduced in addition to meeting the minimum safety and comfort parameters proposed by the DNIT (National Department of Transport Infrastructure). Through the development of a geometric design for interventions on a low-traffic road with little infrastructure, it was possible to organize it into three aspects (drainage, comfort and visibility) a logical decision-making sequence for which changes to make in this road, from the attribution of design parameters to the existing road model obtained by the BIM software. The development of the decision-making proposals was possible through of the application of the tools of the BIM computational programs available in a case study of a local road in the seat of the municipality of Aquiraz-CE.

Keywords: BIM, Infrastructure, Design, Urban Drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos de curva circular	23
Figura 2 – Perfil longitudinal e greide reto e curvo.....	24
Figura 3 –Tipos de curvas verticais	24
Figura 4 – Exemplo de seção transversal	26
Figura 5 – Distância de visibilidade de parada.....	28
Figura 6 – Parâmetros considerados na determinação do comprimento mínimo de curva vertical	29
Figura 7 – Sarjeta com meio-fio	34
Figura 8 – Caixa coletora em alvenaria	34
Figura 9 – Sistema de drenagem de travessia urbana	35
Figura 10 – Bueiro de grota	35
Figura 11 – Drenos profundos	36
Figura 12 – Integração de todas as fases de um projeto com BIM.....	38
Figura 13 – Modelo de rodovia gerado por captura de drones e geoprocessamento.....	39
Figura 14 – Croqui de localização da estrada sem nome	40
Figura 15 – Visão geral da via sem denominação	41
Figura 16 – Seleção do sistema de coordenadas no Infraworks	42
Figura 17 – Seleção de terreno para elaboração de modelo	43
Figura 18 – Detalhe do modelo da via pré-configurado	43
Figura 19 – Configuração de atributos do traçado da via.....	44
Figura 20 – Janela de importação do modelo gerado pelo Infraworks no AutoCAD Civil 3D.....	45
Figura 21 – <i>Assembly</i> criado a partir do elemento de estrada importado para o Civil 3D	46
Figura 22 – Trecho do corredor criado automaticamente a partir do elemento de estrada	46
Figura 23 – Trecho do perfil longitudinal configurado a partir do modelo <i>Infraworks</i>	47
Figura 24 – Alinhamento e corredor lançado. Ao fundo, a verificação da locação com o recurso GEOMAP	47
Figura 25 – Configurações do <i>assembly</i> gerado pelo <i>Infraworks</i>	49
Figura 26 – Indicação de ponto baixo detectado pelo Autodesk Civil 3D	49
Figura 27 – Relatório de visibilidade criado	50
Figura 28 – Biblioteca do Autodesk <i>Vehicle Tracking</i>	51
Figura 29 – Perspectiva panorâmica da simulação no <i>Vehicle Tracking</i>	51
Figura 30 – Perspectiva do motorista simulada pelo Autodesk Vehicle Tracking.....	52

Figura 31 – Perfil longitudinal da via gerado pelo AutoCAD Civil 3D com base na topografia exportada do Autodesk <i>Infraworks</i>	53
Figura 32 – Greide da via lançado na topografia importada pelo Autodesk <i>Infraworks</i>	54
Figura 33 – Mapeamento dos pontos baixos com auxílio do <i>Google Earth</i>	56
Figura 34 – Trecho do alinhamento horizontal com pontos notáveis seguidos.....	57
Figura 35 – Simulação em planta do veículo de projeto fazendo manobra em um trecho da via com curva horizontal	58
Figura 36 – Simulação do veículo em 3D atravessando uma curva concava.....	58
Figura 37 – Simulação de comportamento de um ônibus na via.....	59
Figura 38 – Esquema de trabalho no AutoCAD Civil 3D	60
Figura 39 – Fluxograma de intervenções de drenagem	61
Figura 40 – Fluxograma de intervenções de visibilidade	61
Figura 41 – Fluxograma de intervenções de conforto ao uso da via	62
Figura 42 – Nova composição da seção transversal para intervenções no projeto.....	63
Figura 43 – Parâmetros de entrada para nova modelagem da seção transversal	64
Figura 44 – Simulação de veículo transitando em uma faixa de tráfego hipotética de 2,50m ..	66
Figura 45 – Fluxograma do processo preliminar de trabalho	68
Figura 46 – Grupos de parâmetros básicos estabelecidos	69
Figura 47 – Tela inicial do programa Autodesk Infraworks	70
Figura 48 – Tela do gerador de modelos do Autodesk Infraworks	70
Figura 49 – Menu de opções de configuração da via	71
Figura 50 – Importação do modelo para o formato ".imx"	72
Figura 51 – Tela inicial do desenho do AutoCAD Civil 3D	72
Figura 52 - Opção de importação do arquivo IMX para o Civil 3D	73
Figura 53 – Tela de criação do perfil longitudinal	73
Figura 54 – Tela de criação do perfil longitudinal	74
Figura 55 – Esquema de extração de informações dos relatórios do modelo.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critério de classificação de rodovias	20
Tabela 2 – Classificação funcional de vias rurais e urbanas	21
Tabela 3 – Velocidade de projeto por classe de projeto e topografia.....	26
Tabela 4 – Veículos de projeto e características conforme DNIT.....	27
Tabela 5 – Valores de f em função da velocidade diretriz	28
Tabela 6 – Distâncias mínimas de visibilidade em função da velocidade diretriz	30
Tabela 7 – Inclinações máximas de rampa.....	30
Tabela 8 – Valores K em função da distância de parada.....	32
Tabela 9 – Resumo dos dispositivos de drenagem listados pelo DNIT	37
Tabela 10 – Aspectos físicos existentes da via.....	41
Tabela 11 – Parâmetros ideais de projetos utilizados neste estudo	48
Tabela 12 – Parâmetros de projeto do greide gerado pelo Autodesk <i>Infraworks</i>	55
Tabela 13 – Volume total de movimento de terra	56
Tabela 14 – Novas características de projeto do greide após alterações	64
Tabela 15 – Volumes gerados pela intervenção no modelo existente.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AVI	<i>Audio Video Interlace</i>
BIM	<i>Building Information Modelling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CE	Ceará
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
PC	Ponto de Curva
PT	Ponto de Tangente
PI	Ponto de Interseção;
PCV	Ponto de Curva Vertical;
PTV	Ponto de Tangente Vertical;
PIV	Ponto de Interseção Vertical
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
2D	Referente a duas dimensões
3D	Referente a três dimensões

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização	14
1.2	Questões da pesquisa	16
1.3	Objetivos	16
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	16
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	16
1.4	Estrutura do trabalho.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Considerações iniciais.....	18
2.2	Classificação de vias.....	19
2.2.1	<i>Classificação técnica.....</i>	19
2.2.1.1	<i>Volume de tráfego</i>	19
2.2.1.2	<i>Nível de serviço.....</i>	19
2.2.2	<i>Classificação funcional.....</i>	20
2.3	Projeto geométrico de vias	21
2.3.1	<i>Generalidades.....</i>	21
2.3.2	<i>Concordância de curvas horizontais</i>	22
2.3.3	<i>Perfil longitudinal.....</i>	23
2.3.4	<i>Seção Transversal</i>	25
2.4	Parâmetros de projeto	26
2.4.1	<i>Velocidade de projeto e velocidade de operação</i>	26
2.4.2	<i>Veículos de projeto</i>	26
2.4.3	<i>Distâncias de visibilidade de parada</i>	27
2.4.4	<i>Distâncias de visibilidade de ultrapassagem</i>	29
2.4.5	<i>Rampas</i>	30
2.4.6	<i>Comprimento de curvas verticais.....</i>	31
2.4.7	<i>Parâmetro K</i>	31
2.5	Considerações sobre drenagem de vias.....	32
2.6	Aplicação do BIM em projetos de infraestrutura.....	37
3	METODOLOGIA.....	40
3.1	Local de estudo	40

3.2	Programas computacionais	41
3.3	Recursos e processamento de dados	42
3.3.1	<i>Terreno natural</i>	42
3.3.2	<i>Planimetria e altimetria</i>	44
3.4	Parâmetros de projeto	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	Desenvolvimento do modelo	53
4.1.1	<i>Lançamento da topografia</i>	53
4.1.2	<i>Parâmetros de projeto</i>	54
4.1.3	<i>Pontos baixos e drenagem da via</i>	55
4.1.4	<i>Movimento de terra</i>	56
4.1.5	<i>Seção transversal e manobras</i>	57
4.2	Análise dos procedimentos de desenvolvimento do modelo	59
4.2.1	<i>Análise de elementos do modelo</i>	59
4.2.2	<i>Instauração de intervenções</i>	60
4.3	InSTRUÇÃO de projeto	66
4.3.1	<i>Serviços preliminares</i>	67
4.3.2	<i>Parâmetros de projeto</i>	68
4.3.3	<i>Abertura de projeto</i>	69
4.3.3.1	<i>Autodesk Infraworks</i>	69
4.3.3.2	<i>AutoCAD Civil 3D</i>	72
4.3.4	<i>Análise dos elementos de projeto</i>	74
4.3.4.1	<i>Perfil longitudinal</i>	74
4.3.4.2	<i>Alinhamento horizontal</i>	75
4.3.4.3	<i>Corredor e Seção Transversal</i>	75
4.3.4.4	<i>Visualização 3D pelo Vehicle Tracking</i>	75
4.3.4.5	<i>Relatórios</i>	76
4.3.5	<i>Avaliações e intervenções</i>	76
4.3.5.1	<i>Drenagem</i>	77
4.3.5.2	<i>Conforto</i>	77
4.3.5.3	<i>Visibilidade</i>	78
4.3.6	<i>Considerações finais</i>	78
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80

5.1	Conclusões	80
5.2	Limitações	80
5.3	Recomendações para trabalhos futuros.....	81
	REFERÊNCIAS	82
	APÊNDICE A – RELATÓRIO DE ALINHAMENTOS VERTICIAIS (GERADO PELO AUTODESK CIVIL 3D).....	84
	APÊNDICE B – RELATÓRIO DE VIS. DE ULTRAPASSAGEM (GERADO PELO AUTOCAD CIVIL 3D)	96
	APÊNDICE C – MAPA DE PONTOS BAIXOS (ANTES DA INTERVENÇÃO)	98
	APÊNDICE D – PROJETO GEOMÉTRICO PROPOSTO	100

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Segundo Cardoso (2007), a disponibilidade de infraestrutura de transporte que permita condições de tráfego seguras e confortáveis para trânsito de pessoas e mercadorias, está diretamente ligada ao desenvolvimento econômico e populacional de uma região. No âmbito municipal, as prefeituras são responsáveis pela manutenção e gerenciamento das estruturas de transporte que ligam seus bairros, distritos e comunidades.

As estradas vicinais são vias muito difundidas no interior do país e que cumprem a função de ligar periferias e zonas rurais dos municípios a seus centros urbanos ou dar acesso a estruturas de responsabilidade dos governos estaduais e federal como as rodovias estaduais e federais. Por terem origem em épocas pioneiras, sua concepção é precária o que leva o gestor municipal responsável por elas a intervir em sua estrutura a fim de corrigir os recorrentes problemas que prejudicam o uso do equipamento e causam transtornos à comunidade que deveria ser servida por ela (DNIT, 2005).

Para Fattori (2007), devido à escassez de recursos, o gestor municipal opta por intervir de forma a aproveitar ao máximo elementos da estrada vicinal. Para isto, o desenvolvimento do projeto viário torna-se de grande valia ao investimento dos recursos públicos, servindo como ferramenta principal da obra desde o planejamento até a execução (ALBANO, 2016).

O projeto de vias de baixo tráfego procura usar ao máximo os elementos naturais da estrada, a fim de se evitar a geração de grandes volumes e a necessidade de extensos e complexos serviços, tornando sua execução menos onerosa (PONTES FILHO, 1998). Porém, observa-se que a ocorrência de problemas estruturais e a falta de drenagem adequada nestas vias acabam exigindo maior atenção no que tange aos aspectos geométricos do projeto (FATTORI, 2007).

É importante destacar, portanto, que levantamentos topográficos e estudos geotécnicos fornecem subsídios importantes para se avaliar intervenções que busquem sanar e/ou mitigar problemas observados ainda na fase de projeto. Além disso, o projeto deve possuir coordenação de alinhamentos verticais e horizontais que satisfaçam aos parâmetros mínimos de utilização como condições de visibilidade e performance de tráfego (PONTES FILHO, 1998).

Evidencia-se, então, a importância da integração de dados necessários para o desenvolvimento do projeto, de forma a permitir a imediata visualização do cenário atual e a exposição dos problemas com a finalidade de propor alternativas para solução mais efetiva tecnicamente e economicamente. Os softwares desempenham papel fundamental na compilação desses dados obtidos em campo e atuam como elemento agregador na etapa de concepção de projeto ao otimizar recursos e permitir à equipe projetista prever resultados, intervir e guiar um melhor caminho construtivo.

Através da Modelagem da Informação de Construção, também conhecida pelo termo em inglês *Building Information Modelling* (BIM), é possível integrar as informações em uma única base, o que contribui para um melhor aproveitamento dos recursos computacionais e humanos no projeto, pois permite desenvolver um modelo que simule as condições encontradas no campo. Kymmell (2008) define o BIM como projeto e processo de simulação, que consiste em modelos tridimensionais onde componentes da construção trazem links para todas as informações necessárias nos projetos de planejamento, de construção ou de exploração.

A construção do modelo, a visualização em 2D e 3D e a execução de simulações através dos programas de computador exigem da equipe de projeto um certo tempo, porém é uma forma de baixo custo para investigar os problemas de coordenação entre alinhamentos e deficiências de visibilidade. A modelagem BIM apresenta alguns desafios a serem vencidos. Por ser uma novidade entre os profissionais que trabalham no setor de projetos, especialmente de infraestrutura de transportes, e devido ao desconhecimento, há a ideia de que o processo é complexo e delicado, além da existência de uma resistência natural humana a mudanças (BRANDÃO, 2014).

Brandão (2014) destaca ainda que a necessidade da engenharia atual para automação de processos e redução de custos e prazos é a principal impulsionadora do desenvolvimento da metodologia BIM. Além disso, o aumento da produtividade ainda na fase de projeto é uma qualidade importante que favorece a adoção dessa nova metodologia de trabalho.

Para melhor aproveitamento deste tempo e dos recursos materiais e imateriais disponíveis, é necessário definir uma sequência de passos que levem à construção do modelo final e como integrá-lo a outros projetos. Faz-se necessário então apresentar a utilização das ferramentas computacionais e como torná-las cruciais na concepção de projeto, permitindo visualização ampla do problema e rápidas tomadas de decisão.

1.2 Questões da pesquisa

O presente trabalho levanta algumas questões que serão pertinentes ao longo do seu desenvolvimento, dispostas da seguinte forma:

- a) Quais são as ferramentas computacionais acessíveis e que podem auxiliar na compilação dos dados necessários e desenvolvimento do projeto de vias?
- b) Como é possível reunir os dados necessários para o desenvolvimento do projeto em uma única plataforma através desses programas computacionais?
- c) Como tornar o processo de concepção do projeto de vias mais rápido, fazendo um melhor aproveitamento dos dados levantados em campo?
- d) É possível verificar quais são as limitações do uso das ferramentas computacionais para vias de tráfego leve?
- e) Como as ferramentas computacionais podem contribuir no lançamento dos greides e no dimensionamento dos elementos horizontais e seções transversais das vias?
- f) Como conciliar as intervenções a fim de se propiciar condições de drenagem superficial, visibilidade e conforto ao usuário da via?

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma metodologia para avaliar da necessidade de intervenções em projetos de infraestrutura de vias de tráfego leve por meio da tecnologia BIM.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- a) Estudar a aplicação do BIM na concepção de projetos rodoviários;
- b) Explorar ferramentas computacionais que permitem identificação de problemas auxiliando no desenvolvimento do projeto de pavimentação no que tange melhorias principalmente no âmbito da drenagem superficial;

- c) Demonstrar impactos da utilização da tecnologia BIM na integralização de projetos frente aos projetos desenvolvidos diante de tecnologia de desenho por computador assistido (*computer-aided design, CAD*).

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos, a seção de referência e seção de anexos conforme a seguinte estrutura:

- Capítulo 1 – Introdução: traz a contextualização do tema do tema, as questões que motivaram o desenvolvimento do trabalho, os objetivos principais e específicos da pesquisa.
- Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: apresenta a revisão da bibliografia onde é apresentado, em seus tópicos, as informações necessárias para o entendimento da pesquisa.
- Capítulo 3 – Metodologia: discorre sobre os materiais e os métodos utilizados na execução deste trabalho. Nele é apresentado informações sobre o local utilizado como objeto de estudo de caso, os programas computacionais e seu ferramental necessário para a construção do modelo e os parâmetros de projetos utilizados em sua avaliação.
- Capítulo 4 – Resultados e discussões: mostra o modelo elaborado e as discussões sobre a aplicação da tecnologia BIM no estudo.
- Capítulo 5 – Considerações finais: traz conclusões feitas a partir do resultado obtido e recomendações para trabalhos futuros.
- Referências – traz toda a bibliografia consultada para a elaboração deste trabalho
- Apêndices – traz as peças gráficas finalizadas, bem como tabelas e relatórios gerados durante o estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais

Segundo Bernucci (1995), as estradas vicinais são vias que servem de ligação entre as áreas rurais e centros urbanos próximos. Estradas de revestimento primário ainda são muito difundidas em regiões de zona rural de baixo tráfego, porém com ocupação populacional considerável. O traçado natural destas estradas possui vários problemas que afetam negativamente o uso e serventia do pavimento. Baesso e Gonçalves (2003) destacam que nestas vias se encontram problemas principalmente relacionados à seção transversal inadequada, drenagem imprópria e buracos. Com o crescimento populacional das regiões, cresce também a demanda por estruturas viárias que ofereçam aos moradores condições de tráfego melhores aos usuários. Opta-se então pelo uso de revestimentos primários mais baratos e que não exijam grandes equipes e que sejam de rápida execução, reduzindo os custos de execução e manutenção.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2010) considera que as estradas vicinais são resultado da evolução das trilhas e caminhos precários remotos das épocas pioneiras. Fattori (2007) destaca que, devido à escassez de recursos, faz-se necessário minimizar os custos de construção, aproveitando-se das curvas de nível do terreno e divisores de água naturais, a fim de se evitar construção de obras d'arte especiais.

É por meio do projeto geométrico que se obtém as informações necessários para análise das intervenções a serem executadas, a partir de um conjunto de dados obtidos por meio de levantamentos e estudos locais. Segundo Pimenta e Oliveira (2004), todos os elementos necessários para a definição do traçado, do perfil longitudinal, e das seções transversais da estrada são escolhidos e calculados nesta etapa.

Na perspectiva de Mamede Filho (2013), a representação de parâmetros da rodovia em duas dimensões sendo essa um objeto em três dimensões, é o principal ponto de influência para tornar a elaboração do projeto uma etapa complexa. Recorre-se então à construção de um modelo digital 3D, a fim de que se facilite a compreensão das implicações visuais das combinações dos elementos em planta e perfil. Entra-se então na seara da tecnologia *Building Information Modelling* (BIM) no desenvolvimento do projeto, visto que a representação virtual obtida contém as informações necessárias a construção de um empreendimento, utilizando computadores e softwares (KYMELL, 2008).

2.2 Classificação de vias

2.2.1 Classificação técnica

O DNIT (2010) classifica as rodovias de acordo com quatro critérios: (i) quanto à sua administração, (ii) quanto à sua funcionalidade dentro da rede viária, (iii) quanto às características físicas e (iv) quanto às classes técnicas. O tráfego e o tipo de função da rodovia são os elementos fundamentais a ser considerados na classificação de uma rodovia e enquadramento em determinada classe de projeto (PONTES FILHO, 1998).

2.2.1.1 Volume de tráfego

Segundo o DNIT (2005), volume de tráfego é o número de veículos que passa pela seção ou por um trecho da rodovia em um dado intervalo de tempo. Os volumes de tráfego são expressos em VMD (Volume Médio Diário, v/d) ou VHP (Volume Horário de Projeto, v/h).

2.2.1.2 Nível de serviço

Segundo Pontes Filho (1998), o conceito de nível de serviço está associado às condições de operação de uma via e é estabelecido em função da velocidade desenvolvida e ao volume de tráfego que essa acomoda. A classificação é feita de A a F e para rodovias rurais de pista simples, esses níveis têm as seguintes características:

- a) Nível A: representa a condição de fluxo livre numa rodovia com boas características técnicas, havendo possibilidade de desenvolver altas velocidades;
- b) Nível B: fluxo estável, com velocidades e liberdade de manobra restrinvidas pelo tráfego;
- c) Nível C: mostra a condição de fluxo de veículos ainda estável, porém a liberdade de manobras se mostra mais restrita que no nível A e B;
- d) Nível D: Indica a condição de fluxo instável, com liberdade de manobras e velocidade da via muito mais limitadas em comparação às observadas no nível C;

- e) Nível E: a via trabalha a plena capacidade, ou seja, em seu volume máximo de veículos e as condições de manobra se tornam muito mais restritas;
- f) Nível F: descreve a condição de colapso da via, formando filas extensas e a velocidade de operação e condições de manobra chegam a zero.

A Tabela 1 apresenta as classes de projeto em conjunto com características gerais e critérios de classificação de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2010).

Tabela 1 – Critério de classificação de rodovias

Classes de projeto		Características	Critério de classificação técnica
0		Via Expressa: Controle total de acessos	Decisão administrativa
I	A	Pista Dupla: controle parcial de acesso	Se os volumes de tráfego previstos ocasionarem níveis de serviço em rodovias de pista simples inferiores aos níveis C ou D
I	B	Pista Simples: controle parcial de acesso	Volume horário de projeto > 200 Volume médio de projeto (VMD) > 1.400
II		Pista Simples	VMD entre 700 e 1400
III		Pista Simples	VMD entre 300 e 700
IV	A	Pista Simples	VMD entre 50 e 200
IV	B	Pista Simples	VMD < 50

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2010, adaptado)

2.2.2 *Classificação funcional*

Segundo o DNIT (2010), a classificação funcional agrupa as vias de forma hierárquica em subsistemas, conforme o tipo de serviço que oferecem e função que exercem. As vias podem ser classificadas da seguinte forma:

- a) Vias arteriais: Compreendem as rodovias cuja função principal é a de propiciar mobilidade;

- b) Coletoras: Englobam as rodovias que proporcionam um misto de funções de mobilidade e acesso;
- c) Locais: Abrangem as rodovias cuja função principal é oferecer condição de acesso.

Para vias rurais, leva-se em consideração o porte das localidades atendidas (seja político, econômico e/ou demográfico), volumes de tráfego e a distância média de viagem desse tráfego. Para vias urbanas, a classificação segue quatro requisitos: função da via; tipo de trânsito; uso do solo lindeiro e espaçamento. A Tabela 2 resume como as vias urbanas e rurais podem ser classificadas de acordo com sua funcionalidade.

Tabela 2 – Classificação funcional de vias rurais e urbanas

Vias Rurais	Vias Urbanas
Sistema Arterial	Sistema Arterial
Sistema Arterial Principal	Sistema Arterial Principal
Sistema Arterial Primário	
Sistema Arterial Secundário	Sistema Arterial Secundário
Sistema Coletor	Sistema Coletor
Sistema Coletor	Sistema Coletor
Sistema Coletor Secundário	
Sistema Local	Sistema Local
Sistema Local	Sistema Local

Fonte - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2010, adaptado)

2.3 Projeto geométrico de vias

2.3.1 Generalidades

Pontes Filho (1998) define Projeto Geométrico como o processo de correlação dos elementos físicos de uma estrada com características de operação e condições de uso. Este processo envolve as fases de reconhecimento, exploração e projeto:

- a) Reconhecimento: consiste na etapa onde há o levantamento preliminar e análise de dados topográficos, geológicos e hidrológicos da região para o lançamento do anteprojeto.
- b) Exploração: etapa onde há o levantamento topográfico mais detalhado de uma faixa delimitada no terreno onde seja possível projetar o eixo da estrada. Nesta fase, são desenvolvidos estudos que possibilitam elaboração de anteprojeto de terraplanagem, pavimentação, drenagem etc.

c) Projeto: fase em que há o detalhamento do anteprojeto, executando-se os cálculos necessários para a definição do projeto em planta, perfil longitudinal e seção transversal. O projeto final da estrada contempla também a memória de cálculo, justificativas de soluções adotadas, especificações técnicas, métodos executivos e orçamentação.

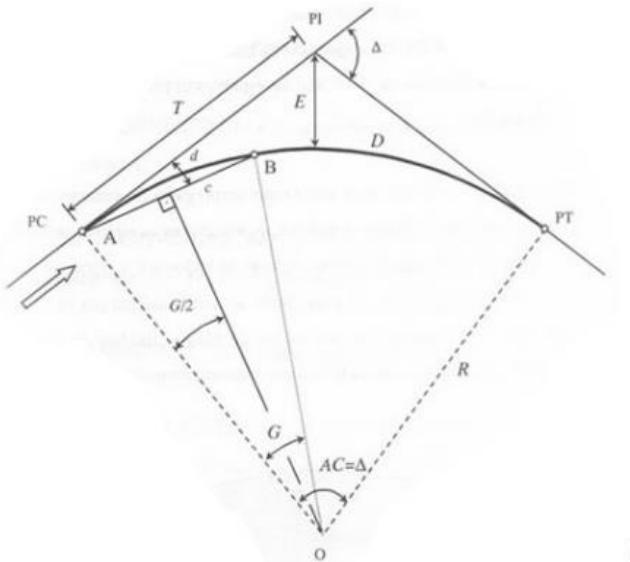
Baesso e Gonçalves (2003) divide a etapa de dimensionamento dos elementos geométricos do projeto no dimensionamento dos planos horizontais, definindo a geometria da linha de eixo da via, no dimensionamento no plano vertical e por último na definição seção transversal, caracterizando a geometria dos componentes da rodovia segundo planos verticais perpendiculares ao eixo da rodovia.

2.3.2 *Concordância de curvas horizontais*

Segundo Pontes Filho (1998), as curvas horizontais definidas em projeto devem garantir a inscrição dos veículos nas mesmas, a visibilidade e a estabilidade dos veículos. Ademais, a curva circular é facilmente localizada em campo e projetada. Ela é constituída pelos seguintes elementos, ilustrados na Figura 1, onde:

- PC: Ponto de curva;
- T: tangente externa;
- PT: ponto de tangente;
- O: centro da curva;
- PI: ponto interseção das tangentes;
- E: afastamento;
- D: desenvolvimento da curva;
- G: grau da curva;
- Δ : ângulo de deflexão;
- c: corda;
- Ac: ângulo central da curva;
- d: deflexão sobre a tangente;
- R: raio da curva circular.

Figura 1 – Elementos de curva circular



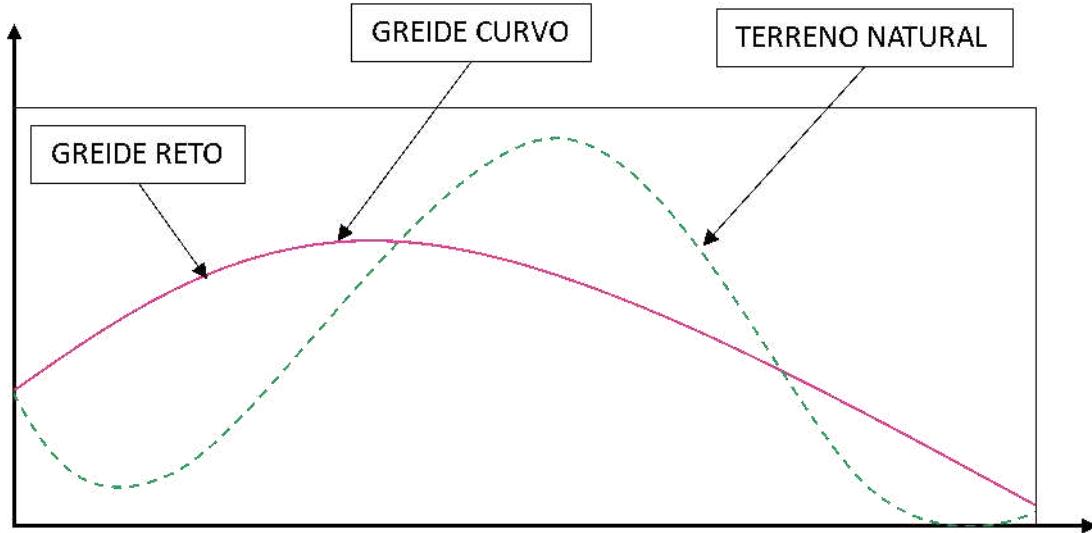
Fonte: Pontes Filho (1998)

Os principais elementos planimétricos são os Pontos de Interseção das tangentes (PIs), as coordenadas dos PIs com as extensões das tangentes, os azimutes dos alinhamentos, o ângulo de deflexão entre as tangentes, os raios das curvas horizontais e o estakeamento do traçado. Ainda segundo Pontes Filho (1998), as curvas horizontais de transição, que são curvas com curvatura progressiva entre um alinhamento reto e uma curva circular, devem assegurar conforto e segurança ao usuário, reduzindo os incômodos da variação brusca causados pela aceleração centrífuga.

2.3.3 Perfil longitudinal

Albano (2016) define que o perfil longitudinal do terreno é uma espécie de corte longitudinal feita ao longo de todo o traçado e tal corte passa pelas cotas das curvas de nível, gerando ponto e que futuramente teremos o perfil longitudinal do terreno onde nele é projetado o greide. O greide, segundo Pontes Filho (1998) é o conjunto de alturas que o perfil da estrada deve obedecer ao finalizada. Os greides são classificados em retos e curvos. Os greides retos possuem inclinação constante em determinado trecho. O greide curvo, se utiliza de uma curva para concordar os greides retos, conforme ilustrado na Figura 7 (PONTES FILHO, 1998).

Figura 2 – Perfil longitudinal e greide reto e curvo

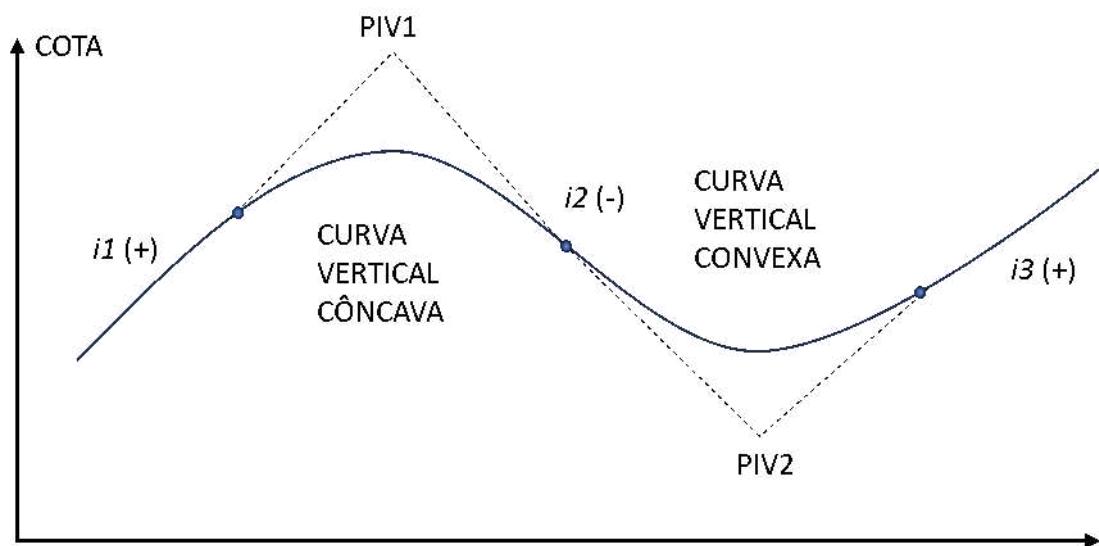


Fonte: Pontes Filho (Adaptado)

Os pontos de interseção vertical são expressos pela sigla PIV (Ponto de Interseção Vertical). Os pontos de início da curva são denominados pela sigla PCV (Ponto de Curva Vertical). O ponto final da curva é denominado pela sigla PTV (Ponto de Tangência Vertical).

Por recomendação do DNIT (2005), os greides curvos devem ser parábolas de 2° grau, devido a simetria em relação ao Ponto de Interseção Vertical (PIV), como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 –Tipos de curvas verticais



Fonte: Pontes Filho (Adaptado)

Segundo Pimenta e Oliveira (2004), o projetista deve otimizar as massas, minimizando os volumes de cortes e aterros, consequentemente, diminuindo os custos de movimentação terra e garantir condições de segurança e condições de visibilidade ao usuário.

Para Pontes Filho (1998), a definição do greide está atrelada a condições importantes que devem ser observadas, onde destacam-se:

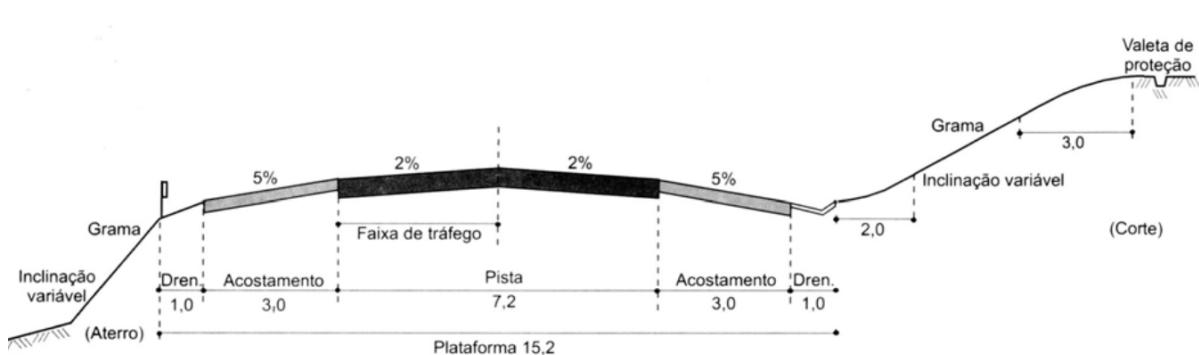
- a) Apresentar uma linha que busque minimizar volumes de corte e aterro;
- b) Evitar pontos de cota mais baixa fiquem dentro dos cortes, bem como evitar trechos com declividade menor que 1%;
- c) Garantir amplas distâncias de visibilidade.

Albano (2016) reforça que a rampa mínima admissível, para viabilizar o escoamento natural das águas pluviais é de aproximadamente 1%, não podendo haver curvas côncavas, evitando o acúmulo de águas da chuva e prejudicando a drenagem.

2.3.4 Seção Transversal

Pontes Filho (1998) define a seção transversal de uma estrada como a representação geométrica de elementos dispostos transversalmente ao eixo longitudinal da estrada. Pimenta e Oliveira (2004) uma rodovia pode ter uma ou várias seções transversais. A ocorrência de várias seções ao longo do traçado se justifica se ocorrerem alterações nos elementos básicos do projeto em decorrência de mudanças do tráfego ou das condições físicas locais. A Figura 4 apresenta alguns exemplos de seções transversais.

Figura 4 – Exemplo de seção transversal



Fonte: Pimenta e Oliveira (2004)

2.4 Parâmetros de projeto

2.4.1 Velocidade de projeto e velocidade de operação

Pontes Filho (1998) define velocidade de projeto, ou velocidade diretriz, como a velocidade máxima que um veículo pode manter em determinado trecho, em condições normais de segurança. Esta velocidade norteará o dimensionamento de características da via, como curvatura e distância de visibilidade, por exemplo. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2010), apresenta velocidades de projeto de acordo com a classe da via, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Velocidade de projeto por classe de projeto e topografia

Classes de projeto	Velocidade de Projeto (Km/h)		
	Plana	Ondulada	Montanhosa
0	100	100	80
I A	100	80	60
I B	100	80	60
II	80	70	50
III	70	60	40
IV A	60	40	30
IV B	60	40	30

Fonte: DNIT (2010, adaptado)

2.4.2 Veículos de projeto

O veículo de projeto, segundo Pontes Filho (1998), é o veículo teórico cuja características físicas e operacionais condicionam parâmetros para o dimensionamento geométrico de uma via, como por exemplo, a largura e comprimento do veículo influenciam

na largura da pista de rolamento, a distância entre eixos influencia na determinação dos raios mínimos e sua altura na determinação do gabarito vertical. Pontes Filho (1998) cita ainda que sua escolha deve levar em conta a composição de tráfego da via. O DNIT (2010) estabelece os veículos de projeto dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Veículos de projeto e características conforme DNIT

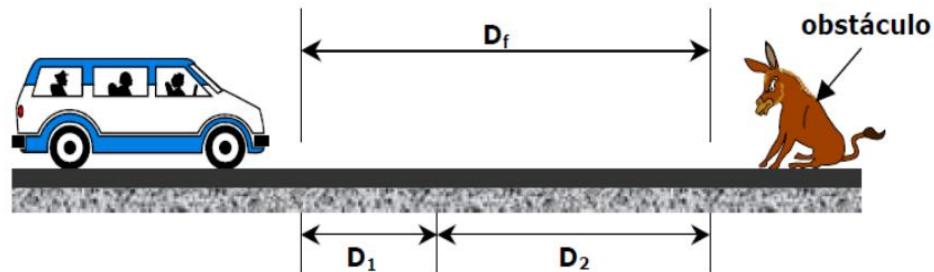
Veículo de projeto	Definição	Características Físicas (m)				
		Largura	Comprimento	R. min. roda externa dianteira	R. min. giro do eixo dianteiro	R. min. roda externa traseira
VP	Veículos leves	2,1	5,8	7,3	6,4	4,7
CO	Caminhões/Ônibus urbano	2,6	9,1	12,8	11,5	8,7
O	Ônibus urbano longo	2,6	12,2	12,8	11,5	7,1
OR	Ônibus rodoviário	2,6	14	13,8	12,5	7,7
CA	Carretas	2,6	18,6	13,7	12,5	6,4
BT-7	Bitrem 7 eixos	2,6	19,8	13,7	12,5	6,8
CG	Caminhão cegonheiro	2,6	22,4	13,7	12,5	2
BT-9	Bitrem 9 eixos	2,6	25	13,7	12,5	4,5
BTL	Bitrem rod. longo	2,6	30	13,7	15,4	3,9

Fonte: DNIT (2010, adaptado)

2.4.3 Distâncias de visibilidade de parada

A distância mínima de visibilidade, segundo o Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER, 1999) é distância mínima que um motorista precisa para frear completamente em segurança após se deparar com um obstáculo. Ela é composta por duas parcelas: a distância percorrida pelo veículo entre o instante de percepção do motorista quando se depara com obstáculo (D_1) e o instante de início de frenagem e a distância percorrida pelo veículo durante a frenagem (D_2), conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 5 – Distância de visibilidade de parada



Fonte: Pastana (2017)

Segundo a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), o tempo de percepção (D_1) é 1,5 segundos e o tempo de frenagem (D_2) é 1 segundo, resultando em um tempo de percepção e reação total igual a 2,5 segundos. A AASHTO ainda define que a distância de parada seja calculada pela Equação 1:

$$D_p = 0,7 \cdot V + \frac{V^2}{255 \cdot (f + i)} \quad (1)$$

Onde:

D_p : Distância de parada (m);

V = Velocidade diretriz (Km/h);

f = coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento;

i = declividade do greide (m/m) (positivo, se ascendente; negativo, se descendente).

O DNER (1999) apresenta os valores estão dispostos na Tabela 5, baseados nos valores apresentados pelo *Green Book* da AASHTO (1994).

Tabela 5 – Valores de f em função da velocidade diretriz

V (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
f	0,4	0,37	0,35	0,33	0,31	0,3	0,29	0,28	0,25

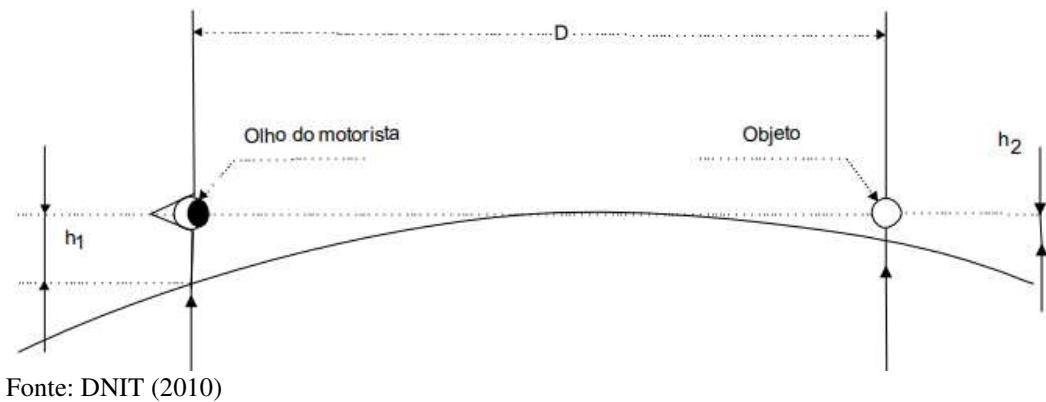
Fonte: DNER (1999, adaptado)

Em 2004, uma nova revisão do *Green Book* feita pela AASHTO recomenda um valor de atrito pneu/pavimento f de 0,35 para uma desaceleração de 3,4 m/s, considerando esta taxa confortável para a maioria dos motoristas.

O DNIT (2010) adota, para efeitos de cálculo, os valores recomendados da

AASHTO, considerando a altura dos olhos do motorista em carro de passeio como 1,08 m e 0,60m para a altura do obstáculo. A altura menor que 0,60 m pode aumentar substancialmente os custos de construção, por exigir em muitos casos escavação adicional para as curvas verticais mais longas (DNIT, 2010), conforme Figura 6.

Figura 6 – Parâmetros considerados na determinação do comprimento mínimo de curva vertical



Fonte: DNIT (2010)

2.4.4 Distâncias de visibilidade de ultrapassagem

Segundo Filho (1998), é a distância que o veículo pode executar uma manobra de ultrapassagem em condições de conforto e segurança quando estiver trafegando em uma pista simples com mão dupla. Recomenda-se a existência de trechos de visibilidades entre 1,5 e 3,0 quilômetros ou o mais extenso possível. Os trechos onde não há distância maior ou igual a de visibilidade de ultrapassagem, deve haver sinalização indicando a proibição da manobra. A Tabela 6 traz valores mínimos recomendados pelo DNIT (2010) em função da velocidade diretriz.

Tabela 6 – Distâncias mínimas de visibilidade em função da velocidade diretriz

Velocidade (Km/h)	Distância Mínima de Visibilidade e Ultrapassagem (m)
30	180
40	270
50	350
60	420
70	490
80	560
90	620
100	680

Fonte: DNIT (adaptado, 2010)

2.4.5 *Rampas*

Pimenta e Oliveira (2004) cita que veículos de passageiros conseguem vencer rampas de 4% a 5% com pouca perda de velocidade. Já caminhões conseguem vencer rampas de até 7% de inclinação em velocidades da ordem de 15 km/h a 25 km/h.

Rampas com mais de 7% devem ser utilizadas apenas em vias com baixo volume de tráfego. E quando a topografia for desfavorável, podem ser adotadas valores maiores que os indicados para rampas máximas a fim de se evitar grandes movimentações de terra (PIMENTA E OLIVEIRA, 2004).

A Tabela 7 mostra valores do antigo Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER, 1999), os valores de rampa máxima de acordo com a classe de projeto.

Tabela 7 – Inclinações máximas de rampa

Classe de projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3	4	5
Classe I	3	4,5	6
Classe II	3	5	6
Classe III	3	5 a 6	6 a 7
Classe IV	3	5 a 7	6 a 9

Fonte: DNER (1999)

2.4.6 Comprimento de curvas verticais

Pimenta e Oliveira (2004), considera a Equação 2 para o cálculo do comprimento mínimo para curvas verticais convexas na pior situação, quando a distância de parada é menor que o comprimento da curva vertical convexa.

$$L_{v\ min} = \frac{|i_2 - i_1| \cdot D_p^2}{2 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2})} \quad (2)$$

Onde:

$L_{v\ min}$ = comprimento mínimo da curva vertical, em metros;

D_p = Distância de parada, em metros;

h_1 = Altura da vista do motorista;

h_2 = Altura do obstáculo;

$i_2 - i_1$ = Diferença da inclinação de rampas.

Para curvas concavas, Pimenta e Oliveira (2004) recomenda a Equação 3.

$$L_{v\ min} = 0,6 \cdot V_p \quad (3)$$

Onde:

$L_{v\ min}$ = comprimento mínimo da curva vertical, em metros;

V_p = Velocidade de projeto, em Km/h.

2.4.7 Parâmetro K

O DNIT (2010) cita o parâmetro K como o valor numérico que define as curvas verticais parabólicas de 2º grau, representando o comprimento da curva no plano horizontal, em metros, para cada 1% de variação da declividade longitudinal. (DNIT, 2010). Pontes Filho (1998) cita que quanto maior o coeficiente K, mais suave é a curva vertical.

O DNIT (2010) ilustra na Equação 2 e Equação 3 o cálculo do parâmetro K para curvas côncavas em função da distância de parada menor que o comprimento da curva vertical concava:

$$K_{min} = \frac{D_p^2}{658} \quad (4)$$

Onde:

K_{min} = Parâmetro K mínimo para estrada;

D_p = Distância de parada.

A Equação 5 explicita o parâmetro K mínimo para curvas convexas onde a distância de parada é menor que o comprimento da curva vertical convexa.

$$K_{min} = \frac{D_p}{120 + 3,5 D_p} \quad (5)$$

Onde:

K_{min} = Parâmetro K mínimo para estrada;

D_p = Distância de parada.

A Tabela 8 traz valores recomendados pelo DNIT (2010) para valores K função das velocidades diretrizes e das distâncias de visibilidade de parada para o caso o comprimento da curva seja menor que a distância de parada.

Tabela 8 – Valores K em função da distância de parada

Velocidade diretriz (Km/h)	Distância de visibilidade de parada (m)	Curvas verticais convexas	Curvas Verticais concavas
30	35	2	6
40	50	4	9
50	65	7	13
60	85	11	18
70	105	17	23
80	130	26	30
90	160	39	38

Fonte: DNIT (2010, adaptado)

2.5 Considerações sobre drenagem de vias

Fattori (2007) ressalta a importância da drenagem como fator determinante na vida útil das estradas. É através do sistema de drenagem que as águas superficiais que venham atuar sob o leito estradal são removidas, evitando efeitos nocivos.

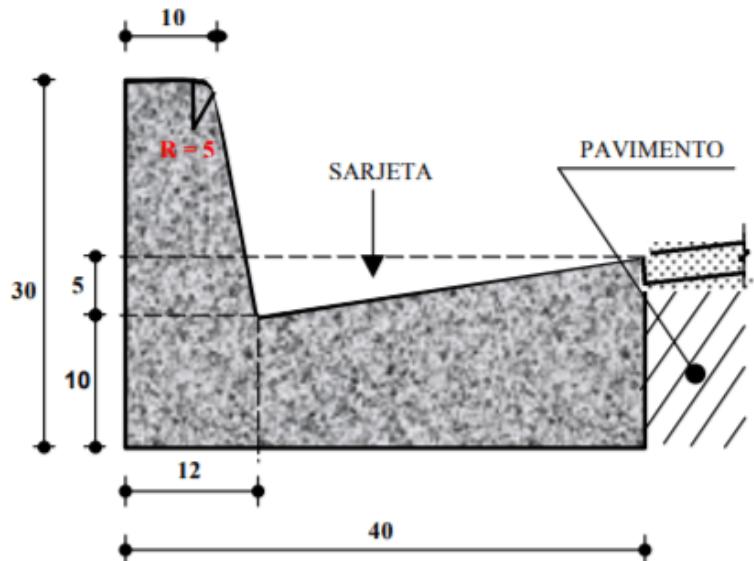
Segundo o DNIT (2005), a falta de uma drenagem adequada provoca, de uma maneira geral, os seguintes efeitos danosos nos pavimentos:

- a) Redução da capacidade de suporte do solo de fundação (subleito), em virtude de sua saturação, podendo também, em maior ou menor grau, ser acompanhado de mudança de volume (expansão);
- b) Bombeamento de finos de solo do subleito e materiais granulares das demais camadas do pavimento, com perda de capacidade de suporte;
- c) Arrastamento de partículas dos solos e materiais granulares superficiais, em virtude da velocidade do fluxo das águas.

Hachmann (2018) destaca a melhoria do greide da via, através da movimentação de terra, um fator que forneceria adequação na questão de drenagem superficial das águas em vias de pavimentação poliédrica. Fattori (2007) define que a drenagem superficial se refere aos dispositivos são construídos junto a plataforma, com a finalidade de propiciar o escoamento das águas pluviais que caem sobre a pista de rolamento e áreas adjacentes. Fattori (2007) define a drenagem superficial como um conjunto de dispositivos construídos junto a plataforma, com a finalidade de propiciar o escoamento das águas pluviais que caem sobre a pista de rolamento e áreas adjacentes. Segundo o DNIT (2006), os principais dispositivos de drenagem superficial do pavimento são:

- a) Sarjetas de Corte: São sarjetas abertas no interior dos cortes junto ao pé dos taludes. Servem para coletar as águas da chuva que correm pelos taludes e pelo leito estradal, para Caixas Coletoras ou para fora do corte.
- b) Meio-Fio e/ou Banquetas de Aterros (Figura 7): são dispositivos construídos junto ao bordo da plataforma dos aterros, destinados a encaminhar as águas da chuva para as Saídas de Água, impedindo a erosão da plataforma da rodovia e dos taludes de aterros.
- c) Caixas coletores (Figura 8): são elementos construídos junto aos bueiros e destinados à captação das águas superficiais que contribuem à plataforma (Fattori, 2007). São executados nos mais variados tipos com respeito à constituição dos materiais que a compõem, entre eles: alvenaria de tijolos maciços, concreto simples, pedra cortada e pedra de mão argamassada.

Figura 7 – Sarjeta com meio-fio



Fonte: ORSE (2005)

Figura 8 – Caixa coletora em alvenaria



Fonte: Fattori (2007)

A drenagem de travessia urbana, segundo o DNIT (2006), se refere a um sistema constituído por sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e galerias. As sarjetas ficam nas bordas dos pavimentos e conduzem a água para a boca de lobo e que de lá, segue para as galerias subterrâneas que ficam embaixo do pavimento. O poço de visita é uma estrutura que serve principalmente para que a manutenção do sistema seja feita. A composição do sistema é mostrada na Figura 9.

Figura 9 – Sistema de drenagem de travessia urbana



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Sistema-de-drenagem-urbana_fig1_350987911

A drenagem de transposição de talvegues tem sua função primordial, a drenagem de uma rodovia deve eliminar a água que se origina de uma bacia e que, por imperativos hidrológicos e do modelado do terreno, têm que ser atravessadas sem comprometer a estrutura da estrada através da introdução de uma ou mais linhas de bueiros sob os aterros (vide Figura 10) ou construção de pontilhões ou pontes transpondo os cursos d'água, obstáculos a serem vencidos pela rodovia (DNIT, 2006).

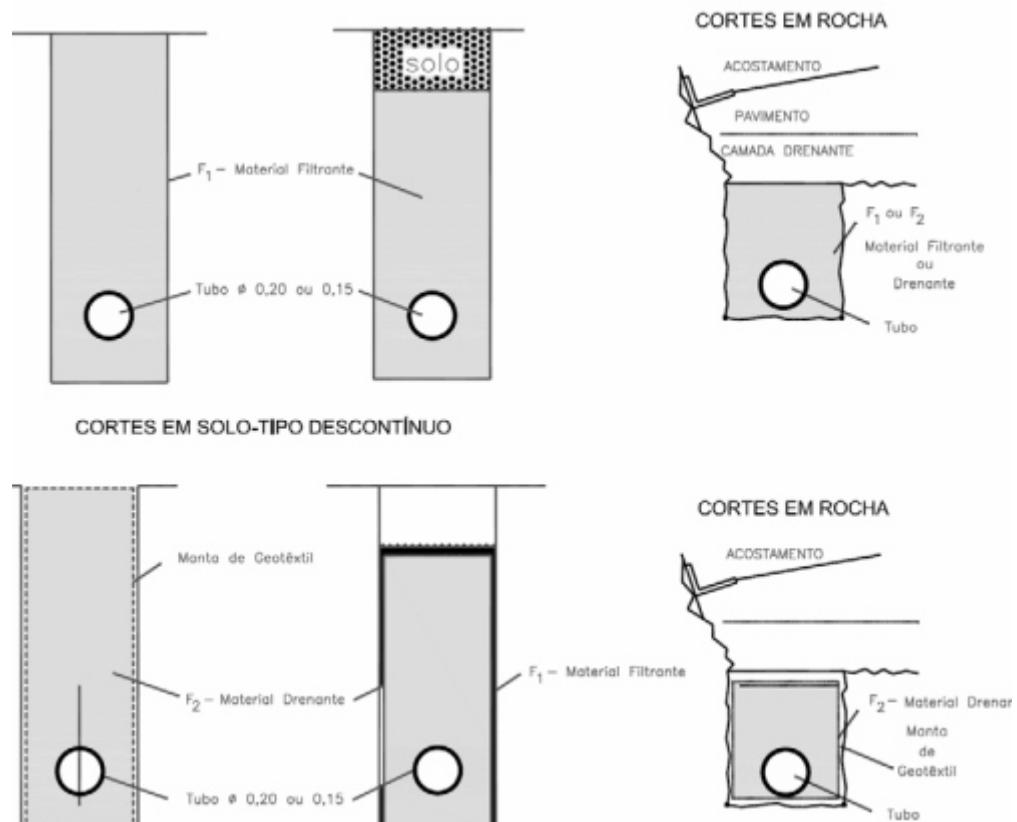
Figura 10 – Bueiro de gruta



Fonte: <https://www.al.sp.gov.br/noticia/?id=337714>

Os Drenos Profundos (DNIT, 2006) são dispositivos escavados e enterrados no leito estradal, em corte (mais profundos) ou em aterros (mais rasos), que servem para coletar as águas, tanto de infiltração superior quanto de lençóis subterrâneos, conduzindo-as para fora do leito estradal. Os drenos subterrâneos, em alguns projetos, são construídos conjugados com uma camada drenante do próprio pavimento ou de regularização dos cortes em rocha. A Camada Drenante (DNIT, 2006) é uma camada do pavimento destinada a conduzir as águas que penetram através do revestimento para fora do pavimento até a borda de acostamento ou até o topo dos Drenos Profundos ou subsuperficiais como ilustrados na Figura 11.

Figura 11 – Drenos profundos



Fonte: DNIT (2006)

A Tabela 9 traz um resumo dos principais dispositivos de drenagem, conforme o DNIT (2006).

Tabela 9 – Resumo dos dispositivos de drenagem listados pelo DNIT

Drenagem	Dispositivos	Funcionalidade
Drenagem de travessia urbana	<ul style="list-style-type: none"> - Sarjetas; - Bocas-De-Lobo; - Poços De Visita 	Para trechos urbanos ao longo de rodovias
Drenagem de transposição de talvegues	<ul style="list-style-type: none"> -Bueiros; -Pontilhões; -Pontes 	Transposição de cursos d'água
Drenagem de pavimento	<ul style="list-style-type: none"> -Camada drenante; -Drenos rasos longitudinais; -Drenos laterais de base; - Drenos transversais 	Para regiões com alto índice de altura pluviométrica. São dispositivos para drenar a água proveniente da chuva e do lençol freático.
Drenagem subterrânea ou profunda	<ul style="list-style-type: none"> - Drenos Profundos, - Drenos Espinhas De Peixe; - Colchão Drenante; -Drenos Sub-Horizontais; - Valetões Laterais; - Drenos Verticais. 	Para manter o lençol freático e as águas da capilaridade longes da estrutura da rodovia.
Drenagem superficial	<ul style="list-style-type: none"> - Valetas; - Sarjetas de corte e aterro; - Descidas d'água; - Saídas d'água - Caixas coletoras; - Bueiros de greide; - Escalonamento de taludes; - Dissipadores de energia; 	Intercepta e capta água proveniente das áreas adjacentes da rodovia conduzindo para deságue seguro.

Fonte: DNIT (2006, adaptado)

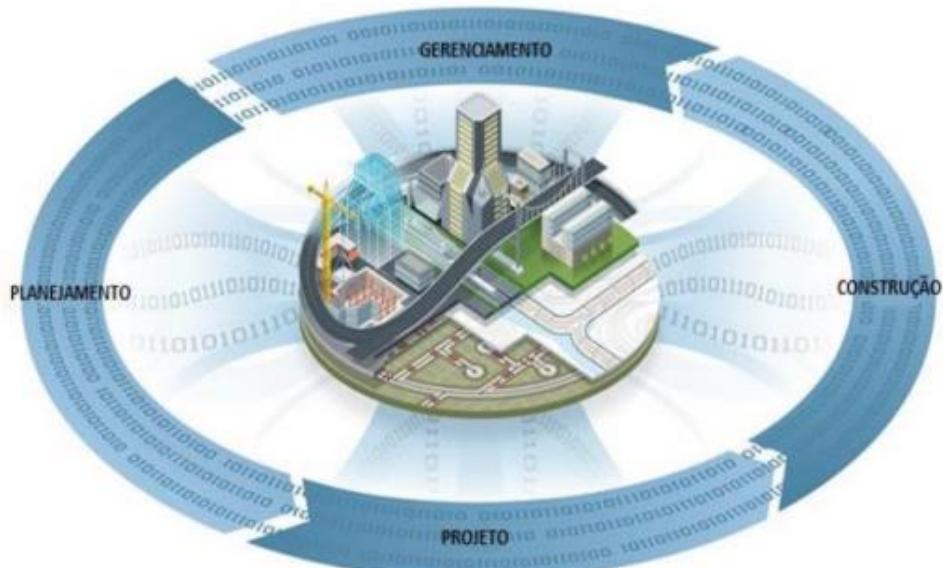
2.6 Aplicação do BIM em projetos de infraestrutura

A interligação de características físicas e geométricos, durante a elaboração do projeto, aos parâmetros para oferecer condições de segurança e conforto ao usuário da via é complexa. Brandão (2014) destaca a importância da forma de se ter uma visão ampla do projeto, citando como a visualização 2D em muitos casos acarreta a dificuldade de seu entendimento acarretando erros posteriores. Torna-se essencial para o projetista ter uma visão ampla do resultado da sobreposição dos parâmetros de projeto à coordenação da geometria da via. Entra-se, então, na seara da modelagem virtual.

Para Brandão (2014), uma das características do BIM é a criação de modelos paramétricos, permitindo a elaboração de um projeto de uma estrada de forma rápida e pouco

trabalhosa, desenhando automaticamente os raios conforme a necessidade e os parâmetros informados. Eastman (2014) define o BIM como a construção de um modelo virtual construído digitalmente de forma precisa, combinando processos de planejamento, gerenciamento, coordenação, projeto e visualização das fases da construção até o projeto acabado. A Figura 12 ilustra a integração de todos os processos integrados em um só modelo.

Figura 12 – Integração de todas as fases de um projeto com BIM



Fonte: AUTODESK (2014)

A metodologia BIM trabalha na construção de modelos 3D, facilitando a visualização do projeto e seu entendimento por parte da equipe envolvida em seu desenvolvimento. Em realidade, o BIM proporciona, então, a elaboração do projeto 3D e simulação real do projeto, facilitando sua compreensão (BRANDÃO, 2014).

Na perspectiva de Eastman (2014), modelos utilizados apenas para visualização, onde não é permitida a parametrização nem a integração de dados para análise de projeto, não podem ser considerados como BIM. O processo de parametrização implica em atribuir uma regra ou uma definição a certo objeto fazendo com que este não seja somente um simples desenho, mas algo que contém uma informação específica associada a ele (EASTMAN, 2014).

Eastman (2014) destaca que *softwares* que utilizam a metodologia BIM devem possuir a capacidade de trocar informações entre eles, promovendo fluxo de trabalho e melhor desempenho entre a equipe. Cursino (2018) ressalta a importância do uso da tecnologia BIM na obtenção de informações relevantes para o desenvolvimento do modelo tridimensional

como a obtenção de informações sobre a topografia, através da integração de dados georreferenciados, escaneamento por drones e escaneamento a laser e então desenvolvendo um modelo em 3D capturando a realidade através do desenvolvimento de uma nuvem de pontos, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Modelo de rodovia gerado por captura de drones e geoprocessamento



Fonte: <https://blogs.autodesk.com/mundoaec/bim-para-infraestrutura-de-transportes-rodoviarios/>

3 METODOLOGIA

Esta seção apresentará os materiais, parâmetros e procedimentos realizados na modelagem dinâmica da via de baixo tráfego.

3.1 Local de estudo

O município de Aquiraz possui 482,4 Km² de área territorial e oito distritos. A Rodovia CE-040 se configura como o principal acesso à sede do município e demais distritos, através de estradas vicinais ou vias de pavimentação poliédrica que se original nesta rodovia. Constatou-se também a ausência de identificação em boa parte destas vias. A região escolhida se situa no distrito sede de Aquiraz-CE, no bairro Piau. A via utilizada neste estudo de caso liga o Loteamento Parque Veraneio a Rua dos Bandeirantes, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Croqui de localização da estrada sem nome



Fonte: Google Earth (2023)

A via em questão pode ser classificada de acordo com a Lei Municipal 945/2011 como uma Via Local, pois ela dá acesso a área residencial do Loteamento Parque Veraneio à Rua dos Bandeirantes, uma via coletora que dá acesso as demais localidades do município (AQUIRAZ, 2011). O local atualmente não possui pavimentação, configurando-se como uma estrada terrosa, conforme ilustrado na Figura 15. Às margens da via, observa-se trechos com

vegetação, cercados e algumas residências isoladas. O leito carroçável, ao longo do trajeto, é limitado entre cercas de arame farpado que demarcam os terrenos marginais.

Figura 15 – Visão geral da via sem denominação



Fonte: Autor (2022)

A via existente, por se tratar de uma via local, possui pouco tráfego, apenas dos moradores do loteamento. A largura média existente é de 6,00m, sem passeio existente, existindo apenas um espaço onde estão locados postes de concreto. A Tabela 10 reúne as características físicas existentes.

Tabela 10 – Aspectos físicos existentes da via

Tipos	Título	Início	Fim	Largura Proposta	Classificação funcional	Tipo de pavimentação
Rua	sem denominação oficial	Rua dos Bandeirantes	Rua Piau	6 metros	Via Local	Terroso

Fonte: Autor (2023)

3.2 Programas computacionais

O foco deste estudo é o desenvolvimento de uma metodologia para processamento de dados, modelagem e elaboração de um projeto de pavimentação utilizando programas computacionais da tecnologia BIM. Portanto, para o desenvolvimento deste modelo como estudo de caso, utilizou-se os *softwares* Autodesk *Infraworks*, Autodesk Civil 3D e Autodesk

Vehicle Tracking.

O presente trabalho considerou que o grande projeto deve seguir o alinhamento do terreno natural. Portanto, os programas serviram como ferramenta de análise dos parâmetros mínimos de projeto, a fim de que as intervenções sejam feitas onde é estritamente necessário.

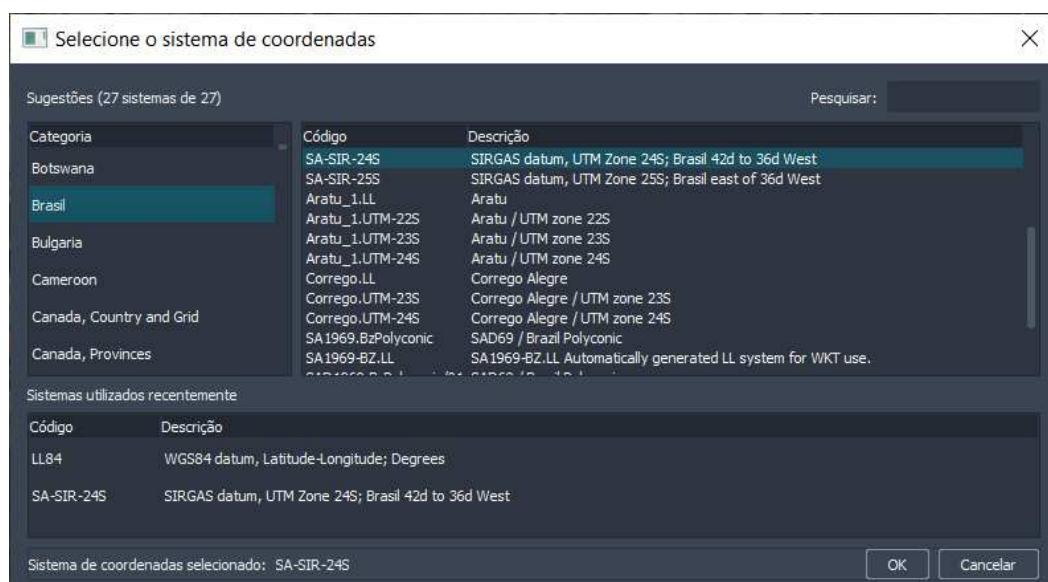
3.3 Recursos e processamento de dados

3.3.1 Terreno natural

Os dados topográficos foram obtidos com auxílio do programa Autodesk *Infraworks*. O programa gerou as curvas de nível do terreno através de dados georreferenciados e fotografias por satélite, assim foi possível obter um modelo 3D do terreno. Para este trabalho, foi utilizado a versão 2023 do programa.

O gerador de modelo do programa utilizou como base o sistema *Bing!* da Microsoft, que por sua vez, baseia-se na superfície obtida pela missão espacial *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que pode ser traduzida em português como Missão Topográfica Radar *Shuttle*. Com este modelo, foi possível obter dados de relevo, hidrografia, rodovias, ferrovias, dentre outros. Antes de gerar o modelo, foi necessário definir qual sistema de coordenada deve ser adotado o modelo. Para este trabalho, escolheu-se o sistema de coordenada SIRGAS 2000 24S, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Seleção do sistema de coordenadas no Infraworks



Fonte: Autodesk Infraworks

O programa permitiu escolher a região ao qual deve ser obtido os dados do terreno natural, conforme ilustrado na Figura 17.

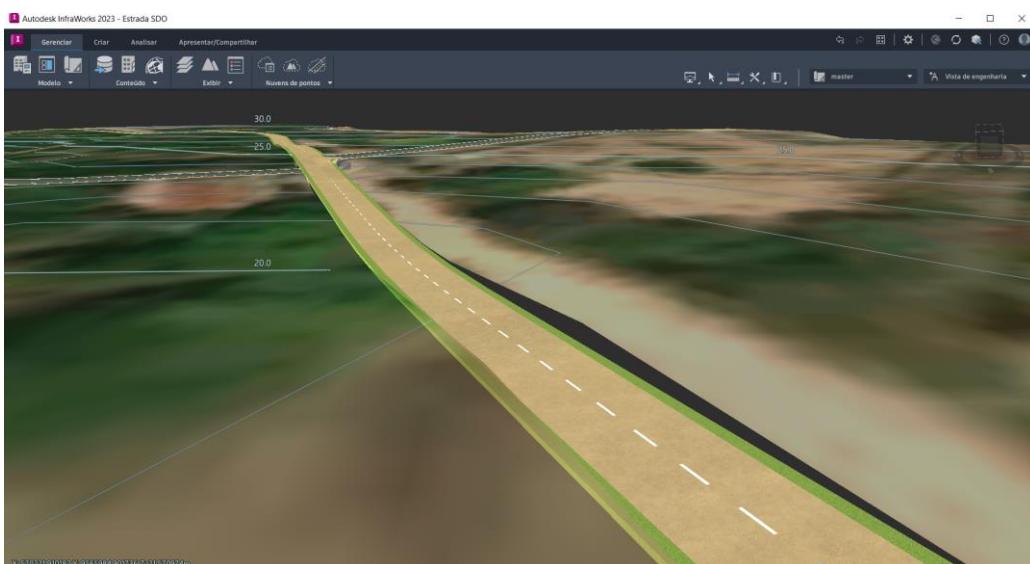
Figura 17 – Seleção de terreno para elaboração de modelo



Fonte: Autodesk Infraworks

Uma vez selecionado o trecho do terreno, o programa gera o modelo. O programa é capaz de reconhecer as vias existentes e gerar um traçado, graças ao já citado recurso de georreferenciamento, conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Detalhe do modelo da via pré-configurado



Fonte: Autodesk Infraworks

O programa permite transformar o traçado em um elemento de estrada, ou seja, cria-se um modelo da via existente com alguns parâmetros físicos e de projeto que podem ser configurados a fim de melhorar sua precisão, como largura da caixa existente ou a dimensão de talude da plataforma. A Figura 19 ilustra como os dados podem ser inseridos no traçado.

Figura 19 – Configuração de atributos do traçado da via



Fonte: Autodesk Infraworks

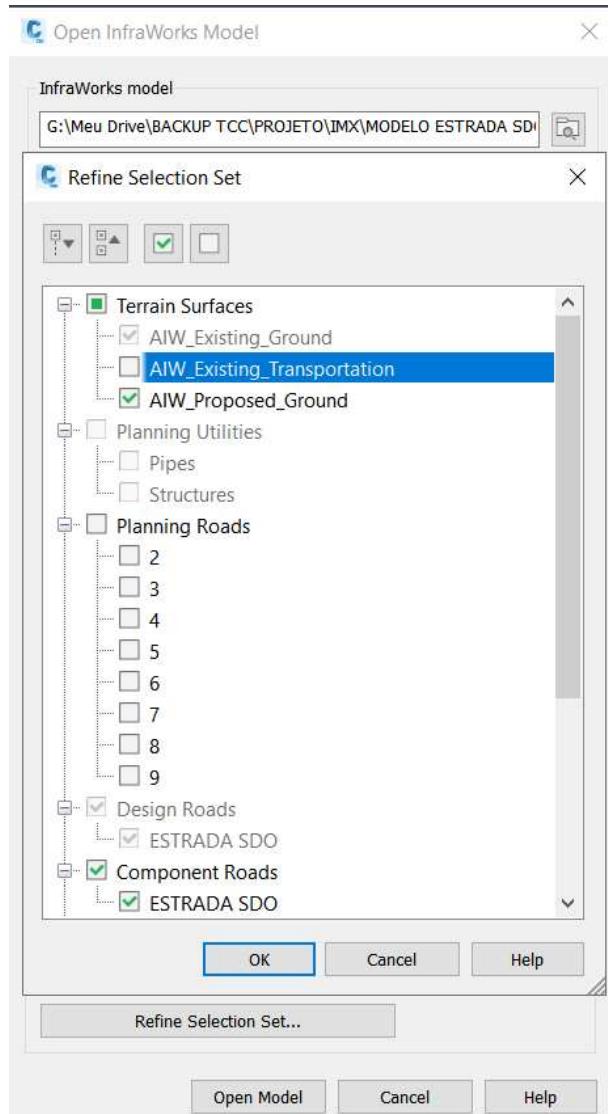
Para este trabalho, foi utilizada apenas a ferramenta de criação do elemento da via e geração do modelo, para assim, integrá-lo ao Autodesk Civil 3D. Assim, foi possível demonstrar como é feita a integração entre *softwares BIM*. O modelo foi importado no formato .imx para poder ser aberto pelo Civil 3D.

3.3.2 *Planimetria e altimetria*

Parte-se para o traçado horizontal e lançamento da altimetria. Nesta etapa,

utilizou-se o *software* AutoCAD Civil 3D. Foi necessário configurar o sistema de coordenadas do arquivo .dwg aberto no Civil 3D para que fosse possível integralizar o modelo gerado pelo Autodesk *Infraworks*. Ao exportar o arquivo imx para o AutoCAD Civil 3D, foi possível selecionar o que pode ser integrado ao projeto, conforme ilustrado na Figura 20.

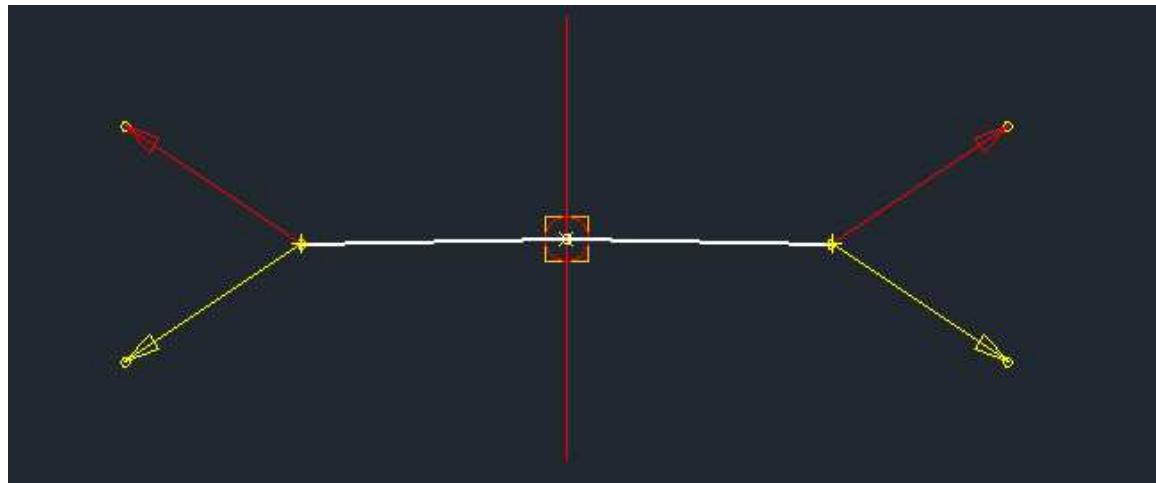
Figura 20 – Janela de importação do modelo gerado pelo Infraworks no AutoCAD Civil 3D



Fonte: AutoCAD Civil 3D

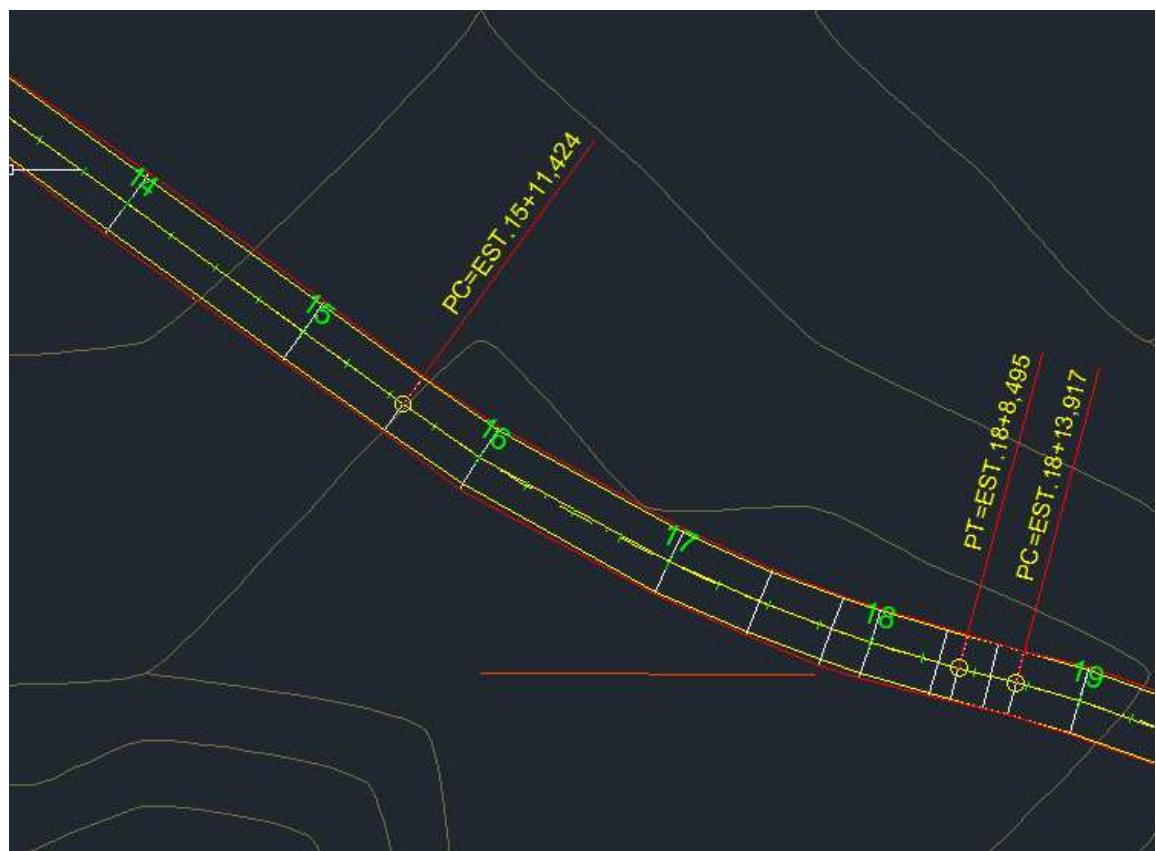
A opção “*Component Roads*” se refere ao elemento de estrada configurado anteriormente no Autodesk *Infraworks*. O elemento de estrada traz consigo os parâmetros inseridos no Infraworks e junto com ele o terreno natural. Ao exportar o modelo para o programa, o AutoCAD Civil 3D imediatamente processa os dados do modelo, criando automaticamente um *assembly* (Figura 21) e o corredor da via (Figura 22) com os parâmetros inseridos no *Infraworks*.

Figura 21 – Assembly criado a partir do elemento de estrada importado para o Civil 3D



Fonte: AutoCAD Civil 3D

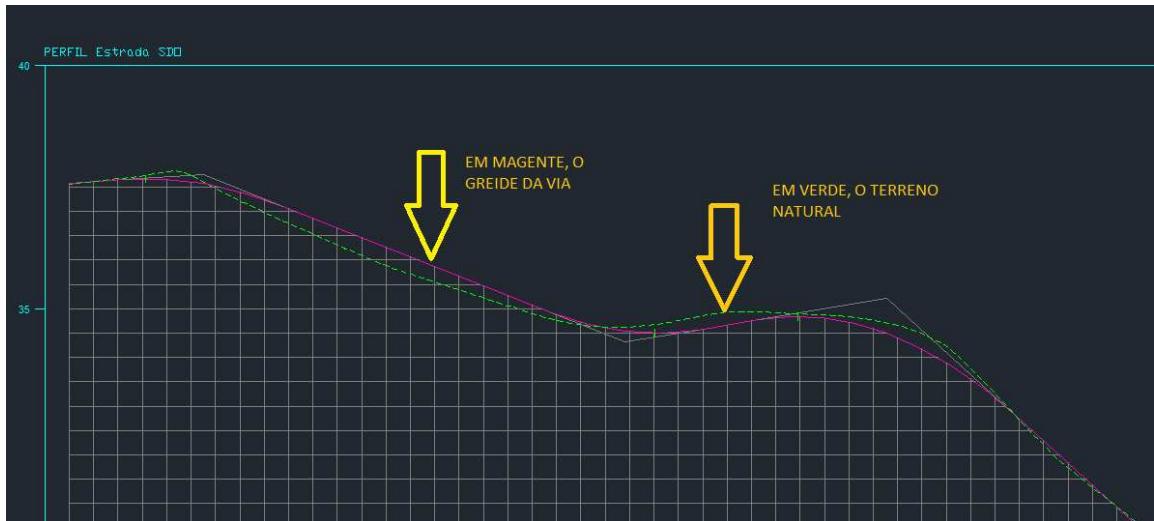
Figura 22 – Trecho do corredor criado automaticamente a partir do elemento de estrada



Fonte: AutoCAD Civil 3D

O programa ainda extrai do modelo o greide da via e o terreno natural, permitindo a automatização da criação do perfil longitudinal, conforme mostrado na Figura 23.

Figura 23 – Trecho do perfil longitudinal configurado a partir do modelo *Infraworks*



Fonte: AutoCAD Civil 3D

Na Figura 24, pode-se ver a planta com o alinhamento e o corredor exportados do *Infraworks*. Com o auxílio do recurso de visualização de mapas do AutoCAD Civil 3D foi possível verificar a locação do traçado no mapa.

Figura 24 – Alinhamento e corredor lançado. Ao fundo, a verificação da locação com o recurso GEOMAP



Fonte: AutoCAD Civil 3D

3.4 Parâmetros de projeto

Como parte importante para a elaboração do estudo, foram adotados os critérios de avaliação do modelo projetado, listado na Tabela 11. Os valores foram escolhidos a fim de verificar se a pista existente obedece aos parâmetros mínimos recomendados pelo DNIT e AASHTO, servindo para avaliar as condições de conforto, visibilidade e drenagem superficial existentes. A partir destes parâmetros, decidiu-se quais intervenções executar e em que aspecto elas deveriam ser feitas para melhoramento do projeto.

A partir da classificação funcional da via pelo DNIT, definiu-se a velocidade de projeto. Com a velocidade de projeto, obteve-se a distância mínima de ultrapassagem de acordo com os valores recomendados pelo DNIT, ilustrados na Tabela 8. Ainda na Tabela 8, obtém-se os valores de K recomendáveis em função da visibilidade de parada. Os parâmetros de rampa máxima e mínima, que devem ter inclinação de pelo menos 1% para viabilizar o escoamento da água, foram obtidos a partir da Tabela 9 que, por sua vez, toma como referência os valores recomendados pelo DNER. Aplicou-se também as Equações 2 e 3 para o cálculo do comprimento de curva e obtenção de seus valores.

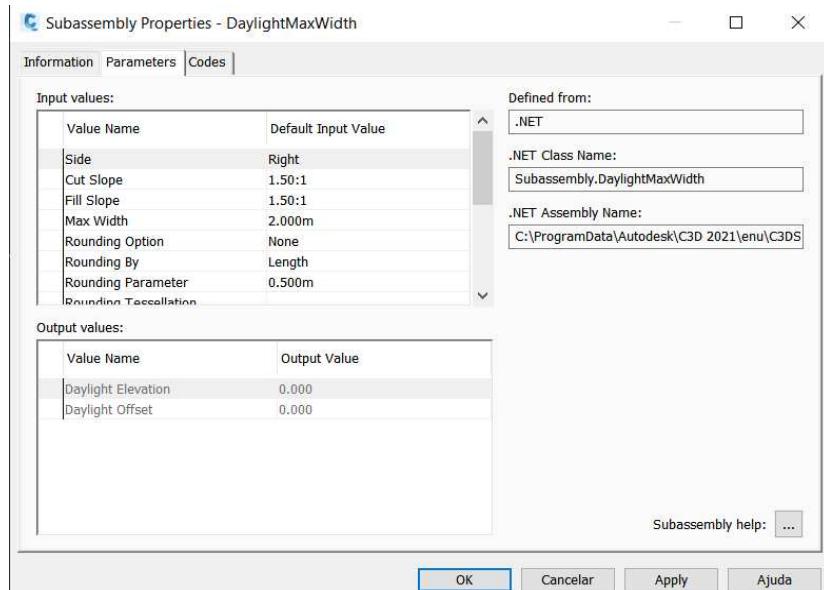
Tabela 11 – Parâmetros ideais de projetos utilizados neste estudo

Classificação da via	Terreno	Velocidade de Projeto (Km/h)	Distâncias Mínima (m)		Rampa	
			Parada	Ultrapassagem	Min	Máx
Classe IV - A	Ondulado	40	50	270	1%	6%
Parâmetro K		Comprimento de curvas (m)				
Calculado						
Convexa	Concava	Curva Convexa			Curva concava	
4	9	46			24	

Fonte: Autor (2023)

Na criação do elemento de estrada no Autodesk *Infraworks*, foram configuradas as dimensões do talude de aterro e corte como 1.5:1, proporção típica para obras rodoviárias, segundo Fattori (2007) bem como a largura máxima deste talude como 2,00 m considerando o um espaço entre o leito carroçável e o recuo das edificações existentes, onde haveria um passeio, conforme Figura 25.

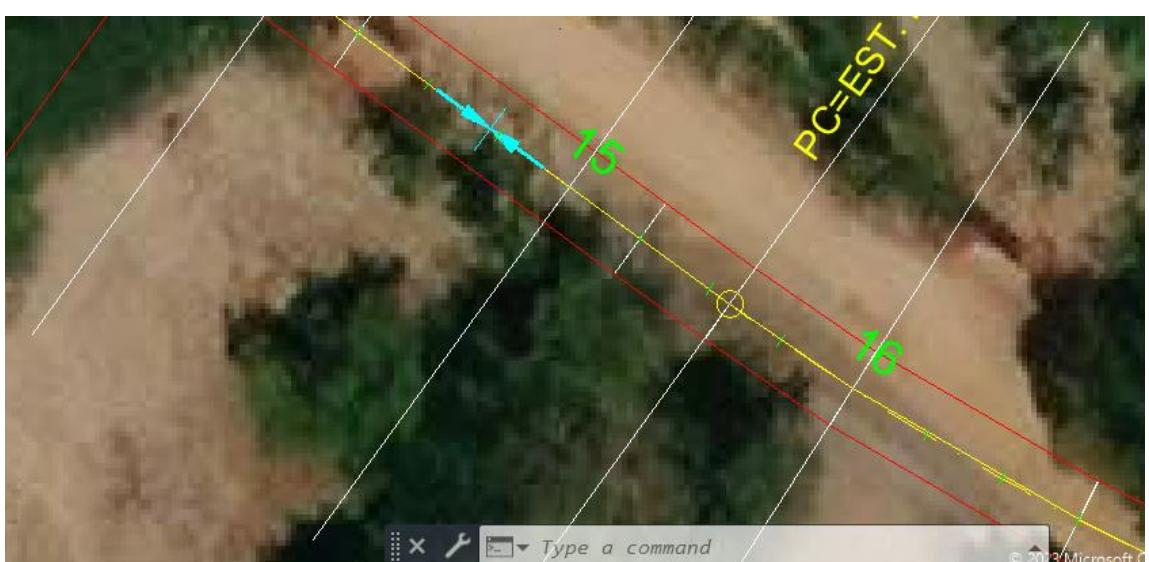
Figura 25 – Configurações do *assembly* gerado pelo *Infraworks*



Fonte: Autodesk *Infraworks*

O programa possui a capacidade de fornecer uma ferramenta para análise de pontos altos e baixos no greide, apontando pontos de acúmulo de água que podem se tornar transtornos de drenagem, conforme configurações do desenho. O programa possibilita sinalizar, ainda, no perfil longitudinal e em planta, os pontos baixos e pontos altos no greide, fornecendo subsídios para análise de intervenções para alteração do greide ou execução de dispositivos de drenagem, quando possível, conforme ilustrado na Figura 26.

Figura 26 – Indicação de ponto baixo detectado pelo Autodesk Civil 3D



Fonte: AutoCAD Civil 3D

O programa também é capaz de gerar relatórios de visibilidade conforme entrada de parâmetros de altura mínima estabelecidos. Acionando a ferramenta, o programa analisa o traçado e desenha uma linha no eixo da via, nos pontos onde não é possível haver ultrapassagem, devido a obstrução de visibilidade, conforme ilustrado na Figura 37, onde é gerado um arquivo com o relatório.

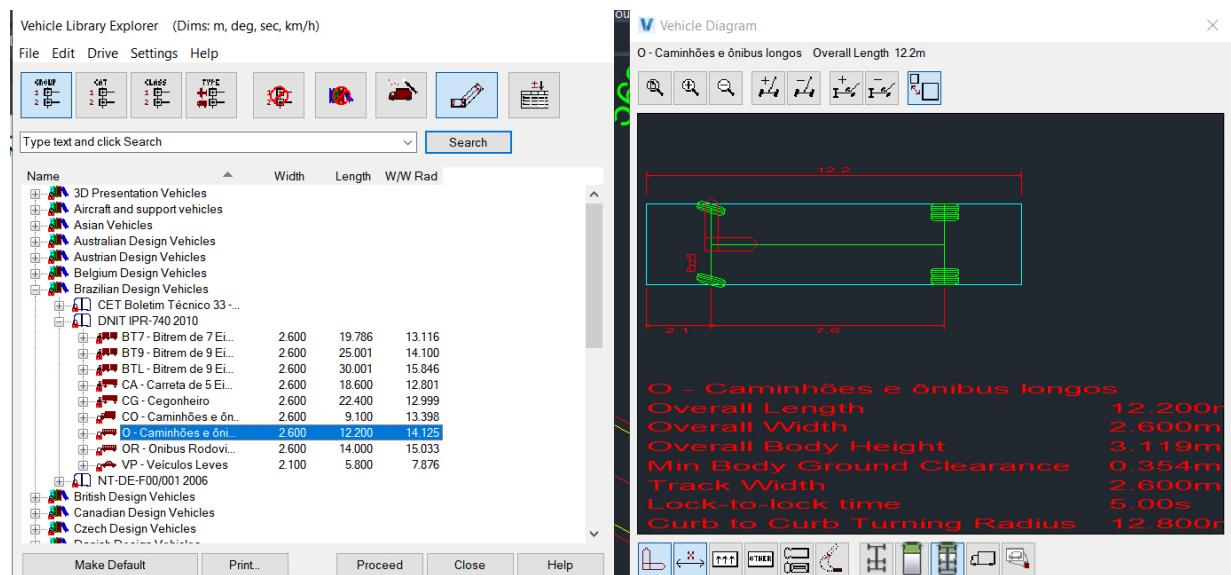
Figura 27 – Relatório de visibilidade criado

<u>Sight Distance Check</u>				
Station	Actual Sight Distance	Minimum Sight Distance	Obstruction Point	Violated?
0+000.00m	185.488m	270.000m	(569724.5425m, 9566435.0625m, 34.0795m)	Yes
0+020.00m	167.452m	270.000m	(569726.1307m, 9566433.9071m, 33.9301m)	Yes
0+040.00m	148.107m	270.000m	(569726.6604m, 9566433.5217m, 33.8803m)	Yes
0+060.00m	126.900m	270.000m	(569725.6843m, 9566434.2319m, 33.9721m)	Yes
0+080.00m	105.214m	270.000m	(569724.3209m, 9566435.2237m, 34.1003m)	Yes
0+100.00m	83.027m	270.000m	(569722.5524m, 9566436.5103m, 34.2666m)	Yes
0+120.00m	63.600m	270.000m	(569723.0159m, 9566436.1731m, 34.2231m)	Yes
0+140.00m	59.200m	270.000m	(569735.6309m, 9566426.9958m, 32.9647m)	Yes
0+160.00m	226.806m	270.000m	(569995.2048m, 9566331.4836m, 28.8979m)	Yes
0+180.00m	206.491m	270.000m	(569894.9077m, 9566331.5883m, 28.9307m)	Yes
0+200.00m	185.537m	270.000m	(569894.0069m, 9566331.9016m, 29.0301m)	Yes
0+220.00m	164.111m	270.000m	(569892.6565m, 9566332.3598m, 29.1787m)	Yes
0+240.00m	142.363m	270.000m	(569890.9954m, 9566332.9046m, 29.3612m)	Yes
0+260.00m	121.370m	270.000m	(569890.0496m, 9566333.2057m, 29.4650m)	Yes
0+280.00m	101.369m	270.000m	(569890.0483m, 9566333.2061m, 29.4651m)	Yes
0+300.00m	81.566m	270.000m	(569890.2360m, 9566333.1469m, 29.4445m)	Yes
0+320.00m	63.124m	270.000m	(569891.7190m, 9566332.6695m, 29.2817m)	Yes
0+340.00m	46.427m	270.000m	(569894.8481m, 9566331.6092m, 28.9373m)	Yes
0+360.00m	223.442m	270.000m	(570056.2945m, 9566219.7483m, 28.9222m)	Yes
0+380.00m	194.019m	270.000m	(570048.7510m, 9566225.3951m, 29.1629m)	Yes
0+400.00m	157.413m	270.000m	(570035.4570m, 9566235.3466m, 29.5872m)	Yes

Fonte: AutoCAD Civil 3D

Por se tratar de uma via local, optou-se por escolher um veículo de passeio como veículo de projeto, que se enquadra no veículo VP, conforme especificado pelo DNIT. Porém, a Autodesk dispõe do *software Vehicle Tracking* para análise de outros veículos de projeto e como este se comporta na pista. O programa funciona como uma ferramenta do AutoCAD Civil 3D e possui uma vasta biblioteca de veículos de projeto, utilizados no mundo todo, (Figura 28).

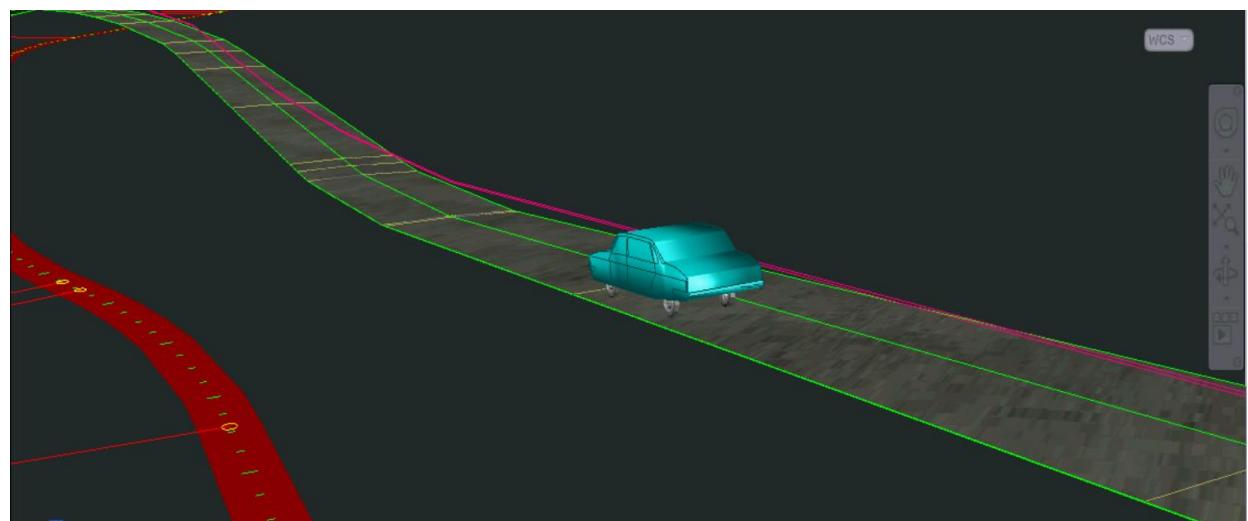
Figura 28 – Biblioteca do Autodesk Vehicle Tracking



Fonte: Autodesk Vehicle Tracking

A ferramenta insere o veículo de projeto e simula, através de um modelo 3D, o comportamento da máquina em relação ao pavimento projetado, conforme ilustrado na Figura 29.

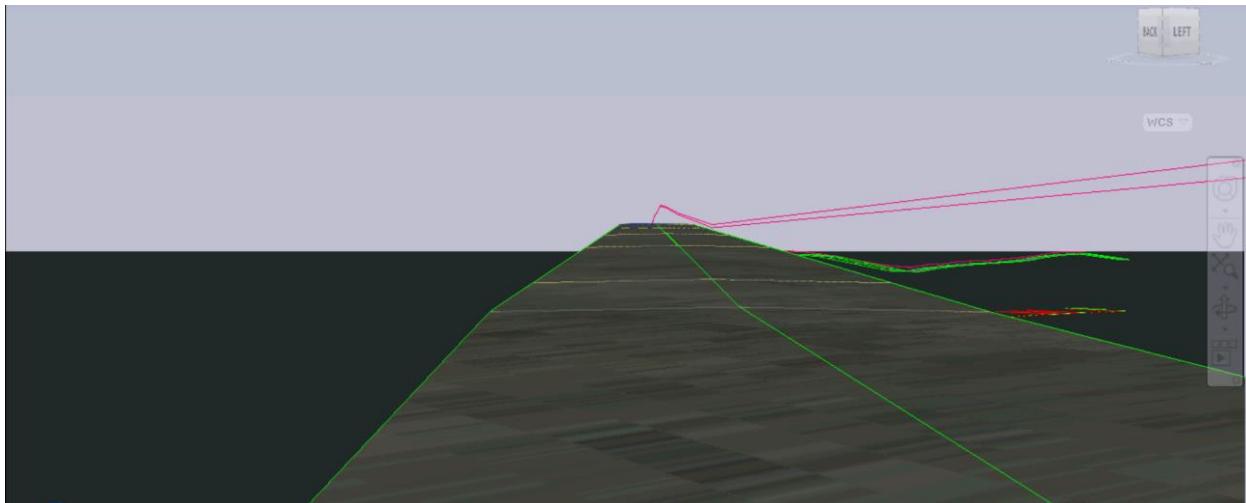
Figura 29 – Perspectiva panorâmica da simulação no *Vehicle Tracking*



Fonte: Autodesk Vehicle Tracking

A simulação proporciona também a perspectiva do motorista. Além disso, as simulações podem ser gravadas, conforme Figura 30.

Figura 30 – Perspectiva do motorista simulada pelo Autodesk Vehicle Tracking



Fonte: Autodesk *Vehicle Tracking*

A ferramenta também fornece um bom parâmetro para análise de curvas horizontais e seção transversal, visto que é possível verificar se o veículo de projeto consegue executar manobras básicas na via projetada, em planta.

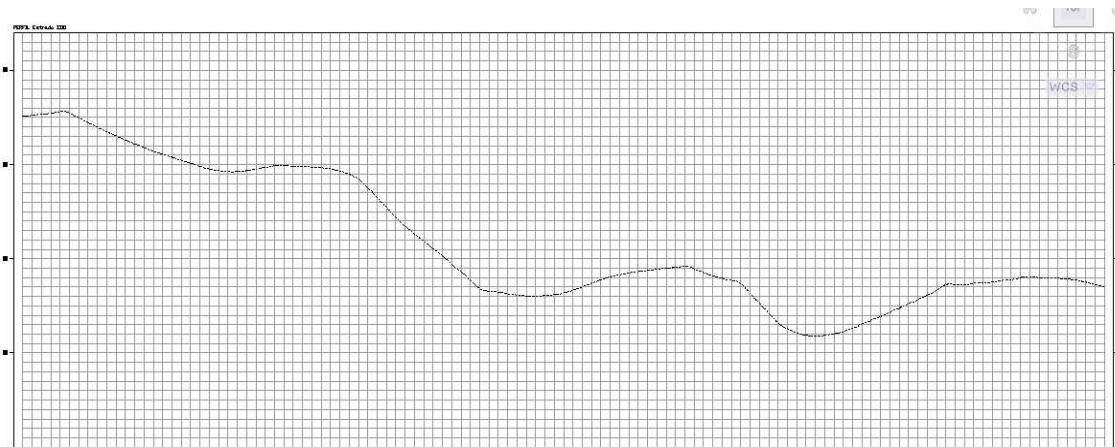
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Desenvolvimento do modelo

4.1.1 Lançamento da topografia

A partir da topografia e do modelo exportado do Autodesk *Infraworks* para o AutoCAD Civil 3D, foi possível gerar o perfil longitudinal da via. Observou-se, pela Figura 31, que a configuração da topografia resultou num terreno natural bem sinuoso.

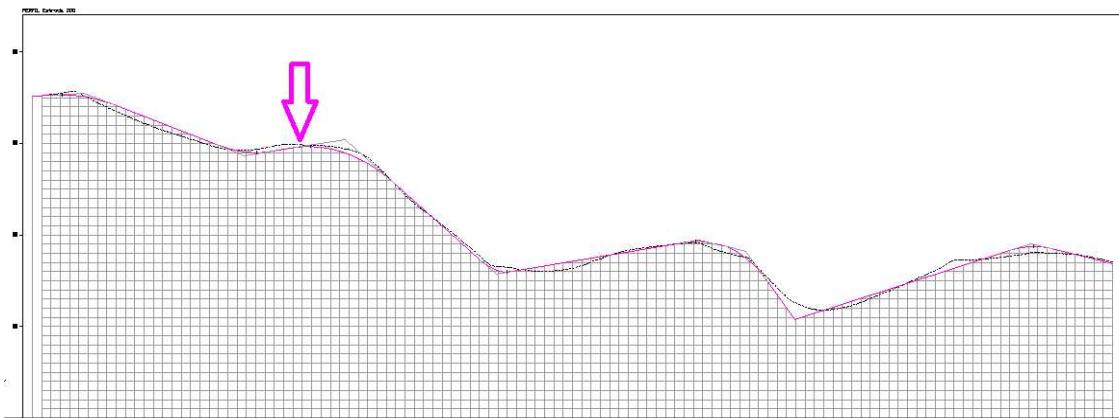
Figura 31 – Perfil longitudinal da via gerado pelo AutoCAD Civil 3D com base na topografia exportada do Autodesk *Infraworks*



Fonte: Autor (2023)

Após lançado o greide projetado gerado pelo Autodesk *Infraworks* no perfil do terreno natural (a linha cuja seta em magenta na Figura 37), observou-se que o traçado do mesmo acompanha as sinuosidades da topografia do local, como observado na Figura 32. Ou seja, obtém-se um “greide colado”.

Figura 32 – Greide da via lançado na topografia importada pelo Autodesk *Infraworks*



Fonte: Autor (2023)

O greide possui curvas parabólicas simétricas concavas e convexas com muitas variações de comprimento e rampas com inclinações muito acentuadas. Para uma visão mais aprofundada das características do greide projetado, gerou-se um relatório de curvas verticais detalhado na seção 4.2 deste trabalho.

4.1.2 Parâmetros de projeto

Ao importar o modelo gerado no Autodesk *Infraworks* para o Civil 3D, gerou-se uma série de relatórios sobre curvas verticais. Observou-se os seguintes parâmetros do greide descritos na Tabela 12.

Tabela 12 – Parâmetros de projeto do greide gerado pelo Autodesk *Infraworks*

Parâmetros	Intervalo	Existente	Adotado
Comprimento de curva concava (m)	Mínimo	16,37	24
	Máximo	30,22	
Comprimento de curva convexa (m)	Mínimo	16,93	46
	Máximo	52,83	
Inclinações (módulo) (%)	Mínimo	0,63%	1% 6%
	Máximo	14,11%	
Parâmetro k curva concava	Mínimo	1,20	9
	Máximo	5,38	
Parâmetro k curva convexa	Mínimo	1,84	4
	Máximo	7,72	
Distância de visibilidade de ultrapassagem (m)	Mínimo	0,00	270
	Máximo	265,15	
Distância de parada (m)	Mínimo	40,15	50
	Máximo	106,06	

Fonte: Autor (2023)

Percebeu-se que o modelo gerado possuía divergências bastante significativas em relação aos parâmetros mínimos adotados como, por exemplo, o comprimento de curva mínimo e a inclinações máximas e mínimas. O parâmetro K também apresenta bastante variação, principalmente para curvas concavas, o que pode sinalizar problemas de visibilidade para o usuário durante uso da via.

O relatório de visibilidade de ultrapassagem extraído apontou que, mediante o parâmetro de projeto, todos os pontos da via têm obstrução na visibilidade do motorista, pois, em nenhum deles obteve-se a distância mínima para o tipo de via estipulado.

4.1.3 Pontos baixos e drenagem da via

Outro aspecto importante analisado é a localização dos pontos baixos do greide projetado, visto que ao consultar o perfil longitudinal (Figuras 31 e 32), percebe-se uma topografia do terreno natural obtido via Autodesk *Infraworks* muito sinuosa, apresentando muitos pontos baixos que tendem a ter problemas de drenagem. Para melhor entendimento da proposta, os pontos baixos foram mapeados com o auxílio do *Google Earth*, como exemplificado na Figura 33.

Figura 33 – Mapeamento dos pontos baixos com auxílio do *Google Earth*

PONTO BAIXO 1	
ESTACA: 6+0.236	
PLANTA	LOCAL
LIMITAÇÕES: LADO ESQUERDO - RUA LOCAL; LADO DIREITO - MURO	

Fonte: Autor (2023)

Foram detectados cinco pontos baixos propensos ao acúmulo de água na pista. Ao observar os pontos com o auxílio do GeoMAP e do *Google Earth*, observou-se que todos os pontos apresentam limitações para drenagem visto que os elementos marginais à pista ou são ruas locais cujo greide despeja água na pista e quando não, terrenos particulares cercados com matagal.

4.1.4 *Movimento de terra*

O modelo gerado apresentou necessidade de movimento de terra. Para obter as quantidades, foi gerado um reporte de volume a fim de obter quanto será necessário de aterro e corte no terreno natural, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Volume total de movimento de terra

Volume Acumulado de Corte (m ³)	Volume Acumulado de Aterro (m ³)	Diferença de Volume Acumulado (m ³)
1232.03	1938.01	-705.98

Fonte: Autor (2023)

Observou-se um volume considerável de movimento de terra, que pode ser explicado pelas configurações de *assembly* e *corridor* modelados através do Autodesk *Infraworks*, bem como o desenho do greide projetado pelo programa, ilustrado nas Figuras 31 e 32 deste trabalho.

4.1.5 Seção transversal e manobras

O modelo gerado pelo Autodesk *Infraworks* e exportado para o AutoCAD Civil 3D segue o alinhamento horizontal da via existente, inserindo as curvas horizontais e a seção transversal da via obtida. O *assembly* e o corredor são gerados pelo Civil 3D de acordo com as configurações do Autodesk *Infraworks*, como ilustrado na Figura 34.

Figura 34 – Trecho do alinhamento horizontal com pontos notáveis seguidos



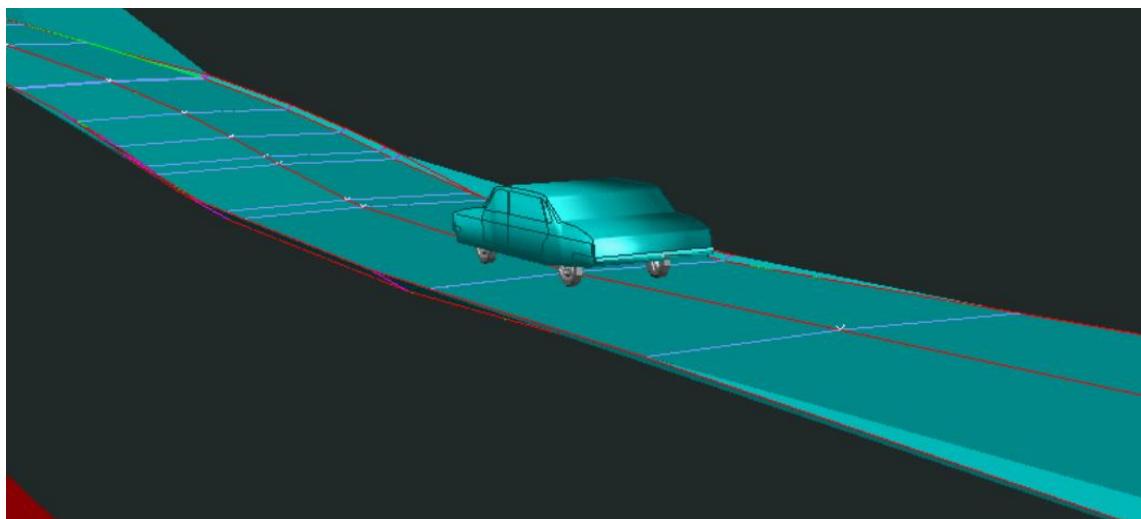
O programa, para seguir as curvas existentes da via, gera vários pontos notáveis como curvas horizontais e pontos de tangentes seguidas. A fim de se testar a capacidade dos veículos em trafegar e fazer manobras básicas nestas curvas, utilizou-se o recurso do Autodesk Vehicle Tracking, a fim de simular o comportamento do veículo trafegando na via. Além disso, foi feito análise em perspectiva 3D para testar o comportamento do veículo nas curvas verticais, como trepidações acentuadas e choques do veículo na pista em rampas descendentes, como ilustrado nas Figuras 35 e 36.

Figura 35 – Simulação em planta do veículo de projeto fazendo manobra em um trecho da via com curva horizontal



Fonte: Autor (2023)

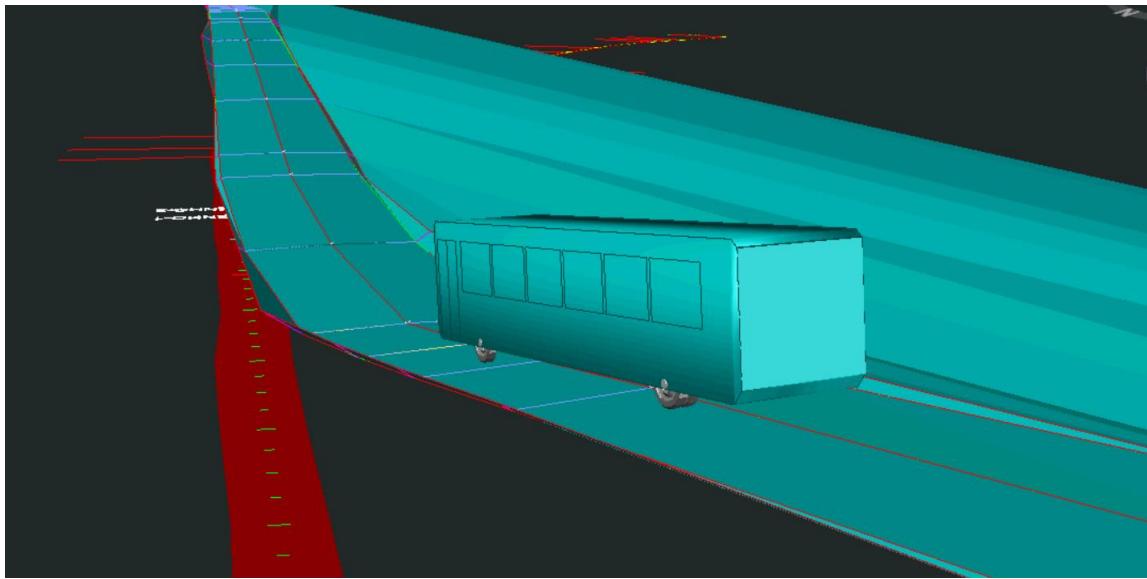
Figura 36 – Simulação do veículo em 3D atravessando uma curva concava



Fonte: Autor (2023)

As simulações obtidas mostraram que o veículo de projeto consegue manobrar nas curvas horizontais, porém, apresenta bastante trepidação devido a sinuosidade do greide. Também foi simulado o comportamento de um veículo de maior porte, no caso, o ônibus. Observou-se que um ônibus “sofre” mais em curvas concavas e nas rampas, pois ele inclina de forma brusca, causando choque do veículo com a pista, como ilustrado na Figura 37.

Figura 37 – Simulação de comportamento de um ônibus na via



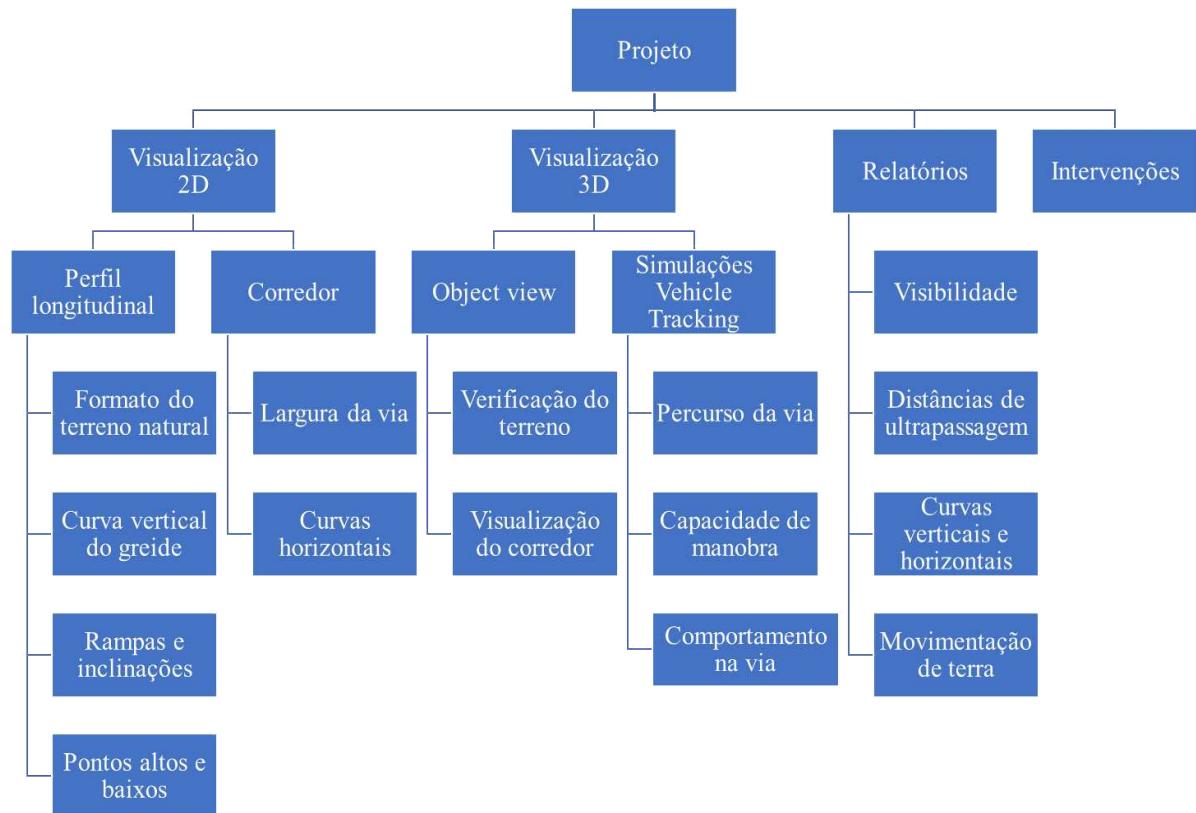
Fonte: Autor (2023)

4.2 Análise dos procedimentos de desenvolvimento do modelo

4.2.1 Análise de elementos do modelo

No AutoCAD Civil 3D serão analisados os elementos existentes que foram obtidos por meio da criação do modelo da via no Autodesk *Infraworks*, identificando inconformidades existentes. O esquema da Figura 38 sugere uma sequência de trabalho no projeto.

Figura 38 – Esquema de trabalho no AutoCAD Civil 3D

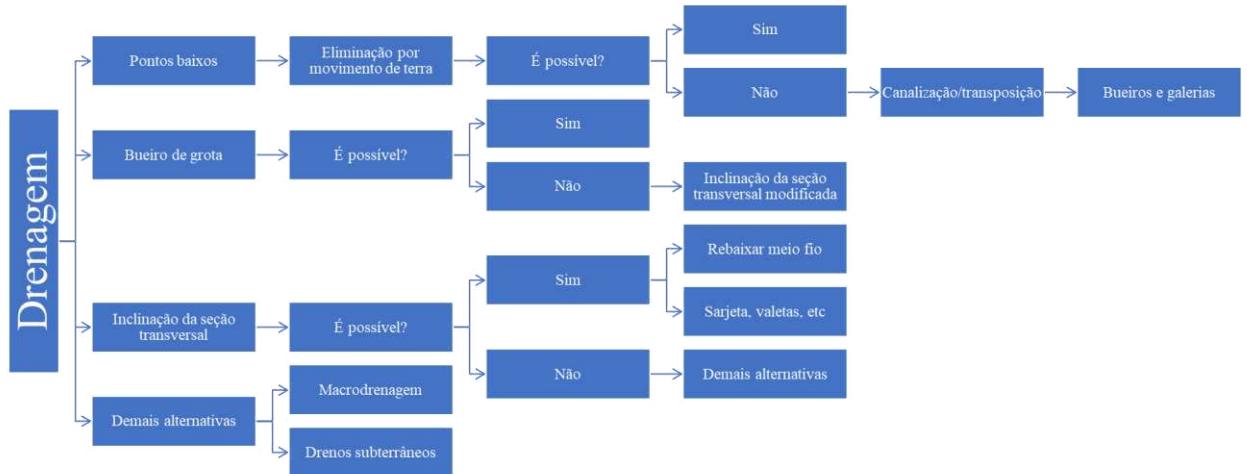


Fonte: Autor (2023)

4.2.2 *Instauração de intervenções*

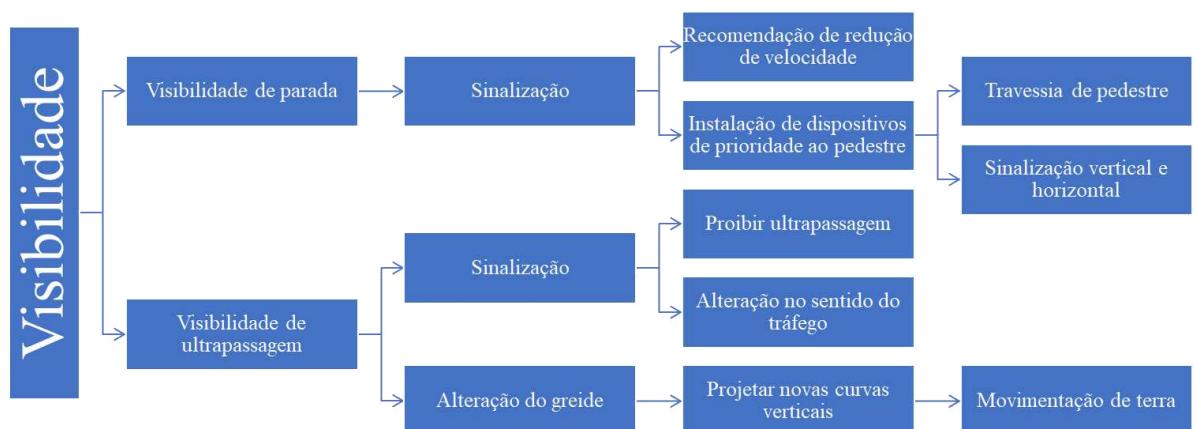
Analizados os elementos de projeto seguindo o fluxograma da Figura 38, trabalha-se agora com as intervenções nas desconformidades encontradas no modelo existente. As Figuras 39, 40 e 41 sugerem a sequência lógica das decisões tomadas diante dos problemas detectados para as três vertentes de projeto.

Figura 39 – Fluxograma de intervenções de drenagem



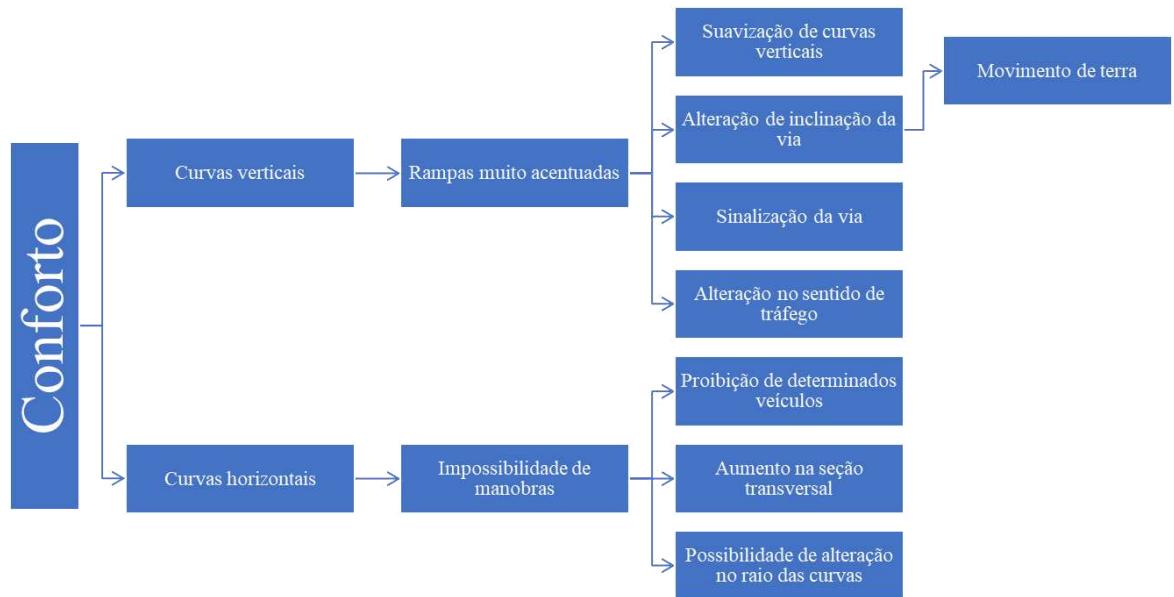
Fonte: Autor (2023)

Figura 40 – Fluxograma de intervenções de visibilidade



Fonte: Autor (2023)

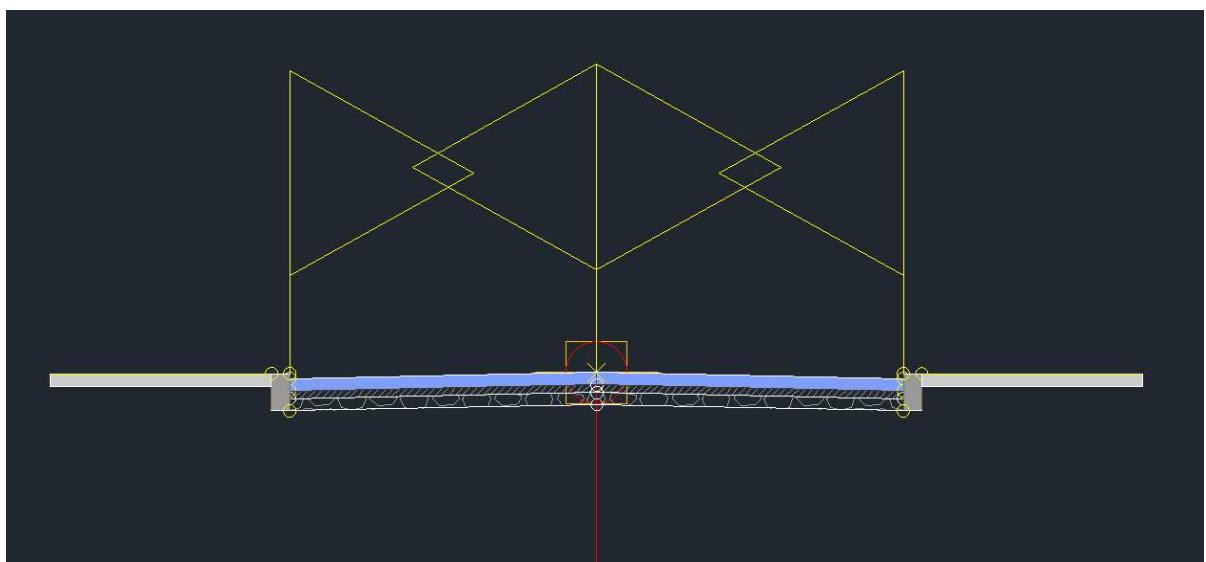
Figura 41 – Fluxograma de intervenções de conforto ao uso da via



Fonte: Autor (2023)

A partir da análise do modelo obtido e seguindo as sequências lógicas organizadas nos fluxogramas das Figuras 39, 40 e 41, buscou-se melhorar o modelo. Um novo desenho para o greide da via foi desenvolvido, a fim de adequar os critérios de visibilidade, o conforto do usuário na via e os problemas de drenagem. De início, reconfigurou-se o *assembly* gerado pelo Autodesk *Infraworks* para uma nova composição com uma largura menor, abrindo espaço para calçada e meio-fio, conforme Figura 42. Os novos parâmetros genéricos estão dispostos na Figura 43.

Figura 42 – Nova composição da seção transversal para intervenções no projeto



Fonte: Autor (2023)

Figura 43 – Parâmetros de entrada para nova modelagem da seção transversal

Input values:	
Value Name	Default Input Value
Side	Left
Width	2.500m
Default Slope	-2.00%
Pave1 Depth	0.100m
Pave2 Depth	0.000m
Base Depth	0.060m
Sub-base Depth	0.100m
Use Superelevation	None
Slope Direction	Away from Crown
Potential Pivot	Yes
Inside Point Code	Crown
Outside Point Code	Edge of Pavement(ETW)

Fonte: Autor (2023)

Os caminhos adotados para resolução de problemas de drenagem foram associados a resolução dos problemas de conforto e visibilidade, ao se alterar o greide investindo em curvas com raios maiores que os existentes, como pode se observar na Tabela 14.

Tabela 14 – Novas características de projeto do greide após alterações

Parâmetros	Intervalo	Existente	Projetado	Adotado
Comprimento de curva concava (m)	Mínimo	16,37	30	24
	Máximo	30,22	80	
Comprimento de curva convexa (m)	Mínimo	16,93	42,20	46
	Máximo	52,83	70	
Inclinações (módulo) (%)	Mínimo	0,63%	0,04%	1%
	Máximo	14,11%	9,05%	6%
Parâmetro k curva concava	Mínimo	1,20	3,78	9
	Máximo	5,38	23,60	
Parâmetro k curva convexa	Mínimo	1,84	4,59	4
	Máximo	7,72	28,89	
Distância de visibilidade de ultrapassagem (m)	Mínimo	0,00	7,04	270
	Máximo	265,15	270,00	
Distância de parada (m)	Mínimo	40,15	58,07	50
	Máximo	106,06	343,45	

Fonte: Autor (2023)

Os pontos baixos foram deslocados para “pontos cegos” da via, ou seja, locais sem residências marginais ou interseção com vias locais existentes, permitindo assim a

execução de dispositivos de canalização (que podem ser bueiros de grota ou canaletas).

Percebeu-se que o ajuste no greide proporcionou a melhora de conforto e visibilidade do usuário, evidenciado no aumento do parâmetro K das curvas atrelado ao aumento das distâncias de parada e visibilidade de ultrapassagem. As rampas máximas sofreram uma redução em comparação ao existente reproduzido no modelo do Autodesk *Infraworks*. Porém, o movimento de terra gerado para alterar o greide de projeto resultou num aumento do volume de corte e aterro em comparação ao modelado anteriormente, como evidenciado na Tabela 15.

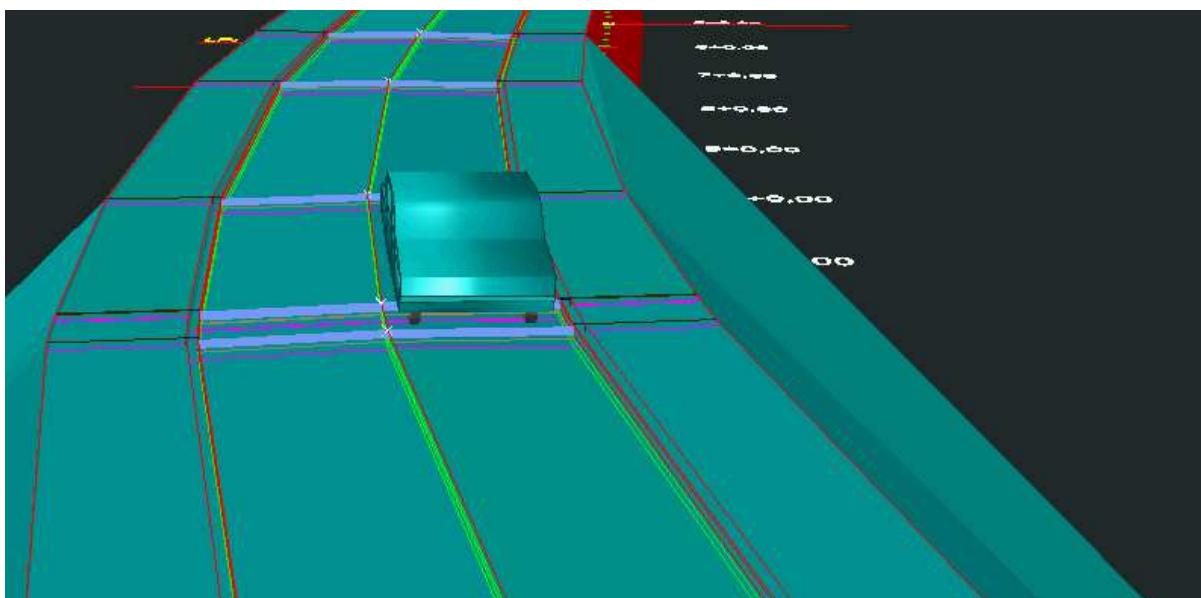
Tabela 15 – Volumes gerados pela intervenção no modelo existente

Volume Acumulado de Corte (m ³)	Volume Acumulado de Aterro (m ³)	Diferença de Vol Acumulado (m ³)
3437,39	2132,84	1305,05

Fonte: Autor (2023)

Novas simulações no modo *Vehicle Tracking* foram geradas com a seção transversal alterada. Dessa vez, percebe-se menos trepidações ao enfrentar curvas verticais, atestando que a pista se tornou mais confortável para o usuário. Em uma das simulações, procurou-se verificar a varredura do veículo ao enfrentar uma curva horizontal muito acentuada. Percebe-se que o veículo não invadiu a outra metade da pista e que ele não se chocou ao meio fio, como ilustrado na Figura 44.

Figura 44 – Simulação de veículo transitando em uma faixa de tráfego hipotética de 2,50m



Fonte: Autor (2023)

Ao checar as distâncias de ultrapassagem, apesar do aumento da distância de visibilidade na ultrapassagem detectada, observou-se que vários pontos ainda ficaram abaixo do mínimo estipulado. Além disso, estipulando um espaço mínimo para trânsito de pedestres e abrigo de mobiliário urbano, a seção passou para 5,00m de largura, deixando uma faixa de tráfego de apenas 2,50m.

Ao testar um veículo de projeto maior, verificou-se que houve uma suavidade maior ao vencer as curvas verticais projetadas. Porém, com apenas duas faixas de 2,50m e baseando-se nas análises geradas a partir do modelo desenvolvido neste trabalho, não se recomenda tráfego de veículos maiores e faz-se necessário adoção de proibição de ultrapassagem ao longo de toda via.

Todos os relatórios e as peças gráficas, detalhando o resultado do presente trabalho estarão presentes na seção Apêndices.

4.3 Instrução de projeto

Face aos caminhos tomados para se obter um projeto geométrico que atenda à concordância dos aspectos físicos e geométricos da via, observou-se diversas variáveis e possibilidades fornecidas pelos programas que utilizam a metodologia BIM para se obter o produto. Foram muitos os caminhos disponíveis para se tomar até a obtenção de um modelo parametrizado e que forneça ao projetista uma perspectiva ampla da concordância de aspectos

físicos e geométricos, através da visualização em 2D e 3D, bem como simulação do impacto deles na realidade antes do início de sua execução.

Diante dos resultados obtidos com o estudo de caso, propõe-se uma instrução de projeto a fim de dar celeridade aos mecanismos de elaboração de projeto aplicando a tecnologia BIM.

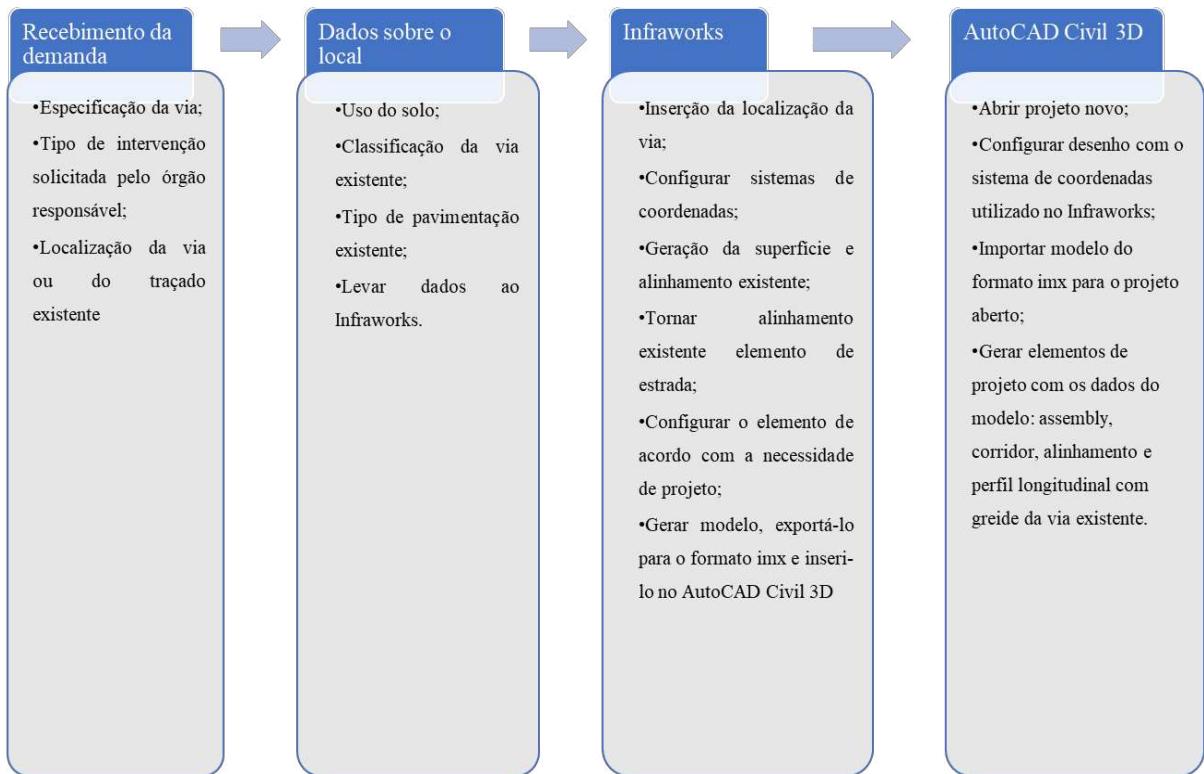
4.3.1 *Serviços preliminares*

Antes de iniciar o projeto, faz-se necessário obter junto aos órgãos responsáveis o qual o tipo de serviço para o qual será necessário o projeto a ser desenvolvido, bem como informações básicas do local, que são utilizadas junto aos programas computacionais, consistindo nas seguintes informações:

- Localização da via ou traçado existente;
- Classificação da via;
- Velocidade operacional;
- Uso do solo;
- Tipo de pavimentação existente;

A Figura 45 apresenta o processo de obtenção das informações necessárias que servem como dados de entrada nos programas computacionais.

Figura 45 – Fluxograma do processo preliminar de trabalho

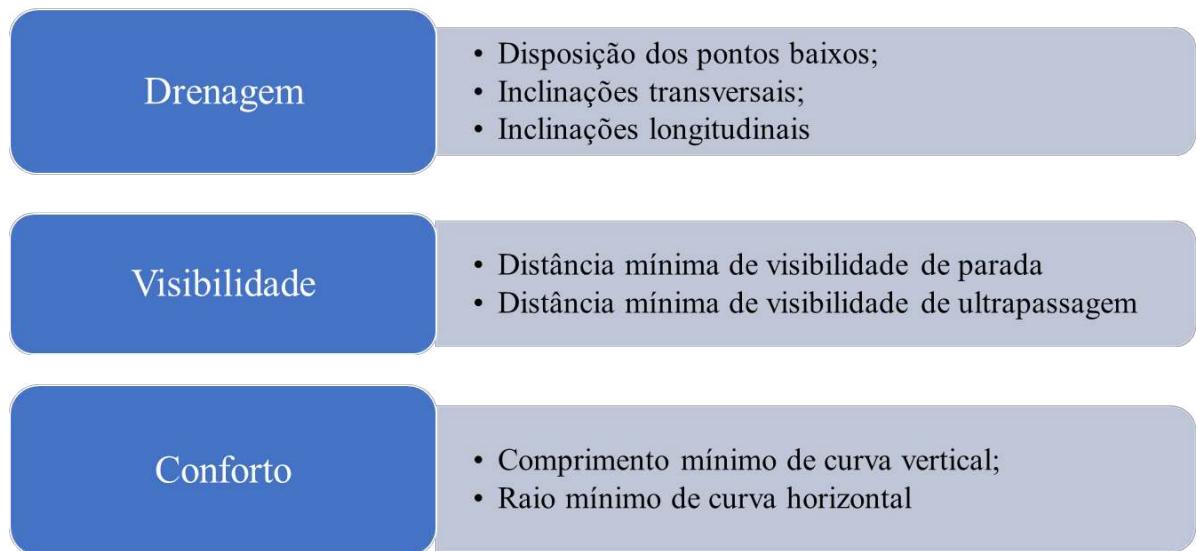


Fonte: Autor (2023)

4.3.2 *Parâmetros de projeto*

A partir das informações, características e classificação da via existente, define-se os parâmetros de projeto que basearam as análises e intervenções para o projeto. Diante dos parâmetros mínimos de projeto, norteados a partir das normativas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), classifica-se os parâmetros em três grupos essenciais dispostos no quadro da Figura 46.

Figura 46 – Grupos de parâmetros básicos estabelecidos



Fonte: Autor (2023)

O não atendimento dos parâmetros estabelecidos no quadro da Figura 46 pressupõe que a via apresenta potencial risco à vida aos usuários da via, desconforto ao usuário e propensão à problemas de drenagem.

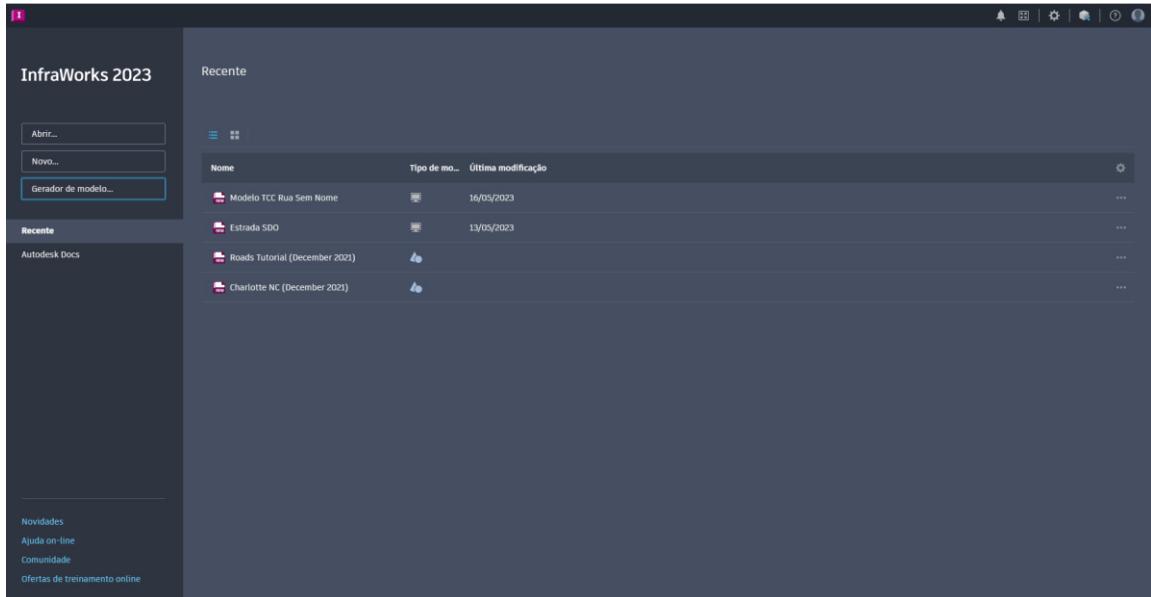
4.3.3 *Abertura de projeto*

4.3.3.1 Autodesk Infraworks

Os dados serão inseridos no Autodesk Infraworks para a geração do modelo da via com as informações topográficas do terreno e a geometria do traçado existente. Para isso, deve ser feito os seguintes passos:

- a) Abrir o programa e na interface inicial, clicar em “gerador de modelos” no canto esquerdo da tela, conforme Figura 47;

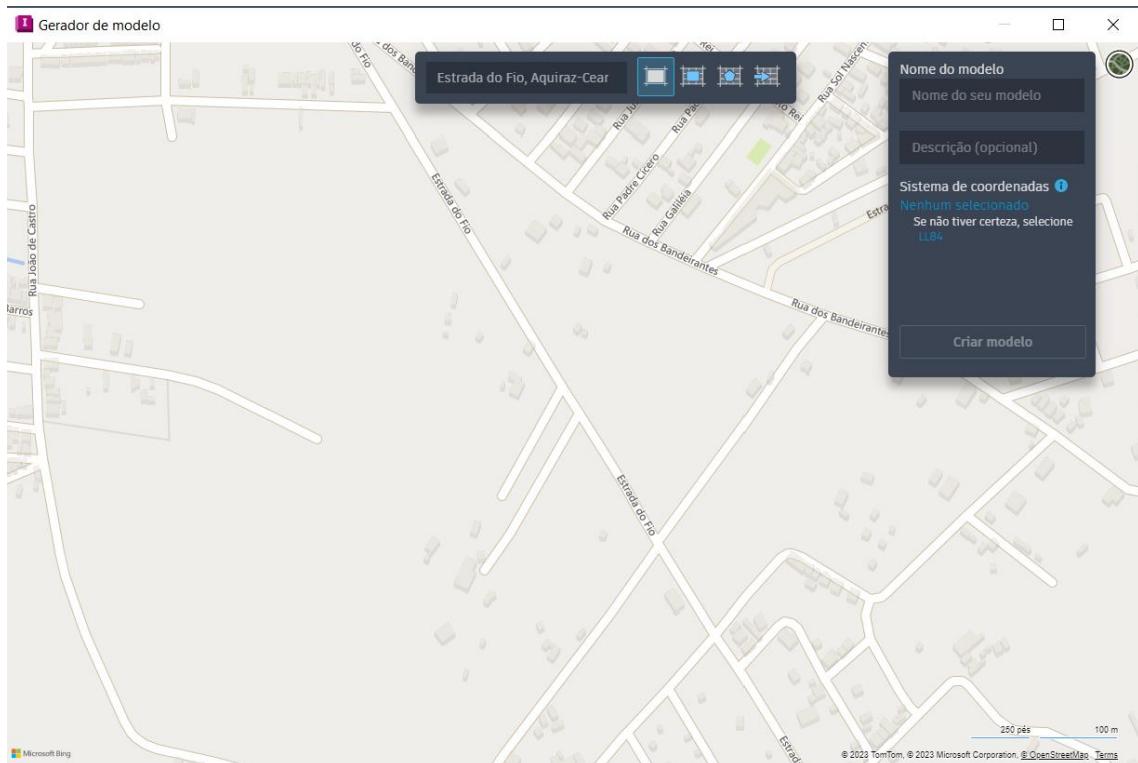
Figura 47 – Tela inicial do programa Autodesk Infraworks



Fonte: Autor (2023)

- b) Na tela do gerador de modelo, inserir na barra de busca localizada no canto superior da tela o endereço da via ou traçado existente a ser projetado, conforme ilustrado na Figura 48;

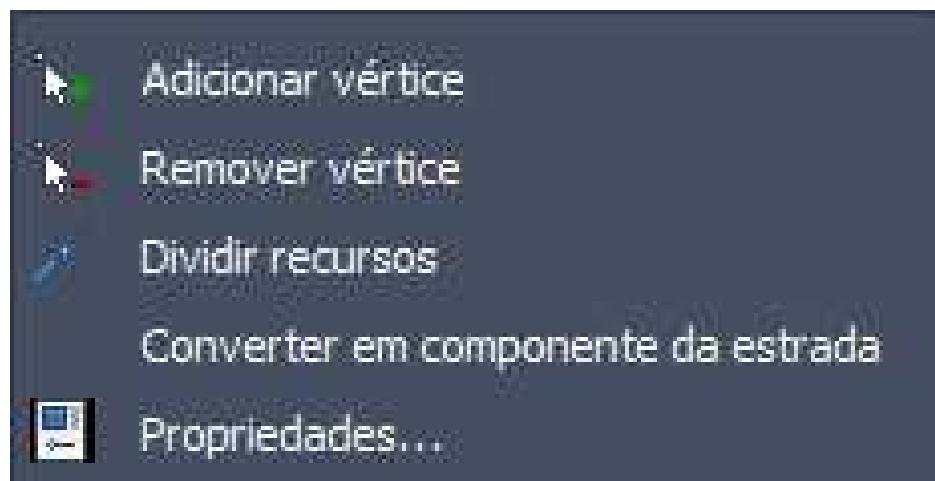
Figura 48 – Tela do gerador de modelos do Autodesk Infraworks



Fonte: Autor (2023)

- c) No quadro superior direito, como ilustrado na Figura 49, configurar o sistema de coordenadas do modelo conforme ilustrado na Figura 18 do presente trabalho, clicando em “sistema de coordenadas”. Após isso, deve-se recortar o mapa da tela selecionando uma região com o auxílio das formas geométricas ao lado da barra de busca no canto superior da tela, conforme ilustrado na Figura 48. Após isso, clica-se no quadro do canto superior direito no botão “criar modelo” e deve-se aguardar o modelo gerado aparecer na tela inicial do programa conforme Figura 47.
- d) Abrir o modelo gerado e selecionar o traçado da via com o botão direito do mouse e clicar no menu aberto ilustrado na Figura 49 na opção “converter em componente de estrada”.

Figura 49 – Menu de opções de configuração da via



Fonte: Autor (2023)

- e) No canto superior esquerdo da tela do modelo, selecionar a opção “Apresentar/Compartilhar” e clicar no ícone “IMX” para efetuar a exportação do modelo para o formato que possa ser aberto pelo AutoCAD Civil 3D, conforme ilustrado na Figura 50.

Figura 50 – Importação do modelo para o formato ".imx"

I Autodesk InfraWorks 2023 - Modelo TCC Rua Sem Nome

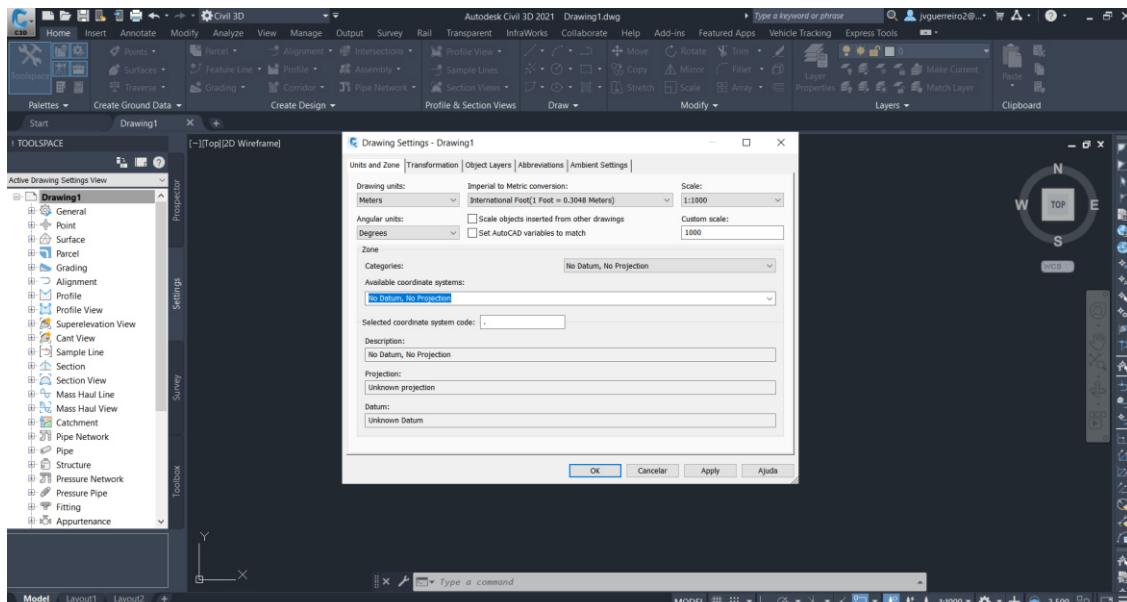


Fonte: Autor (2023)

4.3.3.2 AutoCAD Civil 3D

O modelo exportado para o formato “imx” será aberto no AutoCAD Civil 3D. O arquivo deverá ser configurado com o mesmo sistema de coordenada do modelo gerado no Autodesk *Infraworks*, clicando com o botão esquerdo do mouse na opção “*settings*” e em seguida, clicando com o botão direito no botão do desenho, conforme ilustrado na Figura 51.

Figura 51 – Tela inicial do desenho do AutoCAD Civil 3D

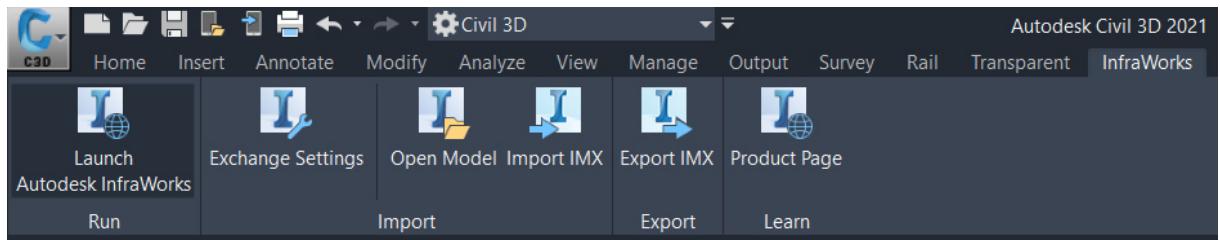


Fonte: Autor (2023)

Na tela de configuração “*Drawing Settings*” ilustrada na Figura 51, selecionar na dentro da opção “*Zone*”, na aba “*Categories*” o mesmo sistema de coordenada selecionado no modelo do Autodesk *Infraworks*, clicar em “*Ok*” e dar prosseguimento ao projeto.

Para importar o arquivo “imx”, deve-se clicar na barra de opções no campo superior da tela ilustrada na Figura 51 a opção “*Infraworks*” e em seguida clicar no botão “*Import IMX*” conforme ilustrado na Figura 52.

Figura 52 - Opção de importação do arquivo IMX para o Civil 3D

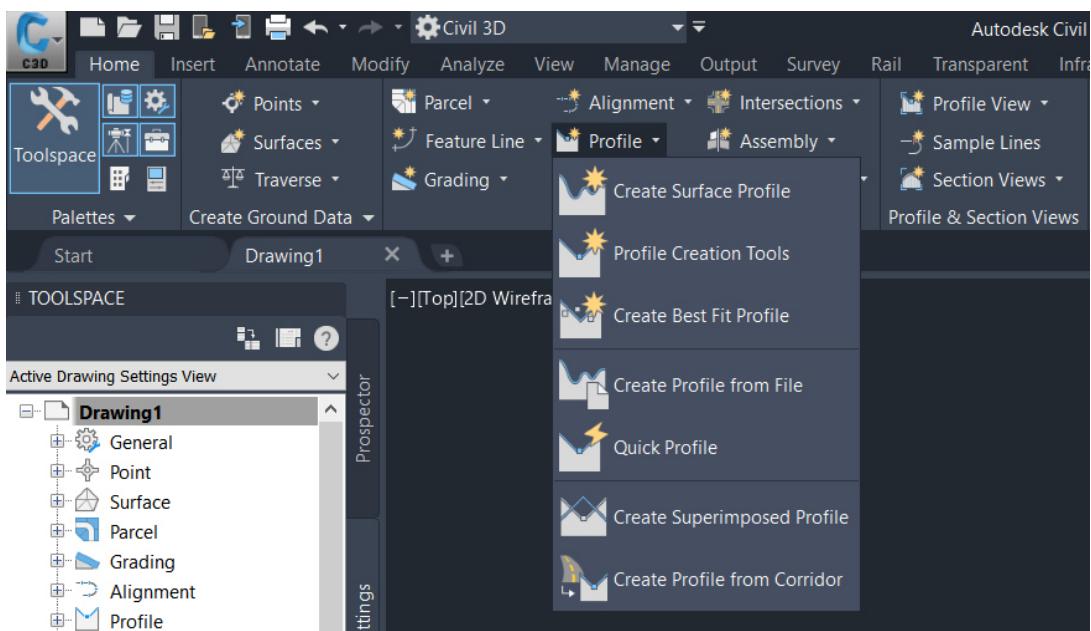


Fonte: Autor (2023)

Ao clicar na opção “*Open Model*”, abrirá uma janela para selecionar o arquivo com o formato “imx” com o modelo gerado pelo *InfraWorks*. Com o arquivo selecionado, abre-se a mesma janela na Figura 20 com as opções de elementos contidos no modelo que podem ser exportados para o Civil 3D. Deve-se marcar as opções “*AIW_Proposed_Ground*” para importar a superfície do Terreno Natural da região selecionada e a opção “*Components Roads*” para importar todos os elementos de estrada (*assembly*, *offset*, corredor, alinhamentos vertical e horizontal e perfil longitudinal) criados no *InfraWorks*.

O perfil longitudinal com o greide da via projetado obtém-se clicando na opção “*Profile*” na aba “*Home*” no canto superior da tela. Na opção, clica-se em “*Create Surface Profile*” (Figura 53).

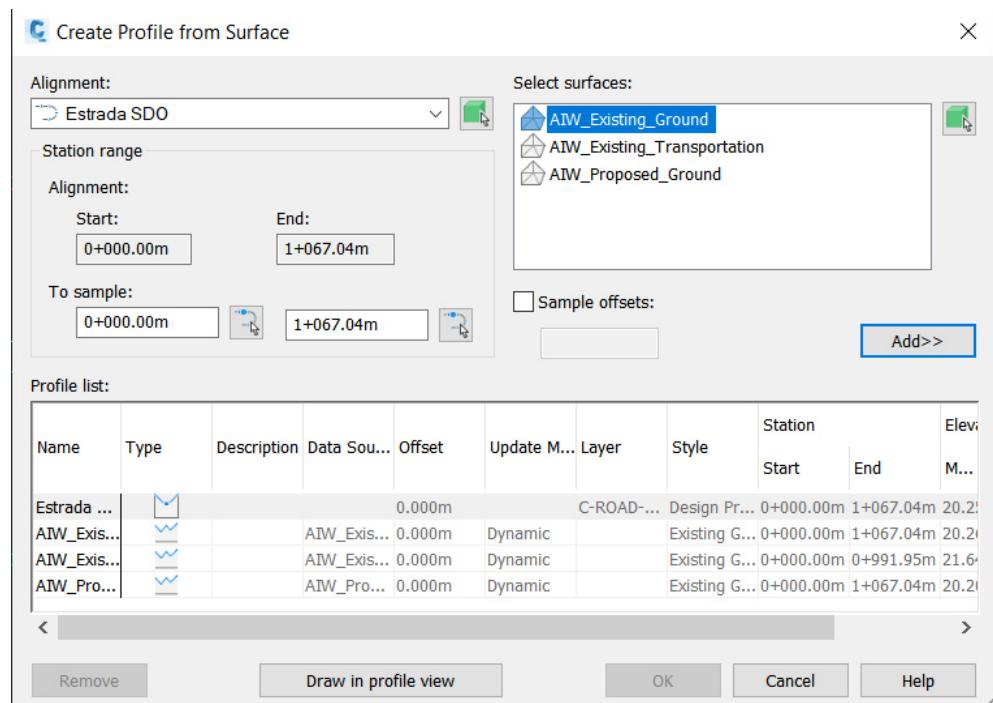
Figura 53 – Tela de criação do perfil longitudinal



Fonte: Autor (2023)

A tela de opção de criação do Perfil Longitudinal já aparece com as opções de superfície de terreno natural e alinhamento vertical projetados existentes da via. Logo, seleciona-se a opção “*Draw in profile view*” no canto inferior da tela ilustrada na Figura 54. Assim, o perfil longitudinal é gerado automaticamente.

Figura 54 – Tela de criação do perfil longitudinal



Fonte: Autor (2023)

4.3.4 Análise dos elementos de projeto

O processo de análise dos elementos de projeto consiste em visualizar os elementos 2D e 3D do projeto, servindo então como uma verificação preliminar a fim de atestar as concordâncias horizontais e verticais dos alinhamentos existentes em projeto.

4.3.4.1 Perfil longitudinal

O perfil longitudinal deve ser analisado pelo projetista de forma visual, com o auxílio das ferramentas de etiquetas do programa. Deve ser indicado no greide lançado a disposição e a localização dos pontos baixos e altos, além da observação preliminar na acentuação dos aclives e declives e o comprimento das curvas que será complementada com a análise dos relatórios gerados com informações sobre parâmetros de projeto.

4.3.4.2 Alinhamento horizontal

O projetista deve analisar no alinhamento horizontal a localização dos pontos baixos e altos do greide identificados no perfil longitudinal além de verificar a existência de elementos que possam interferir nas decisões que variam de acordo com a demanda de cada projeto, tais como: ocorrência obstáculos, posição do meio-fio, existência de passeio, cercas, muros ou mobiliário urbano que interfiram diretamente nas decisões em relação a definição da seção transversal, necessidade de correção de raios das curvas horizontais ou verticais da via, soluções de drenagem ou instalação de sinalização. É necessário que o projetista use de ferramentas de imagens georreferenciadas sobrepostas ao alinhamento da via, para que seja possível executar a análise visual da via.

4.3.4.3 Corredor e Seção Transversal

A seção transversal estará diretamente relacionada a análise do alinhamento horizontal. O projetista deve-se atentar que o “assembly” gerado pelo *Infraworks* possui configurações básicas, portanto, é preciso configurá-lo conforme a necessidade do seu projeto ou pelo que foi constatado na observação dos elementos existentes.

4.3.4.4 Visualização 3D pelo Vehicle Tracking

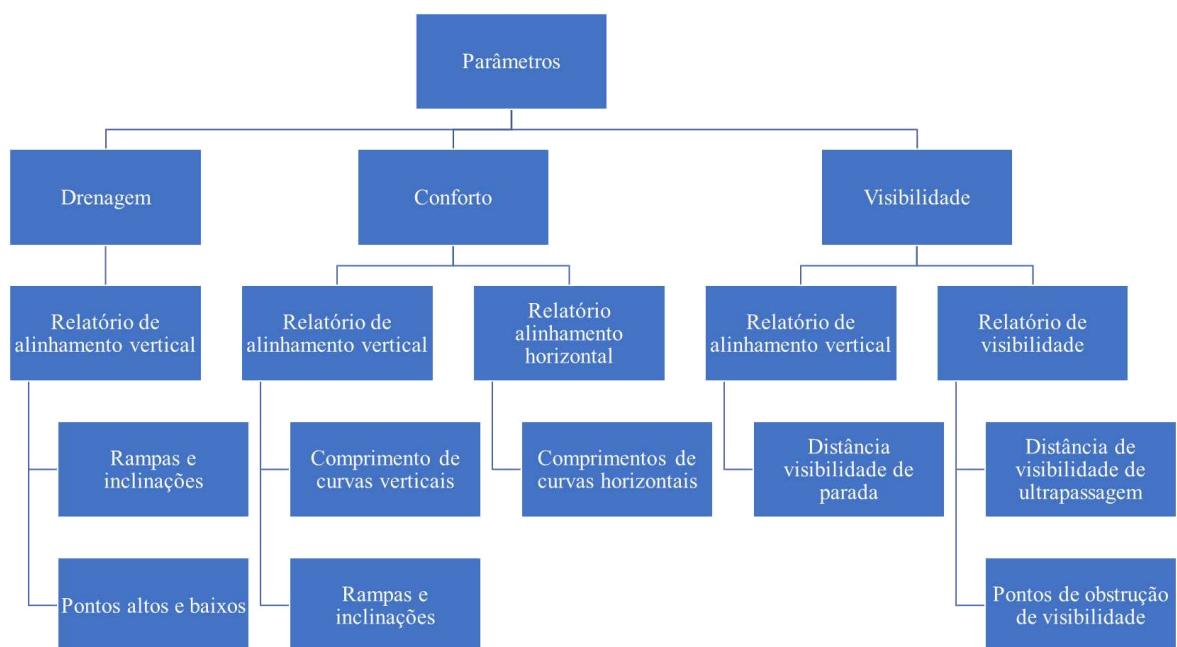
A análise 3D complementará a análise do perfil longitudinal, do alinhamento horizontal, corredor e seção transversal do modelo projetado, no que tange a concordância vertical e horizontal. Recomenda-se a utilização da extensão Autodesk *Vehicle Tracking* para que o projetista execute simulações através de um veículo de projeto que deve ser definido a partir das informações definidas nos itens 4.3.1 e 4.3.2 deste trabalho, observando nas simulações os seguintes aspectos:

- Ocorrência de movimentos acentuados do veículo de projeto, tais como: trepidações e inclinações acentuadas.
- Capacidade do veículo de executar manobras em curvas horizontais sem sair da pista;
- Interação entre dois ou mais veículos de projeto utilizando a pista;
- Capacidade de visão do motorista ao utilizar a pista, em relação a curvas verticais e curvas horizontais.

4.3.4.5 Relatórios

Os relatórios complementam a análise visual dos elementos 2D e 3D, fornecendo ao projetista os valores necessários para avaliação e necessidade de alteração dos parâmetros do modelo, além de possuírem uma série de informações de base para avaliação dos três grupos de parâmetros definidos no início desta seção (drenagem, conforto e visibilidade). O gráfico da Figura 55 explicita qual informação deve ser utilizada para avaliação do modelo.

Figura 55 – Esquema de extração de informações dos relatórios do modelo



Fonte: Autor (2023)

4.3.5 Avaliações e intervenções

As informações do modelo gerado pelo Autodesk *Infraworks*, obtidas através dos relatórios gerados pelo AutoCAD Civil 3D, serão avaliados mediante os parâmetros estabelecidos nas três vertentes de drenagem, conforto e visibilidade com base nas instruções normativas dos órgãos responsáveis, como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). Caso algum ponto esteja não conforme com os parâmetros mínimos definidos, é necessário que o mesmo passe por um processo de intervenção para que ele se adeque ao mínimo exigido pela normativa.

4.3.5.1 Drenagem

Pontos baixos devem ser preferencialmente eliminados, portanto, é necessário que eles sejam mapeados. Sua localização possibilitará identificação dos fatores limitantes para intervenção das vias, tais como: existência de edificações, muros, cercas, mobiliário urbano, passeios e calçadas. Além disso, a existência destes pontos baixos em determinados locais pode indicar a ocorrência de passagens d'água ou mini grotas.

O movimento de terra é opção preferencial para eliminação do ponto baixo através da alteração do greide. Caso haja impossibilidade de movimento de terra, faz-se necessário recorrer a canalização da água acumulada na pista tais como drenos superficiais, canaletas ou dispositivos afins. Caso seja identificado que o ponto se trate de passagem d'água, deve-se canalizar o movimento da água por meio de bueiros de grota ou mini galerias.

Em caso de obstáculos que impeçam o despejo da água canalizada para fora da seção transversal da pista, é necessário desviar a água de forma superficial por meio da adoção de dispositivos de drenagem superficial como sarjetas ou valetas. É indicado também a adoção de inclinações diferenciadas na seção transversal em pontos específicos onde seja possível o escoamento para fora da via por gravidade através de rebaixamento do meio-fio. A alteração da inclinação da seção transversal pode ser adotada juntamente com a inclusão dos dispositivos de drenagem superficial.

Não havendo possibilidade da adoção de nenhuma possibilidade, parte-se para estudo da construção de dispositivos de drenagem de maior porte.

4.3.5.2 Conforto

Em relação a geometria das curvas verticais, a presença de rampas cuja inclinação seja bastante acentuada, acima do máximo especificado, incorre em maior esforço mecânico do veículo para que possam ser vencidas além de apresentar riscos para a integridade física do usuário e do veículo. Sendo assim, intervenção deve ocorrer de forma a reconfigurar a suavização das inclinações das rampas. Não havendo possibilidade de alteração em todas as curvas verticais, o projetista deve propor intervenção no tráfego da via e dentre as medidas primárias, destaca-se a alteração no sentido do fluxo viário, redução de velocidade e restrição de veículos de porte acima de ônibus comum, sendo estas medidas, devidamente sinalizadas conforme estabelecimento dos órgãos de regulamentação de tráfego da região.

Em relação a geometria das curvas horizontais, cujo raio ou seção transversal

incorra em restrições de manobras do veículo, considerar a possibilidade de alteração no raio das curvas ou aumento da seção transversal para dar maior liberdade de manobra ao usuário da via. Caso não seja possível, é necessário recorrer novamente a sinalização ou proposição de restrições ao tráfego de determinados veículos nesta via

Em ambos os casos, tanto na avaliação da geometria horizontal e vertical, as análises devem ser acompanhadas de simulações no Autodesk *Vehicle Tracking*, nos termos descritos na seção 4.3.4.4 deste trabalho. A simulação deve ocorrer também depois das intervenções de projeto.

4.3.5.3 Visibilidade

A alteração na geometria das curvas verticais deve ser considerada como medida interventora, a fim de suavização dos comprimentos. Não havendo esta possibilidade, considerar proposição de intervenção na velocidade operacional da via, instalação de equipamentos e sinalização de proteção ao pedestre e dispositivos físicos que alertem o condutor que deem maior visibilidade aos obstáculos para que o motorista possa executar paradas de forma segura.

A visibilidade de ultrapassagem pode ser solucionada via sinalização proibindo a ultrapassagem nos pontos de obstrução identificados. Em último caso, considerar alteração no greide da via, reconfigurando a geometria das curvas verticais e acarretando a diminuição ou eliminação os pontos de obstrução.

É necessário gerar novos relatórios para verificar as novas condições de visibilidade após a intervenção em projeto, assim como é preciso executar simulações no *Vehicle Tracking*, sob o ponto de vista do motorista, para que as intervenções possam ser analisadas.

4.3.6 Considerações finais

Os parâmetros básicos definidos para o projeto de pequeno porte descritos no presente trabalho levam em conta parâmetros técnicos definidos pela bibliografia corrente e instruções de projeto do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Novos parâmetros podem ser adotados pelo projetista, embasados na necessidade específica do projeto demandado.

Soluções que envolvam movimento de terra devem ser amplamente discutidos

com o cliente, a fim de não tornar o projeto economicamente inviável visto que movimentações de massa podem torná-lo oneroso. É recomendável evitar as opções que envolvam terraplanagem, exceto quando é estritamente necessário.

A divisão dos parâmetros em três grupos básicos, feito neste trabalho, é feito de forma a orientar o projetista sob quais perspectivas devem ser executadas as avaliações do modelo, porém, por se tratar de uso da tecnologia BIM, os aspectos do modelo estão integrados entre si, ou seja, alterando uma configuração interfere diretamente em outros aspectos. É, portanto, estritamente necessário que as intervenções estejam também interconectadas, reforçando a importância das avaliações constantes e rodagem de simulações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção serão apresentados as conclusões e limitações do trabalho, além de recomendações para trabalhos futuros

5.1 Conclusões

Através da definição de três vertentes (drenagem, visibilidade e conforto) foi possível avaliar a necessidade de intervenções em projetos de infraestrutura de baixo tráfego. Com a avaliação de parâmetros recomendados pelas instituições e bibliografia corrente, foi possível organizar uma sequência lógica de tomada de decisões para cada vertente, como ilustrado nos fluxogramas propostos. Assim, conclui-se que o objetivo geral do trabalho foi alcançado.

O presente trabalho, através de um estudo de caso, explorou as ferramentas dos programas computacionais e permitiu a identificação dos problemas dentro das vertentes estipuladas de drenagem, visibilidade e conforto por meio da construção de um modelo parametrizado da via existente e a integração do mesmo entre dois principais programas computacionais utilizados em projetos de infraestrutura de transportes, sendo eles o Autodesk Infraworks e AutoCAD Civil 3D. Portanto, foi possível estudar a aplicação da metodologia BIM na concepção de projetos rodoviários.

O modelo parametrizado desenvolvido no presente trabalho contém informações do local, tais como o greide atual da via, a largura da seção transversal e topografia do local, o que possibilitou ter uma perspectiva da conjuntura dos aspectos físicos e geométricos do projeto e como eles se relacionam com o uso da via pelos veículos e seus motoristas em diversos pontos de vista, graças a técnicas de visualização 3D. Diante disto, pode-se afirmar que foi possível demonstrar impactos da utilização da tecnologia BIM na integralização de projetos frente aos projetos desenvolvidos diante de tecnologia de desenho por computador assistido (*computer-aided design*, CAD).

5.2 Limitações

Dentre as limitações apresentadas neste trabalho, observou-se a impossibilidade de gerar elementos componentes do projeto de infraestrutura tais como: cercas, postes, muros e demais mobiliários urbanos, o que torna necessário o levantamento em campo para

localização destes pontos ou trabalhar com recurso do GeoMAP do AutoCAD Civil 3D sempre ativado a fim de identificar os elementos existentes citados (postes, árvores e outros) que não puderam ser importados.

Outra limitação foi o mapeamento dos pontos baixos com potencial de apresentar problemas de drenagem. Consome-se então um no tempo identificar os pontos baixos na via, tornando-se uma etapa mais “braçal” do projeto. Além disso, percebeu-se a necessidade da utilização de outro programa computacional para que seja possível o dimensionamento dos elementos de drenagem estabelecidos, apesar dos programas serem capazes de fornecer informações necessárias ao dimensionamento tais como as bacias hidrográficas.

5.3 Recomendações para trabalhos futuros

Sugere-se para trabalhos futuros o desenvolvimento de complementos que possibilitem ao Autodesk *Infraworks* gerar o modelo do terreno com elementos físicos existentes no local a fim de otimizar o trabalho do projetista e adiantando serviços de levantamento topográfico. Também pode ser explorado o potencial das ferramentas, principalmente o *Infraworks*, na modelagem de sistemas de drenagem de vias. Além disso, pode-se explorar também o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação que permita a escolha do tipo de pavimento, de forma automática, para as rotinas propostas no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

ALBANO, José Fortini. **Vias de Transporte**. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 194 p.

AQUIRAZ (Cidade). Câmara Municipal de Aquiraz. Lei n. 945, de 21 de dezembro de 2011. **Diário Oficial**, Aquiraz, 22 de dezembro de 2011.

AASHTOO. **A Policy On Geometric Design Of Highways And Streets**. 5 ed. Washington, DC, 2004.

BAESSO, Dalcio Pickler; GONÇALVES, Fernando Luiz R. **Estradas rurais: técnicas adequadas em manutenção**. 1 ed. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, f. 102, 2003. 204 p.

BRANDÃO, Rogério de Almeida. **Avaliação do uso do BIM para o estudo de obras e infraestrutura viária**. Salvador, 2014. 89 p Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

CARDOSO, Leandro. **Transporte público, acessibilidade urbana e desigualdades socioespaciais na região metropolitana de belo horizonte**. Belo Horizonte, 2007. 232 p Tese (Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CURSINO, P.L.S. **Desmistificando o BIM com foco em infraestrutura**. Mundo AEC. 2017. Disponível em: <<https://blogs.autodesk.com/mundoaec/desmistificando-o-bim-com-foco-em-infraestrutura/>>. Acesso em: 14 abr. 2023.

DNER. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro: (IPR Publ., 706), 1999. 195p.

DNIT. **Diretrizes Básicas Para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários: Escopos Básicos/Instruções de Serviço**. Rio de Janeiro: (IPR Publ., 726), 2006. 487 p.

DNIT. **Manual de Drenagem de Rodovias**. Rio de Janeiro: (IPR, Publ., 724), 2006. 333p.

DNIT. **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro: (IPR, Publ., 723), 2006. 388 p.

DNIT. **Manual de Implantação Básica de Rodovia**. Rio de Janeiro (IPR, Publ., 742), 2010. 617 p.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro: (IPR, Publ., 719), 2006. 278 p.

DNIT. **Manual de Projeto de Interseções**. Rio de Janeiro: (IPR, Publ., 718), 2005. 528 p.

DNIT. **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas**. Rio de Janeiro: (IPR, Publ., 740, 2010. 392 p.

FATTORI, Bernardo José. **Manual para pavimentação de estradas com revestimento primário**. Porto Alegre, 2007 Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

HACHMANN, Lucas Adrian. **Estudo de viabilidade técnica e econômica do pavimento poliédrico em rodovias rurais**. Florianópolis, 2008. 86 p Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

KYMMELL, Willem . **Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations**. 1 ed. Nova York: McGraw-Hill, 2008. 270 p.

MAMEDE FILHO, Eduardo Mendonça. **Análise da potencialização do uso de ferramentas de visualização 3d no projeto geométrico de rodovias rurais**. Fortaleza, 2013. 63 p Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

PIMENTA, Carlos Reynaldo Toledo; OLIVEIRA, Márcio P.. **Projeto Geométrico de Rodovias**. 2 ed. São Carlos: RiMa, f. 99, 2004. 198 p.

PONTES FILHO, Glauco. **Estradas de Rodagem: Projeto Geométrico**. São Carlos: Bidim, f. 216, 1998. 432 p.

SACKS, Rafael; EASTMAN, Charles. **Manual de BIM - 3.ed.**: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. Bookman Editora, v. 3, f. 244, 2021. 487 p.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários**. 1 ed. São Paulo: Pini, f. 379, 2008. 758 p.

**APÊNDICE A – RELATÓRIO DE ALINHAMENTOS VERTICAIS (GERADO PELO
AUTODESK CIVIL 3D)**

INFORMAÇÕES DO ALINHAMENTO HORIZONTAL

NOME: Estrada SDO
ESTACAS: 0.000+0.000 À 53.000+7.036

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	0.000+0.000	37.578
FIM:	0.000+11.268	37.649

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	11.268
GRADE:	0.633%

CURVA VERTICAL CONVEXA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	0.000+11.268	37.649
PIV:	1.000+7.588	37.752
FIM:	2.000+3.907	37.104
PONTO ALTO:	0.000+15.752	37.663
ESTACAS INTERMEDIARIAS:	1.000+0.000	37.651

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	0.633%
RAMPA POSTERIOR:	-3.972%
COMPRIMENTO:	32.639
K:	7.088
e:	-0.188

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	2.000+3.907	37.104
FIM:	4.000+18.864	34.921
ESTACAS INTERMEDIARIAS:	2.000+0.000	37.249
	3.000+0.000	36.465

4.000+0.000	35.670
-------------	--------

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	54.957
GRADE:	-3.972%

CURVA VERTICAL CÔNCAVA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	4.000+18.864	34.921
PIV:	5.000+13.972	34.321
FIM:	6.000+9.079	34.569
PONTO BAIXO:	6.000+0.236	34.497
ESTACAS INTERMEDIARIAS:	5.000+0.000	34.877

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	-3.972%
RAMPA POSTERIOR:	1.644%
COMPRIMENTO:	30.215
K:	5.380
e:	0.212

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	6.000+9.079	34.569
FIM:	7.000+1.369	34.771
ESTACAS INTERMEDIARIAS:	6.000+0.000	34.497

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	12.290
GRADE:	1.644%

CURVA VERTICAL CONVEXA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	7.000+1.369	34.771
PIV:	8.000+7.783	35.205
FIM:	9.000+14.196	32.817
PONTO ALTO:	7.000+9.496	34.838
ESTACAS INTERMEDIARIAS:	8.000+0.000	34.726

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	1.644%
RAMPA POSTERIOR:	-9.042%
COMPRIMENTO:	52.827
K:	4.944
e:	-0.706

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	9.000+14.196	32.817
FIM:	12.000+0.468	28.633
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	9.000+0.000	33.897
	10.000+0.000	32.292
	11.000+0.000	30.484

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	46.272
GRADE:	-9.042%

CURVA VERTICAL CÔNCAVA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	12.000+0.468	28.633
PIV:	12.000+9.207	27.843
FIM:	12.000+17.946	27.996
PONTO BAIXO:	12.000+15.113	27.971

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	-9.042%
RAMPA POSTERIOR:	1.749%
COMPRIMENTO:	17.478
K:	1.620
e:	0.236

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	12.000+17.946	27.996
FIM:	17.000+9.056	29.589
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	13.000+0.000	28.032
	14.000+0.000	28.382
	15.000+0.000	28.731

16.000+0.000	29.081
--------------	--------

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	91.110
GRADE:	1.749%

CURVA VERTICAL CONVEXA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	17.000+9.056	29.589
PIV:	17.000+17.795	29.742
FIM:	18.000+6.534	29.523
PONTO ALTO:	17.000+16.246	29.652
ESTACAS INTERMEDIARIAS:	18.000+0.000	29.635

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	1.749%
RAMPA POSTERIOR:	-2.502%
COMPRIMENTO:	17.478
K:	4.112
e:	-0.093

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	18.000+6.534	29.523
FIM:	18.000+11.477	29.400

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	4.944
GRADE:	-2.502%

CURVA VERTICAL CONVEXA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	18.000+11.477	29.400
PIV:	19.000+3.301	29.104
FIM:	19.000+15.125	27.436
ESTACAS INTERMEDIARIAS:	19.000+0.000	29.008

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	-2.502%
RAMPA POSTERIOR:	-14.110%

COMPRIMENTO:	23.648
K:	2.037
e:	-0.343

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	19.000+15.125	27.436
FIM:	20.000+9.577	25.396
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	20.000+0.000	26.748

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	14.452
GRADE:	-14.110%

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	20.000+9.577	25.396
FIM:	26.000+4.823	29.158
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	21.000+0.000	25.737
	22.000+0.000	26.389
	23.000+0.000	27.042
	24.000+0.000	27.695
	25.000+0.000	28.348

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	115.246
GRADE:	3.264%

CURVA VERTICAL CONVEXA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	26.000+4.823	29.158
PIV:	26.000+16.198	29.529
FIM:	27.000+7.573	29.239
PONTO ALTO:	26.000+17.585	29.366
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	27.000+0.000	29.359

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	3.264%
RAMPA POSTERIOR:	-2.555%

COMPRIMENTO:	22.751
K:	3.910
e:	-0.165

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	27.000+7.573	29.239
FIM:	30.000+18.486	27.427
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	27.000+0.000	29.359
	28.000+0.000	28.921
	29.000+0.000	28.410
	30.000+0.000	27.899

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	70.913
GRADE:	-2.555%

CURVA VERTICAL CÔNCAVA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	30.000+18.486	27.427
PIV:	31.000+7.174	27.205
FIM:	31.000+15.861	27.725
PONTO BAIXO:	31.000+3.683	27.361
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	31.000+0.000	27.394

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	-2.555%
RAMPA POSTERIOR:	5.987%
COMPRIMENTO:	17.375
K:	2.034
e:	0.186

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	31.000+15.861	27.725
FIM:	32.000+0.022	27.974

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	4.160
GRADE:	5.987%

CURVA VERTICAL CONVEXA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	32.000+0.022	27.974
PIV:	32.000+12.452	28.718
FIM:	33.000+4.883	28.472
PONTO ALTO:	32.000+18.690	28.533
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	33.000+0.000	28.530

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	5.987%
RAMPA POSTERIOR:	-1.986%
COMPRIMENTO:	24.861
K:	3.118
e:	-0.248

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	33.000+4.883	28.472
FIM:	33.000+17.477	28.221
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	33.000+0.000	28.530

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	12.594
GRADE:	-1.986%

CURVA VERTICAL CONVEXA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	33.000+17.477	28.221
PIV:	34.000+14.367	27.886
FIM:	35.000+11.256	26.812
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	34.000+0.000	28.167

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	-1.986%
RAMPA POSTERIOR:	-6.361%
COMPRIMENTO:	33.778
K:	7.720
e:	-0.185

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	35.000+11.256	26.812
FIM:	36.000+5.764	25.889
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	35.000+0.000	27.446

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	14.509
GRADE:	-6.361%

CURVA VERTICAL CÔNCAVA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	36.000+5.764	25.889
PIV:	36.000+19.114	25.040
FIM:	37.000+12.464	25.404
PONTO BAIXO:	37.000+4.440	25.295
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	37.000+0.000	25.328

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	-6.361%
RAMPA POSTERIOR:	2.733%
COMPRIMENTO:	26.700
K:	2.936
e:	0.304

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	37.000+12.464	25.404
FIM:	38.000+14.494	26.007
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	37.000+0.000	25.328

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	22.030
GRADE:	2.733%

CURVA VERTICAL CONVEXA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	38.000+14.494	26.007

PIV:	39.000+5.113	26.297
FIM:	39.000+15.733	25.360
PONTO ALTO:	38.000+19.520	26.075
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	39.000+0.000	26.075

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	2.733%
RAMPA POSTERIOR:	-8.818%
COMPRIMENTO:	21.239
K:	1.839
e:	-0.307

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	39.000+15.733	25.360
FIM:	42.000+8.406	20.716
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	40.000+0.000	24.984
	41.000+0.000	23.220
	42.000+0.000	21.457

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	52.673
GRADE:	-8.818%

CURVA VERTICAL CÔNCAVA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	42.000+8.406	20.716
PIV:	42.000+16.716	19.983
FIM:	43.000+5.025	20.403
PONTO BAIXO:	42.000+18.968	20.250
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	43.000+0.000	20.254

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	-8.818%
RAMPA POSTERIOR:	5.058%
COMPRIMENTO:	16.619
K:	1.198
e:	0.288

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	43.000+5.025	20.403
FIM:	43.000+9.014	20.605

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	3.988
GRADE:	5.058%

CURVA VERTICAL CONVEXA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	43.000+9.014	20.605
PIV:	44.000+0.314	21.176
FIM:	44.000+11.614	21.341
ESTACAS INTERMEDIARIAS:	44.000+0.000	21.064

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	5.058%
RAMPA POSTERIOR:	1.458%
COMPRIMENTO:	22.601
K:	6.278
e:	-0.102

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	44.000+11.614	21.341
FIM:	49.000+1.454	22.651
ESTACAS INTERMEDIARIAS:	45.000+0.000 46.000+0.000 47.000+0.000 48.000+0.000 49.000+0.000	21.463 21.755 22.046 22.338 22.629

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	89.839
GRADE:	1.458%

CURVA VERTICAL CÔNCAVA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	49.000+1.454	22.651

PIV:	49.000+9.639	22.770
FIM:	49.000+17.824	23.529

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	1.458%
RAMPA POSTERIOR:	9.277%
COMPRIMENTO:	16.370
K:	2.093
e:	0.160

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	49.000+17.824	23.529
FIM:	50.000+6.286	24.314

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	8.462
GRADE:	9.277%

CURVA VERTICAL CONVEXA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	50.000+6.286	24.314
PIV:	50.000+14.751	25.100
FIM:	51.000+3.216	25.412
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	51.000+0.000	25.276

CARACTERÍSTICAS DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA

TIPO	VALOR
RAMPA ANTERIOR:	9.277%
RAMPA POSTERIOR:	3.690%
COMPRIMENTO:	16.930
K:	3.030
e:	-0.118

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	51.000+3.216	25.412
FIM:	51.000+17.795	25.950
ESTACAS INTERMEDIARIAS:		
	51.000+0.000	25.276

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
------	-------

COMPRIMENTO: 14.580
 GRADE: 3.690%

RAMPA

Descrição	ESTACAS	COTA
INÍCIO:	51.000+17.795	25.950
FIM:	53.000+7.036	NaN
ESTACAS INTERMEDIARIAS:	52.000+0.000	25.742

CARACTERÍSTICAS DA RAMPA

TIPO	VALOR
COMPRIMENTO:	29.241
GRADE:	-9.430%

**APÊNDICE B – RELATÓRIO DE VIS. DE ULTRAPASSAGEM (GERADO PELO
AUTOCAD CIVIL 3D)**

Estaca	Distância Atual	Distância Mínima	Violado?
0+000.00m	185.488m	270.000m	Yes
0+020.00m	167.452m	270.000m	Yes
0+040.00m	148.107m	270.000m	Yes
0+060.00m	126.900m	270.000m	Yes
0+080.00m	105.214m	270.000m	Yes
0+100.00m	83.027m	270.000m	Yes
0+120.00m	63.600m	270.000m	Yes
0+140.00m	59.200m	270.000m	Yes
0+160.00m	226.806m	270.000m	Yes
0+180.00m	206.491m	270.000m	Yes
0+200.00m	185.537m	270.000m	Yes
0+220.00m	164.111m	270.000m	Yes
0+240.00m	142.363m	270.000m	Yes
0+260.00m	121.370m	270.000m	Yes
0+280.00m	101.369m	270.000m	Yes
0+300.00m	81.566m	270.000m	Yes
0+320.00m	63.124m	270.000m	Yes
0+340.00m	46.427m	270.000m	Yes
0+360.00m	223.442m	270.000m	Yes
0+380.00m	194.019m	270.000m	Yes
0+400.00m	157.413m	270.000m	Yes
0+420.00m	130.511m	270.000m	Yes
0+440.00m	112.600m	270.000m	Yes
0+460.00m	95.200m	270.000m	Yes
0+480.00m	78.000m	270.000m	Yes
0+500.00m	68.200m	270.000m	Yes
0+520.00m	202.978m	270.000m	Yes
0+540.00m	184.913m	270.000m	Yes
0+560.00m	164.782m	270.000m	Yes
0+580.00m	144.305m	270.000m	Yes
0+600.00m	96.682m	270.000m	Yes
0+620.00m	66.741m	270.000m	Yes
0+640.00m	72.068m	270.000m	Yes
0+660.00m	145.420m	270.000m	Yes
0+680.00m	124.053m	270.000m	Yes
0+700.00m	102.924m	270.000m	Yes
0+720.00m	78.335m	270.000m	Yes
0+740.00m	53.009m	270.000m	Yes
0+760.00m	42.200m	270.000m	Yes
0+780.00m	265.147m	270.000m	Yes

0+800.00m	244.753m	270.000m	Yes
0+820.00m	224.109m	270.000m	Yes
0+840.00m	203.478m	270.000m	Yes
0+860.00m	183.009m	270.000m	Yes
0+880.00m	163.091m	270.000m	Yes
0+900.00m	143.046m	270.000m	Yes
0+920.00m	122.945m	270.000m	Yes
0+940.00m	102.816m	270.000m	Yes
0+960.00m	82.643m	270.000m	Yes
0+980.00m	62.367m	270.000m	Yes
1+000.00m	42.678m	270.000m	Yes
1+020.00m	26.308m	270.000m	Yes
1+040.00m	27.036m	270.000m	No
1+060.00m	7.036m	270.000m	No
1+067.04m	0.000m	270.000m	No

APÊNDICE C – MAPA DE PONTOS BAIXOS (ANTES DA INTERVENÇÃO)

PONTO BAIXO 1	
ESTACA: 6+0.236	
PLANTA	LOCAL
LIMITAÇÕES: LADO ESQUERDO - RUA LOCAL; LADO DIREITO - MURO	
PONTO BAIXO 2	
ESTACA: 12+15.113	
PLANTA	LOCAL
LIMITAÇÕES: LADO ESQUERDO E DIREITO - MURO	
PONTO BAIXO 3	
ESTACA: 31+3.683	
PLANTA	LOCAL
LIMITAÇÕES: LADO ESQUERDO - RUA LOCAL; LADO DIREITO - MATAGAL	

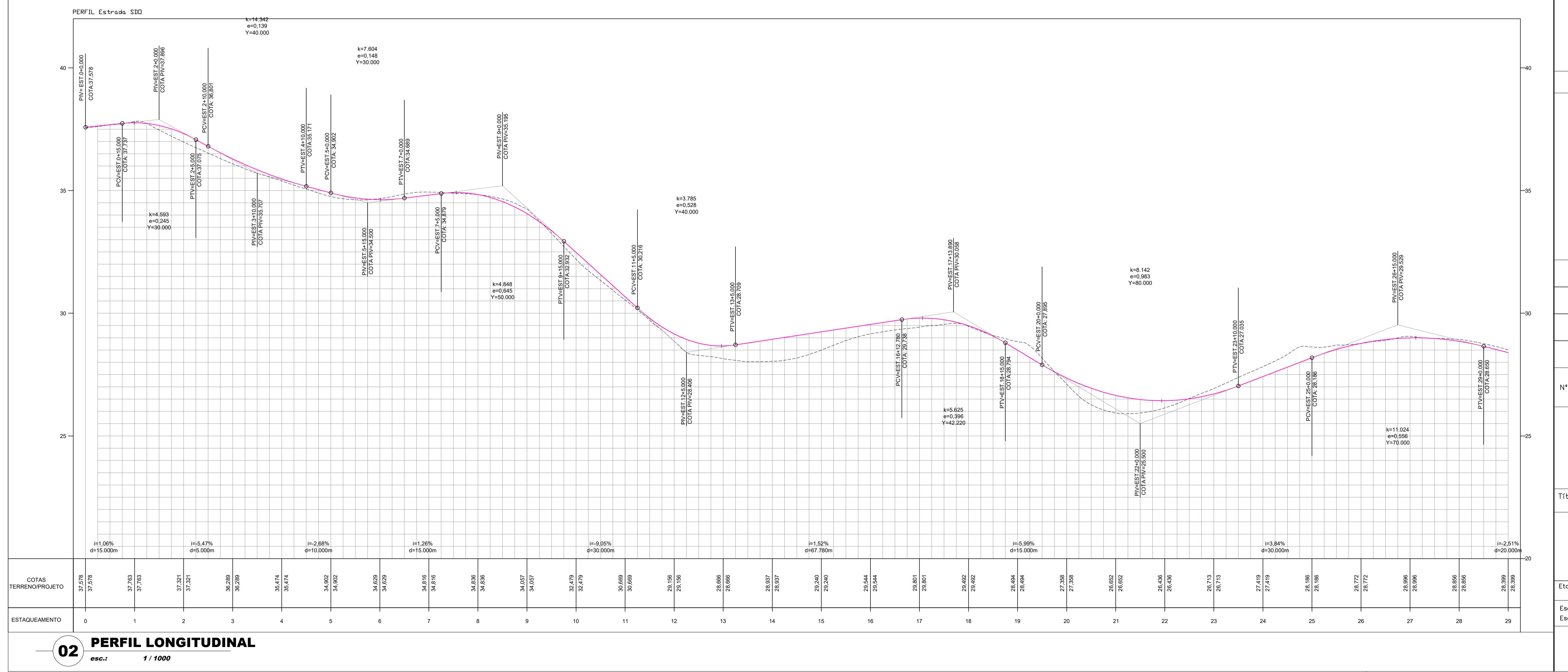
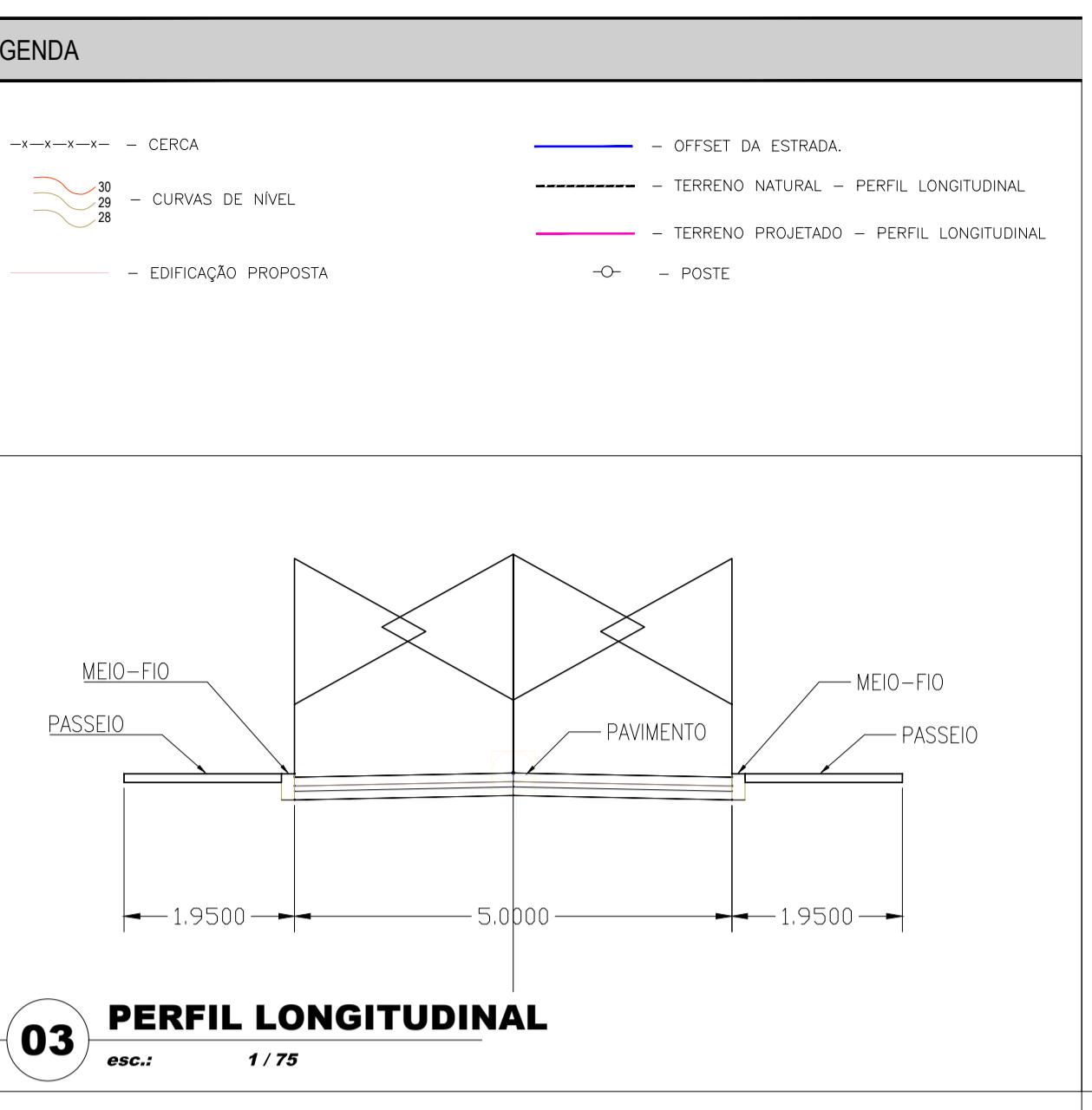
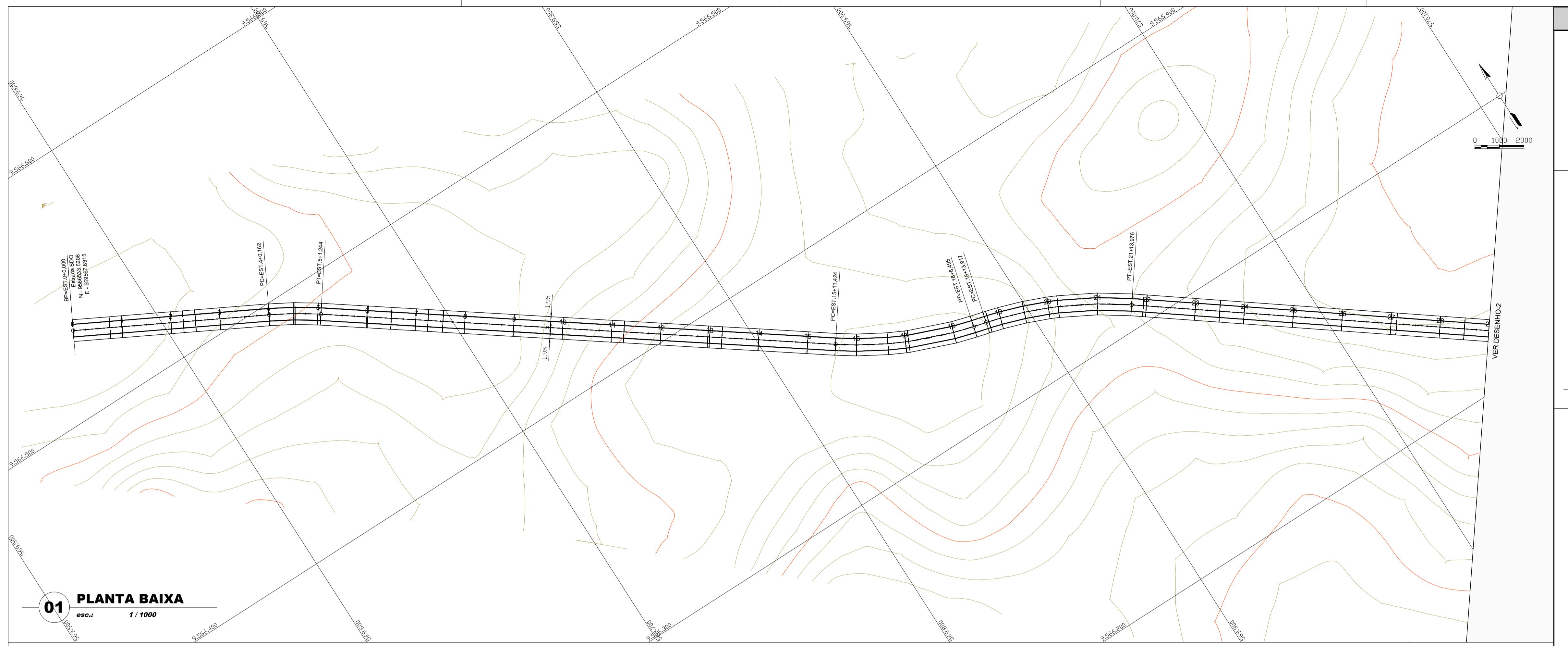
PONTO BAIXO 4	
ESTACA: 37+4.440	
PLANTA	LOCAL

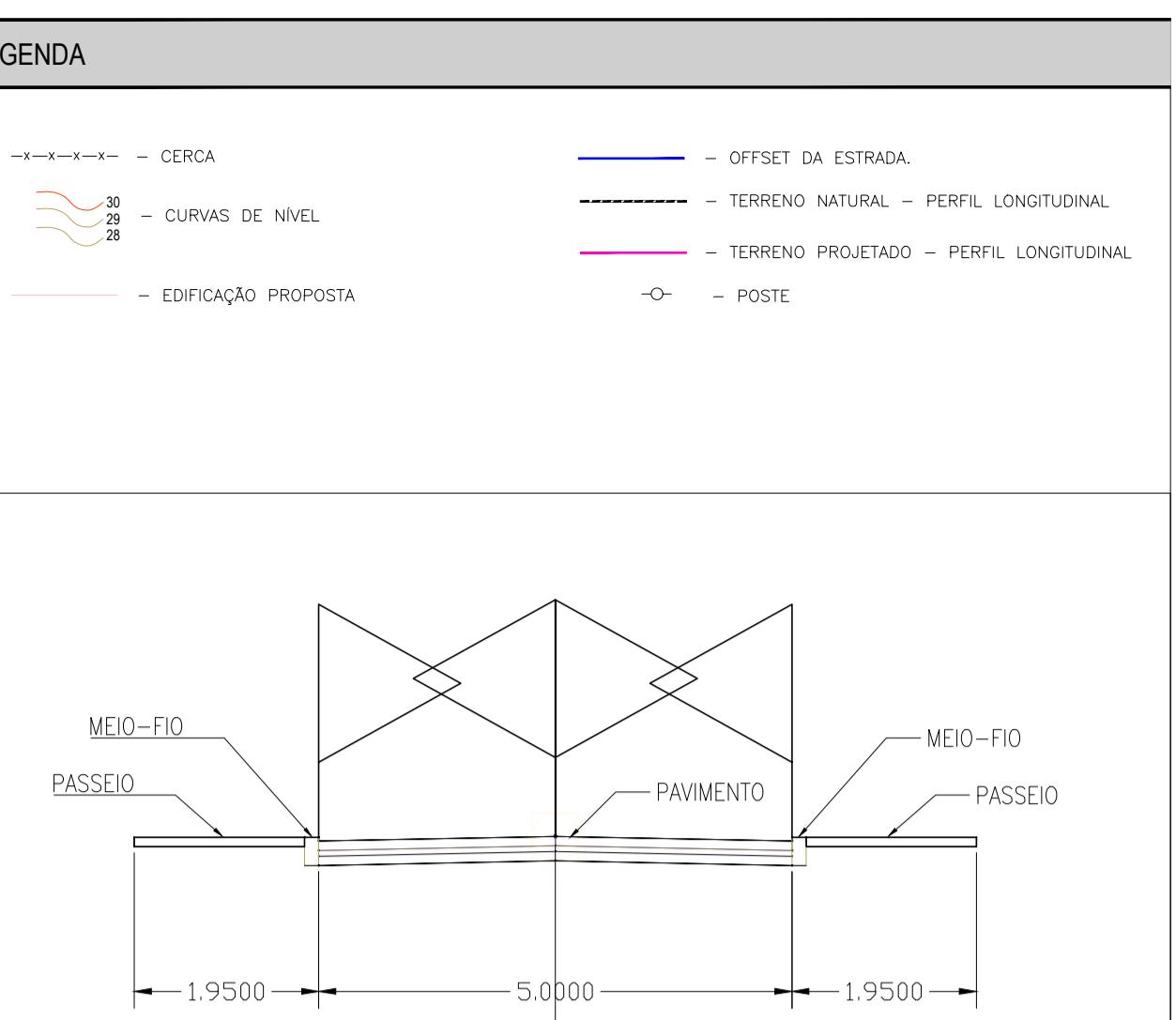
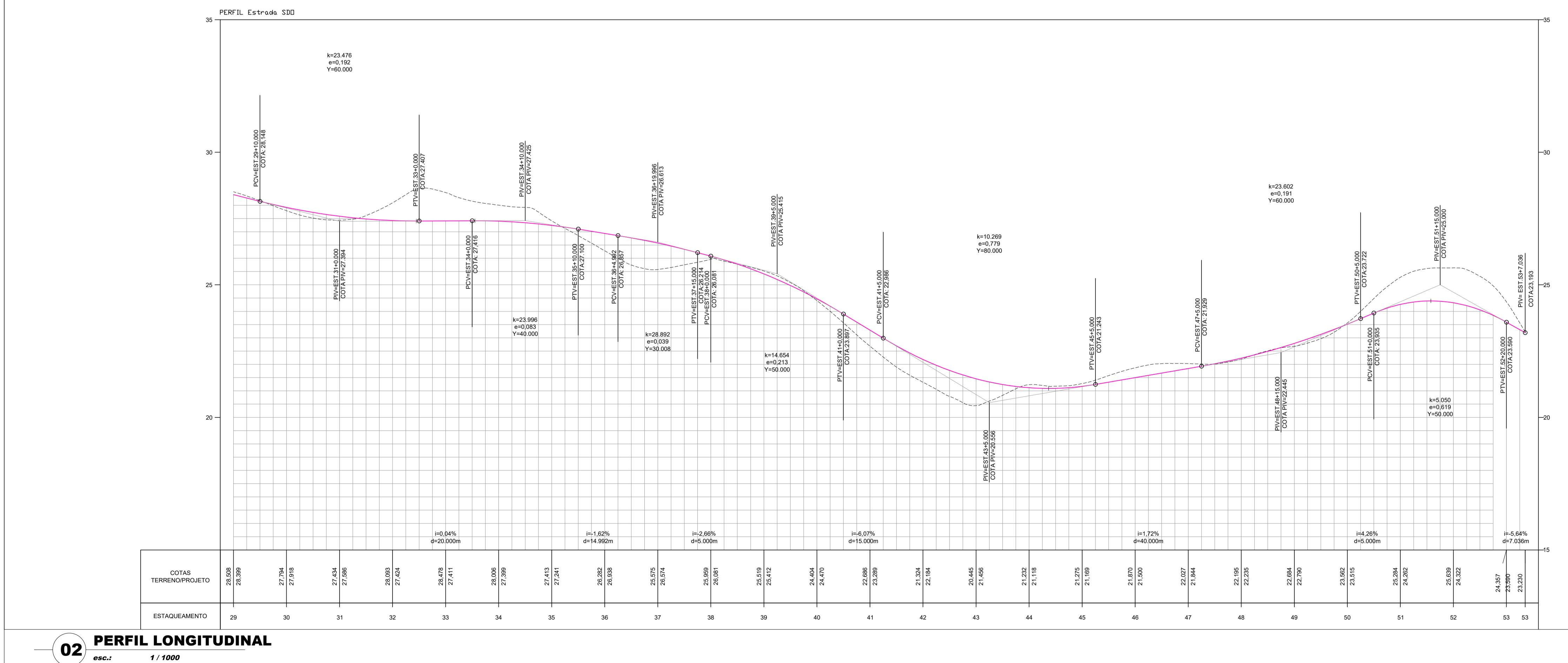
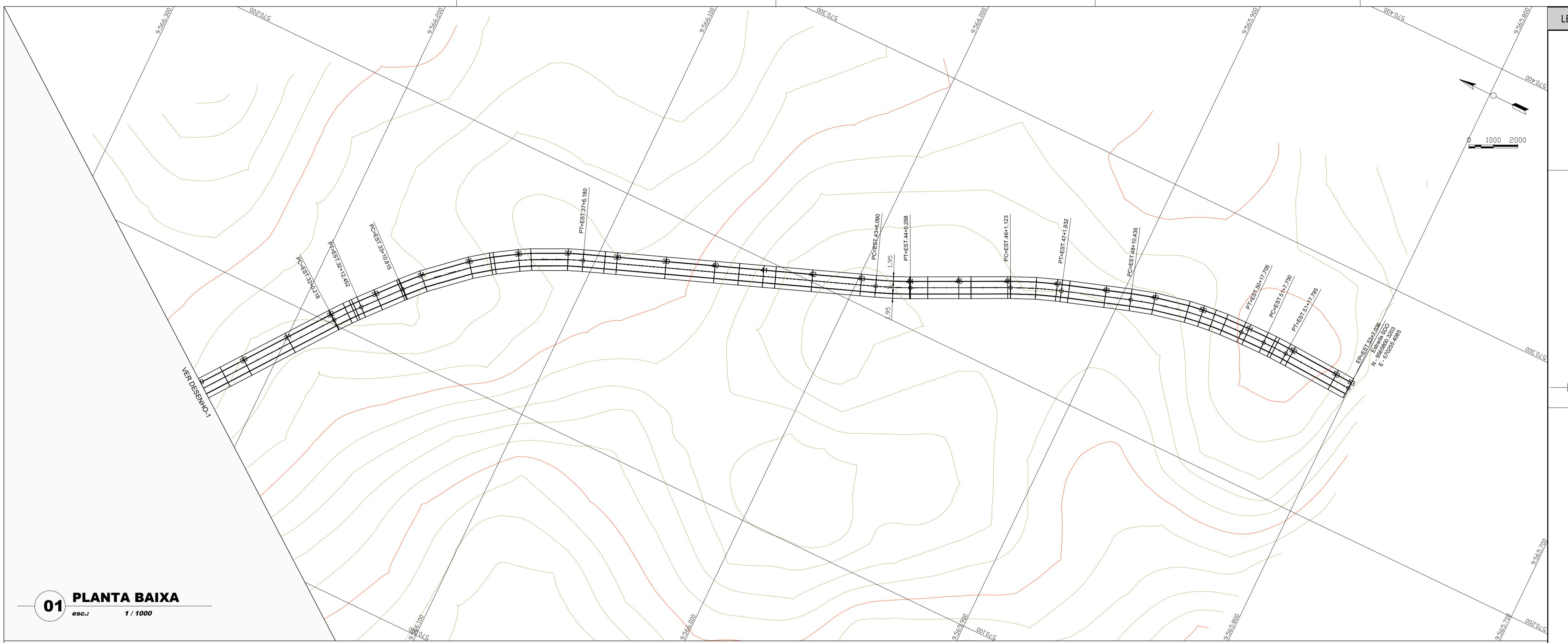
LIMITAÇÕES: LADO ESQUERDO E LADO DIREITO - MATAGAL

PONTO BAIXO 5	
ESTACA: 37+4.440	
PLANTA	LOCAL

LIMITAÇÕES: LADO ESQUERDO E LADO DIREITO - MATAGAL

APÊNDICE D – PROJETO GEOMÉTRICO PROPOSTO





PERFIL LONGITUDINAL