

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Jaqueline de Souza Góes
Rivaldo Luiz Canuto Serafim
Williene Maria de Almeida

**ESTUDO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE TRECHO
RODOVIÁRIO COM HISTÓRICO DE ACIDENTES: SEGMENTO DA PE-084 NA
CIDADE DE MACHADOS-PE**

Recife
2025

Jaqueline de Souza Góes
Rivaldo Luiz Canuto Serafim
Williene Maria de Almeida

**ESTUDO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE TRECHO
RODOVIÁRIO COM HISTÓRICO DE ACIDENTES: SEGMENTO DA PE-084 NA
CIDADE DE MACHADOS-PE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Universitário Brasileiro - Unibra como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Carolina de Lima França
Coorientador: M.e. Glauber Carvalho Costa

Recife
2025

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Laís Cardoso, CRB-4/PE-1753/P.

G598e Goés, Jaqueline de Souza.

Estudo sobre as características geométricas de trecho rodoviário com histórico de acidentes: segmento da PE-084 na cidade de Machados- PE / Jaqueline de Souza Góes, Rivaldo Luiz Canuto Serafim, Williene Maria de Almeida. - Recife: Edição do autor, 2025. 89 p. : il. color.

Orientador(a): Dra. Carolina de Lima França.

Coorientador: Me. Glauber Carvalho Costa.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Brasileiro – Unibra. Bacharelado em Engenharia Civil, 2025.

Inclui Bibliografia.

Inclui Fotografia.

1. Segurança viária. 2. Geometria rodoviária. 4. Acidentes de trânsito. 5. PE- 084. 6. Levantamento topográfico. 7. Engenharia civil. I. Serafim, Rivaldo Luiz Canuto. II. Almeida, Williene Maria de. III. Centro Universitário Brasileiro - Unibra. VI. Título.

CDU: 624

Jaqueline de Souza Góes
Rivaldo Luiz Canuto Serafim
Williene Maria de Almeida

**ESTUDO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE TRECHO
RODOVIÁRIO COM HISTÓRICO DE ACIDENTES: SEGMENTO DA PE-084 NA
CIDADE DE MACHADOS-PE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário
Brasileiro - Unibra como requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Banca Examinadora:

Orientadora

Examinador 1

Examinador 2

Nota: _____

Data: ____ / ____ / ____

AGRADECIMENTOS

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também a concretização de um sonho coletivo, que só foi possível graças ao apoio que recebemos em nossa caminhada.

Agradecemos primeiramente a Deus, pela força, sabedoria e saúde concedidas ao longo desta jornada.

Às nossas famílias, que estiveram ao nosso lado durante toda a trajetória, apoiando, incentivando e sendo a base nos momentos de dúvida e cansaço. Sem o suporte de vocês, este caminho teria sido muito mais difícil.

À nossa orientadora, Dra. Carolina França, e ao coorientador, M.e. Glauber Costa, por todas as orientações precisas, pela generosidade em compartilhar seus conhecimentos e pela paciência ao longo do desenvolvimento deste trabalho. A contribuição de vocês foi essencial e enriquecedora em cada etapa do processo.

Aos profissionais, Carlos Eduardo Lima (topógrafo), Maurício França (Técnico de Edificações) e novamente, o nosso coorientador Glauber Costa, juntamente com as empresas em que trabalhamos, que dedicaram seu tempo, equipamentos e conhecimento no levantamento de dados utilizado neste trabalho. Sem vocês, nada disso seria possível. A colaboração e disponibilidade foram fundamentais para a qualidade e viabilidade do nosso estudo de caso.

Aos professores do curso, que além de transmitirem seus ensinamentos com excelência, foram grandes aliados ao longo da nossa formação. Com vocês, pudemos compartilhar dúvidas, ideias e aprendizados que levaremos para a vida.

Aos colegas e amigos que fizemos ao longo das nossas trajetórias individuais, com quem dividimos experiências, conquistas, risos e até lágrimas. A presença e o companheirismo de vocês foram fundamentais nos nossos processos, vencendo os nossos obstáculos e tornaram os momentos felizes ainda mais especiais.

Por fim, agradecemos a todos que, de alguma forma, estiveram envolvidos e contribuíram para a realização deste trabalho. Cada gesto de apoio fez diferença e será sempre lembrado com gratidão.

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo analisar as características geométricas de um trecho da rodovia PE-084, no acesso à cidade de Machados-PE, conhecido pelo elevado número de acidentes. A pesquisa busca compreender de que forma as inadequações geométricas e operacionais da via que contribuem para a ocorrência de sinistros, propondo soluções técnicas que promovam maior segurança viária. A metodologia adotada envolveu levantamento bibliográfico, coleta de dados de campo e análise comparativa com normas de projeto geométrico de rodovias. Foram utilizados levantamentos planialtimétricos por GNSS em modo RTK e imagens aéreas obtidas por ARP, processadas nos softwares Agisoft Metashape e Autodesk Civil 3D, possibilitando a geração de modelos digitais do terreno e análise detalhada do traçado. O estudo identificou que, embora o trecho atenda parcialmente aos critérios normativos quanto aos raios de curvatura e velocidades diretrizes, apresenta deficiências significativas de superelevação, superlargura e ausência de acostamento, fatores que aumentam o risco de acidentes, especialmente em curvas acentuadas como a “curva da pedra”. Também se verificou que contém rampas superiores às admitidas em norma e ausência de sinalização adequada contribuem para a insegurança operacional. A análise mostrou correlação direta entre as deficiências geométricas e os registros de sinistros, reforçando a importância do diagnóstico técnico como base para a reabilitação de trechos críticos. As principais recomendações incluem a readequação da superelevação e das superlarguras de pista, implantação de acostamentos, revisão da sinalização vertical e horizontal, monitoramento por radares e execução de estudos geotécnicos para avaliar a estabilidade dos taludes. Conclui-se que a PE-084 necessita de intervenções estruturais e de engenharia de tráfego para se adequar aos parâmetros de segurança e desempenho estabelecidos pelos Órgãos Públicos, sendo o estudo um contributo técnico relevante para a gestão e requalificação de rodovias estaduais.

Palavras-chave: segurança viária; geometria rodoviária; acidentes de trânsito; PE-084; levantamento topográfico; engenharia civil.

ABSTRACT

This Final Undergraduate Project aims to analyze the geometric characteristics of a section of the PE-084 highway, at the access to the city of Machados-PE, known for its high number of traffic accidents. The research seeks to understand how geometric and operational inadequacies of the road contribute to the occurrence of crashes, proposing technical solutions that promote greater road safety. The adopted methodology involved bibliographic research, field data collection, and comparative analysis with highway geometric design standards. Planialtimetric surveys using GNSS in RTK mode and aerial images obtained by RPA were processed with Agisoft Metashape and Autodesk Civil 3D software, enabling the creation of digital terrain models and detailed analysis of the road alignment. The study found that, although the section partially meets regulatory criteria regarding curve radii and design speeds, it presents significant deficiencies in superelevation, widening, and the absence of shoulders—factors that increase the risk of accidents, especially in sharp curves such as the “curva da pedra.” It was also verified that slopes exceeding the limits established by standards and the lack of adequate signage contribute to operational insecurity. The analysis showed a direct correlation between geometric deficiencies and recorded accidents, reinforcing the importance of technical diagnosis as a basis for rehabilitating critical road segments. The main recommendations include the correction of superelevation and lane widening, construction of shoulders, revision of vertical and horizontal signage, radar monitoring, and execution of geotechnical studies to assess slope stability. It is concluded that PE-084 requires structural and traffic engineering interventions to meet the safety and performance parameters established by public agencies, with this study serving as a relevant technical contribution to the management and improvement of state highways.

Keywords: road safety; highway geometry; traffic accidents; PE-084; topographic survey; civil engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ortoimagem de interseção	17
Figura 2 – Esboço de traçado evitando obstáculos	20
Figura 3 – Etapas da obtenção dos dados	30
Figura 4 – Mapa de Situação do projeto	35
Figura 5 – Arquivo do Civil 3D, com pontos levantados e breaklines desenhadas ...	37
Figura 6 – Ponto de apoio 1	38
Figura 7 – Civil 3D com ortorectificação do drone e superfícies corrigidas	40
Figura 8 – Seção do comparativo de superfícies (Est. 15)	40
Figura 9 – Seção do comparativo de superfícies (Est. 20)	41
Figura 10 – Ponto mais crítico da PE-084 (Curva da Pedra)	42
Figura 11 – Seção com superelevação da curva C1 (Est. 15)	43
Figura 12 – Maior veículo observado em campo	44
Figura 13 – Dimensões do BT9	44
Figura 14 – Gabarito de giro do BT9	45
Figura 15 – Superlargura em Planta da Curva C1 (Ponto crítico)	46
Figura 16 – Talude de corte em rocha na curva da pedra	50
Figura 17 – Trinca longitudinal no trecho em aterro próximo à curva da pedra	51
Figura 18 – Medição da trinca longitudinal próximo à curva da pedra	51
Figura 19 – Extensão da trinca longitudinal próximo à curva da pedra	52
Figura 20 – Seção transversal de corte pleno em rocha na curva da pedra.	53
Figura 21 – Sinalização Vertical de Regulamentação de velocidade	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de Projeto	18
Quadro 2 – Velocidades diretrizes para projetos.....	19
Quadro 3 – Valores máximos de coeficiente de atrito	21
Quadro 4 – Raios mínimos em função da superelevação (em metros).....	22
Quadro 5 – Larguras mínimas da pista	23
Quadro 6 – Inclinação Máxima de Rampa	24
Quadro 7 – Dados do Planejamento de Voo.....	32
Quadro 8 – Características operacionais da PE-084	36
Quadro 9 – Comparativo de altimetria das superfícies.....	39
Quadro 10 – Curvas Horizontais da PE-084	42
Quadro 11 – Superelevação da PE-084.....	43
Quadro 12 – Superlarguras mínimas para a PE-084	45
Quadro 13 – Curvas Verticais da PE-084	47

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1.	Justificativa.....	12
1.2.	Objetivo geral.....	13
1.3.	Objetivos específicos.....	13
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1.	Topografia e Levantamentos.....	14
2.1.1.	Conceito de Topografia Aplicada à Engenharia Civil.....	14
2.1.2.	Técnicas de levantamento.....	15
2.2.	Projetos Geométricos de Rodovias	17
2.2.1.	Classificação das rodovias	17
2.2.2.	Critérios Traçado e Geometria	19
2.2.3.	Distância de Visibilidade e Parada	24
2.3.	Estudos e Diagnósticos Rodoviários	24
2.3.1.	O papel dos estudos preliminares	24
2.3.2.	Metodologias de diagnóstico de trechos críticos	26
2.4.	Relação entre Geometria e Acidentes	28
3.	METODOLOGIA.....	30
3.1.	Etapas da metodologia	30
3.2.	Fase de Planejamento	30
3.3.	Levantamento dos Dados de Campo.....	31
3.4.	Processamento dos Dados Coletados	33
3.5.	Dados Complementares.....	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1.	Dados do Projeto Existente.....	35
4.2.	Tratamento dos Dados Levantados.....	36
4.3.	Análise e Verificação dos Dados.	41
4.3.1.	Análise Horizontal.....	41
4.3.2.	Análise Transversal.....	43
4.3.3.	Análise Vertical.....	46
4.4.	Possíveis Causas dos Acidentes.....	48

4.5.	Soluções que visam a redução dos acidentes na área de estudo.	49
5.	CONCLUSÃO	55
6.	REFERÊNCIAS	57
7.	APÊNDICES	60
8.	ANEXOS	87

1. INTRODUÇÃO

A segurança viária constitui um dos principais desafios enfrentados pelas engenharias de transporte e órgãos gestores de infraestrutura rodoviária. Em resposta à crescente crise global, a Assembleia Geral das Nações Unidas adotou a Resolução 74/299, instituindo a Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2021–2030. O plano tem como meta reduzir pela metade o número de mortes e lesões causadas por sinistros viários até o final da década. Estima-se que, anualmente, cerca de 1,3 milhão de pessoas morrem e outras 50 milhões ficam feridas em decorrência de acidentes de trânsito. As lesões viárias representam, ainda, a principal causa de morte entre crianças e jovens de 5 a 29 anos em todo o mundo. ^[1]

Diante desse panorama estatístico, torna-se essencial compreender os fatores estruturais que contribuem para a ocorrência de sinistros. Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), entre novembro de 2022 e outubro de 2023, foi registrada uma média diária de 182 acidentes e 15 mortes nas rodovias federais brasileiras. Os eventos ocorrem com maior frequência durante finais de semana, feriados, períodos noturnos e em condições climáticas adversas, como chuva. Os tipos mais recorrentes incluem colisões e saídas de pista, enquanto as principais causas de óbito estão associadas à circulação na contramão e à reação tardia dos condutores. Entre as recomendações para mitigação desses riscos, destacam-se o respeito às normas de trânsito, a realização de ultrapassagens seguras e a obediência à sinalização viária. ^[2]

A análise regional dos sinistros revela que o Nordeste brasileiro apresentou números preocupantes no mesmo período. Foram registrados 14.175 acidentes nas rodovias federais da região, resultando em 16.576 feridos e 1.689 mortes — o que equivale a aproximadamente 12 óbitos a cada 100 ocorrências. A colisão foi o tipo de acidente mais frequente, representando 62,3% dos casos, enquanto o trânsito na contramão foi responsável por 16,8% das mortes registradas. ^[2]

A inadequação de parâmetros geométricos, aliada a deficiências construtivas ou de manutenção, pode potencializar a ocorrência de incidentes rodoviários, sobretudo em trechos de maior complexidade topográfica. No levantamento realizado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), referente às condições das rodovias no Nordeste brasileiro, foram identificadas deficiências significativas que

podem contribuir diretamente para o aumento desses eventos. Segundo o estudo, os principais problemas observados na malha viária da região incluem:

- 74,9% da extensão das rodovias apresenta algum tipo de problema geral;
- 53,3% da extensão apresenta falhas no pavimento;
- 77,1% da extensão tem inadequações na sinalização;
- 68,3% da extensão apresenta deficiência na geometria da via.

Esses indicadores evidenciam a urgência de intervenções estruturais e reforçam a importância da análise técnica dos traçados como ferramenta para a prevenção de acidentes e para a promoção de uma mobilidade mais segura. [3]

1.1. Justificativa

A escolha do trecho em estudo se deve ao registro de acidentes recorrentes na PE-084, especialmente na área de acesso ao município de Machados, próximo ao entroncamento com a PE-89 e extensão até a PE-086. Trata-se de um ponto de relevância para a mobilidade regional, por interligar cidades de porte médio e pequenas comunidades, além de ser rota de escoamento de produtos agrícolas. Nesse contexto, os acidentes viários impactam não apenas a segurança dos usuários, mas também a economia local e a qualidade de vida da população.

Outro fator determinante para a realização desta pesquisa é a necessidade de metodologias mais eficazes para diagnóstico de causas de acidentes relacionadas à geometria rodoviária. Apesar da existência de normativos técnicos que orientam o projeto e a avaliação de estradas, observa-se que em muitos trechos a aplicação prática é limitada, seja pela falta de atualização dos levantamentos ou pelo uso de métodos tradicionais que não contemplam plenamente a realidade em campo.

O uso de tecnologias atuais, como os levantamentos aerofotogramétricos por ARP, em conjunto com bases cartográficas e dados institucionais, possibilita uma análise mais detalhada e integrada da infraestrutura. Essa abordagem oferece subsídios técnicos não apenas para compreender a relação entre acidentes e características geométricas, mas também para fundamentar propostas de intervenção mais precisas e viáveis.

Assim, o estudo se justifica tanto pela relevância social, ao buscar soluções para reduzir acidentes em uma rodovia estadual, quanto pela contribuição acadêmica

e profissional, ao propor metodologias atualizadas e soluções que podem ser replicadas em outros trechos críticos da malha viária.

1.2. Objetivo geral

Realizar um estudo de caso sobre o traçado rodoviário em trecho com histórico de acidentes, observado aspectos relacionados a geometria, em um segmento da PE-084, no acesso a cidade Machados/PE, próximo ao entroncamento com a PE-89 até o início da travessia urbana de Machados.

1.3. Objetivos específicos

- Levantar os dados físicos e de projeto existentes da rodovia;
- Expor, através de levantamento topográfico e análise no programa Civil 3D, as características técnicas e operacionais existentes da estrada;
- Comparar os dados levantados e verificar se estão de acordo com as normas de geometria rodoviária;
- Diagnosticar as possíveis causas dos acidentes;
- Propor soluções que visam a redução dos acidentes na área de estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Topografia e Levantamentos

2.1.1. Conceito de Topografia Aplicada à Engenharia Civil.

Os seres humanos sempre tiveram a necessidade de se localizar no meio em que habitavam, para sair de um local e ir para outro, é necessário ter o mínimo de sentidos de localização. A real necessidade de reconhecer acidentes de relevo e demarcação de áreas, surgiu com a revolução agrícola, que deu o surgimento dos primeiros estados. Registra-se que as representações gráficas mais antigas que a humanidade conhece foram as confeccionadas pelos mesopotâmios, em aproximadamente 3500 a.C., na histórica região entre os rios Tigre e Eufrates, onde hoje se encontra o Iraque. A prática desses métodos de medição e representação foi repassada aos gregos, que a denominaram de Topografia (*topos* + *graphen* = lugar + descrição). ^[4]

Tradicionalmente, a topografia é definida como a disciplina que se concentra em representar minuciosamente o terreno em uma dada vizinhança da superfície terrestre, a fim de simplificar os problemas causados pela curvatura das superfícies de nível. No entanto, dada a necessidade de que as representações das vizinhanças adjacentes sejam contínuas e compatíveis, a representação topográfica do terreno não pode mais ser local e a curvatura da superfície de nível não pode mais ser ignorada. Embora ainda se mantenha minuciosa, a topografia atual é viabilizada pelas coordenadas cartográficas dos vértices da rede geodésica e pode ser usada na representação do terreno em grandes extensões da superfície terrestre. ^[5] Além da representação minuciosa do terreno, a topografia também abrange a localização de linhas e perfis necessários para a construção de estruturas como prédios, estradas e barragens. Além disso, a topografia envolve o cálculo de áreas, volumes e outras grandezas, bem como a preparação de mapas, diagramas e documentos necessários para a atividade, além das medições de campo. ^[6]

Nas últimas décadas, ocorreram avanços significativos na tecnologia utilizada na medição, coleta, registro e visualização de informações da superfície terrestre. Os topógrafos utilizam agora instrumentos eletrônicos que permitem realizar essas atividades de forma digital e automática. Com o auxílio de computadores, os dados

de medição são processados com rapidez e precisão, possibilitando a produção de mapas e tabelas com maior eficiência e redução de erros. [6]

2.1.2. Técnicas de levantamento.

O processo de coleta das informações necessárias para a elaboração de uma planta ou carta topográfica de uma determinada região é conhecido como levantamento topográfico, o qual envolve a realização de trabalhos de campo e de escritório que resultam no conjunto de informações necessárias para a criação das plantas ou cartas topográficas. Os dois principais métodos de levantamento topográfico são o método clássico e o método fotogramétrico. [5]

O levantamento é a etapa inicial de todo trabalho relacionado à topografia, pois é nessa fase que os dados do objeto de trabalho são coletados, e sem eles não é possível realizar qualquer tipo de serviço. Para realizar o levantamento, é necessário que o profissional mantenha contato com o cliente interessado, que pode ser um engenheiro responsável por uma obra, uma empresa construtora ou imobiliária, um órgão público, entre outros. Durante esse contato, são obtidas as primeiras impressões sobre o que será executado. São definidas as necessidades do contratante, o prazo para a conclusão dos serviços e outros detalhes, a fim de que a situação possa ser organizada e compreendida. [7]

Algumas das ferramentas e equipamentos mais importantes para o levantamento topográfico clássico são: [4]

- Estação total: Equipamento eletrônico que consiste em uma luneta, dois discos graduados e uma interface digital, é utilizado para realizar a leitura de um ponto por meio do prisma. Depois que a leitura é concluída, os dados são armazenados e podem ser transferidos e organizados para programas de planilhas, cálculos e desenhos.
- Prisma: Acessório composto por espelhos de vidro que é utilizado para refletir sinais emitidos por dispositivos eletrônicos, a fim de que esses sinais sejam retornados e acionem os sistemas de processamento correspondentes.
- Piquete: Pedaco de madeira que é fincado no solo com o propósito de marcar o local preciso onde outro equipamento deve ser instalado.

- Marco de concreto: Conforme seu nome sugere, é uma estrutura em bloco de concreto, geralmente com uma chapa ou pino de metal, empregada para indicar um local de referência.
- Receptor GPS: Recebe sinais do sistema Global Positioning System (GPS), o que dá nome ao dispositivo. Ao receber sinais de satélites artificiais, o Receptor é capaz de fornecer a posição em tempo real. Os modelos mais recentes são chamados de GNSS, e são capazes de fazer a leitura não só do sistema GPS dos Estados Unidos, mas também do sistema GLONASS da Rússia, Galileu da Europa e outros.

Além do método clássico de levantamento, os drones, também chamados de UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) ou em português VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), são amplamente usados em aplicações nas áreas da agricultura, inspeção industrial, construção civil, mineração, logística, vigilância e defesa civil. Criados inicialmente para fins militares na Primeira Guerra Mundial, são aeronaves sem piloto a bordo, controladas remotamente por pessoas ou por software. Hoje as versões mais modernas, geralmente multirotores, permitem coletar diferentes tipos de dados, como: imagens multiespectrais, LiDAR e magnetometria, com alta precisão. ^[8]

A aerofotogrametria tem sido amplamente utilizada em projetos rodoviários, evoluindo de ferramenta para escolha de itinerários a recurso aplicado em todas as fases do projeto. Apesar de limitações, como menor precisão altimétrica em comparação à topografia e necessidade de condições climáticas adequadas, seu maior benefício é a grande quantidade de informações obtidas em um espaço curto de tempo, especialmente útil em levantamentos preliminares e estudos de traçado e variantes. ^[9] É um método de levantamento eficiente para mapeamento de grandes áreas, incluindo regiões perigosas ou inacessíveis, oferecendo produtos digitais como Modelos Digitais do Terreno (MDT) e ortoimagens de alta resolução, como é possível ver na Figura 1. ^[10]

Figura 1 – Ortoimagem de interseção



Fonte: Autores (2025)

Além de, apesar de ser menos preciso que a topografia clássica, os volumes de corte e aterro obtidos por fotogrametria são geralmente comparáveis aos da topografia, o que a torna uma alternativa técnica e econômica em muitos casos. ^[9]

2.2. Projetos Geométricos de Rodovias

O projeto geométrico de uma estrada é o resultado da correlação entre os elementos físicos e as características operacionais, como frenagem, aceleração, condições de segurança e conforto, entre outros. Os critérios que regem esse projeto envolvem não apenas cálculos teóricos, mas também fundamentos empíricos obtidos a partir de numerosas observações e experiências práticas. ^[11]

Dito isso, este artigo aborda os principais critérios utilizados na análise de uma rodovia já implantada.

2.2.1. Classificação das rodovias

Para classificar uma rodovia é utilizada como principais características que se relacionam diretamente com a operação do tráfego e algumas características, e elementos geométricos, listados a seguir:

- Velocidade diretriz;
- Raios mínimos;
- Superelevação;
- Largura da pista e acostamento
- Superlargura;
- Rampas máximas.

Características geométricas inadequadas constituem fatores determinantes para a ocorrência de acidentes de tráfego. Dessa forma, a definição dos elementos geométricos deve ser realizada de modo criterioso, assegurando que a via atenda aos parâmetros de desempenho previstos em seu projeto. Além disso, o volume de tráfego projetado deve justificar o investimento realizado, garantindo a viabilidade técnica, econômica e funcional da infraestrutura. ^[11]

As classes de projeto recomendadas são apresentadas a seguir e foram estabelecidas com base na experiência adquirida ao longo do desenvolvimento da malha rodoviária implantada. Essa classificação reflete o consenso nacional acerca da necessidade de atender, de forma economicamente viável e com níveis adequados de segurança, à crescente demanda do tráfego. Na formulação das diferentes classes, consideraram-se como fatores predominantes a função exercida pela rodovia, os volumes de tráfego previstos e o grau de dificuldade de implantação decorrente das características do terreno a ser atravessado. ^[12]

As classes recomendadas das rodovias encontram-se resumidas no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 – Classes de Projeto

Classe de projeto		Características	Critério de Classificação Técnica
0		Via expressa Controle total de acesso	Decisão administrativa
I	A	Pista dupla Controle parcial de acesso	Os volumes de tráfego previstos ocasionaram níveis de em rodovia de pista simples inferiores aos aceitáveis
	B	Pista simples Controle parcial de acesso	Volume horário de projeto > 200 Volume médio diário (VMD) > 1400
II		Pista simples	VMD entre 700 e 1400 veículos
III		Pista simples	VMD entre 300 e 700 veículos
IV	A	Pista simples	VMD entre 50 e 200 veículos
	B	Pista simples	VMD < 50 veículos

Fonte: Adaptado de DNER (1999)

A velocidade diretriz corresponde ao valor de velocidade selecionado como parâmetro de projeto da via, servindo como referência para a definição de suas principais características geométricas, tais como curvatura, superelevação e distâncias de visibilidade, fatores determinantes para garantir uma operação segura e confortável dos veículos. Essa velocidade representa o maior valor possível para o deslocamento ao longo do trecho, considerando-se condições normais de rugosidade e ondulação da superfície de rolamento, garantindo segurança e conforto aceitáveis, mesmo sob pavimento molhado, quando o veículo está submetido exclusivamente às limitações impostas pelo traçado geométrico, sem interferência de outros fatores de tráfego. O Quadro 2 apresenta os valores recomendados de velocidades diretrizes a serem adotados para as diferentes classes de projeto. ^[12]

Quadro 2 – Velocidades diretrizes para projetos

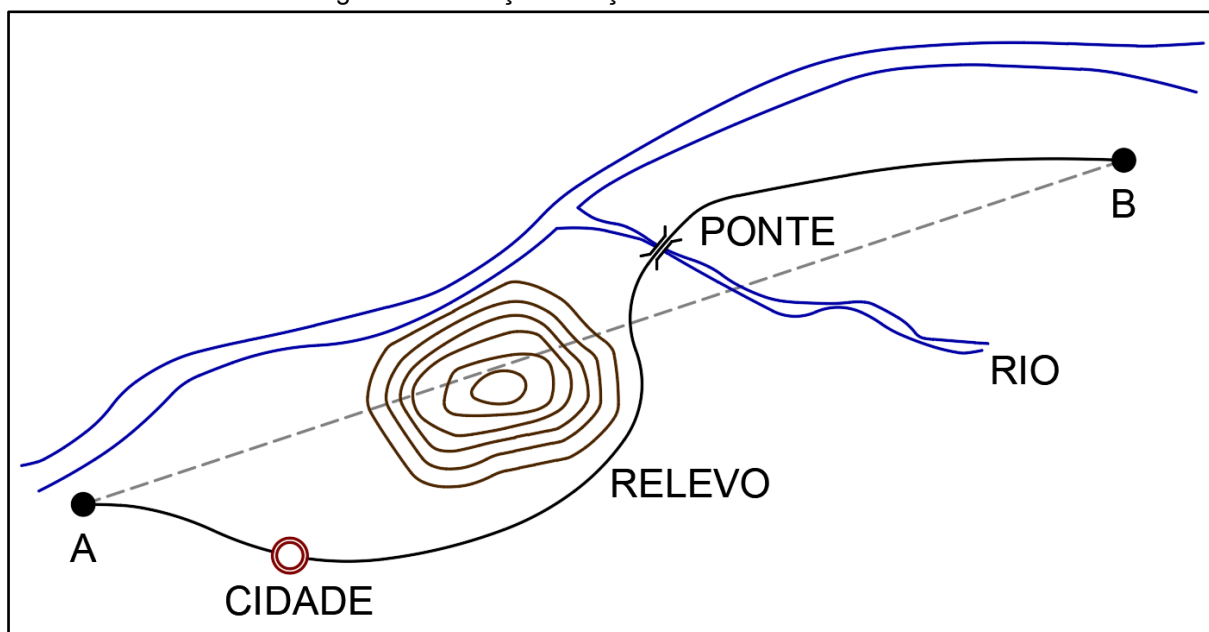
Classe de projeto	Velocidades diretrizes para projeto de acordo com o relevo (km/h)		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	120	100	80
I	100	80	60
II	100	70	50
III	80	60	40
IV	80 - 60	60 - 40	40 - 30

Fonte: Adaptado de DNER (1999)

2.2.2. Critérios Traçado e Geometria

A melhor solução para ligar dois pontos por meio de uma reta seria seguir uma linha contínua, sem obstáculos ou desvios. Porém, como ilustrado em esboço na Figura 2, é necessário compatibilizar o traçado com a topografia do local, a estrada também atravessa características geológicas e geotécnicas dos solos, assim como hidrografia e áreas já urbanizadas. Esses fatores, tornam necessário o desenvolvimento do traçado com alternativas que permitam adequar a estrada às condições do terreno. ^[11]

Figura 2 – Esboço de traçado evitando obstáculos



Fonte: Adaptado pelos autores de Pontes Filho (1998)

A geometria de uma estrada é determinada pelo traçado de seu eixo em planta, bem como pelos perfis longitudinal e transversal. De forma simplificada, o traçado em planta é formado por trechos retos intercalados por curvas horizontais, utilizadas geralmente para contornar obstáculos que não podem ser superados de maneira econômica. ^[11]

As curvas horizontais em rodovias podem ser classificadas em três tipos principais:

- Curva Circular Simples: formada por um único arco de círculo ligando dois trechos em tangente;
- Curva Circular Composta: obtida pela sucessão de dois ou mais arcos tangentes entre si e girando no mesmo sentido, geralmente com raios próximos, sendo comum o uso de três arcos em que o central possui raio menor;
- Curva com Espiral de Transição: Combinação de curvas de raios variáveis com curva de raio constante, na qual a transição entre a tangente e a curva circular ocorre por meio de curvas de raio progressivamente variável (curvas de transição), proporcionando maior conforto e segurança ao usuário;

O manual menciona ainda as curvas reversas, constituídas por duas curvas circulares ou de transição consecutivas, mas em sentidos opostos, utilizadas em situações que exigem mudanças rápidas de direção. Essas curvas, porém, são fortemente desencorajadas pelo manual, sendo recomendado o encaixe de uma tangente entre elas. ^[12]

Quando um veículo faz uma curva, ele sofre a ação da força centrífuga, que é equilibrada pelo atrito entre os pneus e o pavimento. Esse atrito, chamado de coeficiente de atrito transversal, varia conforme a velocidade, o tipo de pneu e as condições da pista, sendo menor em velocidades mais altas ou em pavimentos menos aderentes. Porém, não se projeta a estrada usando todo o atrito disponível, e sim apenas uma parte dele, para garantir conforto e segurança. Em baixas velocidades, os motoristas toleram melhor o desconforto e pode-se usar uma parcela maior do atrito, mas em altas velocidades esse limite é mais restrito. Como é possível ver no Quadro 3, existem valores definidos de atrito para calcular os raios mínimos das curvas de acordo com a velocidade da via. ^[12]

Quadro 3 – Valores máximos de coeficiente de atrito

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Ceficiente de atrito transversal $f_{\text{máx}}$	0,2	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Fonte: Adaptado de DNER (1999)

Quando um veículo faz uma curva, a força centrífuga tende a jogá-lo para fora, e o atrito dos pneus nem sempre é suficiente para segurar. Por isso existe a superelevação, que consiste em inclinar a seção da pista em relação ao plano horizontal para ajudar a compensar esse efeito e dar mais segurança. Esse grau de inclinação é medido em porcentagem. ^[12]

Os parâmetros de cálculo usados no Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais são em grande parte adaptados do AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), dos EUA. Por exemplo, a fórmula para calcular o raio mínimo de uma curva em razão da superelevação e do coeficiente de atrito está descrita em A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, de autoria da AASHTO:

$$R_{\min} = \frac{(V^2)}{127(e_{\max} + f_{\max})} \quad \text{Eq1}$$

Onde:

$R_{\min}$ (m) = Raio mínimo

V (Km/h) = velocidade

$e_{\max}$ (%) = superelevação máxima

f = coeficiente de atrito

Esse cálculo resulta em valores que podem ser tabelados e resumidos para rápida consulta, como é feito pelo Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais, podendo ser observado no Quadro 4 abaixo:

Quadro 4 – Raios mínimos em função da superelevação (em metros)

$e_{\max}$ (%)	Velocidade diretriz (km/h)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
4	30	60	100	150	205	280	355	465	595	755
6	25	55	90	135	185	250	320	415	530	665
8	25	50	80	125	175	230	290	375	475	595
10	25	45	75	115	155	210	265	345	435	540
12	20	45	70	105	145	195	245	315	400	490

Fonte: Adaptado de DNER (1999)

A largura da faixa de rolamento é definida pelas dimensões máximas dos veículos, pelas distâncias de segurança e pelo afastamento ao bordo do pavimento. Em termos práticos, ela resulta da soma da largura do veículo de projeto com uma faixa de segurança, determinada principalmente pela velocidade diretriz e pelo nível de conforto desejado. Para pistas pavimentadas, recomendam-se larguras entre 3,00 m e 3,60 m.

A classe da rodovia influencia diretamente a escolha dessas dimensões, apresentam-se no Quadro 5 os valores usuais de largura da pista de rolamento e dos acostamentos para cada classe de projeto. ^[12]

Quadro 5 – Larguras mínimas da pista

Classe de projeto	Plano		Ondulado		Montanhoso	
	Rolamento	Acostamento	Rolamento	Acostamento	Rolamento	Acostamento
0	3,60	3,50	3,60	3,00	3,60	3,00
I	3,60	3,00	3,60	2,50	3,50	2,50
II	3,60	2,50	3,50	2,50	3,30	2,00
III	3,50	2,50	3,30	2,00	3,30	1,50
IV - A	3,00	1,30	3,00	1,30	3,00	0,80
IV - B	2,50	1,00	2,50	1,00	2,50	0,50

Fonte: Adaptado de DNER (1999)

Em curvas, torna-se necessário ampliar a largura da pista, pois o veículo não acompanha exatamente a curvatura. Esse acréscimo é denominado superlargura. Sua adoção é relevante sobretudo em curvas de pequeno raio, típicas de vias urbanas, rodovias de classes II e III ou regiões montanhosas. A presença de veículos pesados também influencia essa decisão, pois caminhões possuem maior massa e menor dirigibilidade, elevando o risco ao realizar a curva.

A continuidade no plano vertical é tão importante quanto no plano horizontal, devendo-se evitar mudanças bruscas de direção, recomenda-se curvas longas e transições suaves, mantendo um alinhamento vertical contínuo para não surpreender o motorista.

O alinhamento vertical deve garantir fluidez, boa aparência e segurança, equilibrando também os custos de construção. O uso de rampas suaves é limitado por questões econômicas, especialmente em terrenos desfavoráveis, razão pela qual se definem rampas máximas que buscam conciliar o custo com desempenho veicular, capacidade da rodovia, consumo, desgaste e tempo de viagem. Rampas excessivamente íngremes afetam significativamente a operação, sobretudo em rodovias de duas faixas, onde veículos pesados podem reduzir a capacidade equivalente a dezenas de automóveis. O quadro 6 apresenta os valores de rampa, que devem ser compatíveis com a classe de projeto e relevo para que a rodovia possa operar plenamente dentro de suas características técnicas. ^[12]

Quadro 6 – Inclinação Máxima de Rampa

Classe de projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	3%	4%	5%
I	3%	5%	6%
II	3%	5%	7%
III	4%	6%	8%
IV - A	4%	6%	8%
IV - B	6%	8%	10%

Fonte: Adaptado de DNER (1999)

2.2.3. Distância de Visibilidade e Parada

As distâncias de visibilidade refletem os padrões de visibilidade que devem ser proporcionados ao motorista, permitindo que ele tome, a tempo, as decisões necessárias para garantir sua segurança. Esses padrões estão diretamente relacionados às características geométricas da rodovia, às condições da superfície de rolamento, às condições climáticas (como chuva ou sol), ao comportamento do motorista médio e às características dos veículos, considerando cenários médios desfavoráveis.

No projeto rodoviário, as principais distâncias de visibilidade são: a distância de visibilidade de parada, a de tomada de decisão e a de ultrapassagem. ^[12]

2.3. Estudos e Diagnósticos Rodoviários

2.3.1. O papel dos estudos preliminares

Os estudos preliminares de engenharia para rodovias são estruturados em duas fases distintas: preliminar e definitiva.

A fase preliminar é responsável pela coleta, tratamento e análise dos dados disponíveis, além da avaliação de alternativas de traçado e estimativas de custo. Nesta etapa, são reunidos documentos e informações técnicas essenciais, como elementos topográficos preexistentes, dados geológicos e geotécnicos, registros climáticos e hidrológicos. Entre os materiais considerados estão: plantas de levantamento topográfico, mapas geológicos, cartas geográficas, fotografias

aerofotogramétricas, resultados de ensaios geotécnicos, registros milimétricos das bacias hidrográficas da área de estudo e análises do comportamento hidráulico de rios e canais. Também são identificadas estruturas existentes como pontes, bueiros e galerias. Além disso, é necessário realizar o levantamento junto aos órgãos competentes e concessionárias responsáveis pelas infraestruturas técnicas da região, incluindo linhas de transmissão, tubulações, instalações aéreas, cabos, dutos e sistemas correlatos. Esses dados são fundamentais para garantir a compatibilidade do projeto com as condições reais do terreno e com as redes de infraestrutura existentes. ^[13]

O estudo do traçado de uma rodovia deve seguir as diretrizes estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), podendo ser ajustado conforme demanda técnica ou solicitação específica do órgão competente. Para isso, é essencial a identificação das principais condicionantes que influenciam o traçado, tais como o uso atual e futuro do solo, a presença de redes de serviços públicos e a possibilidade de aproveitamento de faixas de domínio existentes ou planejadas. Com base nessas condicionantes, torna-se possível definir alternativas viáveis de traçado ou propor melhorias em vias já existentes. A partir dessa análise, também é possível determinar a necessidade ou não de obras-de-arte especiais (OAEs) e correntes (OACs), como pontes, viadutos, muros de contenção e sistemas de drenagem. ^[13]

Posteriormente, são estabelecidos critérios técnicos com base nos estudos de tráfego e nos planos funcionais, considerando aspectos como o tipo de veículo de projeto, a largura das faixas de rolamento, o número de pistas e as características geométricas da transição de superelevação, conforme previsto nas normas vigentes do DNIT. Com base nos dados coletados, são definidas as alternativas de traçado ou melhorias em vias existentes. Essas opções são comparadas considerando critérios ambientais, financeiros e funcionais, permitindo identificar a solução mais adequada ao contexto do projeto. ^[13]

Após a conclusão da fase preliminar, inicia-se a fase definitiva, que se baseia nos dados anteriormente levantados. Nessa etapa, são realizados estudos específicos de geologia e geotecnia, com destaque para a identificação de zonas de solos compressíveis. Também são conduzidas análises de terraplenagem, incluindo o levantamento de áreas para bota-fora e empréstimos. A hidrologia e a drenagem são avaliadas por meio da delimitação das bacias hidrográficas e da análise pluviométrica,

visando subsidiar o dimensionamento dos sistemas de drenagem. A definição preliminar das OAEs é realizada com base nas necessidades identificadas, assim como a análise da faixa de domínio, considerando os impactos nos custos de implantação. O estudo de pavimentação contempla tanto os pavimentos rígidos quanto os flexíveis, com seus respectivos dimensionamentos. Os aspectos ambientais também são considerados, como o tipo de cobertura vegetal e as condições de drenagem natural da área. Com base nesses dados, são definidos elementos complementares para a decisão preliminar, como dispositivos de segurança viária (defensas), sinalização, urbanização e infraestrutura de apoio, como postos de fiscalização. Em seguida, é estimado o custo global da implantação da via, incluindo pavimentação, sarjetas, defensas, serviços públicos e demais componentes. ^[13]

Por fim, são elaborados os documentos técnicos que consolidam o trabalho desenvolvido nas duas fases: o relatório dos estudos preliminares, o relatório do projeto básico e a memória justificativa do projeto, os quais são encaminhados ao órgão responsável para análise e aprovação. ^[13]

2.3.2. Metodologias de diagnóstico de trechos críticos

Historicamente, o termo “acidente de trânsito” foi amplamente utilizado para designar ocorrências em vias urbanas e rodovias. No entanto, essa nomenclatura carrega uma conotação de imprevisibilidade e inevitabilidade, o que não condiz com a realidade dos fatores que influenciam o tráfego viário. Ao se analisar os elementos que compõem o sistema de trânsito — como o desenho das vias, as condições de circulação, a legislação vigente, a sinalização e, sobretudo, o comportamento dos usuários — torna-se evidente que tais eventos não são meramente fortuitos. A direção imprudente, por exemplo, envolve a tomada consciente de riscos que podem resultar em lesões, mortes ou danos ao meio ambiente. ^[14]

Reconhecendo essa complexidade e a necessidade de uma abordagem mais precisa, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) revisou, em 2020, a norma NBR 10697, substituindo oficialmente o termo “acidente de trânsito” por “sinistro de trânsito”. Essa mudança reflete o entendimento de que tais ocorrências são, em grande parte, previsíveis e evitáveis, exigindo responsabilidade compartilhada entre os diversos atores do sistema viário. ^[15]

Em parceria realizada entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), foi desenvolvida,

no ano de 2009, uma metodologia voltada à identificação de segmentos críticos com o objetivo de reduzir a ocorrência de sinistros de trânsito. Essa metodologia fundamenta-se em obras técnicas como o Manual de Identificação, Análise e Tratamento de Pontos Negros e o Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo (1998).^[16]

O processo de identificação dos segmentos críticos foi dividido nas seguintes etapas: Coleta de dados, Cálculo do índice de acidentes do segmento (I_j), Cálculo do índice crítico anual de referência (λ), Identificação dos segmentos críticos, Categorização dos segmentos críticos, Análise da série histórica e Listagem dos segmentos críticos.^[16]

Na etapa de coleta de dados, é utilizado o Sistema Georreferenciado de Informações Viárias (SGV), desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em parceria com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Essa plataforma integrada oferece ferramentas para coleta, análise e processamento de dados relacionados à malha rodoviária federal, permitindo a geração de relatórios, gráficos e mapas especializados.^[16]

Para a correta localização dos trechos rodoviários, é imprescindível o uso do Plano Nacional de Viação (PNV), também gerenciado pelo DNIT. O PNV é atualizado anualmente e segmenta a malha rodoviária em trechos definidos, possibilitando a associação precisa entre pontos específicos da rodovia e suas respectivas quilometragens. Essa correlação é essencial para a aplicação da metodologia de identificação de segmentos críticos.^[16]

A segmentação das rodovias é uma etapa fundamental na metodologia de identificação de segmentos críticos. Cada rodovia apresenta características próprias — geométricas, operacionais e socioeconômicas — que influenciam diretamente na segurança viária. Por isso, é necessário tratá-las por meio de trechos homogêneos, definidos com base em parâmetros técnicos que permitam sua correta classificação, que incluem:

- Perfil da rodovia: plano, ondulado ou montanhoso
- Características da pista de rolamento: pista simples ou dupla
- Uso do solo lindeiro: urbano, rural ou misto
- Extensão dos segmentos
- Volume Médio Diário ajustado (VMDa)
- Dados de acidentes registrados

A análise desses elementos permite agrupar trechos com condições semelhantes, facilitando a identificação de padrões de sinistros. Quando um segmento apresenta número de acidentes superior ao esperado para seu grupo homogêneo, é considerado crítico, indicando a necessidade de medidas corretivas.

O índice crítico anual de referência representa a média de acidentes esperada para segmentos com características semelhantes.

O índice crítico anual do segmento índice define o limite superior aceitável de acidentes para o segmento j , com base em um nível de significância estatística.

A categorização dos segmentos críticos é feita com base na aplicação de um coeficiente estatístico, responsável por estabelecer os limites de confiança que permitem identificar trechos com comportamento atípico quanto à ocorrência de acidentes.

Esses limites são determinados conforme diferentes níveis de significância, o que possibilita classificar os segmentos de acordo com o grau de relevância estatística. A categorização é realizada por meio da comparação entre o índice de acidentes registrado para o segmento e o índice crítico correspondente, definindo assim sua condição dentro da análise.

Após identificar os segmentos críticos no ano-base, é feita uma análise histórica dos três anos anteriores para verificar se o trecho se mantém crítico ao longo do tempo. A classificação considera o grau de confiança estatístico: quanto maior e mais frequente, maior a relevância do segmento. Três situações são avaliadas: persistência com alta confiança, crescimento gradual da significância, ou variação que exige investigação.

Por fim, a listagem dos segmentos críticos reúne dados como localização, código PNV, marcos quilométricos, classe de segmentação, VMDa, extensão e número de acidentes em três anos. Os dados são organizados por estado e rodovia, e podem ser integrados ao SGV para gerar mapas que facilitam a visualização da situação viária. ^[16]

2.4. Relação entre Geometria e Acidentes

Em sua publicação sobre acidentes rodoviários e infraestrutura viária, a Confederação Nacional do Transporte (CNT) destaca que os sinistros de trânsito geralmente resultam da combinação de múltiplos fatores, e não de uma causa isolada.

Entre os elementos considerados estão: o fator veicular, o fator ambiental, o fator institucional/social, o fator humano, o fator socioeconômico e o fator viário. ^[17]

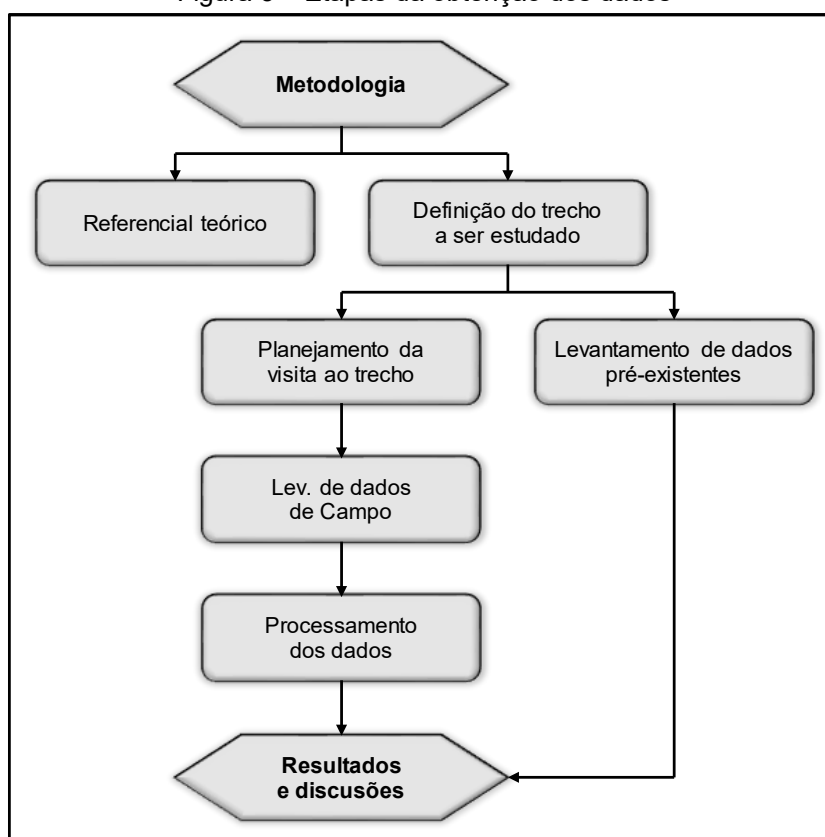
No que se refere à geometria da pista, a CNT aponta que essa característica influencia diretamente a velocidade máxima permitida e a distância de visibilidade disponível ao condutor. Tais aspectos são determinantes para a segurança viária, pois afetam a capacidade de resposta do motorista diante de situações inesperadas. Dessa forma, projetos mal dimensionados ou implantados de forma inadequada podem representar riscos significativos à segurança dos usuários da via. ^[17]

3. METODOLOGIA

3.1. Etapas da metodologia

Visando auxiliar o desenvolvimento das etapas de campo, processamento e análise dos dados, foi gerado um fluxograma conforme Figura 3, para viabilizar uma melhor compreensão. A metodologia adotada foi estruturada em etapas, buscando integrar a coleta e análise de dados existentes e de campo de modo a compreender as condições geométricas da via e sua relação com o histórico de acidentes.

Figura 3 – Etapas da obtenção dos dados



Fontes: Autores (2025)

3.2. Fase de Planejamento

Inicialmente, foi definida a área de estudos, abrangendo o segmento da PE-084 que se estende desde o entroncamento com a PE-089 até a proximidade da PE-086. A escolha do trecho considerou a ocorrência de incidentes de trânsito e a relevância do segmento como principal acesso ao município.

Antes dos levantamentos de campo, houve uma análise preliminar da área por meio de um Modelo Digital do Terreno (MDT) obtido no PE3D ^[18], o que possibilitou

compreender as condições do relevo no conhecimento prévio do trecho e no planejamento e definição dos procedimentos, técnicas e equipamentos a serem utilizados, e por fim na definição dos limites da área a levantar.

Para a obtenção dos dados referentes às ocorrências registradas na rodovia PE-084, foi encaminhada uma solicitação formal ao Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Pernambuco (DER-PE), requisitando o acesso aos registros oficiais de sinistros ocorridos no trecho em estudo.

Paralelamente a essas atividades preliminares, foi iniciado o planejamento da visita ao trecho e levantamento dos dados de campo. Os equipamentos que foram preparados foram os seguintes:

- Receptor GNSS RTK T9;
- ARP DJI MAVIC Air 2S
- Câmera 360° Insta 360 X2

Para o mapeamento, foram empregados equipamentos e metodologias tradicionais utilizadas em levantamentos topográficos, como o uso dos receptores GNSS no modo RTK, objetivando garantir uma precisão centimétrica a milimétrica, foram implantados pontos de apoio ao longo do traçado. Paralelamente, foram aplicadas técnicas modernas de levantamento para aprimorar a qualidade e abrangência dos dados, com destaque para o uso de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) modelo DJI MAVIC Air 2S, destinada à aquisição de imagens aéreas de alta resolução.

Foi estabelecida, também previamente, a área de cobertura da ortoimagem a ser produzida com o uso do Drone, possibilitando o planejamento prévio do voo com o uso dos softwares GPS Trackmaker, Google Earth e Drone Harmony. É possível encontrar todas as imagens das etapas do plano de voo nos apêndices.

3.3. Levantamento dos Dados de Campo

Após a conclusão da etapa de planejamento, deu-se início ao levantamento em campo, realizado no trecho delimitado. A campanha teve como objetivo principal coletar dados planialtimétricos e imagens de alta qualidade, que servirão de base para a análise geométrica do segmento.

A primeira etapa do trabalho consistiu na implantação da base GNSS, posicionada em local estável e com boa visibilidade de satélites. A partir dessa base, foi realizada a comunicação em tempo real com o módulo rover, operando em modo RTK (Real Time Kinematic), o que possibilitou a obtenção de coordenadas com alta precisão.

As seções transversais foram obtidas a cada 20 m ao longo dos trechos em tangente e 10 m nos trechos em curva. O levantamento contemplou o eixo da pista, bordos laterais, sarjetas, meio-fio, crista de aterro e pé de corte, de modo a representar adequadamente a geometria da via e suas condições topográficas. Esses dados permitiram gerar um modelo detalhado do perfil e da seção transversal da rodovia.

Além do levantamento topográfico terrestre, foram coletados 16 pontos de apoio para o georreferenciamento das imagens aéreas obtidas com o drone, também medidos com o GNSS. Esses pontos serviram como pontos de controle, garantindo maior precisão na ortorretificação das imagens e na geração do modelo tridimensional da área.

O levantamento aerofotogramétrico foi realizado com o uso da ARP modelo DJI MAVIC Air 2S, executando quatro voos planejados para cobrir integralmente o trecho em estudo. Os voos seguiram as rotas pré-definidas descritas na etapa anterior, os parâmetros usados estão no Quadro 7 assegurando a sobreposição adequada entre as faixas de voo. As imagens capturadas apresentaram uma boa resolução para o detalhamento de elementos da rodovia, como faixas de rolamento, destacando elementos como eixo e bordos e drenagem superficial.

Quadro 7 – Dados do Planejamento de Voo.

Modelo da ARP	DJI MAVIC Air 2S
Tamanho do <i>Ground Sample Distance</i> (GSD) planejado	3,0 cm/pix
Tamanho da área voada	66,4 Hectares
Sobreposição longitudinal e transversal	75% e 65%
Altura de voo	100m
Tempo total de Voo	40min
Número total de aeroimagens coletadas	569

Fonte: Autores (2025)

Durante o levantamento, também foram obtidas fotografias em solo e um registro contínuo em vídeo com uma câmera 360° (Insta360 X2) montada em veículo. Essa captura permitiu documentar de forma imersiva as condições da pista,

sinalização, acostamentos e demais elementos visuais relevantes, complementando o material aerofotogramétrico e topográfico.

Todo registro fotográfico do levantamento está disponível nos apêndices, assim como a disponibilização do vídeo da câmera 360 por meio de QR Code.

3.4. Processamento dos Dados Coletados

Após a conclusão do levantamento em campo, os dados obtidos foram organizados e tratados para garantir a precisão e a coerência geométrica das informações.

Inicialmente, os dados do GNSS foram descarregados e o ponto base foi processado por meio de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), fornecido pelo IBGE, assegurando a exatidão das coordenadas, servindo como referência para o georreferenciamento de todos os demais pontos coletados, o processamento se encontra nos anexos.

As seções transversais, obtidas a cada 20 m em tangente e 10 m em curvas ao longo do eixo da rodovia, e os pontos levantados foram importados para o software Autodesk Civil 3D, onde foram geradas a superfície topográfica e o alinhamento da via. Os pontos de apoio ao voo do drone, também levantados via GNSS, foram utilizados para corrigir a ortoimagem e a nuvem de pontos resultante do processamento fotogramétrico.

O processamento das imagens obtidas pelo ARP foi realizado no software Agisoft Metashape, ambiente fotogramétrico amplamente utilizado para geração de produtos cartográficos de alta precisão. A partir das imagens aéreas, foram gerados uma nuvem de pontos densa, um Modelo Digital do Terreno (MDT) e um ortomosaico georreferenciado, todos ajustados com base nos pontos de apoio levantados em campo. As bases resultantes foram posteriormente integradas ao projeto no Autodesk Civil 3D.

O registro visual do trecho, realizado com a câmera 360°, foi utilizado para complementar a análise qualitativa das condições da via, especialmente nos pontos críticos identificados no levantamento topográfico. Essa integração entre os dados planialtimétricos e o registro visual permitiu identificar inconsistências geométricas, superelevações inadequadas e possíveis correlações com as ocorrências de acidentes no trecho.

3.5. Dados Complementares

Com o intuito de complementar e confrontar o banco de dados obtidos através do DER-PE, foi elaborado um questionário eletrônico, que pode ser encontrado nos apêndices, desenvolvido por meio da plataforma Google Forms, destinado à coleta de informações junto aos moradores locais e usuários frequentes da rodovia. O formulário teve como objetivo reunir percepções sobre os pontos críticos, condições de trafegabilidade e possíveis causas associadas aos acidentes, contribuindo para um diagnóstico mais abrangente da situação operacional da via.

Embora a adesão tenha sido limitada, mesmo veiculado por meio de rede social, com apenas 7 questionários respondidos, as respostas obtidas permitiram confirmar qualitativamente alguns eventos como evidência adicional para a caracterização dos pontos críticos da rodovia e embasou mais as justificativas para a elaboração do presente trabalho.

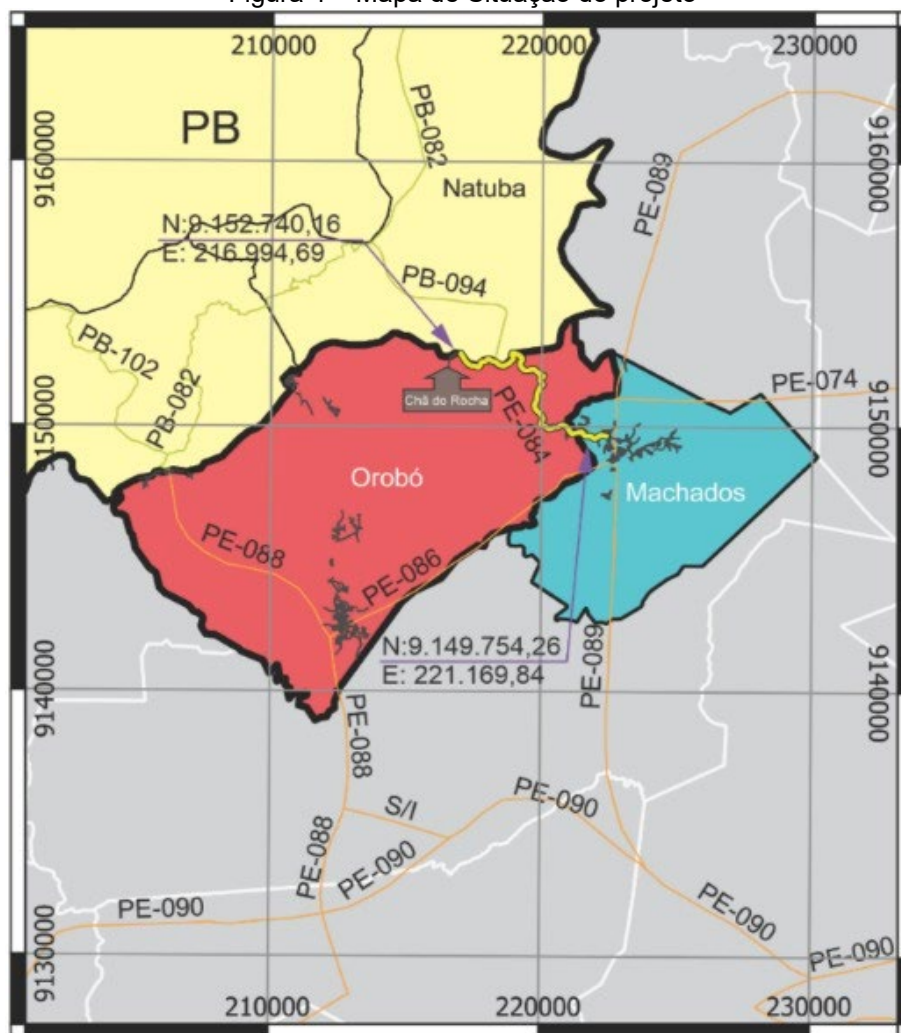
Embora, pelo fato de não impactarem diretamente nos resultados, não estão sendo apresentados no item de Resultados e Discussões, as respostas do forms podem ser consultadas nos apêndices.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Dados do Projeto Existente

Por meio de contato com o DER-PE, realizado através da ouvidoria do site oficial, foi possível obter acesso ao projeto elaborado pela empresa Modera Engenharia, cujo objeto corresponde à Contratação de Empresa Especializada para Elaboração do Projeto Executivo de Engenharia para Implantação de Rodovias – Lote 12, Agreste Setentrional (PE-083, PE-084, PE-086 e PE-106), no Estado de Pernambuco.

Figura 4 – Mapa de Situação do projeto



Fonte: Modera Engenharia (2022)

Conforme ilustrado na Figura 4, o projeto disponibilizado refere-se especificamente à Rodovia PE-084, abrangendo o trecho entre o município de Machados/PE e o entroncamento com a PE-100, no distrito de Chã do Rocha

(Orobó/PE), próximo à divisa com Natuba/PB, totalizando uma extensão aproximada de 9 km.

O projeto fornecido é abrangente em informações e pode ser utilizado, de forma segura, como base de dados para análises técnicas. O material disponibilizado contém estudos preliminares como Estudos de Tráfego, Estudos Geológicos, Estudos Hidrológicos, Estudos Topográficos e Estudos Geotécnicos, além dos projetos executivos de múltiplas disciplinas. Dentre estes, destaca-se o projeto geométrico, que se mostrou essencial para a elaboração do presente estudo, permitindo a identificação das principais características operacionais da rodovia. No Quadro 8 são apresentadas as informações extraídas desse projeto.

Quadro 8 – Características operacionais da PE-084

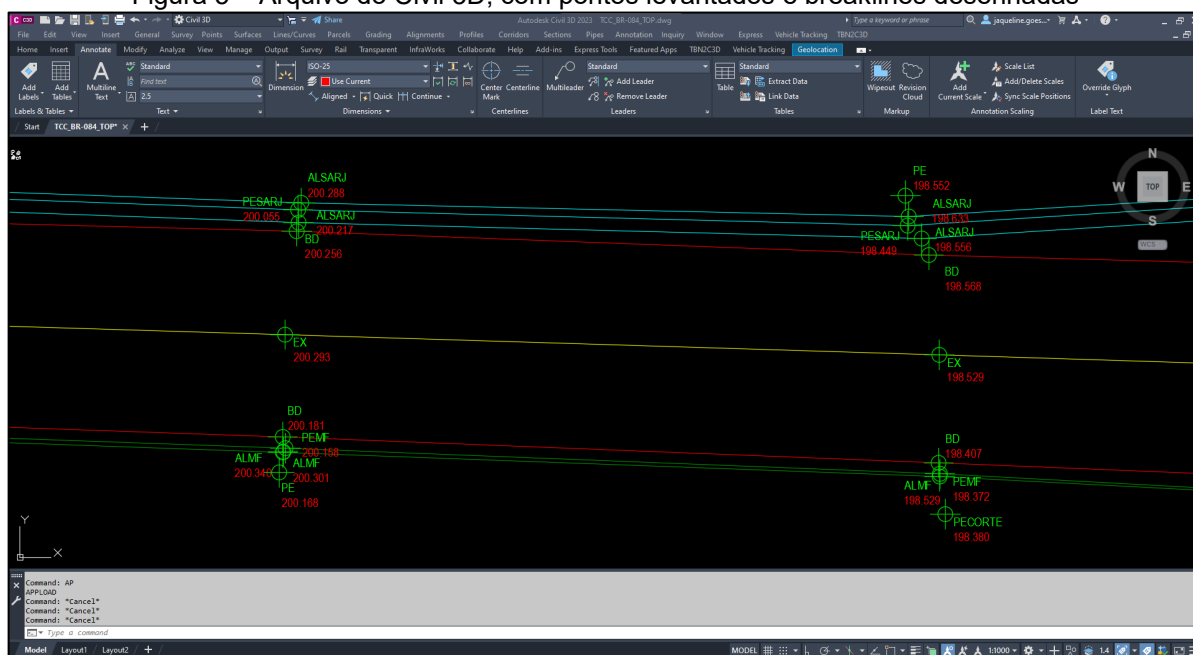
Características Operacionais - PE-084			
Classe da Rodovia	III	Faixa de Domínio (m)	30,00
Velocidade Diretriz do Projeto (km/h)	40,00	VMD no Ano de Abertura - 2023	305,00
Região	Montanhosa	VMD no Ano Horizonte - 2032	398,00
Distância de Visibilidade de Parada (m)	45,00	Número N no Ano Horizonte - 2032	6,20 E+04
Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (m)	270,00	K Côncava/Convexa	7/5
Raio Mínimo Previsto em Norma (m) ($e_{máx}=8\%$)	50,00	Rampa máxima Prevista em Norma	8,0%

Fonte: Adaptado de Modera Engenharia (2022)

4.2. Tratamento dos Dados Levantados.

O levantamento planialtimétrico, em GNSS no tipo RTK, do trecho do estudo, resultou em 1043 pontos precisos, cujo arquivo de texto corrigido, com os dados processados e validados pelo IBGE, resultou num arquivo que foi exportado para o programa Autodesk Civil 3D com a garantia da precisão necessária da plataforma existente. Além da plataforma levantada entre os pés dos cortes até as cristas dos aterros, foi utilizada a superfície MDT do PE3D, que precisou ser corrigida. Na Figura 5 é possível observar os pontos exportados com a descrição e a cota, que foram utilizados para construir as linhas de cadastro com altimetria, denominadas breaklines.

Figura 5 – Arquivo do Civil 3D, com pontos levantados e breaklines desenhadas



Fonte: Autores (2025)

As imagens capturadas no mapeamento aerofotogramétrico foram processadas no software Agisoft Metashape, onde foram executadas as etapas de alinhamento das fotografias, geração da nuvem de pontos densa, construção do modelo digital de terreno e produção do ortomosaico georreferenciado. Nos apêndices é demonstrado as etapas de processamento no programa Agisoft Metashape de processamento aerofotogramétrico com ARP.

O modelo 3D completo obtido pelo levantamento aerofotogramétrico está disponibilizado por meio de dois QR Codes inseridos nos apêndices, permitindo sua visualização digitalmente por meio do site Sketchfab.

Foram construídas duas superfícies distintas: uma a partir do MDT extraído do PE3D e outra gerada com os pontos obtidos no levantamento GNSS. A superfície derivada do levantamento aerofotogramétrico do drone chegou a ser analisada, porém não foi utilizada, pois a presença de vegetação sobre a plataforma da rodovia e a existência de taludes em rocha com inclinações próximas a 90° impediam a correta representação do terreno natural por esse método.

Para compatibilizar os levantamentos GNSS e PE3D, foram utilizados os 17 pontos de apoio, pré-sinalizados conforme exemplificado na Figura 6, abaixo.

Figura 6 – Ponto de apoio 1



Fonte: Autores (2025)

Foi feita a junção de 2 dados topográficos, que se complementaram para gerar a superfície de estudo, sendo um referente ao levantamento executado com o Receptor GNSS no modo RTK na plataforma existente (crista de aterro e pé de corte), sendo esse levantamento ampliado com os dados da nuvem de pontos MDT do PE3D (Figura 7), sendo adotado no cálculo do valor da compatibilização a média da altimetria dos pontos, do total de 17 pontos, sendo desprezados os valores da cor laranja (P5, P13, P14 e P15) do quadro 9, isso pelo fato dos valores terem ficado discrepantes em relação aos demais valores, e como resultado da média de valores considerou-se 80cm, como sendo o valor destinado a compatibilização entre o levantamento GNSS e o PE3D.

Quadro 9 – Comparativo de altimetria das superfícies

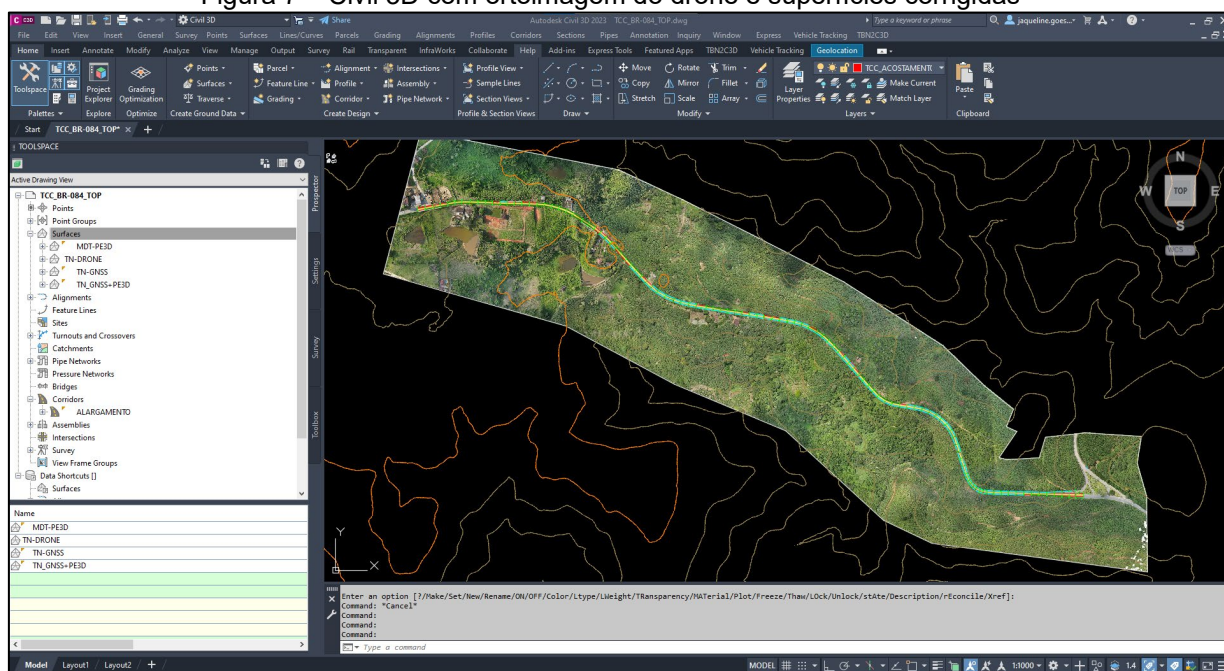
Comparativo de altimetria			
Pontos	GNSS	PE3D	Diferença (m)
P1	185,00	184,12	0,88
P2	194,44	193,43	1,01
P3	208,75	207,76	0,99
P4	222,01	221,19	0,81
P5	237,68	237,53	0,15
P7	259,68	258,96	0,72
P8	271,70	270,94	0,77
P9	280,22	279,40	0,82
P10	295,16	294,37	0,79
P10A	298,09	297,32	0,77
P11	305,16	304,37	0,79
P12	314,13	313,49	0,64
P13	321,69	321,10	0,59
P14	328,04	324,76	3,28
P15	342,40	341,28	1,12
P14A	327,48	326,72	0,77
P16	355,07	354,41	0,65
Média			0,80

Fonte: Autores (2025)

A superfície do PE3D foi ajustada diretamente no Autodesk Civil 3D, sendo elevada em 0,80m, valor obtido na comparação com os pontos do levantamento GNSS. A correção foi aplicada apenas na superfície do PE3D, pois os pontos coletados em campo foram corrigidos com precisão por meio do processamento PPP, garantindo maior confiabilidade às cotas obtidas. Dessa forma, a superfície GNSS, que utilizou os pontos coletados e corrigidos, foi adotada como referência.

Após a aplicação da correção, verificou-se que a superfície ajustada apresentou uma boa compatibilidade com a superfície GNSS. Então, para se obter a superfície do terreno e plataforma existente para o estudo, foi mesclada a superfície MDT do PE3D corrigida, com a plataforma levantada do GNSS. A Figura 7 mostra o arquivo com as superfícies mescladas no Civil 3D.

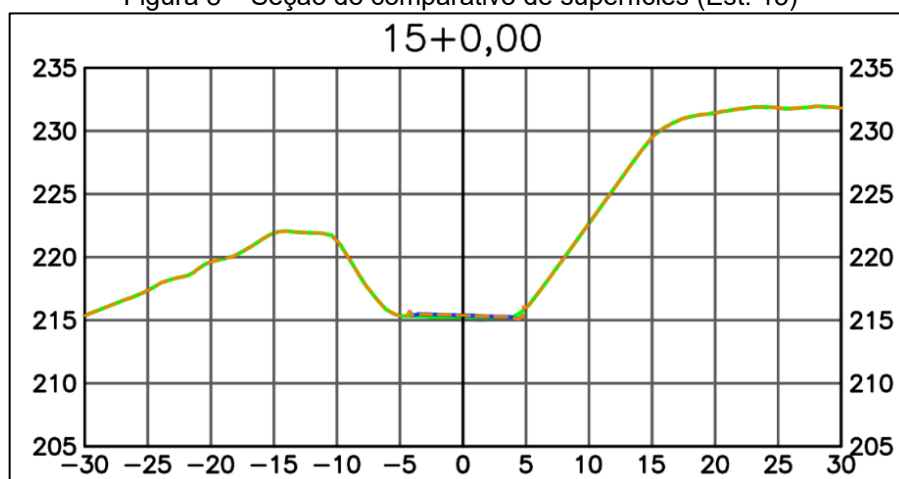
Figura 7 – Civil 3D com ortomagem do drone e superfícies corrigidas



Fonte: Autores (2025)

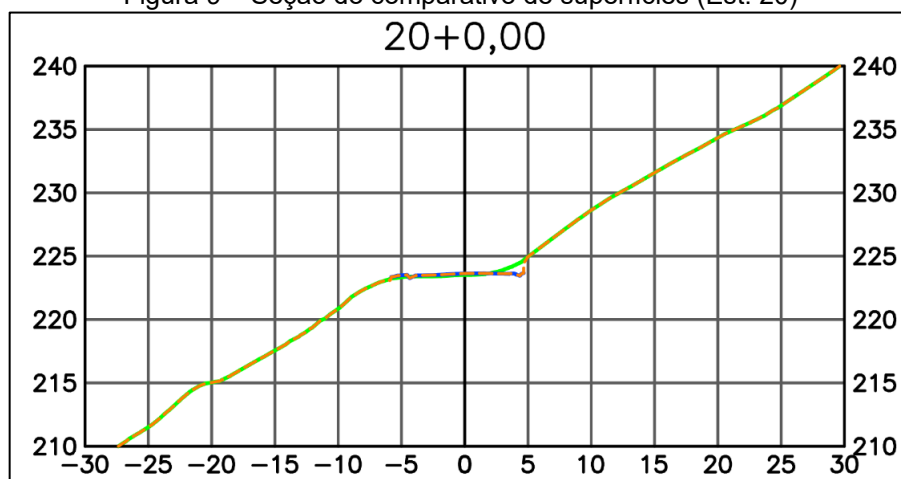
Para observar melhor essa compatibilidade, as Figura 8, com a seção plena de corte e Figura 9, com uma seção mista, apresentam as seções transversais comparativas, onde é possível perceber a superfície resultante em laranja tracejado, a superfície GNSS em azul e a superfície do PE3D em verde, já elevada em 0,80 m.

Figura 8 – Seção do comparativo de superfícies (Est. 15)



Fonte: Autores (2025)

Figura 9 – Seção do comparativo de superfícies (Est. 20)



Fonte: Autores (2025)

4.3. Análise e Verificação dos Dados.

Com a ortomagem do drone e o cadastro do levantamento topográfico, foi construído um alinhamento horizontal acompanhando o eixo da via existente para a análise do traçado. Com esse alinhamento geométrico bem definido, foi possível extrair as informações necessárias para a análise do trecho.

4.3.1. Análise Horizontal

O Quadro 10 apresenta as Curvas Horizontais resultante do alinhamento construído, contendo raios, espirais, deflexões e coordenadas dos pontos notáveis das curvas identificadas ao longo do eixo. A análise desse quadro permite constatar que, sob o ponto de vista horizontal, a geometria atual da rodovia atende aos requisitos operacionais estabelecidas para rodovias de classe III.

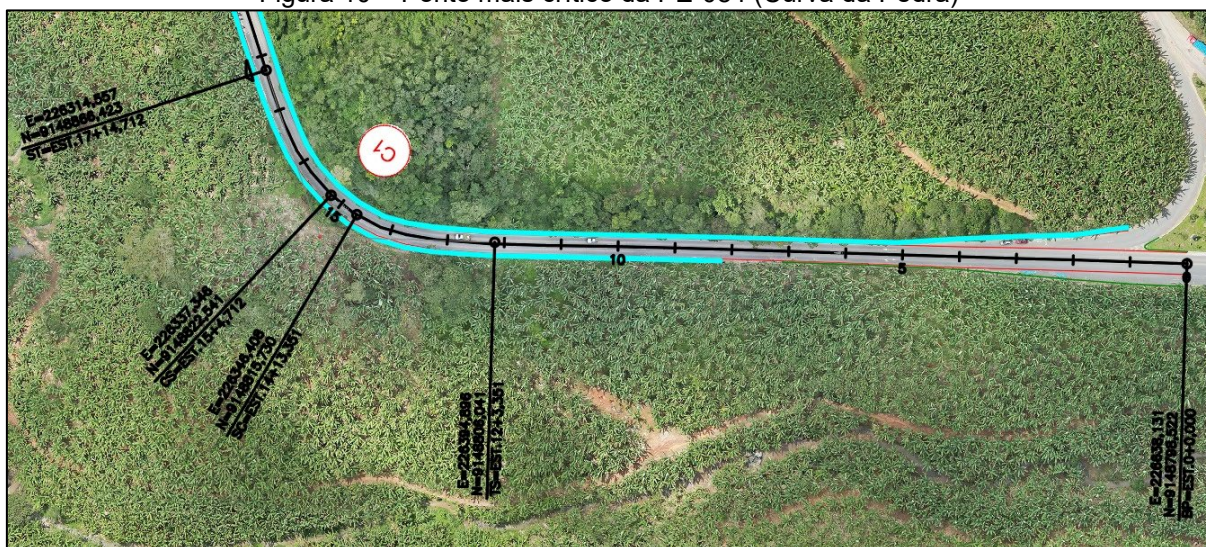
Quadro 10 – Curvas Horizontais da PE-084

QUADRO DE CURVAS HORIZONTAIS										
CURVA	R (m)	LC (m)	AC	T (m)	D (m)	TE	EC/PC	PI	CE/PT	ET
INÍCIO	-	-	-	-	-	-	-	E:226.638,131 N:9.148.798,522	-	-
C1	50	50	70°18'52"	61,463	11,361	EST:12+3,351 E:226.394,896 N:9.148.806,041	EST:14+13,351 E:226.346,408 N:9.148.815,730	E:226.333,463 E:226.337,346 N:9.148.807,940	EST:15+4,712 E:226.337,346 N:9.148.822,541	EST:17+14,712 E:226.314,557 N:9.148.866,423
C2	128	60	62°47'46"	108,784	80,288	EST:20+10,266 E:226.297,468 N:9.148.919,284	EST:23+10,266 E:226.274,670 N:9.148.974,625	E:226.264,006 E:226.214,783 N:9.149.022,794	EST:27+10,554 E:226.214,783 N:9.149.026,113	EST:30+10,554 E:226.156,648 N:9.149.040,353
C3	80	40	39°8'31"	48,695	14,652	EST:31+6,540 E:226.140,871 N:9.149.042,933	EST:33+6,540 E:226.102,177 N:9.149.052,625	E:226.092,814 E:226.089,362 N:9.149.050,794	EST:34+1,193 E:226.089,362 N:9.149.059,687	EST:36+1,193 E:226.060,504 N:9.149.087,225
C4	1.800,00	-	1°31'30"	23,957	47,912	-	EST:39+19,435 E:226.008,589 N:9.149.145,762	E:225.992,692 E:225.977,279 N:9.149.163,686	EST:42+7,346 E:225.977,279 N:9.149.182,027	-
C5	210	50	40°53'14"	103,453	99,86	EST:42+7,905 E:225.976,920 N:9.149.182,454	EST:44+17,905 E:225.943,279 N:9.149.219,402	E:225.910,360 E:225.857,193 N:9.149.261,653	EST:49+17,765 E:225.857,193 N:9.149.268,132	EST:52+7,765 E:225.808,200 N:9.149.277,959
C6	220	50	39°23'18"	103,905	101,241	EST:63+6,481 E:225.592,217 N:9.149.312,433	EST:65+16,481 E:225.543,204 N:9.149.322,173	E:225.489,611 E:225.455,236 N:9.149.328,811	EST:70+17,722 E:225.455,236 N:9.149.370,460	EST:73+7,722 E:225.420,704 N:9.149.406,580
C7	200	50	15°42'20"	52,643	4,823	EST:77+17,079 E:225.361,444 N:9.149.473,460	EST:80+7,079 E:225.326,779 N:9.149.509,444	E:225.326,532 E:225.323,117 N:9.149.512,861	EST:80+11,902 E:225.323,117 N:9.149.512,583	EST:83+1,902 E:225.282,258 N:9.149.541,341
C8	200	50	31°8'33"	80,865	58,708	EST:83+10,142 E:225.275,328 N:9.149.545,799	EST:86+0,142 E:225.232,216 N:9.149.571,056	E:225.207,318 E:225.176,329 N:9.149.589,546	EST:88+18,850 E:225.176,329 N:9.149.588,335	EST:91+8,850 E:225.126,485 N:9.149.591,817
C9	200	40	13°29'10"	43,68	7,076	EST:98+15,118 E:224.980,291 N:9.149.596,408	EST:100+15,118 E:224.940,310 N:9.149.596,687	E:224.936,647 E:224.933,255 N:9.149.598,169	EST:101+2,194 E:224.933,255 N:9.149.596,141	EST:103+2,194 E:224.893,795 N:9.149.589,702
FINAL	-	-	-	-	-	-	-	E:224.825,026 N:9.149.576,115	-	-
R = RAIO DA CURVA CIRCULAR; LC = COMPRIMENTO DA ESPIRAL; AC = ÂNGULO CENTRAL; T = TANGENTE DA CURVA DE CONCORDÂNCIA HORIZONTAL; D = DESENVOLVIMENTO DA CURVA CIRCULAR; TE = PONTO DE TANGENTE-ESPIRAL; EC = PONTO DE ESPIRAL-CIRCULAR; CE = PONTO DE CIRCULAR-ESPIRAL; ET = PONTO DE ESPIRAL-TANGENTE PC = PONTO DE CURVA; PT = PONTO DE TANGENTE; PI = PONTO DE INTERSEÇÃO DAS TANGENTES										

Fonte: Autores (2025)

Dentre os elementos identificados, destaca-se a curva C1, conforme Figura 10, cujo raio de 50 m corresponde ao valor mínimo admissível para rodovias de Classe III em relevo montanhoso. Embora a curva atenda ao limite de raio, este é apenas um dos parâmetros a serem verificados em conjunto com demais critérios.

Figura 10 – Ponto mais crítico da PE-084 (Curva da Pedra)



Fonte: Autores (2025)

4.3.2. Análise Transversal

Para a análise transversal do trecho, foi feita a verificação da superelevação das curvas, calculada a partir dos raios obtidos no Quadro 11. Os valores resultantes estão apresentados no Quadro 11, considerando-se as fórmulas dos cálculos para determinação da taxa de superelevação em cada raio.

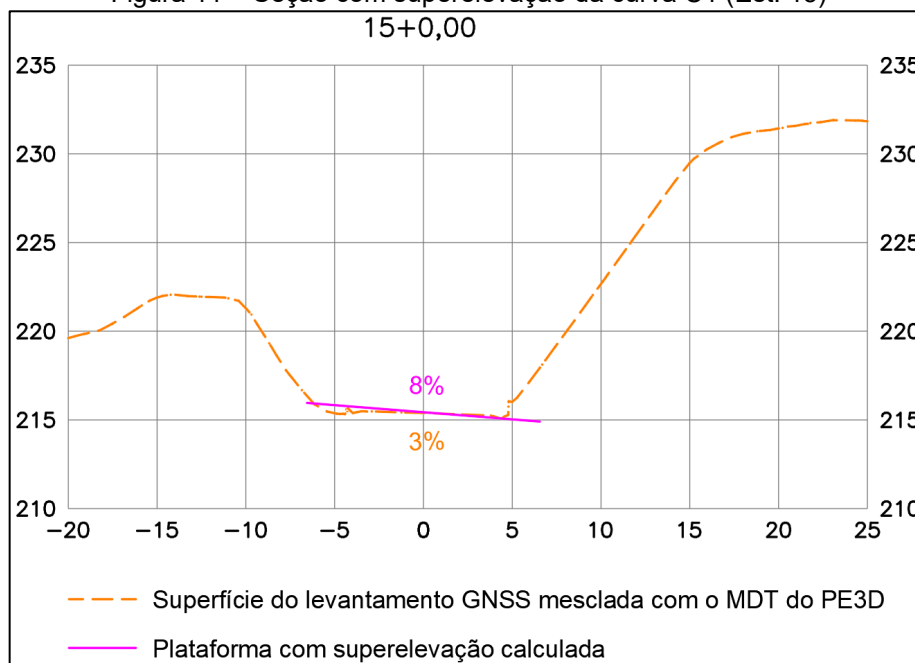
Quadro 11 – Superelevação da PE-084

CURVAS HORIZONTAIS			e (%)
CURVA	RAIO (m)	LC (m)	
C1	50	50	8,00%
C2	128	60	5,03%
C3	80	40	6,88%
C4	1800	-	Dispensável
C5	210	50	3,36%
C6	220	50	3,22%
C7	200	50	3,50%
C8	200	50	3,50%
C9	200	40	3,50%

Fonte: Autores (2025)

Como a Curva C1 apresenta raio igual ao mínimo admitido, sua superelevação deveria alcançar o valor máximo, correspondente a 8%. Entretanto, conforme apresentado na Figura 11, a superelevação existente atinge aproximadamente 3%, indicando insuficiência na superelevação em relação às exigências normativas.

Figura 11 – Seção com superelevação da curva C1 (Est. 15)



Fonte: Autores (2025)

A plataforma em tangente foi medida transversalmente, apresentando uma largura de 3,30m por faixa de rolamento, compatíveis com as recomendações da norma, para classe apresentada anteriormente. Contudo, para as curvas, faz-se necessária a verificação da superlargura, que é um acréscimo aplicado à faixa para compensar o giro dos veículos ao realizarem curvas.

Em campo, foi observado veículos de grande porte, como bitrens, utilizados para o transporte de grandes volumes de carga. Para a determinação da superlargura adequada, adotou-se nesse estudo o maior veículo que vimos em campo (Figura 12), que apresenta 9 eixos e um tamanho, aproximadamente, superior a 25 m.

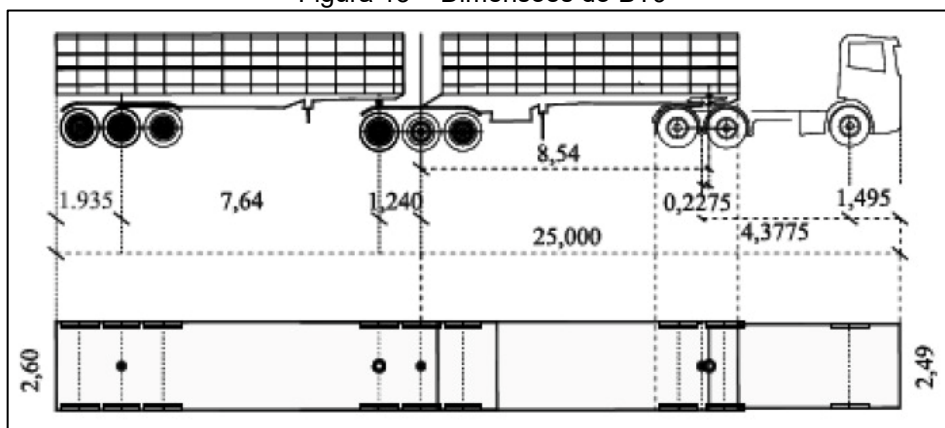
Figura 12 – Maior veículo observado em campo



Fonte: Autores (2025)

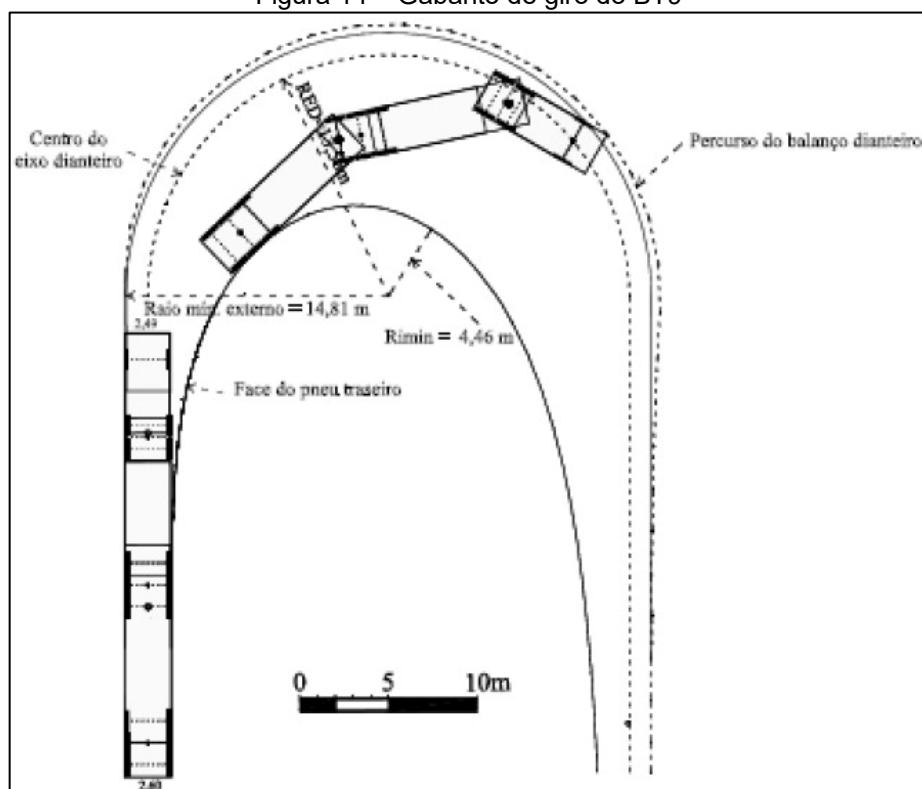
Com base nessas observações, definiu-se como referência o veículo **BT9**, do Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas do DNIT, cujas dimensões estão apresentadas na Figura 13 e gabarito de giro está exemplificado na Figura 14.

Figura 13 – Dimensões do BT9



Fonte: DNIT (2010)

Figura 14 – Gabarito de giro do BT9



Fonte: DNIT (2010)

Para uma análise mais detalhada seria necessária uma contagem volumétrica, a fim de determinar a frequência desse tipo de veículo na via, porém, para fins do presente estudo, sua adoção representa o caso crítico de projeto.

Com base no veículo de projeto, o Quadro 12 apresenta as superlarguras exigidas para cada curva identificada ao longo do trecho, calculadas conforme os critérios do DNIT.

Quadro 12 – Superlarguras mínimas para a PE-084

SUPERLARGURAS (m)		
VEÍCULO DE PROJETO BT9 - 25,00m		
LARGURA DA PISTA DE 6,60m		
VELOCIDADE DIRETRIZ DE 40Km/h		
CURVA	RAIO(m)	PISTA(m)
C1	50	3,8
C2	128	1,7
C3	80	2,5
C4	1800	-
C5	210	1,1
C6	220	1,0
C7	200	1,1
C8	200	1,1
C9	200	1,1

Fonte: Adaptado do DNIT (2010)

No ponto crítico, curva 1, verificou-se a necessidade de um acréscimo total de 3,80m de superlargura, equivalente a 1,90m de incremento em cada bordo da pista, como demonstrado na Figura 15.

Figura 15 – Superlargura em Planta da Curva C1 (Ponto crítico)



Fonte: Autores (2025)

4.3.3. Análise Vertical

A partir do levantamento GNSS e das superfícies ajustadas, foi elaborado um greide colado, ou seja, um alinhamento vertical que acompanha o mais fielmente possível a plataforma existente ao longo do perfil longitudinal.

Trata-se de um procedimento adequado para rodovias já implantadas, como é o caso do trecho em estudo. Todo o trecho está em regiões montanhosas, cuja extensão apresenta 100% do desenvolvimento em acive. Com base nesse greide, foi possível identificar os Pontos de Inflexão Vertical (PIV) e sistematizar suas características no Quadro 13, que apresenta a numeração das estacas, cotas de passagem, rampas de entrada, cujo a indicação em vermelho representa rampas acima da máxima permitida (8%), tipo de curva vertical adotada, comprimento das curvas (Y) e coeficiente de curvatura (K).

Quadro 13 – Curvas Verticais da PE-084

No.	Estaca do PIV	Cota (m)	i (%)	Tipo de Curva	Y (m)	K (m)
1	0 + 0,00	190,000				
2	3 + 5,00	195,671	8,72%	Convexa	40	57,623
3	6 + 0,00	200,087	8,03%	Côncava	40	54,514
4	9 + 10,00	206,222	8,76%	Convexa	40	29,164
5	13 + 0,00	211,396	7,39%	Côncava	60	22,266
6	16 + 5,00	217,953	10,09%	Convexa	30	8,056
7	18 + 0,00	220,18	6,36%	Côncava	40	17,482
8	31 + 10,00	243,538	8,65%	Convexa	20	42,372
9	34 + 0,00	247,627	8,18%	Côncava	20	48,872
10	36 + 5,00	251,492	8,59%	Côncava	60	41,870
11	40 + 0,00	259,008	10,02%	Côncava	20	49,595
12	41 + 5,00	261,614	10,42%	Convexa	30	37,568
13	45 + 15,00	270,277	9,63%	Côncava	40	39,004
14	51 + 0,00	281,461	10,65%	Convexa	20	16,813
15	54 + 5,00	287,612	9,46%	Côncava	20	43,057
16	67 + 0,00	312,924	9,93%	Convexa	100	12,027
17	71 + 10,00	314,375	1,61%	Côncava	40	22,578
18	74 + 10,00	316,405	3,38%	Côncava	70	58,260
19	77 + 10,00	319,156	4,58%	Convexa	20	26,807
20	84 + 15,00	324,722	3,84%	Côncava	80	13,616
21	93 + 10,00	341,722	9,71%	Convexa	80	14,975
22	97 + 15,00	345,438	4,37%	Côncava	20	41,825
23	99 + 10,00	347,136	4,85%	Convexa	20	20,095
24	102 + 10,00	349,449	3,85%	Côncava	50	13,339
25	105 + 15,00	354,391	7,60%	Côncava	20	29,757
26	106 + 12,29	355,822	8,28%			

Fonte: Autores (2025)

Considerando que a rodovia já se encontra totalmente implantada e em operação, a análise concentrou-se nas rampas que ultrapassam os limites máximos estabelecidos pelas normas de projeto, especialmente no que se refere à capacidade operacional, segurança veicular e esforço exigido para veículos de carga pesada. Os valores encontrados permitem avaliar a adequação do traçado vertical existente e identificar eventuais trechos críticos que possam contribuir para a ocorrência de acidentes.

4.4. Possíveis Causas dos Acidentes.

A análise conjunta dos elementos geométricos da Rodovia PE-084 permite identificar um conjunto de fatores que, associados, podem contribuir significativamente para a ocorrência de acidentes no trecho estudado:

- **Falta de Acostamento:** A norma exige uma largura mínima de 1,50 m de acostamento para a classe funcional e características do trecho. A ausência desse elemento compromete a segurança operacional, pois elimina áreas de escape, reduz a possibilidade de imobilização segura de veículos com panes e obriga pedestres e ciclistas a dividirem espaço com o tráfego motorizado. Situações emergenciais tornam-se mais perigosas, e qualquer parada forçada ocupa parte da faixa de rolamento, ampliando o risco de acidentes de colisão traseira ou lateral.
- **Superelevação insuficiente:** Enquanto a norma requer 8% para o raio da C1, o levantamento transversal revelou apenas 3% existentes em campo. Essa discrepância reduz a capacidade da via de compensar a força centrífuga atuante no veículo, elevando o risco de derrapagens laterais, principalmente sob condições de chuva ou baixa aderência.
- **Falta de superlargura:** Como demonstrado anteriormente, para curvas de raio pequeno, especialmente a Curva C1, cujo raio de 50 m representa o limite mínimo normativo, seria necessário um acréscimo de 3,8 m na plataforma (1,9 m para cada lado) para acomodar adequadamente o gabarito de giro de veículos longos, como o BT9 e outros veículos longos observados em campo. Na ausência dessa superlargura, tais veículos são obrigados a invadir a faixa oposta para vencer a trajetória da curva, aumentando substancialmente o risco de colisões frontais.
- **Rampas muito acentuadas:** O trecho apresenta rampas que ultrapassam os valores máximos de norma. Em aclives acentuados, veículos pesados sofrem redução significativa de velocidade, gerando diferença operacional entre categorias veiculares, o que aumenta a probabilidade de manobras arriscadas de ultrapassagem. Já nos trechos em declive, rampas superiores ao recomendado tendem a induzir aceleração não controlada, fazendo com que motoristas excedam a velocidade de segurança, especialmente veículos longos, cujo peso da carga favorece o aumento da velocidade em descidas.

- Visibilidades segura: A presença de taludes de corte, alguns com inclinações próximas a 90°, além de vegetação que se projeta sobre a plataforma, afeta a visibilidade e pode reduzir a percepção dos condutores sobre o traçado da via, principalmente nas curvas com geometrias críticas.

Esses elementos, combinados à sinalização insuficiente observada durante o levantamento, reforçam o cenário de vulnerabilidade do trecho. A superlargura inexistente, superelevação inadequada, rampas acima da norma, ausência de acostamento, e restrições físicas do entorno reúnem características que, de forma conjunta, potencializam a ocorrência de acidentes na Rodovia PE-084, justificando plenamente a necessidade de diagnóstico técnico aprofundado e posterior intervenção corretiva.

4.5. Soluções que visam a redução dos acidentes na área de estudo.

Sugere-se a realização de estudos preliminares mais abrangentes e consistentes, contemplando as seguintes áreas fundamentais:

- Estudos Topográficos;
- Estudos de Tráfego;
- Estudos Geológicos;
- Estudos Geotécnicos;
- Estudos de Traçado;
- Estudos Hidrológicos.

Em um levantamento topográfico, é indispensável a execução de um levantamento planialtimétrico completo, contemplando a marcação dos pés dos aterros, cristas dos cortes, talvegues, além do cadastro íntegro de toda a faixa de domínio. Esse mapeamento detalhado é essencial para a definição precisa do traçado, análise de estabilidade dos taludes, cálculo de volumes e compatibilização das seções transversais.

Já o estudo de tráfego deve fornecer informações precisas sobre tipos, quantidades e distribuição horária dos veículos, possibilitando confirmar a classe funcional da rodovia, estimar o nível de serviço (LOS) e dimensionar adequadamente a via conforme as normas vigentes. Esse estudo também é necessário para

determinar o Número N, fundamental para o dimensionamento das camadas do pavimento.

Os estudos geológicos e Geotécnicos, são essenciais para caracterizar os materiais do subleito, identificar camadas de solo, avaliar condições de suporte e, principalmente, analisar a estabilidade dos taludes existentes.

Na Figura 16, observa-se um talude de corte em rocha na curva da pedra, local onde moradores relataram, frequentemente, desprendimentos de fragmentos rochosos, indicando risco potencial de queda de barreira e de acidentes.

Figura 16 – Talude de corte em rocha na curva da pedra



Fonte: Autores (2025)

Nos aterros também foram identificadas condições críticas. Há taludes de aterro com alturas superiores a 30 m, como o observado no lado esquerdo do trecho anterior ao corte pleno da curva da pedra, ilustrado na Figura 17, exatamente onde aconteceu o acidente do trio elétrico Zeus em Outubro de 2013.

Figura 17 – Trinca longitudinal no trecho em aterro próximo à curva da pedra



Fonte: Autores (2025)

Em diversos trechos foram verificadas trincas longitudinais, algumas com abertura de até 2 cm, configurando indícios de possível recalque ou movimentação do aterro. A Figura 18 registra a medição de uma dessas trincas.

Figura 18 – Medição da trinca longitudinal próximo à curva da pedra



Fonte: Autores (2025)

A trinca segue aproximadamente a linha apresentada na Figura 19, com extensão total de cerca de 15 m, em trecho onde o talude atinge aproximadamente 35 m de altura, sem berma, condição que exige análise geotécnica detalhada.

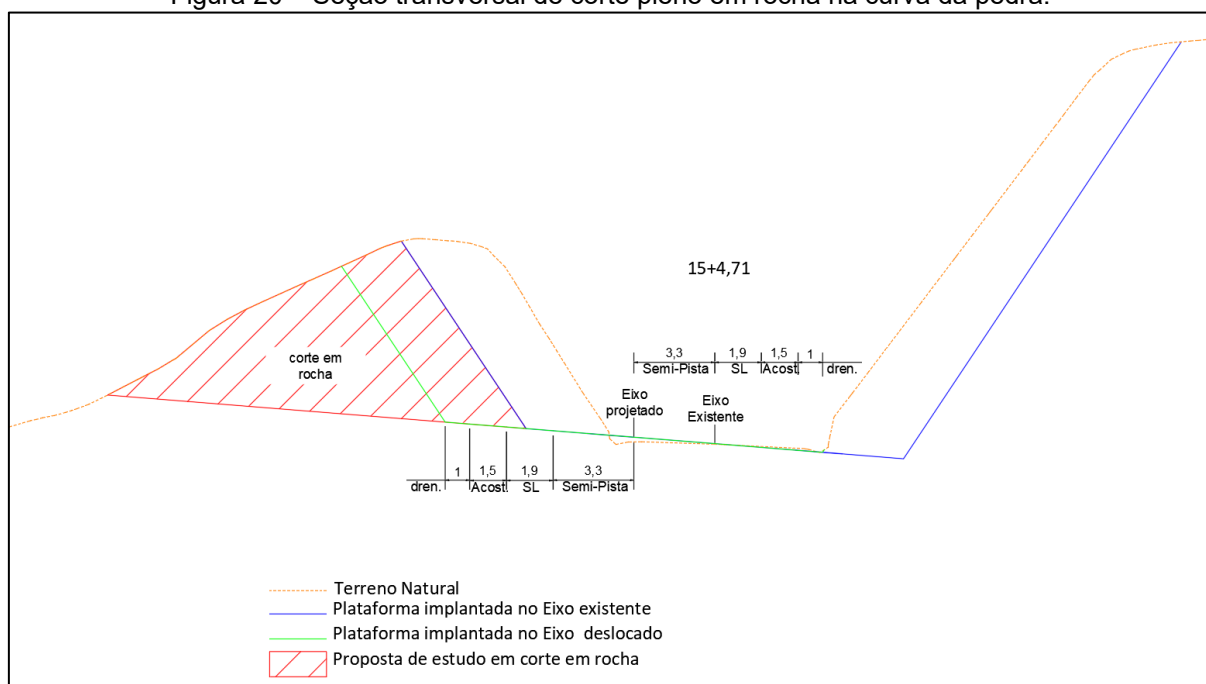
Figura 19 – Extensão da trinca longitudinal próximo à curva da pedra



Fonte: Autores (2025)

Referente a estudos de traçado e consequentemente, projeto geométrico, a norma recomenda o alargamento da plataforma para implantação de acostamento com 1,5 m ao longo de todo o trecho, inclusive nas curvas com superlargura (SL). Estudos de correção do eixo, como ilustrado na Figura 20, poderiam permitir uma melhor posição transversal do eixo, reduzindo a necessidade de cortes excessivos em ambos os lados da pista, especialmente em zonas de corte em rocha, como a ilustrada.

Figura 20 – Seção transversal de corte pleno em rocha na curva da pedra.



Fonte: Autores (2025)

A análise de campo também mostrou uma insuficiência de dispositivos de sinalização. Foram observadas poucas placas de regulamentação de velocidade, algumas encobertas pela vegetação, conforme a Figura 21.

Figura 21 – Sinalização Vertical de Regulamentação de velocidade



Fonte: Autores (2025)

Para o estudo de tráfego e segurança viária, dadas as condições geométricas do trecho, é recomendado:

- Instalação de mais placas de proibição de ultrapassagem, visto que todo o trecho apresenta faixa contínua, por sua geometria sinuosa;
- Ampliação das placas de advertência (pista sinuosa, aclive, declive, curva acentuada, dentre outras);
- Avaliação da necessidade de radares, considerando que o declive acentuado favorece o aumento involuntário de velocidade, sendo comum a necessidade de uso de freio-motor;
- Reforço da sinalização horizontal com tachas reflexivas (olho de gato) ao longo dos bordos e eixo da via.

Por fim, embora este trabalho não tenha abordado detalhadamente o aspecto hidrológico, foram identificados alguns dispositivos de drenagem superficial durante a vistoria. No entanto, é fundamental realizar um estudo aprofundado considerando:

- Dispositivos de transposição de talvegues;
- Obras de Arte Correntes (OAC);
- Condições de capacidade e conservação das estruturas existentes;
- Potenciais pontos de concentração de escoamento.

Tais elementos são essenciais para garantir a segurança e a durabilidade da infraestrutura, sobretudo em regiões montanhosas com grande declividade e taludes elevados.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar os aspectos geométricos e operacionais do trecho da Rodovia PE-084, compreendido entre o acesso à cidade de Machados/PE e o entroncamento com a PE-089. Para isso, aplicou-se um conjunto de procedimentos metodológicos envolvendo revisão bibliográfica, levantamento de dados secundários, levantamentos de campo, processamento de informações geoespaciais e análise dos dados obtidos, conforme descrito ao longo do trabalho. A partir dessas etapas, foi possível identificar as principais características da rodovia e avaliar sua conformidade com as normas técnicas vigentes, bem como compreender possíveis fatores associados aos acidentes registrados no trecho.

A análise geométrica evidenciou que, embora o raio mínimo da Curva C1, ponto crítico do trecho, atenda ao limite normativo para rodovias de Classe III em relevo montanhoso, outros parâmetros essenciais, como superelevação e superlargura, encontram-se abaixo do recomendado, comprometendo a segurança. Além disso, rampas acima dos valores normativos, presentes ao longo de todo o trecho em auge ou declive, tendem a reduzir o desempenho de veículos pesados na subida e aumentar a velocidade na descida, ampliando riscos de acidentes.

A investigação transversal e estrutural do corpo estradal também revelou a inexistência de acostamento, que é um elemento obrigatório para a classe analisada, além de trincas longitudinais significativas em segmentos de aterro com mais de 30 m de altura, indicando necessidade de estudos geotécnicos aprofundados para avaliação da estabilidade. Em cortes rochosos, especialmente na Curva da Pedra, foram observados relatos de desprendimento de rochas, reforçando a importância de levantamentos geológicos e intervenções específicas.

No que diz respeito à segurança viária, constatou-se deficiência geral na sinalização vertical, com baixo número de placas de regulamentação, falta de dispositivos de advertência e obstrução parcial por vegetação. A sinalização horizontal também se apresenta limitada, sugerindo a implantação de tachas refletivas reforçando a visibilidade noturna. A implantação de dispositivos de fiscalização eletrônica também pode ser necessária, especialmente em trechos de declive acentuado.

A análise de superlargura, considerando o veículo crítico BT9, demonstrou a necessidade de acréscimos significativos na plataforma, especialmente na Curva C1,

onde seriam necessários 3,8 m adicionais. Esse ajuste poderia ser viabilizado mediante correção de eixo, reduzindo volume de cortes e evitando intervenções simultâneas em ambos os taludes laterais.

Ressalta-se que o conjunto de tecnologias aplicado aos levantamentos executados: GNSS, aerofotogrametria, imagens 360° e inspeção visual foi o que proporcionou a criação de um banco de dados de informações técnicas, que viabilizou a relação das análises necessárias ao diagnóstico dos fatores críticos do trecho estudado. Os diagnósticos realizados com base nos dados gerados dos levantamentos de campo e das pesquisas dos dados pré-existentes sobre o segmento estudado, possibilitaram a elaboração de proposições de possíveis soluções para reduzir os problemas ligados a segurança dos condutores e de trafegabilidade da via, associada a necessidade de intervenções na geometria da via, sobretudo transversal, e na sinalização viária.

A partir de todos esses resultados, conclui-se que o trecho analisado apresenta um conjunto de inadequações geométricas e operacionais que, somadas, contribuem para maior risco de acidentes. Assim, recomenda-se a realização de estudos preliminares completos, como os estudos topográficos, geotécnicos, geológicos, hidrológicos, de tráfego e de traçado, para que seja viabilizado um projeto de readequação com base nas condições reais da via. As intervenções prioritárias devem ser a correção da superelevação, a adequação de superlargura, melhoria na sinalização, implantação de acostamentos e análise da estabilidade dos cortes e aterros existentes.

6. REFERÊNCIAS

1. Organização Pan-Americana da Saúde. Segurança no trânsito [Internet]. Washington, DC: OPAS/OMS; 2025 [citado 2025 set 14]. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/seguranca-no-transito>
2. Confederação Nacional do Transporte. Viagem Segura – *Guia CNT de Segurança nas Rodovias 2024* [Internet]. Brasília: CNT; 2023 [citado 2025 set 14]. Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/d9e97de9-eaab-4224-abb0-20eb790bf5f6>
3. Confederação Nacional do Transporte. Viagem Segura – *Guia CNT de Segurança nas Rodovias 2024* [Internet]. Brasília: CNT; 2023 [citado 2025 set 14]. Disponível em: Guia CNT de Segurança nas Rodovias 2024
4. Tuler M, Saraiva S. *Fundamentos de Topografia*. Porto Alegre: Bookman; 2014.
5. Casaca JM, Matos JL de, Dias JMB. *Topografia Geral*. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC; 2017.
6. McCormac J, Sarasua W, Davis W. *Topografia*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC; 2019.
7. Daibert JD. *Topografia: Técnicas e Práticas de Campo*. 2. ed. São Paulo: Érica; 2014.
8. Somensi CS, Bontempo Filho EB, Barbosa JA, Correia Filho OJ, Coutinho RQ, Giacheti HL. *Uso de drones na criação de modelos digitais de encostas: aplicação na avaliação de um costão rochoso contaminado por óleo*. Anais da VIII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – COBRAE [Internet]. Porto de Galinhas (PE); 2021 out 20–23 [citado 2025 out 5]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/371807297>
9. Carneiro da Silva D, Carvalho Costa G. *Aerofotogrametria em projetos de estradas*. Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação [Internet]. 2010 jul [citado 2025 out 5]. Recife (PE); 27–30 jul 2010. p. 000-000. Disponível em:

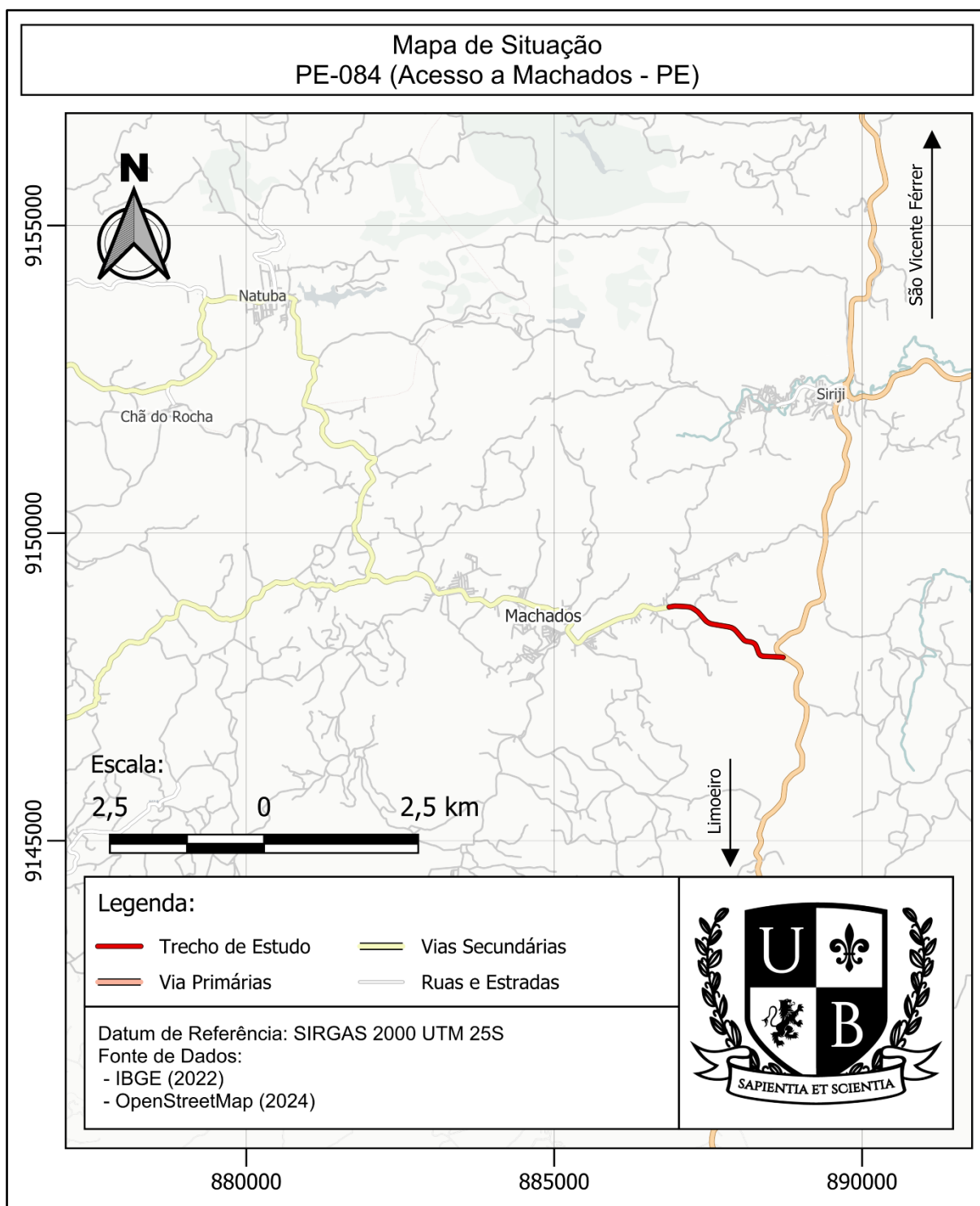
https://www.researchgate.net/publication/277288616_AEROFOTOGRAMETRIA_EM_PROJETOS_DE_ESTRADAS

10. Giongo M, Koehler HS, Machado SA, Kirchner FF, Marchetti M. *LiDAR: princípios e aplicações florestais*. Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação [Internet]. Recife (PE); 2010 jul 27–30 [citado 2025 out 5].
11. Pontes Filho G. *Estradas de rodagem: projeto geométrico*. [S.l.]: G. Pontes Filho; 1998.
12. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Rio de Janeiro: DNER; 1999.
13. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). *Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários: escopos básicos e instruções de serviço*. Brasília (DF): DNIT; 2006.
14. Brasil. Ministério da Infraestrutura. Secretaria Nacional de Trânsito. *Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito – PNATRANS* [Internet]. Brasília (DF): SENATRAN; 2021 [citado 2025 out 5]. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/Anexo_I_pnatrans.pdf
15. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 10697: pesquisa de sinistros de trânsito — terminologia*. Rio de Janeiro (RJ): ABNT; 2020.
16. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). *Sistema Georreferenciado de Informações Viárias – SGV* [Internet]. Florianópolis (SC): LabTrans; 2009 [citado 2025 out 5]. Disponível em: <http://labtrans.ufsc.br/sgv>
17. Confederação Nacional do Transporte (CNT). *Acidentes rodoviários e a infraestrutura* [Internet]. Brasília (DF): CNT; 2018 [citado 2025 out 5]. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-acidente>
18. Governo de Pernambuco. *Pernambuco Tridimensional – PE3D*. Recife: Governo do Estado de Pernambuco. Disponível em: <https://www.pe3d.pe.gov.br/>

19. Modera Engenharia. *Projeto executivo de engenharia para Implantação de Rodovias Lote 12, Agreste Setentrional (PE-083, PE-084, PE-086 e PE-106), no Estado de Pernambuco*. Recife: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Pernambuco (DER-PE); 2022. Contrato Nº 009/2022 CPL I.
20. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (BR). *Manual de projeto geométrico de travessias urbanas*. Rio de Janeiro: DNIT/IPR; 2010.

7. APÊNDICES

7.1. Apêndice A – Mapa de Situação



7.2. Apêndice B – Formulário Google

Levantamento de Dados sobre Acidentes na Curva da Pedra, Machados – PE-084

Esta pesquisa está sendo desenvolvida com o objetivo de reunir dados e informações relevantes que subsidiem a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), como parte dos requisitos acadêmicos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pelo **Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA**, localizado em Recife, Pernambuco.

O estudo está sendo conduzido pelos alunos **Jaqueline Góes, Rivaldo Serafim e Williene Almeida**, e tem como foco a análise de fatores relacionados aos acidentes na Curva da Pedra, localizada na rodovia PE-084, no município de Machados – PE.

As informações coletadas serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos, respeitando os princípios éticos e legais, especialmente no que se refere à privacidade e à proteção de dados pessoais, conforme previsto na **Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709/2018)**.

Em caso de dúvidas ou necessidade de esclarecimentos, o contato pode ser feito pelo número: **(81) 98413-3898**.

** Indica uma pergunta obrigatória*

1. Termo de consentimentos *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Estou participando desta pesquisa de forma livre e espontânea, sem qualquer tipo de coerção ou obrigação.
- ☐ As informações que fornecerei são verdadeiras, conforme meu conhecimento e experiência
- ☐ Autorizo o uso das minhas respostas exclusivamente para fins acadêmicos e científicos relacionados ao desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).
- ☐ Estou ciente de que nenhum dado pessoal sensível será coletado ou utilizado, e que minhas informações serão tratadas de forma anônima e confidencial, conforme previsto na Lei nº 13.709/2018 – Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).
- ☐ Tenho ciência de que posso desistir da participação a qualquer momento, sem prejuízo ou penalidade.

2. Nome completo *

3. Município de residência *

Sobre a PE-84

Ressalta-se que todas as perguntas presentes nesse formulário se referem a PE-084

4. Como você avalia o movimento de veículos nessa estrada? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Muito movimentada
☐ Movimento médio
☐ Pouco movimentada
☐ Não sei informar

5. A estrada tem placas de sinalização visíveis, como limites de velocidade e curvas sinuosas? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
☐ Não
☐ Não sei informar

6. A estrada tem iluminação pública suficiente à noite? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
☐ Não
☐ Não sei informar

7. Você já ouviu falar de acidentes na Curva da Pedra? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim *Pular para a pergunta 8*
☐ Não *Pular para a pergunta 39*

Quantidade de acidentes

Ressalta-se que todas as perguntas presentes nesse formulário se referem a PE-084

8. Quantos acidentes você já presenciou na PE-84?

OBS.: Você será direcionado a dar informação sobre cada um dos acidentes.

⌵ Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1 (Um) *Pular para a pergunta 33*
☐ 2 (Dois) *Pular para a pergunta 27*
☐ 3 (Três) *Pular para a pergunta 21*
☐ 4 (Quatro) *Pular para a pergunta 15*
☐ 5 (Cinco) *Pular para a pergunta 9*

Acidentes (até cinco seções iguais)

Ressalta-se que todas as perguntas presentes nesse formulário se referem a PE-084

33. Em que ano aconteceu o acidente *

⌵ Dropdown

Marcar apenas uma oval.

☐ 2000

☐ 2001

☐ 2002

☐ 2003

☐ 2004

☐ 2005

☐ 2006

☐ 2007

☐ 2008

☐ 2009

☐ 2010

☐ 2011

☐ 2012

☐ 2013

☐ 2014

☐ 2015

☐ 2016

☐ 2017

☐ 2018

☐ 2019

☐ 2020

☐ 2021

☐ 2022

☐ 2023

☐ 2024

☐ 2025

☐ 2026

34. De que tipo foi o acidente? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Colisão frontal
- ☐ Colisão lateral
- ☐ Colisão traseira
- ☐ Colisão com objeto
- ☐ Saída de pista
- ☐ Tombamento (acontece geralmente com veículos pesados e altos)
- ☐ Capotamento (veículo ficou de "cabeça para baixo")
- ☐ Não sei informar
- ☐ Outro: _____

35. Como estava o tempo no momento do acidente? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Chuvoso
- ☐ Nublado
- ☐ Ensolarado
- ☐ Não sei informar

36. Na sua opinião, qual fator mais contribuiu para o acidente? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Visibilidade ruim
- ☐ Excesso de Velocidade
- ☐ Condições climáticas (chuva, neblina, etc.)
- ☐ Condições da via (Buracos, pedras no caminho, etc.)
- ☐ Problemas mecânicos nos veículos
- ☐ Não sei informar

37. Após o acidente, quem prestou socorro às vítimas? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ O SAMU (Serviço de Atendimento Móvel de Urgência)
- ☐ Moradores ou pessoas que estavam no local
- ☐ Ambos
- ☐ Não sei informar
- ☐ Outro: _____

38. O órgão responsável por registrar o acidente (como a polícia, Detran ou outra autoridade de trânsito) foi chamado? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim, e compareceu ao local
- ☐ Sim, mas não compareceu
- ☐ Não foi chamado
- ☐ Não sei informar

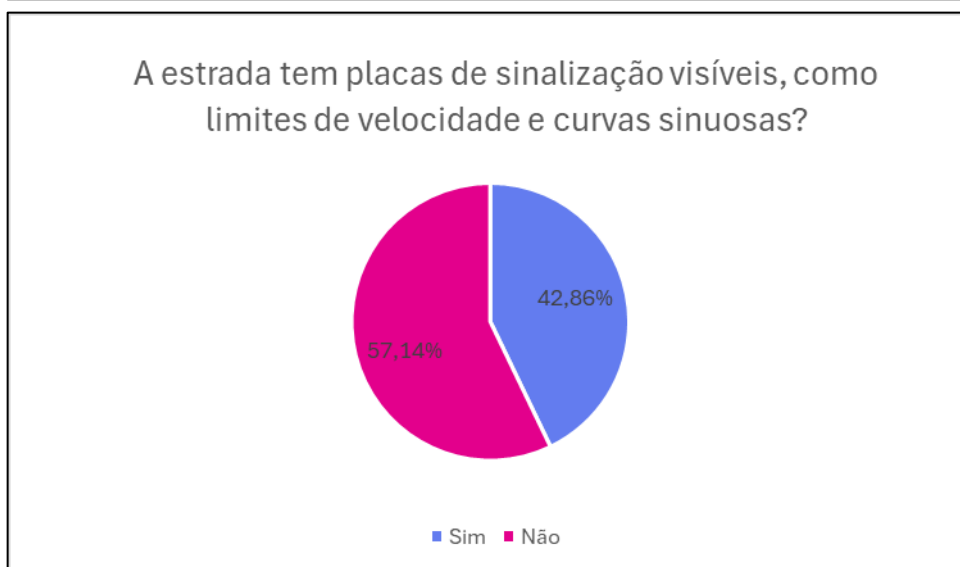
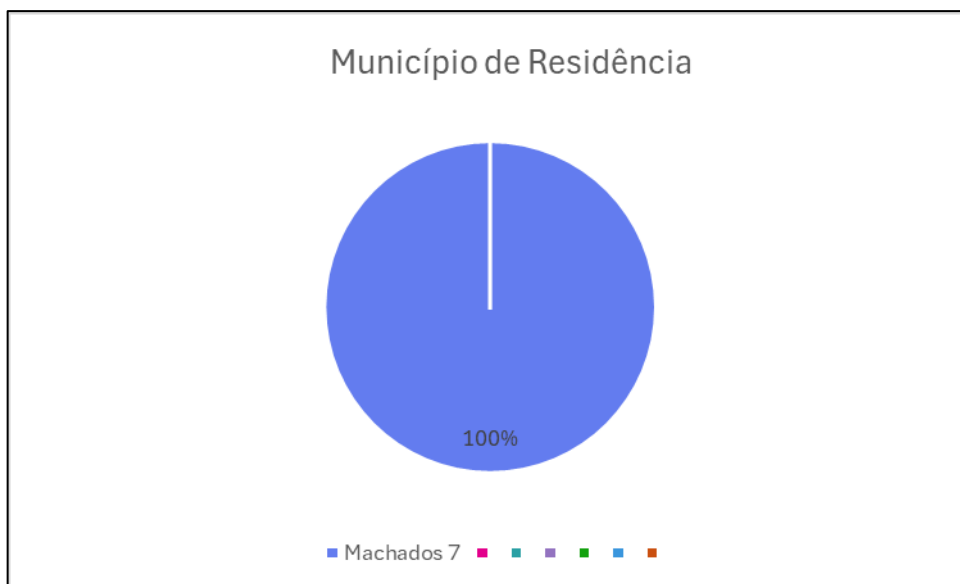
Final

Agradecemos sua atenção e tempo no preenchimento desse formulário, suas respostas irão ajudar bastante em nossa graduação em engenharia civil.

Atenciosamente, Jaqueline, Rivaldo e Williene.

39. Use esse espaço se quiser dar alguma opinião sobre a PE-084, sua segurança, trafegabilidade, iluminação etc. **Não é obrigatório**, após isso o formulário pode ser enviado.

7.3. Apêndice C – Respostas do Formulário Google

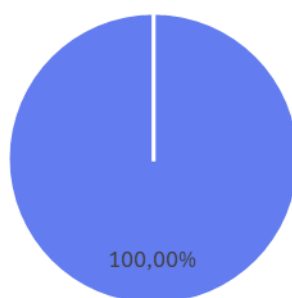


A estrada tem iluminação pública suficiente à noite?



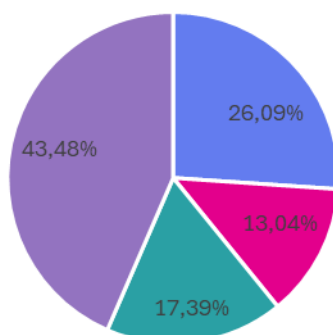
■ Sim ■ Não

Você já ouviu falar de acidentes na Curva da Pedra?



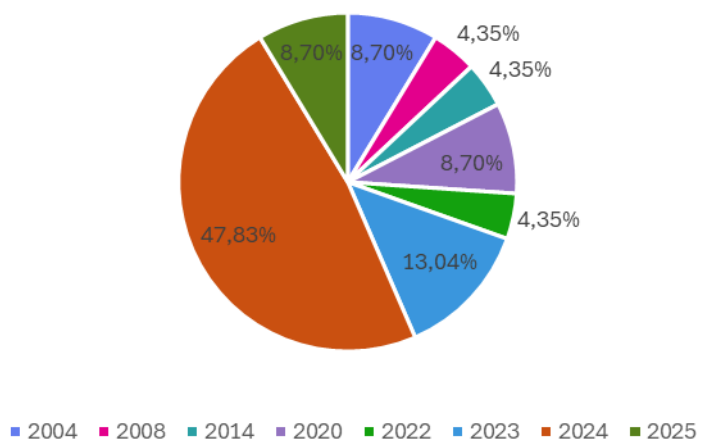
■ Sim ■ Não

Quantos acidentes você já presenciou na PE-84?

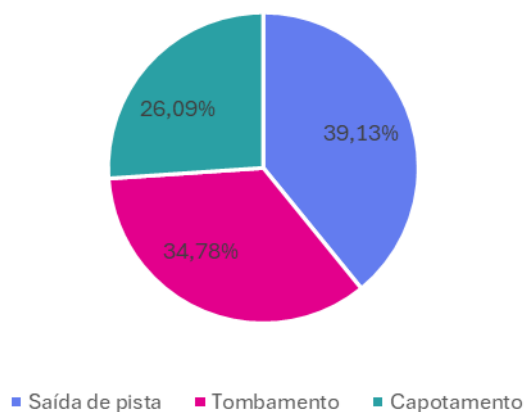


■ Dois ■ Três ■ Quatro ■ Cinco ■

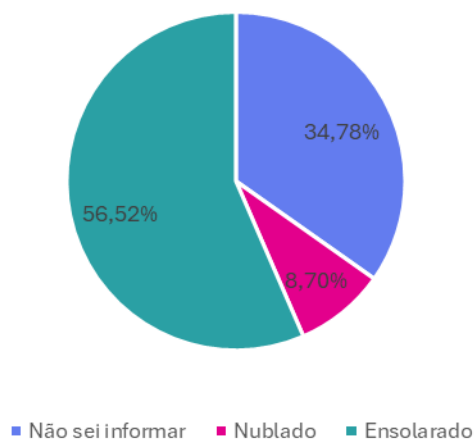
Em que ano aconteceu o acidente?



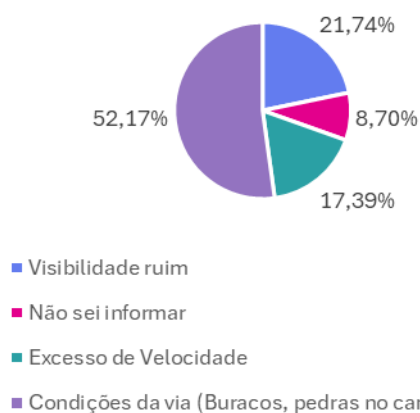
De que tipo foi o acidente?



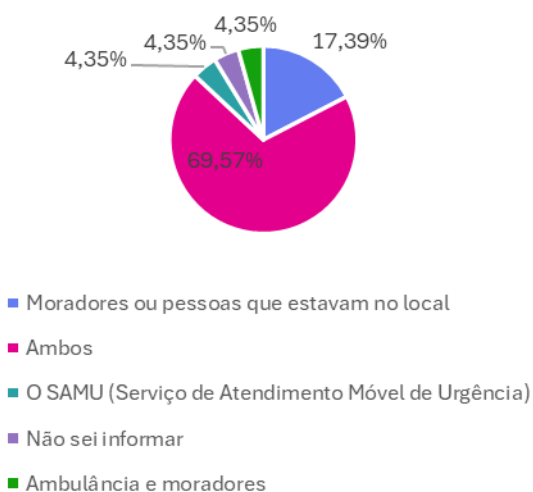
Como estava o tempo no momento do acidente?



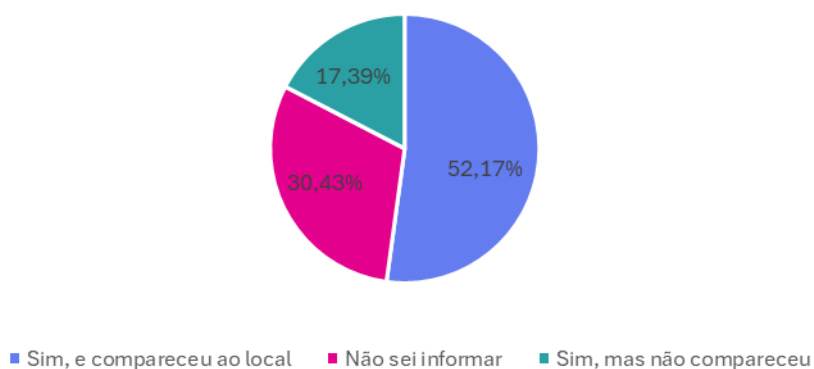
Na sua opinião, qual fator mais contribuiu para o acidente?



Após o acidente, quem prestou socorro às vítimas?



O órgão responsável por registrar o acidente (como a polícia, Detran ou outra autoridade de trânsito) foi chamado?



7.4. Apêndice D – Equipamentos Utilizados

Drone DJI Air 2S



Receptor GNSS RTK T9

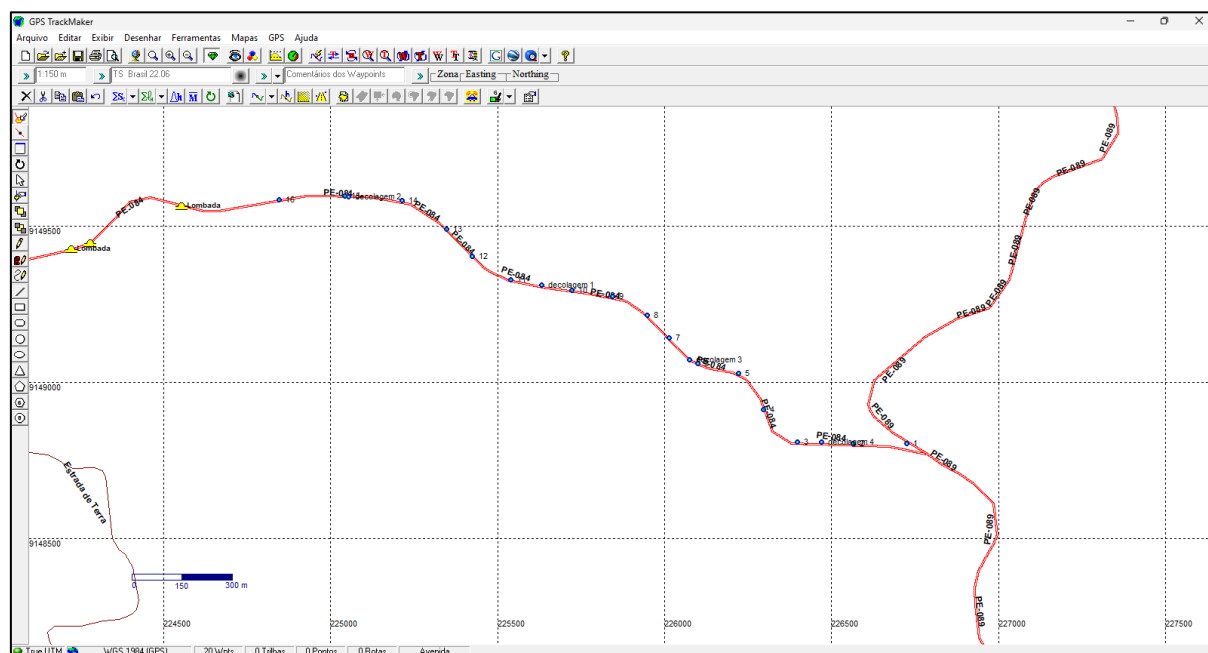


Câmera 360° Insta 360 X2

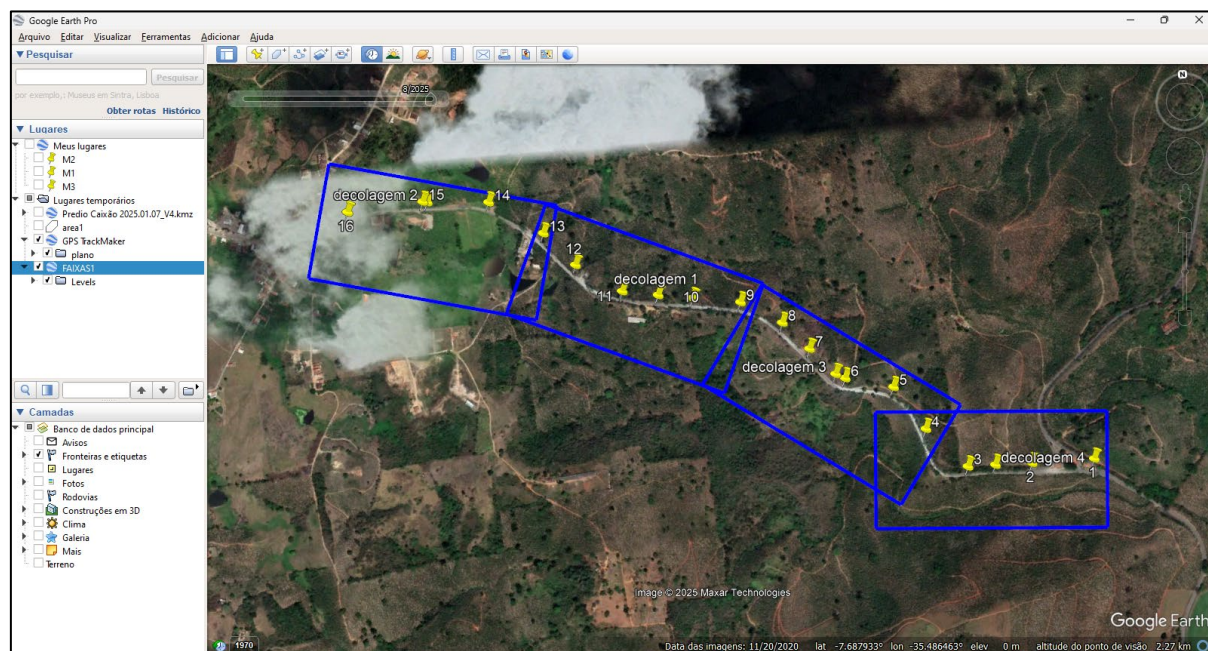


7.5. Apêndice E – Plano de Voo do Drone

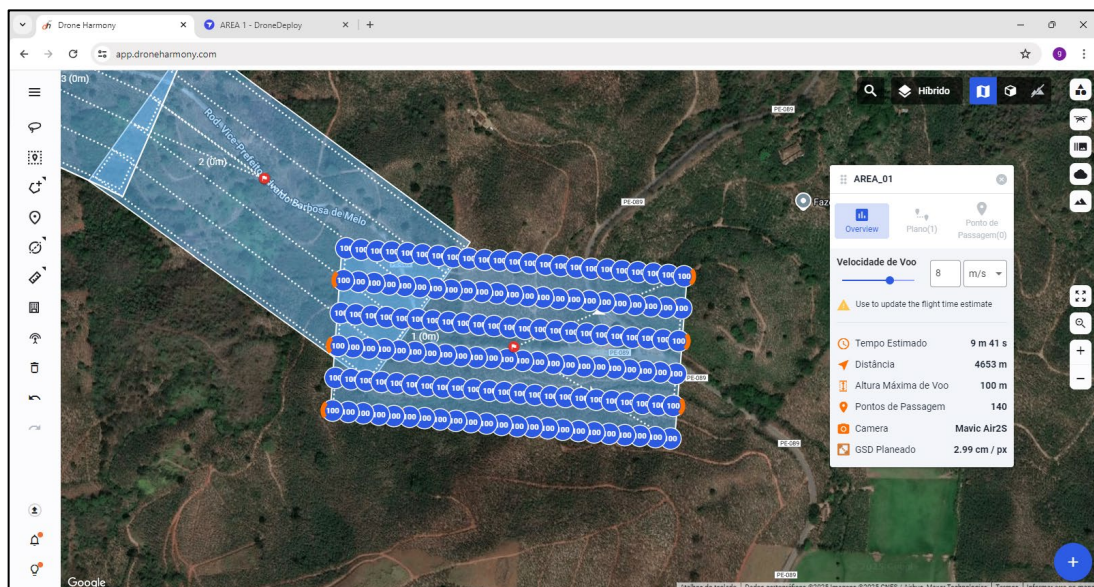
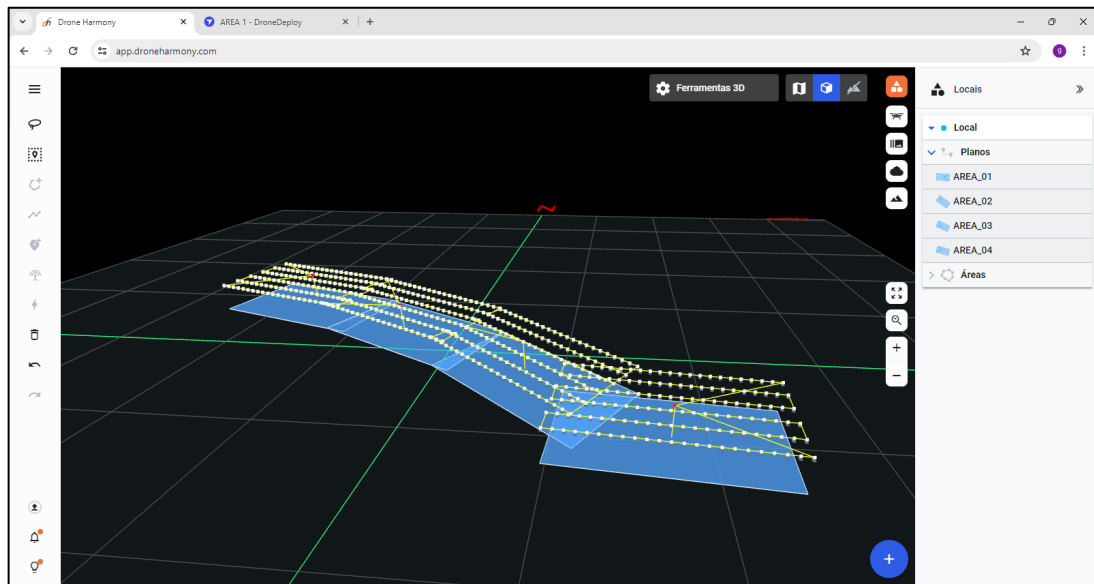
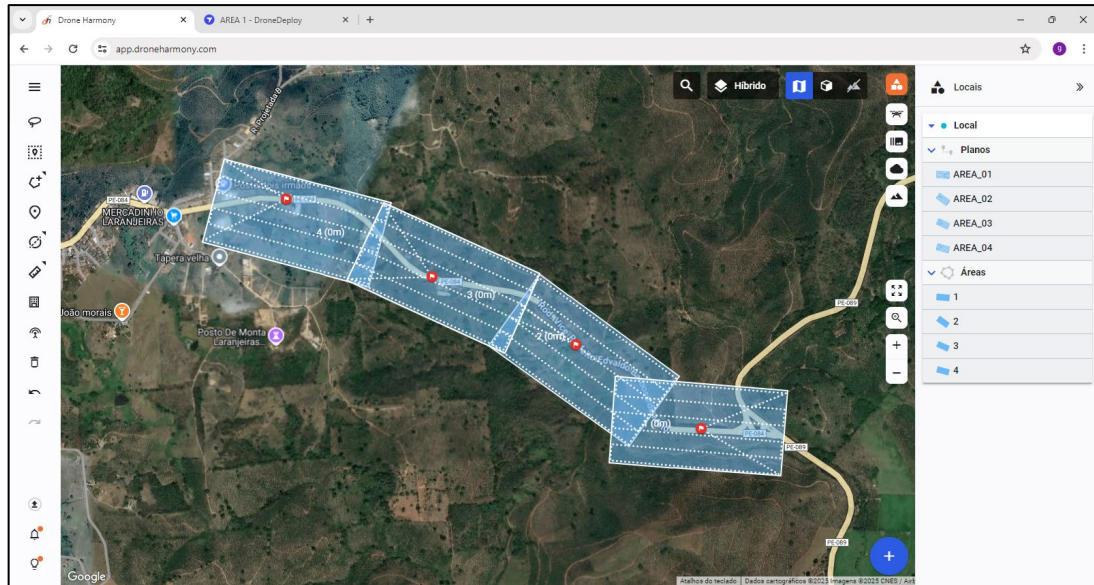
7.5.1. GPS TrackMaker



7.5.2. Google Earth Pro

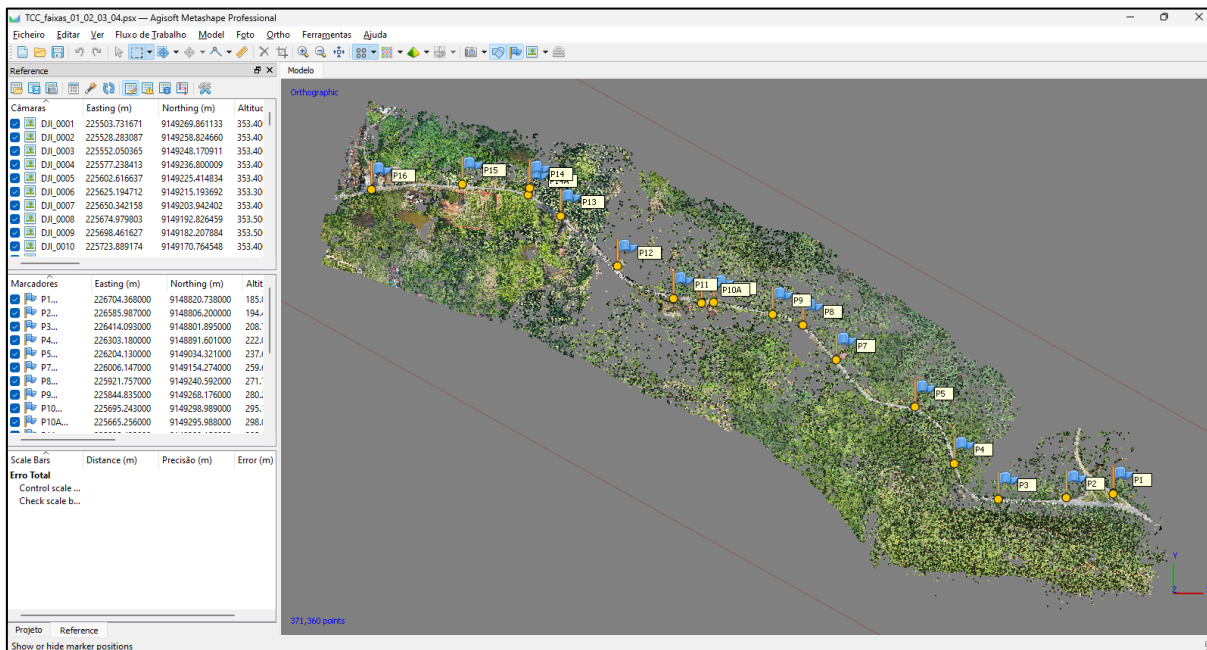


7.5.3. Drone Harmony

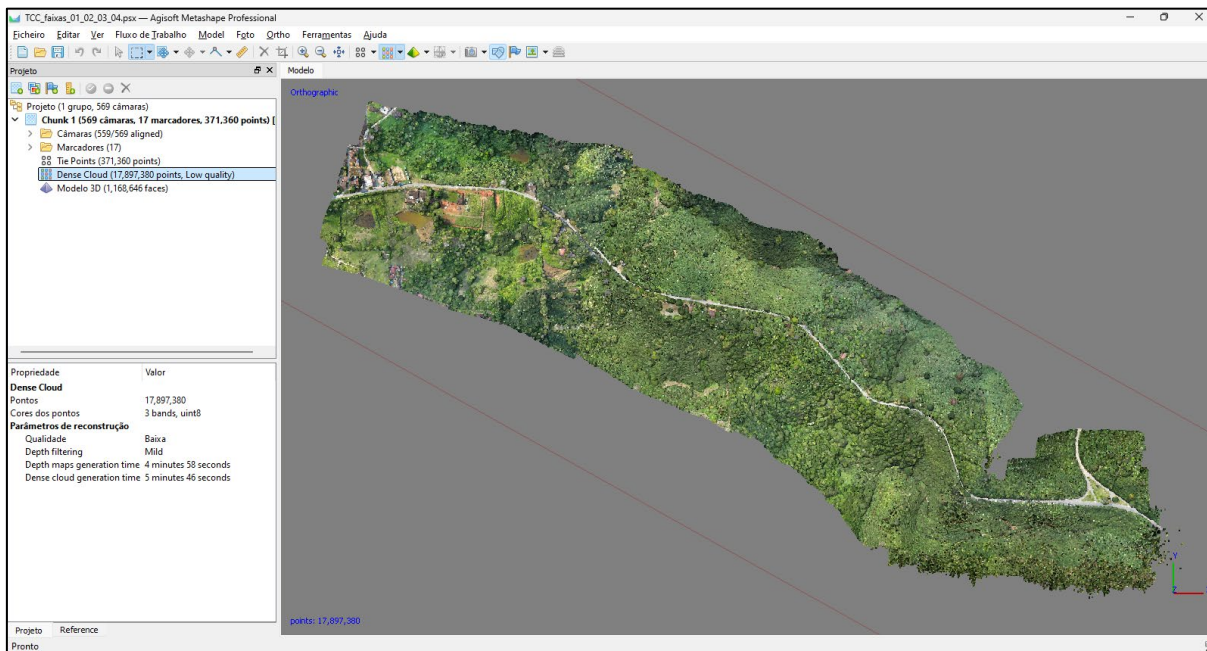


7.6. Apêndice F – Processamento das Imagens do Drone

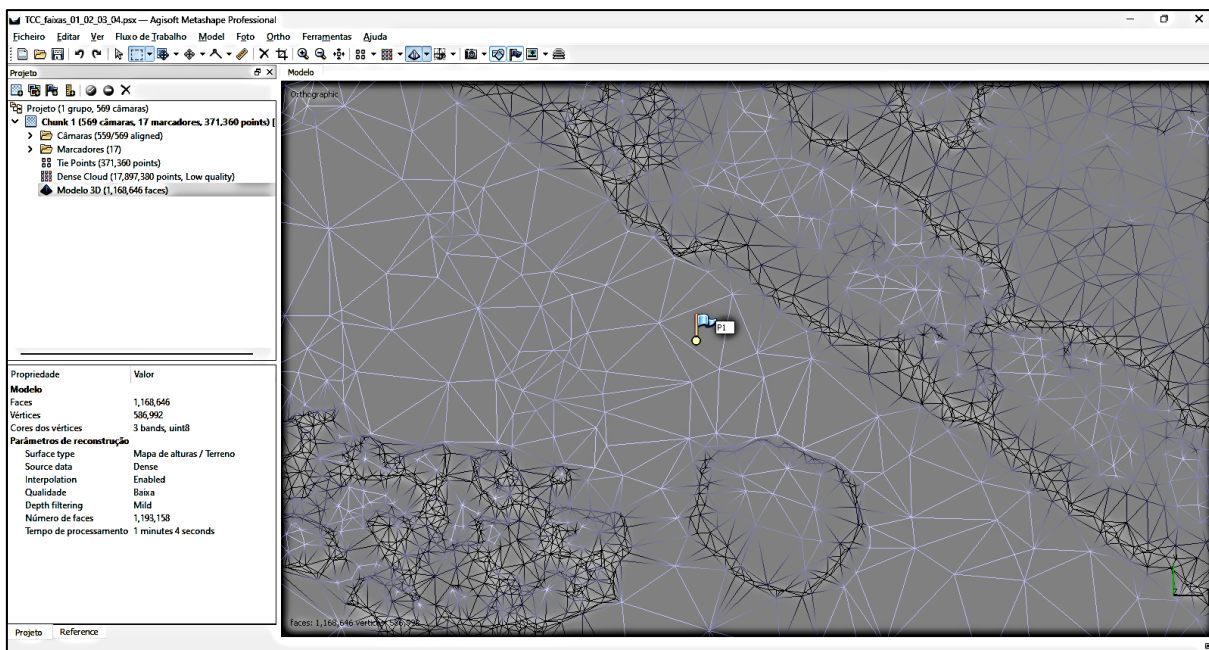
Alinhamento das fotos, resultando em uma nuvem de baixa densidade, com um total de 393.326 pontos 3D:



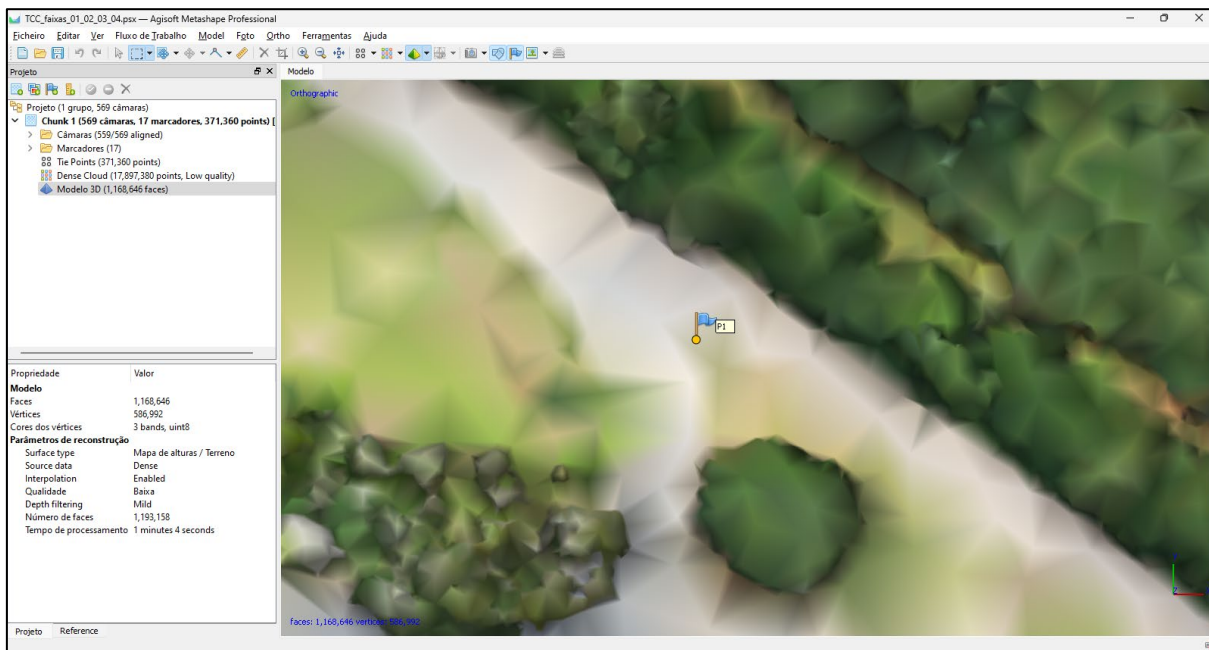
Nuvem densa de pontos 3D com 17.897.380 pontos:



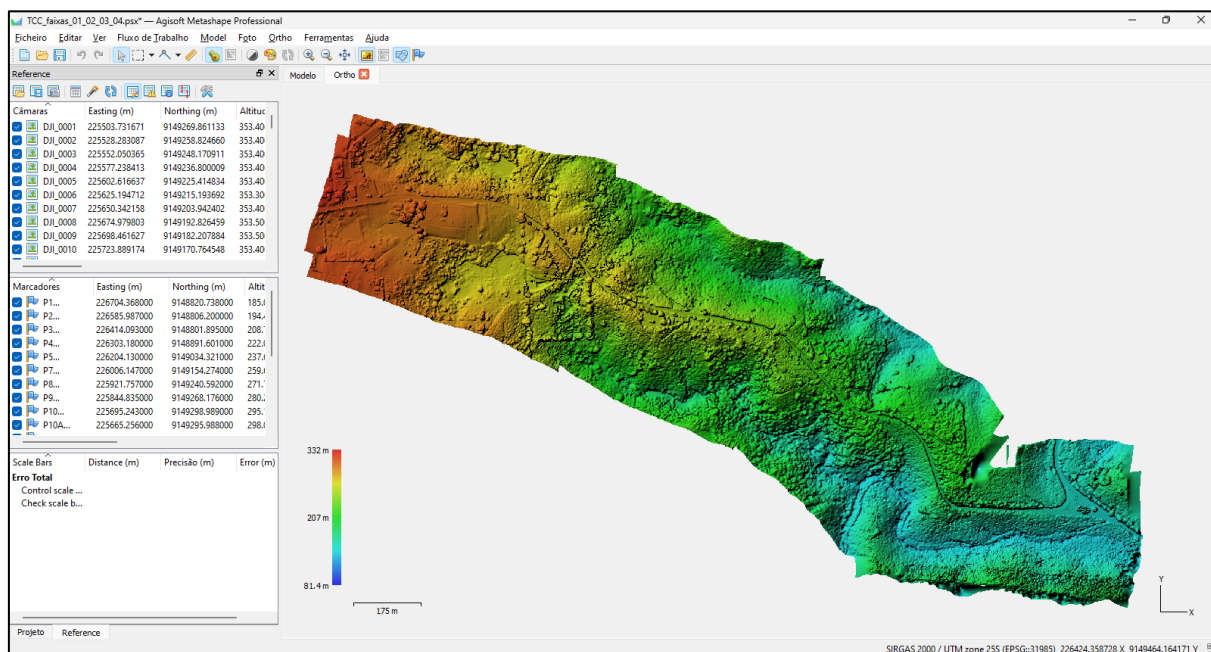
Detalhe da malha 3D criada a partir dos pontos 3D no entorno do ponto de apoio P1:



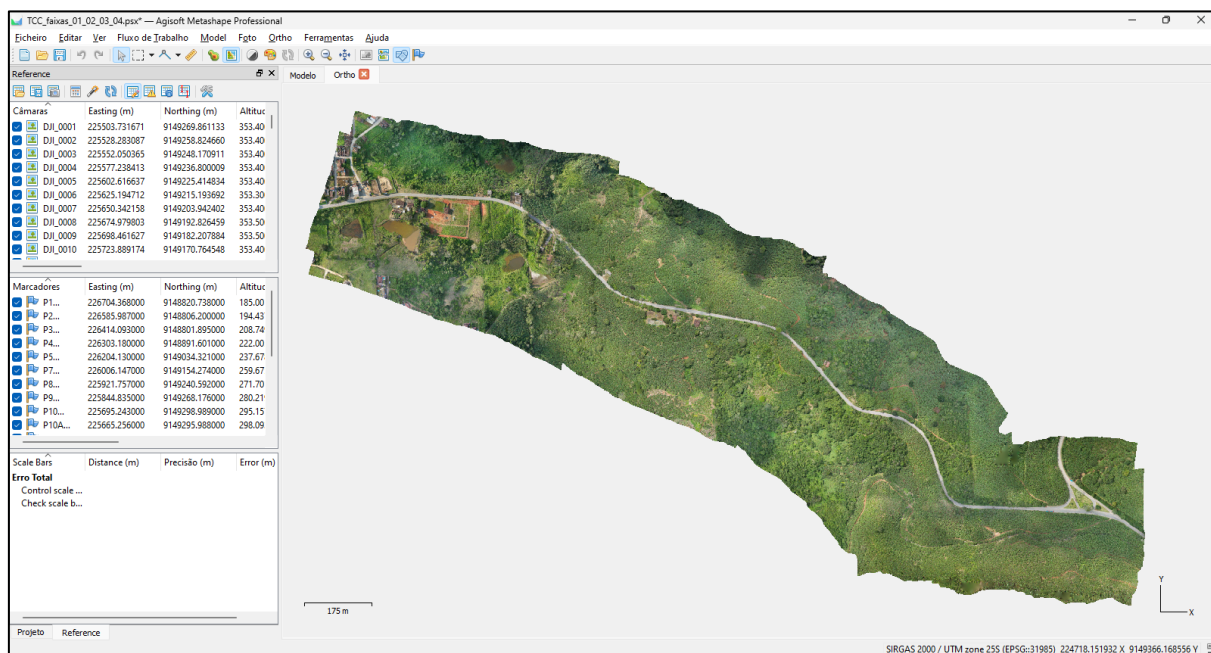
Detalhe da malha Com coloração dos Pixels das aeroimagens coletadas:



Processamento do MDS:

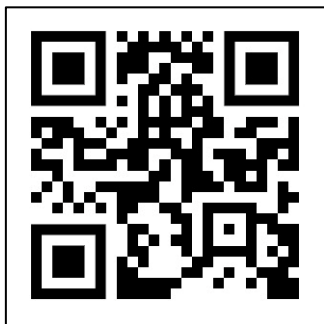


Processamento da Ortoimagem:



7.7. Apêndice G – Acesso aos modelos 3D do Drone

7.7.1. Modelo das faixas 1 e 2



<https://skfb.ly/pDtwN>



PE-084_FAIXAS_1_2
3D Model

7.7.2. Modelo das faixas 3 e 4



<https://skfb.ly/pDtx9>



PE-084_FAIXAS_3_4
3D Model

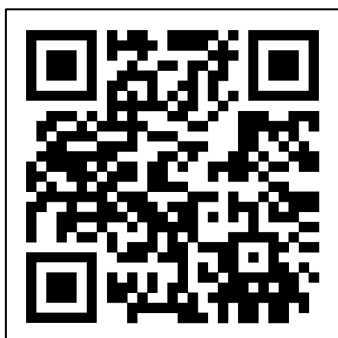
7.8. Apêndice H – Acesso às Imagens da Câmera 360°

7.8.1. Software Insta360 para visualização da câmera 360°

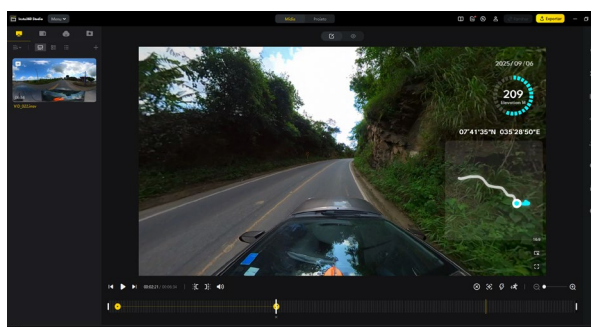


<https://www.insta360.com/download/insta360-one>

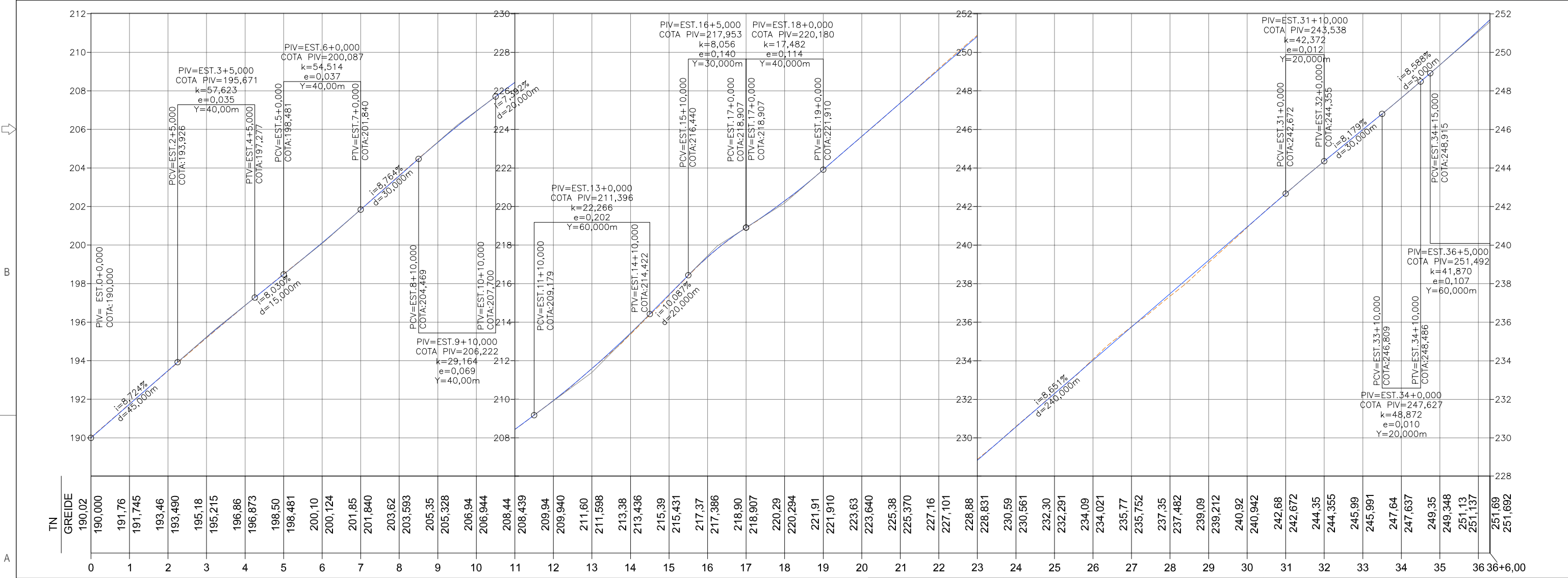
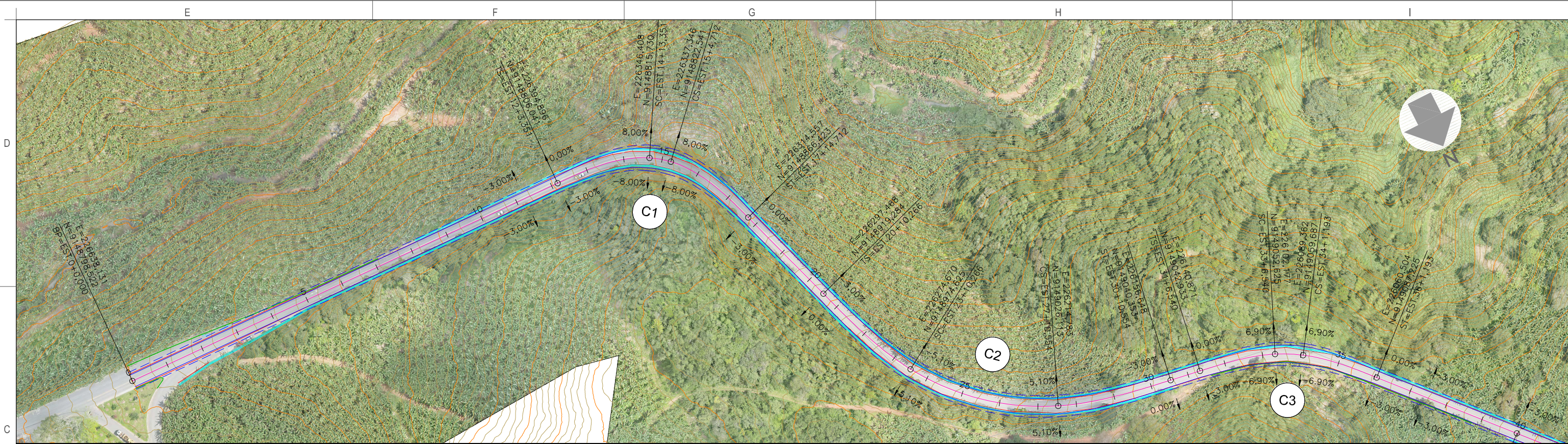
7.8.2. Vídeos da Câmera 360°



https://drive.google.com/drive/folders/1WoU7IZr_qs1c8PNnbZT_1Cb2Ngq-hPpF?usp=drive_link



7.9. Apêndice I – Pranchas em Formato A3 do Trecho



LEGENDA DA PLANTA:

EIXO	E	BORDO	CURVAS	
BORDO EXISTENTE		ACOSTAMENTO	EDIFICAÇÕES	
ACOSTAMENTO EXISTENTE		CERCA		
MEIO FIO EXISTENTE		SARJETA EXISTENTE		

LEGENDA DA PERFIL:

TERRENO NATURAL	
GREIDE	

ESCALA GRÁFICA HORIZONTAL

Escala: 1/2000
0m 20m 40m 60m

ESCALA GRÁFICA VERTICAL

Escala: 1/200
0m 2m 4m 6m



DE - DESENHO

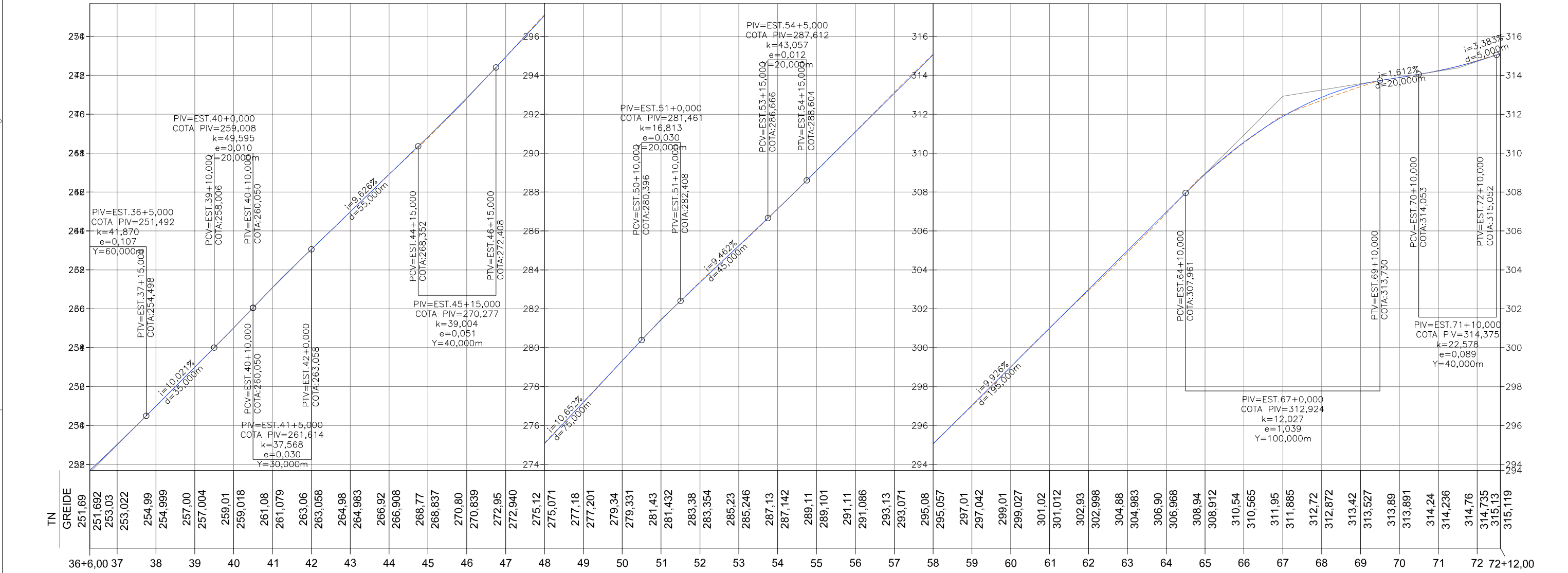
RODOVIA : PE-084
TRECHO : Entr. PE-089 - Trav. Urbana de Machados
EXTENSÃO : 2,13 km

PLANTA E PERFIL

Nº. DE-PE.084-XXX-753-XXX-100=0

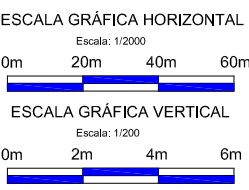
FOLHA:
1 de 3

PÁG:
81

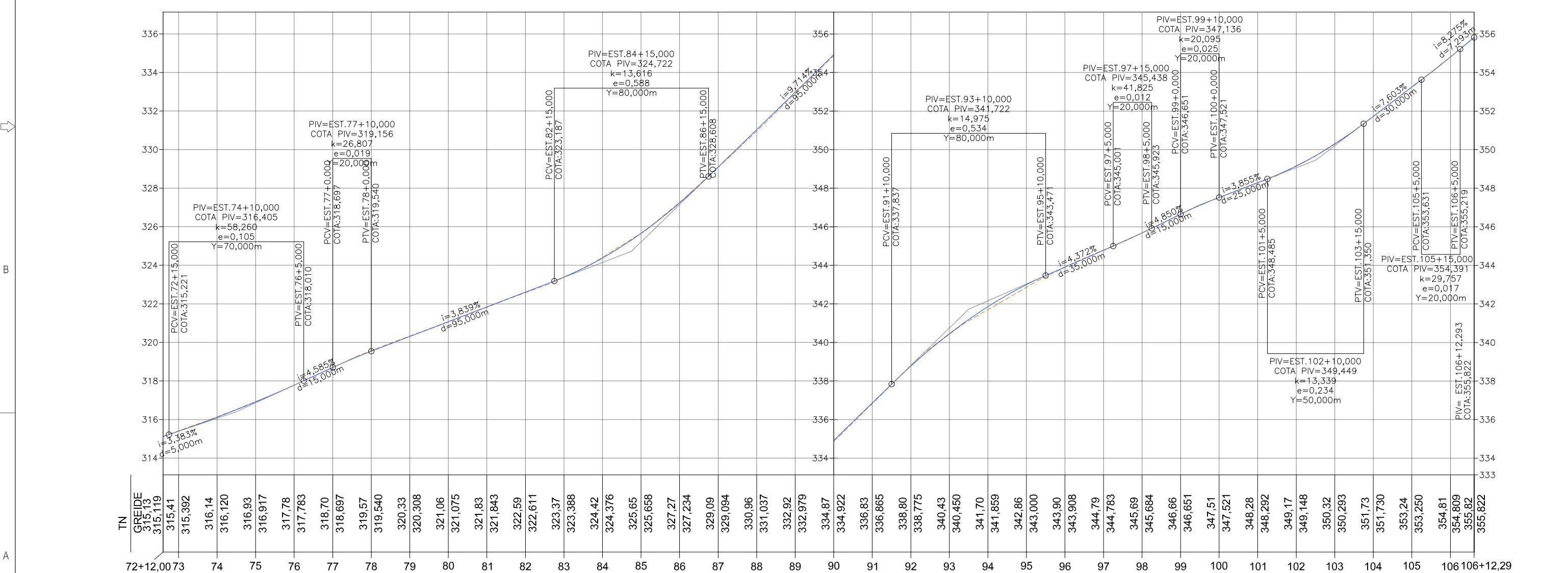


LEGENDA DA PLANTA:				
E	BORDO PROJETADO	CURVAS DE NÍVEL		
BORDO EXISTENTE	ACOSTAMENTO PROJETADO	EDIFICAÇÕES		
ACOSTAMENTO EXISTENTE	CERCA			
MEIO FIO EXISTENTE	SARJETA EXISTENTE			

LEGENDA DA PERFIL:	
TERRENO NATURAL	
GREIDE	



DE - DESENHO		Nº.	DE-PE.084-XXX-753-XXX-100=0	REV.	0
RODOVIA : PE-084		TRECHO : Entr. PE-089 - Trav. Urbana de Machados		FOLHA: 2 de 3	
EXTENSÃO : 2,13 km		PLANTA E PERFIL		PÁG: 82	



LEGENDA DA PLANTA:

EIXO	E	BORDO PROJETADO	CURVAS DE NÍVEL
BORDO EXISTENTE		ACOSTAMENTO PROJETADO	EDIFICAÇÕES
ACOSTAMENTO EXISTENTE		CERCA	
MEIO FIO EXISTENTE		SARJETA EXISTENTE	

LEGENDA DA PERFIL:

TERRENO NATURAL
GREIDE

ESCALA GRÁFICA HORIZONTAL

0m 20m 40m 60m

ESCALA GRÁFICA VERTICAL

0m 2m 4m 6m

DE - DESENHO

RODOVIA : PE-084

TRECHO : Entr. PE-089 - Trav. Urbana de Machados

EXTENSÃO : 2,13 km

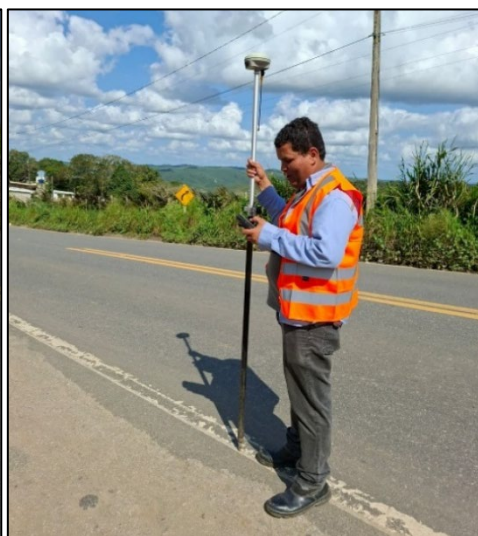
Nº. DE-PE.084-XXX-753-XXX-100=0

FOLHA: 3 de 3

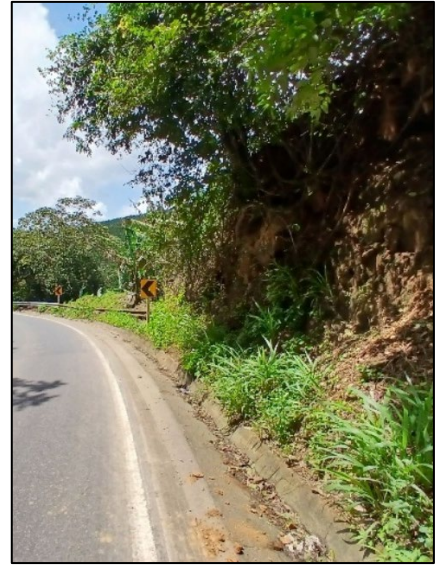
PÁG: 83

REV. 0

7.10. Apêndice J – Registro Fotográfico do Levantamento de Campo







8. ANEXOS

8.1. Anexo A - Processamento PPP



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Sumário do Processamento do marco: M1

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2025/09/06 12:08:20,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2025/09/06 17:11:37,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	SOIT9PRO NONE
Órbitas dos satélites: ¹	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	1,654
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	1,22 GPS 2,08 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,80 GPS 0,99 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (É a que deve ser usada) ⁴	-7° 41' 36,3388"	-35° 28' 40,5907"	184,08	9148802.286	226649.986	-33
Na data do levantamento ⁵	-7° 41' 36,3293"	-35° 28' 40,5933"	184,08	9148802.577	226649.905	-33
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,003	0,009	0,009			

Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA	
Fator para Conversão (m):	-5,0	Incerteza (m): 0,07
Altitude Normal (m):	189,08	

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

⁴ A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: <https://www.ibge.gov.br/atendimento.html> ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).

Processamento autorizado para uso do IBGE.

