

## **Análise do Traçado Geométrico e Desempenho de Segurança do Trecho Curvo Localizado no Km 448 da Rodovia BR – 101**

**Analysis of the Geometric Layout and Safety Performance of the Blocking Curved Section at Km 448 of Highway BR – 101**

**Análisis del Diseño Geométrico y Desempeño de Seguridad del Tramo Curvo Ubicado en el Km 448 de la Carretera BR – 101**

Recebido: 27/12/2022 | Revisado: 09/01/2023 | Aceito: 10/01/2023 | Publicado: 12/01/2023

**Niel Nascimento Teixeira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3047-8932>  
Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil  
E-mail: [nnteixeira@uesc.br](mailto:nnteixeira@uesc.br)

**Diana Santos de Jesus**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7401-5529>  
Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil  
E-mail: [diana.jesus@codevasf.gov.br](mailto:diana.jesus@codevasf.gov.br)

**João Ribeiro Santana Vieira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7653-1201>  
Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil  
E-mail: [joaorsvieira@gmail.com](mailto:joaorsvieira@gmail.com)

### **Resumo**

Diante do elevado índice de acidentes ocorridos no trecho curvo localizado na rodovia BR 101, Km 448 - Bahia, conhecida popularmente como a “curva do padre”, o presente estudo realizou um diagnóstico das características geométricas através do software AutoCad Civil 3D e verificou o desempenho de segurança do segmento, a partir da análise dos dados dos acidentes de trânsito, dos últimos seis anos, ocorridos nesta curva situada na cidade de Aurelino Leal. Por meio dos resultados obtidos, pôde-se concluir que o trecho se trata de um segmento crítico, e que, foram encontradas elevadas inconsistências na geometria (na superelevação, na largura da pista, na rampa máxima e na distância de visibilidade de parada) do trecho da rodovia federal, que combinadas, estavam diretamente relacionadas ao seu baixo desempenho em segurança.

**Palavras-chave:** Traçado geométrico; Trecho curvo; Índice de acidentes.

### **Abstract**

In view of the high accident rate in the curved section located on the highway BR 101, Km 448 - Bahia, popularly known as the “priest's curve”, the present study aimed to diagnose the geometric characteristics through AutoCad Civil 3D software and to verify the safety performance of the segment based on the analysis of traffic accident data, for the last six years, on this curve located in the city of Aurelino Leal. By means of the obtained results, it was possible to conclude that the stretch was a critical segment and high inconsistencies were found on the geometric design of the stretch of the federal highway (superelevation, track width, maximum grade and stopping sight distance) which combined were directly related to its low safety performance.

**Keywords:** Geometric layout; Curved stretch; Accident index.

### **Resumen**

Ante el alto índice de accidentes ocurridos en el tramo curvo ubicado en la carretera BR 101, Km 448 - Bahía, popularmente conocida como la "curva del cura", el presente estudio realizó un diagnóstico de las características geométricas a través del AutoCad Civil software 3D y verificó el desempeño de la seguridad en el segmento, a partir del análisis de los datos de los accidentes de tránsito de los últimos seis años, ocurridos en esta curva ubicada en la ciudad de Aurelino Leal. A través de los resultados obtenidos, se pudo concluir que el tramo es un tramo crítico, y que se encontraron altas inconsistencias en la geometría (en el peralte, en el ancho de vía, en la rampa máxima y en la distancia de visibilidad de parada) de el tramo de la carretera federal, que combinados, estaban directamente relacionados con su pobre desempeño en seguridad.

**Palabras clave:** Diseño geométrico; Estiramiento curvo; Índice de accidentes.

## 1. Introdução

De acordo com o IPEA (2020), os acidentes de transporte terrestre no Brasil matam aproximadamente 45 mil pessoas todos os anos, caracterizando-se como uma das principais causas de morte no país. Vinte por cento dessas mortes ocorreram nas rodovias federais, acrescentando-se o número de 26 mil feridos graves por ano, resultam em fortes impactos sobre o orçamento público e a renda das famílias atingidas. A partir dos dados fornecidos pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), a Bahia no ano de 2015 foi o segundo estado do país onde mais morreram pessoas em acidentes nas rodovias federais.

Especificamente, o IPEA apresentou em 2020 um relatório denominado “*Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil: Estimativa Simplificada com Base na Atualização das Pesquisas do IPEA Sobre Custos de Acidentes dos Aglomerados Urbanos e Rodovias*”, no qual apresenta os custos dos acidentes nas rodovias federais estimados com base na metodologia empregada na pesquisa realizada pelo IPEA, ANTP e Denatran em 2006, por meio da base de dados de acidentes de 2014 da Polícia Rodoviária Federal, aplicada sobre os valores médios dos componentes de custos dos acidentes. A partir desse relatório do IPEA, de acordo com os dados da PRF, no ano de 2014, houve 167.247 acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras, com 8.233 mortes e 26.182 feridos graves. Além desses altos custos econômicos, não se pode mensurar o que simboliza a perda de uma vida humana ou os danos psíquicos e estresses traumáticos aos quais as famílias e as vítimas são submetidas posteriormente às ocorrências dessa natureza.

Segundo Gold (1998), estes acidentes são, em sua maioria, causados por fator humano e, devido a este fato, as únicas soluções propagadas principalmente no meio publicitário são as da fiscalização, educação e punição dos pedestres e motoristas. O autor ressalta a importância destes fatores e da urgência de medidas corretivas. Contudo, aponta as pesquisas e estudos elaborados no Brasil, e no exterior, que mostram que a inconformidade da sinalização, dos veículos e da construção e manutenção das vias e calçadas constituem fatores colaboradores em muitos acidentes (Teixeira & Mascarenhas, 2022; Menezes, 2018; Teixeira et al., 2023).

Projeto geométrico mal elaborado e/ou execução inadequada somam um dos fatores causais de acidentes. Dessa forma, é importante o cumprimento das normas vigentes no país nas fases de concepção e execução de projetos rodoviários, visto que estas foram elaboradas de forma a garantir a segurança e o conforto dos usuários (Teixeira et al., 2023; Lee, 2015).

A abordagem adotada para atingir o objetivo deste estudo foi a realização da análise dos números de acidentes ocorridos nos últimos seis anos para verificar se o local em particular exibiu uma constância de acidentes de trânsito excepcionalmente elevada de acordo com os índices globais da malha viária, isto é, se o trecho curvo tratava-se de um trecho crítico; posteriormente, a realização da análise das características geométricas do segmento para, assim, estabelecer ou não uma relação entre o número de acidentes e o desempenho em segurança.

Esse artigo está organizado em seis seções: Além desta introdução, apresenta-se uma justificativa e revisão teórica a respeito do tema, incluindo os fatores colaboradores para as ocorrências de acidentes, bem como os agrupamentos das metodologias para o tratamento de acidentes de tráfego em rodovias. A seguir é apresentado o método de trabalho, desde a análise dos dados ao tratamento das informações coletadas no levantamento topográfico. Os resultados são apresentados e discutidos e, na última sessão, são apresentadas as principais conclusões da pesquisa.

## 2. A Engenharia Aplicada à Redução dos Acidentes nas Rodovias Brasileiras

De forma geral, a experiência brasileira no tratamento de acidentes de trânsito adota um modelo instantâneo de soluções, onde a resolução do problema é ligada ao cumprimento de técnicas tradicionais no setor de sinalizações horizontal, vertical e semaforica acompanhadas de correções na geometria da via enfatizando na melhoria da fluidez e, não precisamente, na geração da segurança.

## 2.1 Fatores Contribuintes para a Ocorrência dos Acidentes

De acordo com Gold (1998), os fatores contribuintes para a ocorrência dos acidentes se dividem em três grupos básicos frequentemente inter-relacionados:

- a) Fatores humanos – referem-se a todos os fatores vinculados ao comportamento das pessoas envolvidas no acidente, tais como ingestão de álcool, desconhecimento do trajeto, tensão nervosa e distração;
- b) Fatores relativos ao veículo – referem-se a inconformidades no estado operacional de todos os veículos envolvidos no acidente;
- c) Fatores relativos à via/meio ambiente e ambiente construído – referem-se a todos os fatores vinculados de forma direta às características da via no momento do acidente, tais como pavimento excessivamente liso, superelevação inadequada da curva, poste de iluminação muito próximo à pista ou a ação da vegetação cobrindo as placas.

## 2.2 Metodologia para Tratamento de Acidentes de Tráfego em Rodovias

O DNIT disponibiliza um manual que apresenta diversos procedimentos para análise de acidentes de trânsito, denominado Metodologia para Identificação de Segmentos Críticos (DNIT, 2009). Estes procedimentos e métodos são utilizados no Brasil e servem para identificar os trechos críticos ou segmentos críticos em relação à segurança. Eles podem ser agrupados em:

- a) Métodos *a posteriori* - solicitam a utilização de registros de acidentes ocorridos em um dado período de tempo e, em alguns casos empregam informações relativas ao volume de tráfego e/ou características físicas de um grupo de rodovias ou simplesmente de uma rodovia ou de um trecho;
- b) Métodos *a priori* - não se fundamentam de forma direta nos dados históricos de acidentes, mas sim em fatores que supostamente estão relacionados com a ocorrência destes.

## 3. Metodologia

A pesquisa realizada teve caráter prático com metodologia descritiva, a abordagem sobre o tema foi realizada de forma quali-quantitativa. A seguir serão apresentados os procedimentos de forma linear aos quais o trabalho pôde ser concluído.

### 3.1 Coleta e Tratamento de Dados dos Acidentes

Os dados dos acidentes de trânsito utilizados no trabalho foram extraídos da base da Polícia Rodoviária Federal de Itabuna (Bahia), a partir dos Boletins de Acidentes de Trânsito (BAT) que é o documento no qual a PRF registra os acidentes que ocorreram nas rodovias federais. Além da quantidade de ocorrência, foram retiradas da base de dados algumas características de cada acidente, entre elas o sentido no qual o veículo transitava (Sentido Itabuna-Aurelino Leal e sentido Aurelino Leal-Itabuna).

O tratamento de dados foi realizado a partir das recomendações do Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo (DNER, 1998). O processo de levantamento foi dividido nas seguintes etapas:

- a) Histórico do segmento - preparou-se uma série histórica, a partir do ano-base, por um período de seis anos, em sequência, verificou-se a permanência desse segmento como concentrador de acidentes;
- b) Comportamento das ocorrências – analisou-se as características dos acidentes ocorridos no segmento em estudo durante o período analisado, contendo:
  - Evolução da frequência dos acidentes;
  - Distribuição de acidentes nos períodos do dia;

- Distribuição do número de acidentes em função do sentido.
- c) Características dos Acidentes (Tabela-Resumo) - Consistiu em transferir os dados principais para uma tabela-resumo, facilitando, desta forma, a análise dos acidentes e de suas características.

### 3.2 Identificação do Trecho

Para a verificação do trecho como potencial de crítico ou não, empregou-se a metodologia GDV-ISK (DNIT, 2009). A aplicação dessa metodologia consiste em selecionar áreas críticas com o auxílio de mapas eletrônicos de registro de acidentes

De acordo com o manual Metodologias para Identificar e Realizar Tratamento de Acidentes de Tráfego em Rodovias (2006), os pontos críticos pelo método GDV-ISK são identificados tanto nos mapas anuais ou como nos trienais de registro de acidentes. A determinação dos pontos críticos é estabelecida a partir dos índices limites de acidentes, assim também para a frequência de acidentes. Pontos com frequência acima dos índices limites fixados são considerados pontos críticos, como é mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1** - Valores referenciais limites para a definição de ponto crítico.

| Mapas de Registros de acidentes Típicos                     | Período de análise | Número de acidentes |
|---|--------------------|---------------------|
| De um ano (Todos os acidentes)                              | 12 meses           | 5                   |
| De três anos (apenas acidentes com vítimas)                 | 36 meses           | 5                   |
| De três anos (apenas acidentes com mortes e feridos graves) | 36 meses           | 3                   |

Fonte: DNIT (2009, p. 34).

### 3.3 Levantamento com a Estação Total

Com a autorização da PRF e DNIT, sinalizou-se a rodovia por meio de cones de sinalização. Para execução do levantamento planialtimétrico foi utilizado a estação total que é um instrumento eletrônico empregado na medida de ângulos e distâncias. Especificamente, neste trabalho utilizou-se uma estação total da marca Topcon, modelo ES-105, com precisão nominal de 5'' para ângulos horizontais e zenitais, e  $\pm 2\text{mm} + 2\text{ppmm}$  para distâncias. Para iniciar o levantamento, registou-se as coordenadas do ponto inicial da poligonal através do GPS, onde foi possível calcular eletronicamente os azimutes. Mais detalhes sobre levantamentos topográficos podem ser vistos em Teixeira et al. (2022a; 2022b).

Foram marcados 4 pontos principais de observação livres de obstáculo, nos quais foram inseridos na Estação Total as alturas referentes ao leitor do instrumento. E, a partir dos pontos principais, o prisma encaixado no bastão metálico foi posicionado sobre os pontos de medição.

Todas as placas, redutores de velocidade e interseção foram registrados. Construiu-se uma malha de pontos sobre as faixas, acostamentos e sarjetas. Foram marcados também pontos referentes às cotas topográficas do terreno circunvizinho, totalizando o registro de 450 pontos na curva.

### 3.4 Tratamento dos Dados da Estação Total com o Autocad Civil 3d

Para tratamento dos dados da Estação Total, utilizou-se o software AutoCad Civil 3D que tem finalidade de realizar modelagem de informações para construção empregando em sistema a tecnologia BIM para uso em projetos e documentação da Engenharia Civil.

### 3.5 Obtenção Dos Parâmetros Geométricos

Por meio do Civil 3D foi possível encontrar geometricamente os parâmetros da curva horizontal e alguns parâmetros da curva vertical. Algumas características foram calculadas por meio das equações básicas contidas nas literaturas de projeto geométrico de rodovias, utilizando o a planilha eletrônica da *Microsoft Office*, o *Excel*.

## 4. Resultados E Discussões

### 4.1 Registros de Acidentes

A base da Polícia Rodoviária Federal de Itabuna forneceu os dados dos acidentes ocorridos na curva do padre nos últimos seis anos. Durante o ano de 2017 foram registrados alguns acidentes de trânsito com mortos e feridos graves, porém a análise proposta no trabalho é de verificação anual. Como o ano de 2017 esteve vigente durante a pesquisa, os dados referentes ao período foram descartados. A Tabela 2 apresenta o número de todos os acidentes ocorridos a cada ano analisado.

**Tabela 2** - Quantidade de acidentes ocorridos nos anos em estudo.

| Ano  | Quantidade de acidentes |
|------|-------------------------|
| 2012 | 20                      |
| 2013 | 26                      |
| 2014 | 23                      |
| 2015 | 12                      |
| 2016 | 03                      |

Fonte: Base da PRF de Itabuna (2017).

A partir da Tabela 2, pôde-se notar que a partir do ano de 2015 houve uma redução significativa no número de acidentes registrados, deve-se a este fato a criação do E-dat (Declaração de acidente de trânsito), onde os acidentes menos graves - onde não há vítimas, apenas pequenos danos materiais -, são declarados pelos usuários em sistema *online* disponibilizado pela PRF. Assim, nesses casos não são confeccionados Boletins de Acidentes de Trânsito (BAT).

#### 4.1.1 Identificação como ponto crítico

De acordo com o manual Metodologia para identificação de segmentos críticos (2009), os pontos críticos pelo método GDV-ISK são identificados tanto nos mapas anuais ou como nos trienais de registro de acidentes. A determinação dos pontos críticos é estabelecida a partir dos índices limites de acidentes, assim também para a frequência de acidentes. Pontos com frequência acima dos índices limites fixados são considerados pontos críticos.

A Tabela 3 apresenta a quantidade de acidentes ocorridos para cada ano, assim como o número referencial de acidentes limites para identificação de ponto crítico.

**Tabela 3** - Quantidade de acidentes ocorridos e o número referencial.

| Ano  | Quantidade de acidentes |                                 |
|------|-------------------------|---------------------------------|
|      | Todos os acidentes      | Número referencial de acidentes |
| 2012 | 20                      | 05                              |
| 2013 | 26                      | 05                              |
| 2014 | 23                      | 05                              |
| 2015 | 12                      | 05                              |
| 2016 | 03                      | 05                              |

Fonte: Base da PRF de Itabuna (2017).

Nota-se claramente que o trecho curvo analisado, trata-se de um ponto crítico. Todos os valores apresentados até o ano de 2014 são muito superiores ao limite estipulado. O ano de 2015 que teve sua amostra perturbada pela alteração de sua fonte, ainda apresenta um número de acidentes superior ao dobro do valor balizador. Somente o ano de 2016, onde os registros foram elaborados totalmente pelo usuário através de sistema virtual, apresentou um número menor do que o estipulado. Deve-se ressaltar que o valor limite anual toma como referência todos as ocorrências possíveis, desde às de menor gravidade até às que ocasionam morte dos envolvidos, isto é, constitui-se do somatório dos acidentes sem vítimas, com vítimas e dos fatais. E os dados referentes ao período de 2015, trata-se de acidentes graves que foram catalogados pela PRF.

Ainda, segundo os registros de acidentes do DNIT e PRF (apud Schirmer e Caus, 2014), no período de 2007 a 2011 pôde ser verificado, através de cálculos estatísticos que o valor da média de acidentes nos trechos rurais por ano a cada quilômetro foi 3,6 e o valor da média de acidentes, considerando a média não perturbada estatisticamente referente aos anos de 2012 a 2014, por ano para o Km 448 foi de 23.

Ao ser realizado uma visita à base do DNIT de Itabuna, foi possível extrair um quadro que analisava os quilômetros concentradores de acidentes da Rodovia 101. Verificou-se também, por meio dos dados do DNIT, que a “curva do padre” se constitui um concentrador de acidentes.

#### **4.1.2 Análise dos dados disponíveis**

Realizada a revisão dos boletins de acidentes para identificação de criticidade do ponto, é necessário realizar uma análise dos dados disponíveis, tendo como principais finalidades a caracterização dos problemas do local e a identificação de fatores comuns entre os acidentes registrados. A seguir são apresentados alguns pontos analisados.

##### **4.1.2.1 Evolução da frequência dos acidentes**

Considerando os anos analisados, se fosse traçar uma reta entre os pontos dispersos seria formado uma reta tendendo à constância. Frequências altas e constantes raramente provém de fatores como o crescimento do volume de tráfego. De forma geral, devem-se a elevados volumes de veículos e/ou pedestres e certas características constantes do local, isto é, existe a possibilidade das características físicas - por serem imutáveis nesse tempo - ser um dos agentes causais.

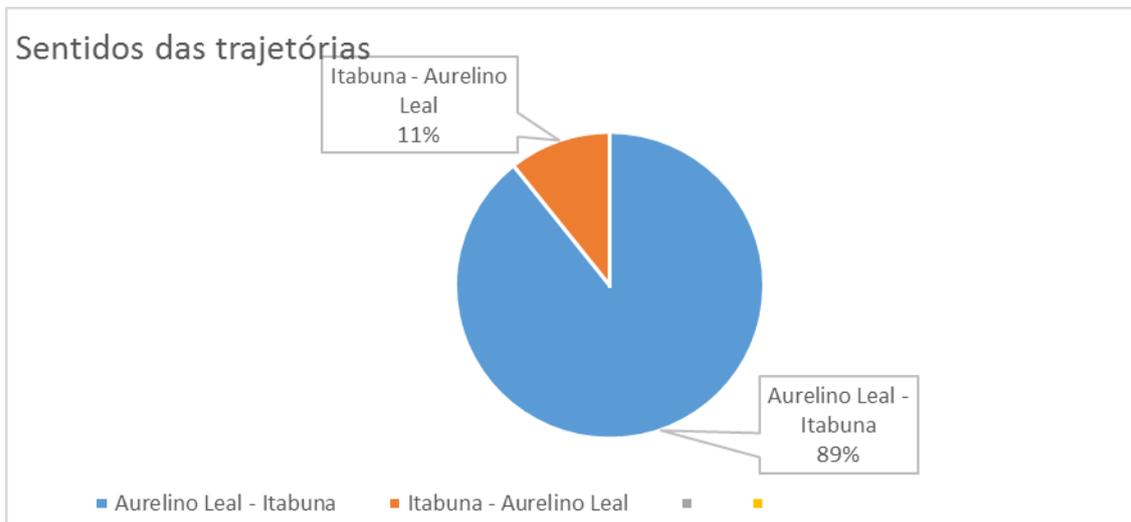
##### **4.1.2.2 Distribuição de acidentes nos períodos do dia**

Por meio das características apresentadas dos acidentes registrados pela PRF, verifica-se que dos 84 acidentes ocorridos, apenas três sucederam ao anoitecer, nove ao amanhecer e 17 durante a noite. Com um número destaque para o dia, obtendo 55. Esta análise permite eliminar a deficiência da iluminação noturna como fator gerador principal de acidentes.

#### 4.1.2.3 Distribuição do número de acidentes em função do sentido

Ao verificar os sentidos das trajetórias dos veículos envolvidos nos acidentes, fez-se necessário demonstrar no Gráfico 1 a relação percentual dos mesmos.

**Gráfico 1** – Relação entre os acidentes e os sentidos das trajetórias.



Fonte: Autores (2023).

Verifica-se que somente 11% dos acidentes aconteceram no sentido Itabuna/Aurelino Leal, enquanto para o sentido oposto - Aurelino Leal/Itabuna – obtêm 89% dos acidentes. Esta é uma relação importante, na qual pode-se atribuir a forma do greide como um dos fatores responsáveis, pois a curva apresenta um decaimento longo com alta declividade no sentido Aurelino Leal/Itabuna.

#### 4.1.3 Características dos acidentes

A Tabela 4 apresenta um resumo das características dos acidentes.

**Tabela 4** – Resumo das características dos acidentes.

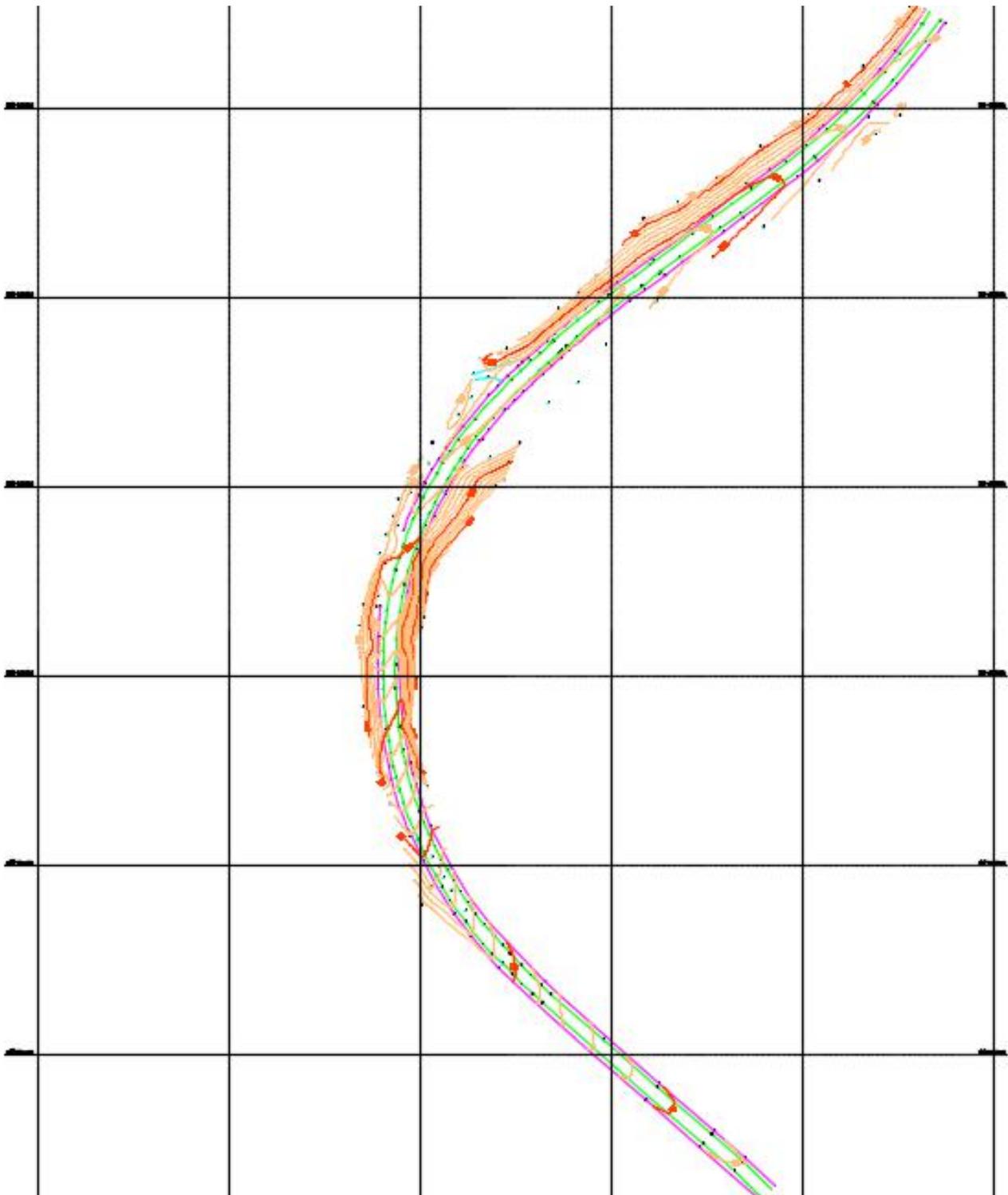
|  |                         |
|--|-------------------------|
| Maior número de acidente no período de um ano      | 26                      |
| Comportamento evolutivo da frequência de acidentes | Constante               |
| Período do dia com maior número de acidentes       | Dia                     |
| Sentido com maior número de acidentes na rodovia   | Aurelino Leal - Itabuna |

Fonte: Autores (2023).

#### 4.2 Tratamento dos Dados da Estação

Após a execução do levantamento topográfico, descarregou-se a estação total para obtenção dos dados. O tratamento para modelagem foi realizado no AutoCad Civil 3D. Os pontos foram georreferenciados, onde a Figura 1 apresenta a nuvem de pontos com as cotas topográficas e as curvas de nível.

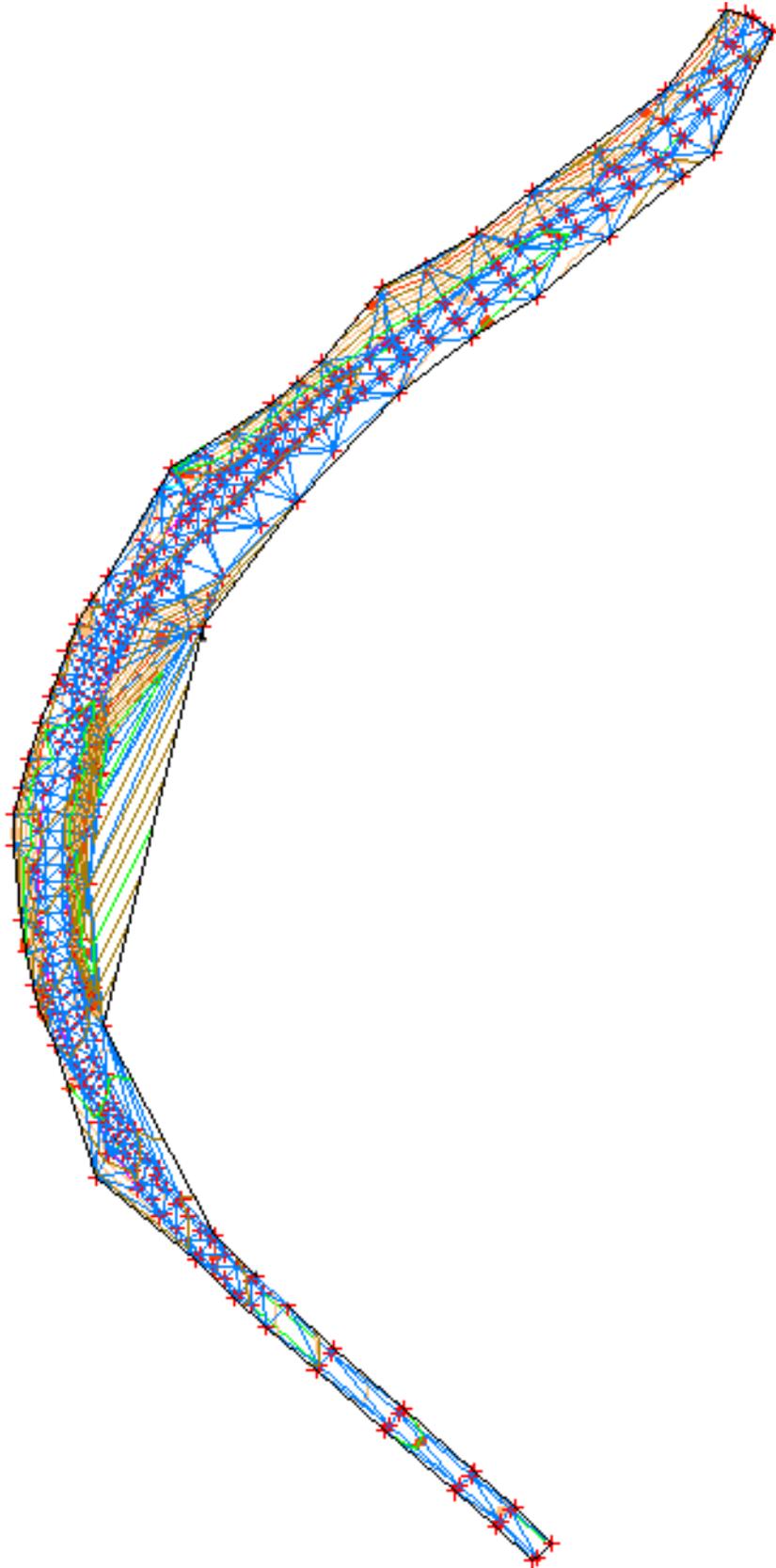
**Figura 1** - Curvas de Nível.



Fonte: Autores (2023).

Com o intuito de realizar a modelagem computacional, executou-se a triangulação de toda a malha para gerar a superfície a ser trabalhada. A Figura 2 apresenta a superfície da curva do padre modelada através do Civil 3D.

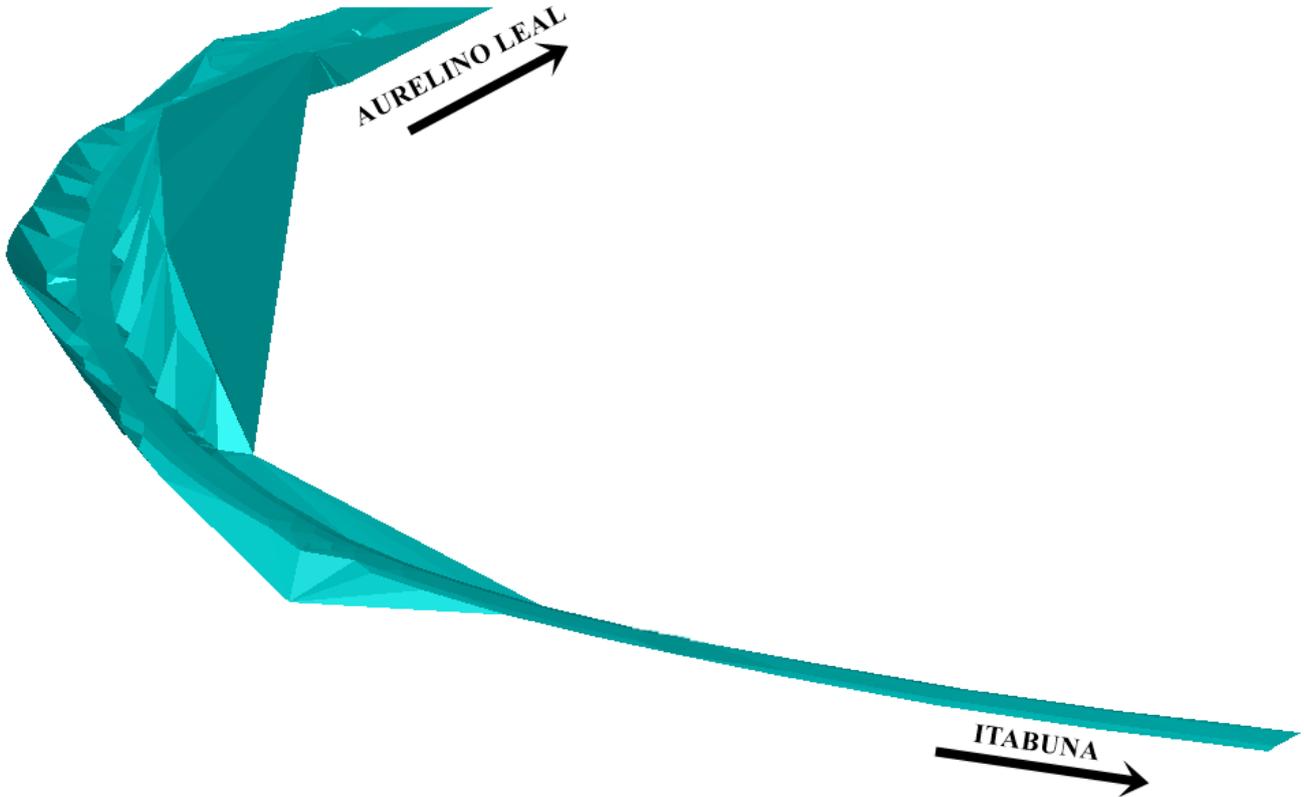
**Figura 2** - Triangulação da Curva do Padre.



Fonte: Autores (2023).

A partir da superfície triangulada criada por meio dos pontos, foi possível gerar o modelo tridimensional da curva. A Figura 3 apresentam o trecho da rodovia em 3D.

**Figura 3** - Modelagem da Curva do Padre.



Fonte: Autores (2023).

A partir da modelagem da Curva do Padre, é possível observar de forma mais expressiva a situação problema. Deve-se atentar ao talude existente na parte direita da pista de rolamento mostrada na Figura 3. O ponto limite vertical na imagem apresenta variação de nível de aproximadamente dez metros, na situação real ainda existe um prolongamento desse talude, mas que não foi possível marcar em campo seu desnível devido à grande inclinação e altura. Toda a região é coberta pela vegetação, a qual impede a visibilidade do motorista.

### 4.3 Estudo do traçado geométrico

#### 4.3.1 Valores máximos e mínimos admissíveis

A base do DNIT de Itabuna disponibilizou as características do segmento rodoviário em estudo, classificado como rural. Em função do Volume Médio Diário, pode-se dizer que a classe técnica da rodovia é a CLASSE IB. A classificação topográfica indica um terreno montanhoso, isto é, para regiões com declividade superior a 20%.

Por meio da classificação técnica, foi possível retirar as características básicas recomendadas e obrigatórias de acordo com as normas do DNIT.

Para a determinação do comprimento da espiral  $L_c$  foi utilizado a eq. (1), onde  $V$  é a velocidade diretriz e  $R_{\min}$  é o raio mínimo da curva circular simples:

$$L_{c,min} = 0,036 \frac{V^3}{R_{min}} \quad (1)$$

$$L_{c,min} = 0,036 \frac{60^3}{125} \quad (2)$$

$$L_{c,min} = 62,21 \text{ m} \quad (3)$$

Que é maior que o mínimo admissível de 30 m.

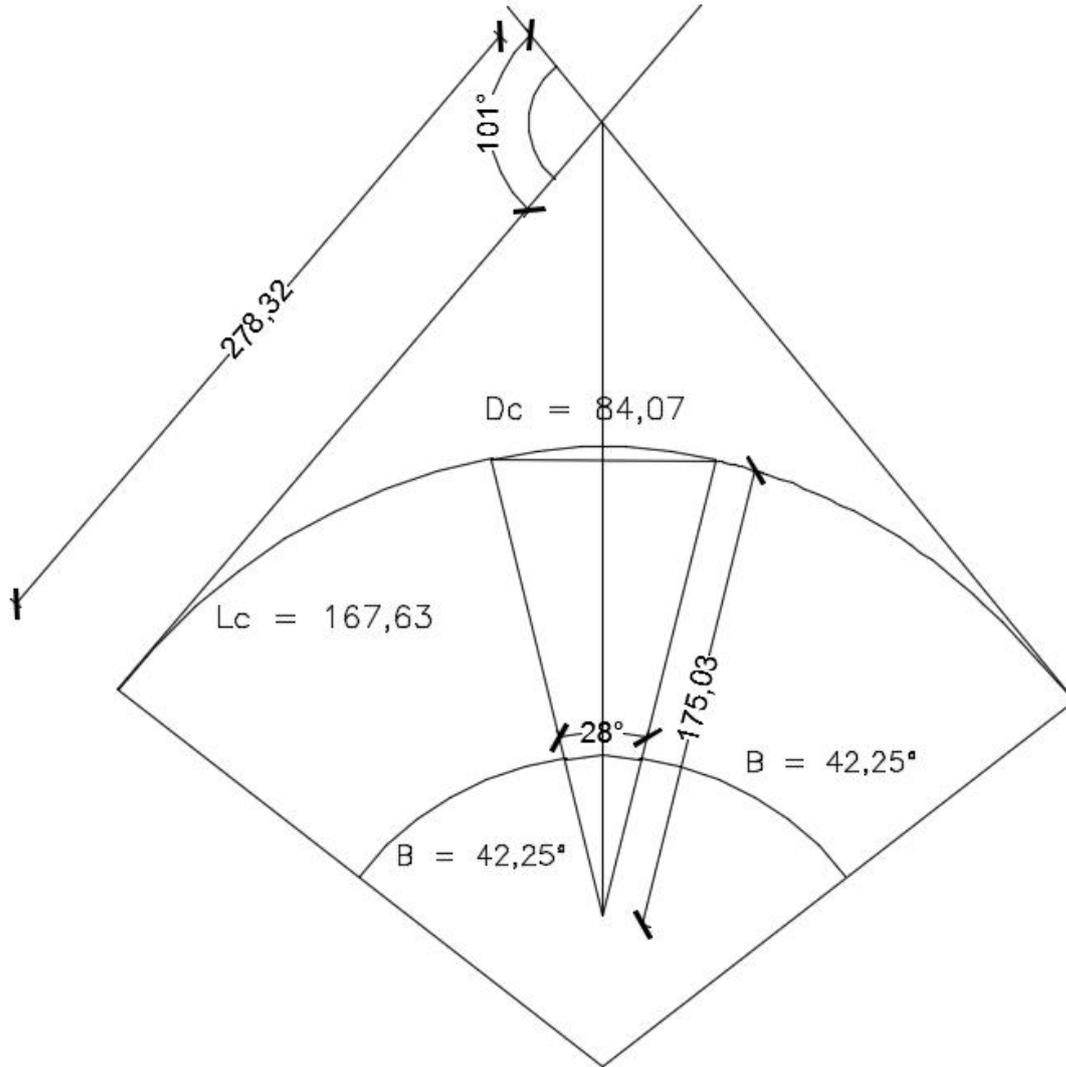
Pode-se definir também o comprimento máximo da espiral como o dobro da mínima:

$$L_{c,máx} = 2 L_{c,min} = 124,42 \text{ m} \quad (4)$$

#### 4.3.2 Determinação do raio da curva circular

A partir do auxílio do Civil 3D, foi determinado o raio da curva circular. Através da marcação aproximada do ponto de interseção, do ponto de curva e do ponto de tangente, fez-se a interseção entre as tangentes formadas nas curvas à esquerda e à direita em função do desenvolvimento e foi determinado o ângulo central, a tangente externa, o desenvolvimento (ou comprimento) da curva circular, o ângulo de deflexão e o comprimento das espirais. A Figura 4 apresenta o modelo de obtenção das características da curva horizontal realizado no Civil 3D.

**Figura 4** - Esquema da concordância com a espiral de transição.



Fonte: Autores (2023).

A Tabela 5 apresenta os valores encontrados para as características da curva horizontal.

**Tabela 5** - Características da curva horizontal.

|   |          |
|---|----------|
| Raio da curva circular simples                        | 175,03 m |
| Ângulo central correspondente a um ramo da espiral    | 42,25°   |
| Comprimento da (ou desenvolvimento em) curva circular | 84,07 m  |
| Comprimento da espiral                                | 167,63m  |
| Tangente externa ou exterior                          | 278,32m  |
| Ângulo de deflexão                                    | 101°     |

Fonte: Autores (2023).

#### 4.3.3 Distância de visibilidade

O comprimento mínimo admissível para as curvas verticais convexas é dado de acordo com as condições necessárias de visibilidade nas curvas, de modo a oferecer ao motorista o espaço suficiente a uma frenagem segura.

Para a análise da curva horizontal, foi realizado um esquema para representar o talude existente no trecho. Desconsiderou-se a vegetação, que interfere de forma negativa na visibilidade do motorista. Portanto, a situação analisada oferece uma verificação na melhor hipótese – aquela à qual não existe vegetação.

A partir do Civil 3D, analisou-se as distâncias de visibilidade máxima para cada segmento da curva. Desta forma, pode-se determinar geometricamente a distância mínima de visibilidade da curva horizontal, obtendo como valor 68,05 m.

A análise foi feita também para a curva vertical que forma a curva do padre. Foi montado o estaqueamento ao longo da curva que foi utilizada para a determinação da distância mínima de visibilidade. De acordo com o DNIT, no trecho em curva analisado, que tem raio entre 100 m e 600 m, é obrigatório marcar os pontos correspondentes às estacas com distância máxima de 10 m, mas de maneira a melhorar a precisão na caracterização do eixo nas curvas, o estaqueamento foi feito com distâncias de aproximadamente 7 m.

A análise realizada para determinação da distância mínima de visibilidade foi baseada no critério atualmente estabelecido pelas normas do DNIT. Considerou-se um motorista, com os olhos postados a 1,10 m de altura sobre a pista e foi posicionado um obstáculo de 0,15 m de altura acima da pista. Mediu-se as distâncias para um número finito, porém elevado, de possibilidades para simular a situação proposta pelas normas. Desta forma, foi possível determinar o comprimento mínimo de visibilidade da curva vertical convexa.

A partir do Civil 3D, pode-se simular as condições impostas pelas normas. A Figura 5 mostra como foi obtido a distância de visibilidade mínima para a curva vertical.

**Figura 5** - Distância mínima de visibilidade de parada para curva vertical.



Fonte: Autores (2023).

#### 4.3.4 Superelevação

Na execução do levantamento topográfico, foi levantado os pontos das faixas esquerda e direita de maneira a formar uma reta com um ângulo aproximadamente de 90° com a tangente, possibilitando a análise de corte na plataforma.

Por meio das coordenadas e da trigonometria básica, foi possível determinar as variações horizontais entre os pontos. Em um dos cortes da plataforma por possível verificar uma variação vertical de 0,652m e variação horizontal de 6,570m. Desta forma, determinou-se a superelevação encontrando a superelevação percentual máxima [ $e_{máx}$ ] da curva em análise, 9,92%.

Para os trechos em curva existe uma largura adicional comparada à largura da pista em tangente, a superlargura. Observe que, para as variações vertical e horizontal encontradas na curva que determinou a superelevação máxima, o ângulo de inclinação da plataforma é de 5,667°, fazendo com que a largura da plataforma seja de 6,60m. O mesmo foi observado para outras seções. Portanto, a largura da pista é menor do que a exigida pelas normas, considerando a Classe 1B, como

consequência a largura da pista em curva – que deveria ser somado um extra à largura em tangente – tem sua largura inferior à recomendada (com superlargura).

#### 4.3.5 Rampa máxima

Para determinação da rampa máxima, foi analisado o perfil da curva vertical. O gráfico foi dividido em vários intervalos de verificação onde todo intervalo iniciava em um ponto A e finalizava em um ponto B, para verificar a variação da cota de cada segmento. Os trechos retos do greide podem ser aclives (inclinação positiva) e declives (inclinação negativa). Por meio das coordenadas e da trigonometria básica, foi possível determinar as variações horizontais e verticais entre os pontos. Com o auxílio do Excel, determinou-se a rampa para todos os intervalos que formavam a curva em análise, onde foi encontrado uma rampa máxima de 7,55%, considerando um dos intervalos da curva vertical de comprimento horizontal de 6,93m e variação vertical de 0,523m.

#### 4.4 Resumo das Características Geométricas da Curva

Finalizada as verificações propostas no trabalho, fez-se possível apresentar um resumo das características geométricas da curva, podendo-se realizar a comparação entre o que existe atualmente e o que as normas do DNIT recomenda. Os principais aspectos para comparação estão expressos na Tabela 6.

**Tabela 6 - Resumo comparativo.**

| Descrição   | Definição                                     |                 |
|---|---|-----------------|
| Classe de projeto ou nível de serviço                       | CLASSE IB                                     |                 |
| Topografia do terreno                                       | Montanhoso                                    |                 |
| Descrição   | Valor recomendado                             | Valor existente |
| Velocidade de projeto                                       | 60 Km/h                                       | 60 Km/h         |
| Raio mínimo de curva horizontal (para superelevação máxima) | 125 m   | 175,03 m        |
| Comprimento mínimo e máximo de espirais                     | 62,21 e 124,42 m                              | 167,63 m        |
| Taxa de superelevação máxima                                | 8,00%   | 9,92%           |
| Taxa de superelevação mínima                                | 2,50% a 3,00%                                 |                 |
| Rampa máxima  | 6%  | 7,55%           |
| Distância de visibilidade de parada                         | Mínimo desejável: 85m<br>Mínimo absoluto: 75m | 19,07 m         |

Fonte: Autores (2023).

Ao analisar a Tabela, pode-se notar que o raio da Curva do padre é superior ao mínimo exigido nas normas do DNIT para Classe Técnica 1B. Esse é um fator positivo se considerado isoladamente. No entanto, sabendo que todas as características geométricas de uma rodovia se dão em função de outros parâmetros, não se deve avaliar uma única variável.

Após ser feita a determinação do comprimento das espirais existentes no local por meio do Civil 3D, foi possível verificar que o comprimento encontrado é superior ao máximo exigido para a classe da rodovia.

Em relação a superelevação mínima admissível, mesmo quando as forças centrífugas não sejam tão significativas, deve-se ter um valor igual ao do abaulamento, com a finalidade de assegurar a drenagem superficial. Sabe-se que a superelevação é dada também em função do coeficiente de atrito transversal.

Considerando o pavimento de Concreto Betuminoso Usinado a Quente médio do segmento analisado, informação retirada da base do DNIT de Itabuna, as normas do DNIT consideram adequada o emprego do valor para o abaulamento no

projeto de rodovias convencionais entre 2,5 a 3,0%. O valor de superelevação máxima encontrado na curva foi de 9,92%, o que ultrapassa o valor limite de 8%.

A rampa máxima encontrada nas verificações geométricas também se mostrou inadequada, excedendo os 6% limite com 7,55%.

Desde a etapa de levantamento topográfico, foi possível verificar, a partir de análise visual, que a distância de visibilidade do trecho era bastante desconfortável, indicando um propício fator colaborador de acidentes. As normas do DNIT recomendam uma distância mínima de visibilidade de parada de 85 m, sendo aceitável até 75m. No entanto, encontrou-se segmentos com distâncias inferiores ao limite, com valor mínimo de 19,07 m.

#### **4.5 Melhorias Realizadas Em 2017**

O DNIT com o objetivo de identificar os locais de incidência de acidentes e tratar adequadamente os pontos críticos das rodovias, organizou seus setores para realizar intervenções para reduzir o número de ocorrências. A Diretoria de Infraestrutura de Transportes, a Coordenação Geral de Operações Rodoviárias e a Coordenação de Segurança e Engenharia de Trânsito promoveram o Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária, conhecido também por BR – LEGAL.

Identificados os segmentos críticos, a equipe de projeto foi ao campo para buscar as informações que faltavam ou verificar dados inconsistentes, desatualizados ou sem confiabilidade dos trechos definidos. Realizou-se, além disso, levantamentos do inventário da sinalização horizontal, vertical, dispositivos auxiliares e dos dispositivos de segurança implantados no trecho em estudo e demais elementos.

As informações coletadas foram registradas por meio de planilhas individuais e consolidadas constando:

- a) Características do segmento;
- b) Inventário da sinalização vertical;
- c) Inventário de pórticos e semipórticos;
- d) Inventário da faixa de domínio;
- e) Inventário dos postos e radares;
- f) Inventário da sinalização horizontal;
- g) Inventário de tachas e tachões;
- h) Inventário de defensas metálicas

Através da base do DNIT de Itabuna foi possível verificar as investigações realizadas na curva do padre. Após a realização dos inventários que observaram as inadequações dos elementos de sinalização, houve em 2017 uma reforma dos dispositivos de segurança. Espera-se que com a aplicação dessas medidas preventivas possa reduzir o índice de acidentes no trecho.

## **5. Conclusões**

Ao longo deste trabalho foram analisados os números de acidentes ocorridos no trecho da rodovia federal BR 101, Km 448, e foi realizada a determinação das características do traçado geométrico do segmento.

Por meio da análise dos dados dos acidentes ocorridos na curva do padre, foi possível definir o trecho como sendo crítico. O segmento da rodovia federal apresentou um índice médio de 23 acidentes por ano, para o período de 2012 a 2014, sendo, portanto, muito superior à média de acidentes nos trechos rurais por ano a cada quilômetro, 3,6 acidentes.

Após a criação do E-dat, o número de acidentes reduziu. Todavia, esta redução não simbolizou a ausência de ocorrência de eventos dessa natureza, mas sim, constitui-se provavelmente da consequência na alteração da base registradora, pois a Polícia Rodoviária Federal passou a não possuir a total responsabilidade pelos registros, cabendo aos envolvidos nos

acidentes, classificados como leves, registrar as ocorrências. As análises das características permitiram notar um comportamento constante nos números de acidentes, que indicou um vínculo com uma característica imutável ao longo do tempo, como as características de projeto. Notou-se também, como período predominante, o diurno, que eliminou uma possível suposição de deficiência da iluminação noturna como fator gerador principal de acidentes.

Ao analisar as características geométricas da curva, foi possível verificar uma série de inconformidades. A superelevação é utilizada para vencer a força centrífuga, ela é indispensável para a segurança da curva. O valor de superelevação encontrado na curva foi superior à superelevação máxima admissível, que garante que não ocorra tombamento dos veículos para o lado interno da curva quando estes ficam parados sobre ela. A superelevação encontrada foi próxima à máxima superelevação de rodovias de elevado padrão, as quais têm suas velocidades diretrizes elevadas. Pôde-se notar que a ocorrência de acidentes no sentido Aurelino Leal-Itabuna somou 89% dos casos, a superelevação da curva esteve diretamente relacionada a este percentual. Sendo a superelevação inversamente proporcional ao raio da curva, torna-se uma situação mais agravante, pois a máxima superelevação para curva analisada é menor, já que o raio é maior do que o mínimo estipulado. Portanto, infere-se que a superelevação não está cumprindo seu papel de fornecer segurança, mas está aumentando o risco de tombamento de veículos, principalmente dos veículos mais lentos que possuem componentes da força centrífuga menor. Além disso, contribuindo para esse agravante, a pista apresenta largura menor do que a exigida por norma, fazendo com que a superlargura não seja eficiente, pois não há largura equivalente, mesmo se fosse considerado como trecho em tangente.

O valor da rampa máxima também excedeu o seu valor limite, este fato gera problemas tanto para o motorista em aclave, quanto para o em declive. A rodovia analisada é trafegada por carretas bitrem, que possuem elevadas cargas. Em ascensão à rampa, um veículo a uma velocidade constante, ocasiona uma elevada potência de tração. E para o caso mais preocupante na curva do padre, por se tratar de uma curva bastante fechada, na descida da rampa - extensa - é exigido que o motor tenha capacidade de absorver uma enorme potência.

A característica geométrica da curva que apresentou a maior diferença entre o recomendado foi a distância mínima de visibilidade. O talude existente no centro da curva, impede a visualização horizontal do motorista. A situação se agrava para períodos em que a vegetação às margens se propaga, reduzindo ainda mais o alcance dos olhos do motorista. O fator visibilidade de parada foi ainda mais preocupante ao ter sido analisado a curva vertical, onde apresentou um comprimento mínimo irrisório.

Portanto, pôde-se concluir que as inconsistências geométricas (na superelevação, na largura da pista, na rampa máxima e na distância de visibilidade de parada) do trecho da rodovia federal BR 101, Km 448, que combinadas, estavam diretamente relacionadas ao seu baixo desempenho em segurança.

## Referências

- AASHTO (2001). American Association Of State Highway And Transportation Officials. *A policy on geometric design of highways and streets*. (4th ed.) Washington, D.C., 2001.
- Brasil (País) (1999) *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília.
- Brasil (País) (2005) *Manual de Projeto de Interseções*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília.
- Brasil (País) (2006) *Manual de Acesso de Propriedades Marginais a Rodovias Federais*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília.
- Brasil (País) (2010) *Manual de Projeto d Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília.
- DNER. (1999). *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais* – Departamento nacional de estradas e rodagens.
- DNIT. (2010). *Manual de Implantação básica de Rodovia. Ministério dos transportes*. Departamento nacional de infraestrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.

- DNIT. (2009). *Metodologia para Identificação de segmentos críticos*. Departamento nacional de infraestrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.
- IPEA. (2015). *Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras: Caracterização, tendências e custos para a sociedade – Relatório de Pesquisa*, 2015.
- IPEA. (2015). *Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea – Relatório de Pesquisa*, 2015.
- IPEA. (2020). *Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil: Estimativa Simplificada com Base na Atualização das Pesquisas do IPEA Sobre Custos de Acidentes dos Aglomerados Urbanos e Rodovias – Relatório de Pesquisa*.
- Gold, P. A. (1998). *Segurança de trânsito – aplicações de engenharia para reduzir acidentes*. São Paulo, SP: Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).
- Lee, S. H. (2015). *Introdução ao projeto geométrico de rodovias*. Ed. UFSC, Florianópolis.
- Menezes, L. S. (2018). *Determinação do nível de serviço da rodovia ilhéus-itabuna Pela metodologia do HCM 2000*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), UESC, Ilhéus-BA, 78 p.
- Schirmer E. C. (2014). Diagnóstico de Traçado Horizontal e Desempenho de Segurança de Trecho Rural da Rodovia BR-262. Departamento de Engenharia Civil da UFES. Vitória.
- Silva, C. F., & Teixeira, N. N. (2020). Modelo de Ondulação Geoidal Mapgeo2015: Análise da Viabilidade de sua Utilização na Determinação de Altitudes Ortométricas do Estado da Bahia. *SODEBRÁS*, 15, 82-91. <http://dx.doi.org/10.29367/issn.1809-3957.15.2020.179.82> .
- Teixeira, N. N., & Mascarenhas, R. C. O. (2022). Inspeção Visual Regular de Pontes de Concreto. *SODEBRÁS*, 17, 48-60. <http://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.17.2022.200.48> .
- Teixeira, N. N., Junior, D. C. C., & Galvão, L. A. (2022). Análise do Desempenho de Mapeamento Topográfico Planimétrico Executado dom Aeronave Remotamente Pilotada - RPA. *SODEBRÁS*, 17, 45-57, 2022. <http://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.17.2022.204.45> .
- Teixeira, N. N., Junior, D. C. C., & Rodrigues, W. S. (2022). Análise do Desempenho da Técnica de Posicionamento GNSS PPP-RTK em Tempos de Convergência Distintos. *RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT*, 11, E515111638680-23. [HTTPS://DOI.ORG/10.33448/RSD-V11I16.38680](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.38680) .
- Teixeira, N. N., Coutinho, E. S., & Vieira, J. R. S. (2023). Estimativa da Demanda de Fluxo de Tráfego da Rodovia BR 415 para um Horizonte Futuro de Dez Anos a Partir de 2018. *Revista Científica Semana Acadêmica*, 10, 1-27. <http://dx.doi.org/10.35265/2236-6717-228-12343> .
- Teixeira, N. N., Vieira, J. R. S., Jesus, D. S. de., Coutinho, E. S., & Menezes, L. S. (2023). Proposal for Geometric Reconfiguration for Access to the Integrated Unit of the FIEB System, on Rodovia BR 413, Km 13, Ilhéus-Bahia. *Research, Society and Development*, 12(1), e17012139736. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39736>