

PROJETO GEOMÉTRICO DE MELHORAMENTO DE UMA ESTRADA: ESTUDO DE CASO

José Ricardo Ribeiro Amorim¹

Laylla Martins de Souza²

Nágila Tomaz Epaminondas da Silva³

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Elaborar um projeto geométrico de uma estrada, assim como todo projeto de Engenharia, requer o cumprimento das respectivas normas, o que gera desafios quando existem limitações sejam elas em termos de materiais, espaço de trabalho, recursos financeiros, entre outros. Visando a aplicação dos conhecimentos e técnicas adquiridas no curso de Engenharia Civil, o presente trabalho apresenta um estudo de caso de um trecho de uma rodovia fictícia sujeita à uma obra de melhoramento, dos quais os dados levantados pertencem a um trecho dentro da Universidade Tiradentes, Campus Farolândia, cujas adjacências não permitem alterações que invadam as áreas adjacentes. O estudo envolveu a análise dos parâmetros desse trecho comparando-os aos exigidos pelas normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Pela impossibilidade de se fazer modificações no eixo principal da estrada, foram utilizados meios de sinalização, além da implementação da superlargura e superelevação, para reduzir a velocidade de projeto e manter o traçado, garantindo a segurança e fluidez no trânsito.

PALAVRAS-CHAVE

Projeto geométrico; limitação; sinalização.

ABSTRACT

Geometric design of highways, such as any type of Engineering project, becomes quite defiant when it has some limitations related to financial and material resources, sitework area, and any kind of conditions which confine the designer from keeping accordance with the standard rules. In this sense, it was developed a study case about a fictional highway stretch, located inside the Farolândia Campus at Tiradentes University, submitted to an improvement project in a restricted area where does not allow significant modification. Using knowledge acquired in the Civil Engineering course, it was developed an analytical process over the proposed problem comparing collected data with standard norms parameters determined by the National Department of Infrastructure and Transportation (DNIT, in Portuguese) and National Department of Highways (DNER, in Portuguese). Against the limitations imposed by the surrounding area, it was applied highway signage in addition to superelevation and widening of curves, aiming at slowing down the design speed and ensuring safety and traffic flow.

KEYWORDS

Geometric project. Limitation. Signage.

1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo a infraestrutura de transportes era composta em sua maioria por ferrovias, utilizada apenas para ligações entre regiões dignas de exportações aos portos receptores, colaborando com o envio de matérias-primas, alimentos e minérios para terras estrangeiras.

Em meados do século XX, a infraestrutura de transportes foi marcada pela inserção da indústria automobilística, requisitando as estradas de rodagem, e pela construção de Brasília, marco que criou um polo, onde permitiu a criação de novos caminhos, dando início ao desenvolvimento de rodovias e à criação de normas pertinentes para um funcionamento adequado e padronizado.

Uma grande parte das normas abordam a disposição geométrica ideal para o funcionamento das rodovias e estradas, requerendo conhecimento em Topografia e Estradas voltado para projeto geométrico de curvas verticais e horizontais, declividade, distâncias máximas e mínimas entre curvas, entre outros aspectos, para garantir a segurança e conforto dos usuários.

Nesse contexto, o presente trabalho consiste no estudo do trecho de uma estrada a fim de identificar possíveis inconformidades normativas e, se necessário, apresentar melhorias por meio de um novo projeto geométrico, propondo um traçado de forma a atender aos parâmetros exigidos pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

A metodologia utilizada engloba conceitos e técnicas de topografia, como levantamentos planimétrico e altimétrico, cálculo das declividades longitudinal e transversal,

além de cálculos específicos para o dimensionamento de estradas. O desenvolvimento do estudo se deu pela comparação dos resultados obtidos com os parâmetros exigidos pelas normas, apresentando-se possíveis soluções para a adequação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA DAS RODOVIAS

Cada extensão da rodovia deve ter suas características técnicas estabelecidas para atender: volume e composição do tráfego, velocidade, relevo do terreno, entre outros (DNER, 1999).

Os elementos geométricos estão relacionados a velocidade diretriz aplicada no projeto de estradas. A velocidade estabelece a maior parte das características técnicas, tais como: raio de curvatura, superlargura, superelevação, distância de visibilidade, das quais depende a operação segura e confortável dos veículos (FONTES, 1995).

Existem dois critérios principais para determinar um projeto de rodovia, segundo o DNER: o volume de tráfego e o relevo da região. O volume de tráfego é o número de veículos que passa pelo trecho em um certo intervalo de tempo, sendo a grandeza que expressa a demanda que solicita a rodovia. Conforme o objetivo, os volumes podem ser contados a um ou dois sentidos da locomoção. Podendo ser representado em dia ou hora.

O DNER determina cinco classes técnicas para o projeto de rodovias. Cada rodovia segue um padrão de acordo com a classe definida, podendo ser uma rodovia nova ou modificada.

De acordo com Lee (2000, p. 18-19), as classes subdividem-se em:

Classe 0: Corresponde ao melhor padrão técnico, com características técnicas mais exigentes, sendo sua adoção feita por critérios de ordem administrativa; trata-se de projeto de rodovia em pista dupla, com separação física entre as pistas, interseções em níveis distintos e controle total de acessos, com características de Via Expressa;

Classe I: Subdividida nas classes IA e IB; a Classe IA corresponde a projeto de rodovia com pista dupla, admitindo interseções no mesmo nível e com controle parcial de acessos, sendo a definição por esta classe feita com base em estudos de capacidade de rodovias; a Classe IB corresponde a projeto de rodovia em pista simples, sendo indicada para os casos em que a demanda a atender seja superior a 200 veículos por hora (vph) ou superior a 1.400 veículos por dia (vpd), mas não suficiente para justificar a adoção de classes de projeto superiores;

Classe II: Corresponde a projeto de rodovia em pista simples, cuja adoção é recomendada quando a demanda a atender é de 700 vpd a 1.400 vpd;

Classe III corresponde a projeto de rodovia em pista simples, sendo recomendada para o projeto de rodovias com demanda entre 300 vpd e 700 vpd;

Classe IV: Classe de projeto mais pobre, correspondendo a projeto de rodovia em pista simples, sendo subdividida nas classes IVA e IVB; A Classe IVA tem sua adoção recomendada para os casos em que a demanda, na data de abertura da rodovia ao tráfego, situa-se entre 50 vpd e 200 vpd, sendo a Classe IVB reservada aos casos em que essa demanda resulte inferior a 50 vpd.

São recomendados valores e características técnicas no projeto, respeitando as Normas vigentes do DNER, conforme a Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Características técnicas para o projeto de rodovias novas

DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Unidade	CLASSE 0			CLASSE I			CLASSE II			CLASSE III			CLASSE IV A			CLASSE IV B		
		Plano	Ond.	Mont	Plano	Ond.	Mont	Plano	Ond.	Mont	Plano	Ond.	Mont	Plano	Ond.	Mont	Plano	Ond.	Mont
Velocidade Diretriz Mínima	km/h	120	100	80	100	80	60	100	70	50	80	60	40	80	60	40	60	40	30
Distância de Visibilidade de Parada: - Mínimo Desejável - Mínimo Absoluto	m	310	210	140	210	140	85	210	110	65	140	85	45	140	85	45	85	45	30
	m	205	155	110	155	110	75	155	90	60	110	75	45	110	75	45	75	45	30
Distância Mínima de Visibilidade de Ultrapassagem	m	-	-	-	680 ^(B)	560 ^(B)	420 ^(B)	680	490	350	560	420	270	560	420	270	420	270	180
Raio Mínimo de Curva Horizontal (p/Superelev. Máx.)	m	540	345	210	345	210	115	375	170	80	230	125	50	230	125	50	125	50	25
Taxa de Superelevação Máxima	%	10	10	10	10	10	10 ⁽¹⁾	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Rampa Máxima:	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Máximo Desejável	%	3	4	5	3	4,5	6	3	5	7	4	6	8	4	6	8	6	8	10
- Máximo Absoluto	%	233	107	48	107	48	18	107	29	10	48	18	5	48	18	5	18	5	2
Valor de K para Curvas Verticais Côncavas:	m/%	102	58	29	58	29	14	58	20	9	29	14	5	29	14	5	14	5	2
- Mínimo Desejável	m/%	80	52	32	52	32	17	52	24	12	32	17	7	32	17	7	17	7	4
- Mínimo Absoluto	m/%	50	36	24	36	24	15	36	19	11	24	15	7	24	15	7	15	7	4
Largura da Faixa de Trânsito:	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Mínimo Desejável	m	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,50	3,30	3,50	3,30	3,30	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50
- Mínimo Absoluto	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Largura do Acostamento Externo:	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Mínimo Desejável	m	3,50	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,00	2,50	2,00	1,50	1,30	1,30	0,80	1,00	1,00	0,50
- Mínimo Absoluto	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Largura do Acostamento Interno:	m	0,60-1,20	0,60-1,00	0,50-0,60	Somente para a Classe IA;														
- Pistas de 2 faixas	m	2,00-3,00	2,00-2,50	2,00-2,50	Aplicam-se os mesmos valores														
- Pistas de 3 faixas	m	3,00	2,50-3,00	2,50-3,00	Indicados para a Classe 0.														
- Pistas de 4 faixas	m	-	-	-															
Gabarito Vertical (altura livre)	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Mínimo Desejável	m	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
- Mínimo Absoluto	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alargamento Mínimo do Bordo do Acostamento:	m	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
- Obstáculos Contínuos	m	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
- Obstáculos Isolados	m	10-18	10-18	10-18	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12
Largura do Canteiro Central:	m	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7
- Largura Desejável	m	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7
- Valor Normal	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Mínimo Absoluto	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) Somente para a Classe IA; para a classe IB, considerar 6%.

Fonte: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 161-168).

2.2 VELOCIDADE DIRETRIZ

Os padrões proporcionais pela visibilidade (superelevação, sinalização, entre outros) têm como influência a velocidade diretriz. Esta velocidade tem que ser igual em cada subtrecho, além de ser compatível com a classe da rodovia e do relevo (DNER, 1999).

2.3 DECLIVIDADE E RELEVO

Caracteriza-se por declive no terreno a tangente trigonométrica da inclinação do terreno, ou seja, o ângulo diedro do plano tangente com o plano horizontal (CASACA et al., 2011).

Júnior e outros autores (2014, p. 129) diz que a “declividade em porcentagem é a relação entre a distância vertical e a distância horizontal entre dois pontos, multiplicada por 100”.

A importância da declividade está relacionada à classificação do relevo, de acordo com os parâmetros e características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação do relevo conforme a declividade

CLASSIFICAÇÃO	DECLIVIDADE	DESCRIÇÃO
Plano	< 3%	Superfície de topografia lisa ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.
Suave ondulado	3 - 8%	Superfície de topografia ligeiramente movimentada, constituída por conjunto de pequenas colinas ou outeiros, ou sucessão de pequenos vales pouco encaixados (rasos), configurando pendentes ou encostas.
Ondulado	8 - 20%	Superfície de topografia relativamente movimentada, constituída por conjunto de medianas colinas e outeiros, ou por interflúvios de pendentes curtas, formadas por vales encaixados, configurando em todos os casos pendentes ou encostas.
Forte ondulado	20 - 45%	Superfície de topografia movimentada, com desníveis fortes, formadas por conjunto de outeiros ou morros, ou por superfície entrecortada por vales profundos, configurando encostas ou pendentes.
Montanhoso	45 - 75%	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes.
Escarpo	> 75%	Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, usualmente ultrapassando 75%, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias e vertentes de declives muito fortes.

Fonte: Lemos e Santos (1996).

2.4 VEÍCULOS DE PROJETO

Nas rodovias de melhoria deverá ser escolhido dentre os tipos de veículos mostrados na Tabela 3, abaixo, o veículo que irá representar o fluxo principal de forma adequada.

Tabela 3 – Principais dimensões básicas dos veículos de projeto (em metros)

Características	Designação do veículo								
	Veículo leve (VP)	Cam./Ônibus conv. (CO)	Ônibus urbano longo	Ônibus rodoviário (OR)	Carreta (CA)	Bitrem de 7 eixos (BT7)	Cegonheiro (CG)	Bitrem de 9 eixos (BT9)	Bitrem/ Rodov. Longo (BTL)
Largura total	2.1	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
A Comprimento total	5.8	9.1	12.2	14.0	18.6	19.8	22.4	25.0	30.0
Raio mín. da roda externa dianteira	7.3	12.8	12.8	13.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7
Raio de giro do eixo dianteiro (RED)	6.4	11.5	11.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	15.4
Raio mín. da roda externa traseira	4.7	8.7	7.1	7.7	6.4	6.8	2.0	4.5	3.9

Fonte: MT/DNIT/IPR (2009, p. 182).

Os parâmetros de projeto geométrico estabelecidos pelas normas do DNER consideram o caso geral de atendimento aos veículos tipo CO. Rodovias projetadas geometricamente para o atendimento a esse tipo de veículo atendem com bastante folga aos veículos do tipo VP, atendem satisfatoriamente aos veículos do tipo OR, e atendem aos veículos das demais classes em condições aquém das desejáveis, mas com restrições no geral aceitáveis.

2.5 ALINHAMENTO HORIZONTAL

Com relação aos raios mínimos das curvas horizontais, não é adequado utilizar raios com valores inferiores aos mínimos, pois não garante segurança suficiente para o tráfego que utilizará o trecho. Para esta situação é aconselhável que se aplique melhoramentos por meio da elevação da taxa de superelevação até o valor máximo permitido, aumento do raio adotado na curva ou, simplesmente, fazer uso de sinalização adequada naquele trecho, pois o mesmo se torna perigoso (DNER, 1999).

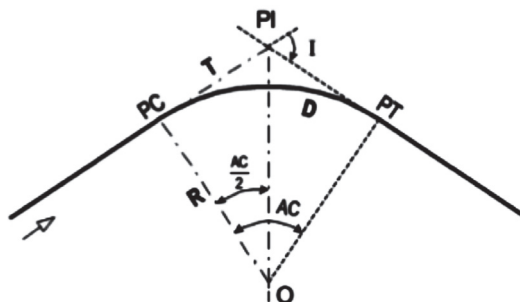
Sobre os gabaritos horizontais, deverão obedecer às recomendações para novas construções, objetos e dispositivos permanentes que serão implantados ou realizados nas obras. Com isso as falhas existentes nessas questões poderão ser eliminadas, onde, de forma desejável, os âmbitos dos serviços serão expandidos e, quando possível, os custos irão estar dentro dos limites razoáveis, podendo assim, ter uma rodovia com o seu nível de padrão desejável aumentado (DNER, 1999).

2.6 CONCORDÂNCIA COM CURVA CIRCULAR SIMPLES

Para a concordância de dois alinhamentos retos que se interceptam em um vértice, utiliza-se geralmente a curva circular. Esta preferência é devida às propriedades favoráveis que a curva circular proporciona tanto para tráfego, pelos usuários da rodovia, quanto para o próprio projeto da curva e posterior materialização no campo, por processos de locação (LEE, 2000).

A Figura 1, abaixo, representa o esquema de uma concordância com curva circular simples com os elementos técnicos característicos.

Figura 1 – Esquema da concordância com curva circular simples



Fonte: Lee (2000, p. 47).

Onde:

PI: Ponto de Interseção

PC: Ponto de Curva

PT: Ponto de Tangente

I: Ângulo de deflexão

AC: Ângulo Central

T: Tangente

D: Desenvolvimento ou comprimento da curva circular (m)

R: Raio da curva circular (m)

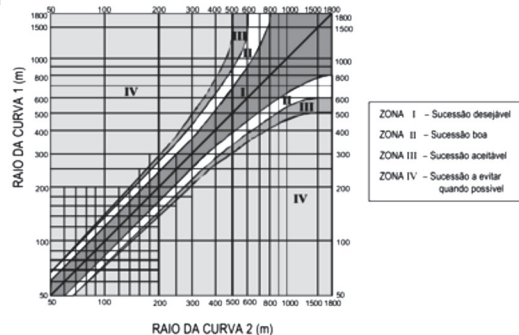
O: Centro da curva circular

O ponto que passa da tangente para o arco de circunferência é o ponto de curva (PC), e o ponto que passa de o arco circular para a próxima tangente é o ponto de tangente ou ponto de tangência (PT). Prolongando-se as tangentes adjacentes a uma curva de concordância, elas se encontram em um ponto de interseção (PI). E a distância entre o PI e o PC ou PT é denominada tangente externa. No PI, o prolongamento de uma tangente externa com a tangente externa seguinte forma um ângulo de deflexão (I). Os raios extremos do arco de círculo, normais às tangentes, formam o ângulo central (AC), cujo valor é igual ao do ângulo de deflexão. Assim, o arco de circunferência da curva de concordância fica definido pelo raio R e ângulo central AC, com um desenvolvimento (D) entre o PC e o PT (ANTAS et al., 2010).

2.7 CONCORDÂNCIA DE CURVAS HORIZONTAIS

O raio R é o elemento que define a geometria da concordância horizontal. É estabelecido, em geral, pelas condições topográficas locais, procurando-se projetar curvas suaves, observadas as relações recomendadas entre os raios de curvas adjacentes e os valores mínimos relacionados à superelevação máxima e as velocidades diretrizes. Porém, de forma a ajustar o traçado da rodovia à configuração do terreno, busca-se a minimização das intervenções que se farão necessárias, em termos de escavações e aterros a serem executados para a construção da rodovia (LEE, 2000). O Gráfico 1, a seguir, apresenta o critério de escolha de raios para curvas consecutivas.

Gráfico 1 – Critérios para escolha de raios de curvas consecutivas



Fonte: DNER (1999, p. 66).

Duas curvas horizontais de mesmo sentido não devem ser concordadas com tangente intermediária curta; a concordância poderá ser feita com curva composta ou com tangente intermediária, observadas as seguintes recomendações:

Concordância com curva composta: a relação entre o raio maior e o raio menor ($R1/R2$) deve observar às seguintes limitações:

- I) $R2 < 100 \text{ m} : R1 / R2 < 1,3$
- II) $100 \text{ m} < R2 < 500 \text{ m} : R1 / R2 < 1,5$
- III) $500 \text{ m} < R2 < 1.000 \text{ m} : R1 / R2 < 1,7$
- IV) $m < R2 : R1 / R2 < 2,0 ;$

Concordância com tangente intermediária: o comprimento da tangente intermediária (L) deve ser superior à distância percorrida por um veículo, na velocidade diretriz (V), durante o tempo de 15 segundos, o que resulta, aproximadamente:

$$L \text{ (m)} > 4 \cdot V \text{ (km/h)}(2)$$

2.8 SUPERELEVAÇÃO

Com o objetivo de contrabalançar a atuação da aceleração centrífuga, existe uma declividade transversal de que a pista é dotada nas curvas chamada de super-elevação. Geralmente expressa em porcentagem (%) ou em m/m, corresponde ao valor da tangente do ângulo formado pela reta de maior declive da seção com o plano horizontal (DNIT, 2009).

O valor desse coeficiente de atrito transversal é variável, diminuindo à medida que aumenta a velocidade tangencial do veículo. Os valores a adotar para o coeficiente de atrito f são fixados pelas normas de projeto geométrico. As normas do DNER fixam, como valores de coeficientes de atrito transversal máximos admissíveis para fins de projeto, os transcritos na Tabela 4 para diferentes velocidades diretrizes.

Tabela 4 – Valores máximos admissíveis do coeficiente f

V(km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
f_{\max}	0.20	0.18	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11

Fonte: DNER (1999, p. 71).

2.8.1 Valores Mínimos e Máximos de Superelevação

A taxa mínima de superelevação aplicável é determinada, atendendo às necessidades de drenagem. Os valores mínimos aceitos variam entre 1,5% e 2,5%. Normalmente, adota-se o valor de 2% como o mínimo recomendável para pavimentos de alta qualidade, sem meios-fios. Taxas maiores são necessárias onde houver meios-fios, para evitar acúmulo de água na faixa externa (DNIT, 2009).

A maior taxa de superelevação de uso comum é 10%, embora se use até 12% em alguns casos. A prática corrente não recomenda que se adote mais que 12%. Valores reduzidos de atrito lateral em pavimentos com lama, óleo ou poças d'água,

ou o efeito de aquaplanagem resultante da combinação de altas velocidades com pequenas camadas de água recomendam que não se ultrapasse o valor de 8%, de um modo geral, para que se reduza a probabilidade de que motoristas dirigindo a velocidade baixa tenham a sensação de atrito lateral negativo, o que resulta em maior esforço para manter a direção (DNIT, 2009).

2.9 SUPERLARGURA

Em uma curva, como o veículo é rígido e não pode acompanhar a curvatura da via, é necessário aumentar a largura da pista para que permaneça a distância mínima entre veículos que existia no trecho em tangente. Além disso, o motorista tem maior dificuldade de avaliar distâncias transversais em curva, o que requer aumento das distâncias de segurança consideradas em tangente. A esse acréscimo de largura, dá-se o nome de superlargura (DNIT, 2009).

De um modo geral, só se justifica a adoção de superlargura para valores relativamente pequenos de raios, que normalmente só são frequentes em vias urbanas sujeitas a sérias condicionantes de traçado, em rodovias de classes II ou III ou em rodovias situadas em regiões topograficamente muito adversas (DNIT, 2009).

O veículo básico para a determinação da superlargura a adotar numa concordância horizontal é o veículo-tipo CO, pois os demais tipos de veículos, para os raios de curva convencionais e velocidades diretrizes normais, operarão satisfatoriamente com as superlarguras projetadas para atender ao veículo-tipo CO (LEE, 2000).

A superlargura adotada pode ser disposta metade para cada lado da pista (alargamento simétrico) ou integralmente de um só lado da pista (alargamento assimétrico) (DNIT, 2009).

Na hipótese de alargamento simétrico da pista, a linha central coincidirá com o eixo de projeto da rodovia; quando se procede, no entanto, ao alargamento assimétrico, a linha central a ser demarcada não mais coincidirá com o eixo de projeto, resultando em deslocamento para o lado interno da curva. Numa concordância com curva circular simples deve ser empregado o alargamento assimétrico, pois a linha central da rodovia resultará deslocada para o lado de dentro da curva, gerando a demarcação de uma linha central mais fluente para a trajetória dos usuários, em alguma extensão entre a tangente e a curva (LEE, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados levantados para este estudo pertencem a um trecho dentro da Universidade Tiradentes – Campus Farolândia, localizado a norte e nordeste das bordas da área da piscina, do campo de futebol e do ginásio, como mostra a Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Pontos inicial (A) e final (B) do trecho dentro da Universidade Tiradentes, selecionado para o estudo de caso



Fonte: Google Maps (2016).

3.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS PARA CLASSIFICAÇÃO DA ESTRADA

Antes de definir a superelevação e a superlargura das curvas, foi necessário classificar o trecho de acordo com as normas do DNER, para então identificar a velocidade diretriz e dar continuidade ao projeto. Foram analisados o volume diário de veículos, a disposição raios das curvas e a inclinação transversal do terreno.

3.1.1 Volume Diário de Veículos

Para determinar o volume diário de veículos, foi feita uma pesquisa de campo. Em quatro dias da semana – de segunda-feira à quinta-feira – por três turnos do dia, durante 4 horas no primeiro dia, e 2 horas nos outros dias, em cada turno, foram contados os veículos. A Tabela 5 mostra os dados obtidos.

Tabela 5 – Contagem dos veículos

PERÍODO	DIA	INTERVALO	Nº VEÍCULOS
MANHÃ	SEGUNDA	4H	162
	TERÇA	2H	91
	QUARTA	2H	68
	QUINTA	2H	70

TARDE	SEGUNDA	4H	279
	TERÇA	2H	62
	QUARTA	2H	55
	QUINTA	2H	69
	SEGUNDA	4H	105
NOITE	TERÇA	2H	80
	QUARTA	2H	85
	QUINTA	2H	80

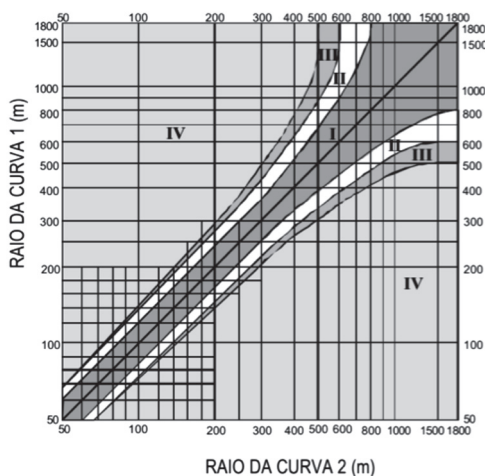
Fonte: Arquivo pessoal (2016b).

A média obtida da passagem de veículos por dia foi de 302 vpd, classificando a pista como Classe III.

3.1.2 Disposição dos Raios das Curvas

Foram identificadas duas curvas dentro do trecho, sendo a primeira curva com raio $R_1 = 150,03$ m e a segunda com raio $R_2 = 25$ m, a razão $R_1/R_2 = 6 > 1,3$. Logo, não atende às recomendações da norma, onde se trata dos comprimentos dos raios em curvas compostas ou com tangente intermediária. A análise desse parâmetro sobre o Gráfico 1, é mostrada na Figura 3 a seguir, indicando essa relação na Zona IV, a qual deveria ser evitada.

Figura 3 – Análise da relação entre os raios das curvas 1 e 2



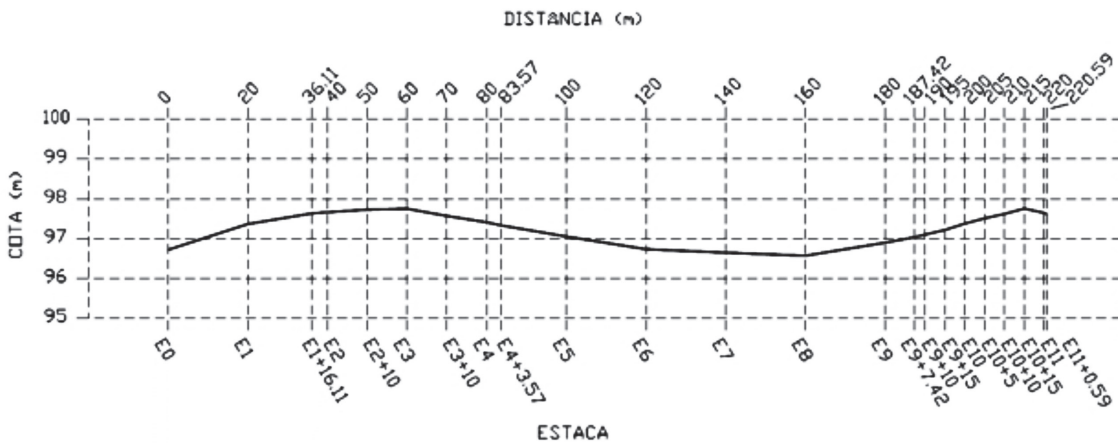
Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Os valores dos raios também classificariam a estrada como Classe IV B montanhosa, pois o menor raio é de 25 m, ainda menor do que o raio mínimo indicado para estradas sujeitas à obra de melhoramento, que seria de 30 m, segundo a Tabela 1.

3.1.3 Classificação Quando Ao Relevo

Por meio do nivelamento do terreno, foram obtidos os perfis longitudinais e transversais do trecho. A Figura 4 apresenta o perfil longitudinal ao longo do estaqueamento locado.

Figura 4 – Perfil longitudinal do trecho



Fonte: Arquivo Pessoal (2016).

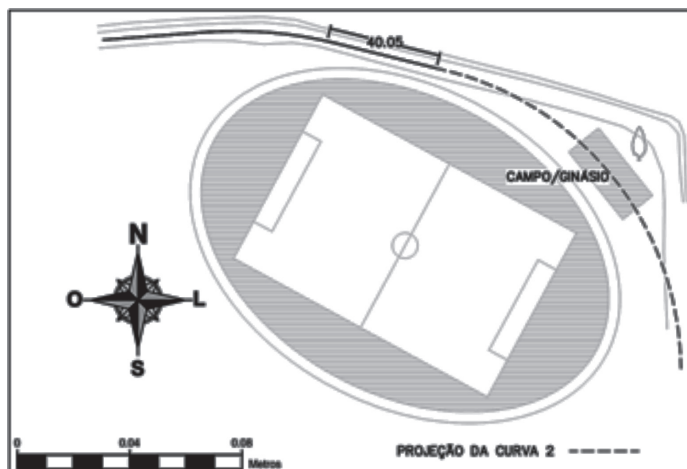
A declividade para esse perfil foi de 0,41%, ou seja, o trecho tem o relevo classificado como plano.

3.1.4 Classificação do Trecho e Determinação da Velocidade Diretriz

Constatou-se que o trecho está dentro de uma classe cujos parâmetros não correspondem aos determinados pela norma, ou seja, pertence à Classe III com relevo plano, mas o raio mínimo da Curva 2 é menor do que o sugerido para a classe e relevo averiguados. Além disso, não atende ao critério da Equação 23, pois de acordo com a Tabela 1 a velocidade diretriz para uma pista de Classe III e relevo plano é de 60 Km/h e a distância entre o PT_1 e o PC_2 é de 103,85 m, porém o comprimento da tangente deve ser de no mínimo 240 m para este caso.

Assim, o aumento do R_2 implicaria no encurtamento da distância em tangente e na invasão dos terrenos vizinhos, inviabilizando a sugestão, como pode ser visto na Figura 5, onde o R_2 foi ampliado para 110 m, o mínimo para Classe III relevo plano.

Figura 5 – Projeção da curva 2 com raio de 110m



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

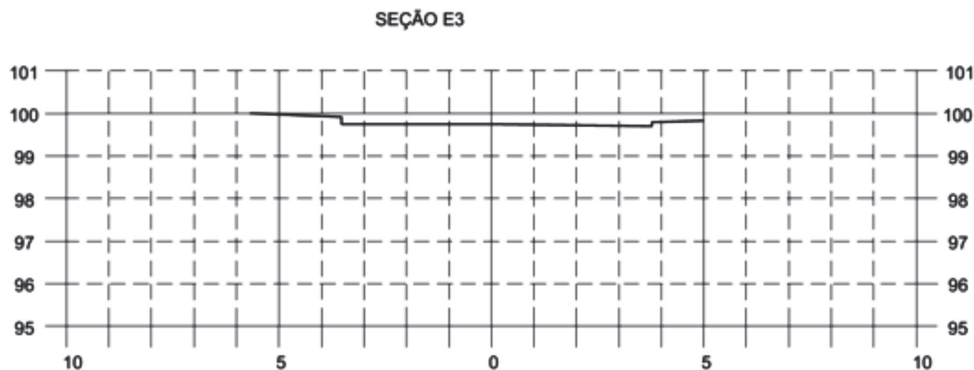
Foram adotados, descartando a possibilidade de intervenção no terreno afora dos limites definidos, os parâmetros de uma estrada modificada de Classe III com relevo montanhoso. Portanto, para fins de projeto, a velocidade diretriz adotada foi de 30 Km/h para garantir a segurança e fluidez no trânsito.

3.2 ABAULAMENTO E SUPERELEVAÇÃO

O abaulamento adotado para o trecho foi de 3%, por possuir características de uma via secundária.

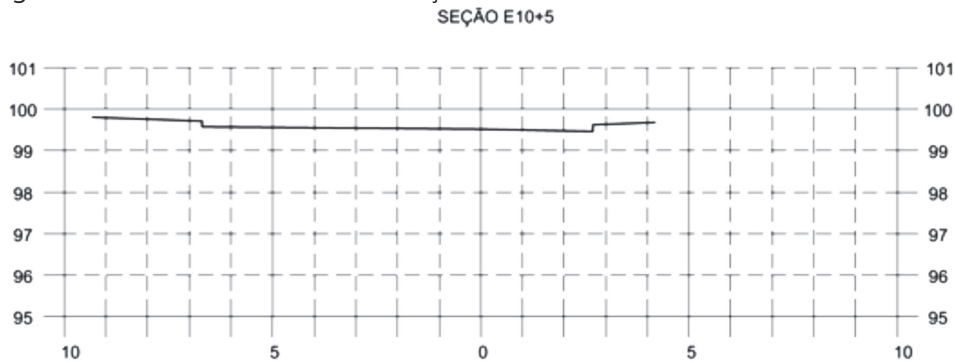
Verifica-se que, analisando o nivelamento das seções transversais dentro das curvas, não existe superelevação nem abaulamento na estrada existente. As Figuras 6 e 7 mostram o perfil transversal de duas seções: a seção E3, no meio da Curva 1 e a seção E10+5, no meio da Curva 2. Pela análise das figuras, percebe-se que não há regularidade na disposição dos perfis.

Figura 6 – Perfil transversal da Seção E3, no meio da Curva 1



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Figura 7 – Perfil transversal da Seção E10+5, no meio da Curva 2

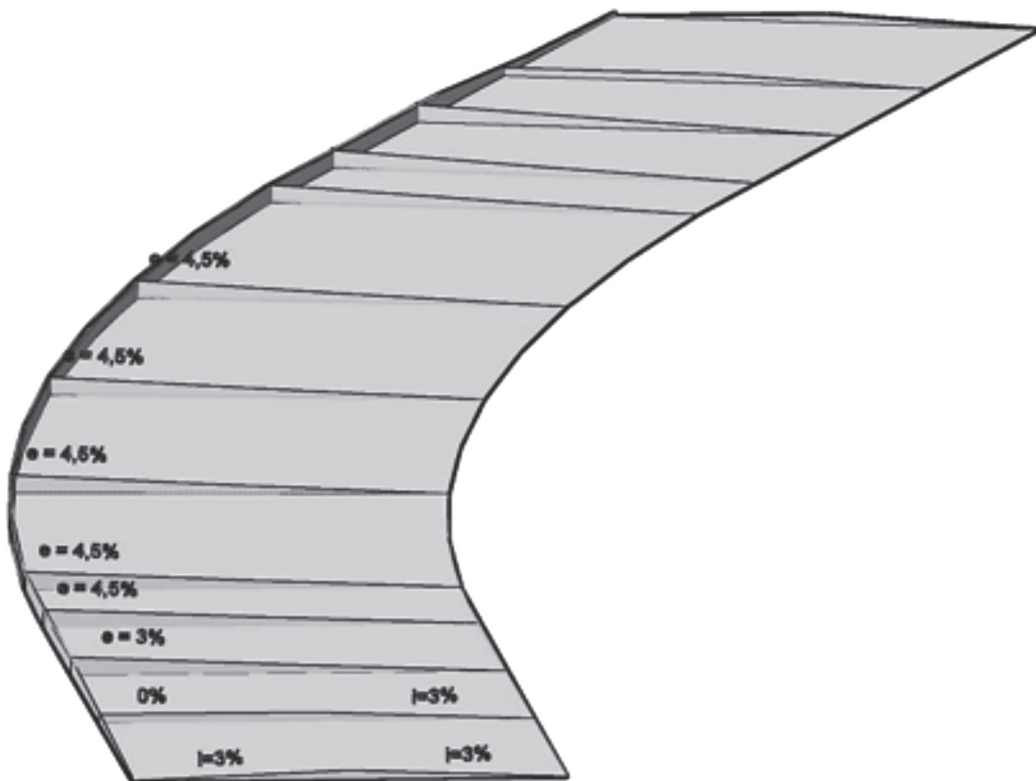


Fonte: Arquivo pessoal (2016).

As superelevações calculadas para as curvas 1 e 2 foram, respectivamente, 4,44% e 0%. Como a taxa de superelevação da Curva 2 é menor que o abaulamento, foi considerado a taxa de 3%, e para fins práticos considerou-se a superelevação da Curva 1 de 4,5%.

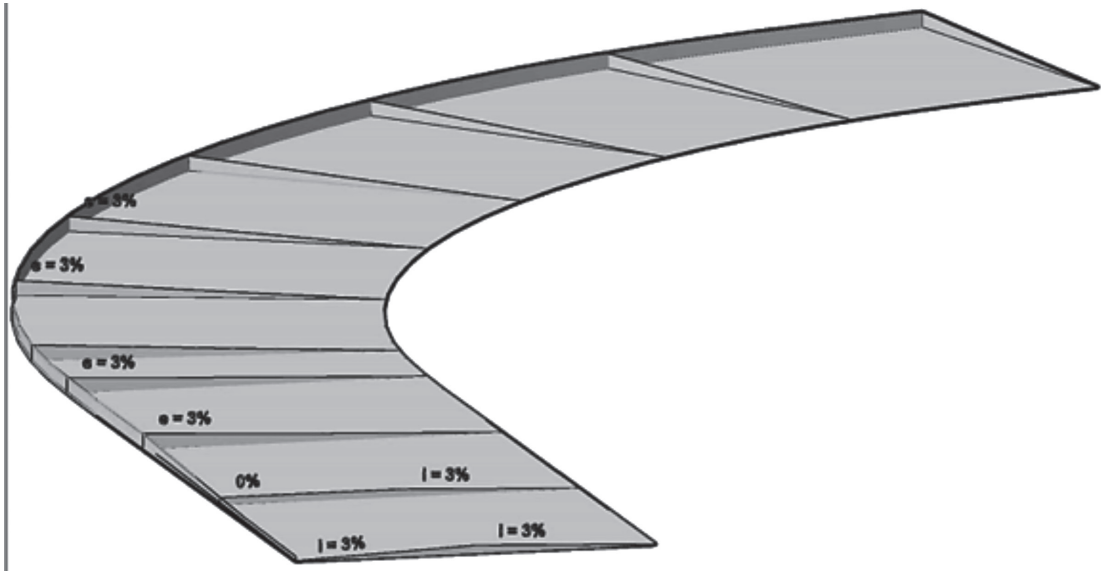
A Figura 8 a seguir representa o projeto de superelevação em perspectiva na Curva 1.

Figura 8 – Superelevação na Curva 1



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Já a Figura 9 a seguir representa o projeto de superelevação em perspectiva na Curva 2.

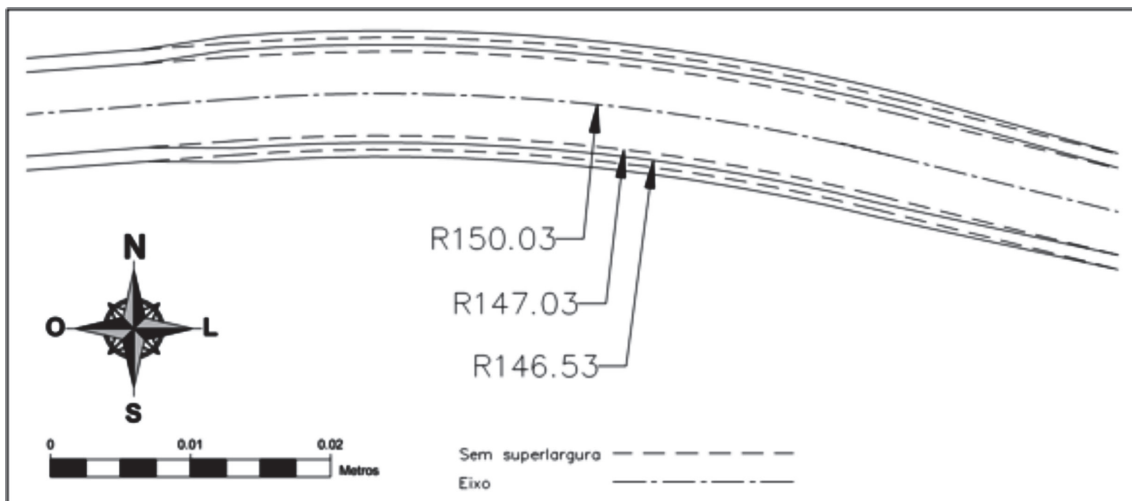


Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

3.3 SUPERLARGURA

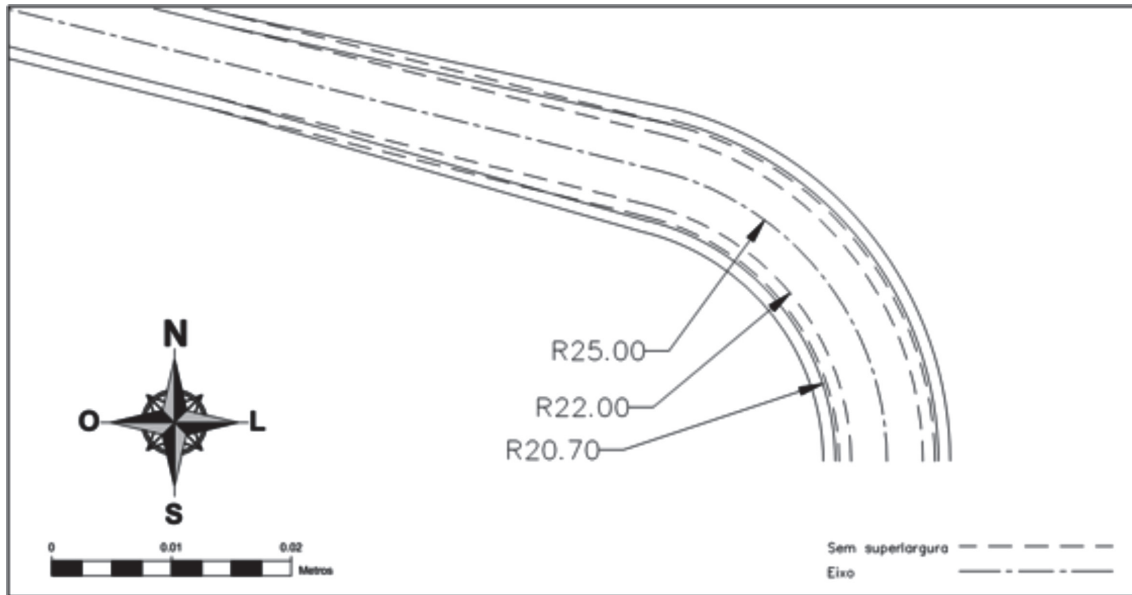
Os valores de superlargura obtidos foram de 1,0 m para a Curva 1 e de 2,60 m para a Curva 2, sendo a largura da pista, sem a superlargura, de 3,0 m. A disposição adotada foi o alargamento simétrico, pelo fato de evitar ao máximo a invasão dos terrenos vizinhos. As figuras 10 e 11 mostram as curvas 1 e 2 respectivamente, com a disposição da superlargura e a projeção das bordas (faixa e acostamento) sem o alargamento.

Figura 10 – Alargamento simétrico da Curva 1



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Figura 11 – Alargamento simétrico da Curva 2

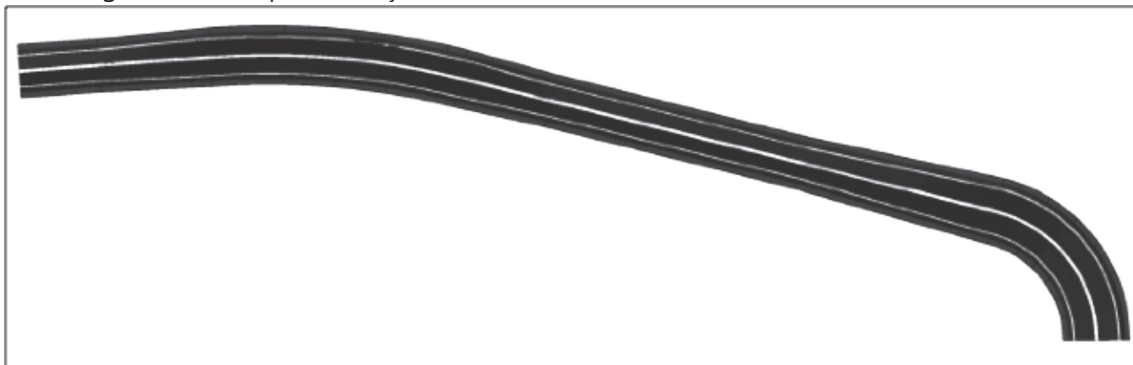


Fonte: Arquivo pessoal (2016).

3.4 REPRESENTAÇÃO DO TRECHO EM 3 DIMENSÕES

A partir de todos os dados calculados e, considerando a linha de grade com a declividade de 0,41%, foi gerado um modelo em 3D apenas para representar o trecho depois da obra de melhoramento. As Figuras 12, 13 e 14 mostram o trecho em três perspectivas diferentes: vista de cima, vista a partir do ponto inicial e vista a partir do ponto final.

Figura 12 – Representação em 3D vista de cima



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Figura 13 – Representação em 3D vista a partir do ponto inicial



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Figura 14 – Representação em 3D vista a partir do ponto final



Fonte: Arquivo pessoa (2016).

3.5 SINALIZAÇÃO

A velocidade de projeto adotada é duas vezes menor que a velocidade diretriz indicada pela norma para a classe da estrada. Entretanto, pode acontecer de não haver empecilho para se adotar a velocidade de 60 km/h nos segmentos que antecedem ou sucedem o trecho. Por esse motivo, a ênfase na sinalização é importante para garantir a segurança e prevenir acidentes, já que não há a possibilidade ou viabilidade de se fazer grandes alterações geométricas no projeto.

Alguns tipos de sinalização vertical podem ser aplicados como, por exemplo, placas de advertência para redução de velocidade, indicando trecho com alto risco de acidentes; curva acentuada, no caso da Curva 2; e indicador da velocidade máxima permitida de 30 Km/h. As Figuras 15 e 16 ilustram as placas utilizadas.

Figura 15 – Curva acentuada à direita



Fonte: CONTRAN (2007).

Figura 16 – Velocidade máxima permitida



Fonte: CONTRAN (2005).

4 CONCLUSÃO

O trecho estudado apresenta irregularidades com relação às normas pertinentes. O estudo do traçado, do relevo e o estudo estatístico do volume de veículos mostraram que a estrada está inserida numa classe da qual os parâmetros de disposição das curvas, superelevação e superlargura, não estão conforme as normas do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Devido às limitações da área a ser trabalhada para a obra de melhoramento, não foi possível se fazer um novo traçado para adequação das tangentes e das curvas, tendo que se reduzir a velocidade diretriz para garantir a segurança e a fluidez do trânsito. Portanto, sendo o trecho categorizado como Classe III de

relevo plano, foram adotados os parâmetros da Classe III de relevo montanhoso, respeitando a velocidade diretriz de 30Km/h.

Entretanto, reduzir consideravelmente a velocidade de projeto dentro de uma mesma classe de estrada implica em risco de acidentes. Por essa razão, a sinalização de trânsito foi enfatizada como principal solução para o problema proposto, já que a norma permite se utilizar dessa ferramenta quando não se pode alterar o traçado do eixo.

Dessa forma, esse estudo mostra a importância do conhecimento sobre as normas e domínio das técnicas relacionadas à construção de estradas. O projeto geométrico, sendo núcleo do projeto de uma rodovia, garante todo conforto e segurança no trânsito.

REFERÊNCIAS

ANTAS, Paulo Mendes et al. **Estradas**: projeto geométrico e de terraplenagem. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

ANTUNES, Carlos. **Levantamentos topográficos**. Lisboa, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro. ABNT, 1994.

BORGES, Alberto de Campos. **Topografia aplicada à engenharia civil**. Volume 1 – 2.ed. São Paulo: Blucher, 1977.

BORGES, Alberto de Campos. **Topografia aplicada à engenharia civil**. Volume 2. São Paulo: Blucher, 1992.

CASACA, João Martins; MATOS, João Luís; DIAS, José Miguel Baio. **Topografia Geral**. 4.ed. atualizada e aumentada. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

COMASTRI, José Anibal; TULER, José Cláudio. **Topografia – altimetria**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2008.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito**. Volume 1 – Sinalização Vertical de Regulamentação. Brasília: CONTRAN, 2005.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual de Sinalização de Trânsito**: sinalização de advertência. V.2, Brasília: CONTRAN, 2007.

DAIBERT, João Dalton. **Topografia**: técnicas e práticas de campo. 2.ed. São Paulo: Érica, 2014.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SANTA CATARINA. **Diretrizes para a concepção de estradas**: condução do traçado – DCE-C. Florianópolis: DER/SC, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Classificação funcional do sistema rodoviário do Brasil**. Rio de Janeiro. DNER, 1974.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro: DNER, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Sinalização Rodoviária**. Rio de Janeiro: DNER, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Histórico do Rodoviarismo**. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/historico/>>. Acesso em: 15 set. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas**. Rio de Janeiro: DNIT, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Sinalização Rodoviária**. 3.ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.

ESPARTEL, Lélis. **Curso de topografia**. 9.ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

FIGUEIRA, Aurenice da Cruz. **O uso de ferramentas de visualização tridimensional da detecção de deficiências em projeto geométrico de vias**. Dissertação – ed. revisada. São Paulo, 2012.

FONTES, Luiz Carlos A.A. **Engenharia de estradas: projeto geométrico**. V.1. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1995.

GONÇALVES, José Alberto; MADEIRA, Sérgio; SOUSA, J. João **Topografia - conceitos e aplicações**. 3.ed. atualizada e aumentada. Lisboa: Lidel, 2012

JÚNIOR, José Machado Coelho; NETO, Fernando Cartaxo Rolim; ANDRADE, Júlio da Silva C.O. **Topografia geral**. Recife: EDUFRPE, 2014.

LEE, Shu Han. **Introdução ao projeto geométrico de rodovias**. Florianópolis: UFSC, 2000.

LEMONS, R.C.; SANTOS, R.D. dos **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

MEDINA, Manuel Zamarripa. **Apuntes de topografía**. México: Facultad de Estudios Superiores Acatlán, 2010.

O GLOBO. **Washington Luís inaugura a primeira rodovia asfaltada do Brasil.**

Disponível em: <<http://acervo.oglobo.globo.com/rio-de-historias/washington-luis-inaugura-primeira-rodovia-asfaltada-do-brasil-8849272>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

SENÇO, Wlastermiler de. **Estradas de rodagem:** projeto. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1975.

VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Zehnpfennig; FAGGION, Pedro Luis. **Fundamentos de topografia.** Curitiba: UFPR, 2012.

Data do recebimento: 18 de julho de 2018

Data da avaliação: 2 de agosto de 2018

Data de aceite: 2 de agosto de 2018

1 Graduando em Engenharia Civil, Universidade Tiradentes – UNIT. E-mail: jr_amorim12@hotmail.com

2 Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Tiradentes – UNIT. E-mail: layllamsouza@gmail.com

3 Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Tiradentes – E-mail: nagilatomazeng@hotmail.com