

**Henrique Marcos Rocha Chaves**

**PROJETO GEOMÉTRICO – ANÁLISE E COMPARAÇÃO ENTRE  
NORMAS BRASILEIRA E PORTUGUESA EM RELAÇÃO À  
SEGURANÇA DO USUÁRIO**

Florianópolis, 2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Henrique Marcos Rocha Chaves**

**PROJETO GEOMÉTRICO – ANÁLISE E COMPARAÇÃO ENTRE  
NORMAS BRASILEIRA E PORTUGUESA EM RELAÇÃO À  
SEGURANÇA DO USUÁRIO**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Liseane Padilha Thives, Dr<sup>ª</sup>.

Florianópolis, 2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Chaves, Henrique Marcos Rocha  
Projeto Geométrico - Análise e Comparação entre Normas  
Brasileira e Portuguesa em relação à segurança do usuário /  
Henrique Marcos Rocha Chaves ; orientadora, Liseane  
Padilha Thives, 2019.  
106 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Projeto Geométrico. 3. Manual  
de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais. 4. Revisão da  
Norma de Traçado. I. Thives, Liseane Padilha. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Civil. III. Título.

**Henrique Marcos Rocha Chaves**

**PROJETO GEOMÉTRICO – ANÁLISE E COMPARAÇÃO ENTRE  
NORMAS BRASILEIRA E PORTUGUESA EM RELAÇÃO À  
SEGURANÇA DO USUÁRIO**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Civil” e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 12 de dezembro de 2019

Prof<sup>ª</sup>. Lia Caetano Bastos, Dr<sup>ª</sup>.  
Coordenadora do TCC

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente  
Liseane Padilha Thives  
Data: 15/12/2019 20:20:40-0300  
CPF: 649.695.689-87

Prof<sup>ª</sup>. Liseane Padilha Thives, Dr<sup>ª</sup>.  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>º</sup>. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Yuri Muller Mello de Oliveira, Eng<sup>º</sup>.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais, à minha avó  
e à minha namorada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Professora Doutora Liseane Padilha Thives pela orientação, disponibilidade, sentido crítico e apoio, essenciais para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha família, meus pais, avós, minha irmã, meus tios e primos, pelo apoio, confiança, carinho e amor incondicional.

Agradeço à Joana, pela ajuda, compreensão, paciência, amor, acreditando sempre em mim e nas minhas capacidades.

Agradeço aos meus amigos pelo apoio ao longo de todo o curso e pelas memórias que forjamos juntos.

*“Not all those who wander are lost.”*

J. R. R. Tolkien

## RESUMO

No século XX, o aumento significativo da circulação de veículos em países como o Brasil e Portugal, levou à necessidade de criação de normas para a concepção de projetos geométricos de rodovias. No Brasil, o número de mortos por acidentes com vítimas é consideravelmente superior ao de Portugal. Um dos componentes que influencia a segurança de um sistema rodoviário é a geometria da via. Assim, neste trabalho comparam-se os documentos de projeto geométrico vigentes nos dois países, relativo ao dimensionamento de curvas horizontais e verticais, superlargura e superelevação, para avaliar se as diferenças destes parâmetros técnicos têm influência na segurança dos usuários nas estradas. Na metodologia de comparação são relacionados isoladamente os vários elementos constituintes dos documentos e aplica-se o estudo projetando-se um trecho de uma rodovia hipotética, com auxílio do *software* Autodesk Civil 3D. Nos resultados obtidos constatou-se que a norma portuguesa é, na maioria dos parâmetros avaliados, mais conservadora que o manual brasileiro, conduzindo a um traçado mais seguro, gradual e confortável para os usuários das rodovias. As principais diferenças avaliadas foram a utilização do conceito de velocidade de tráfego por parte da norma portuguesa e maiores valores de superlargura pelo manual brasileiro.

**Palavras-chave:** Projeto Geométrico. Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais. Revisão da Norma de Traçado.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes que influenciam a segurança de um sistema rodoviário	18
Figura 2. Sistema de forças que atua em um veículo que percorre uma curva horizontal	31
Figura 3. Critérios desejáveis para orientar a escolha dos raios de curvas sucessivas	33
Figura 4. Elementos intervenientes no cálculo da superlargura	41
Figura 5. Hierarquia da Rede Rodoviária Portuguesa	47
Figura 6. Exemplos de curvas de distribuição cumulativa de velocidades	50
Figura 7. Representação esquemática da transição da superelevação	66
Figura 8. Inclinação relativa dos bordos da pista de rolamento na transição da superelevação	66
Figura 9. Fluxograma da metodologia adotada	69
Figura 10. Representação dos pontos inicial, final e de interseção das tangentes da rodovia hipotética	81
Figura 11. Alinhamento horizontal da rodovia hipotética aplicando o manual do DNIT (à esquerda) e a norma portuguesa (à direita)	83
Figura 12. Alinhamento vertical da rodovia hipotética aplicando o manual do DNIT	85
Figura 13. Alinhamento vertical da rodovia hipotética aplicando a norma portuguesa	86
Figura 14. Variação de inclinação transversal da rodovia hipotética aplicando o manual do DNIT	88
Figura 15. Variação de inclinação transversal da rodovia hipotética aplicando a norma portuguesa	89
Figura 16. Veículo de Projeto VP	98
Figura 17. Veículo de Projeto CO	99
Figura 18. Veículo de Projeto O	100
Figura 19. Veículo de Projeto OR	101
Figura 20. Veículo de Projeto CA	102
Figura 21. Veículo de Projeto BT7	103
Figura 22. Veículo de Projeto CG	104
Figura 23. Veículo de Projeto BT9	105
Figura 24. Veículo de Projeto BTL	106

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Relação geral entre as classes funcionais e as classes de projeto	23
Quadro 2. Classes de projeto e critérios de classificação técnica	23
Quadro 3. Velocidades diretrizes mínimas para cada classe de projeto	26
Quadro 4. Classes de veículos de projeto e dimensões básicas	27
Quadro 5. Largura das faixas de rolamento	39
Quadro 6. Velocidades Base consideradas na RRN e ER	49
Quadro 7. Velocidade a considerar na determinação de vários elementos do traçado	51
Quadro 8. Equações para o cálculo da $VC_{85}$ em estradas com pista de rolamento única	52
Quadro 9. Abaulamento	65
Quadro 10. Estaca e deflexão dos pontos inicial, final e de interseção das tangentes da rodovia hipotética	82
Quadro 11. Características a considerar na elaboração do projeto geométrico	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Velocidades médias em pistas molhadas em função da velocidade diretriz	28
Tabela 2. Coeficientes de atrito longitudinal em função das velocidades diretrizes	29
Tabela 3. Coeficientes de atrito longitudinal em função das velocidades médias	29
Tabela 4. Distâncias de visibilidade de parada para greide nulo	29
Tabela 5. Distâncias de visibilidade para tomada de decisão	29
Tabela 6. Distâncias de visibilidade de ultrapassagem	30
Tabela 7. Máximos coeficientes de atrito transversal admissíveis	32
Tabela 8. Valores dos raios mínimos em função da superelevação e da velocidade diretriz	32
Tabela 9. Valores dos raios acima dos quais podem ser dispensadas curvas de transição	34
Tabela 10. Inclinação máxima de rampas	35
Tabela 11. Valores mínimos de parâmetro de curvatura pelo critério da máxima aceleração radial	37
Tabela 12. Valores de K, quando $L_v \geq DP$	38
Tabela 13. Valores de $G_L$ em função da largura da pista em tangente	40
Tabela 14. Raios que dispensam superelevação em função da velocidade diretriz	43
Tabela 15. Comprimentos mínimos absolutos de transição da superelevação em função da velocidade diretriz	44
Tabela 16. Rampas de superelevação admissível para pistas de 2 faixas com eixo de rotação no centro	45
Tabela 17. Fator de majoração do comprimento de transição para o número de faixas rotacionadas	45
Tabela 18. Velocidades de base e correspondentes velocidades de tráfego	51
Tabela 19. Velocidades de tráfego e correspondentes coeficientes de atrito longitudinal	54
Tabela 20. Distâncias de visibilidade mínimas	55
Tabela 21. Valores das extensões mínima e máxima dos alinhamentos retos	56
Tabela 22. Velocidades base e correspondentes coeficientes de atrito transversal	57
Tabela 23. Velocidades base e correspondentes raios mínimos (RA e RN) em planta	57
Tabela 24. Obliquidade máxima da transição da superelevação	59
Tabela 25. Parâmetros das curvas em planta	60
Tabela 26. Inclinação máxima das rampas em função da velocidade base	60
Tabela 27. Extensões críticas das rampas em função da inclinação	61
Tabela 28. Raio e desenvolvimento mínimos das concordâncias convexas	62
Tabela 29. Raio e desenvolvimento mínimos das concordâncias côncavas	63

Tabela 30. Largura das faixas de rolamento	64
Tabela 31. Superelevação em curva	65
Tabela 32. Comparação de distâncias de visibilidade	72
Tabela 33. Comparação de extensões mínima e máxima em alinhamento reto	73
Tabela 34. Comparação de coeficientes de atrito transversal e raios mínimos em curva circular	74
Tabela 35. Comparação de comprimentos mínimos da clotóide	74
Tabela 36. Síntese do alinhamento horizontal	75
Tabela 37. Comparação de inclinação máxima de rampas	76
Tabela 38. Comparação de raio e comprimento mínimos em curvas convexas	77
Tabela 39. Comparação de raio e desenvolvimento mínimos em curvas côncavas	77
Tabela 40. Síntese do alinhamento vertical	78
Tabela 41. Comparação de superlargura	79
Tabela 42. Comparação de dispensa de superelevação	80
Tabela 43. Estaca dos pontos TS, SC, CS e ST das curvas do alinhamento horizontal	83
Tabela 44. Comprimentos e raios dos vários elementos do alinhamento horizontal	84
Tabela 45. Comprimentos, raios e tipos de curvas verticais do alinhamento vertical	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BP – Ponto de início.
- BT7 – Bitrem de 7 eixos.
- BT9 – Bitrem de 9 eixos.
- BTL – Bitrem longo e rodotrem.
- CA – Carreta.
- CG – Cegonheiro.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte.
- CO – Caminhão e Ônibus convencional.
- CS – Ponto de passagem da curva circular para a de transição.
- DD – Distância de visibilidade de decisão.
- DEP – Divisão de Estudos e Projetos.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
- DP – Distância de visibilidade de parada.
- DU – Distância de visibilidade de ultrapassagem.
- EN – Estradas Nacionais.
- EP – Ponto de fim.
- ER – Estradas Regionais.
- HCM – *Highway Capacity Manual*.
- IC – Itinerários Complementares.
- IMT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes.
- InIR – Instituto de Infraestruturas Rodoviárias.
- IP – Itinerários Principais.
- JAE – Junta Autônoma de Estradas.
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- O – Ônibus urbano longo.
- OR – Ônibus rodoviário.
- PI – Ponto de interseção.
- PRN2000 – Plano Rodoviário Nacional 2000.
- RA – Raio mínimo absoluto.
- RN – Raio mínimo normal.
- RRN – Rede Rodoviária Nacional.
- RS – Raio mínimo sem superelevação.

SC – Ponto de passagem da curva de transição para a circular.

ST – Ponto de passagem da curva de transição para a tangente.

TS – Ponto de passagem da tangente para curva de transição.

VB – Velocidade base.

VC<sub>85</sub> – Velocidade não impedida em curva.

Veíc. – Veículos.

VHP – Volume Horário de Projeto.

VMD – Volume Médio Diário.

VP – Veículo leve.

VT – Velocidade de tráfego.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta i$  – Obliquidade.

A – Diferença de declividade entre rampas.

a – Aceleração radial máxima admissível.

AC – Ângulo central da curva.

B – Parâmetro da clotóide.

BD – Balanço dianteiro do veículo de projeto.

C – Taxa de variação máxima da aceleração centrífuga.

D – Desenvolvimento da curva.

d – Distância do eixo de rotação ao bordo da pista de rolamento.

DD – Distância de visibilidade de decisão.

dm – Distância do eixo de rotação ao bordo mais afastado da pista.

DP – Distância de visibilidade de parada.

Ds – Desenvolvimento circular em superelevação máxima.

DU – Distância de visibilidade de ultrapassagem.

E – Distância entre eixos do veículo de projeto.

$E_1$  – Distância entre o eixo dianteiro do veículo trator e o pivô de apoio do semirreboque.

$E_2$  – Distância do pivô ao eixo traseiro ou ponto médio entre os eixos traseiros.

$E_{eq}$  – Distância entre eixos equivalente do veículo de projeto.

$e_R$  – Superelevação.

FD – Folga transversal que considera a maior dificuldade em manter a trajetória em curvas.

$f_l$  – Coeficiente de atrito longitudinal.

$f_t$  – Coeficiente de atrito transversal.

g – Aceleração da gravidade.

$G_{BD}$  – Gabarito requerido pelo percurso do balanço dianteiro do veículo de projeto em curva.

$G_C$  – Gabarito estático do veículo de projeto em curva.

$G_L$  – Gabarito lateral do veículo de projeto em movimento.

$h_1$  – Altura do olho do motorista.

$h_2$  – Altura de um objeto sobre a pista.

i – Inclinação do trecho.

$i_t$  – Inclinação transversal.

K – Parâmetro da curvatura.

L – Extensão da clotóide.

$L_B$  – Largura da pista em tangente.

$L_C$  – Comprimento da curva de transição.

$L_{eR}$  – Comprimento de transição da superelevação.

$l_p$  – Largura da pista de rolamento.

$l_r$  – Largura de uma faixa de rolamento.

$L_T$  – Largura total em curva da pista de duas faixas de rolamento.

$L_V$  – Comprimento horizontal da curva vertical.

$L_{VP}$  – Largura do veículo de projeto.

$p_{m\acute{a}x}$  – Afastamento máximo lateral.

$R$  – Raio da curvatura.

$r$  – Diferença entre a inclinação do greide da rodovia e a inclinação do bordo mais afetado pela superelevação.

$R$  – Raio da curva.

$R_V$  – Raio da curva vertical.

$S_R$  – Superlargura.

$t$  – Declividade em tangente a ser zerada na curva de transição.

$T$  – Comprimento da tangente.

$T_T$  – Comprimento da transição em tangente.

$V$  – Velocidade.

$V_B$  – Velocidade base.

$V_{C85}$  – Velocidade não impedida em curva.

$V_d$  – Velocidade diretriz.

$V_T$  – Velocidade de tráfego.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1. Objetivo Geral .....	19
1.2. Objetivos Específicos .....	19
1.3. Estrutura do Trabalho .....	20
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1. Projeto Geométrico no Contexto Brasileiro .....	21
2.2. Projeto Geométrico no Contexto Português .....	46
<b>3. MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	<b>69</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>71</b>
4.1. Elementos Básicos de Projeto .....	71
4.2. Alinhamento Horizontal .....	72
4.3. Alinhamento Vertical .....	75
4.4. Seção Transversal .....	78
4.5. Projeto Geométrico de uma Rodovia Hipotética .....	81
4.6. Discussão dos Resultados .....	90
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>93</b>
5.1. Considerações Finais .....	93
5.2. Recomendações para Trabalhos Futuros .....	94
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>95</b>
<b>ANEXO A – DIMENSÕES DOS VEÍCULOS DE PROJETO</b> .....	<b>98</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O projeto geométrico pode ser definido como o desenho dos elementos constituintes da rodovia (WOLHUTER, 2015).

Assim, como qualquer projeto de Engenharia rodoviária, o projeto geométrico inicia-se com o projeto preliminar, apresentando uma ou mais possíveis definições do traçado. Desta forma, é necessário o conhecimento da topografia, hidrologia e formação geológica do terreno, de modo a proceder-se à escolha do traçado mais adequado. Neste sentido, idealmente evita-se áreas que gerem grandes movimentos de terra, obras adicionais de drenagem e obras-de-arte especiais. O conhecimento de aspectos sociais e econômicos da região é fundamental para a escolha dos possíveis traçados, pois permite responder melhor às necessidades locais (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004; BRASIL, 2010a).

A partir das opções obtidas nos estudos preliminares, um traçado é escolhido e detalhado no projeto denominado básico. Este projeto é composto por estudos topográficos, hidrológicos e geológicos bem elaborados para que se possa definir os vários elementos constituintes do projeto. Após o projeto básico, tem-se o projeto executivo (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004; BRASIL, 2010a).

O projeto executivo deve conter o projeto planialtimétrico, composto pela planta e pelo perfil longitudinal; as seções transversais típicas da plataforma, indicando o terreno natural, a plataforma, as posições dos *off-sets* e taludes e; o detalhamento dos projetos especiais, constituído por interseções, retornos e acessos. Além disso, o projeto executivo também deve incluir outros elementos, como o cronograma, o orçamento detalhado do custo global da obra, o plano de licitação e gestão da obra e a instrução dos processos desapropriatórios (BRASIL, 2010a).

Assim, um projeto de uma rodovia bem-sucedido é aquele que resulta em uma estrada que garanta segurança, acessibilidade, mobilidade e conveniência ao transporte de pessoas e bens com o mínimo de consequências indesejadas, como danos ao meio-ambiente, poluição sonora e do ar às comunidades adjacentes (WOLHUTER, 2015).

Além disso, uma rodovia deve ser visualmente agradável, independentemente do local de onde é observada. A estrada deve-se ajustar ao ambiente, de modo que a paisagem seja valorizada com a sua existência (WOLHUTER, 2015).

No Brasil, o aumento progressivo da frota de automóveis no início do século XX, levou à criação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em 1937. O estímulo ao desenvolvimento rodoviário no país, em detrimento da rede ferroviária já

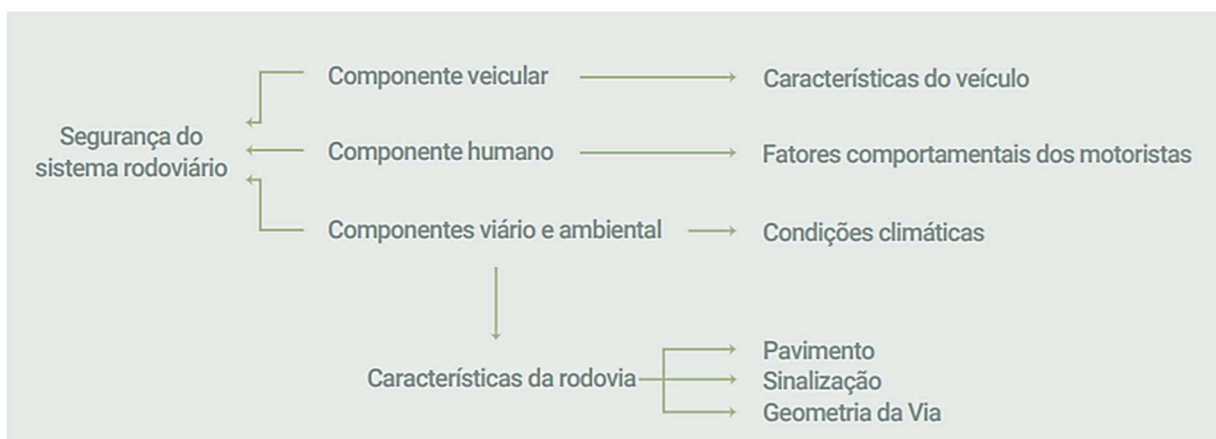
existente, surgiu com a implantação de uma indústria automobilística nacional e com a decisão da construção de Brasília no interior do país. Assim, o grande impulso do projeto rodoviário resultou na ampla necessidade de normas nacionais (BRASIL, 1999; BRASIL, 2016).

Analogamente, em Portugal, durante o século XX, houve um aumento significativo da circulação de veículos. Com este desenvolvimento, surgiu a necessidade da elaboração de documentos técnicos, de boas práticas e normativos, para a concepção de projetos de estradas. Esses documentos evoluíram, baseando-se inicialmente em resultados empíricos, decorrentes da construção de múltiplas rodovias, até especificações técnicas baseadas em métodos racionais nos dias de hoje (MACEDO *et al.*, 2019).

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), em 2017 o transporte rodoviário, dentro das modalidades de transporte disponíveis, foi responsável por cerca de 61,1% da movimentação de cargas no Brasil. Em Portugal, o modo rodoviário representou aproximadamente 61,7% do tráfego interno de mercadorias. Logo, em ambos os países, o transporte rodoviário ocupa um papel de destaque (CNT, 2018; INE, 2018).

Os componentes que influenciam a segurança de um sistema rodoviário são: veicular, referentes às especificidades dos veículos; humano, relativo aos fatores comportamentais dos motoristas; ambiental, que diz respeito às condições climáticas; viário, que depende das características da rodovia associadas ao pavimento, à sinalização e à geometria da via. Esses componentes têm influência direta no grau de conforto e segurança de uma rodovia e, por conseguinte, a propensão à ocorrência de acidentes. A Figura 1 ilustra os componentes que influenciam a segurança de um sistema rodoviário (CNT, 2019b).

Figura 1. Componentes que influenciam a segurança de um sistema rodoviário



Fonte: CNT, 2019b.

De acordo com a CNT, no ano de 2017, o número de acidentes com vítimas nas rodovias federais brasileiras foi de 58.716, dos quais se registrou 6.243 vítimas mortais. Em Portugal, no mesmo período, ocorreram 38.630 acidentes de viação com vítimas, dos quais se contabilizou 630 mortos. Isto significa que no Brasil o número de mortos por acidentes com vítimas é consideravelmente superior quando comparado com Portugal (CNT, 2019a; INE, 2018).

Neste trabalho foi realizado um comparativo dos documentos de projeto geométrico vigentes nos dois países, a fim de se identificar as diferenças nos conceitos básicos que podem influenciar na segurança dos usuários nas rodovias.

### 1.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral comparar as normativas brasileira e portuguesa de projeto geométrico de rodovias rurais, relativamente ao dimensionamento de curvas horizontais e verticais, superlargura e superelevação.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- Estudar o método de dimensionamento de traçado de rodovias segundo o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) do Brasil;
- Estudar o método de dimensionamento de traçado de rodovias segundo a Norma de Traçado (Revisão de 2010) do Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT) de Portugal;
- Propor métodos de comparação que procurem aproximar o manual e a norma, usando-se de parâmetros que estes tenham em comum ou estabelecendo critérios que viabilizem a comparação;
- Expor as diferenças teóricas do manual e da norma que justifiquem as possíveis divergências nas comparações;
- Projetar um trecho de uma rodovia rural hipotética de acordo com o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais e a Norma de Traçado, de modo a exemplificar graficamente as diferenças destes documentos.

### 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, descritos a seguir.

No Capítulo 1 – Introdução é apresentado o tema de estudo e a justificativa, bem como os objetivos, a estrutura e a organização do trabalho.

O Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica apresenta conceitos e elementos de projeto presentes no manual brasileiro, assim como expõe a norma portuguesa.

O Capítulo 3 – Materiais e Método descreve os recursos e ferramentas utilizados para execução do trabalho, além da metodologia adotada no seu desenvolvimento.

No Capítulo 4 – Resultados e Discussão são comparados os elementos de projeto geométrico das normas de duas formas: por comparação direta, onde são analisadas e expostas as diferenças dos dois documentos através de tabelas, e; pela concepção de um projeto, dimensionando os elementos horizontais e verticais, superlargura e superelevação, segundo o manual do DNIT e a norma portuguesa.

No Capítulo 5 – Considerações Finais e Recomendações apresentam-se as conclusões gerais mais relevantes com a elaboração deste trabalho, assim como propostas de desenvolvimentos futuros na área.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo apresentam-se os principais tópicos do Manual brasileiro e da Norma portuguesa de projeto geométrico de rodovias rurais. No Brasil, o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais de 1999 do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é o documento que fornece as diretrizes do traçado, enquanto em Portugal é a Norma de Traçado de 2010 do Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P. (IMT).

Na concepção de um projeto de uma rodovia deve-se definir a geometria do seu traçado, levando em conta as particularidades geométricas dos seus elementos constituintes. Assim, o principal objetivo de um Projeto Geométrico de Estradas é fornecer aspectos técnicos do traçado que assegurem critérios como a segurança e a comodidade dos usuários, mas também que garantam uma relação ótima do custo-benefício para a entidade responsável pela obra (INIR, 2010).

Na elaboração do traçado são considerados elementos como alinhamentos retos, curvas horizontais, superlargura, superelevação, rampas, concordâncias verticais, abaulamento da pista e largura da faixa de rolamento, que são o enfoque deste trabalho. Além destes, a largura dos acostamentos, o canteiro central, os taludes, as defensas e barreiras são também elementos de projeto geométrico (BRASIL, 1999).

### **2.1. PROJETO GEOMÉTRICO NO CONTEXTO BRASILEIRO**

Neste subcapítulo apresentam-se o cálculo e os critérios para o traçado de curvas horizontais e verticais, de superlargura e de superelevação no Brasil.

O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais foi atualizado há vinte anos, por isso foram incorporados ao estudo outros conceitos mais recentes do Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (BRASIL, 2010b).

#### **2.1.1. Classificação das rodovias**

No Brasil, uma rodovia é classificada segundo vários enfoques, dependendo da finalidade. Para o dimensionamento de um projeto geométrico, faz-se importante a classificação técnica, que leva em consideração o nível de qualidade que a rodovia deve

dispor, e a funcional, que diz respeito ao tipo de serviço prestado pela rodovia (BRASIL, 1999).

▪ *Classificação funcional*

Na classificação funcional, as rodovias são designadas segundo o serviço que prestam. Este serviço é parametrizado em acessibilidade e mobilidade, onde o aumento em um desses parâmetros implica a redução do outro. Ou seja, quanto maior a mobilidade oferecida por uma via, menor será a acessibilidade desta e quanto maior a acessibilidade, menor a mobilidade (BRASIL, 1999).

Assim, o DNIT (1999) enquadra as rodovias rurais em três sistemas: arterial (principal, primário ou secundário); coletor (primário ou secundário) e local.

▪ *Classificação técnica*

Na classificação técnica ou de projeto adotada no Brasil há cinco classes de rodovias, que são numeradas de 0 (zero) a IV (quatro). O menor número indica uma rodovia cujas condições são mais rigorosas, ou seja, maior raio de curvatura, maior velocidade diretriz, menor inclinação das rampas e maior largura das faixas de rolamento (BRASIL, 1999).

Para se classificar uma rodovia, ou trecho, segundo a técnica, são avaliados os seguintes critérios (BRASIL, 1999):

- Posição hierárquica dentro da Classificação Funcional;
- Volume Médio Diário de Tráfego (VMD);
- Nível de Serviço;
- Outros condicionantes.

Em geral, os projetos geométricos devem obedecer aos critérios da classe de projeto correspondente à classe funcional da rodovia em que está inserida. O Quadro 1 apresenta a relação entre as classes funcionais e as classes de projeto (BRASIL, 1999).

Quadro 1. Relação geral entre as classes funcionais e as classes de projeto

Sistema	Classes funcionais	Classes de projeto
Arterial	Principal	Classes 0 e I
	Primário	Classes I
	Secundário	Classes I e II
Coletor	Primário	Classes II e III
	Secundário	Classes III e IV
Local	Local	Classes III e IV

Fonte: BRASIL, 1999.

Volume Médio Diário (VMD) é a grandeza básica de demanda de tráfego e seu conhecimento é de extrema importância, pois pode justificar os gastos a serem feitos a favor da operação da rodovia (BRASIL, 2010b).

Para nível de serviço, utiliza-se o conceito definido no *Highway Capacity Manual* (HCM) do *Transportation Research Board*. O HCM divide os níveis de serviço em seis categorias, nomeadas de A a F, parametrizadas em uma rodovia rural genérica de uma pista com tráfego em ambos os sentidos e avaliada em relação às condições de terreno e de possibilidades de ultrapassagem. Outras condições que também devem ser observadas são o fator econômico, a política de transportes e de desenvolvimento nacional (BRASIL, 1999).

No Quadro 2 são apresentadas as diferentes classes de projeto, características básicas e critérios de classificação técnica para o décimo ano após abertura da rodovia.

Quadro 2. Classes de projeto e critérios de classificação técnica

Classe de projeto	Características	Crítérios de classificação técnica
0	Via Expressa Controle total de acesso	Função da rodovia é atender a demanda do tráfego de passagem ou quando a interferência das atividades humanas e o fluxo de tráfego direto causar atritos indesejáveis, Valores de tráfegos que ocasionam níveis de serviço em uma rodovia de pista simples inferiores aos aceitáveis.
I – A	Pista Dupla Controle parcial de acesso	Os volumes de tráfego atendidos são das mesmas faixas da Classe 0, mas sofrendo alguma redução por interferência de acessos mais frequentes.
I – B	Pista Simples	VHP > 200 ou VMD > 1.400 e Nível de Serviço superior a C, em regiões planas, ou D, em regiões montanhosas.
II	Pista Simples	700 < VMD < 1.400, Nível de Serviço: D (próximo a C) ou superior segundo HCM.
III	Pista Simples	300 < VMD < 700
IV – A	Pista Simples	Nível de Serviço: D ou superior segundo HCM.
IV – B	Pista Simples	50 < VMD < 200 no momento da abertura.
		VMD < 50 no momento da abertura.

Legenda: VHP – Volume Horário de Projeto.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1999.



### 2.1.2. Tráfego

#### ▪ *Volume horário de projeto*

Idealmente, uma rodovia deve ter características suficientes para atender à demanda horária máxima calculada para o ano de projeto, o décimo ano após a abertura ao tráfego (BRASIL, 1999).

De tal modo, uma rodovia não teria, teoricamente, congestionamentos em nenhuma hora do ano, porém esta seria antieconômica, estando superdimensionada durante a maior parte do ano. Assim, deve-se em um projeto rodoviário adotar-se um Volume Horário de Projeto (VHP), o que implica em permitir que durante algumas horas do ano tenha-se congestionamento. Em locais que tenham contagens contínuas ao longo do ano inteiro, pode-se determinar o VHP usando a “curva da enésima hora”. Para se obter essa curva, deve-se primeiramente determinar o Volume Médio Diário (VMD) e fazer a representação dos Volumes Horários de Tráfego como porcentagem do VMD. Em seguida, deve-se ordenar estes valores de forma decrescente (BRASIL, 1999).

Por volta da 30ª hora dessa curva, o volume horário referente pode ser adotado como o VHP, pois para se ganhar apenas mais algumas horas sem congestionamento implicaria em um aumento significativo do volume horário de projeto. No Brasil é usual utilizar-se a 50ª hora para se determinar o VHP, nos lugares que ocorrem contagens mecanizadas permanentes. Para lugares que não dispõem de tais contagens, pode-se adotar o valor de 8,5% do VMD (BRASIL, 1999).

#### ▪ *Capacidade rodoviária*

De acordo com o DNIT (1999), a capacidade de uma rodovia é definida como:

*“[...] o número máximo horário de veículos que se estima poder passar por uma dada seção ou trecho homogêneo de uma rodovia, durante um certo período, segundo determinadas condições existentes da rodovia e do tráfego. [...]”*

O período para a análise da capacidade rodoviária é relativo ao pico de tráfego de quinze minutos do VHP e vale reforçar que se refere a uma seção da rodovia, então diferentes

segmentos de uma mesma rodovia podem ter diferentes capacidades. Assim, determina-se que o nível de serviço da infraestrutura é o pior dos casos encontrado nela (MOTA, 2008).

▪ *Nível de serviço*

Para se definir o nível de serviço de uma rodovia considera-se que esta está em condições ideais quando, ao se realizarem melhorias nela, não for possível aumentar a sua capacidade. Essa consideração não leva em conta condições climáticas; qualidade do pavimento e; impedimentos de fluxo de tráfego (BRASIL, 1999).

As rodovias com condições ideais são padronizadas, mais especificamente, como (BRASIL, 1999):

- Largura das faixas de tráfego maior ou igual 3,60 m;
- Afastamento mínimo lateral de obstruções ou obstáculos fixos dos bordos das faixas de tráfego maior ou igual 1,80 m;
- Velocidade de projeto maior ou igual a 112 km/h para multívias e maior ou igual a 96 km/h para vias de pista simples com duas faixas de tráfego;
- Somente veículos de passeio na corrente de tráfego;
- Terreno plano.

O nível de serviço é uma representação qualitativa das condições de operação de uma corrente de tráfego. Os fatores analisados nas condições operacionais são, entre outros, a velocidade; tempo de percurso; restrições ou interrupções de trânsito; grau de liberdade de manobra; segurança; conforto e; economia (BRASIL, 1999).

### **2.1.3. Elementos Básicos de Projeto**

▪ *Velocidade diretriz*

A velocidade é um dos principais elementos de projeto rodoviário, pois a função primordial de uma rodovia é permitir o deslocamento de veículos. Assim, esta condiciona grande parte das características técnicas da rodovia (BRASIL, 1999).

A maior velocidade a que se pode percorrer um trecho da rodovia com segurança, conforto e submetido somente às restrições geométricas é designada por velocidade diretriz (BRASIL, 1999).

As velocidades diretrizes variam consoante a classe de projeto e o relevo. Este último, segundo o *Transportation Research Board*, pode ser categorizado como (TRB,1997):

- Terreno plano – qualquer combinação de greides, alinhamento horizontal e vertical que permita os veículos pesados manter uma velocidade próxima à dos veículos leves;
- Terreno ondulado – qualquer combinação de greides, alinhamento horizontal e vertical que obrigue os veículos pesados a operarem com velocidades significativamente menores que as dos veículos leves, mas ainda não operando em velocidades de arrasto;
- Terreno montanhoso – qualquer combinação de greides, alinhamento horizontal e vertical que, frequentemente ou por distâncias significativas, faça os veículos pesados operarem em velocidade de arrasto.

Os valores da velocidade diretriz, apresentados no Quadro 3, devem ser adotados como mínimos, mas pode haver trechos acidentados que exijam redução dessa velocidade. Também é vantajoso o uso de uma alta velocidade diretriz, pois implica o aumento da segurança, do conforto e a diminuição do tempo de viagem (BRASIL, 1999).

Quadro 3. Velocidades diretrizes mínimas para cada classe de projeto

Classe de projeto	Velocidades diretrizes mínimas (km/h)		
	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	120	100	80
Classe I	100	80	60
Classe II	100	70	50
Classe III	80	60	40
Classe IV	80 – 60	60 – 40	40 – 30

Fonte: BRASIL, 1999.

#### ▪ *Veículo de projeto*

As características físicas dos veículos condicionam vários dos elementos do projeto geométrico da rodovia que utilizam. As mais importantes dessas são a largura do veículo; a

distância entre eixos; o comprimento do veículo; a altura e; a relação entre o peso bruto total e a potência (BRASIL, 1999).

Desta forma, agrupam-se estes veículos em nove classes e atribui-se a cada características físicas representativas, que devem estar parametrizadas de tal forma que incluam a maioria dos veículos na respectiva classe. Aos veículos que apresentam tais características são designados como veículos de projeto. O Quadro 4 apresenta a classe de veículos e as dimensões básicas do veículo representativo de cada classe (BRASIL, 2010b).

Quadro 4. Classes de veículos de projeto e dimensões básicas

Características	Classes de veículos de projeto								
	VP	CO	O	OR	CA	BT7	CG	BT9	BTL
Largura total (m)	2,1	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Comprimento total (m)	5,8	9,1	12,2	14,0	18,6	19,8	22,4	25,0	30,0
Raio mínimo da roda externa dianteira (m)	7,3	12,8	12,8	13,8	13,7	13,7	13,7	14,8	16,6
Raio de giro do eixo dianteiro (m)	6,4	11,5	11,5	12,5	12,5	12,5	12,5	13,6	15,4
Raio mínimo da roda interna traseira (m)	4,7	8,7	7,1	7,7	6,1	6,8	1,6	4,5	3,9

Legenda: VP – Veículo leve; CO – Caminhão e Ônibus convencional; O – Ônibus urbano longo; OR – Ônibus rodoviário; CA – Carreta; BT7 – Bitrem de 7 eixos; CG – Cegonheiro; BT9 – Bitrem de 9 eixos; BTL – Bitrem longo e rodotrem.

Fonte: BRASIL, 2010b.

Destes veículos deve-se escolher um com dimensões que representem aqueles que devem utilizar a rodovia, de forma que os veículos que estejam de fora deste enquadramento sejam muito poucos e que mesmo assim lhes sejam garantidas as condições mínimas de dirigibilidade e conforto (BRASIL, 2010b).

#### ▪ *Distância de visibilidade*

As distâncias de visibilidade indicam parâmetros para a visibilidade que deve ser garantida ao motorista, a fim de que este tenha tempo de reagir em prol de sua segurança. São consideradas três distâncias de visibilidade básicas de um projeto geométrico: distância de visibilidade de parada; de tomada de decisão e; de ultrapassagem. Destas apenas a primeira tem caráter obrigatório (BRASIL, 1999).

▪ *Distância de visibilidade de parada*

DNIT (1999) define distância de visibilidade de parada como a distância necessária para um motorista médio, em veículo médio com condições razoáveis de manutenção, trafegando em uma rodovia com pavimento adequado, reduzir a sua velocidade a zero ao se deparar com um obstáculo na pista.

Existem duas velocidades que podem ser consideradas no cálculo desta distância, a velocidade diretriz e a velocidade média de viagem em tempo chuvoso. A Tabela 1 apresenta para cada velocidade diretriz a velocidade média correspondente (BRASIL, 1999).

Tabela 1. Velocidades médias em pistas molhadas em função da velocidade diretriz

<b>Velocidade diretriz (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Velocidade média (km/h)</b>	30	38	46	54	62	71	79	86	92	98

Fonte: BRASIL, 1999.

A distância de visibilidade de parada é representada em duas parcelas. A primeira corresponde à distância percorrida pelo veículo durante o tempo de percepção, decisão e reação (adotado como 2,5 segundos) após a visualização de um obstáculo pelo motorista. A segunda se trata da distância percorrida durante o processo de frenagem. A Equação 1 apresenta o cálculo da distância de visibilidade de parada (BRASIL, 1999):

$$DP = 0,7 V + \frac{V^2}{255 (f_1 + i)} \quad (1)$$

Em que: DP é a distância de visibilidade de parada (m); V é a velocidade diretriz ou velocidade média (km/h);  $f_1$  é o coeficiente de atrito longitudinal entre pneus e pista molhada (adimensional); i é a inclinação do trecho, positivo se for aclive e negativo se for declive (m/m).

O valor da distância de visibilidade de parada calculado com o uso da velocidade média na Equação 1 é designado como mínimo e o determinado com a velocidade diretriz é considerado desejado. Além disso, o coeficiente de atrito a ser usado deve ter em consideração o tipo de velocidade e seu valor. Os valores destes coeficientes são apresentados nas Tabela 2 e Tabela 3 (BRASIL, 1999).

Tabela 2. Coeficientes de atrito longitudinal em função das velocidades diretrizes

<b>Velocidade diretriz (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Coeficiente de atrito longitudinal</b>	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,28	0,27

Fonte: Adaptado de BRASIL (1999).

Tabela 3. Coeficientes de atrito longitudinal em função das velocidades médias

<b>Velocidade média (km/h)</b>	30	38	46	54	62	70	79	86	92	98
<b>Coeficiente de atrito longitudinal</b>	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30

Fonte: Adaptado de BRASIL (1999).

Como a distância de visibilidade de parada assegura margem de segurança o suficiente, pode-se, para fins de projeto, desprezar os greides não-nulos. A Tabela 4 apresenta os valores mínimos e desejáveis para essas distâncias em função da velocidade diretriz e considerando a inclinação de rampa nula (BRASIL, 1999).

Tabela 4. Distâncias de visibilidade de parada para greide nulo

<b>Velocidade diretriz (km/h)</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>
<b>Mínima (m)</b>	30	45	60	75	90	110	130	155	180	205
<b>Desejável (m)</b>	30	45	65	85	110	140	175	210	255	310

Fonte: Adaptado de BRASIL (1999).

#### ▪ *Distância de visibilidade para tomada de decisão*

A distância de visibilidade para tomada de decisão é a distância necessária para um motorista identificar uma situação perigosa ou inesperada, pensar em como evitá-la e executar as ações necessárias eficientemente e com segurança. No caso de rodovias rurais, tal motorista pode chegar, essencialmente, a duas decisões, parar ou desviar do obstáculo (BRASIL, 1999).

As distâncias de visibilidade para tomada de decisão não são obrigatórias, mas a sua aplicação pode ajudar a evitar acidentes. A Tabela 5 apresenta os valores destas distâncias, em função da velocidade diretriz, para as duas possibilidades de ação do motorista (BRASIL, 1999).

Tabela 5. Distâncias de visibilidade para tomada de decisão

<b>Velocidade diretriz (km/h)</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>
<b>Distância para parar (m)</b>	50	75	95	125	155	185	225	265	305
<b>Distância para desviar (m)</b>	115	145	175	200	230	275	315	335	375

Fonte: BRASIL, 1999.

- *Distância de visibilidade de ultrapassagem*

A Tabela 6 apresenta distâncias de visibilidade de ultrapassagem em função das velocidades diretrizes.

Tabela 6. Distâncias de visibilidade de ultrapassagem

<b>Velocidade diretriz (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Distância de visibilidade de ultrapassagem (m)</b>	180	270	350	420	490	560	620	680	730	800

Fonte: BRASIL, 1999.

#### **2.1.4. Alinhamento Horizontal**

O alinhamento horizontal de uma rodovia determina o seu traçado e percurso e é obtido pela projeção desta no plano horizontal. O traçado deve ser tratado como uma característica tridimensional e contínua, que deve fluir naturalmente e apresentar mudanças de direção de forma gradativa (BRASIL, 1999).

O alinhamento horizontal é composto, basicamente, por dois elementos, a tangente, partes retas da rodovia, e curvas, elemento em forma de arco, em composição de arcos ou em espiral que objetiva dar a concordância entre duas tangentes. Esses elementos são adotados para adequar a rodovia à topografia local, de forma que esta seja técnica e economicamente viável, mas também para que se enquadre esteticamente ao seu meio (BRASIL, 1999).

Os três tipos de curvas que podem ser usados em projetos geométricos são a curva circular simples, que conecta duas tangentes por um arco de círculo; a curva circular composta, que faz a ligação de duas tangentes por dois ou mais arcos sucessivos, e; a curva de raio variável com curva de raio constante, onde as tangentes são ligadas a curvas de raio variável, chamadas de curvas de transição, que se unem a uma curva de raio constante (BRASIL, 1999).

- *Alinhamento reto*

Quanto às tangentes deve-se evitar que sejam muito longas, uma vez que estas tornam os trajetos monótonos e cansativos. Uma tangente entre curvas com mesmo sentido deve ter uma extensão que atenda à condição exposta na Equação 2. Caso não seja possível

atender, deve-se substituir o conjunto curva-tangente-curva por uma única curva simples ou composta (BRASIL, 1999).

$$T \geq 4 Vd \quad (2)$$

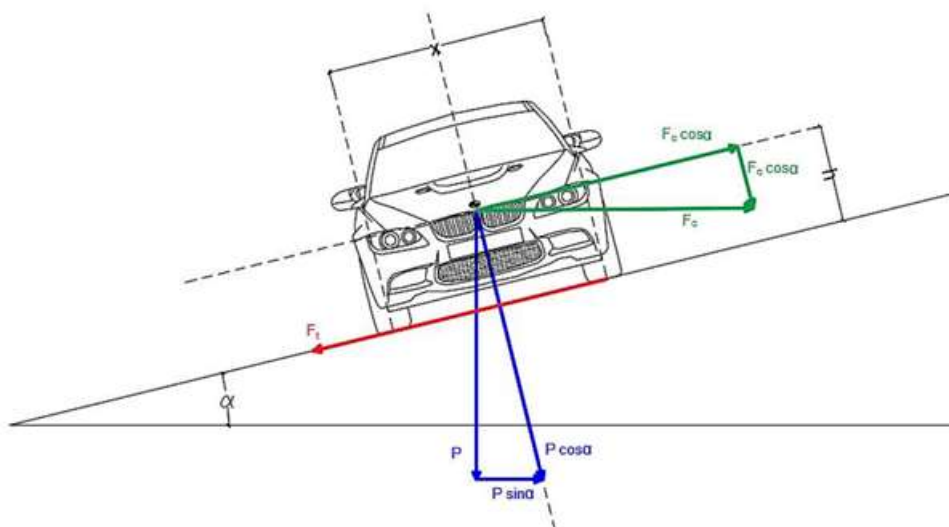
Em que: T é comprimento da tangente (m); Vd é a velocidade diretriz da rodovia (km/h).

No caso de curvas em sentidos opostos, a única restrição da tangente é que esta permita a transição das superelevações das curvas (BRASIL, 1999).

#### ▪ *Curva circular*

O raio mínimo de uma curva se refere ao menor raio que uma curva pode ter para ser percorrida na velocidade diretriz em condições aceitáveis de segurança e conforto. Para o cálculo do raio mínimo usa-se a taxa máxima de superelevação. Neste cálculo, considera-se que atuam sobre o veículo três forças, a força peso; a força do atrito entre o pneu e o pavimento e; a força centrífuga devida à mudança de direção do veículo, e que elas estão em equilíbrio. A Figura 2 mostra o sistema de forças que atua em um veículo que percorre uma curva horizontal (BRASIL, 1999).

Figura 2. Sistema de forças que atua em um veículo que percorre uma curva horizontal



Legenda: P – Força peso;  $F_t$  – Força de atrito transversal;  $F_c$  – Força centrífuga.

Fonte: ALEXANDRE, 2018.



O raio mínimo é calculado através da Equação 3:

$$R = \frac{V^2}{127 (e_R + f_t)} \quad (3)$$

Em que: R é o raio de curvatura (m); V é a velocidade do veículo (km/h);  $e_R$  é a superelevação (m/m);  $f_t$  é o coeficiente de atrito transversal admissível (adimensional).

A Tabela 7 apresenta os valores máximos de coeficientes de atrito transversais admissíveis em função da velocidade diretriz (BRASIL, 1999).

Tabela 7. Máximos coeficientes de atrito transversal admissíveis

<b>Velocidade diretriz (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Coeficiente de atrito transversal admissível</b>	0,20	0,18	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Fonte: BRASIL, 1999.

Através da Tabela 7, verifica-se que os valores do coeficiente de atrito transversal são maiores para velocidades diretrizes menores, isto ocorre porque os motoristas se mostram mais tolerantes ao desconforto quando estão em menores velocidades. A Tabela 8 apresenta os valores dos raios mínimos, expressos em metros, em função da superelevação e da velocidade diretriz. O cálculo é feito com a Equação 3, adotando-se a velocidade diretriz no parâmetro velocidade do veículo (BRASIL, 1999).

Tabela 8. Valores dos raios mínimos em função da superelevação e da velocidade diretriz

<b>Velocidade diretriz (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
<b><math>e_R</math> (%)</b>	<b>4</b>	30	60	100	150	205	280	355	465	595	755
	<b>6</b>	25	55	90	135	185	250	320	415	530	665
	<b>8</b>	25	50	80	125	170	230	290	375	475	595
	<b>10</b>	25	45	75	115	155	210	265	345	435	540
	<b>12</b>	20	45	70	105	145	195	245	315	400	490

Legenda: Valores dos raios mínimos expressos em metros.

Fonte: BRASIL, 1999.

Quando o ângulo central da curva, ângulo formado pelo encontro de retas perpendiculares às tangentes, for menor que cinco graus, deve-se escolher um raio que atenda à condição estabelecida na Equação 4 (BRASIL, 1999):

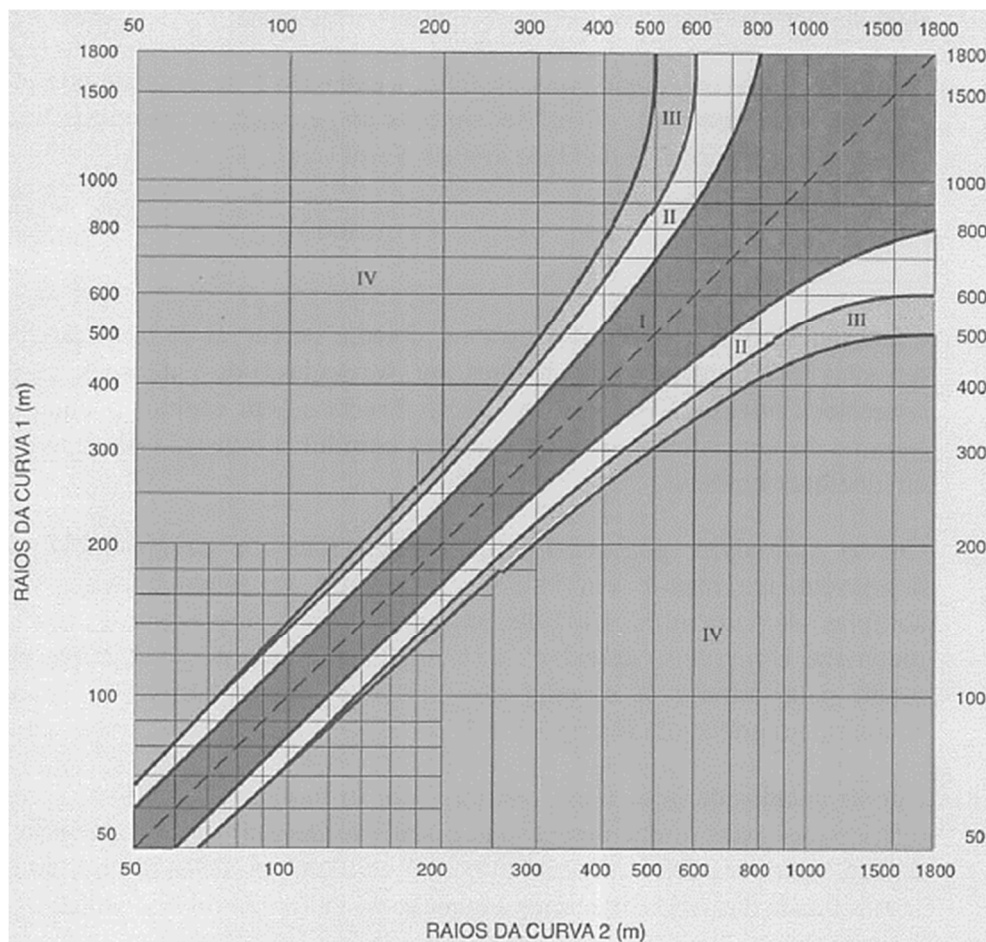
$$D \geq 30 (10 - AC) \quad (4)$$

Em que: D é o desenvolvimento da curva (m); AC é o ângulo central da curva (graus).

Observa-se que é dispensada a curva horizontal caso o ângulo central desta seja inferior a quinze minutos, mas que ângulos tão pequenos devem ser evitados. O manual também recomenda que duas curvas consecutivas apresentem raios com pouca variação, pois grandes variações de raio podem surpreender e confundir os motoristas (BRASIL, 1999).

A Figura 3 relaciona o raio de duas curvas circulares consecutivas, tendo sido elaborada a partir da análise de dados de acidentes e do comportamento dos motoristas (INIR, 2010).

Figura 3. Critérios desejáveis para orientar a escolha dos raios de curvas sucessivas



Legenda: Zona I – Sucessão desejável; Zona II – Sucessão boa; Zona III – Sucessão aceitável; Zona IV – Sucessão a evitar quando possível.

Fonte: BRASIL, 1999.

▪ *Curva de transição*

Um veículo que percorre um trecho em tangente e entra em uma curva circular precisa de alterar a sua trajetória. Enquanto o veículo está na tangente, este circula em uma trajetória de raio infinito, com aceleração centrífuga nula, e, ao passar para a curva circular, este deve instantaneamente alterar o raio de sua trajetória para o mesmo raio da curva. Na realidade, essa mudança de direção da trajetória é acomodada dentro da folga que o veículo tem em sua faixa ou é feita através de manobras mais forçadas (BRASIL, 1999).

As curvas de transição são introduzidas para minimizar as mudanças de raio que ocorrem no encontro de trechos em tangente com trechos em curva. Estas curvas fornecem uma trajetória mais natural, além de serem ideais para acomodar as variações de superlargura e superelevação (BRASIL, 1999).

Segundo Pimenta e Oliveira (2004), existem várias curvas que podem ser usadas no desenho da curva de transição, como a curva lemniscata ou a parábola cúbica, mas a mais vantajosa do ponto de vista técnico é a clotóide, pois esta representa o caminho desenhado por um veículo que tem seu volante girado constante e uniformemente e seu raio de curvatura varia linearmente com a distância percorrida, fazendo com que a aceleração centrífuga também varie linearmente.

O DNIT (2010b) estabelece que a curva de transição não seja necessária quando a aceleração centrífuga que atua no veículo ao longo da curva circular for menor ou igual a  $0,4 \text{ m/s}^2$ . A Tabela 9 apresenta os valores de raio da curva circular a partir dos quais é dispensada a curva de transição.

Tabela 9. Valores dos raios acima dos quais podem ser dispensadas curvas de transição

<b>Velocidade diretriz (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	100	110
<b>Raio da curva circular (m)</b>	170	300	500	700	950	1200	1550	1900	2300

Fonte: BRASIL, 2010b.

Como a curva de transição é ideal para acomodar a transição da superelevação, o DNIT (2010b) determina que o comprimento da curva de transição deve obedecer aos limites mínimos e máximos do comprimento de transição de superelevação.

### 2.1.5. Alinhamento Vertical

O alinhamento vertical de uma rodovia consiste na projeção do eixo desta em um plano vertical que o contenha. Este também é referido como perfil do projeto ou greide. Este depende intimamente das características altimétricas do terreno e quaisquer alterações podem ter forte impacto no custo da estrada, devido à sua influência nos custos de terraplenagem (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004).

O greide é composto por uma sucessão de rampas (alinhamentos retos) concordadas por curvas verticais. Estes elementos devem ser dispostos de forma a permitir uma operação uniforme, o que implica rampas com pouca inclinação e curvas de grande raio, e se adequar da melhor forma possível ao terreno (BRASIL, 1999).

#### ▪ *Rampa*

O desenho de rampas e suas inclinações têm grande influência no fator econômico de um projeto, pois estas influenciam a quantidade de movimento de terra que será necessário na execução do projeto. DNIT (1999) estabelece valores de inclinações máximas para rampas, a fim de se favorecer o desempenho operacional dos veículos. Tais valores são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Inclinação máxima de rampas

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

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1999.

No caso de a rodovia ser da Classe IV – B e em terreno montanhoso, pode-se utilizar rampas com inclinação de até 10% e limitando-se a extensões de 300 m (BRASIL, 1999).

Além disso, o DNIT (2010b) também estabelece que as rampas devem ter no mínimo 0,35% de inclinação, para fins de drenagem, e desejavelmente 0,5%.

▪ *Concordância vertical*

As curvas verticais têm o objetivo de concordar duas rampas e podem ser circunferências ou parábolas. Normalmente são utilizadas parábolas, pois proporcionam boa aparência e concordância, permitindo também um fácil cálculo das cotas (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004).

As parábolas são definidas segundo o parâmetro de curvatura, que representa o comprimento no plano horizontal para cada 1% da diferença de declividade entre as rampas a serem concordadas (BRASIL, 1999).

Para curvas verticais circulares deve-se adotar um raio definido pela relação expressa na Equação 5 (BRASIL, 1999).

$$R_V = 100 K \quad (5)$$

Em que:  $R_V$  é o raio da curva vertical circular (m);  $K$  é o parâmetro de curvatura (m).

Tendo o parâmetro de curvatura e a diferença de declividade entre as rampas, pode-se obter o comprimento horizontal da curva vertical segundo a Equação 6 (BRASIL, 1999).

$$L_V = K A \quad (6)$$

Em que:  $L_V$  é o comprimento horizontal da curva vertical (m);  $K$  é o parâmetro de curvatura (m);  $A$  é a diferença de declividade entre as rampas (%).

DNIT (1999) considera que se a diferença de declividade for inferior a 0,5%, não há necessidade de concordância. Também que se deve tomar maior atenção à drenagem quando a curvatura tiver valores superiores a 43 m.

Para promover conforto aos motoristas e passageiros, deve obedecer-se ao critério da máxima aceleração radial, que estabelece valores mínimos para o parâmetro de curvatura das concordâncias, de tal forma que os usuários da rodovia não se sintam desconfortáveis devido ao surgimento da aceleração radial na curva vertical. Os valores desta devem situar-se em 1,5% e 5% do valor da aceleração da gravidade. Por meio da Equação 7 é possível calcular os valores mínimos do parâmetro de curvatura segundo este critério (BRASIL, 1999).

$$K_{\min} = \frac{Vd^2}{1296 a} \quad (7)$$

Em que:  $K_{\min}$  é o valor mínimo a ser adotado como parâmetro de curvatura (m);  $Vd$  é a velocidade diretriz (km/h);  $a$  é a aceleração radial máxima admissível ( $m/s^2$ ).

A Tabela 11 apresenta alguns valores mínimos para o parâmetro de curvatura.

Tabela 11. Valores mínimos de parâmetro de curvatura pelo critério da máxima aceleração radial

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
<b>a</b>	<b>1,5.g</b>	4,72	8,39	13,11	18,88	25,69	33,56	42,47	52,44	63,45	75,51
<b>(% de g)</b>	<b>5.g</b>	1,42	2,52	3,93	5,66	7,71	10,07	12,74	15,73	19,03	22,65

Legenda:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ; Valores dos parâmetros de curvatura expressos em metros.

Fonte: BRASIL, 1999.

O parâmetro de curvatura da concordância vertical também pode ter seu valor mínimo restringido pelo critério da distância de visibilidade necessária. As curvas verticais podem ser convexas (aclive sucedido de declive) ou côncavas (declive sucedido de aclive). Na curva convexa, pode-se obter o parâmetro de curvatura pela Equação 8, adotada caso o comprimento horizontal seja maior que a distância de visibilidade (DP) e pela Equação 9, caso a DP seja maior (BRASIL, 1999).

$$K_{\min} = \frac{DP^2}{100 (\sqrt{2 h_1} + \sqrt{2 h_2})^2} = \frac{DP^2}{412} \quad , \text{ para } L_V \geq DP \quad (8)$$

$$K_{\min} = \frac{2DP}{A} - \frac{200 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A^2} = \frac{2DP}{A} - \frac{412}{A^2} \quad , \text{ para } L_V \leq DP \quad (9)$$

Em que:  $K_{\min}$  é o parâmetro mínimo de curvatura (m);  $DP$  é a distância de visibilidade de parada (m);  $h_1$  é a altura do olho do motorista (1,10 m);  $h_2$  é a altura de um objeto sobre a pista (0,15 m);  $A$  é a diferença de declividade entre as rampas (%);  $L_V$  é o comprimento horizontal da curva vertical (m).

Ainda, o DNIT (1999) adota 1,10 m para altura do olho do motorista e 0,15 m ou 1,10 m para altura do objeto. Este último valor é utilizado quando o veículo se encontra em manobra de ultrapassagem e adota-se a distância de visibilidade de ultrapassagem. Essa opção

gera valores excessivos de comprimento horizontal e de difícil aplicação na prática. No caso das curvas verticais côncavas, pode-se obter o parâmetro de curvatura pelas Equações 10 e 11, a primeira sendo adotada caso o comprimento horizontal seja maior que a distância de visibilidade e a segunda, caso menor (BRASIL, 1999).

$$K_{\min} = \frac{DP^2}{122 + 3,5 DP} \quad , \text{ para } L_V \geq DP \quad (10)$$

$$K_{\min} = \frac{2DP}{A} - \frac{122 + 3,5 DP}{A^2} \quad , \text{ para } L_V \leq DP \quad (11)$$

Em que:  $K_{\min}$  é o parâmetro mínimo de curvatura (m); DP é a distância de visibilidade de parada (m); A é a diferença de declividade entre as rampas (%);  $L_V$  é o comprimento horizontal da curva vertical (m).

Nas Equações 10 e 11 considera-se uma situação noturna e que o veículo possui um farol a uma altura de 0,61 m e com um ângulo de divergência dos raios luminosos de dois graus, que ilumina uma distância equivalente à distância de parada (BRASIL, 1999). A Tabela 12 apresenta os valores do parâmetro mínimo de curvatura para comprimentos horizontais superiores às distâncias de parada.

Tabela 12. Valores de K, quando  $L_V \geq DP$

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Curva vertical convexa</b>										
<b>K – Mínimo</b>	2	5	9	14	20	29	41	58	79	102
<b>K – Desejável</b>	2	5	10	18	29	48	74	107	158	233
<b>Curva vertical côncava</b>										
<b>K – Mínimo</b>	4	7	11	15	19	24	29	36	43	50
<b>K – Desejável</b>	4	7	12	17	24	32	42	51	64	80

Fonte: BRASIL, 1999.

O DNIT (1999) considera que o comprimento horizontal tem um mínimo absoluto, expresso pela Equação 12.

$$L_{V\min} = 0,6 Vd \quad (12)$$

Em que:  $L_v$  é o comprimento mínimo horizontal da curva vertical (m);  $V_d$  é a velocidade diretriz do trecho (km/h).

### 2.1.6. Seção Transversal

Para a finalidade deste trabalho, este subcapítulo aborda apenas a largura das faixas de rolamento, a superlargura, a inclinação transversal e a superelevação. Estes elementos têm influência sobre a estética, operação e segurança de uma rodovia e devem ser dimensionados em função da velocidade, capacidade de tráfego e nível de serviço da rodovia (BRASIL, 1999).

#### ▪ *Largura das faixas de rolamento*

Para a determinação da largura das faixas de rolamento, soma-se à largura do veículo de projeto adotado uma faixa condizente com a velocidade diretriz e a classe funcional da rodovia. Os valores recomendados ficam em 3,00 e 3,60 m. O Quadro 5 apresenta os valores para a largura das faixas de rolamento de acordo com a classe de projeto e o relevo. Esses valores não devem ser reduzidos, uma vez que influenciam mais na capacidade da via do que geram economia, a menos que as condições topográficas sejam muito desfavoráveis, haja baixo volume de tráfego e este tenha baixa participação de veículos comerciais (BRASIL, 1999).

Quadro 5. Largura das faixas de rolamento

Classe de projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3,60	3,60	3,60
Classe I	3,60	3,60	3,50
Classe II	3,60	3,50	3,30
Classe III	3,50	3,30	3,30
Classe IV – A	3,00	3,00	3,00
Classe IV – B	2,50	2,50	2,50

Legenda: Valores da largura expressos em metros.

Fonte: BRASIL, 1999.

#### ▪ *Superlargura*

A superlargura se trata de um aumento da largura das faixas de rolamento nas curvas de uma rodovia. Esta é necessária porque um veículo, devido à sua rigidez, não consegue



acompanhar a curvatura da via e porque os motoristas têm maior dificuldade de percepção de distâncias transversais em curva. Assim, a superlargura proporciona conforto e segurança nas curvas. Através das Equações 13 a 17, a superlargura é calculada para o raio estabelecido, considerando-se duas faixas de tráfego (BRASIL, 1999).

$$S_R = L_T - L_B \quad (13)$$

$$L_T = [ 2 ( G_C - G_L ) + G_{BD} ] + FD \quad (14)$$

$$G_C = L_{VP} + ( R - \sqrt{R^2 - E^2} ) \quad (15)$$

$$G_{BD} = \sqrt{R^2 + BD ( 2 E + BD )} - R \quad (16)$$

$$FD = \frac{Vd}{10 \sqrt{R}} \quad (17)$$

Em que:  $S_R$  é a superlargura total da pista (m);  $L_T$  é a largura total em curva da pista de duas faixas de rolamento (m);  $L_B$  é a largura da pista em tangente (m);  $G_C$  é o gabarito estático do veículo de projeto em curva (m);  $G_L$  é o gabarito lateral do veículo de projeto em movimento (m);  $G_{BD}$  é o gabarito requerido pelo percurso do balanço dianteiro do veículo de projeto em curva (m);  $FD$  é a folga transversal que considera a maior dificuldade em manter a trajetória em curvas (m);  $L_{VP}$  é a largura do veículo de projeto (m);  $E$  é a distância entre eixos do veículo de projeto (m);  $R$  é o raio da curva (m);  $BD$  é o balanço dianteiro do veículo de projeto (m);  $Vd$  é a velocidade diretriz (km/h).

A Tabela 13 apresenta os valores de  $G_L$  a serem usados para cada largura de tangente da pista de rolamento.

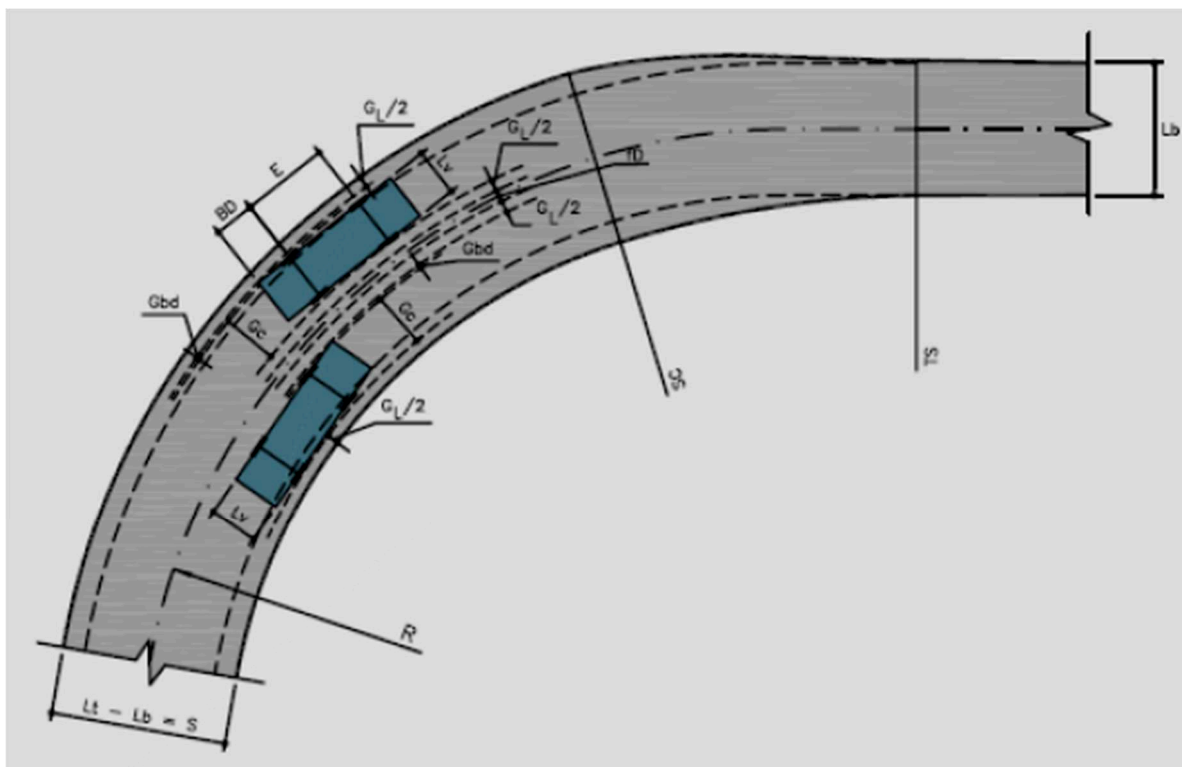
Tabela 13. Valores de  $G_L$  em função da largura da pista em tangente

<b><math>L_B</math> (m)</b>	6,00 / 6,40	6,60 / 6,80	7,00 / 7,20
<b><math>G_L</math> (m)</b>	0,60	0,75	0,90

Fonte: BRASIL, 1999.

A Figura 4 ilustra os elementos intervenientes no cálculo da superlargura, expressados por meio das Equações 13 a 17.

Figura 4. Elementos intervenientes no cálculo da superlargura



Fonte: BRASIL, 2010b.

No caso de veículos articulados adota-se uma distância entre eixos equivalentes, o qual nas Equações 15 e 16 devem ser substituídos por “E”. Essa distância equivalente é definida na Equação 18 (BRASIL, 1999):

$$E_{eq} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (18)$$

Em que:  $E_{eq}$  é a distância entre eixos equivalente do veículo de projeto (m);  $E_1$  é a distância entre o eixo dianteiro do veículo trator e o pivô de apoio do semirreboque (m);  $E_2$  é a distância do pivô ao eixo traseiro ou ponto médio entre os eixos traseiros (m).

Caso a pista seja composta por três ou quatro faixas de tráfego, é recomendada a multiplicação do valor obtido para duas faixas pelos fatores 1,25 e 1,50, respectivamente. A superlargura é introduzida em ambos os lados da pista, podendo ser assimétrica, recomendada para curvas em transição, ou simétrica, indicada em curvas circulares (BRASIL, 1999). No Anexo A constam os dados relativos aos veículos de projeto.

▪ *Abaulamento*

A pista de rolamento deve ter, obrigatoriamente, uma inclinação transversal (abaulamento) para permitir o escoamento da água da superfície (BRASIL, 1999).

O abaulamento em dois sentidos permite um escoamento da água mais rápido, mas exige que haja drenagem em ambos os lados da pista. A seção transversal abaulada é preferível em pistas simples e de mão dupla, pois o caimento gera uma aceleração, devida à gravidade, de forma a afastar os veículos em sentidos opostos (BRASIL, 1999).

O abaulamento em um sentido permite uma transição de superelevação simplificada e permite que haja sistema de drenagem em apenas um lado da pista, mas prejudica o escoamento da água. Este tipo de caimento é favorável a pistas duplas de mão única. No Brasil, em geral se utilizam para pavimentos em concreto asfáltico de excelente qualidade um abaulamento de 2,0% e 1,5% para pavimentos rígidos. Quando houver seção transversal com mais de duas faixas é conveniente, para favorecer a drenagem, utilizar declividades superiores a 2,0%. Pistas não pavimentadas devem ter caimentos de 3,0%, excepcionalmente 4,0% dependendo do regime pluviométrico e tipo de solo do subleito (BRASIL, 1999).

▪ *Superelevação*

A superelevação e o raio da curva são dois elementos interdependentes. O raio de curvatura mínimo é definido pela superelevação máxima da classe de projeto da rodovia, mas quando o raio utilizado for maior que o mínimo, deve-se ajustar a superelevação segundo a Equação 19 (BRASIL, 1999).

$$e_R = e_{R_{\text{máx}}} \left( \frac{2 R_{\text{min}}}{R} - \frac{R_{\text{min}}^2}{R^2} \right) \quad (19)$$

Em que:  $e_R$  é a taxa de superelevação (m/m);  $e_{R_{\text{máx}}}$  é a taxa máxima de superelevação (m/m);  $R$  é o raio da curva (m);  $R_{\text{min}}$  é o raio mínimo para a taxa máxima de superelevação (m).

Os critérios para a definição da superelevação máxima são os seguintes (BRASIL, 1999):

- 12% – Limita-se aos casos de melhoria e correção da via onde é inviável o aumento do raio da curva;

- 10% – Rodovias de Classe 0 em geral e Classe I em região plana e ondulada;
- 8% – Para o restante das rodovias;
- 4% e 6% – Em trechos adjacentes a áreas urbanas.

DNIT (1999) estabelece superelevação mínima de 2,0% e dispensa do seu uso quando o raio da curva for superior aos raios apresentados na Tabela 14, dada à velocidade diretriz.

Tabela 14. Raios que dispensam superelevação em função da velocidade diretriz

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	≥ 100
Raio (m)	450	800	1250	1800	2450	3200	4050	5000

Fonte: BRASIL, 1999.

No caso de seção transversal abaulada ou com caimento único no sentido contrário ao da pista, devem-se zerar tais declividades antes do início da transição e usar-se de uma taxa uniforme de variação da superelevação. O comprimento de transição em tangente deve ser proporcional ao comprimento de superelevação, como demonstrado na Equação 20 (BRASIL, 1999).

$$T_T = \frac{L_{eR} t}{e_R} \quad (20)$$

Em que:  $T_T$  é o comprimento de transição em tangente (m);  $L_{eR}$  é o comprimento de transição da superelevação (m);  $t$  é a declividade em tangente a ser zerada (%);  $e_R$  é a superelevação a ser mantida na curva (%).

No caso de seção abaulada, apenas anula-se a declividade em sentido contrário ao da curva (BRASIL, 1999).

A transição da superelevação deve acontecer ao longo da curva de transição, assim o comprimento da curva de transição ( $L_C$ ) deve obedecer aos critérios mínimos de comprimento de transição da superelevação. Caso não haja curva de transição, de 60% a 70% do comprimento  $L_C$  deve situar-se na tangente (BRASIL, 2010b). A Tabela 15 apresenta os mínimos absolutos de  $L_{eR}$  dada a velocidade diretriz.

Tabela 15. Comprimentos mínimos absolutos de transição da superelevação em função da velocidade diretriz

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$L_{eR}$ (m)	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Fonte: BRASIL, 2010b.

O comprimento mínimo de  $L_{eR}$  deve respeitar, para conforto dos usuários, o critério de taxa máxima de variação da aceleração centrífuga, como exposto na Equação 21 (BRASIL, 1999).

$$L_{eRmin} = \frac{Vd^3}{46,656 R C} - \frac{e_R Vd}{0,367 C} \quad (21)$$

Em que:  $L_{eRmin}$  é o comprimento mínimo para a transição da superelevação (m);  $Vd$  é a velocidade diretriz do trecho (km/h);  $R$  é o raio da curva circular (m);  $e_R$  é a superelevação na curva (m/m);  $C$  é a taxa de variação máxima da aceleração centrífuga ( $m/s^3$ ). Este último é fixado segundo a Equação 22 (BRASIL, 1999).

$$C = -0,009 Vd + 1,5 \quad (22)$$

Em que:  $C$  é a taxa de variação máxima da aceleração centrífuga ( $m/s^3$ );  $Vd$  é a velocidade diretriz do trecho (km/h).

Outro critério que deve ser obedecido é o de fluência ótica, onde o comprimento de transição de superelevação deve equivaler a um nono do raio da curva, caso este seja igual ou maior que 800 m, como mostrado na Equação 23 (BRASIL, 2010b).

$$L_{eRmin} > R/9 \quad (23)$$

Em que:  $L_{eRmin}$  é o comprimento mínimo para a transição da superelevação (m);  $R$  é o raio da curva circular (m).

O critério de máxima rampa de superelevação admissível estabelece que a diferença entre o greide da rodovia e a inclinação do bordo mais afetado pela superelevação não deve superar os valores apresentados na Tabela 16 (BRASIL, 2010b).

Tabela 16. Rampas de superelevação admissível para pistas de 2 faixas com eixo de rotação no centro

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Diferença entre inclinações (%)	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,47	0,44	0,41

Fonte: BRASIL, 2010b.

Caso a pista não seja de duas faixas ou o eixo de rotação não esteja em seu centro, utilizam-se os fatores de majoração da Tabela 17 (BRASIL, 2010b).

Tabela 17. Fator de majoração do comprimento de transição para o número de faixas rotacionadas

Número de faixas rotacionadas	1	2	3	4
Fatores de majoração	1,00	1,50	2,00	2,50

Fonte: BRASIL, 2010b.

Com a Equação 24 calcula-se o comprimento mínimo da transição da superelevação para que o critério de rampa máxima seja obedecido (BRASIL, 2010b).

$$L_{eRmin} = \frac{dm}{r} e_R \quad (24)$$

Em que:  $L_{eRmin}$  é o comprimento mínimo para a transição da superelevação (m);  $dm$  é a distância do eixo de rotação ao bordo mais afastado da pista (m);  $r$  é diferença entre a inclinação do greide da rodovia e a inclinação do bordo mais afetado pela superelevação (%);  $e_R$  é a superelevação na curva circular (%).

O DNIT (2010b) estabelece o valor máximo do comprimento de transição da superelevação, que deve seguir dois critérios. O primeiro critério diz que o comprimento máximo de superelevação, e por consequência o da clotóide, deve no máximo se igualar ao raio da curva circular. O segundo critério limita o comprimento de transição, estabelecendo que um veículo na velocidade diretriz não possa levar mais que oito segundos para percorrer o trecho, como representado na Equação 25. Recomenda-se que os comprimentos de superelevação sejam arredondados para múltiplos decimais. (BRASIL, 1999).

$$L_{eRmáx} = 2,2 Vd \quad (25)$$

Em que:  $L_{eRmáx}$  é o comprimento máximo da transição (m); e  $V_d$  é a velocidade diretriz (km/h).

## 2.2. PROJETO GEOMÉTRICO NO CONTEXTO PORTUGUÊS

Em Portugal, a Norma de Traçado da Junta Autónoma de Estradas (JAE) foi divulgada em 1994, sendo revisada em 2010 com a publicação do Documento Base da Revisão da Norma de Traçado (JAE, 1994; INIR, 2010).

Este trabalho foi realizado pela empresa ENGIVA – Consultores de Engenharia, S.A., contando com a colaboração do LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P., e tendo sido promovido pelo InIR – Instituto de Infraestruturas Rodoviárias, fundido em 2012 no IMT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P. (INIR, 2010; IMT, 2012).

A Revisão da Norma de Traçado fornece as bases uniformes para a elaboração do projeto geométrico de estradas, respeitando os princípios da boa prática da Engenharia Rodoviária. Esta Norma se aplica a todas as estradas da Rede Rodoviária Nacional (RRN) e às estradas regionais (INIR, 2010).

### 2.2.1. Classificação das rodovias

A Norma portuguesa se aplica às estradas definidas no Plano Rodoviário Nacional 2000 (PRN2000). O PRN2000 foi estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 222/98, de 17 de julho com alteração pelo Decreto-Lei n.º 182/2003, de 16 de agosto (INIR, 2010).

De acordo com o Documento Base da Revisão da Norma de Traçado (2010), tem-se que:

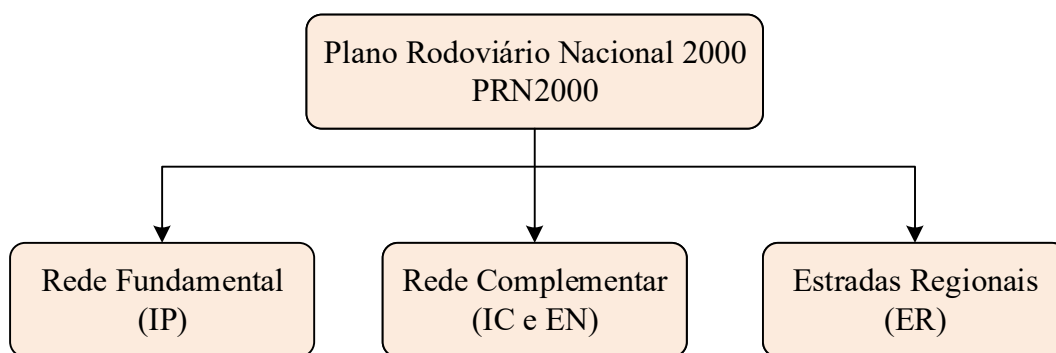
*“A Rede Nacional Fundamental é constituída pelos Itinerários Principais (IP). Os Itinerários Principais devem assegurar o nível de serviço B, a fim de garantirem correntes de tráfego estáveis e permitirem aos seus utilizadores, com segurança e comodidade, uma razoável liberdade de circulação.*

*A Rede Nacional Complementar integra os Itinerários Complementares (IC) e as Estradas Nacionais (EN). As estradas que constituem a Rede Nacional Complementar devem assegurar o nível de serviço C, correspondente a condições de circulação relativamente estáveis, embora com restrições quanto à velocidade e a ultrapassagens.”*

Os Itinerários Principais são definidos como as vias de comunicação de maior interesse a nível nacional e que asseguram a ligação entre os centros urbanos com influência supra distrital com os principais aeroportos, portos e fronteira. Enquanto os Itinerários Complementares são as estradas que asseguram a ligação entre os Itinerários Principais e os centros urbanos com influência municipal ou supra municipal (INIR, 2010).

No PRN2000 estão ainda presentes as Estradas Regionais (ER), que asseguram as conexões públicas rodoviárias com interesse supra municipal e complementar à RRN (INIR, 2010). A Figura 5 apresenta a hierarquia da Rede Rodoviária Portuguesa.

Figura 5. Hierarquia da Rede Rodoviária Portuguesa



Fonte: INIR, 2010.

### 2.2.2. Tráfego

Na elaboração do projeto geométrico de uma rodovia deve ter-se em conta dois conceitos de tráfego importantes para a seleção das suas características técnicas, que são o volume horário de projeto e o nível de serviço (INIR, 2010).

#### ▪ *Volume horário de projeto*

O volume horário de projeto deve ser previsto para o ano horizonte, sendo que normalmente adota-se o correspondente à 30ª hora de ponta (volume horário que é excedido, durante um ano, 29 vezes) desse ano. O ano horizonte corresponde ao múltiplo de cinco mais próximo do ano que se obtém acrescentando vinte anos à data prevista para a abertura ao tráfego da rodovia. Por exemplo, caso a data prevista de abertura de uma rodovia seja no ano de 2019, tem-se que o ano horizonte corresponderá ao ano de 2040 (INIR, 2010). A 30ª hora



de ponta equivale à 30ª hora da “curva da enésima hora” presente no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais.

Caso não se tenha informação suficiente para obter o volume horário de projeto através da 30ª hora da “curva da enésima hora” no ano horizonte, considera-se aceitável 10% do tráfego médio diário naquele ano. Sempre que se verifique a necessidade de pista de rolamento dupla deve-se elaborar um estudo econômico para um ano horizonte intermediário. Se a taxa interna de rentabilidade for inferior a 12%, deve-se, numa primeira fase, construir uma rodovia com uma única pista de rolamento e duas faixas (INIR, 2010).

▪ *Nível de serviço*

O nível de serviço pode ser definido como uma classificação qualitativa das condições de circulação asseguradas aos usuários numa determinada rodovia. Este é normalmente qualificado pela velocidade de operação (maior velocidade média possível numa rodovia, para determinados veículo e condições) e pode ser determinado com base nos seguintes conceitos (INIR, 2010):

- Densidade de tráfego (veíc./km) – número de veículos ocupando um determinado comprimento da faixa de rolamento;
- Velocidade média de tráfego (km/h) – média das velocidades médias de cada um dos veículos que circulam na rodovia, num dado intervalo de tempo;
- Porcentagem de perda de tempo (%) – média do tempo total perdido por todos os veículos que circulam em pelotão (grupo de veículos), devido à impossibilidade de se realizarem ultrapassagens.

Quanto maior for a densidade de tráfego, maior a diferença de velocidade entre os veículos e menor a velocidade média de tráfego, maior a necessidade de realizar ultrapassagens. Os IP devem assegurar o nível de serviço B e as rodovias que integram a Rede Nacional Complementar (IC e EN) devem assegurar o nível de serviço C. O nível de serviço dos IP e IC é calculado pela velocidade média de tráfego e pela porcentagem de perda de tempo; enquanto o nível de serviço das EN é determinado apenas pela porcentagem de perda de tempo (INIR, 2010).

O volume de serviço é uma variável que depende do nível de serviço a que um determinado volume (número máximo de veículos) circula numa determinada seção de uma pista de rolamento de uma rodovia, durante uma hora. Assim, a cada nível de serviço tem-se

um volume de serviço correspondente, sendo que este depende, essencialmente, das características geométricas da rodovia e da composição do tráfego. A metodologia do *Highway Capacity Manual* (HCM) é utilizada para o cálculo de variáveis, como a percentagem de perda de tempo ou o volume de serviço. A escala de seis níveis de serviço (designados pelas letras de A a F) do HCM, é usada em Portugal (INIR, 2010).

### 2.2.3. Elementos Básicos de Projeto

#### ▪ *Velocidade*

Para a seleção dos elementos geométricos do traçado de uma rodovia deve-se ter em consideração a importância da variável velocidade para a abordagem aos critérios de segurança, comodidade e economia. No entanto, a velocidade adotada pelos motoristas depende de fatores como: o traçado e o meio ambiente em que se desenvolve a rodovia, as condições de visibilidade, as condições de tráfego, o estado do pavimento e até as características dos motoristas e o seu tipo de veículo (INIR, 2010).

#### ▪ *Velocidade base*

A velocidade base (VB) é estabelecida segundo o tipo e função da rodovia da rede nacional, condicionando a maioria das características geométricas a ser selecionadas na elaboração do projeto. A velocidade base colabora na uniformização do traçado de vários elementos de uma rodovia, assim como no traçado da rodovia com o de outras da mesma categoria da Rede Rodoviária Nacional e Estradas Regionais. No Quadro 6 são apresentadas as velocidades base a serem consideradas na RRN e ER (INIR, 2010).

Quadro 6. Velocidades Base consideradas na RRN e ER

Tipo de Estrada		Velocidade Base (km/h)				
		140	120	100	80	60
Pista de rolamento dupla	IP	X (a)	X (a)	X	--	--
	IC	X (a)	X (a)	X	X (b)	--
Pista de rolamento única, com dois sentidos	IC	--	--	X (c)	X	--
	EN	--	--	--	X	X
	ER	--	--	--	X	X

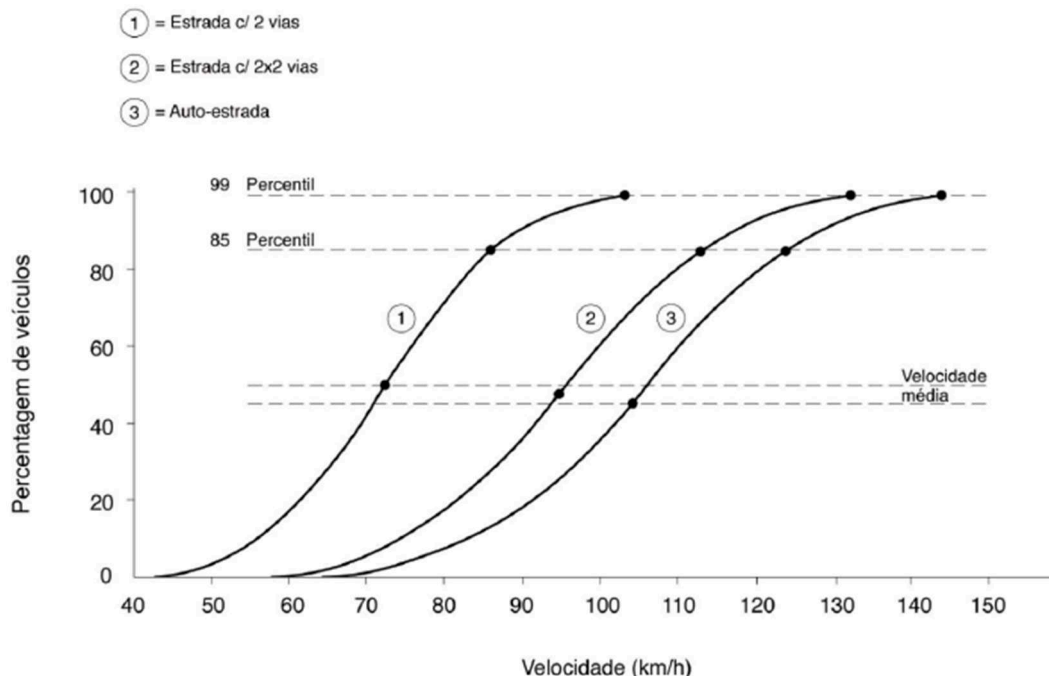
Legenda: (a) – só em via expressa primária; (b) – neste caso deve ser devidamente justificado o recurso a esta velocidade; (c) – apenas nos casos em que se preveja a futura duplicação.

Quando existem variações da topografia, torna-se indispensável variar as características geométricas de uma seção de uma rodovia, implicando na alteração da velocidade base. Contudo, deve-se ter em consideração que a variação da velocidade base em trechos adjacentes não deve diferir em mais de 10 km/h, de modo a garantir que as transições sejam efetuadas da forma mais gradual e cômoda possível para os utilizadores da rodovia (INIR, 2010).

▪ *Velocidade de tráfego*

A velocidade de tráfego (VT) é calculada através da velocidade base, sendo definida como a velocidade que é ultrapassada apenas por 15% dos veículos. A norma considera que, para toda a rede rodoviária, o desvio padrão da distribuição de velocidades é constante. Na Figura 6 estão representados exemplos de curvas de distribuição cumulativa de velocidades. A partir destas curvas é possível observar a percentagem de veículos que circulam a uma determinada velocidade ou inferior (INIR, 2010).

Figura 6. Exemplos de curvas de distribuição cumulativa de velocidades



Legenda: o termo português *autoestrada* equivale ao termo via expressa primária no Brasil.

Fonte: INIR, 2010.

A velocidade de tráfego (que correspondente ao percentil 85, Figura 6) é habitualmente classificada como crítica. Isto porque as inclinações das curvas de distribuição sofrem uma grande diminuição a partir do percentil 85, representando grandes variações da velocidade para pequenas da porcentagem. Velocidades superiores à velocidade de tráfego são normalmente consideradas perigosas (INIR, 2010). Na Tabela 18 encontram-se os valores das velocidades de tráfego correspondentes a diferentes velocidades base nas rodovias da RRN.

Tabela 18. Velocidades de base e correspondentes velocidades de tráfego

Velocidade Base (km/h)	Velocidade de Tráfego (km/h)
40	50
50	60
60	80
70	90
80	100
90	110
100	120
110	125
120	130
130	135
140	140

Fonte: INIR, 2010.

Ambas as velocidades (VB e VT) são consideradas na definição de características geométricas de uma rodovia. No Quadro 7 é indicada a velocidade padrão na determinação de diferentes características geométricas do traçado (INIR, 2010).

Quadro 7. Velocidade a considerar na determinação de vários elementos do traçado

Elementos do Traçado	Velocidade	
	VB	VT
Raio mínimo em planta	X	--
Inclinação máxima da rampa	X	--
Perfil transversal tipo	X	--
Distâncias de visibilidade	--	X
Raio mínimo das concordâncias verticais	--	X

Fonte: INIR, 2010.

- *Velocidade não impedida em curva*

A velocidade não impedida pode ser definida como a velocidade de circulação num trecho de rodovia (reto ou curvo) em condições de densidade de tráfego muito reduzida, sem condicionantes devidas aos restantes motoristas nem a outros fatores (condições atmosféricas

desfavoráveis, por exemplo). Esta velocidade representa a velocidade que é ultrapassada apenas por 15% dos veículos na distribuição de velocidades de circulação livre (menos de 25% dos motoristas circula em fila). Para a determinação da superelevação numa curva utiliza-se a velocidade não impedida em curva ( $VC_{85}$ ). Em rodovias com pista de rolamento única, com dois sentidos, utilizam-se cinco equações diferentes para o cálculo da  $VC_{85}$ , que correspondem a cinco situações padrão apresentadas no Quadro 8 (INIR, 2010).

Quadro 8. Equações para o cálculo da  $VC_{85}$  em estradas com pista de rolamento única

Largura da pista de rolamento	Acostamento (tipo e largura)	Equação para o cálculo da $VC_{85}$
$\geq 7,75\text{m}$	acostamento pavimentado largura $\geq 2,50\text{m}$	$VC_{85} = 110 - \frac{201,6}{\sqrt{R}}$ (26)
$\geq 7,50\text{m}$	acostamento pavimentado ou não	$VC_{85} = 119 - \frac{378,65}{\sqrt{R}}$ (27)
$6,00\text{m} - 7,50\text{m}$	acostamento pavimentado	$VC_{85} = 104 - \frac{201,6}{\sqrt{R}}$ (28)
$6,00\text{m} - 7,50\text{m}$	acostamento não pavimentado	$VC_{85} = 109 - \frac{378,65}{\sqrt{R}}$ (29)
$< 6,00\text{m}$	acostamento pavimentado ou não	$VC_{85} = 103 - \frac{378,65}{\sqrt{R}}$ (30)

Legenda:  $VC_{85}$  é a velocidade não impedida em curva (km/h); R é o raio do arco circular da curva (m).

Fonte: Adaptado de INIR, 2010.

Em rodovias duplicadas utilizam-se duas equações diferentes para o cálculo da  $VC_{85}$ . A Equação 31 é aplicada em curvas com raios de curvatura (R) superiores ou iguais a 450 m e não é empregado em vias expressas primárias. A Equação 32 é aplicada em vias expressas primárias e para curvas com R superiores ou iguais a 650 m (INIR, 2010).

$$VC_{85} = 124 - \frac{201,6}{\sqrt{R}}, \text{ para } R \geq 450\text{m} \quad (31)$$

$$VC_{85} = 146 - \frac{201,6}{\sqrt{R}}, \text{ para } R \geq 650\text{m} \quad (32)$$

Em que:  $VC_{85}$  é a velocidade não impedida em curva (km/h); R é o raio do arco circular da curva (m).

▪ *Distância de visibilidade*

Para a segurança e eficiência da condução numa rodovia, os projetistas têm de garantir que a distância de visibilidade seja suficiente para os motoristas controlarem a velocidade dos seus veículos sem colidir com um obstáculo que surja inesperadamente na pista. A distância de visibilidade pode ser definida como o comprimento contínuo de rodovia visível pelo motorista de um veículo. Na elaboração do projeto geométrico deve ter-se em conta três tipos de distância de visibilidade: parada, decisão e ultrapassagem (INIR, 2010).

▪ *Distância de visibilidade de parada*

A distância de visibilidade de parada (DP) é a distância mínima necessária para que um motorista de um veículo, que circula a uma dada velocidade, possa pará-lo em segurança após ver um obstáculo na pista de rolamento. A DP é determinada através da Equação 33, sendo a soma de duas parcelas. A primeira parcela traduz a distância percorrida durante o tempo de percepção-reação do motorista (considerado como 2 segundos) e a segunda exprime a distância de frenagem (INIR, 2010).

$$DP = \frac{VT}{1,8} + \frac{VT^2}{254 (f_l \pm i)} \quad (33)$$

Em que: DP é a distância de visibilidade de parada (m); VT é a velocidade de tráfego (km/h);  $f_l$  é o coeficiente de atrito longitudinal; i é a inclinação do trecho (+i ou -i, ascendente e descendente, respetivamente; expresso em m/m).

A Tabela 19 apresenta os valores dos coeficientes de atrito longitudinal em relação à velocidade de tráfego.

Tabela 19. Velocidades de tráfego e correspondentes coeficientes de atrito longitudinal

<b>Velocidade de Tráfego (km/h)</b>	<b>Coefficiente de atrito longitudinal (f)</b>
50	0,32
60	0,32
80	0,32
90	0,32
100	0,32
110	0,31
120	0,31
130	0,27
140	0,25

Fonte: INIR, 2010.

▪ *Distância de visibilidade de decisão*

A distância de visibilidade de decisão (DD) é a distância mínima necessária para que um motorista de um veículo possa detectar uma informação inesperada, de compreensão não imediata, ou uma alteração nas características da rodovia, identificando-a, tomando a decisão e adotando a velocidade adequada à situação ou realizando a manobra necessária com segurança. Em cruzamentos em nível, áreas de serviço e a diminuição do número de faixas de rolamento são exemplos de locais onde é preciso assegurar a distância de visibilidade de decisão. A DD é determinada através da Equação 34 (INIR, 2010).

$$DD = 3,3 VT \quad (34)$$

Em que: DD é a distância de visibilidade de decisão (m); VT é a velocidade de tráfego (km/h).

▪ *Distância de visibilidade de ultrapassagem*

A distância de visibilidade de ultrapassagem (DU) é a distância mínima necessária para que um motorista de um veículo possa ultrapassar outro com segurança e comodidade. Apenas se considera a distância de visibilidade de ultrapassagem em rodovias com duas faixas de rolamento, e esta deve ser assegurada com intervalos frequentes, garantindo a segurança necessária e o nível de serviço desejado. A DU é calculada pela Equação 35 (INIR, 2010).

$$DU = 7 VT \quad (35)$$

Em que: DU é a distância de visibilidade de ultrapassagem (m); VT é a velocidade de tráfego (km/h).

Na Tabela 20 são mostrados os valores mínimos das distâncias de visibilidade (DP, DD e DU) relativas às velocidades de base e de tráfego. Para calcular as distâncias de visibilidade de parada presentes na Tabela 20 considerou-se que o veículo circula em um trecho em patamar, isto é, que a inclinação do trecho é igual a 0%. Quando a inclinação é diferente, deve-se calcular a DP pela Equação 33 (INIR, 2010).

Tabela 20. Distâncias de visibilidade mínimas

VB (km/h)	VT (km/h)	Distância de Visibilidade (m)		
		Parada DP	Decisão DD	Ultrapassagem DU
40	50	60	--	350
50	60	80	200 (a)	420
60	80	120	270	560
70	90	150	300	630
80	100	180	330	700
90	110	220	370	770
100	120	250	400	840
110	125	280	410	880
120	130	320	430	910
130	135	330	450	950
140	140	390	470	980

Legenda: (a) – valor a considerar quando a VT for < 60 km/h.

Fonte: INIR, 2010.

#### 2.2.4. Alinhamento Horizontal

Para a determinação de diferentes características geométricas no alinhamento horizontal ou traçado em planta, de como é designado no Documento Base da Revisão da Norma de Traçado, a velocidade padrão utilizada é a velocidade base. O alinhamento horizontal deve assegurar, no mínimo, a distância de visibilidade de parada, que é calculada a partir da velocidade de tráfego. Os elementos geométricos do alinhamento horizontal são: alinhamentos retos, curvas circulares e curvas de transição (INIR, 2010).

##### ▪ *Alinhamento reto*

Para redução do ofuscamento noturno e a monotonia na condução, as inclinações longitudinais dos alinhamentos retos extensos não devem ser constantes. Contudo, quando a



inclinação é constante, o comprimento máximo do alinhamento reto, expresso em metros, deve corresponder a 20 VB, sendo VB a velocidade base, expressa em quilômetros por hora. Além disso, a possibilidade de ultrapassagem deve ser proporcionada nos alinhamentos retos, com isso nas rodovias com uma única pista de rolamento, de dois sentidos, a extensão mínima, expressa em metros, deve corresponder a 6 VB. A Tabela 21 indica os valores das extensões mínima e máxima dos alinhamentos retos (INIR, 2010).

Tabela 21. Valores das extensões mínima e máxima dos alinhamentos retos

Extensão (m)	Velocidade Base (km/h)										
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
<b>Mínima (6 VB)</b>	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840
<b>Máxima (20 VB)</b>	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800

Fonte: INIR, 2010.

#### ▪ *Curva circular*

A visibilidade e a percepção do traçado pelos usuários da rodovia são facilitadas se o raio das curvas circulares for grande o suficiente. Contudo, o valor dos raios também deve ter em consideração a harmonização do traçado com a paisagem, assim como a coordenação dos alinhamentos horizontal e vertical. Quando um veículo percorre uma curva, este é submetido a uma força centrífuga. A força de atrito transversal que atua na superfície de contato pneu-pavimento e o peso do veículo asseguram a força de sentido contrário ao da centrífuga, sendo causada pela superelevação. Assim, o raio de curvatura pode ser calculado a partir da Equação 36 (INIR, 2010).

$$R = \frac{V^2}{127 (f_t + e_R)} \quad (36)$$

Em que: R é o raio da curvatura (m); V é a velocidade que circula o veículo (km/h);  $f_t$  é o coeficiente de atrito transversal;  $e_R$  é a superelevação (m/m).

Na Tabela 22 estão indicados os valores dos coeficientes de atrito transversal em função da velocidade base (INIR, 2010).

Tabela 22. Velocidades base e correspondentes coeficientes de atrito transversal

<b>Velocidade Base (km/h)</b>	<b>Coeficiente de atrito transversal – <math>f_t</math></b>
40	0,16
50	0,16
60	0,15
70	0,14
80	0,14
90	0,13
100	0,12
110	0,10
120	0,09
130	0,08
140	0,06

Fonte: INIR, 2010.

Em condições em que há gelo na pista, o coeficiente de atrito transversal entre os pneus e o pavimento é de 0,10. Ao somar-se a isso uma superelevação de cerca de 10%, cria-se uma tendência de deslizamento para o centro da curva quando o veículo estiver parado ou com velocidade diminuta. Assim, vários países europeus limitaram a superelevação a um máximo de 7%. Quando a superelevação é de 7%, determina-se o raio mínimo absoluto (RA) (Tabela 23) pela Equação 36 e considerando os valores dos coeficientes de atrito transversal presentes na Tabela 22. Para manter a segurança e a comodidade na circulação dos veículos, o RA não deve ser usado nos projetos, exceto em casos devidamente justificados. A sua utilização causa acelerações centrífugas elevadas. O conceito de raio mínimo normal (RN) representa 50% do valor máximo admissível da aceleração centrífuga, para um veículo que circula à velocidade base, correspondendo a 22% da aceleração da gravidade. Os valores de RA e RN são apresentados na Tabela 23 (INIR, 2010).

Tabela 23. Velocidades base e correspondentes raios mínimos (RA e RN) em planta

<b>Velocidade Base (km/h)</b>	<b>Raio mínimo absoluto – RA (m)</b>	<b>Raio mínimo normal – RN (m)</b>
40	55	110
50	85	180
60	130	250
70	180	350
80	240	450
90	320	550
100	420	700
110	560	850
120	700	1000
130	900	1200
140	1200	1400

Fonte: INIR, 2010.

▪ *Curva de transição*

As curvas de transição normalmente adotadas são as clotóides, que são definidas como curvas cuja curvatura varia ao longo da sua extensão e em que o arco medido a partir da origem (tangência com o alinhamento reto) é inversamente proporcional ao raio da curvatura. O parâmetro da clotóide é determinado pela Equação 37 (INIR, 2010).

$$B^2 = R L \quad (37)$$

Em que: B é o parâmetro da clotóide (m); R é o raio da curva circular (m); L é a extensão da clotóide (m).

O parâmetro B é uma constante que define cada clotóide e este deve satisfazer as quatro condições seguintes que se traduzem nas Equações 38 a 41 (INIR, 2010):

- Condição de comodidade e segurança – garantir uma variação uniforme da aceleração centrífuga entre os alinhamentos retos e as curvas circulares (taxa de variação  $\leq 0,50 \text{ m/s}^3$ );

$$B \geq 0,1463 \sqrt{V^3 / 0,5} \quad (38)$$

- Condição de desenvolvimento da superelevação – assegurar a introdução e supressão adequada da superelevação e superlargura;

$$B \geq \sqrt{R l_p e_R / 2\Delta i_{\max}} \quad (39)$$

Em que: B é o parâmetro da clotóide (m); V é a velocidade (km/h); R é o raio da curva circular (m);  $l_p$  é a largura da pista de rolamento (m);  $e_R$  é a superelevação (%);  $\Delta i$  é a obliquidade, inclinação longitudinal do bordo exterior da pista de rolamento em relação ao eixo (%).

O valor de  $\Delta i_{\max}$  é dado em função da velocidade de tráfego (Tabela 24).

Tabela 24. Obliquidade máxima da transição da superelevação

Velocidade de Tráfego – VT (km/h)	< 40	$40 \leq VT \leq 80$	> 80
$\Delta i_{\max}$ (%)	1,5	1,0	0,8

Fonte: INIR, 2010.

- Condição de percepção ótica – garantir ao motorista uma transição visualmente confortável nas zonas em curva;

$$B \geq R / 3 \quad (40)$$

Em que: B é o parâmetro da clotóide (m); R é o raio da curva circular (m).

- Condição estética – assegurar que o motorista percorra o desenvolvimento das curvas de transição de pequena extensão à velocidade base em pelo menos 2 segundos.

$$B \geq \sqrt{RVB} / 1,8 \quad (41)$$

Em que: B é o parâmetro da clotóide (m); R é o raio da curva circular (m); VB é a velocidade base (km/h).

Para curvas de raio pequeno, verifica-se que o valor de B é condicionado pelo critério de comodidade e segurança; para curvas de raio intermediário é a condição de desenvolvimento de superelevação que prevalece; e para curvas de raio grande é o critério de percepção ótica que predomina. O valor de B, além de ter que satisfazer as quatro condições anteriores, a norma também prevê uma condição que limita o intervalo de valores para este parâmetro, designada por condição desejável. Assim, se possível, deve procurar-se que o desenvolvimento da curva de transição esteja compreendido entre 1/2 e 2/3 do desenvolvimento total em curva. Na Tabela 25 são apresentados os valores dos parâmetros das curvas em planta em função da velocidade base. Somente no caso em que as curvas circulares não necessitem de superelevação, as curvas de transição são dispensadas (INIR, 2010).

Tabela 25. Parâmetros das curvas em planta

Parâmetro	Velocidade Base – VB (km/h)											
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
Raio mínimo normal RN (m)	110	180	250	350	450	550	700	850	1000	1200	1400	
Parâmetro mínimo da clotóide – B (m)	52	73	96	121	150	183	233	283	333	400	466	
Raio mínimo sem superelevação – RS (m)	≥ 2500							≥ 5000				

Fonte: INIR, 2010.

### 2.2.5. Alinhamento Vertical

#### ▪ Rampa

Na fixação dos valores máximos da inclinação das rampas, importa atender fundamentalmente ao nível de serviço pretendido da estrada e aos fatores de ordem econômicos associados a esta. Na Tabela 26 é apresentada a inclinação máxima das rampas em função da velocidade base (INIR, 2010).

Tabela 26. Inclinação máxima das rampas em função da velocidade base

Velocidade Base (km/h)	Inclinação máxima desejável (%)
40	8
60	7
80	6
100	5
120	4 (a)
140	3

Legenda: (a) – em via expressa primária a inclinação máxima deve ser 3%.

Fonte: INIR, 2010.

A extensão das rampas com inclinação máxima não deve ser superior a 3 km. Em casos excepcionais, devido à severidade que estas inclinações máximas podem comportar, principalmente nos custos de construção em terrenos acidentados, a norma prevê nestas situações um aumento de 1% da inclinação máxima em rampas com a extensão máxima de 600 m e de 2% de inclinação máxima em rampas com a extensão máxima de 300 m. A inclinação da rampa da estrada principal, em zonas de interseções, deve ser no máximo de 4%. Por outro lado, a inclinação mínima das rampas é fixada em 0,5%, de forma a garantir uma adequada drenagem superficial. Nas zonas de curva em planta, a inclinação da rampa deve ser superior à obliquidade (Equação 42) (INIR, 2010).

$$i - \Delta i \geq 0,5\% \quad (42)$$

Em que:  $i$  é a inclinação do trecho (%);  $\Delta i$  é a obliquidade (%).

A capacidade de tráfego, o nível de serviço e as perdas de tempo dos veículos são afetados pela conjugação da inclinação máxima da rampa com a sua extensão. Quando as rampas têm inclinações e extensões elevadas, causam uma diminuição da velocidade dos veículos pesados, relativamente à dos ligeiros, além do aumento da probabilidade de acidentes envolvendo veículos pesados. Assim, a extensão crítica de uma rampa é o máximo comprimento que uma rampa pode ter sem originar uma excessiva diminuição da velocidade dos veículos pesados. A extensão crítica das rampas é dada em função da inclinação das mesmas (Tabela 27). Os valores da Tabela 27 não são de carácter obrigatório e são usados para orientação dos projetistas. Contudo, quando a extensão crítica das rampas é ultrapassada, normalmente considera-se uma faixa de rolamento adicional para os veículos lentos, em especial quando o volume de tráfego e a percentagem de veículos pesados são elevados. Esta faixa evita a acumulação de veículos ligeiros a trás de veículos pesados (INIR, 2010).

Tabela 27. Extensões críticas das rampas em função da inclinação

Inclinação da rampa (%)	3	4	5	6	7	8
Extensão crítica (m)	420	300	230	180	150	120

Fonte: INIR, 2010.

#### ▪ *Concordância vertical*

Nas concordâncias convexas, a distância de visibilidade de parada (DP) condiciona o raio. Assim, este raio é calculado a partir da Equação 43 e os valores da DP são obtidos através da Tabela 20 (INIR, 2010).

$$R_V = \frac{DP^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} = 0,25 DP^2 \quad (43)$$

Em que:  $R_V$  é o raio da concordância vertical (m);  $DP$  é a distância de visibilidade de parada (m);  $h_1$  é altura dos olhos do motorista em relação à pista (1,05 m);  $h_2$  é a altura do obstáculo (0,15 m).

Os valores mínimos dos raios e desenvolvimentos das concordâncias convexas, após arredondamentos, são mostrados na Tabela 28. O desenvolvimento tem como finalidade assegurar o conforto óptico dos motoristas. Para cálculo dos raios mínimos absolutos considera-se que a altura do obstáculo é de 0,60 m (INIR, 2010).

Tabela 28. Raio e desenvolvimento mínimos das concordâncias convexas

Velocidade Base – VB (km/h)	Velocidade de Tráfego – VT (km/h)	Raio mínimo (m)		Desenvolvimento mínimo (m)	
		Absoluto (a)	Normal	Absoluto (a)	Normal
40	50	1500	1500	40	60
50	60	1500	2100	50	60
60	80	2000	3000	60	120
70	90	3000	4200	70	120
80	100	5000	6000	80	120
90	110	7500	8500	90	120
100	120	9000	12500	100	120
110	125	12000	13000	110	120
120	130	14000	16000	120	120
140	140	20000	20000	140	140

Legenda: (a) – só aceitável em estradas com pistas de rolamento unidirecionais.

Fonte: INIR, 2010.

Em estradas secundárias com uma extensão reduzida (VB igual a 40 km/h ou a 50 km/h) e em que a utilização dos valores mínimos presentes na Tabela 28 não seja viável economicamente, pode-se utilizar raios mínimos inferiores a estes, desde que se respeite sempre a Equação 43. Em zonas onde seja necessário tomar uma decisão mais complexa, como por exemplo, na aproximação à divergência de um ramo de saída, deve-se garantir distâncias de visibilidade maiores, adotando a distância de visibilidade de decisão (DD) (INIR, 2010).

Em geral, a DP é inferior à extensão da concordância. Contudo, em casos muito singulares, onde se pretende possibilitar a ultrapassagem, verifica-se que a distância de visibilidade de parada deve ser superior ao comprimento da concordância, de forma a assegurar a distância de visibilidade de ultrapassagem (DU) (INIR, 2010).

Nas concordâncias côncavas, a distância que assegura a visibilidade noturna condiciona o desenvolvimento e raio. Para garantir que os faróis dos veículos iluminem uma distância superior à DP, o raio da concordância côncava é calculado a partir da Equação 44 (INIR, 2010).

$$R_v = \frac{DP^2}{1,5+0,035 DP} \quad (44)$$

Em que:  $R_v$  é o raio da concordância vertical (m);  $DP$  é a distância de visibilidade de parada (m).

Na Equação 44 considera-se que a altura dos faróis é 0,75 m e que os faróis do veículo projetam um cone de luz com uma abertura de 2 graus (INIR, 2010). Os valores mínimos dos raios e desenvolvimentos das concordâncias côncavas são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29. Raio e desenvolvimento mínimos das concordâncias côncavas

<b>Velocidade Base VB (km/h)</b>	<b>Velocidade de Tráfego VT (km/h)</b>	<b>Raio mínimo (m)</b>	<b>Desenvolvimento mínimo (m)</b>
40	50	800	60
50	60	1200	60
60	80	1600	120
70	90	2500	120
80	100	3500	120
90	110	4500	120
100	120	5500	120
110	125	6000	120
120	130	7000	120
130	135	8000	140
140	140	8000	140

Fonte: INIR, 2010.

### 2.2.6. Seção Transversal

Os principais elementos da seção transversal são: a pista de rolamento, parte da rodovia destinada à circulação de veículos; os acostamentos; o canteiro central, elemento existente nas rodovias de pista de rolamento dupla; os taludes; e as valetas (INIR, 2010).

#### ▪ *Largura das faixas de rolamento*

A largura das faixas de rolamento é dada, para cada tipo de estrada, em função da velocidade base e tendo em consideração os volumes de tráfego previstos (Tabela 30) (INIR, 2010).



Tabela 30. Largura das faixas de rolamento

Tipo de Estrada		Velocidade Base (km/h)	Largura das faixas de rolamento (m)
Pista de rolamento dupla (IP e IC)		≥100	3,75
		<100	3,50
Pista de rolamento única	Via expressa secundária	≥80	3,75
	EN	≥80	3,50
	ER	<80	3,00 (a)

Legenda: (a) – para volumes horários de projeto <300 veículos, senão é de 3,50m.

Fonte: Adaptado de INIR, 2010.

#### ▪ *Superlargura*

A superlargura é um parâmetro que diz respeito ao acréscimo da largura da pista de rolamento nas curvas. Para veículos ligeiros, a superlargura é desprezável; contudo, para veículos pesados, este aumento de largura é significativo, por isso deve ser considerado nos projetos de rodovias. Assim, a superlargura para rodovias com duas faixas de rolamento é calculada a partir da Equação 45 (INIR, 2010).

$$S_R = 80 / R \quad (45)$$

Em que:  $S_R$  é a superlargura (m);  $R$  é o raio da curva circular (m).

O aumento da largura ocorre no interior da curva e o seu desenvolvimento efetua-se ao longo das curvas de transição. Quando o raio das curvas é superior a 200 m, não é necessário considerar a superlargura (INIR, 2010).

#### ▪ *Abaulamento*

Para assegurar uma drenagem superficial adequada emprega-se uma inclinação transversal (abaulamento) nos alinhamentos retos, visto que é esta a direção de escoamento que garante o comprimento de drenagem menor (INIR, 2010). No Quadro 9 estão indicados os sentidos e alguns valores do abaulamento em função do tipo de estrada.

Quadro 9. Abaulamento

Tipo de Estrada		Inclinação transversal
Pista de rolamento unidirecional		pavimento inclinado para o exterior
Pista de rolamento bidirecional	2 faixas de rolamento	pavimento inclinado para ambos os lados a partir do eixo (perfil em “V” invertido) $i_t = 2,5\%$ em pavimentos flexíveis $i_t = 2,0\%$ em pavimentos rígidos
	Largura do canteiro central $\geq 11,5\text{m}$	pavimento inclinado para o exterior ou para o canteiro central
	2x3 faixas de rolamento	pavimento de 2 faixas inclinado para o exterior e de 1 faixa para o canteiro central

Fonte: Adaptado de INIR, 2010.

### ▪ *Superelevação*

A superelevação é a inclinação transversal, para o interior de uma curva, dada a superfície do pavimento de uma rodovia. Uma vez que as curvas são percorridas frequentemente a velocidades superiores à velocidade base, logo a superelevação não deve ser dependente desta, sendo aconselhável fixá-la em função da velocidade não impedida em curva ( $VC_{85}$ ), compatível com o raio da curva. Na Tabela 31 estão mostrados os valores da superelevação em função do raio da curva. Quando os raios tomam valores intermediários, deve-se considerar a superelevação mais elevada (INIR, 2010).

Na Tabela 31 observa-se que a referida norma prevê a dispensa de superelevação em curvas com raios superiores a 2500 m ou 5000 m, conforme se trate de estradas de pista de rolamento única (com dois sentidos) ou de pista dupla, respectivamente.

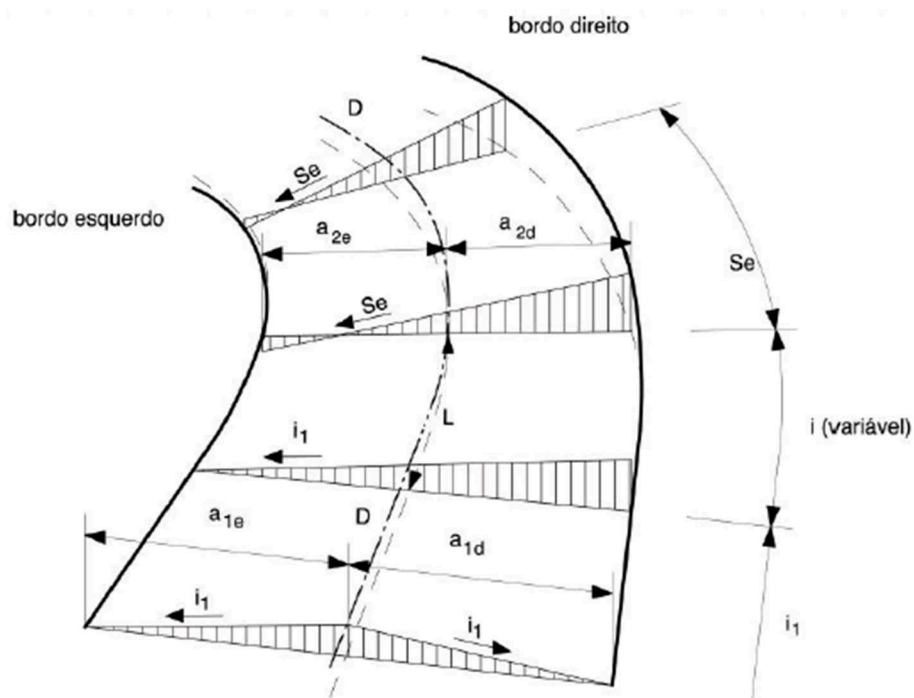
Tabela 31. Superelevação em curva

Estradas de pista de rolamento única com dois sentidos		Estradas de pista de rolamento dupla	
Raio (m)	Superelevação (%)	Raio (m)	Superelevação (%)
< 525	7,0	< 1100	7,0
525	6,5	1100	6,5
600	6,0	1300	6,0
700	5,5	1500	5,5
850	5,0	1750	5,0
1000	4,5	2000	4,5
1200	4,0	2250	4,0
1400	3,5	2600	3,5
1600	3,0	3000	3,0
$1900 \leq R < 2500$	2,5	$3500 \leq R < 5000$	2,5
$\geq 2500$	--	$\geq 5000$	--

Fonte: INIR, 2010.

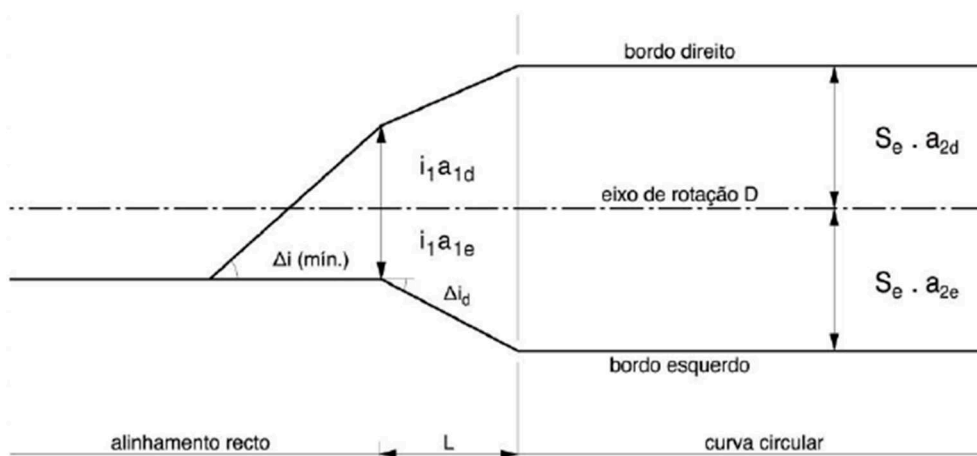
A reta resultante da combinação da inclinação da rampa com a da superelevação é a reta de maior inclinação no pavimento. Esta não deve ter uma inclinação superior a 10%; contudo, caso ultrapasse este valor, não se deve diminuir a superelevação indicada na Tabela 31, mas reduzir a inclinação da rampa ou alterar o traçado do alinhamento horizontal. A transição da superelevação é realizada ao longo da curva de transição, conforme exemplificado na Figura 7 e na Figura 8 (INIR, 2010).

Figura 7. Representação esquemática da transição da superelevação



Fonte: INIR, 2010.

Figura 8. Inclinação relativa dos bordos da pista de rolamento na transição da superelevação



Fonte: INIR, 2010.

O tipo de inclinação transversal em alinhamento reto, explicado no Quadro 9; o valor da superelevação ( $e_R$ ) e; as condições locais condicionam a escolha do eixo de rotação. A posição deste eixo tem influência sobre o valor da obliquidade ( $\Delta i$ ). Nas zonas de transição de superelevação em que a inclinação transversal é inferior a 2,5%, o valor mínimo de  $\Delta i$  é dado pela Equação 46 (INIR, 2010).

$$\Delta i_{\min} = 0,1 d \quad (46)$$

Em que:  $\Delta i$  é a obliquidade (%);  $d$  é a distância do eixo de rotação ao bordo da pista de rolamento (m).

Por motivos óticos e dinâmicos,  $\Delta i$  também é limitado num valor máximo, em função da velocidade de tráfego (ver Tabela 24). Em caso de contradição dos valores mínimo e máximo de  $\Delta i$ , adota-se o valor de  $\Delta i_{\min}$ , pois este assegura a drenagem. No caso em que não existe curva de transição, o valor de  $e_R$  no início da curva circular deve ser inferior em 2% em relação ao valor de  $e_R$  desejável correspondente ao raio da curva circular (Tabela 31), de tal forma que o valor da superelevação varie uniformemente (INIR, 2010).

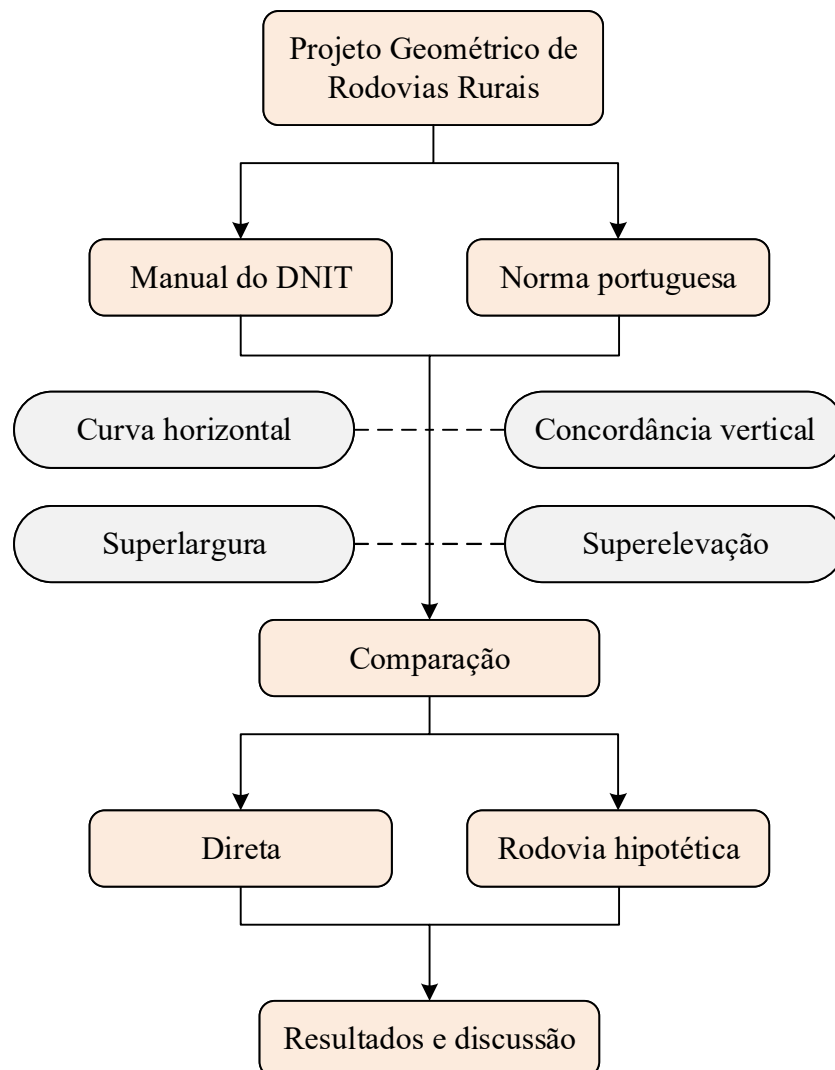


### 3. MATERIAIS E MÉTODO

A base teórica deste trabalho foi conduzida a partir de uma pesquisa bibliográfica com dados da literatura brasileira e portuguesa, na qual foram estudados os aspectos mais relevantes do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, do Brasil, e da Revisão da Norma de Traçado, de Portugal.

Com base na literatura consultada foram determinadas as principais variáveis envolvidas na concepção de um projeto geométrico de rodovias e estabelecido o método de comparação do manual brasileiro com a norma portuguesa. A Figura 9 apresenta o fluxograma da metodologia adotada neste estudo.

Figura 9. Fluxograma da metodologia adotada



A comparação do manual brasileiro com a norma portuguesa foi feita de duas formas. Inicialmente, fez-se uma comparação direta das várias variáveis constituintes de um projeto geométrico, onde são analisadas e expostas as diferenças dos dois documentos através de tabelas. As variáveis comparadas são:

- Velocidade;
- Veículo de projeto;
- Distância de visibilidade;
- Alinhamento reto;
- Curva circular;
- Curva de transição;
- Rampa;
- Concordância vertical;
- Largura das faixas de rolamento;
- Superlargura;
- Abaulamento;
- Superelevação.

A seguir, um trecho de rodovia hipotética foi projetado, abrangendo as duas metodologias. Foram avaliados os elementos horizontais e verticais, superlargura e superelevação. O projeto geométrico foi realizado com o uso do *software* Civil 3D versão *Student* da Autodesk Inc.

Finalmente, avaliaram-se os diferentes resultados obtidos para verificação da metodologia que fornece maior segurança ao usuário.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para melhor comparar os diferentes elementos dos dois documentos, entendeu-se que seria conveniente definir que a velocidade base da Revisão da Norma de Traçado é equivalente à velocidade diretriz presente no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais.

### **4.1. ELEMENTOS BÁSICOS DE PROJETO**

#### **4.1.1. Velocidade**

Quanto à velocidade, no manual brasileiro, o parâmetro é dado em função da classe de projeto e tipo de relevo em que a rodovia está inserida (Quadro 3). Na norma portuguesa, o mesmo parâmetro é condicionado pelo tipo de estrada (Quadro 6).

No manual brasileiro, as velocidades diretrizes mínimas estão compreendidas entre 30 e 120 km/h, enquanto em Portugal são permitas maiores velocidades nas rodovias rurais, sendo que a velocidade base varia de 40 a 140 km/h.

#### **4.1.2. Veículo de projeto**

No Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, as características físicas dos veículos condicionam vários elementos do projeto geométrico de uma rodovia, agrupando estes em nove classes. Por outro lado, a norma portuguesa não especifica veículo de projeto, ou seja, esta especificação de projeto não é condicionante para definir a geometria do traçado de uma rodovia em Portugal.

#### **4.1.3. Distância de visibilidade**

A Tabela 32 apresenta os valores das distâncias de visibilidade (parada, decisão e ultrapassagem) no manual brasileiro e na norma portuguesa.

Na distância de visibilidade de parada considerou-se que o veículo circula em um trecho com inclinação igual a 0%.



Tabela 32. Comparação de distâncias de visibilidade

Velocidade diretriz (km/h)	Distâncias de Visibilidade (m)						
	Parada		Decisão			Ultrapassagem	
	BR	PT	Parar	BR Desviar	PT	BR	PT
40	45	60	50	115	--	270	350
50	60	80	75	145	200	350	420
60	75	120	95	175	270	420	560
70	90	150	125	200	300	490	630
80	110	180	155	230	330	560	700
90	130	220	185	275	370	620	770
100	155	250	225	315	400	680	840
110	180	280	265	335	410	730	880
120	205	320	305	375	430	800	910

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais; PT – Norma de Traçado.

Através da análise da Tabela 32, observa-se que, para velocidades iguais, as distâncias de visibilidade na norma portuguesa são superiores às do manual brasileiro.

Relativamente à distância de visibilidade de parada, o cálculo (Equações 1 e 33) é semelhante; contudo, os valores das distâncias do manual brasileiro são significativamente inferiores aos da norma portuguesa. Isso pode ser explicado pelo uso da velocidade de tráfego na Equação 33, que é superior à velocidade base (Tabela 18). De forma análoga, as distâncias de visibilidade de decisão e ultrapassagem do manual brasileiro são inferiores às da norma portuguesa, justificado pela utilização da velocidade de tráfego em detrimento da velocidade base.

## 4.2. ALINHAMENTO HORIZONTAL

### 4.2.1. Alinhamento reto

A Tabela 33 apresenta um comparativo entre as extensões mínima e máxima em alinhamento reto dos dois documentos analisados.

O manual brasileiro apresenta dois casos de extensão mínima de um alinhamento reto: quando a tangente situa-se entre curvas em sentidos opostos, em que esta deve permitir a transição da superelevação nas curvas, e; quando a tangente encontra-se entre curvas sucessivas no mesmo sentido, em que a extensão mínima deve respeitar a Equação 2. Para fins de comparação, usaram-se os valores do segundo caso.

Relativamente aos valores da extensão mínima na norma portuguesa, estes não são mínimos obrigatórios em todo o tipo de rodovias, devendo, porém, ser garantidos em rodovias

com uma única pista de rolamento de dois sentidos, de forma a possibilitar a ultrapassagem de veículos.

Tabela 33. Comparação de extensões mínima e máxima em alinhamento reto

Velocidade diretriz (km/h)	Extensões mínima e máxima dos alinhamentos retos (m)			
	Mínima		Máxima	
	BR (4Vd)	PT (6Vd)	BR	PT (20Vd)
40	160	240	--	800
50	200	300	--	1000
60	240	360	--	1200
70	280	420	--	1400
80	320	480	--	1600
90	360	540	--	1800
100	400	600	--	2000
110	440	660	--	2200
120	480	720	--	2400

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais; PT – Norma de Traçado.

Por meio da Tabela 33, observa-se que, para velocidades iguais, as extensões mínimas na norma portuguesa são superiores às do manual brasileiro. O manual não especifica valores para as extensões máximas em alinhamento reto, contudo refere que é importante evitar tangentes muito longas, pois estas tornam os trajetos monótonos e cansativos.

#### 4.2.2. Curva circular

A Tabela 34 mostra os valores dos coeficientes de atrito transversal ( $f_t$ ) e os raios mínimos em curva circular do manual brasileiro e da norma portuguesa.

Em Portugal, a superelevação máxima é de 7% e com esta determina-se o raio mínimo absoluto (RA). Para facilitar a comparação dos valores dos raios mínimos, considerou-se uma superelevação de 7% e procederam-se aos cálculos dos raios do manual brasileiro. Os resultados são apresentados em termos de média dos valores dos raios presentes na Tabela 8 para uma superelevação de 6 e 8%, arredondando o resultado para o múltiplo de cinco seguinte.

Na norma portuguesa os raios mínimos absolutos não devem ser usados em projeto, mas os raios mínimos normais (RN). Neste caso, os valores se mostraram superiores aos de RA.

Tabela 34. Comparação de coeficientes de atrito transversal e raios mínimos em curva circular

Velocidade diretriz (km/h)	Coeficientes de atrito transversal – $f_t$		Raios mínimos (m)	
	BR	PT	BR	PT
40	0,18	0,16	55	55
50	0,16	0,16	85	85
60	0,15	0,15	130	130
70	0,15	0,14	180	180
80	0,14	0,14	240	240
90	0,14	0,13	305	320
100	0,13	0,12	395	420
110	0,12	0,10	505	560
120	0,11	0,09	630	700

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais; PT – Norma de Traçado.

Através da análise da Tabela 34, observa-se que, para velocidades inferiores a 90 km/h, os raios mínimos são iguais nos dois documentos; para velocidades superiores ou iguais a 90 km/h, os raios da norma portuguesa são superiores aos do manual brasileiro.

O cálculo do raio (Equações 3 e 36) é igual para ambos os documentos; contudo, os valores destes para  $V_d \geq 90$  km/h são diferentes. A razão dessa divergência pode ser explicada pelos coeficientes de atrito transversal adotados no Brasil serem superiores aos de Portugal.

#### 4.2.3. Curva de transição

A Tabela 35 apresenta um comparativo entre os comprimentos mínimos da clotóide, considerando que a curva de transição é coincidente com a transição da superelevação.

Os valores dos comprimentos mínimos da clotóide na norma portuguesa foram obtidos através da Equação 37 e considerando os valores do parâmetro mínimo da clotóide (B) presentes na Tabela 25. Os comprimentos mínimos da clotóide do manual brasileiro encontram-se na Tabela 15.

Tabela 35. Comparação de comprimentos mínimos da clotóide

Velocidade diretriz (km/h)	Comprimento mínimo da clotóide (m)	
	BR	PT
40	25	25
50	30	30
60	35	37
70	40	42
80	45	50
90	50	61
100	55	78
110	60	94

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas; PT – Norma de Traçado.

Através da análise da Tabela 35, observa-se que, para velocidades iguais, os comprimentos mínimos da clotóide na norma portuguesa são, na sua maioria, superiores aos do manual brasileiro. Para velocidades superiores a 100 km/h, verifica-se que a diferença entre os valores dos comprimentos é ainda mais considerável.

#### 4.2.4. Síntese do alinhamento horizontal

A Tabela 36 apresenta de uma forma sintetizada o resultado da comparação do alinhamento horizontal.

Tabela 36. Síntese do alinhamento horizontal

Velocidade diretriz (km/h)	Alinhamento reto				Curva circular		Curva de transição	
	Extensão mínima (m)		Extensão máxima (m)		Raio mínimo (m)		Comprimento mínimo da clotóide (m)	
	BR	PT	BR	PT	BR	PT	BR	PT
40	160	240	--	800	55	55	25	25
50	200	300	--	1000	85	85	30	30
60	240	360	--	1200	130	130	35	37
70	280	420	--	1400	180	180	40	42
80	320	480	--	1600	240	240	45	50
90	360	540	--	1800	305	320	50	61
100	400	600	--	2000	395	420	55	78
110	440	660	--	2200	505	560	60	94
120	480	720	--	2400	630	700	--	--

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais / Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas; PT – Norma de Traçado.

Através da análise da Tabela 36, observa-se que a norma portuguesa apresenta extensões mínimas no alinhamento reto maiores que no manual brasileiro. Quanto ao raio mínimo em curvas circulares, a norma portuguesa exige valores superiores para velocidades maiores que 90 km/h. Relativamente ao comprimento mínimo da clotóide, a norma portuguesa, em geral, expõe maiores valores.

### 4.3. ALINHAMENTO VERTICAL

#### 4.3.1. Rampa

Tanto no Brasil quanto em Portugal, se estabelece um valor mínimo para a inclinação de rampas, a fim de se favorecer a drenagem no pavimento. O manual brasileiro estabelece

que esta inclinação mínima deve ser de 0,35%, já a norma portuguesa é mais conservadora e determina que esta deve ser de pelo menos 0,5%.

Relativamente à inclinação máxima, tanto o manual quanto a norma apresentam valores similares; porém, dependem de variáveis diferentes. Na Tabela 10 e na Tabela 26, verifica-se que as inclinações máximas variam de 3 a 8%; na Tabela 10, referente ao manual, estas são em função da classe de projeto e relevo; enquanto na Tabela 26, referente à norma, essas dependem da velocidade base. Na Tabela 37 apresenta-se um resumo da Tabela 10 e do Quadro 3, referentes ao manual, para relacionar as velocidades diretrizes com um intervalo de valores de inclinação máxima.

Tabela 37. Comparação de inclinação máxima de rampas

Velocidade diretriz (km/h)	Inclinação máxima de rampas (%)	
	BR	PT
40	6 e 8	8
60	4, 6 e 8	7
80	4, 4,5 e 5	6
100	3 e 4	5
120	3	4

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais; PT – Norma de Traçado.

Observa-se na Tabela 37 que os valores expostos no manual e na norma portuguesa são semelhantes. No entanto, para as velocidades diretrizes superiores ou iguais a 80 km/h, o manual brasileiro é mais conservador. Ambos os documentos permitem valores de inclinação de 10% para rampas com até 300 m de comprimento.

#### 4.3.2. Concordância vertical

O manual do DNIT considera as curvas verticais como sendo côncavas ou convexas, cujo comprimento pode ser superior ou inferior à distância de visibilidade de parada. Por outro lado, a norma portuguesa admite ser necessário que a distância de visibilidade de parada seja maior que o comprimento da concordância caso se queria possibilitar a ultrapassagem.

Na Tabela 38 são comparados os raios e os comprimentos mínimos de uma curva convexa em função da velocidade diretriz.

Tabela 38. Comparação de raio e comprimento mínimos em curvas convexas

Velocidade diretriz (km/h)	Raio mínimo (m)		Comprimento mínimo (m)	
	BR	PT	BR	PT
40	500	1500	24	40
50	900	1500	30	50
60	1400	2000	36	60
70	2000	3000	42	70
80	2900	5000	48	80
90	4100	7500	54	90
100	5800	9000	60	100
110	7900	12000	66	110
120	10200	14000	72	120

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais; PT – Norma de Traçado.

Optou-se por comparar os raios mínimos ao invés dos parâmetros de curvatura porque a norma portuguesa não dispõe destes valores e o DNIT os relaciona através a Equação 5. Através da análise da Tabela 38, observa-se que o raio mínimo obtido segundo a norma portuguesa é significativamente maior que o obtido pelo manual brasileiro. Isto se deve ao fato de a norma estrangeira adotar 1,05 m de altura ocular, em comparação com 1,10 m do manual brasileiro, e; de se utilizarem distâncias de visibilidade maiores em Portugal em relação ao Brasil.

Da mesma forma, para os raios mínimos, os comprimentos na norma portuguesa são maiores, mas esta não apresenta justificativa para tais valores. Para a comparação das curvas côncavas, na Tabela 39, admitiram-se os mesmos critérios das concordâncias convexas.

Tabela 39. Comparação de raio e desenvolvimento mínimos em curvas côncavas

Velocidade diretriz (km/h)	Raio mínimo (m)		Comprimento mínimo (m)	
	BR	PT	BR	PT
40	700	800	24	60
50	1100	1200	30	60
60	1500	1600	36	120
70	1900	2500	42	120
80	2400	3500	48	120
90	2900	4500	54	120
100	3600	5500	60	120
110	4300	6000	66	120
120	5000	7000	72	120

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais; PT – Norma de Traçado.

De forma semelhante às concordâncias convexas, nas curvas côncavas, o raio mínimo obtido segundo a norma portuguesa é consideravelmente maior que o obtido pelo manual brasileiro. Isto se deve ao fato de a norma estrangeira ter distâncias de visibilidade maiores, o que é a favor da segurança do usuário.

### 4.3.3. Síntese do alinhamento vertical

A Tabela 40 apresenta de uma forma sintetizada o resultado da comparação do alinhamento vertical.

Tabela 40. Síntese do alinhamento vertical

Velocidade diretriz (km/h)	Inclinação máxima de rampas (%)		Raio mínimo (m)				Comprimento mínimo (m)		
			Curva convexa		Curva côncava		Convexa Côncava	Curva convexa	Curva côncava
	BR	PT	BR	PT	BR	PT	BR	PT	PT
40	6 e 8	8	500	1500	700	800	24	40	60
50	--	--	900	1500	1100	1200	30	50	60
60	4, 6 e 8	7	1400	2000	1500	1600	36	60	120
70	--	--	2000	3000	1900	2500	42	70	120
80	4, 4,5 e 5	6	2900	5000	2400	3500	48	80	120
90	--	--	4100	7500	2900	4500	54	90	120
100	3 e 4	5	5800	9000	3600	5500	60	100	120
110	--	--	7900	12000	4300	6000	66	110	120
120	3	4	10200	14000	5000	7000	72	120	120

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais; PT – Norma de Traçado.

Através da análise da Tabela 40, observa-se que os valores de inclinação máxima de rampas são semelhantes nos dois documentos. Quanto aos raios e comprimentos mínimos das curvas verticais (convexas e côncavas), a norma portuguesa apresenta maiores valores.

## 4.4. SEÇÃO TRANSVERSAL

### 4.4.1. Largura das faixas de rolamento

O manual brasileiro apresenta valores de largura das faixas levemente menores que os da norma portuguesa. A norma apresenta valores que variam entre 3,00 e 3,75 m, dependendo da classificação da rodovia e da velocidade base, e o manual apresenta valores entre 2,50 e 3,60 m, em função da classe de projeto e do relevo.

### 4.4.2. Superlargura

Para se comparar a superlargura exigida pelo manual do DNIT com a da norma portuguesa, considerou-se a abordagem para as curvas de raio entre 55 e 200 metros. Isto

porque na norma estrangeira o raio mínimo é de 55 metros, para a velocidade diretriz de 40 km/h, e é dispensada a superlargura para curvas de raios superiores a 200 m.

Segundo a norma portuguesa, rodovias com velocidade diretriz superior a 80 km/h possuem raio mínimo superior a 200 m (Tabela 23) e dispensam superlargura. Então, são comparadas as superlarguras de rodovias que tenham velocidade diretriz igual a 70 km/h, cujo raio mínimo é 180 m, e igual a 40 km/h, pois este abrange as curvas de raio entre 55 e 200 m.

Além disso, a superlargura segundo a norma portuguesa varia somente em função do raio da curva, enquanto no manual do DNIT esta varia em função do veículo de projeto, da velocidade diretriz, da largura base da pista e do raio da curva. Assim, a Tabela 41 se limita aos valores de superlargura segundo o DNIT para o veículo de projeto CO (Caminhão e Ônibus convencional) com largura base da pista de 6,60 e 7,20 m e para o veículo de projeto O (Ônibus urbano longo) com largura base da pista de 7,20 m. Estes parâmetros buscam aproximar os valores de superlargura entre a norma e o manual.

Tabela 41. Comparação de superlargura

Raio (m)	PT		BR					
			CO (L <sub>B</sub> = 6,60 m)		CO (L <sub>B</sub> = 7,20 m)		O (L <sub>B</sub> = 7,20 m)	
			Velocidade diretriz (km/h)					
	40	70	40	70	40	70	40	70
55	1,45	--	1,50	--	1,20	--	1,70	--
60	1,33	--	1,40	--	1,10	--	1,60	--
65	1,23	--	1,30	--	1,00	--	1,50	--
70	1,14	--	1,20	--	0,90	--	1,40	--
80	1,00	--	1,10	--	0,80	--	1,20	--
90	0,89	--	1,00	--	0,70	--	1,10	--
100	0,80	--	1,00	--	0,70	--	1,00	--
105	0,76	--	0,90	--	0,60	--	0,90	--
110	0,73	--	0,90	--	0,60	--	0,90	--
120	0,67	--	0,80	--	0,50	--	0,80	--
130	0,62	--	0,80	--	0,50	--	0,70	--
140	0,57	--	0,80	--	0,50	--	0,70	--
145	0,55	--	0,70	1,00	0,40	0,70	0,70	0,90
150	0,53	--	0,70	1,00	0,40	0,70	0,60	0,90
160	0,50	--	0,70	0,90	0,40	0,60	0,60	0,80
170	0,47	--	0,70	0,90	--	0,60	0,60	0,80
180	0,44	0,44	0,70	0,90	--	0,60	0,50	0,70
190	0,42	0,42	0,60	0,90	--	0,60	0,50	0,70
195	0,41	0,41	0,60	0,80	--	0,50	0,50	0,70
200	0,40	0,40	0,60	0,80	--	0,50	0,50	0,70

Legenda: L<sub>B</sub> é a largura da pista em tangente; BR – Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas; PT – Norma de Traçado.



Através da análise da Tabela 41, verifica-se que os valores de superlargura da norma portuguesa apenas cobrem o caso de veículo de projeto CO com largura da pista de 7,20 m e velocidade diretriz de 40 km/h. Ou seja, a norma portuguesa não se adequa ao manual do DNIT para veículos de projeto com dimensões superiores ou equivalentes ao CO.

#### 4.4.3. Abaulamento

A norma portuguesa exige inclinação transversal superior que o manual do DNIT. A norma estabelece inclinações de 2,0% em pavimentos rígidos e 2,5% em pavimentos flexíveis, enquanto o manual determina 1,5 e 2,0%. A norma portuguesa é restritiva no uso de seções abauladas e de caimento simples, como exposto no Quadro 9, enquanto o manual brasileiro não apresenta nenhuma especificação de uso, mas apresenta recomendações.

#### 4.4.4. Superelevação

Os valores de superelevação máxima segundo o manual do DNIT podem variar de 4 a 12%, sendo 4, 6 e 12% usados apenas em caso excepcionais, e 8 e 10% os valores mais usuais, dependendo da classe de projeto e relevo. Por outro lado, a norma portuguesa se limita a atribuir a 7% o valor de superelevação máxima. Isso se dá a fatores climáticos, pois quando há gelo na pista o coeficiente de atrito transversal entre os pneus e o pavimento é de 0,10. Nessa situação, uma superelevação de 10% causaria uma tendência de os veículos deslizarem para dentro da curva em caso de baixas velocidades ou parados na pista. A Tabela 42 compara os valores de raio para os quais é dispensada a superelevação em função da velocidade diretriz.

Tabela 42. Comparação de dispensa de superelevação

Velocidade diretriz (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>BR</b>	800	1250	1800	2450	3200	4050	5000		
<b>PT</b>	2500						5000		

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas; PT – Norma de Traçado.

Na Tabela 42 observa-se que a norma portuguesa é mais simplista ao estabelecer os raios que dispensam a superelevação e apresenta menores valores para as velocidades de 80, 90 e 100 km/h. A norma portuguesa não estabelece valores mínimos de superelevação, mas

verifica-se na Tabela 31 que a superelevação exigida nunca é menor que 2,5%. Enquanto o manual do DNIT define 2% para a superelevação mínima.

#### 4.5. PROJETO GEOMÉTRICO DE UMA RODOVIA HIPOTÉTICA

Neste subcapítulo apresentam-se dois dimensionamentos para um projeto geométrico de um trecho de uma rodovia rural hipotética com extensão total de aproximadamente 1 km e 800 m. Esses dimensionamentos foram feitos com auxílio do *software* Autodesk Civil 3D, versão *Student 2020*, de acordo com o manual do DNIT e a norma portuguesa.

Inicialmente definiram-se os pontos inicial e final do trecho a ser projetado, assim como os pontos de interseção das tangentes. Para a escolha da localização desses pontos procurou-se que o trecho projetado contivesse curvas horizontais e verticais. Além disso, esses pontos são comuns nos dois dimensionamentos. Na Figura 10 estão representados estes pontos e no Quadro 10 o seu estaqueamento e deflexão.

Figura 10. Representação dos pontos inicial, final e de interseção das tangentes da rodovia hipotética



Legenda: BP – ponto de início; PI – ponto de interseção; EP – ponto de fim.

Quadro 10. Estaca e deflexão dos pontos inicial, final e de interseção das tangentes da rodovia hipotética

Ponto	Estaca	Deflexão
BP	0 + 00.00 m	--
PI1	33 + 12.31 m	45° 6' 57"
PI2	70 + 01.24 m	33° 46' 34"
EP	91 + 03.57 m	--

Para a concepção do projeto geométrico segundo o manual do DNIT e a norma portuguesa, os parâmetros técnicos foram obtidos para uma rodovia rural de classe I em relevo ondulado e para um itinerário complementar (IC) de pista de rolamento única com dois sentidos, respetivamente. O veículo de projeto considerado é do tipo CO (Caminhão e Ônibus convencional). No Quadro 11 estão indicadas as características a serem consideradas na elaboração do projeto.

Quadro 11. Características a considerar na elaboração do projeto geométrico

Característica	Unidade	BR	PT
Velocidade diretriz mínima	km/h	80	80
Velocidade adotada	km/h	100	100
Distância de visibilidade de parada mínima	m	155	250
Extensão máxima do alinhamento reto	m	--	2000
Raio mínimo de curva horizontal (para superelevação máxima)	m	345	420
Comprimento mínimo da clotóide	m	55	78
Superelevação máxima	%	10	7
Inclinação mínima da rampa	%	0,35	0,5
Inclinação máxima da rampa	%	4,5	5,0
Raio mínimo de curva vertical convexa	m	5800	9000
Comprimento mínimo da curva vertical convexa	m	60	100
Raio mínimo de curva vertical côncava	m	3600	5500
Comprimento mínimo da curva vertical côncava	m	60	120
Inclinação transversal para pavimentos flexíveis	%	2,0	2,5

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais / Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas; PT – Norma de Traçado.

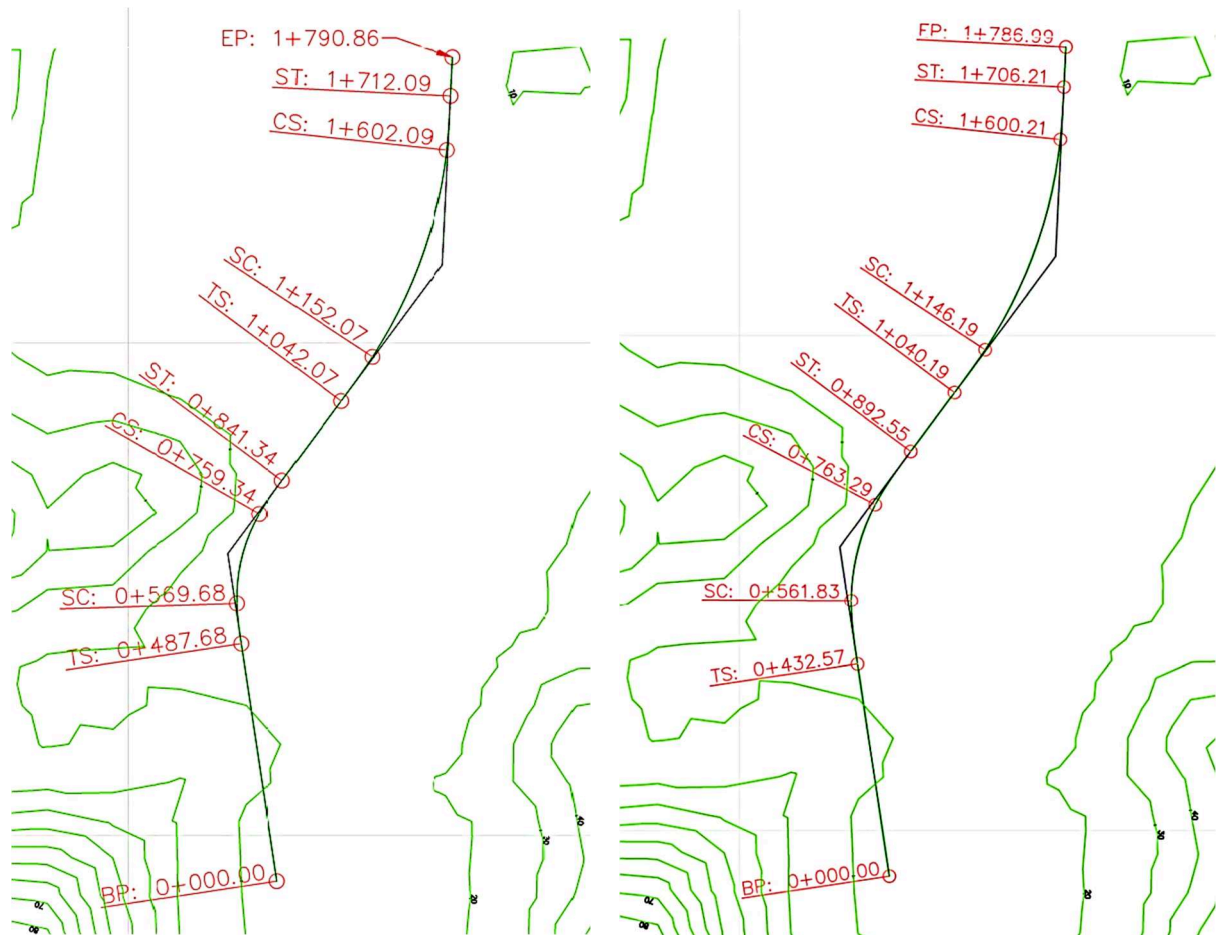
#### 4.5.1. Alinhamento Horizontal

O trecho da rodovia hipotética proposta tem três tangentes concordadas por duas curvas circulares com transição em sentidos opostos. Para fins de comparação dos dimensionamentos dos elementos horizontais, estabeleceu-se que a primeira curva teria o raio mínimo de ambos os documentos e a segunda curva teria um raio igual para os dois dimensionamentos, sendo este de 950,00 m.

Na Figura 11 encontra-se representado o traçado obtido segundo os dois dimensionamentos e na Tabela 43 o estaqueamento dos pontos ilustrados nessa figura. Na

Tabela 44 são apresentados os comprimentos e os raios dos vários elementos do alinhamento horizontal segundo o manual do DNIT e a norma portuguesa.

Figura 11. Alinhamento horizontal da rodovia hipotética aplicando o manual do DNIT (à esquerda) e a norma portuguesa (à direita)



Legenda: BP – ponto de início; TS – ponto de passagem da tangente para curva de transição; SC – ponto de passagem da curva de transição para a circular; CS – ponto de passagem da curva circular para a de transição; ST – ponto de passagem da curva de transição para a tangente; EP – ponto de fim.

Tabela 43. Estaca dos pontos TS, SC, CS e ST das curvas do alinhamento horizontal

Ponto	Estaca			
	BR		PT	
	Curva 1	Curva 2	Curva 1	Curva 2
TS	24 + 7,68	52 + 2,07	21 + 12,57	52 + 0,19
SC	28 + 9,68	57 + 12,07	28 + 1,83	57 + 6,19
CS	37 + 19,34	80 + 2,09	38 + 3,29	80 + 0,21
ST	42 + 1,34	85 + 12,09	44 + 12,55	85 + 6,21

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais / Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas; PT – Norma de Traçado.

Tabela 44. Comprimentos e raios dos vários elementos do alinhamento horizontal

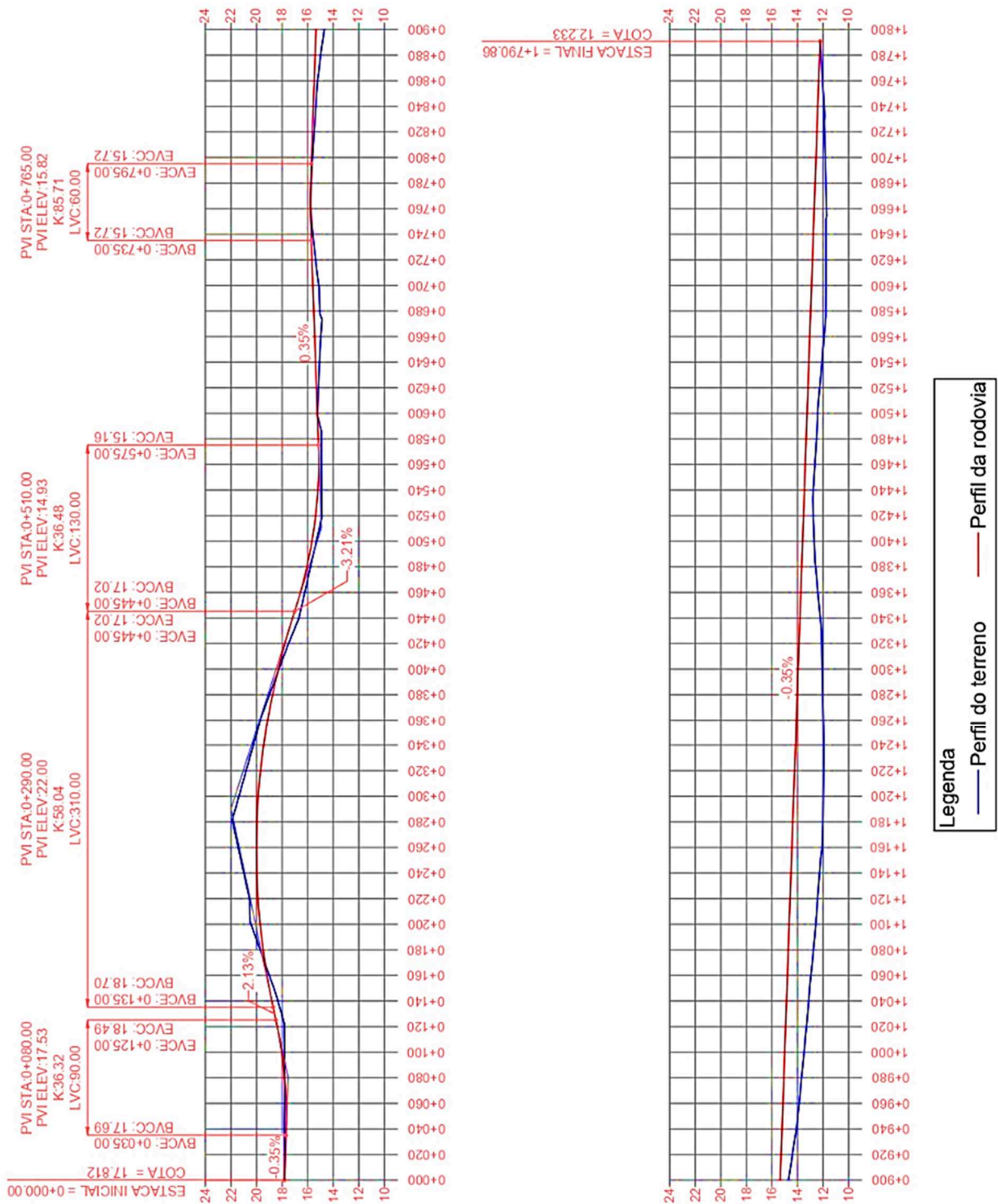
Elemento	BR		PT	
	Comprimento (m)	Raio (m)	Comprimento (m)	Raio (m)
T 1	487,68	--	432,57	--
CTI 1	82,00	--	129,26	--
CC 1	189,66	345,00	201,46	420,00
CTF 1	82,00	--	129,26	--
T 2	200,73	--	147,64	--
CTI 2	110,00	--	106,00	--
CC 2	450,03	950,00	454,03	950,00
CTF 2	110,00	--	106,00	--
T 3	78,76	--	80,77	--

Legenda: T – tangente; CTI – curva de transição inicial; CC – curva circular; CTF – curva de transição final; BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais / Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas; PT – Norma de Traçado.

#### 4.5.2. Alinhamento Vertical

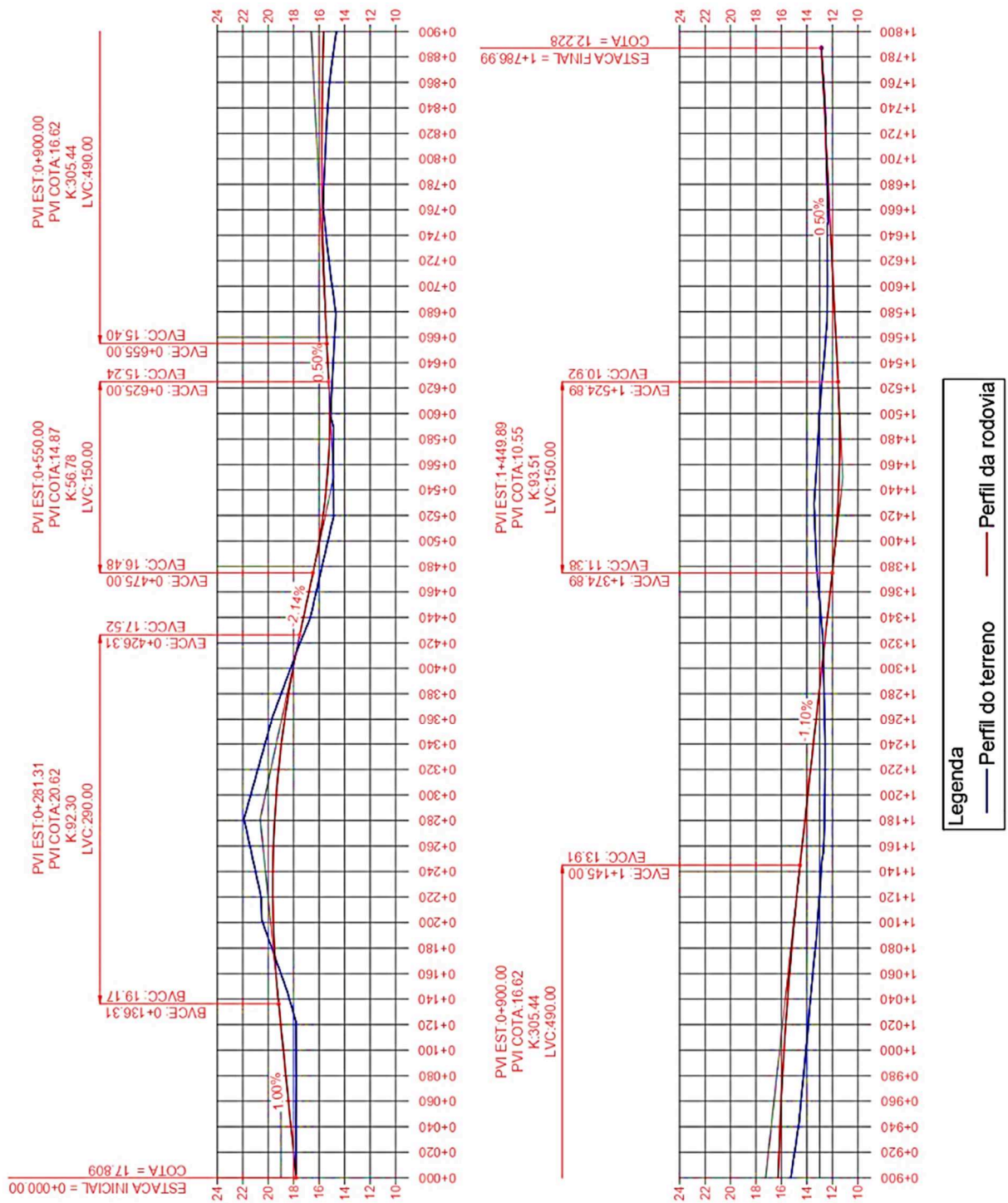
Na Figura 12 e na Figura 13 são apresentados os alinhamentos verticais segundo o manual do DNIT e norma portuguesa, respectivamente. O traço de cor azul nessas figuras representa o perfil do terreno e o de cor vermelha mostra o perfil longitudinal do trecho da rodovia hipotética.

Figura 12. Alinhamento vertical da rodovia hipotética aplicando o manual do DNIT



Legenda: PVI – ponto de interseção vertical; K – parâmetro da curvatura; LVC – comprimento da curva vertical; BVCE – estaca do começo da curva vertical; BVCC – cota do começo da curva vertical; EVCE – estaca do fim da curva vertical; EVCC – cota do fim da curva vertical.

Figura 13. Alinhamento vertical da rodovia hipotética aplicando a norma portuguesa



Legenda: PVI – ponto de interseção vertical; K – parâmetro da curvatura; LVC – comprimento da curva vertical; BVCC – estaca do começo da curva vertical; BVCC – cota do começo da curva vertical; EVCC – estaca do fim da curva vertical; EVCC – cota do fim da curva vertical.

Através da análise das Figura 12 e Figura 13, verifica-se que existe uma diferença significativa na disposição das curvas verticais, apesar dos perfis do terreno serem muito semelhantes. Como a norma portuguesa exige maiores valores mínimos de inclinação de rampa e de raio de curvatura, foi necessário ter um maior cuidado para que o greide se adequasse melhor ao perfil do terreno, isto é, que fossem geradas menores quantidades de movimentos de terra.

Na Tabela 45 são apresentados os comprimentos, os raios e os tipos de curvas verticais do alinhamento vertical segundo o manual do DNIT e a norma portuguesa.

Tabela 45. Comprimentos, raios e tipos de curvas verticais do alinhamento vertical

Curva Vertical	Tipo de curva	BR		PT	
		Raio (m)	Comprimento (m)	Raio (m)	Comprimento (m)
1	Côncava	3632	90,0	Convexa	290,0
2	Convexa	5804	310,0	Côncava	150,0
3	Côncava	3648	130,0	Convexa	490,0
4	Convexa	8571	60,0	Côncava	150,0

Legenda: BR – Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais; PT – Norma de Traçado.

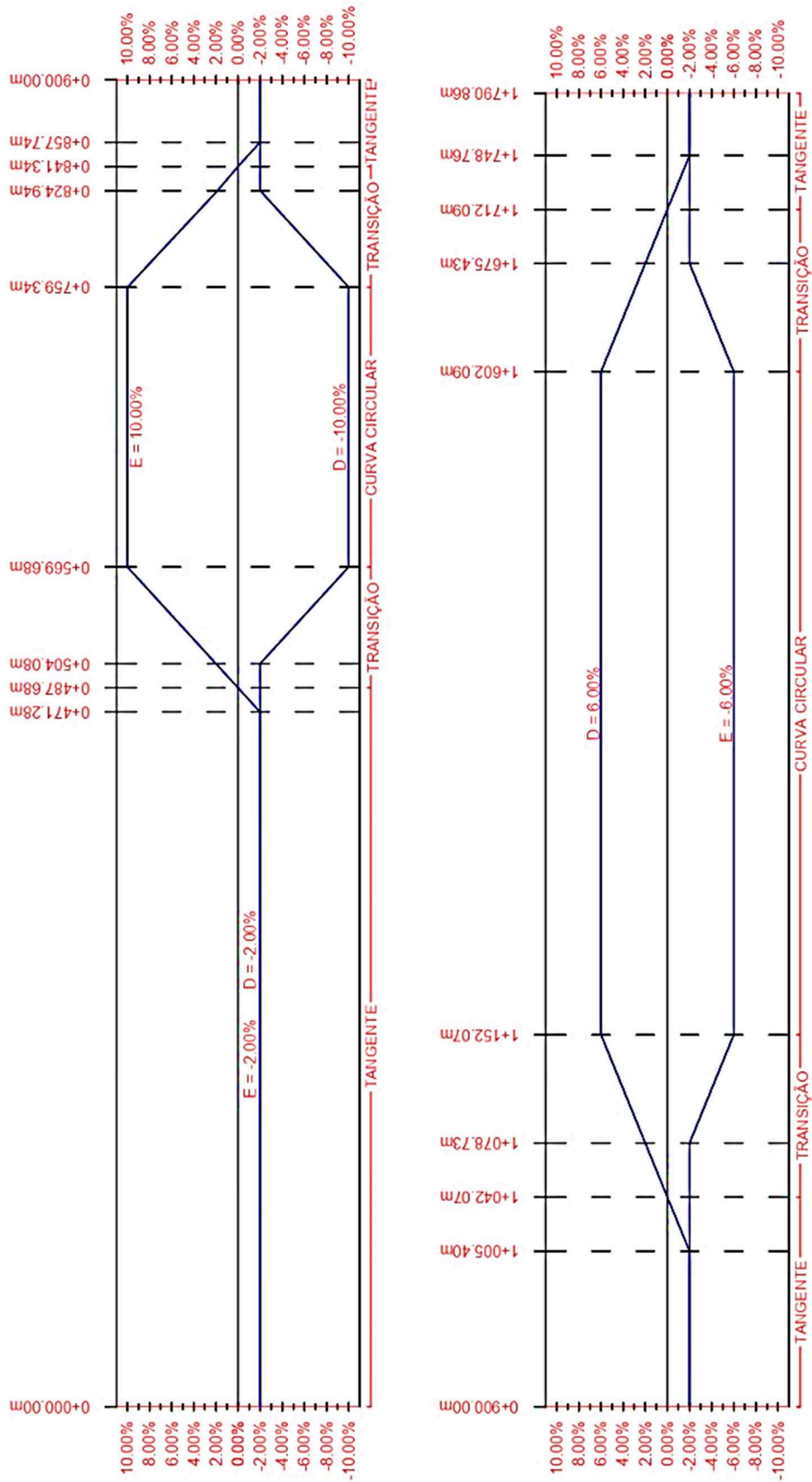
#### 4.5.3. Seção Transversal

No trecho da rodovia hipotética dimensionado segundo a norma portuguesa, a superlargura é dispensada nas duas curvas horizontais, visto que o raio destas é superior a 200 m. Por outro lado, no dimensionamento segundo o manual do DNIT, a superlargura que deve ser adotada na primeira curva horizontal é de 0,5 m e na segunda curva este parâmetro não é necessário.

Na Figura 14 e na Figura 15 são apresentadas as variações da inclinação transversal da rodovia hipotética segundo o manual do DNIT e a norma portuguesa, respetivamente.

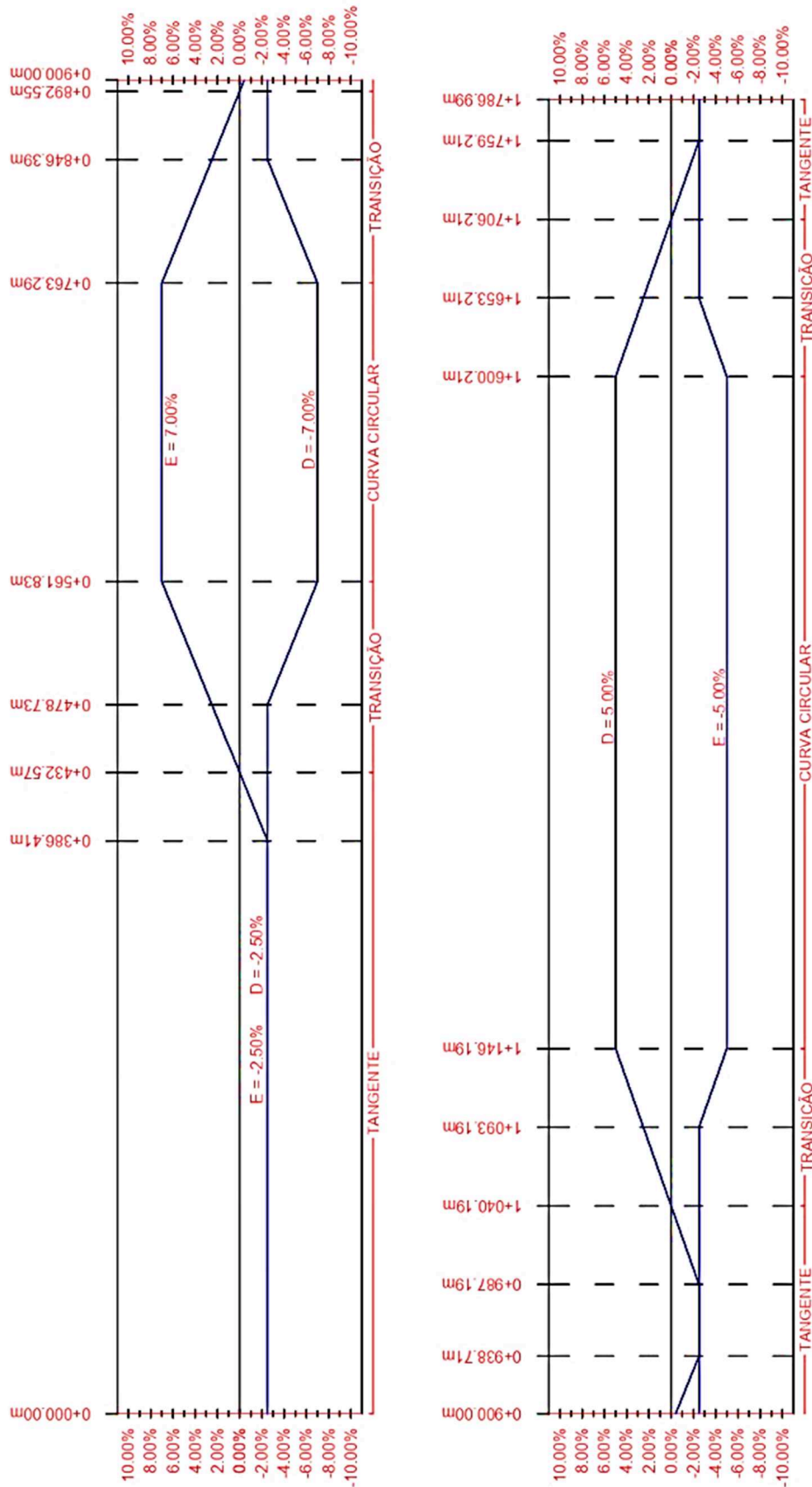


Figura 14. Variação de inclinação transversal da rodovia hipotética aplicando o manual do DNIT



Legenda: D – inclinação transversal do bordo direito da rodovia; E – inclinação transversal do bordo esquerdo da rodovia.

Figura 15. Variação de inclinação transversal da rodovia hipotética aplicando a norma portuguesa



Legenda: D – inclinação transversal do bordo direito da rodovia; E – inclinação transversal do bordo esquerdo da rodovia.

Através da análise das Figura 14 e Figura 15, verifica-se que ao aplicar-se a norma portuguesa, a transição da superelevação ocorre de forma mais gradual devido ao seu maior comprimento.

#### 4.6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na análise comparativa após a concepção da geometria, levando em conta os parâmetros estabelecidos, pode-se afirmar que o projeto geométrico elaborado por meio da norma portuguesa mostrou-se mais conservador do que o manual brasileiro. No entanto, foram observadas as seguintes exceções:

- A inclinação máxima da rampa para velocidades superiores a 80 km/h é inferior no manual do DNIT;
- A superlargura na norma portuguesa é consideravelmente menor quando são considerados veículos de projeto com dimensões superiores aos de CO;
- O raio de dispensa da superelevação para velocidades de 80, 90 e 100 km/h é superior no manual do DNIT.

A norma portuguesa permite maiores velocidades de projeto, podendo estas alcançar valores de 140 km/h. Além disso, para o cálculo de alguns parâmetros, essa norma, utiliza o conceito de velocidade de tráfego, que é uma majoração da velocidade de projeto. Com isso, obtêm-se maiores distâncias de visibilidade e maiores raios nas curvas verticais, o que garante uma maior segurança nas rodovias.

A norma portuguesa também apresenta raios mínimos maiores nas curvas horizontais que o manual brasileiro por estabelecer menores coeficientes de atrito transversal. Assim, esta norma representa maior segurança, mas isso se deve à possibilidade de haver gelo na pista.

A norma estrangeira admite maiores valores de largura das faixas de rolamento, o que assegura maior conforto ao motorista e maior espaço para a correção do seu curso. Contudo, o manual do DNIT garante maiores valores de superlargura nas curvas, compensando a menor largura das faixas e a maior dificuldade de percepção de distâncias transversais em curvas.

Assim, pode-se concluir, de forma geral, que a norma portuguesa proporciona um dimensionamento de rodovias mais seguro. Na concepção do projeto geométrico para um trecho de uma rodovia hipotética, confirmou-se as exigências mais rígidas nos parâmetros

técnicos da norma portuguesa, observando-se que nas curvas horizontais e verticais as concordâncias são realizadas de uma forma mais gradual e cômoda para o usuário.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No século XX, o aumento significativo da circulação de veículos em países como o Brasil e Portugal, levou à necessidade de criação de normas para a concepção de projetos geométricos de rodovias.

No Brasil, o número de mortos por acidentes com vítimas é consideravelmente superior ao de Portugal. Assim, neste trabalho compararam-se os documentos de projeto geométrico vigentes nos dois países, a fim de se entender como as diferenças destes influenciam na segurança dos usuários nas estradas.

Neste trabalho de conclusão de curso identificaram-se os parâmetros técnicos mais relevantes no dimensionamento do projeto geométrico e que interferem na segurança dos utilizadores, desenvolvendo-se, em primeiro lugar, um Estado de Arte do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999), do Brasil, e da Norma de Traçado (Revisão de 2010), de Portugal.

Na metodologia de comparação adotada relacionaram-se isoladamente os vários elementos constituintes do manual de projeto com a norma e aplicou-se o estudo a um trecho de uma rodovia hipotética projetada segundo os dois documentos, com auxílio do *software* Autodesk Civil 3D.

Na comparação direta dos vários elementos de um projeto geométrico, constatou-se que a norma portuguesa é, na maioria dos parâmetros avaliados, mais conservadora que o manual brasileiro. Isso se deve principalmente à utilização do conceito velocidade de tráfego no cálculo de alguns parâmetros, sendo esta uma majoração da velocidade de projeto.

A superlargura é um parâmetro que se diferencia dos restantes, pois verifica-se que este apresenta, na generalidade, valores superiores no manual do DNIT quando comparados com a norma portuguesa. Contudo, esta norma compensa as menores superlarguras com larguras de faixas de rolamento maiores.

Na elaboração do projeto geométrico da rodovia hipotética observou-se que a norma portuguesa conduz a um traçado mais gradual e cômodo para o usuário, e menos propenso à ocorrência de acidentes. Assim, confirma-se as maiores exigências nos parâmetros técnicos da norma e justifica-se o maior número de mortos por acidentes com vítimas no Brasil.

Para que o manual do DNIT proporcionasse rodovias mais seguras e cômodas para os usuários, recomenda-se a adoção de um conceito idêntico ao da velocidade de tráfego, pois

este agregaria um aumento nas distâncias de visibilidade e nos raios das curvas verticais. Na norma portuguesa sugere-se como melhoria a aplicação de métodos de cálculo da superlargura mais indicados para veículos de projeto com dimensões maiores aos de CO, garantindo uma maior segurança nas rodovias.

## 5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na elaboração deste trabalho alcançaram-se os objetivos propostos, todavia durante a sua realização foram levantadas algumas questões inerentes a qualquer estudo. Assim, propõem-se os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Fazer um estudo mais aprofundado sobre os acidentes causados pelo traçado nas rodovias no Brasil e em Portugal, de forma a entender melhor a causa específica e tentar implantar os ajustes necessários, a favor de maior segurança e comodidade dos usuários, nas próximas atualizações de documentos normativos dos dois países;
- Elaborar um estudo de caso de um trecho de uma rodovia brasileira com níveis de sinistralidade elevados, onde se verifica a conformidade com o manual do DNIT e aplica-se a norma portuguesa;
- Abordar os custos de construção que são gerados com os movimentos de terra numa rodovia projetada de acordo com as normativas, brasileira e portuguesa, uma vez que estes geralmente representam uma parcela significativa no custo total de construção de uma estrada.

## REFERÊNCIAS

Alexandre, A. S. G., 2018. **Análise Comparativa das Normas Portuguesas e Brasileiras Caso de Estudo: Rodovia BR-381 / Minas Gerais**. Lisboa, Portugal. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/10119/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>.

Acesso em: 9 novembro 2017.

Brasil, 1999. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: [http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/706\\_manual\\_de\\_projeto\\_geometrico.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/706_manual_de_projeto_geometrico.pdf). Acesso em: 28 outubro 2019. Rio de Janeiro.

Brasil, 2010a. **Manual de implantação básica de rodovia**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: [http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/742\\_manual\\_de\\_implantacao\\_basica.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/742_manual_de_implantacao_basica.pdf). Acesso em: 23 novembro 2019.

Brasil, 2010b. **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: [http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/740\\_manual\\_projetos\\_geometricos\\_travessias\\_urbanas.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/740_manual_projetos_geometricos_travessias_urbanas.pdf). Acesso em: 9 novembro 2019.

Brasil, 2016. **Transportes no Brasil: Síntese Histórica**. Ministério da Infraestrutura. Brasil. Disponível em: [infraestrutura.gov.br/conteudo/136-transportes-no-brasil-sintese-historica.html](http://infraestrutura.gov.br/conteudo/136-transportes-no-brasil-sintese-historica.html). Acesso em: 25 novembro 2019.

CNT, 2018. **Plano CNT de transporte e logística 2018**. Confederação Nacional do Transporte. Brasília, Brasil.

CNT, 2019a. **Acidentes em rodovias federais**: Brasil. Confederação Nacional do Transporte. Brasil. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-acidente>. Acesso em: 26 novembro 2019.



CNT, 2019b. **Pesquisa CNT de rodovias 2019**. Confederação Nacional do Transporte. Brasília, Brasil.

IMT, 2012. **Criação do Instituto da Mobilidade e dos Transportes I.P.** Instituto da Mobilidade e dos Transportes. Portugal. Disponível em: <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Noticias/Paginas/ConselhoDiretivodoIMT.aspx>. Acesso em: 10 novembro 2019.

INE, 2018. **Estatísticas dos Transportes e Comunicações 2017**. Instituto Nacional da Estatística, I. P. Lisboa, Portugal.

INIR, 2010. **Norma de traçado**: Revisão. Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias. Portugal. Disponível em: <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/InovacaoNormalizacao/Divulgao%20Tcnica/RevisaoNormaDeTracado.pdf>. Acesso em: 29 outubro 2019.

IP, 2016. **Rede Rodoviária**. Infraestruturas de Portugal. Portugal. Disponível em: <https://www.infraestruturasdeportugal.pt/pt-pt/rede/rodoviaria>. Acesso em: 29 outubro 2019.

JAE, 1994. **Normal de Traçado**. Junta Autónoma de Estradas. Portugal. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779576279260/Norma%20de%20Tracado.pdf>. Acesso em: 06 novembro 2019.

Macedo, A. L.; Cardoso, J. L.; Roque, C., 2013. **Pressuposto para a reformulação das normas de traçado rodoviário**. Lisboa, Portugal. Disponível em: [http://www.crp.pt/docs/A45S143-7\\_Art\\_T3\\_7CRP\\_2013.pdf](http://www.crp.pt/docs/A45S143-7_Art_T3_7CRP_2013.pdf). Acesso em: 28 outubro 2019.

Mota, Maria Silva F. V., 2008. **Níveis de serviço em auto-estradas e ramos de ligação**: Análise comparativa entre a versão do *Highway Capacity Manual* de 1985 e de 2000. Porto, Portugal.

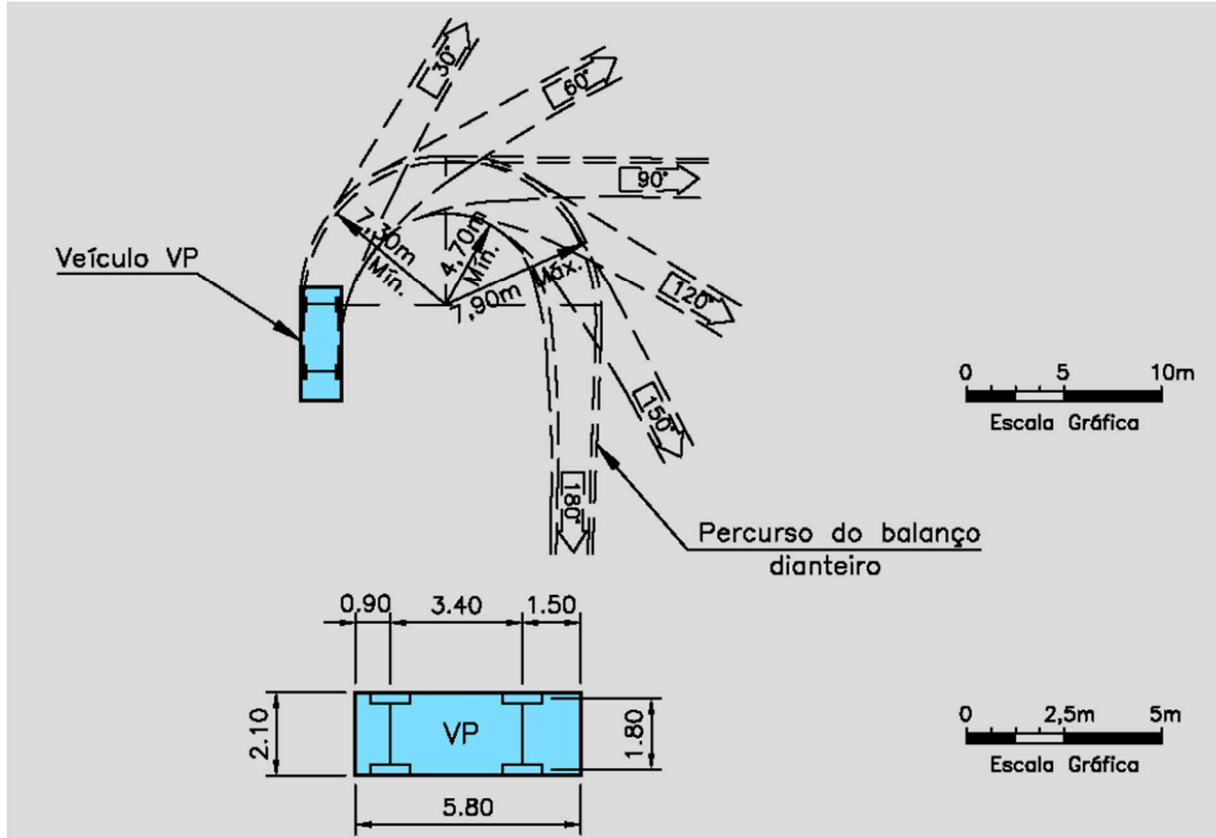
Pimenta, C. R. T. e Oliveira, M. P., 2004. **Projeto Geométrico de Rodovias**. 4<sup>a</sup>. ed. São Carlos: RiMa Editora.

TRB, 1997. **Highway Capacity manual**: Special Report 209. 3. ed. Transportation Research Board. Washington, D.C., Estados Unidos da América.

Wolhuter, K. M., 2015. **Geometric Design of Roads Handbook**. Florida, USA: CRC Press. Disponível em: <https://content.taylorfrancis.com/books/download?dac=C2011-0-15177-6&isbn=9781482288728&format=googlePreviewPdf>. Acesso em: 30 outubro 2019.

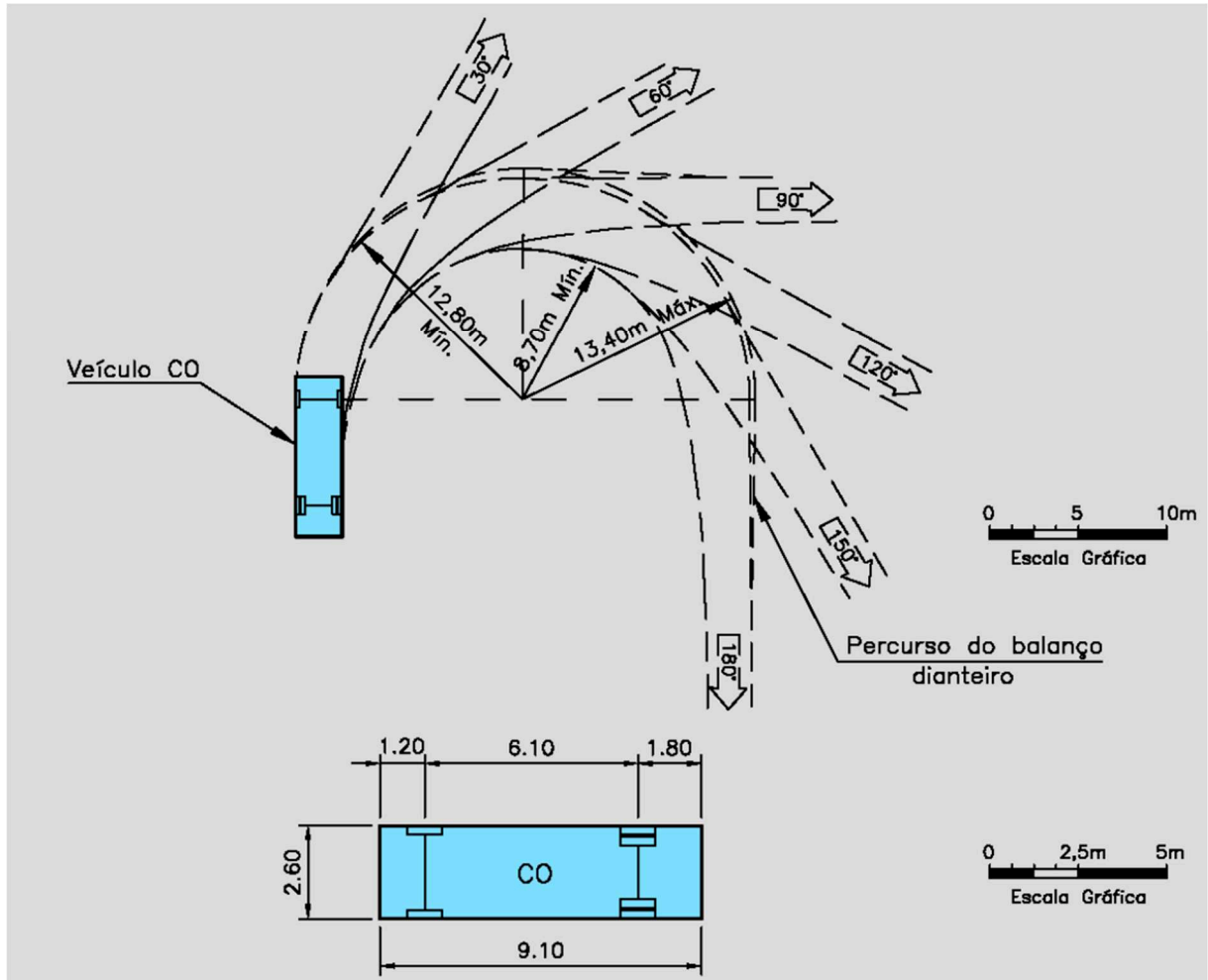
## ANEXO A – DIMENSÕES DOS VEÍCULOS DE PROJETO

Figura 16. Veículo de Projeto VP



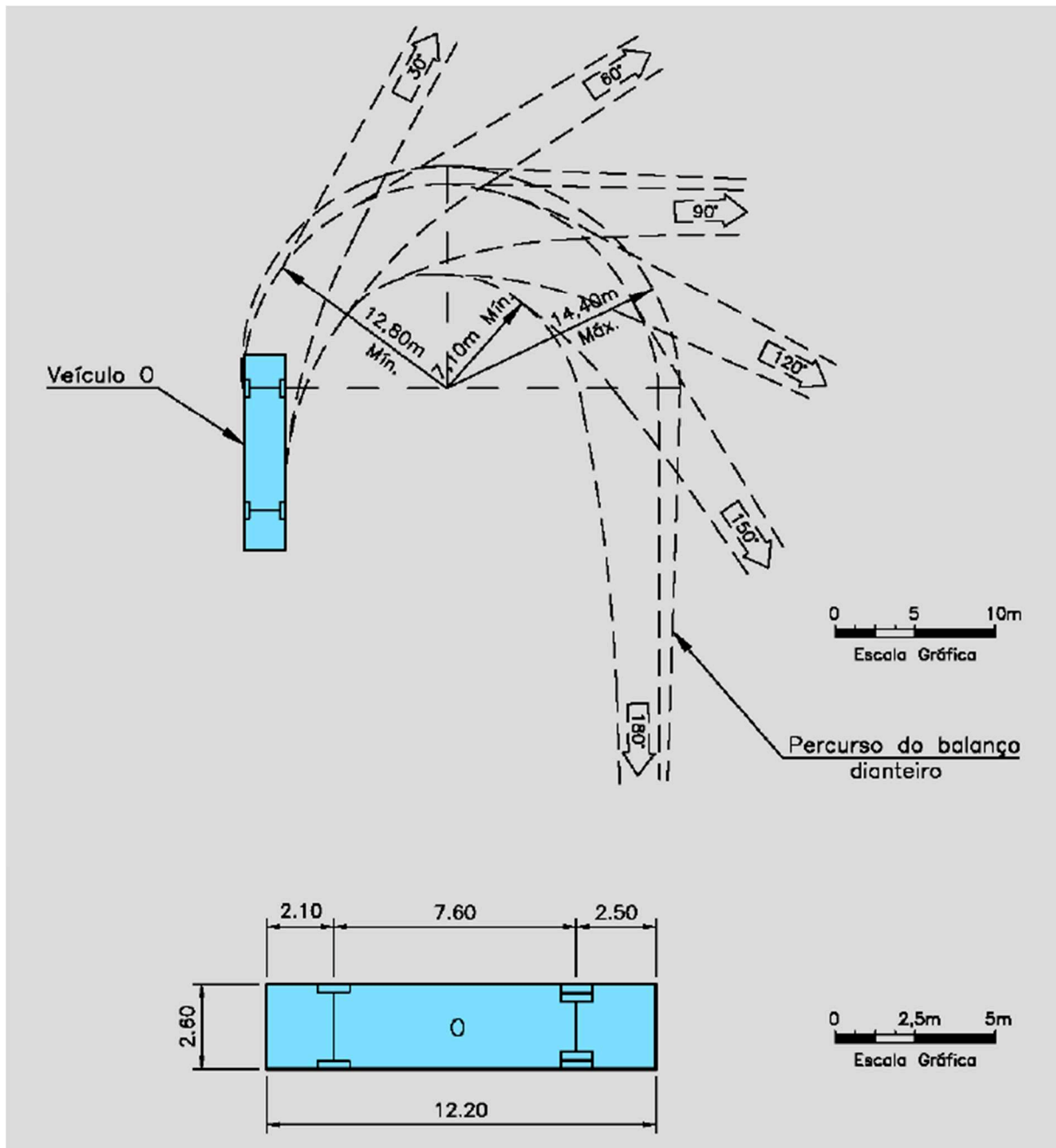
Fonte: BRASIL, 2010b.

Figura 17. Veículo de Projeto CO



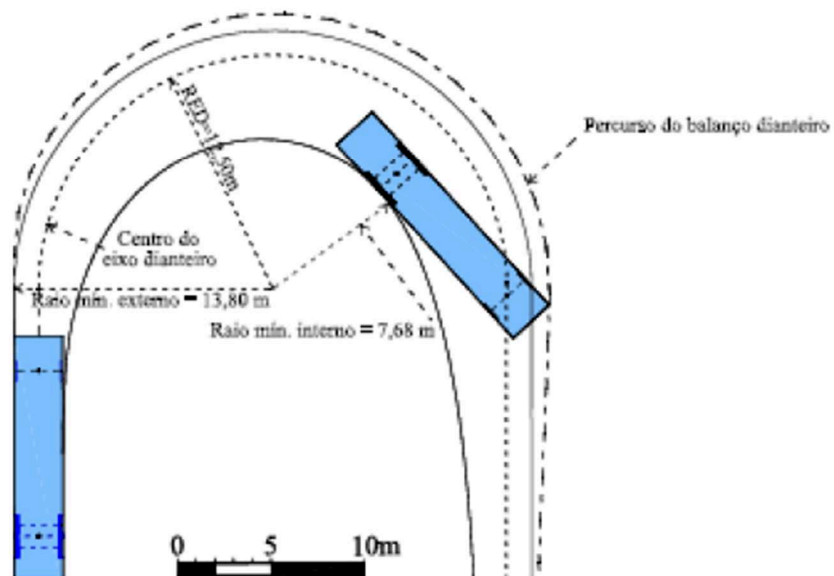
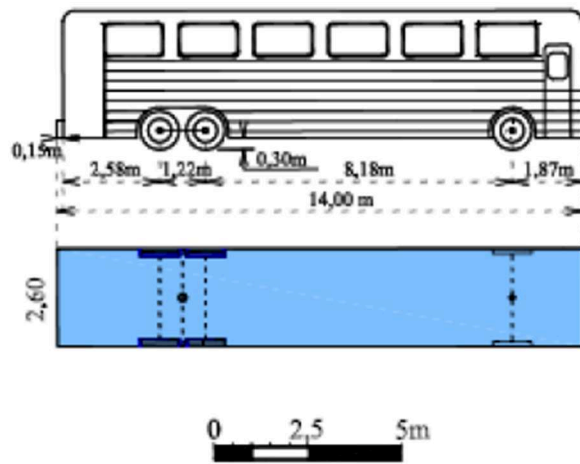
Fonte: BRASIL, 2010b.

Figura 18. Veículo de Projeto O



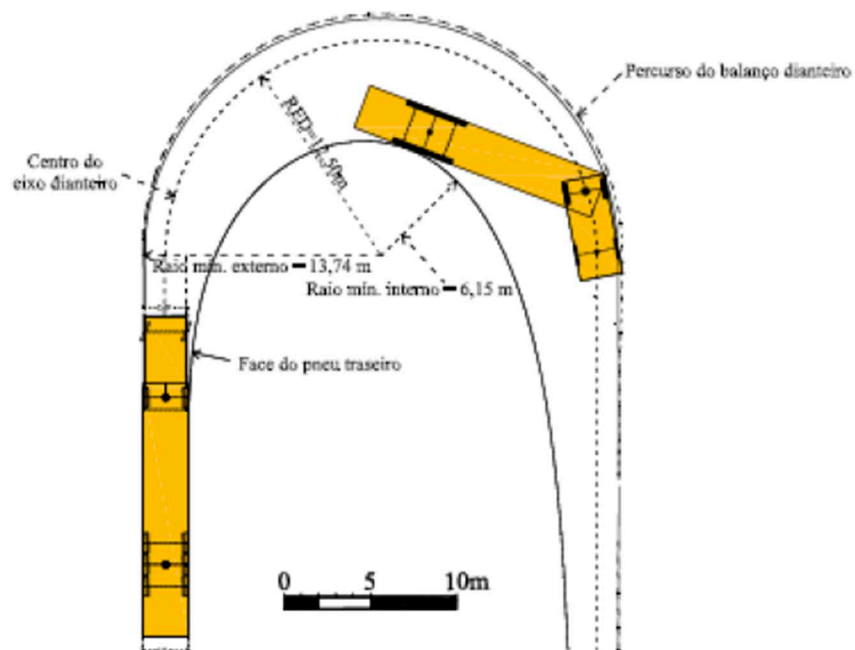
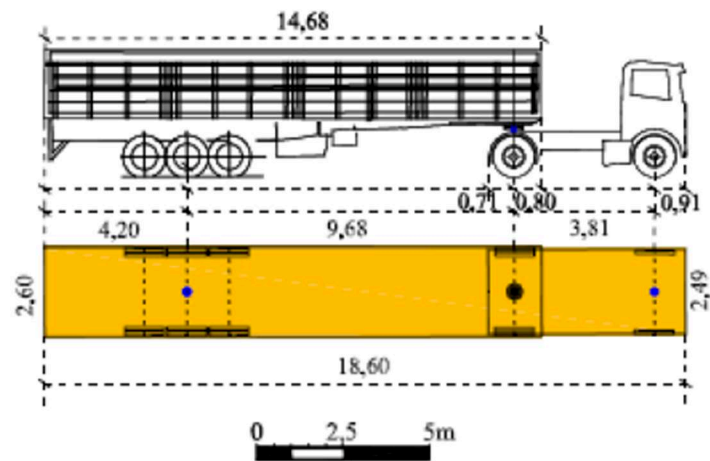
Fonte: BRASIL, 2010b.

Figura 19. Veículo de Projeto OR



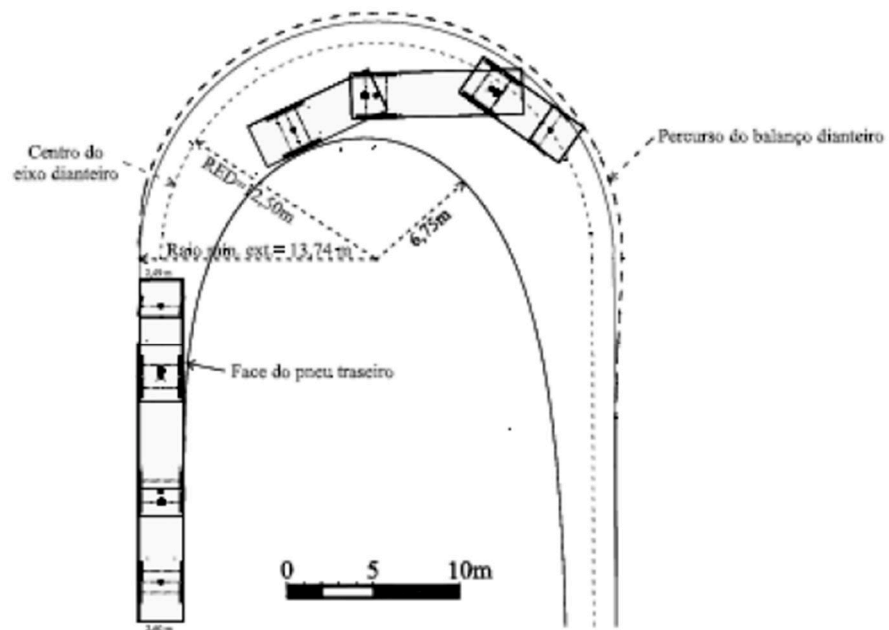
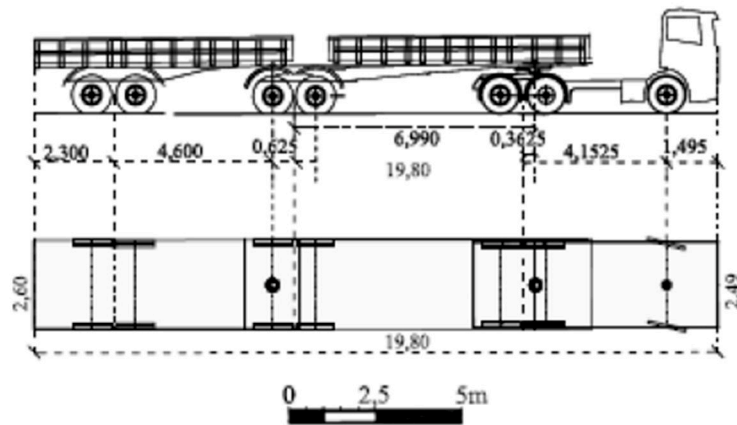
Fonte: BRASIL, 2010b.

Figura 20. Veículo de Projeto CA



Fonte: BRASIL, 2010b.

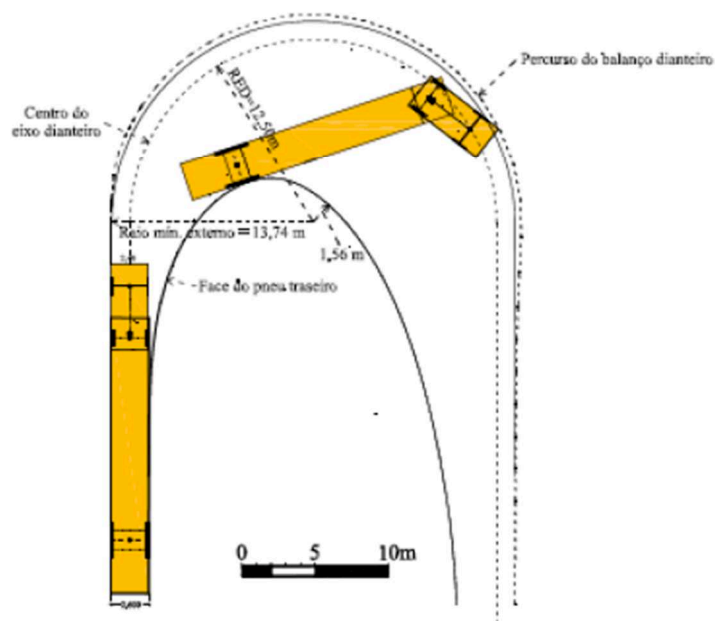
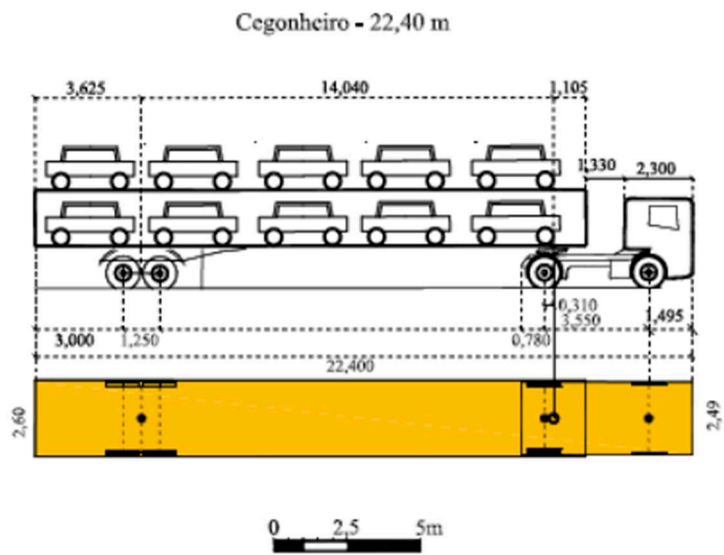
Figura 21. Veículo de Projeto BT7



Fonte: BRASIL, 2010b.



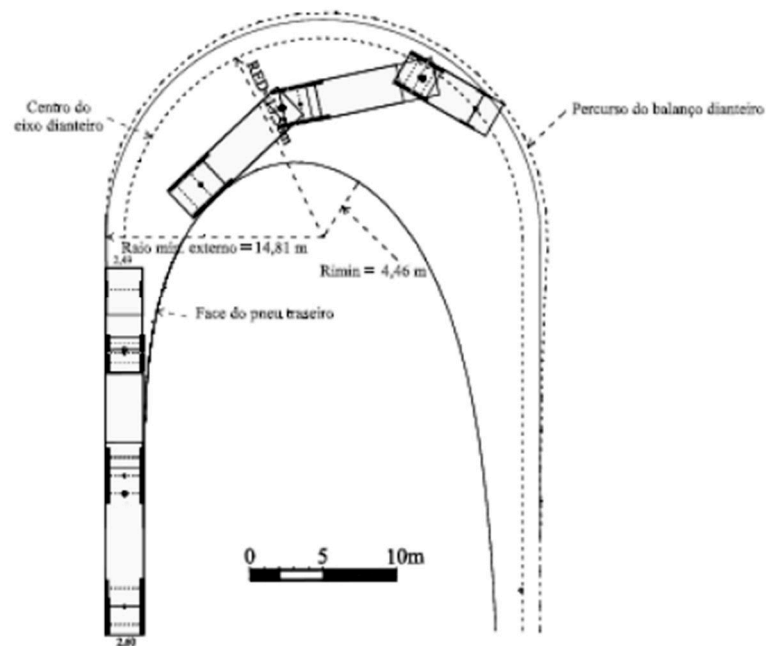
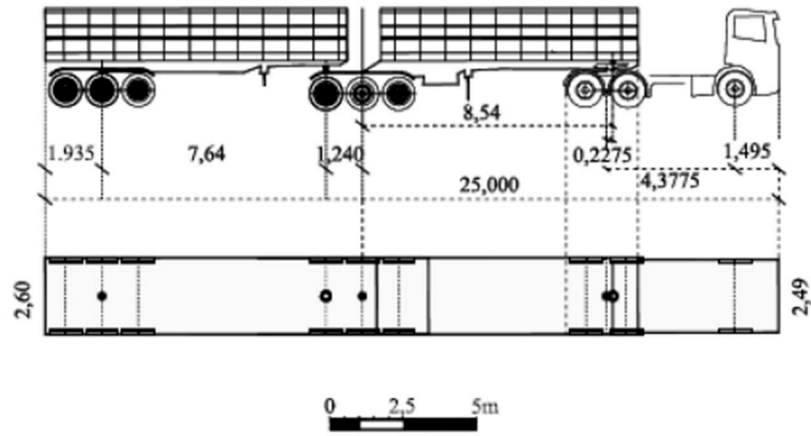
Figura 22. Veículo de Projeto CG



Fonte: BRASIL, 2010b.

Figura 23. Veículo de Projeto BT9

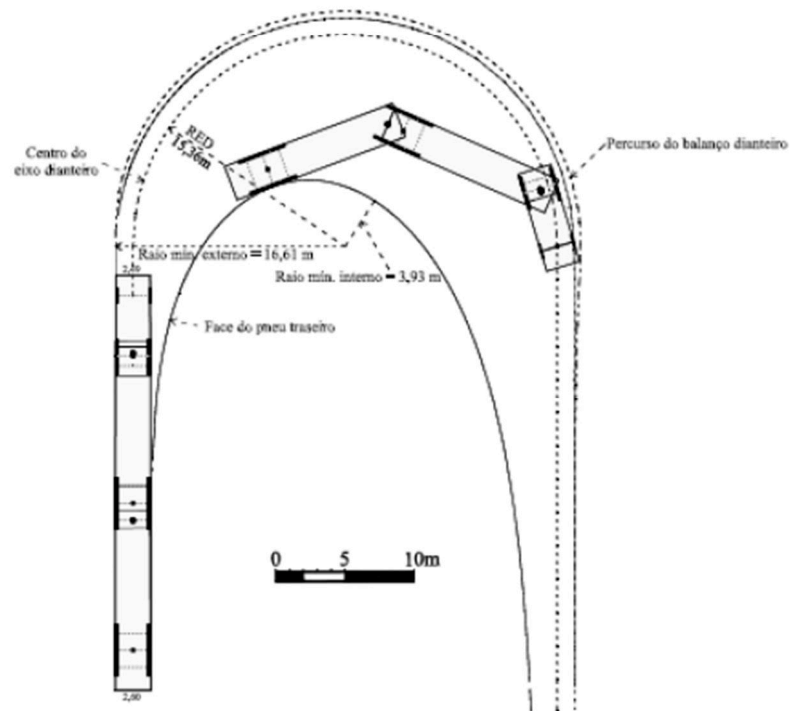
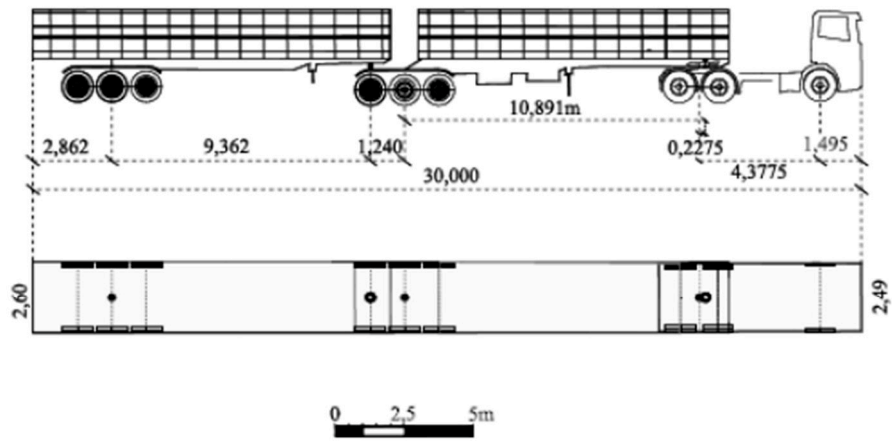
Bitrem de 9 Eixos - 25,00 m



Fonte: BRASIL, 2010b.

Figura 24. Veículo de Projeto BTL

Bitrem de 9 Eixos / Rodotrem - 30,00 m



Fonte: BRASIL, 2010b.