

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Mateus Alonso Mosmann

**ANÁLISE GEOMÉTRICA DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: ESTUDO DE CASO
DE ALÇA DE ACESSO DA BR-448**

Porto Alegre

2018

Mateus Alonso Mosmann

**ANÁLISE GEOMÉTRICA DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: ESTUDO DE CASO
DE ALÇA DE ACESSO DA BR-448**

Trabalho de Diplomação apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Sergio Presta García

Porto Alegre

2018

CIP - Catalogação na Publicação

Mosmann, Mateus Alonso
ANÁLISE GEOMÉTRICA DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS:
ESTUDO DE CASO DE ALÇA DE ACESSO DA BR-448 / Mateus
Alonso Mosmann. -- 2018.
77 f.
Orientador: Daniel Sergio Presta García.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Civil, Porto Alegre,
BR-RS, 2018.

1. Projeto geométrico. 2. Geometria de curvas. 3.
Segurança viária. I. García, Daniel Sergio Presta,
orient. II. Título.

Mateus Alonso Mosmann

**ANÁLISE GEOMÉTRICA DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: ESTUDO DE CASO
DE ALÇA DE ACESSO DA BR-448**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto alegre, junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

João Fortini Albano - UFRGS

Christine Tessele Nodari- UFRGS

Daniel Sergio Presta García - UFRGS (orientador)

AGRADECIMENTOS

Ao professor Daniel Sergio Presta García por toda dedicação e apoio ao longo deste trabalho e por compartilhar seu conhecimento e sanar diversas dúvidas acerca da área de rodovias.

Aos bolsistas que ajudaram a digitalizar diversos documentos fazendo assim a possível análise 3D deste projeto.

Ao engenheiro Marcelo Piacheski de Abreu por abrir diversas portas no DNIT de São Leopoldo e fornecer diversas informações valiosas.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso visa elucidar os motivos do elevado número de acidentes que acontecem nas alças de acesso da rodovia BR-448, em especial naquela na entrada de Porto Alegre. Inicialmente se fez uma abordagem dos conceitos mais importantes para uma maior segurança viária, entre eles podemos destacar: raio de curvatura, distribuição de superelevação, superlargura, presença de faixas de acostamento. Foram apresentados os métodos mais efetivos para cálculo desses conceitos. Através de pedido ao Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão foram obtidos os detalhes do projeto das alças de acesso. Por fim foram comparados os dados obtidos com as diversas normas e recomendações, tanto nacionais como internacionais. Os resultados encontrados corroboram com a hipótese que o projeto foi mal dimensionado resultando em um maior número de acidentes. Com as informações obtidas com esse trabalho espera-se mostrar a importância da correta aplicação das normas e o impacto que estradas mal projetadas causam na segurança viárias.

Palavras-chave: Superelevação, Projeto geométrico, Geometria de curvas, Acidentes, Segurança viária.

ABSTRACT

This thesis try to explain the motives to the high number of accidents that are currently happening in the interchanges of the highway BR-448, focusing mainly on the interchange at the entrance of Porto Alegre. Initially a approach was made about the most important aspects of road traffic safety. Citing the most important we have: radius of curvature, superelevation, widening, presence of shoulder. The most effectives ways to calculate these aspects were show. Through a request to “Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão” data was obtained about the project of the interchange. Finally a comparison was made between the obtained data and both domestic and foreign guidelines. The results found corroborate the theory that the highway was poorly designed, leading to a higher chance of accidentes. The information obtained in this thesis is expected to demonstrate the importance of the correct application of the guidelines, and show the implications of a bad designed road on the aspects of road safety.

Keywords: Superelevation, Geometric design, Curvature desing, Accidents, Road traffic safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa	19
Figura 2 – Tempo de reação relacionado com eventos inesperados.....	21
Figura 3 – Superelevação	22
Figura 4 – Falta de superlargura	23
Figura 5 – Curva circular simples.....	24
Figura 6 – Curva composta sem transição.....	25
Figura 7 – Curva composta com transição.	25
Figura 8 – Clotóide.	26
Figura 9 – Curva reversa	27
Figura 10 – Relação entre curvas horizontais.....	28
Figura 11 – Gráfico de redução de velocidade de caminhões após trajeto em subida	30
Figura 12 – Redução do número de rampas.	30
Figura 13 – Situação indesejada em descidas.....	31
Figura 14 – Duas curvas verticais no mesmo sentido em sequência.....	31
Figura 15 – Estrada com greide muito colado.....	32
Figura 16 – Curvas convexas.	33
Figura 17 – Curvas côncava	33
Figura 18 – Simulação com greide plano.	34
Figura 19 – Simulação com curvas convexas.....	34
Figura 20 – Simulação com curvas côncavas.....	35
Figura 21 – Traçado com os vértices coincidindo.....	36
Figura 22 – Traçado com os vértices não coincidindo.	36
Figura 23 – Curvas reversas coincidindo com o vértice de curvas verticais	37
Figura 24 – Curva horizontal em ponto baixo do greide.....	38
Figura 25 – Absurdo óptico.	38
Figura 26 – Forças atuantes em uma curva	38
Figura 27 – Distribuição da superelevação.....	44
Figura 28 – Elementos de cálculo da superlargura.....	49
Figura 29 – Gráfico do comprimento mínimo de curvas verticais convexas.	56
Figura 30 – Gráfico do comprimento mínimo de curvas verticais côncavas.	57
Figura 31 – Localização do terceiro lote da rodovia	59

Figura 32 – Intersecção BR– 448 com BR-290.....	60
Figura 33 – Numeração dos ramos.....	60
Figura 34 – Corte transversal ramo 1.	65
Figura 35 – Corte transversal ramo 3.	66
Figura 36 – Fiscalização eletrônica da BR – 448	71
Figura 37 - Correta utilização de placas sinalizadoras	72
Figura 38 - Exemplo de rodovia bem iluminada utilizando LED	73
Figura 39 - Trecho mal iluminado da BR-448	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rampas máximas.....	29
Tabela 2 – Coeficiente de atrito.....	42
Tabela 3 – Máximas superelevações	42
Tabela 4 – Raios mínimos para projetos.....	43
Tabela 5 – Raios que dispensam superelevação.....	43
Tabela 6 – Comprimento Lmin.	46
Tabela 7 – Valores de Gl.	48
Tabela 8 – Superlargura para 3 e 4 faixas.	50
Tabela 9 – Valores de K para o critério da máxima aceleração centrífuga admissível.	51
Tabela 10 - Distância de parada mínima	53
Tabela 11 - Valores de K para o critério de distância de visibilidade necessária.....	55
Tabela 12 - Dimensões das Curvas da intersecção da BR-290.	61
Tabela 13 - Dados de superelevação do ramo 1 até o início do ramo 3	61
Tabela 14 - Dados de superelevação do ramo 3	63

LISTA DE SIGLAS

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

DNER- Departamento nacional de estradas de rodagem

CO - Veículos comerciais rígidos

SR – Veículos comerciais articulados

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	DIRETRIZES DA PESQUISA	17
2.1	QUESTÃO DA PESQUISA	17
2.2	OBJETIVOS DA PESQUISA	17
2.2.1	OBJETIVO PRINCIPAL	17
2.2.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	17
2.3	PRESUPOSTO	17
2.4	LIMITAÇÕES.....	17
2.5	DELINEAMENTO	18
3	CONCEITOS BÁSICOS DA SEGURANÇA VIÁRIA	20
3.1	SUPERELEVAÇÃO	22
3.2	SUPERLARGURA	23
3.3	TIPOS DE CURVAS HORIZONTAIS	23
3.3.1	CURVA CIRCULAR SIMPLES.....	23
3.3.2	CURVAS COMPOSTAS	24
3.3.3	CURVAS REVERSAS.....	26
3.4	SEQUÊNCIA DE CURVAS HORIZONTAIS	27
3.5	ALINHAMENTO VERTICAL.....	28
3.6	COORDENAÇÃO DOS ALINHAMENTOS HORIZONTAL E VERTICAL.....	33
4	ESCOLHA DE MÉTODOS DE CÁLCULO.....	39
4.1	MÉTODOS DE DISTRIBUIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO	39
4.1.1	MÉTODO EMPREGADO PELO DNIT	42
4.2	DISTRIBUIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO.....	43
4.2.1	CRITÉRIO DA TAXA MÁXIMA DE VARIAÇÃO DA ACELERAÇÃO CENTRÍFUGA	45
4.2.2	CRITÉRIO DO COMPRIMENTO MÍNIMO ABSOLUTO DE L:.....	46
4.2.3	CRITÉRIO DA FLUÊNCIA ÓTICA	46

4.2.4 CRITÉRIO DO MÁXIMO ÂNGULO DA CLOTÓIDE	46
4.2.5 CRITÉRIO DO TEMPO DE PERCURSO	47
4.2.6 TRANSIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO SEM CURVAS DE TRANSIÇÃO	47
4.3 MÉTODO DE CÁLCULO E DISTRIBUIÇÃO DA SUPERLARGURA	47
4.3.1 PISTAS COM MAIS DE DUAS FAIXAS	49
4.3.2 IMPLEMENTAÇÃO DA SUPERLARGURA	50
4.3.3 TRANSIÇÃO DA SUPERLARGURA	50
4.4 MÉTODOS DE CÁLCULO DE CURVAS VERTICAIS	51
4.4.1 CRITÉRIO DA MÁXIMA ACELERAÇÃO CENTRÍFUGA ADMISSÍVEL.....	51
4.4.2 CRITÉRIO DE DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE NECESSÁRIA	51
4.4.3 CRITÉRIO DO MÍNIMO VALOR ABSOLUTO	55
5 - DADOS DA BR – 448	58
5.1 INTERSECÇÃO ENTRE A BR- 448 E A BR-290.....	58
5.1.1 DADOS DO ALINHAMENTO HORIZONTAL	61
5.1.2 DADOS DO ALINHAMENTO VERTICAL	64
6 – COMPARAÇÃO ENTRE DADOS	66
6.1. COMPARANDO O TRAÇADO HORIZONTAL.....	66
6.1.1 ANÁLISE DAS CURVAS INDIVIDUALMENTE	66
6.1.2 ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DE CURVAS	66
6.1.3 ANÁLISE DA SUPERELEVAÇÃO	66
6.2. COMPARANDO O TRAÇADO VERTICAL.....	68
6.2.1 ANÁLISE DAS RAMPAS MÁXIMAS	68
6.2.2 ANÁLISE DAS CURVAS VERTICAIS	68
6.2.3 ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DE CURVAS VERTICAIS	68
6.3. COMPARANDO A COMBINAÇÃO DOS TRAÇADOS.....	69
6.3.1 EFEITOS VISUAIS DA COMBINAÇÃO DE TRAÇADOS.....	69
6.3.2 RECOMENDAÇÕES DA NORMA ACERCA DO ALINHAMENTO DOS VÉRTICES	69
7 – POSSÍVEIS MELHORIAS PARA A INTERSECÇÃO DA BR-448 COM A BR-290...70	
7.1 SOLUÇÕES ALTERANDO CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.....	70
7.2 SOLUÇÕES PALIATIVAS JÁ ADOTADAS	70
7.3 SOLUÇÕES PALIATIVAS QUE PODEM SER ADOTADAS	71
8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS:.....	75

1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas que afeta toda população principalmente aquela que habita grandes centros urbanos é a falta de mobilidade urbana. A população tende a crescer em taxas mais altas do que aquelas dos investimentos em mobilidade criando assim problemas no tráfego de veículos. A Região Metropolitana de Porto Alegre é um claro exemplo disso, ela reúne 34 municípios com população estimada em 2015 de 4,3 milhões, cerca de 40% de toda população estadual. Sendo foco de grande desenvolvimento econômico tanto pela questão industrial como pelo diversificado setor de serviços na região é esperado grandes problemas de locomoção na região.

O modal mais utilizado no Brasil é o rodoviário, seu baixo custo de implementação aliado a facilidade de acessar diversos locais fez dele se tornar para muitas pessoas o único meio de locomoção. Sendo assim pode-se considerar a BR-116 como a artéria pulsante da Grande Porto Alegre. Ela conecta a zona metropolitana ao sul do estado além de ligar o estado ao restante do país conectando cidades como Curitiba, São Paulo, Rio de Janeiro entre outras. Porém com o passar dos anos a via não comportava mais o grande fluxo de veículos na região. Devido sua faixa de domínio não ser larga o bastante, obras para implementação de vias extras ficaram impossibilitadas. Para contornar essa situação grandes obras de infraestrutura precisaram ser executadas. Foi o caso da BR-448 que se estende num trecho de 22,3 Km entre Porto Alegre e Sapucaia do Sul. A rodovia do ponto de vista técnico foi bastante desafiadora pois foi estabelecida nas proximidades do Delta do rio Jacuí, este local apresenta um solo pouco capacitado para suportar faixas de rodagem sendo assim foi necessário a remoção de grandes volumes de solo mole, e devido a ter uma cota relativamente baixa apresentar uma alta probabilidade de inundações. Outras soluções adotadas que encareceram o projeto foram a construção de parte da rodovia em elevadas e o grande volume de aterros necessários gerando um orçamento bastante considerável para uma estrada de extensão relativamente pequena.

A construção desta rodovia levou cerca de 30 meses e foi inaugurada em dezembro de 2013. Mais de 40 mil veículos trafegam a rodovia diariamente segundo dados dos órgãos competentes, assim ela consegue captar cerca de 40% do fluxo da BR-116. Deste ponto de vista a rodovia foi um sucesso tendo cumprido seu maior objetivo que era a o desafogamento da BR-116.

Entretanto além do aspecto da mobilidade urbana toda obra viária deve satisfazer o aspecto de segurança. A segurança viária é implantada e regulamentada pelo estado. Este cria as leis e

normas para a execução e manutenção das vias, além disso o estado deve criar regras para a correta utilização das rodovias e atuar punindo aqueles que as descumpram. Além das responsabilidades do estado, deve haver um compromisso absoluto dos ciclistas, motoristas e pedestres com as regras de trânsito para que possamos desfrutar de um trânsito mais seguro. Olhando do ponto de vista apenas do motorista, os aspectos mais importantes a serem seguidos são: respeitar as velocidades das vias, indicar a correta sinalização das manobras, respeitar o espaço dos outros veículos nas estradas, estar focado apenas na direção não perdendo o foco com distrações. As regras para ciclistas e pedestres também existem, no entanto elas são pouco conhecidas pela população. E mesmo quando conhecidas são muitas vezes ignoradas, porém podemos vincular diversos acidentes a condutas inadequadas de ciclistas e pedestres como: atravessar ruas em locais proibidos, trafegar no sentido contrário, perder a concentração na via, entre outras.

Dentro do aspecto de segurança viária alguns pontos relacionados com o estado da via levantaram receio por parte dos motoristas na nova rodovia. Poucos meses após a liberação para tráfego já se encontraram problemas na via entre eles: buracos no trecho Sapucaia do Sul e Esteio, ondulações em toda extensão da rodovia sobre banhado, alças de acesso com geometria imprópria que favorecem acidentes. No quesito das ondulações o DNIT declara que elas estão dentro do planejado devido ao adensamento natural do terreno. Em respeito aos buracos o DNIT vai entrar com uma ação contra o consórcio construtor da rodovia pois segundo o departamento os problemas acontecem devido a falha de execução da obra.

Porém uma questão crítica ficou de fora do escrutínio do DNIT, as alças de acesso. Do ponto de vista da segurança viária as alças de acesso são locais de maior propensão a acidentes ainda mais quando mal dimensionadas.

Essa questão ganha maior relevância analisando os dados de acidentes em rodovias brasileiras. Apesar da redução que ocorre anualmente no número de fatalidades, o Brasil é o terceiro país em número total de mortes relacionadas ao trânsito com mais de 40 mil por ano. Diante deste contexto onde o DNIT não emprega muitos recursos na análise desse tópico, o presente trabalho tem o objetivo de analisar as alças de acesso da BR-448. Para tanto foi feito um estudo comparando as condições atuais dessa via, com dados obtidos com visitas a escritórios, pesquisas em portais de informações e através de e-mails, com aquilo que é recomendado por

normas nacionais e internacionais. Assim o trabalho visa avaliar as seguintes características da via: raios de curvatura, superelevação, superlargura declividade e a combinação destes fatores.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes do presente trabalho estão divididas em: questão, objetivo principal e secundário, pressuposto, delimitações, limitações e delineamento, os quais são apresentados nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DA PESQUISA

A questão da pesquisa é: Houve erro no projeto das alças de acesso da BR-448?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Nas subdivisões abaixo é descrito o que se pretende alcançar com o desenvolvimento do estudo.

2.2.1 Objetivo principal

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a qualidade do projeto das alças de acesso da BR-448, procurando eventuais erros que podem ocasionar falhas de segurança.

2.2.2 Objetivo secundário

Além dos objetivos acima citados, têm-se como objetivos secundários da pesquisa:

- a) verificar falhas na execução do projeto das alças de acesso.
- b) analisar medidas para mitigar as falhas caso estas sejam encontradas.

2.3 PRESSUPOSTO

Este trabalho tem como pressuposto que as informações fornecidas pelo DNIT estão de acordo com a realidade.

2.4 LIMITAÇÕES

O trabalho tem como limitações apenas analisar as alças de acesso da BR-448. Foi-se necessário a introdução de algumas hipóteses para realização de cálculos relativos a segurança viária pois seus dados são de difícil obtenção.

2.5 DELINEAMENTO

O desenvolvimento do trabalho baseou-se nas etapas indicadas a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica
- b) levantamento de dados
- c) seleção de metodologias de cálculo
- d) aplicação das metodologias de cálculo
- e) comparação de resultados
- f) considerações finais

A pesquisa bibliográfica foi realizada de modo a se adquirir o conhecimento necessário para a possível realização desse trabalho sobre projetos viários. Ela se estenderá até o fim do trabalho, a fim de se manter sempre atualizado o trabalho em relação a possíveis novas informações. Através da pesquisa bibliográfica foi-se escrito um capítulo que explica os conceitos rodoviários básicos a fim de possibilitar o melhor entendimento aos leitores que não estejam acostumados com essa área da engenharia.

Simultaneamente à pesquisa bibliográfica foi-se realizado o levantamento de dados. Diversas fontes foram consultadas através de e-mail, telefone, e visitas técnicas, porém foi através do Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão que a parte mais valiosa das informações foi obtida.

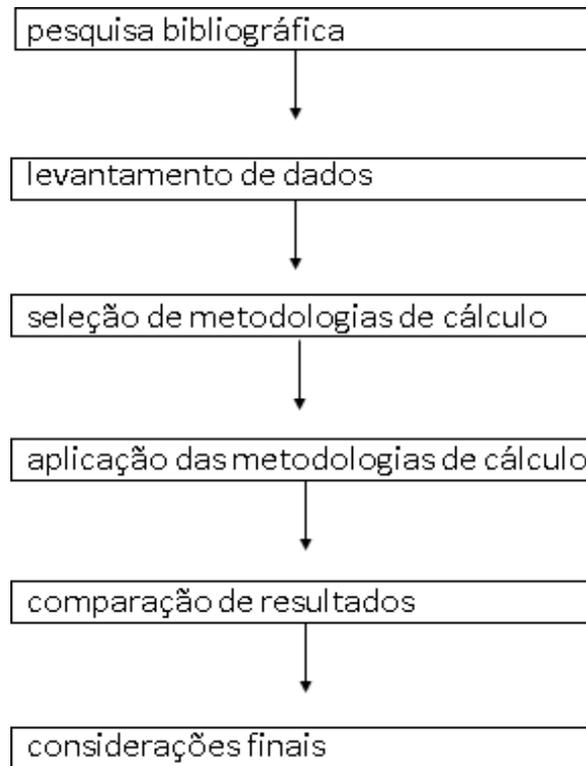
Após as duas etapas anteriores pode-se passar a seleção de metodologias de cálculo. Nesta etapa foi se escolhidas as metodologias para cada caso de alça de acesso, elas servem para estabelecer os diversos parâmetros de segurança.

Com as metodologias escolhidas pode-se aplicá-las a situação encontrada na realidade. Deste modo foram feitas comparações entre os dados reais do projeto com aquilo que é sugerido pela literatura técnica.

Por fim as considerações finais descrevem as conclusões feitas após a realização do trabalho e indicam possíveis assuntos a serem abordados por trabalhos futuros.

A figura 1 exemplifica como estas etapas ocorrem ao longo do trabalho.

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa



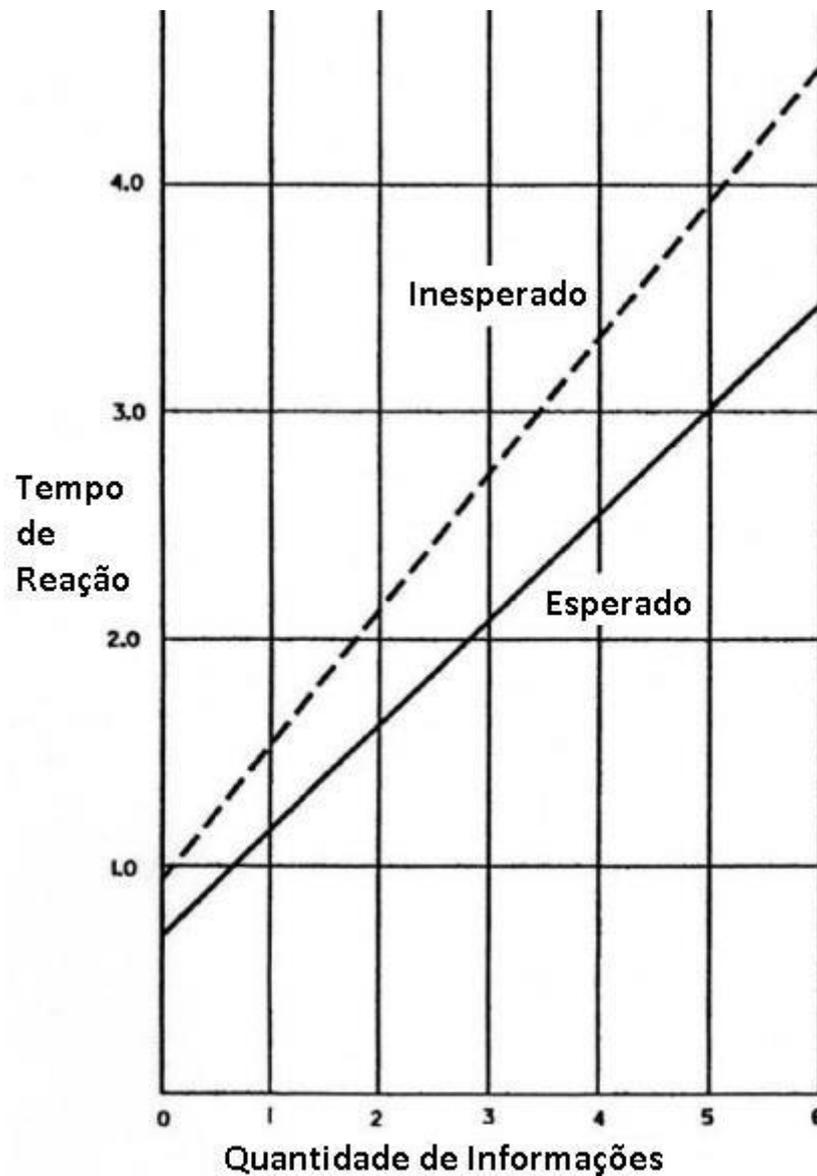
Fonte: elaborado pelo autor

3 CONCEITOS BÁSICOS DA SEGURANÇA VIÁRIA

Como todos os setores da engenharia, a área das rodovias sofreu e continua sofrendo diversos melhoramentos através do tempo. Antigamente, devido aos conhecimentos adquiridos do planejamento de ferrovias, era comum a prática de adotar grandes trechos em tangente nas rodovias, com a crença de que a redução nas curvas acarretaria numa redução de acidentes. Porém com a evolução da engenharia foi constatado que trechos em reta muito longos provocam sensação de monotonia ao motorista e podem causar maiores gastos com terraplanagem. Descoberto este aspecto as novas rodovias são construídas tentando utilizar curvas de raios longos concordadas com pequenos trechos em tangente. Entretanto alguns pontos importantes devem ser levados em conta acerca da utilização de raios longos. Entre esses pontos pode-se citar como mais importante a manutenção de trechos retos suficientemente longos para permitir ultrapassagens seguras.

Outro aspecto de elevada importância é a consistência da via. Baldwin (1946) percebeu que número de acidentes diminuía à medida que eram adotados raios de curvatura maiores. Porém seu achado mais interessante foi que, a taxa de acidentes em rodovias com raios pequenos diminuía à medida que a frequência de curvas aumentava (curvas por quilômetro). Tentando entender o que causava esse aumento de acidentes em estradas que não mantêm um padrão, Johansson e Rumar (1971) começaram a cronometrar o tempo de reação de motoristas americanos. Para sua surpresa eles constataram que quando confrontados com situações inusitadas o tempo de reação dos motoristas aumenta em média em 35%. A figura 2 relaciona o número de informações com o tempo de reação, a linha contínua representa eventos esperados e a linha pontilhada representa situações inusitadas.

Figura 2 - Tempo de reação relacionado com eventos inesperados



Fonte: AASTHO Green Book.

Isto levou a AASTHO pronunciar “qualquer característica da via que esteja abaixo do padrão do restante da via, introduz um elemento surpresa que acarreta numa maior taxa de acidentes”. Estes fatores levaram a criação de dois princípios que devem ser respeitados por todos projetistas de rodovias. O primeiro diz que todas as curvas de uma mesma seção de uma estrada devem ser projetadas para a mesma velocidade. O segundo diz que a velocidade diretriz deve ser calculada levando em conta a velocidade em que a maioria dos motoristas desejam trafegar.

Além dessas considerações gerais, serão abordados os conceitos de raio, superelevação, superlargura, curvas verticais, recomendações para sequência de curvas e apresentados alguns tipos de curvas.

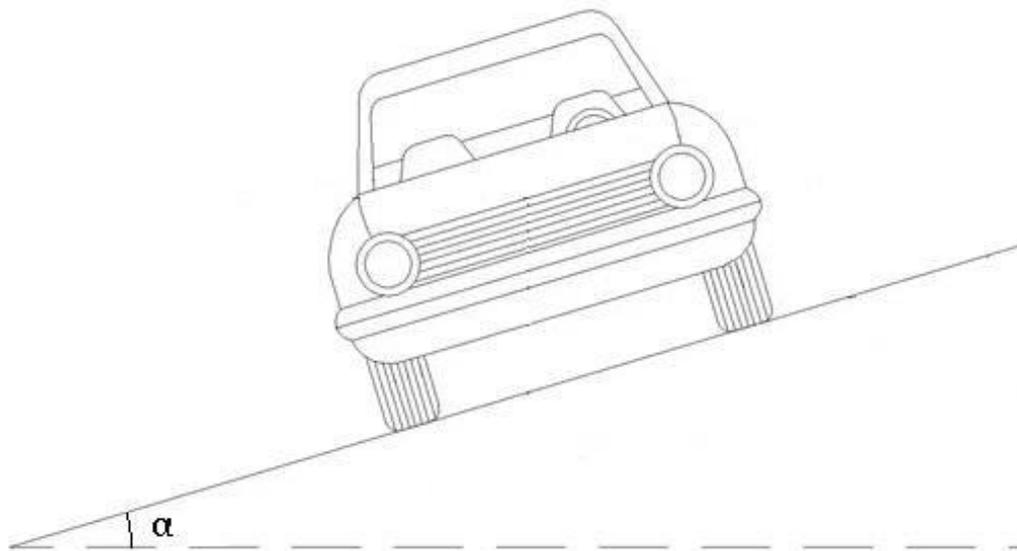
3.1 SUPERELEVAÇÃO

Ao percorrer um trecho de uma rodovia em curva horizontal, os ocupantes do veículo sentem ser jogados para fora da curva. O mesmo ocorre com o veículo pois seu momento tende a mantê-lo em trajetória retilínea, ou seja, tangente a curva.

O atrito lateral dos pneus na pista atua para o veículo conseguir realizar a curva com sucesso, porém este atrito tem limites. Para realizar curvas com raios menores e maiores velocidades os engenheiros adotaram o conceito de superelevação que nada mais é que uma inclinação transversal da pista. Esta inclinação resulta em parte da força peso do veículo ser aplicada em direção ao centro da curva.

A figura 2 representa um veículo descrevendo uma trajetória circular numa pista inclinada transversalmente, α representa o ângulo da superelevação.

Figura 3 - Superelevação



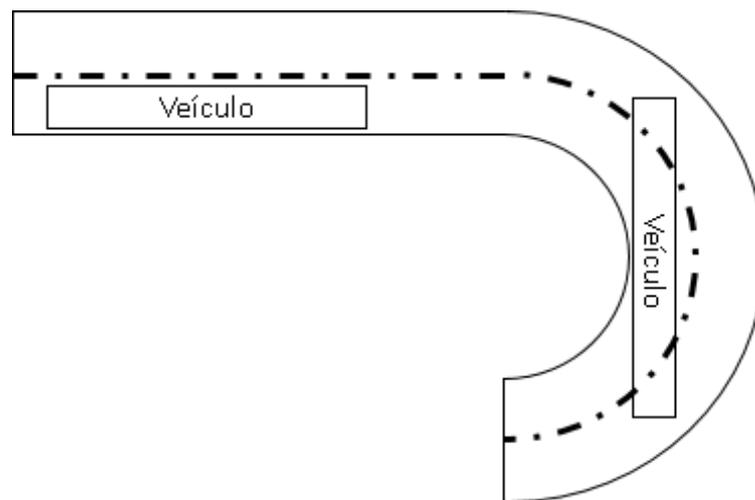
Fonte: theconstructor.org

3.2 SUPERLARGURA

Em trechos retilíneos de uma rodovia um veículo sempre estará dentro da faixa de rodagem, já em trechos curvilíneos é necessário um espaçamento suplementar para o veículo se manter dentro de sua faixa de rodagem. A necessidade de superlargura é especialmente realçada ao se ter em conta a elevada participação de caminhões no tráfego das rodovias. Assim podemos definir superlargura como o acréscimo total de largura fornecido as pistas de rodagem em trechos curvilíneos de forma a garantir segurança e conforto aos motoristas.

A figura 3 representa de forma exagerada o que aconteceria caso não fossem adotadas superlarguras em trechos com raios de curvatura pequenos.

Figura 4 – Falta de superlargura



Fonte: elaborado pelo autor

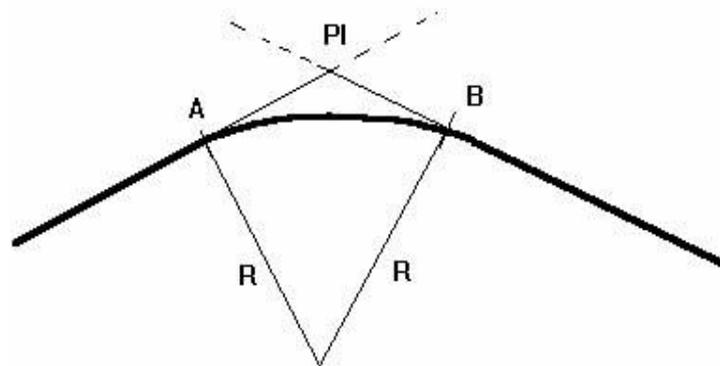
3.3 TIPOS DE CURVAS HORIZONTAIS

O problema de unir dois trechos em tangente é de extrema importância para a segurança viária. Devido a isso diversas configurações de curvas foram tentadas e aperfeiçoadas ao longo do tempo. Aqui serão apresentadas as principais delas e suas vantagens e desvantagens.

3.3.1. Curva circular simples

O tipo mais básico de curvatura. Consiste de um arco circular ligando duas tangentes. Sua principal vantagem é a fácil execução e planejamento. Porém apresenta problemas nos pontos iniciais e finais já que apresenta uma quebra de continuidade maior do que aquelas encontradas nas curvas de transição.

Figura 5 – Curva circular simples



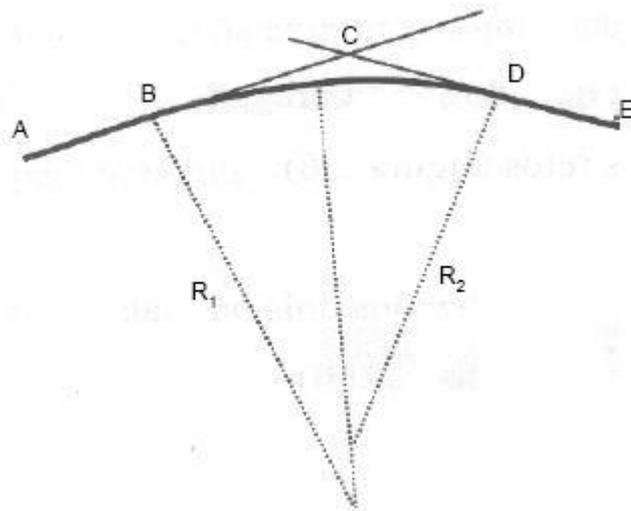
Fonte: Edivaldo Lins Macedo

3.3.2 Curvas compostas:

Podem ser classificadas em: curvas circular composta, e curvas compostas com transição. As curvas circular compostas acontecem quando se utilizam dois ou mais arcos de curvas circulares de raios diferentes para concordar os alinhamentos retos. Normalmente são utilizados três raios onde o primeiro e terceiro são iguais e o raio do meio é menor. Se recomenda que os raios das curvas sucessivas sejam de valores próximos em casos extremos pode-se adotar a razão de 2:1. Este tipo de curva não é muito desejável pois apresenta uma quebra de continuidade no meio da circunferência.

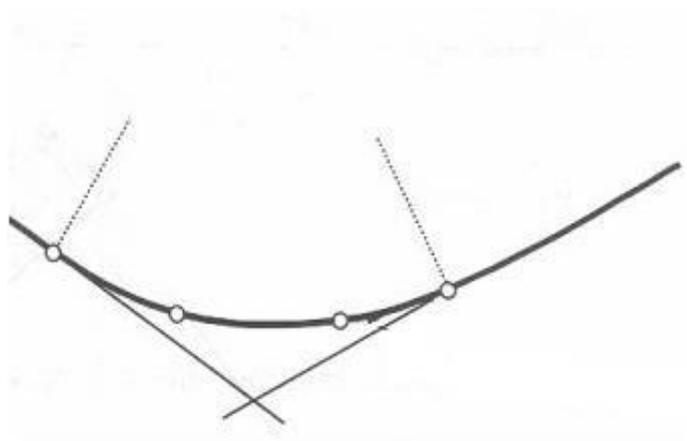
As curvas compostas com transição são bastante utilizadas, elas são compostas por duas seções que utilizam raios variáveis e uma parte central de raio constante. Este tipo de curva é bastante eficiente pois faz com que a força centrífuga cresça gradualmente de zero no trecho em tangente até seu valor máximo dentro da curva circular. Além disso elas apresentam um tamanho ideal para acomodar a variação da superelevação e superlargura. Apesar de existirem diversos tipos de curvas que podem ser utilizadas nas transições no Brasil a clotóide é utilizado na grande maioria das vezes.

Figura 6 – Curva composta sem transição



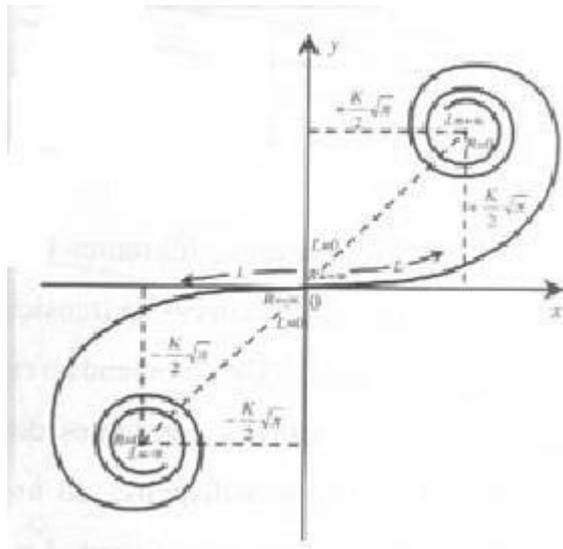
Fonte: Edivaldo Lins Macedo

Figura 7 – Curva composta com transição



Fonte: Edivaldo Lins Macedo

Figura 8 – Clotóide

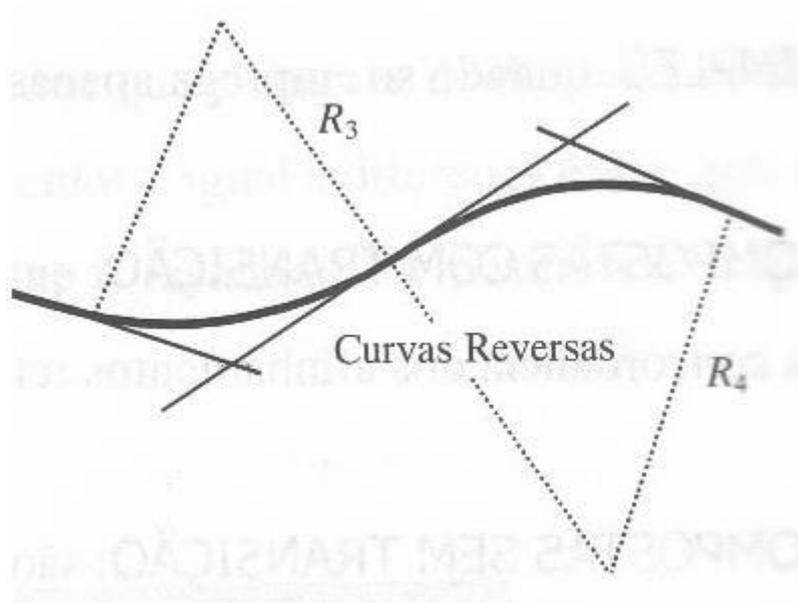


Fonte: Edivaldo Lins Macedo

3.3.3 Curvas Reversas:

Nada mais são que curvas em sentidos opostos, como as curvas sem transição é desejável que os raios sejam de valores próximos. Podem ser dotadas de espirais de transição, situação mais favorável, ou podem ser apenas duas curvas circulares. Adotando espiral de transição é possível que suas extremidades sejam coincidentes. Em casos sem espiral de transição a tangente entre curvas é necessária para ocorrer a correta transição da superelevação.

Figura 9 – Curva Reversa



Fonte: Edivaldo Lins Macedo

3.4 Sequência de curvas horizontais

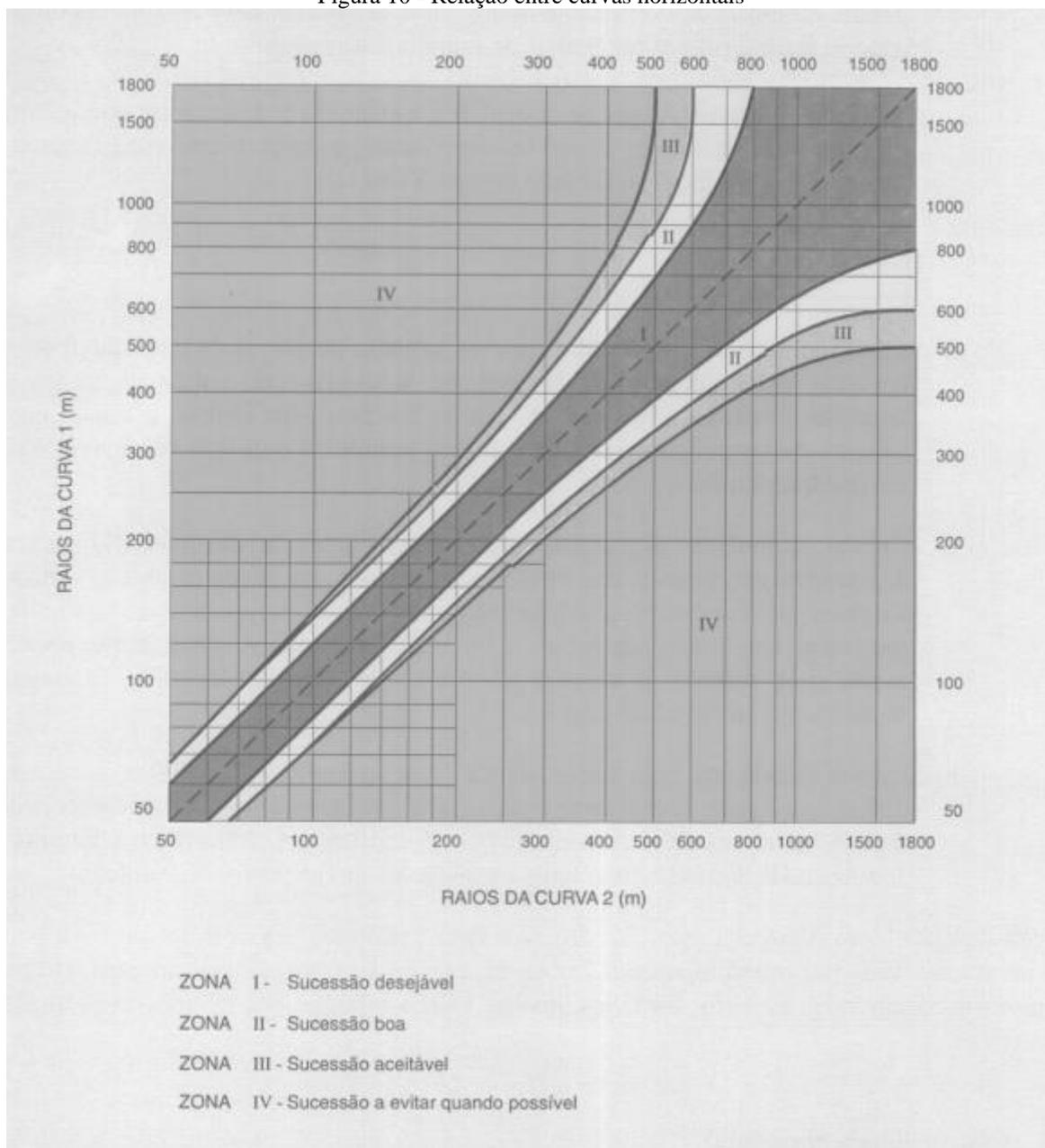
No projeto de toda rodovia são empregadas diversas curvas de variados tipos para vencer os desafios geométricos do terreno, no entanto muitas vezes os projetistas abusam de sequências de curvas em curtos espaços. Esta medida é eficaz caso analisado somente o custo e a facilidade de execução da obra, mas deve ser cuidadosamente analisada nos quesitos de segurança e conforto viário.

A norma brasileira sugere algumas medidas para mitigar o desconforto de curvas em sequência. A norma diz “ é indesejável sob aspecto de aspectos operacionais e de aparência, a existência de duas curvas sucessivas no mesmo sentido quando elas existir um curto trecho em tangente. De preferência, serão substituídas por uma única curva longa bem estudada ou, pelo menos, a tangente intermediária deverá ser substituída por um arco circular, constituindo-se então uma curva composta, evitando-se uma grande diferença de curvatura entre os raios”. Porém em casos onde isso é impossível a norma sugere que a extensão da tangente intermediária seja de pelo menos a distância percorrida em 15 segundos na velocidade diretriz.

No caso de curvas em sequência em sentidos opostos é possível que elas tenham extremidades coincidentes. Entretanto no caso de curvas reversas sem espiral de transição é necessário um trecho em tangente para permitir a transição da superelevação.

Outro fator fortemente salientado pelo manual de projeto geométrico diz respeito a consistência de curvas sucessivas, tanto aquelas que têm mesmo sentido quanto aquelas de sentidos distintos. A consistência mais importante para curvas sucessivas é a consistência nos raios de curvatura. A figura a seguir delimita 4 zonas de relacionamento, sendo as zonas menores as mais efetivas.

Figura 10 - Relação entre curvas horizontais



Fonte: DNIT

3.5 ALINHAMENTO VERTICAL

Este aspecto é de grande importância tanto economicamente quanto no fator segurança. Quando estamos projetando estradas por terrenos que não são completamente planos devemos adotar

soluções de traçado que façam com que os diferentes tipos de veículo consigam trafegar com segurança. Como no traçado horizontal o traçado vertical também é composto por trechos em tangente, chamado de rampas e trechos em curva que conectam as diferentes rampas. Fazendo uma análise simples é fácil perceber que quanto mais rampas de pequeno comprimento acompanhadas de curvas de raios pequenos, mais fácil será a execução da terraplanagem e por consequência os custos de execução da obra seriam menores.

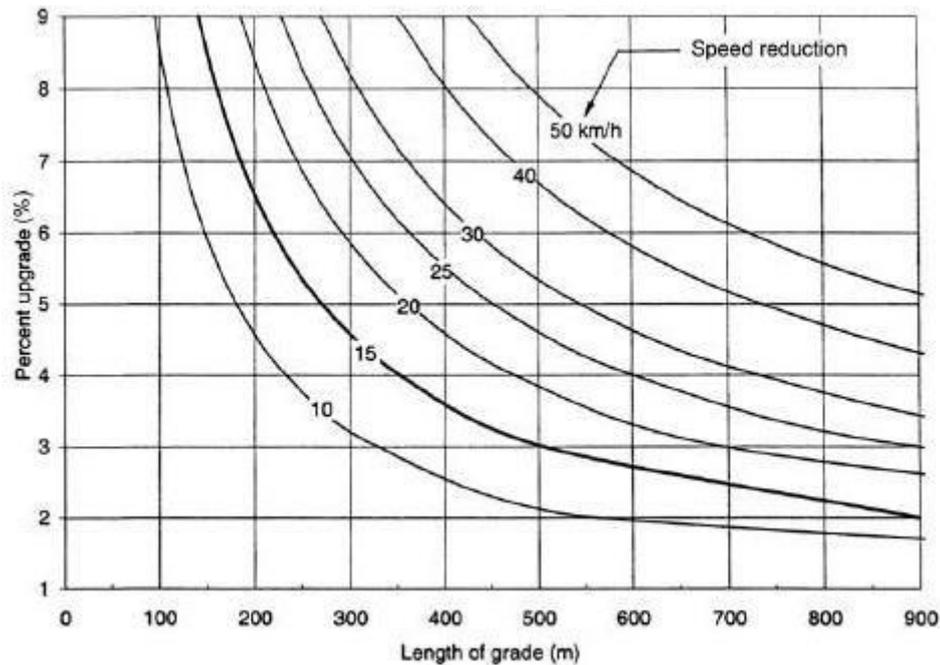
Porém este tipo de desenho não propicia uma segurança adequada, além disso uma correta aplicação de rampas e curvas verticais contribui em muito na capacidade de escoar o trânsito. Veículos comerciais quando trafegam em rodovias com rampas de inclinação muito elevadas sofrem para vencer estes desafios devido a sua relação peso potência baixa. E apesar de estes veículos serem a minoria nas estradas diversos estudos mostram que a redução de velocidade destes afeta todo o trânsito causando engarrafamentos e atrasos. Desta maneira a norma estabelece valores máximo de rampa, e a norma americana ainda sugere medidas para mitigar longos trechos em rampa pois estes causam muito desgaste e atraso para veículos pesados.

Tabela 1 - Rampas máximas

Classe do 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%	10% *

Fonte:DNIT

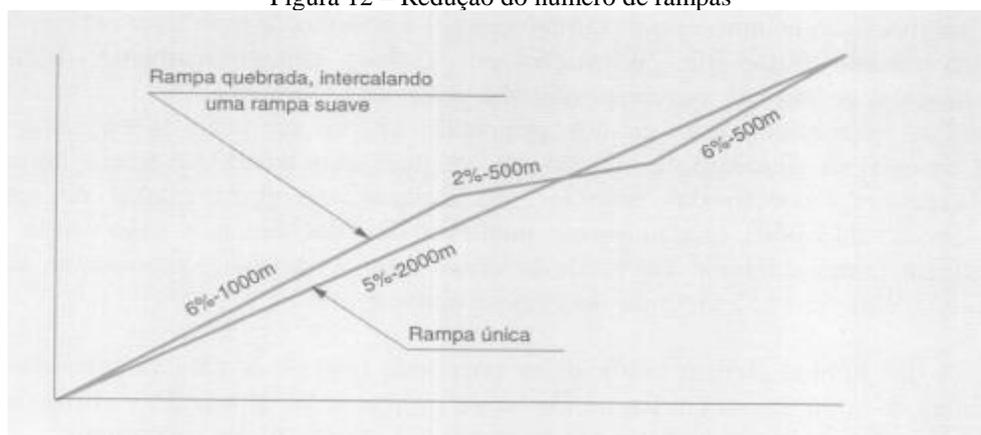
Figura 11: Gráfico de redução da velocidade de caminhões após trajeto em subida.



Fonte: AASTHO

Para projetar um melhor alinhamento vertical de rodovias o DNIT cita algumas recomendações: A) Utilizar rampas mais compridas ao invés de diversas rampas com inclinações diferentes. O uso de diversas rampas não é recomendado pois gera quebras no perfil da via que enganam o motorista. A figura a seguir mostra duas possíveis soluções sendo a preferida aquela que apresenta apenas uma rampa.

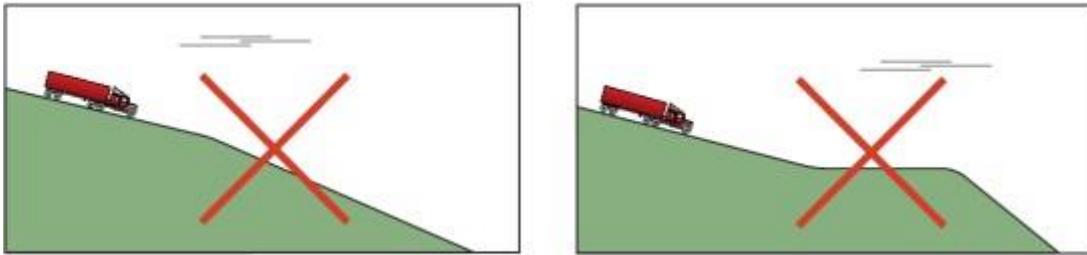
Figura 12 – Redução do número de rampas



Fonte: DNIT

Tal aspecto é mais importante em declives pois o motorista pode iniciar a descida com uma velocidade alta acreditando que a o gradiente é suave, mas após algum trecho este ficar mais inclinado podendo acarretar em perda de controle. Esta situação está ilustrada na a figura 13.

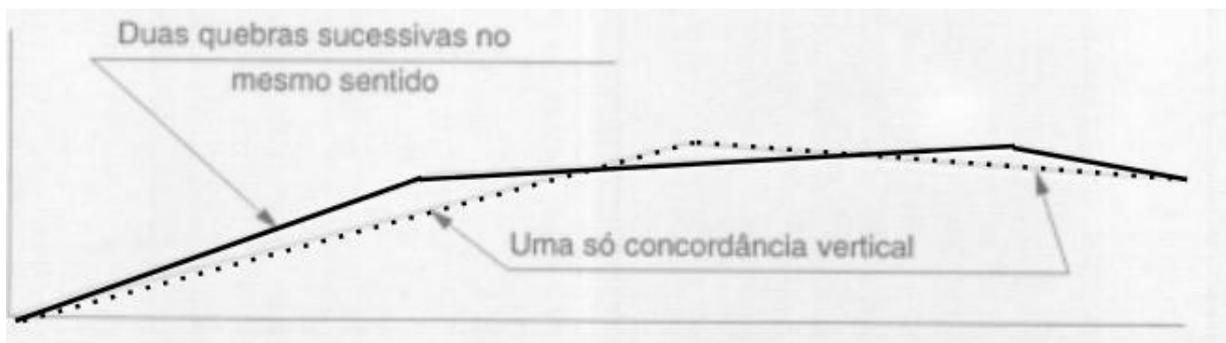
Figura 13 - Situação indesejada em descidas



Fonte: Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias DNIT

B) Evitar duas curvas verticais no mesmo sentido separadas por apenas um pequeno trecho em rampa. Isto causa duas quebras no alinhamento que criam dificuldades para o motorista e dificultam ultrapassagens em rodovias de pista simples. Na figura abaixo vemos duas maneiras de alinhamento vertical, a linha contínua é uma solução ineficaz.

Figura 14 - Duas curvas verticais no mesmo sentido



Fonte: DNIT

C) Evitar a utilização de greides excessivamente colados. Em terrenos levemente ondulados a sucessão de pequenos desníveis pode ocultar veículos dando uma falsa impressão de ultrapassagem segura.

Foto 15 - Estrada com greide muito colado nos EUA.



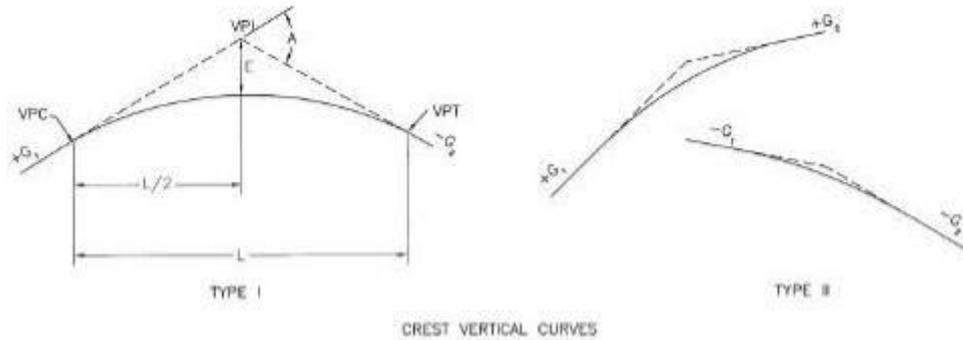
Fonte: Revista Amazing

As curvas verticais são em sua grande maioria parábolas de segundo grau. Estas curvas são definidas pelo parâmetro “K” este é definido como o comprimento da curva no plano horizontal, em metros, para uma variação de 1% na declividade longitudinal. Poderão ser adotadas curvas verticais circulares desde que seja adotada a relação $R = 100K$.

É importante salientar a importância de uma boa drenagem nos pontos centrais de curvas que ligam rampas de sentidos opostos. Tais pontos podem apresentar falhas no escoamento de água pois são secções muito planas.

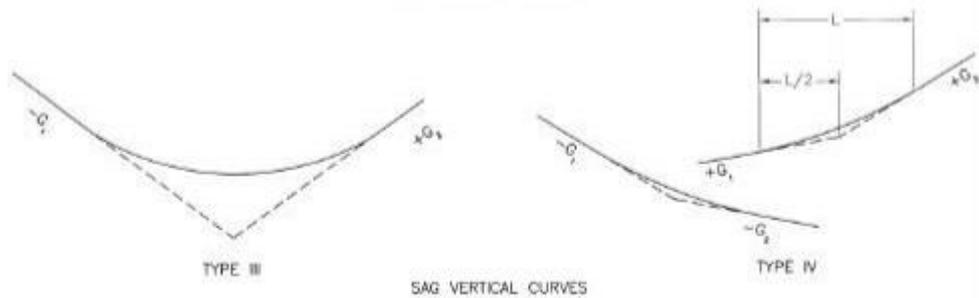
As curvas verticais podem ser do tipo côncavo ou do tipo convexo, nas figuras abaixo são dados exemplos. Na próxima seção será mostrada as diferenças de cálculo entre elas.

Figura 16: Curvas convexas



Fonte: AASTHO

Figura 17: Curvas côncavas



Fonte: AASTHO

3.6 COORDENAÇÃO DOS ALINHAMENTOS VERTICAL E HORIZONTAL

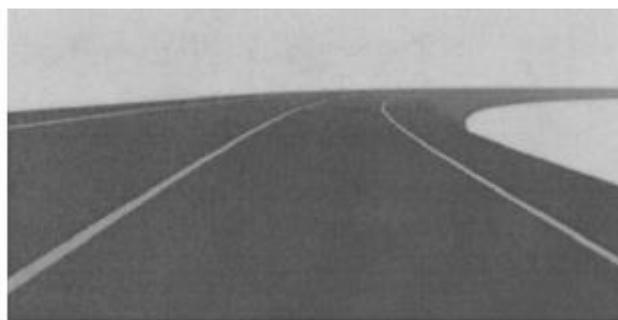
Na árdua tarefa de conduzir um veículo com segurança a visão é o sentido mais importante, ela que estima os raios das curvas, as distâncias entre outros veículos e as oportunidades de ultrapassagem. Muitas vezes quando projetamos uma rodovia pensamos em sua planta ou em seu perfil longitudinal, porém esquecemos que os olhos do motorista veem a estrada como uma curva tridimensional. Esta visão em perspectiva pode causar ilusões de ótica. Nosso cérebro com estas informações erradas toma decisões equivocadas que causam o aumento da insegurança para nós mesmo e para terceiros.

A coordenação dos alinhamentos horizontal e vertical é tão importante que a norma cita que a falta dessa coordenação pode agravar eventuais deficiências no traçado ou mesmo anular aspectos favoráveis quando considerados individualmente. Assim é recomendado que este estudo seja iniciado logo nos estágios iniciais do projeto geométrico.

No artigo “Effect of Vertical Alignment on Driver Perception of Horizontal Curves” de 2003 Y. Hassan e S.M. Easa mostram através de simulações de computador a diferença na percepção de curvas horizontais causadas por curvas verticais. Para fazer essas simulações o raio de

curvatura horizontal foi fixado em 600 metros e o vertical em 340 metros. A diferença nos greides foi de 4% e 8% tanto para curvas côncavas tanto para as convexas. As imagens a seguir ilustram os resultados.

Figura 18 – Simulação com greide plano

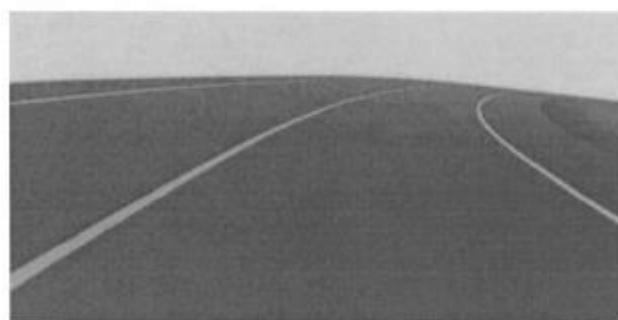


Fonte :Y. Hassan e S.M. Easa

Figura 19 – Simulação com curvas convexas



(a) $A = 4\%$



(b) $A = 8\%$

Fonte :Y. Hassan e S.M. Easa

Figura 20 – Simulação com curvas côncavas

(a) $A = 4\%$ (b) $A = 8\%$

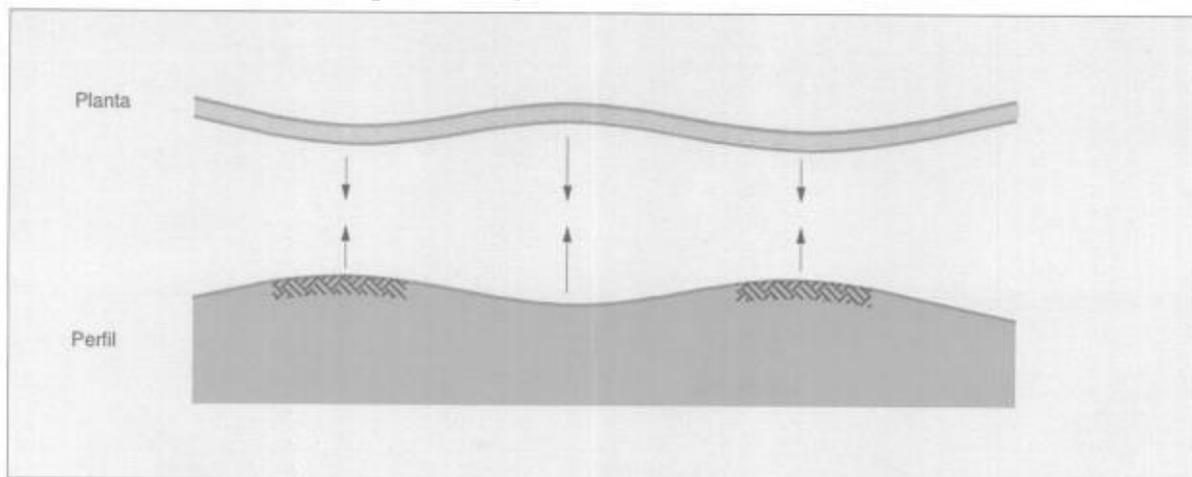
Fonte :Y. Hassan e S.M. Easa

As imagens obtidas do paper corroboram com o que está escrito na norma. Cabe salientar que a combinação de curva horizontal com curva vertical côncava gera maiores perigos pois o motorista crê que a curva a tem um raio maior que a realidade. Isto força o condutor a aplicar os freios pois sua velocidade é muito elevada para o raio diminuto, este travamento das rodas pode causar acidentes. De forma inversa a combinação de curvas horizontais com curvas convexas cria uma ilusão de raios menores que a realidade, tal situação não é tão perigosa.

Além deste aspecto a norma dá algumas recomendações sobre a correta coordenação de curvas, entre as mais importantes podemos citar:

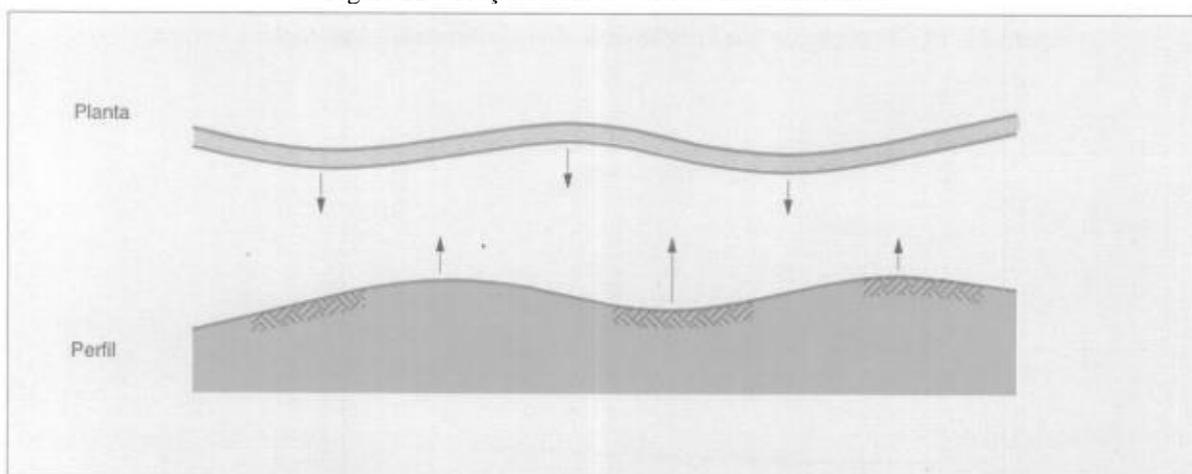
Superpor curvas verticais e horizontais, de preferência as horizontais devem começar um pouco antes para não criar em um só local duas discontinuidades. As figuras a seguir mostram duas situações, a primeira um traçado onde os vértices coincidem criando um traçado bonito e eficiente, já a segunda não apresenta tal característica o que pode ocasionar acidentes.

Figura 21 - Traçado com os vértices coincidindo



Fonte:DNIT

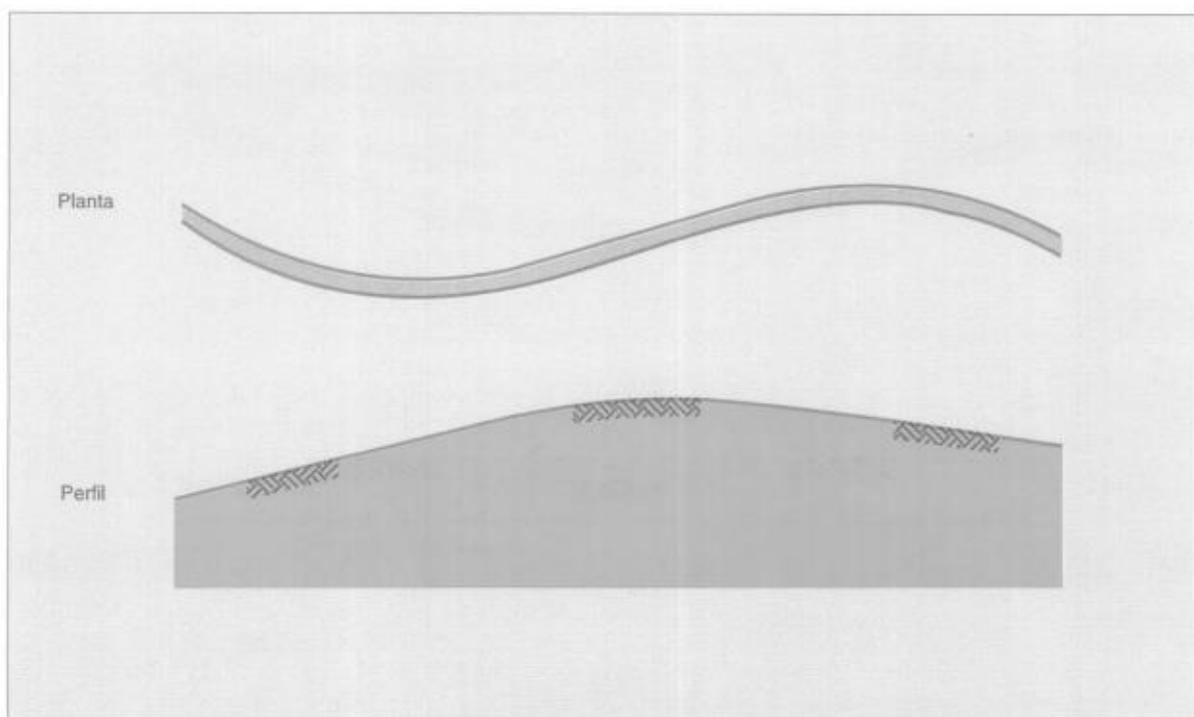
Figura 22 - Traçado com os vértices não coincidindo



Fonte: DNIT

Outra recomendação é nunca dispor de curvas reversas nos vértices de curvas verticais. Esta medida causa um elemento de surpresa para o motorista pois ele deverá iniciar outra curva sem dispor de tempo para fazer as ações de correção de rumo necessárias.

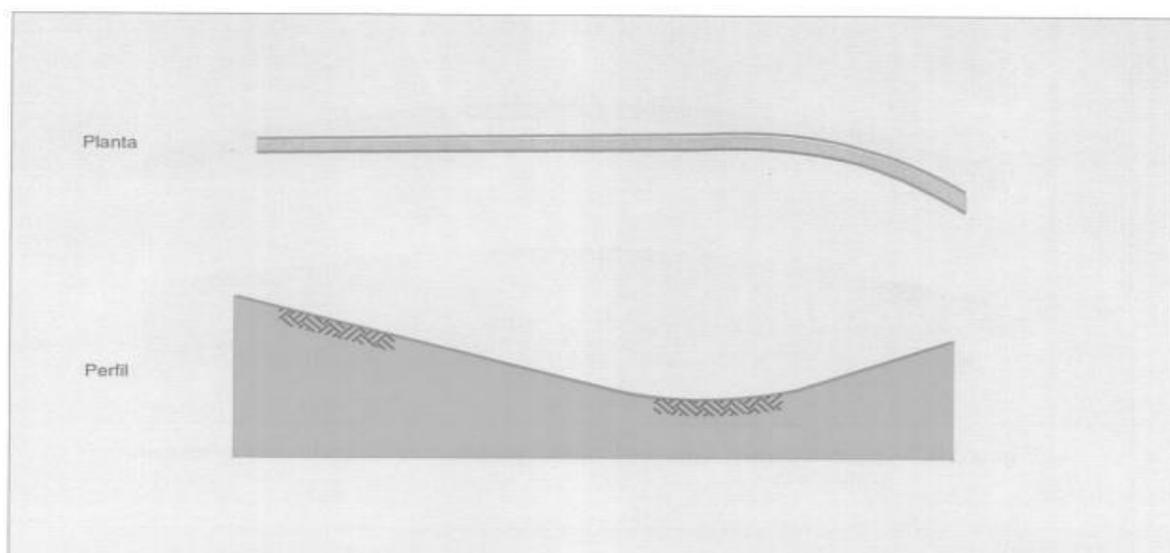
Figura 23 – Curvas reversas coincidindo com o vértice de curvas verticais



Fonte: DNIT

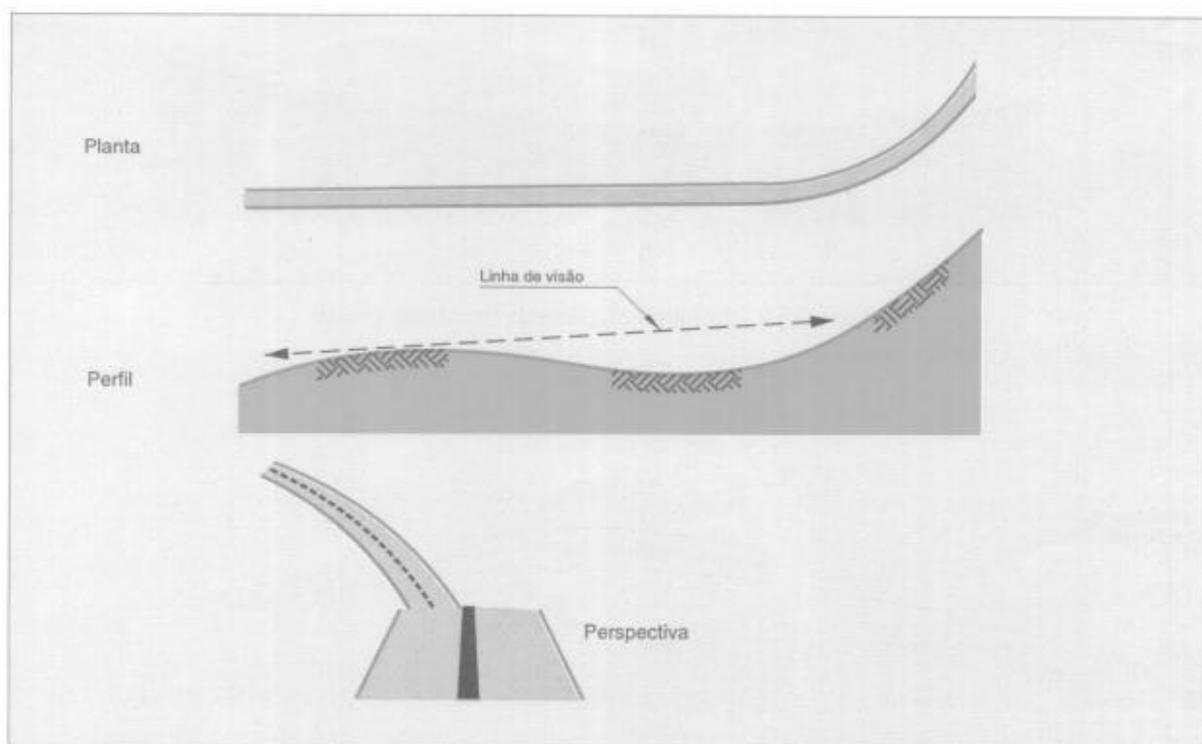
A última recomendação é, curvas horizontais não devem ter seu início coincidente com pontos baixos do greide, ao final de longas descidas, esta característica além de gerar distorções na percepção da curva, cria situações perigosas devido ao natural aumento de velocidade. Situações ainda mais perigosas ocorrem quando o início da curvatura horizontal é escondida do motorista por uma elevação intermediária, este tipo de comportamento pode ser visto na figura 24.

Figura 24 - Curvas horizontal em ponto baixo do greide



Fonte: DNIT

Figura 25 - Absurdo óptico



Fonte: DNIT

4 – MÉTODOS DE CÁLCULO

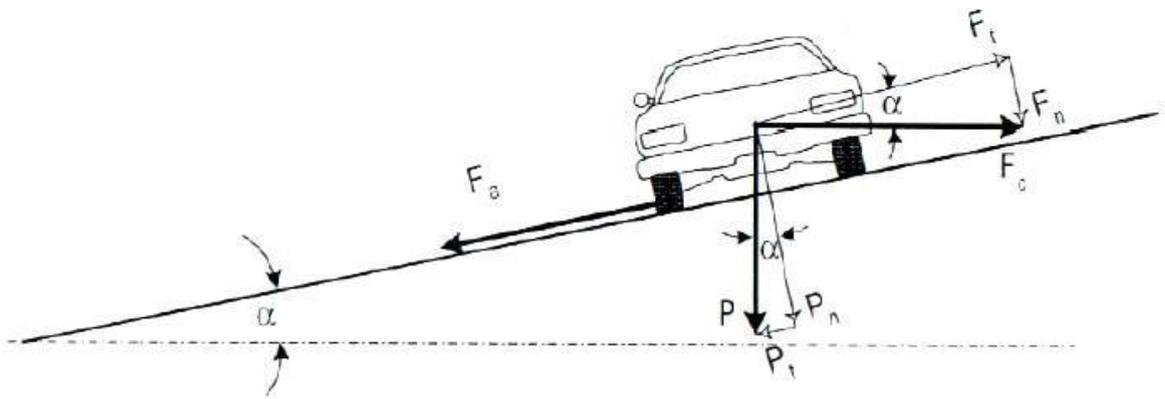
Existem diversos métodos de dimensionamento das características viárias, neste capítulo veremos alguns dos mais usados e onde cada um apresenta vantagens e desvantagens.

4.1 MÉTODO DE CÁLCULO DA SUPERELEVAÇÃO:

Antes de apresentar os métodos da distribuição da superelevação precisamos de ferramentas para calcular a superelevação ideal para cada tipo de projeto viário.

A figura 4 mostra todas as forças atuantes num veículo realizando uma curva, assim podemos calcular as reações necessárias para uma rodovia segura.

Figura 26 – Forças atuantes em uma curva



Fonte: João Fortini Albano

Considerando dois eixos, um paralelo a superfície de rolamento (eixo X) e outro perpendicular a esta (eixo Y) temos então:

$$\text{no eixo X: } Fa + P * \text{sen}(\alpha) = Fc * \text{cos}(\alpha) \quad (1)$$

$$\text{no eixo Y: } P * \text{cos}(\alpha) + Fc * \text{sen}(\alpha) = N \quad (2)$$

Onde:

P= peso do veículo;

N = reação normal à superfície do pavimento, devido ao peso do veículo;

F_a = força de atrito transversal;

F_c = força centrífuga;

De acordo com a física temos que métodos de calcular a força centrífuga e a força de atrito transversal:

$$F_a = f * N \quad (3)$$

$$F_c = \frac{m * v^2}{R} \quad (4)$$

Onde:

m = massa do veículo em Kg

v = velocidade do veículo em m/s

R = raio da curvatura horizontal em m

f = coeficiente de atrito transversal entre pneu e o pavimento

Substituindo as equações (3) e (4) na equação (1) obtemos:

$$\frac{m * v^2}{R} * \cos(\alpha) = P * \sin(\alpha) + f * N \quad (5)$$

Substituindo a equação (2) na equação (5) temos:

$$\frac{m * v^2}{R} * \cos(\alpha) = P * \sin(\alpha) + f * (P * \cos(\alpha) + F_c * \sin(\alpha)) \quad (6)$$

Como:

$$P = m * g \quad (7)$$

Onde g é a aceleração da gravidade.

Obtemos:

$$\frac{m * v^2}{R} * \cos(\alpha) = m * g * \sin(\alpha) + f * (m * g * \cos(\alpha) + \frac{m * v^2}{R} * \sin(\alpha)) \quad (8)$$

Como o ângulo α é pequeno, podemos considerar, sem erro apreciável do ponto de vista prático, $\text{sen}(\alpha) = \text{tg}(\alpha)$ e $\text{cos}(\alpha) = 1$. Logo, pode-se escrever:

$$\frac{m * v^2}{R} = m * g * \text{tg}(\alpha) + f * m * g * + f * \frac{m * v^2}{R} * \text{tg}(\alpha) \quad (9)$$

Como $\text{tg}(\alpha)$ é a superelevação vamos substituir pela letra e , assim com um pouco de manipulação conseguimos chegar em:

$$\frac{v^2}{g * R} * (1 - f * e) = e + f \quad (10)$$

Nos casos de rodovias normais tanto o coeficiente atrito transversal (f) como o valor das superelevações (e) são pequenos, de modo que seu produto se aproxime de zero. Desse modo chegamos em:

$$\frac{v^2}{g * R} = e + f \quad (11)$$

Isolando a superelevação ficamos com:

$$e = \frac{v^2}{g * R} - f \quad (12)$$

Estimando a aceleração gravitacional em 9,8 metros por segundo ao quadrado e transformando a velocidade de metros por segundo em quilômetros por hora chegamos finalmente na nossa fórmula definitiva para calcular a superelevação:

$$e = \frac{v^2}{127 * R} - f \quad (13)$$

Onde:

e = superelevação (m/m)

v = velocidade diretriz da rodovia (Km/h)

R = raio de curvatura (m)

f = coeficiente de atrito transversal entre pneu e pavimento

4.1.1 Método empregado pelo DNIT

Para a correta aplicação da fórmula (13) é necessário definir o coeficiente de atrito máximo admissível. O DNIT se baseou em estudos de medições de campo realizadas nos Estados Unidos para elaborar uma tabela que relaciona velocidades diretrizes com o coeficiente de atrito.

Tabela 2 – Coeficiente de atrito

V(Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
f	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,11

Fonte: DNIT

Após a escolha de uma velocidade diretriz é necessária a adoção de uma superelevação máxima para a via, esta escolha deve se basear na próxima tabela.

Tabela 3 – Máximas superelevações

e_{\max}	CASOS DE EMPREGO
12%	Máximo absoluto em circunstâncias específicas.
10 %	Máximo normal. Adequado para fluxo ininterrupto. Adotar para rodovias Classe 0 e Classe I em regiões planas e onduladas.
8%	Valor superior normal. Adotar para rodovias Classe I em regiões montanhosas e rodovias das demais classes de projeto.
6%	Valor inferior normal. Adotar para projetos em áreas urbanizadas ou em situações em que o tráfego está sujeito a reduções de velocidade ou paradas.
4%	Mínimo. Adotar em situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente.

Fonte: PONTES FILHO, 1998

Com a adoção desses parâmetros podemos estabelecer raios mínimos para as concordâncias horizontais. Para isso é necessária uma reescrita da fórmula (13), obtendo:

$$R = \frac{v^2}{127 * (e + f)} \quad (14)$$

Utilizando a fórmula (14) pode-se montar a tabela 3 que defina através da superelevação máxima adotada e da velocidade diretriz os raios mínimos de projeto.

Tabela 4 – Raios mínimos para projetos

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

(Fonte: DNIT)

Para curvas com raios muito grandes em relação a velocidade diretriz os efeitos do momento linear sobre o veículo podem ser considerados como desprezíveis, deste modo o DNIT determina que a superelevação seja dispensada.

Tabela 5 – Raios que dispensam superelevação

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

(Fonte: Lee (2002))

A superelevação máxima estabelecida para o projeto somente deve ser empregada para as curvas de raio mínimo, estas são curvas extremas que devem ser evitadas sempre que possível. Para curvas que apresentem raios entre o mínimo e os que dispensem superelevação existem diversos métodos de estabelecer a superelevação adequada. O DNIT utiliza o método apresentado pela fórmula (15).

$$e_r = e_{max} \left(\frac{2 * R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2} \right) \quad (15)$$

Onde:

e_r = superelevação a ser adotada para a curva de raio R

e_{max} = superelevação máxima para o projeto

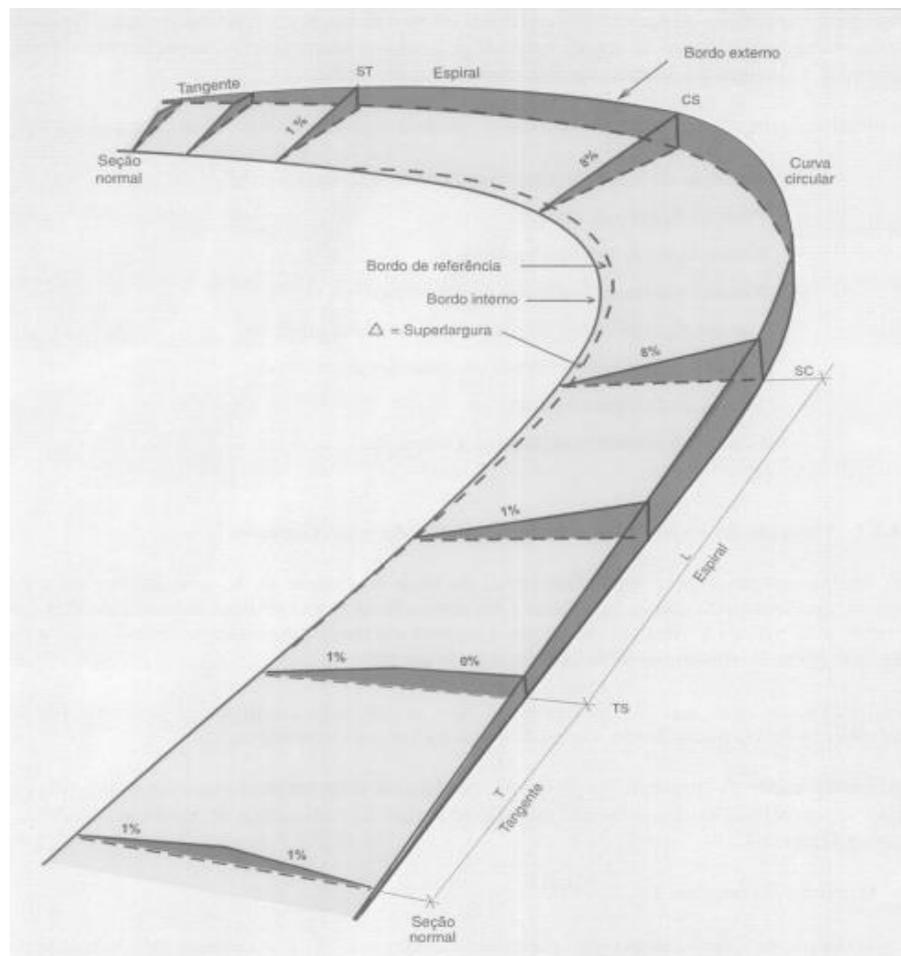
R_{min} = raio mínimo de curva para a velocidade diretriz

R = raio da curva circular adotada na concordância horizontal

4.2 DISTRIBUIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO

Com a superelevação da curva definida procede-se para o próximo passo que é a distribuição dela na via. Em outras palavras como sair da inclinação básica da via, normalmente de -2%, que serve para retirada da água nas faixas de rodagem para a inclinação necessária para garantir a segurança nas curvas. A solução para esse problema é uma rotação gradual da pista, em curvas que se utilizam da espiral de transição são estabelecidos dois comprimentos de transição, conforme ilustrado pela figura 5.

Figura 27 - Distribuição da superelevação



(Fonte: DNIT)

Transição em tangente T

Denomina-se de comprimento de transição da tangente T a extensão que ocorre antes da curva de transição. Nesse trecho ocorre a rotação da pista, ou parte dela, até que a mesma se torne horizontal.

Transição em curva L

Por definição o comprimento de transição L inicia no ponto onde todo, ou parte, da pista está no plano horizontal e termina no ponto onde for atingida a superelevação final, que deve ser mantida constante no trecho circular.

É importante notar que uma taxa de variação constante favorece a segurança da via deste modo a equação (16) nos assegurar essa continuidade.

$$T = \frac{L * dt}{e} \quad (16)$$

Onde:

T = comprimento de transição na tangente

L = comprimento da transição na curva de transição

dt = declividade transversal da pista (usualmente 2%)

e = superelevação mantida no trecho circular

Admitindo que a superelevação varia linearmente ao longo da curva de transição e que o veículo percorra essa curva com velocidade constante, a clotóide é a curva que proporciona o melhor equilíbrio entre o crescimento da superelevação e o crescimento da aceleração centrífuga. Como o trecho L começa na reta tangente e deve acabar antes do início da curva circular o comprimento L não poderá ser maior que curva de transição sendo sugerido adotar o mesmo valor para ambos. Para uma transição de superelevação suaves dentro da curva de transição a literatura sugere comprimentos mínimos para ela, estes estão devidamente explicados nas fórmulas abaixo. Convém notar que comprimentos maiores que os mínimos são sugeridos por diversos autores.

4.2.1 Critério da taxa máxima de variação da aceleração centrífuga:

A taxa máxima de variação centrífuga pode ser definida pela expressão (17).

$$C = -0,009 * v + 1,5 \quad (17)$$

Onde:

C = taxa de variação da aceleração centrífuga (m/s^3)

v = velocidade diretriz (km/h)

Assim temos todos os parâmetros para definir um L_{min} , cabe notar que o segundo termo da expressão (18) pode ser considerado nulo por ser pequeno quando comparado ao primeiro:

$$L_{min} = \frac{v^2}{46,656 * C * R} - \frac{e * v}{0,367 * C} \quad (18)$$

Onde:

L_{min} = comprimento mínimo para transição da superelevação

e = superelevação total na curva

R = raio de curvatura

4.2.2 Critério do comprimento mínimo absoluto de L:

Valores muito baixos para o comprimento da superelevação não tem eficácia prática, assim por meio de testes foi definido L_{min} como comprimento percorrido por um veículo na velocidade diretriz por 2 segundos. Tais valores constam na tabela 5.

Tabela 6 – Comprimento L mínimo absoluto

V (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
L (m)	30	30	30	40	40	50	60	60	70

(Fonte: DNIT)

4.2.3 Critério da fluência ótica:

No caso de curvas com raios grandes, da ordem de 800 metros, para destacar a transição de alinhamento recomenda-se que o comprimento de transição atenda a condição complementar dada pela fórmula (19):

$$L_{min} > \frac{R}{9} \quad (19)$$

onde:

R = raio da curva circular (m)

L_{min} = comprimento da transição da superelevação (m)

4.2.4 Critério do máximo ângulo da clotóide

Além dos critérios para definir o L_{min} existem recomendações para seu comprimento máximo. O primeiro é o critério do máximo ângulo da clotóide. Considerações práticas recomendam limitar o comprimento da clotóide ao valor da curva de concordância o que significa:

$$L_{max} = R \quad (20)$$

onde:

L_{max} = valor máximo do comprimento da clotóide

R = raio da curva circular (m)

4.2.5 Critério do tempo de percurso:

É recomendado que o tempo de transição seja inferior a 8 segundos, assim temos:

$$L_{max} = 2,2 * V \quad (21)$$

onde:

L_{max} = valor máximo do comprimento da transição da superelevação (m)

V = velocidade diretriz (km/h)

4.2.6 Transição da superelevação sem curvas de transição:

Nesta situação após o cálculo do comprimento de transição será disposto 60% deste na tangente antes da curva e o restante na curva circular.

4.3 MÉTODO DE CALCULO E DISTRIBUIÇÃO DA SUPERLARGURA:

No que tange ao dimensionamento da superlargura, suas dimensões diminuem rapidamente com o aumento dos raios. A adoção de superlargura demanda um aumento de custo e de trabalho, em consequência disto superlarguras de tamanho menor que 40cm devem ser desconsideradas. Para pistas com duas faixas de rodagem as fórmulas são as seguintes:

$$S = L_t - L_b \quad (22)$$

$$L_t = (2 * (G_c + G_l) + G_{bd}) + FD \quad (23)$$

onde:

S = superlargura total da pista

Lt = largura total em curva da pista de duas faixas de rolamento

Lb = largura básica estabelecida para a pista em tangente

Gc = gabarito estático do veículo de projeto em curva

Gl = gabarito (folga) lateral do veículo de projeto em movimento

Gbd = gabarito requerido pelo percurso do balanço dianteiro do veículo de projeto em curva

FD = folga dinâmica. Folga transversal adicional para considerar a maior dificuldade em manter a trajetória de veículo em curvas, determinada de forma experimental e empírica.

Gc pode ser estimado pela formula (24)

$$Gc = Lv + \frac{E^2}{2R} \quad (24)$$

Onde:

Lv= largura física do veículo do projeto (m). Para veículos CO e SR, Lv=2,60m.

E = distância entre eixos do veículo de projeto (m). Para veículos CO e SR adota-se E=6,10m.

R = raio da curva (m)

Os valores de Gl a serem utilizados são relacionados com a largura básica da pista (Lb), tais valores se encontram na tabela 6.

Tabela 7 – Valores de Gl

L _B (m)	6,00/6,40	6,60/6,80	7,00/7,20
G _L (m)	0,60	0,75	0,90

(Fonte: DNIT)

O gabarito requerido pelo percurso do balanço dianteiro do veículo de projeto em curva pode-se ser calculado como:

$$Gbd = \sqrt{R^2 + BD * (2E + BD)} - R \quad (25)$$

Onde:

BD = balanço dianteiro do veículo de projeto em metros. Para veículos CO adota-se Bd=1,20m.

Pistas com mais de duas faixas: Do ponto de vista teórico seria correto majorar proporcionalmente os valores de superlargura. No entanto a experiência prática revela que folgas contidas na largura básica da via somadas ao fato da improbabilidade do emparelhamento de três ou quatro caminhões ou ônibus, possibilitam a redução da superlargura. Então propõe-se multiplicar os valores encontrados em superlarguras de duas faixas por 1,25 para pistas de três faixas e 1,50 no caso de pistas com quatro faixas. Os valores mais comumente encontrados estão na tabela 7.

Tabela 8 – Superlargura para 3 e 4 faixas.

Valores básicos Pistas de 2 Faixas	3,00	2,80	2,60	2,40	2,20	2,00	1,80	1,60	1,40	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40
Valores derivados Pistas de 3 Faixas	3,80	3,60	3,20	3,00	2,80	2,60	2,20	2,00	1,80	1,60	1,20	1,00	0,80	0,60
Valores derivados Pistas de 4 Faixas	4,60	4,20	4,00	3,60	3,40	3,00	2,80	2,40	2,20	1,80	1,60	1,20	1,00	0,60

Fonte: DNIT

4.3.2 Implementação da superlargura:

A superlargura adotada pode ser disposta metade para lado pista, isto é alargamento simétrico, ou pode ser disposta integralmente de apenas um lado pista, conhecido como alargamento assimétrico.

O alargamento simétrico sempre deve configurar a principal opção restando ao uso do assimétrico em casos de recondicionamento da via seja por problemas executivos ou de projeto. Quando optado por a realização do alargamento assimétrico é recomendável o alargamento para o lado interno da curva.

4.3.3 Transição da superlargura:

Segundo o DNIT todas curvas que requerem superlargura possuem raios que requerem também curvas de transição. Deste modo o alargamento será feito ao longo dos trechos de transição. No ponto de passagem da tangente para a curva de transição (TS), o alargamento deve ser zero. Na passagem da curva de transição para a curva circular (SC) o alargamento terá atingido o valor máximo. Entre esses dois pontos deve se adotar uma variação linear.

Nos casos onde uma curva circular simples será melhorada com a implementação de superlargura pode-se fazer a transição desta no mesmo trecho da transição de superelevação. Por fim cabe ressaltar do ponto de vista visual é desejável suavizar as quebras de alinhamento.

4.4 MÉTODOS DE CÁLCULO DE CURVAS VERTICAIS

As curvas verticais podem ser parábolas de segundo grau ou curvas circulares simples. Este trabalho só irá estudar as parábolas pois são as mais utilizadas no Brasil. Quando projetamos uma curva vertical devemos encontrar um valor K, este representa o comprimento da curva no plano horizontal, em metros, para 1% de variação na declividade. Para estabelecer um valor K seguro, ele deve satisfazer todos os seguintes critérios.

4.4.1 Critério da máxima aceleração centrífuga admissível

A aceleração centrífuga admissível em curvas verticais é representada pela letra “a”. Estes valores servem tanto para curvas côncavas (onde os valores da gravidade se somam a aceleração centrífuga), tanto para curvas convexas (onde as referidas acelerações se subtraem). Os valores admissíveis de “a” situam-se entre 1,5% a 5% do valor da gravidade dependendo do padrão da rodovia. Com a fórmula a seguir é possível obter um K mínimo que depende do “a” adotado.

$$K_{min} = \frac{v^2}{1296 * a} \quad (27)$$

A tabela a seguir ilustra mostra os possíveis valores de K para diversas velocidades diretrizes e “a” de valores de 1,5 ou 5%.

Tabela 9 - Valores de K para o critério da máxima aceleração centrífuga admissível

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
a = 1,5% g	4,72	8,39	13,11	18,88	25,69	33,56	42,47	52,44	63,45	75,51
a = 5,0% g	1,42	2,52	3,93	5,66	7,71	10,07	12,74	15,73	19,03	22,65

Fonte:DNIT

4.4.2 Critério de distância de visibilidade necessária

São duas as principais distâncias de visibilidade, a de parada e a de ultrapassagem. A distância de ultrapassagem não será considerada pois só é usada em pistas simples e além disso gera um K muito alto que é inviável. As seguintes fórmulas mostram como obter o K para obter uma distância de visibilidade de parada, tanto para curvas convexas tanto para curvas côncavas.

Para determinar o K de curvas verticais convexas primeiro devemos descobrir o comprimento da projeção horizontal da parábola:

$$L_{min} = \frac{AD^2}{100(\sqrt{2H_1} + \sqrt{2H_2})}, \text{ para } L_{min} \geq D \quad (28)$$

$$L_{min} = 2D - \frac{200(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2}{A}, \text{ para } L_{min} \leq D \quad (29)$$

Onde:

L_{min} = comprimento da concordância vertical necessária (m)

D = distância de visibilidade de parada adota (m)

H_1 = altura do olho do motorista (m)

H_2 = altura do objeto sobre a pista (m)

A = diferença algébrica dos greide (%)

A distância de visibilidade de parada não vai ser abordada com grande ênfase. Basta apenas saber que ela depende velocidade diretriz, do coeficiente de atrito no processo de frenagem em condições de pista molhada e do greide da pista. A seguinte tabela fornecida pelo DNIT fornece as distâncias de visibilidade para as velocidades mais usuais e para greides variando entre -6% e 6%.

Tabela 10 - Distância de parada mínima

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Velocidade média (km/h)	30	38	46	54	62	70	78	86	92	98
Coef. de atrito f	0,40	0,39	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,30	0,30	0,29
6%	30	40	55	65	85	100	120	140	160	180
5%	30	40	55	70	85	105	125	140	160	180
4%	30	40	55	70	85	105	125	145	165	185
3%	30	40	55	70	85	105	130	145	165	190
2%	30	40	55	70	90	110	130	150	170	195
1%	30	40	55	70	90	110	130	155	175	200
0%	30	45	60	75	90	110	130	155	180	205
-1%	30	45	60	75	95	115	140	160	180	205
-2%	30	45	60	75	95	115	140	165	185	215
-3%	30	45	60	75	95	120	145	165	190	220
-4%	30	45	60	75	100	120	150	170	195	225
-5%	30	45	60	80	100	125	150	175	200	230
-6%	30	45	60	80	105	125	155	180	210	240

Fonte:DNIT

Com esses valores podemos calcular o Kmin

$$K_{min} = \frac{D^2}{100(\sqrt{2H_1} + \sqrt{2H_2})^2}, \text{ para } L_{min} \geq D \quad (30)$$

$$K_{min} = \frac{2D}{A} - \frac{200(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2}{A^2}, \text{ para } L_{min} \leq D \quad (31)$$

Usando os valores da norma de $H_1= 1,10\text{m}$ e $H_2= 0,15\text{m}$, chegamos em:

$$K_{min} = \frac{D^2}{412}, \text{ para } L_{min} \geq D \quad (32)$$

$$K_{min} = \frac{2D}{A} - \frac{412}{A^2}, \text{ para } L_{min} \leq D \quad (33)$$

Não ocorrem problemas de visibilidade para curvas verticais côncavas durante o dia e em pistas iluminadas. Todavia para determinar o K em pistas não iluminadas o procedimento é semelhante ao visto acima.

$$L_{min} = \frac{AD^2}{200(H + D * tg\alpha)}, \text{ para } L_{min} \geq D \quad (34)$$

$$L_{min} = 2D - \frac{200H + D * Tg\alpha}{A}, \text{ para } L_{min} \leq D \quad (35)$$

Onde:

L_{min} = comprimento da concordância vertical necessária (m)

A = diferença algébrica dos greides (%)

D = distância de visibilidade de parada adota (m)

H = altura do farol do veículo (m)

α = ângulo de divergência do feixe luminoso em relação ao eixo longitudinal do veículo

Assim obtemos os seguintes valores de K_{min} :

$$K_{min} = \frac{D^2}{200(H + D * Tg\alpha)}, \text{ para } L_{min} \geq D \quad (36)$$

$$K_{min} = \frac{2D}{A} - \frac{200H + D * Tg\alpha}{A}, \text{ para } L_{min} \leq D \quad (37)$$

Para os valores usuais $H = 0,61\text{m}$ e $\alpha = 1^\circ$, temos:

$$K_{min} = \frac{D^2}{122 + 3,5D}, \text{ para } L_{min} \geq D \quad (38)$$

$$K_{min} = \frac{2D}{A} - \frac{200 * 0,61 + 0,0175D}{A^2}, \text{ para } L_{min} \leq D \quad (39)$$

Para facilitar a compreensão da variabilidade do fator K quando relacionado com a distância de visibilidade de parada a seguinte tabela é de grande ajuda:

Tabela 11 - Valores de K para o critério de distância de visibilidade necessária

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Curva verticais convexas										
K – Mínimo	2	5	9	14	20	29	41	58	79	102
K – Desejável	2	5	10	18	29	48	74	107	164	233
Curvas verticais côncavas										
K – Mínimo	4	7	11	15	19	24	29	36	43	50
K – Desejável	4	7	12	17	24	32	42	52	66	80

Fonte:DNIT

4.4.3 Critério do mínimo valor absoluto

Um comprimento mínimo das curvas verticais deve permitir ao motorista perceber a alteração da declividade. Adotando para essa percepção um tempo de 2 segundos o comprimento mínimo da curva vertical é dado pela fórmula abaixo:

$$L_{min} = 0,6v \quad (40)$$

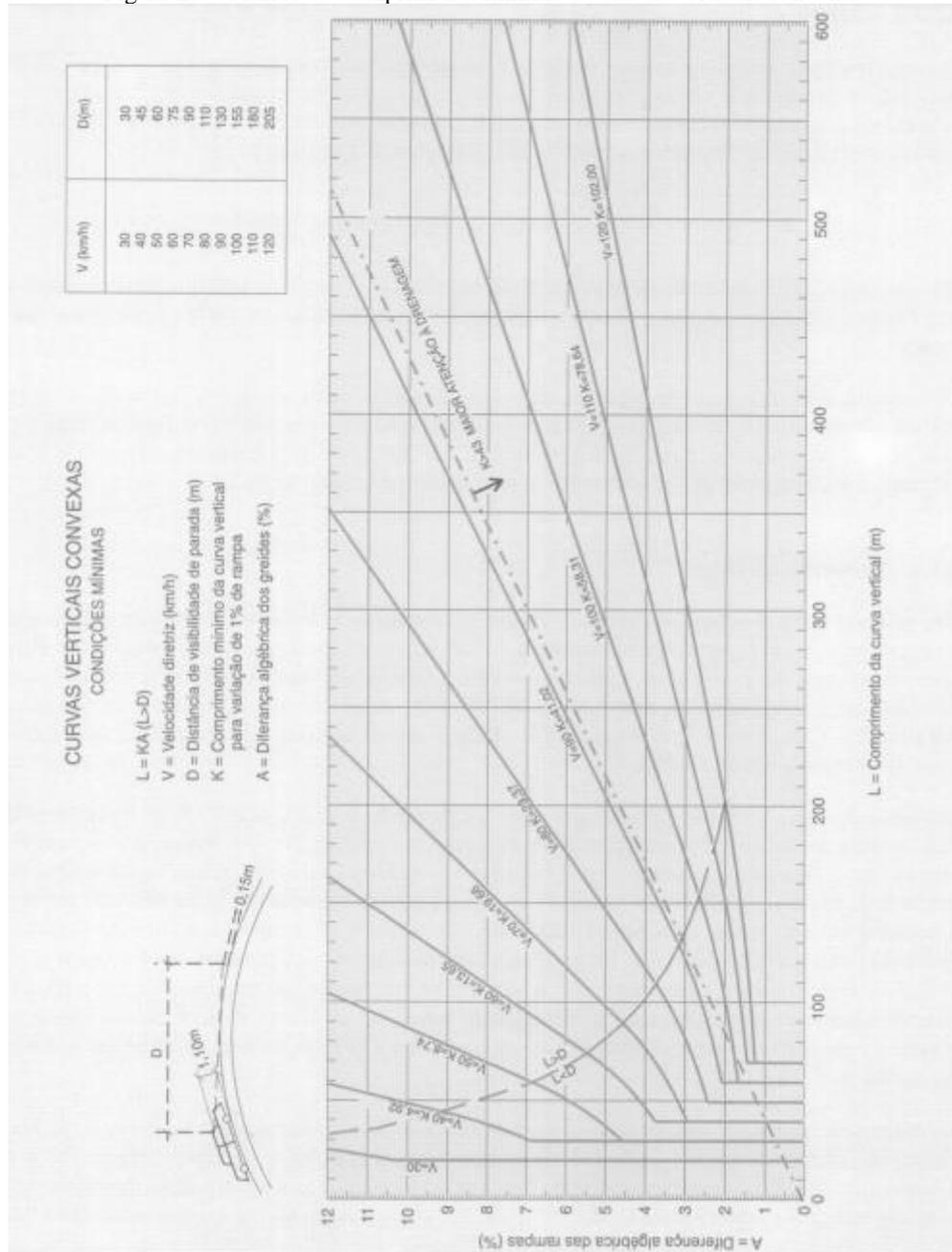
Onde:

L_{min} = comprimento da concordância vertical necessária (m)

v = velocidade diretriz da via

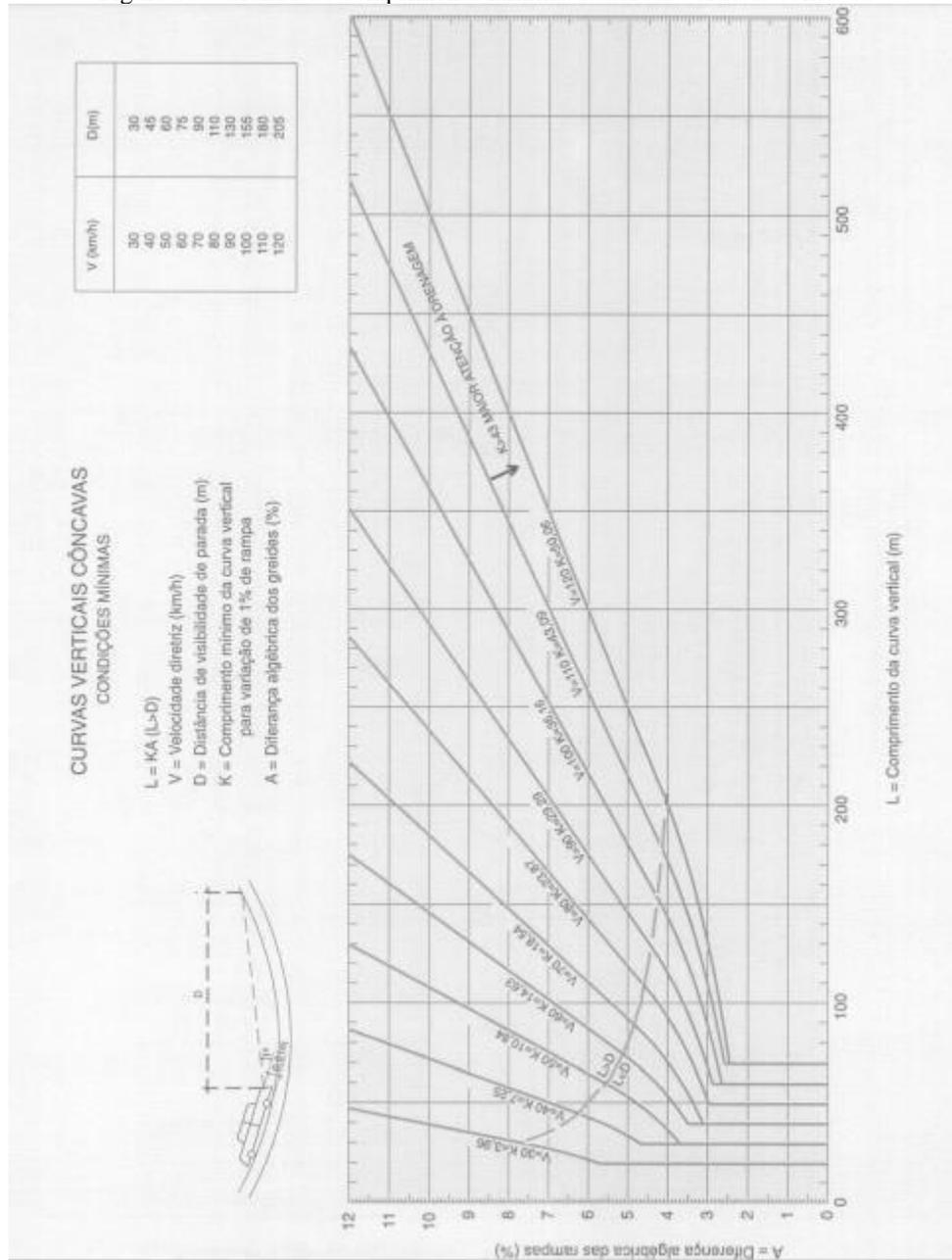
Para facilitar um projeto de curvas verticais, o DNIT apresenta alguns gráficos que fornecem os valores dos comprimentos de curvas verticais e os valores K em função apenas da velocidade e da diferença algébrica das rampas.

Figura 29 - Gráfico do comprimento mínimo de curvas verticais convexas



Fonte: DNIT

Figura 30 - Gráfico do comprimento mínimo de curvas verticais côncavas



Fonte: DNIT

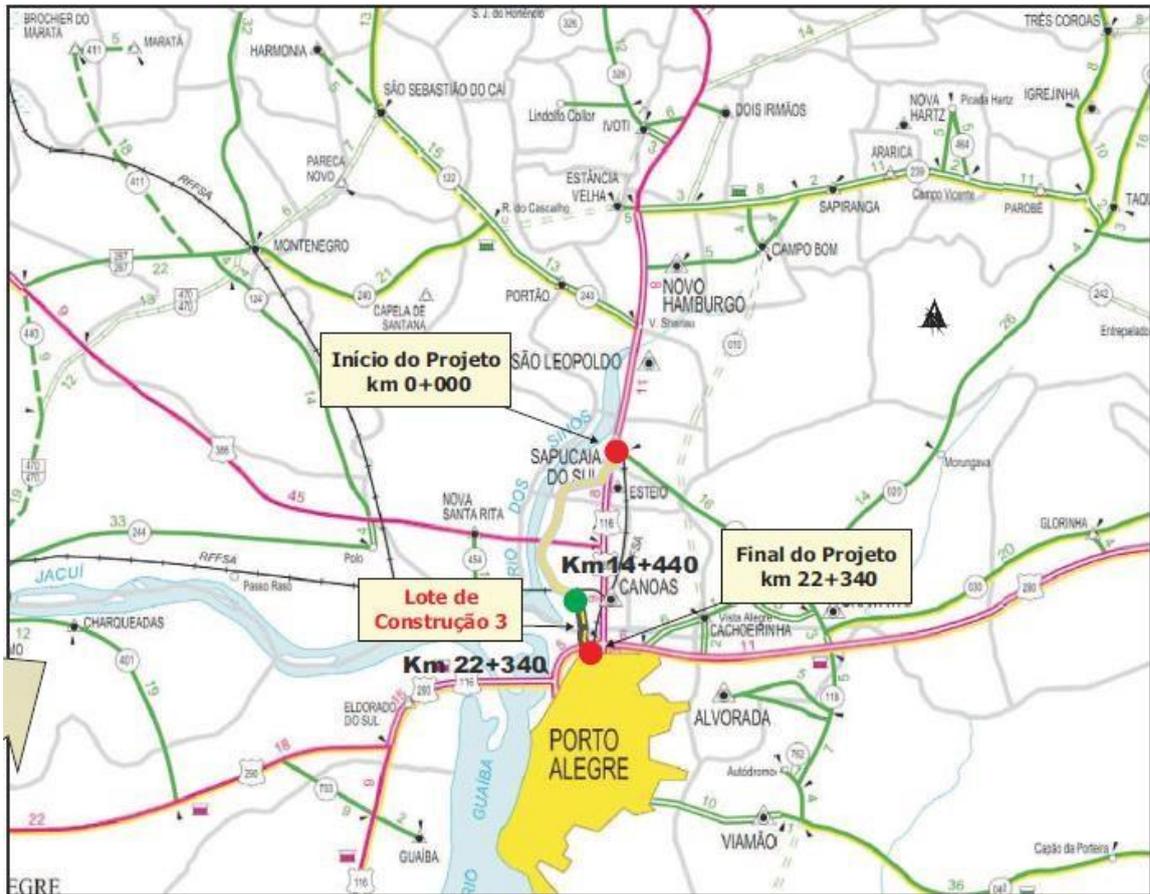
5 - DADOS DA BR – 448

Este capítulo trata dos dados obtidos da BR-448. A obtenção destes dados se deu através de e-mail, telefone, e visitas técnicas ao DNIT em São Leopoldo, porém foi através do Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão que a parte mais valiosa das informações foi obtida. Os dados coletados são de toda a extensão da rodovia, no entanto serão mostrados apenas as dimensões e os parâmetros da intersecção da BR-448 com a BR-290, pois esse é o trecho analisado por este trabalho.

5.1 INTERSECÇÃO ENTRE A BR- 448 E A BR-290

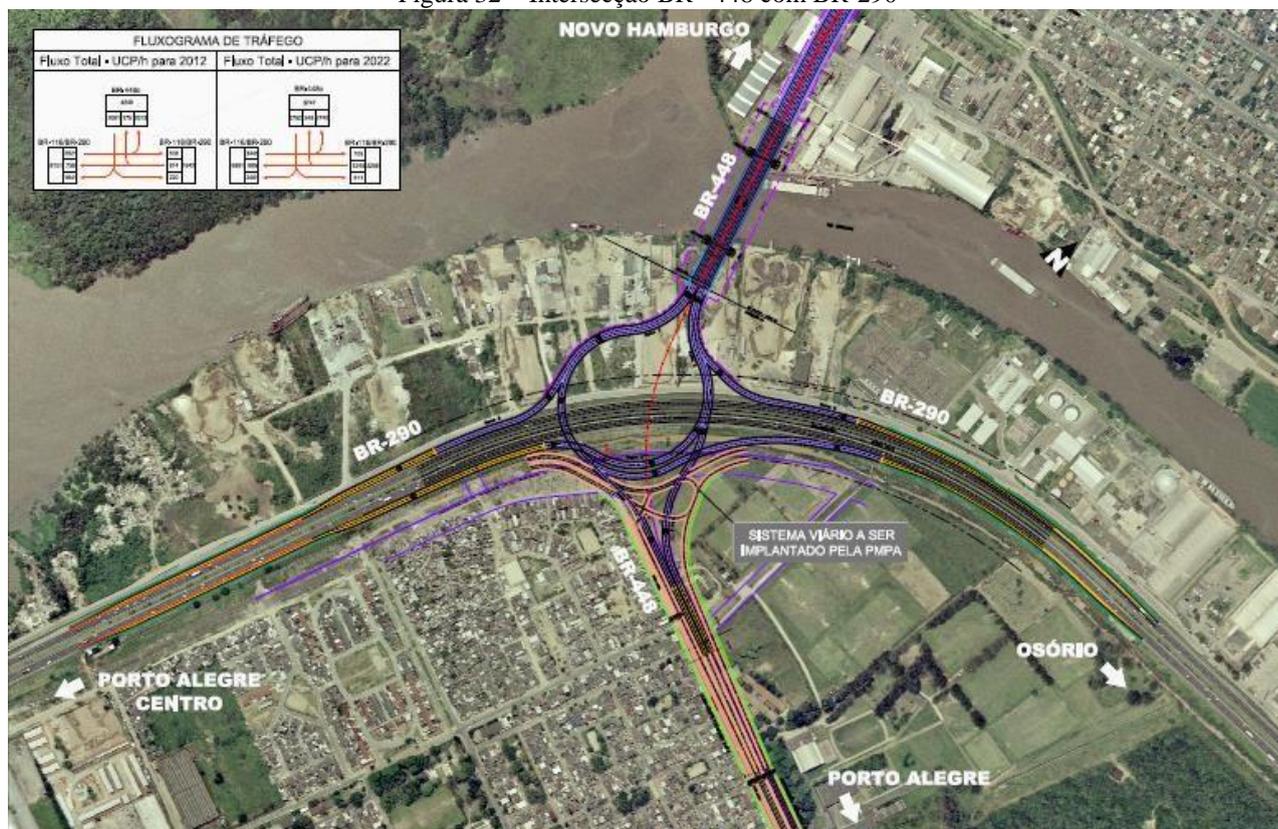
Esta intersecção pertence ao terceiro lote da rodovia, localizada no entorno da Arena do Grêmio. Para facilitar a compreensão desta intersecção ela foi dividida em 6 ramos. O trecho que apresenta maior desconforto e que gera mais situações perigosas é o ramo 3. Este está localizado logo após o ramo número 1, então para analisar o ramo 3 precisamos também analisar o 1 pois a sua sequência pode estar gerando problemas. A seguir será mostrada a localização e também serão apresentadas as características gerais da intersecção assim como a classificação dos ramos.

Figura 31 – Localização do terceiro lote da rodovia



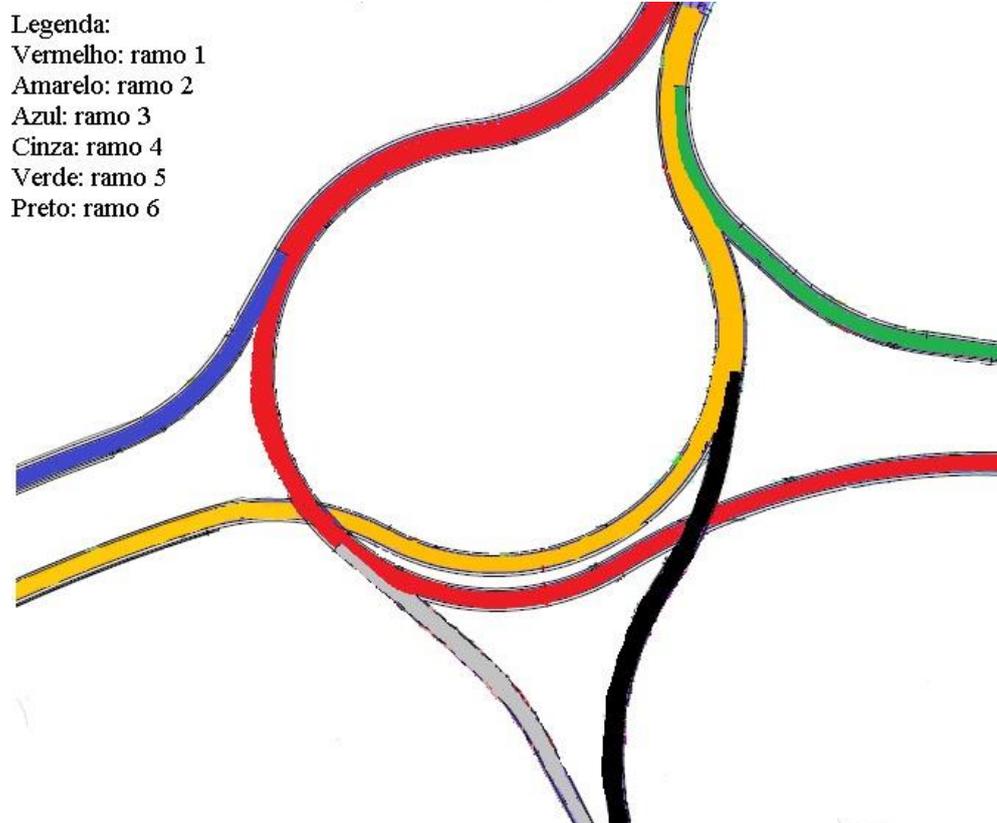
Fonte: DNIT

Figura 32 – Intersecção BR-448 com BR-290



Fonte: DNIT

Figura 33 – Numeração dos ramos



Fonte: elaborado pelo autor

5.1.1 Dados do alinhamento horizontal

As tabelas abaixo fornecem os dados de curvatura de todos os ramos, além disso com a visita ao DNIT de São Leopoldo foi possível obter os dados de superelevação do ramo 1 e do ramo 3.

Tabela 12 – Dimensões das Curvas da intersecção da BR-290

Ramo 1								
Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4	Curva 5	Curva 5	Curva 6	Curva 7	Curva 7
AC: 59°31'19"	AC: 102°30'20"	AC: 102°30'20"	AC: 39°41'15"	AC: 8°41'17"	AC: 1°42'15"	AC: 2°37'57"	AC: 8°25'41"	AC: 16°10'31"
Tg: 66,415	Tg: 135,949	Tg: 135,949	Tg: 118,767	Tg: 24,339	Tg: 12,501	Tg: 21,137	Tg: 21,588	Tg: 120,028
Raio: 116,150	Raio: 109,100	Raio: 109,100	Raio: 329,100	Raio: 320,404	Raio: 840,565	Raio: 919,991	Raio: 293,000	Raio: 844,671
D: 120,663	D: 195,186	D: 195,186	D: 227,961	D: 48,585	D: 25,001	D: 42,268	D: 43,100	D: 238,460

Ramo 2					
Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 3	Curva 4	Curva 5
AC: 7°33'33"	AC: 6°35'08"	AC: 9°22'31"	AC: 46°07'53"	AC: 147°12'13"	AC: 52°39'35"
Tg: 20,111	Tg: 22,704	Tg: 68,468	Tg: 46,457	Tg: 370,733	Tg: 57,483
Raio: 304,432	Raio: 394,636	Raio: 835,022	Raio: 109,100	Raio: 109,100	Raio: 116,155
D: 40,165	D: 45,359	D: 136,632	D: 87,841	D: 280,298	D: 106,756

Ramo 3			
Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
AC: 41°13'09"	AC: 8°34'00"	AC: 7°41'23"	AC: 7°56'11"
Tg: 43,247	Tg: 66,252	Tg: 21,686	Tg: 21,005
Raio: 115,000	Raio: 884,562	Raio: 322,680	Raio: 302,811
D: 82,732	D: 132,258	D: 43,307	D: 41,945

Ramo 4
Curva 1
AC: 21°02'47"
Tg: 28,625
Raio: 154,100
D: 56,605

Ramo 5	
Curva 1	Curva 2
AC: 54°41'14"	AC: 34°41'53"
Tg: 170,643	Tg: 62,480
Raio: 330,000	Raio: 200,000
D: 314,975	D: 121,119

Ramo 6	
Curva 2	Curva 3
AC: 61°50'29"	AC: 24°55'14"
Tg: 92,3028	Tg: 34,0510
Raio: 154,100	Raio: 154,100
D: 166,326	D: 67,025

(Fonte: DNIT)

Tabela 13 – Dados de superelevação do ramo 1 até o início do ramo 3

RAMO 1	
Estaca	Superelevação(%)
0	4,4
0+5	6,6
0+10	8,8
0+15	11,0
1	11,6
1+5	11,6
1+10	11,6
1+15	11,6
2	11,6
2+5	11,6
2+10	11,6
2+15	11,6

Estaca	Superelevação(%)
3	11,6
3+5	11,6
3+10	11,6
3+15	11,6
4	11,6
4+5	11,6
4+10	11,6
4+15	11,6
5	11,6
5+5	11,0
5+10	7,5
5+10,40	7,2
5+15	4,0
6	0,5
6+0,0663	0,0
6+5	-3,1
6+10	-6,6
6+15	-10,1
7	-11,6
7+5	-11,6
7+10	-11,6
7+15	-11,6
8	-11,6
8+5	-11,6
8+10	-11,6
8+15	-11,6
9	-11,6
9+5	-11,6
9+10	-11,6
9+15	-11,6
10	-11,6
10+5	-11,6
10+10	-11,6
10+15	-11,6
11	-11,6

Fonte: Dados obtidos pelo DNIT e transformados em tabela pelo autor.

Tabela 14 – Dados de superelevação do ramo 3

RAMO 3	
Estaca	Superelevação(%)
0	-5,1
0+5	-2,6
0+10	-2,2
0+15	-1,9
1	-1,5
1+5	-1,0
1+10	-0,4
1+15	0,3
2	1,1
2+3,452	1,9
2+5	2,1
2+10	3,0
2+15	3,9
3	4,7
3+5	5,6
3+10	5,7
3+15	5,7
4	5,7
4+5	5,7
4+10	5,7
4+15	5,7
5	5,7
5+5	5,5
5+10	4,2
5+15	2,9
6	1,6
6+5	0,3
6+6,184	0,0
6+10	-0,8
6+15	-1,7
7	-2,7
7+5	-3,7
7+10	-4,7
7+15	-4,8
8	-4,8
8+5	-4,8
8+10	-4,8
8+15	-4,8
9	-4,8
9+5	-4,8

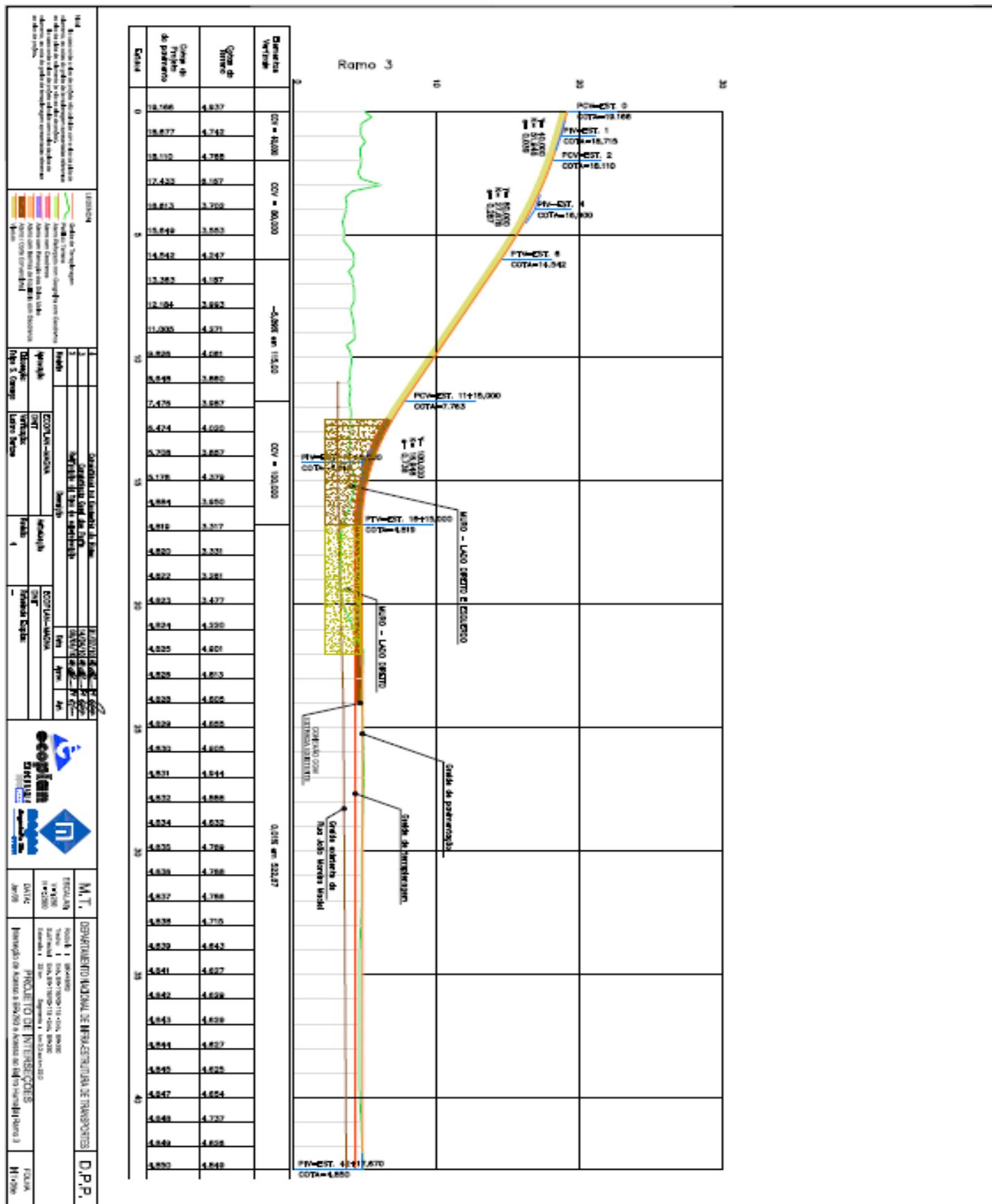
Estaca	Superelevação(%)
9+10	-4,8
9+15	-4,8
10	-4,8
10+5	-4,8
10+10	-4,8
10+15	-4,8
11	-4,8
11+5	-4,7
11+10	-4,7

Fonte: Dados obtidos pelo DNIT e transformados em tabela pelo autor.

5.1.2 Dados do alinhamento vertical

Esta seção fornece os dados verticais dos ramos 1 e 3 da intersecção em formato de imagem.

Figura 35- Corte transversal ramo 3



Fonte: DNIT

6 – COMPARAÇÃO ENTRE DADOS

Neste capítulo acontecerá a comparação entre os dados obtidos das alças de acesso, (superelevação, raio das curvas, distância entre tangentes da curva) com aqueles obtidos através de fórmulas e normas técnicas para a situação das alças.

6.1. COMPARANDO O TRAÇADO HORIZONTAL

Essa subsecção irá comparar apenas as questões relacionadas com a horizontalidade da via.

6.1.1 Análise das curvas individualmente

Como a velocidade diretriz no trecho é de 50 Km/h e sabendo que a menor superelevação do trecho é de cerca de 6% o mínimo valor de raio para esse trecho seria de 90 metros. Analisando todas as curvas do trecho é observado que o menor raio é de 109 metros o que é cerca de 20% maior que o mínimo, isto proporciona uma segurança adequada.

6.1.2 Análise da sequência de curvas

As três primeiras curvas que são percorridas quando planeja-se sair da BR-448 em direção ao centro de Porto Alegre tem raios parecidos. São eles 116m, 109m e 115m. Pelo parâmetro de semelhança entre curvas essas curvaturas estão dentro da região 1, ou seja, a melhor região. No entanto a quarta curva em sequência (segunda curva do ramo 3) tem um raio de mais de 800 metros e apesar de raios maiores normalmente gerarem mais segurança, nesta situação não é muito recomendado pois gera incerteza ao motorista

Outro fator importante de salientar é o tipo de curvas adotadas. Em todas alças de acesso foram utilizadas curvas circulares simples, e apesar delas serem mais fáceis de executar, principalmente em obras de arte especiais, elas precisam de mais cuidados que as curvas de transição. Uma característica importante que elas necessitam é a presença de tangente entre elas para facilitar a troca de superelevação, no entanto o projeto conta com as curvas conectadas entre si sem nenhum espaçamento.

6.1.3 Análise da superelevação

A superelevação no trecho manteve-se entre valores aceitáveis, porém como não há curvas de transição a mudança de superelevação é muito abrupta. Isto é mais visível no ponto em que se troca do ramo 1 para o ramo 3. Aqui há uma mudança de cerca de 6% no valor da superelevação em 20 metros isto gera um desconforto imenso para o motorista ainda mais se ele estiver acima da velocidade diretriz.

6.2. COMPARANDO O TRAÇADO VERTICAL

Essa subsecção irá comparar apenas as questões relacionadas com a verticalidade da via.

6.2.1 Análise das rampas máximas

A norma recomenda uma rampa máxima de 3% para essa classe de rodovias em terrenos planos. Mas já que se trata de uma obra de arte especial as boas práticas construtivas permitem até 6% de valor de rampas. A rampa máxima adota desse projeto é de 5,89% que apesar de estar dentro do limite poderia ser diminuída para causar um aspecto visual melhor.

6.2.2 Análise das curvas verticais

Analisando todas as curvas do trecho vemos que o K mais baixo é de cerca de 17 metros. Da tabela do DNIT temos que K min para velocidade diretrizes de 50 km/h é de 9 metros para curvas convexas e de 11 metros para curvas côncavas. Então podemos afirmar que o fator de segurança viário relacionado a intensidade das curvas verticais é cumprido com tranquilidade por essa opção de traçado.

6.2.3 Análise da sequência de curvas verticais

Neste trecho de cerca de 550 metros, existem 5 curvas verticais. Este número é altíssimo e apesar da norma não restringir o número de curvas, ela recomenda a utilização de longas curvas para amenizar os solavancos da pista.

Outro fator altamente desencorajado pela norma é a presença de duas curvas verticais no mesmo sentido em sequência. A sugestão seria adotar apenas uma curva que ligasse as duas rampas, no entanto isto não acontece neste projeto. Logo no início do ramo 3 existem 2 curvas convexas em declividade com seus pontos de tangente e curvatura coincidindo. Tal aspecto é ainda mais perigos pois a primeira curva é mais suave que a segunda. Isto se deve ao fato que o motorista

pode iniciar a descida com uma velocidade alta acreditando que a o gradiente é suave, mas após entrar na segunda curva há um aumento na declividade o que acarreta em um aumento de velocidade e possível perda de controle. Esta situação está ilustrada na a figura 4.

6.3. COMPARANDO A COMBINAÇÃO DOS TRAÇADOS

6.3.1 Efeitos visuais da combinação de traçados

Esse aspecto é de extrema importância nos ramos em decida, pois, a combinação de curvas horizontais com curvas verticais no sentido decrescente causa uma aparente suavização das curvas horizontais. Essa suavização esconde a verdadeira curvatura da curva o que pode fazer o motorista entrar com velocidade excessiva na curva gerando o risco de o veículo sair pela tangente. Então mesmo que as curvas horizontais da rodovia estão dentro do recomendado pelo DNIT, talvez a presença das curvas verticais acabe tirando a segurança da via.

6.3.2 Recomendações da norma acerca do alinhamento dos vértices

Este aspecto parece estar de acordo com as recomendações dos artigos e da norma. Ou seja, os vértices das curvas horizontais estão alinhados com os das curvas verticais.

7 – POSSÍVEIS MELHORIAS PARA A INTERSECÇÃO DA BR-448 COM A BR-290

7.1 SOLUÇÕES ALTERANDO CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Tang-Hsien Chang mostra num artigo, que os métodos de cálculo para segurança viária utilizados pela norma americana não estão considerando alguns fatores. O fator mais crítico apresentado, é a falta de consideração sobre o efeito que a suspensão de um veículo produz no decorrer de uma curva. Assim sendo, ele sugere duas ações para o melhoramento da segurança viária: Aumento dos raios de curvatura e aumento da superelevação. Porém em seu artigo Chang (2001, p. 2) afirma que “o método de aumento dos raios de curvas para diminuir capotamentos é muito mais eficiente que aumentar superelevações”.

Esta mudança proposta por Chang de aumento dos raios, assim como outras que recomendam melhoras no traçado vertical, ou no traçado horizontal são de difícil implementação. Isto se deve ao fato que o trecho estudado faz parte de uma obra de arte pois o trecho e reformas de grande calibre requerem grandes investimentos de tempo e dinheiro.

Devido a estes fatores, o aumento da superelevação geral do ramo 3 e do ramo 1 alinhada com uma suavização da concordância de superelevação entre estes dois pontos é encarado como uma possível solução para a melhora na segurança viária.

7.2 SOLUÇÕES PALIATIVAS JÁ ADOTADAS

Apesar de não mudarem a geometria da via, uma solução já foi adotada pelos gestores da rodovia. Tal solução consiste na implementação de um controlador de velocidade antes do início da alça de acesso.

Coelho, Cássia Bretas Pinto (2017) afirma que a colocação destes sensores não é uma estratégia eficaz para a redução de acidentes em longos trechos de rodovias, no entanto Yamada (2005, p 98) afirma que “radares fixos não contribuem para a melhoria da acidentalidade nas rodovias, salvo nos locais específicos onde são instalados”.

Assim, como apenas um pequeno trecho apresenta um maior índice de acidentes, a implementação deste radar fixo pode ser considerada uma medida eficaz no aumento da segurança viária.

Figura 36: Fiscalização eletrônica na BR - 448



Fonte: Jornal Correio do Povo

7.3 SOLUÇÕES PALIATIVAS QUE PODEM SER ADOTADAS

De acordo com dados do IBGE a população de idosos do Brasil cresceu em cerca de 16% entre os anos de 2012 e 2016. O número de pessoas com mais de 60 anos está na casa dos 30 milhões, e tende a aumentar segundo o órgão de estatística. Com o passar do tempo um motorista acaba obtendo mais experiência para enfrentar situações adversas. Porém estudos da ASSTHO mostram que motoristas com mais idade precisam ter alguns cuidados a mais para poder conduzir com segurança.

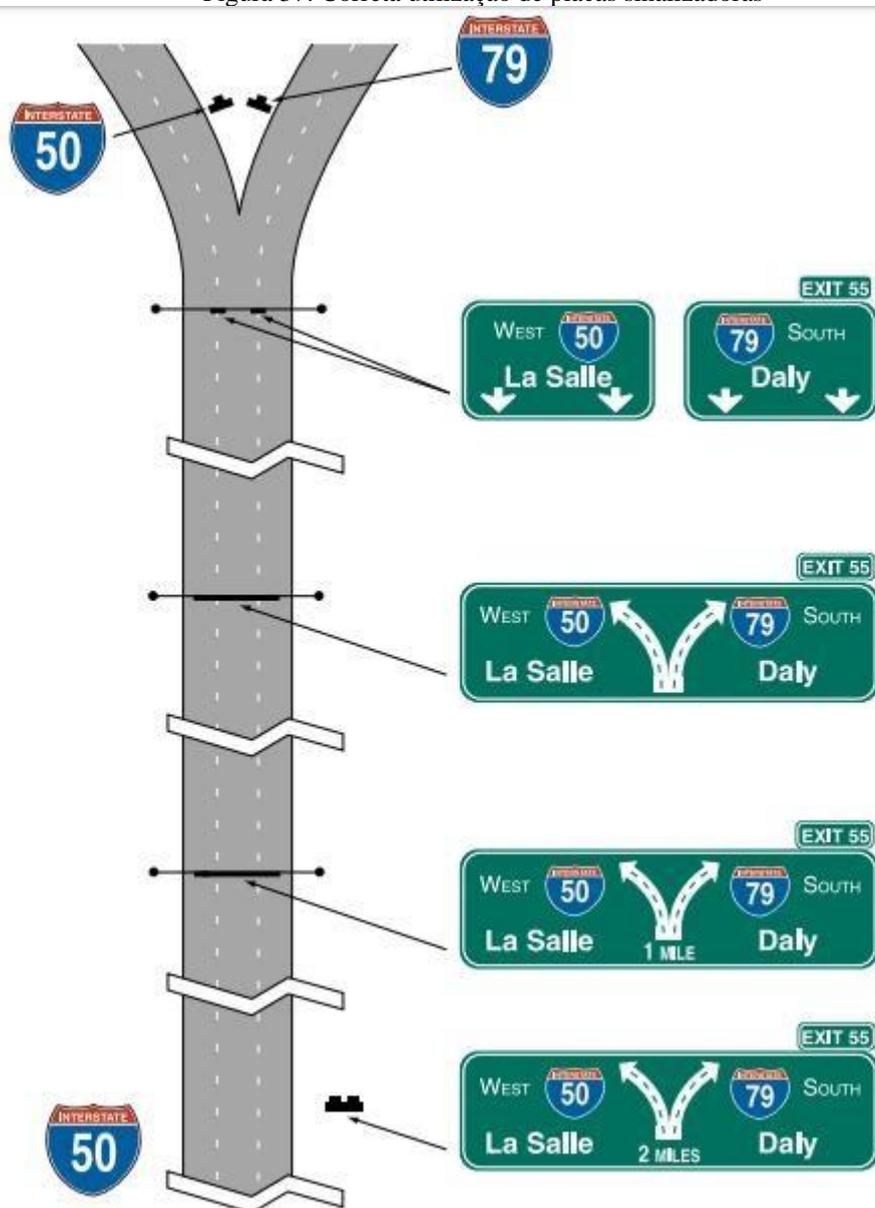
No manual “Guidelins and Recommendations to accommodate older drivers and pedestrians” a norma americana cita as maiores dificuldades para motoristas com mais de 60 anos. Entre elas podemos relacionar algumas com os problemas que aparecem nos ramos estudados do acesso da BR-448 em Porto Alegre. São elas: falta de iluminação em interseções, marcações no pavimento, tamanho de placas de sinalização.

Estas dificuldades sozinhas não provocam acidentes, porém elas criam oportunidades para eles aparecerem pois exigem em demasia dos condutores. Olhando a situação das estradas brasileiras é fácil ver que essas 3 dificuldades são bastante presentes, e no ramo analisado pode se constatar o mesmo. Assim possíveis melhorias no sistema de iluminação, e uma melhora na marcação do pavimento ajudaria muito os motoristas a permanecerem dentro das faixas de

rodagem. Aumentar e instalar mais placas de sinalização não provoca uma melhora direta, mas sim ajuda a antecipar a tomada de decisões relacionadas com o trajeto desejado. Isto afeta indiretamente a segurança e o fluxo viário.

Talvez entre as soluções paliativas a mais importante é a melhora na iluminação da rodovia, no entanto está sofre do problema da criminalidade no Brasil pois de acordo com o Jornal NH acontecem furtos frequentes nos cabos de cobre que transmitem a energia para a rodovia. Com isso diversos trechos da rodovia ficam em escuridão total.

Figura 37: Correta utilização de placas sinalizadoras



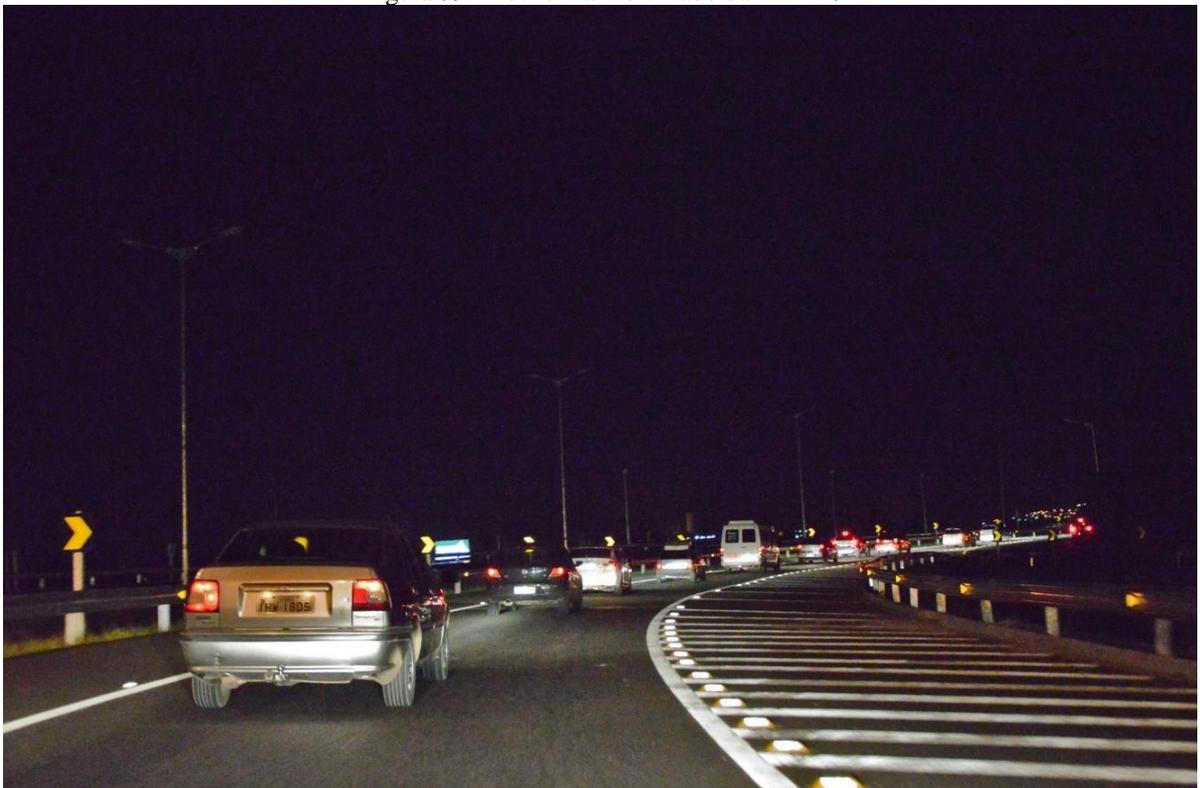
Fonte: AASHTO

Figura 38 - Exemplo de rodovia bem iluminada utilizando LED:



Fonte: Jornal NH

Figura 39: Trecho mal iluminado da BR-448



Fonte: jornal NH

8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Este trabalho teve como objetivo o estudo da intersecção entre a BR-448 e a BR-290. Foram analisados diversos fatores relacionados com a segurança viária sendo comparados com diversas normas e artigos científicos. A partir destas comparações foi possível apontar algumas conclusões e sugestões para pesquisas futuras relacionadas ao tema.

As normas regulatórias de rodovias não consideram o efeito cumulativo de diversos fatores agravantes no projeto geométrico rodoviário. No entanto é lógico perceber que o acúmulo de situações de risco aumenta a insegurança no local.

Pode-se concluir que o intenso fluxo de carros e caminhões na intersecção entre a BR-448 e a BR-290 combinados com os problemas geométricos da via encontrados nesse trabalho resultam em diversos acidentes e situações perigosas para os motoristas.

Os problemas geométricos da via são muitos e é impossível determinar o mais atuante na insegurança do local. Todavia o conhecimento dos mesmos proporciona uma oportunidade de propormos melhorias nos mesmos.

As possíveis melhorias propostas neste trabalho conseguem alcançar o objetivo secundário deste trabalho. Elas são medidas que dentro da literatura pesquisada mostram que existem possíveis melhorias viáveis para o problema de segurança no trecho estudado.

Possíveis pesquisas futuras relacionadas ao tema podem incluir visitas ao campo para garantir a confiabilidade das informações repassadas por terceiros. E com o conhecimento obtido neste trabalho é possível a realização de trabalhos futuros que estudem o efeito cumulativo de falhas no projeto geométrico de rodovias.

REFERÊNCIAS:

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de projeto geométrico de rodovias rurais. Rio de Janeiro, 1999.

IMBERG, Jakob; PALMBER Andréa. How curve geometry influence driver behavior in horizontal curves. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Chalmers University of Technology, Gothenburg, 2015.

ALBANO, João Fortini. Superelevação e Superlargura.1997. 15 lâminas. Apresentação em power point.

MACEDO, Edivaldo Lins. Noções de topografia para projetos rodoviários. 2002. 18p. Notas de aula.

RATTON, Eduardo; PEREIRA, Márcia de Andrade; KUSTER, Wilson Filho. Infraestrutura viária: Superelevação e superlargura exercícios. 2015. 35 lâminas. Apresentação em power point.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. Estrada de rodagem superlargura e superelevação. 2012. 38 lâminas. Apresentação em power point.

WYOMING DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Horizontal alignment and super elevation. Disponível em: < <http://www.dot.state.wy.us/home.html>>

SOUTH DAKOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Horizontal alignment. Disponível em: < <http://www.sddot.com>>

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Cross slope and superelevation. Disponível em: < <https://www.wsdot.wa.gov/>>

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. A policy on geometric design of highways and streets. Washington. 2001

DESIGN QUALITY ASSURANCE BUREAU NYSDOT. Recommendations for AASHTO superelevation design. Disponível em: < <http://rasulengineers.webs.com>>

NICHOLSON, Alan. Superelevation, side friction, and roadway consistency. Journal of transportation engineering. Nova York, set. 1998.

EASA, Said. Design considerations for highway reverse curves. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 1445. 1-11. (1994).

HASSAN, Y.; EASA, S.M. Effect of vertical alignment on driver perception of horizontal curves. Journal of transportation engineering. Nova York, Ago. 2003

FWA, T.F.; CHAN, W. T.; SIM, Y. P. Optimal vertical alignment analysis for highway design. Journal of transportation engineering. Nova York, Set. 2002

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias. Rio de Janeiro, 2010.

RYU, Jihan; ROSSETER, Eric J.; GERDES, J. Christian. Vehicle sideslip and roll parameter estimation using GPS. AVEC 2002, 6. Hiroshima, Japan.

OTHMAN, Sarbaz; THOMSON, Robert; LANNÉR, Gunnar. Identifying critical road geometry parameters affecting crash rate and crash type. 53 AAAM annual conference Annals of advances in automotive medicine. Baltimore, Estados Unidos. Out/2009.

ELVIK, Rune; HOYE, Alena; VAA, Truls, SORENSEN, Michael. The handbook of road safety measures. Segunda edição. Bingley: Emerald, 2009.

EZRA, Hauer. Observational before/after studies in road safety. Estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety. Bingley: Emerald 1997.

ELVIK, Rune. The importance of confounding in observational before and after studies of road safety measures. Accident Analyses e Prevention. Set/ 2002.

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO DE SÃO PAULO. NT 178/94: Recomendações funcionais- II Superelevações, Superlargura e Tangente mínima. São Paulo 1994.

DE ALMEIDA, Morgani, et al. Programa de orientação com ênfase em práticas de autocuidado para motoristas idosos. Revista brasileira de geriatria e gerontologia. Abril/ 2016

CORAZZA, Sara Teresinha, et al. Tempo de reação simples e de escolha de idosos motoristas: Uma comparação em relação ao sexo e a prática de exercícios físicos regulares. Revista biomotriz, Cruz Alta, V.7 , Julho de 2013.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Handbook for designing roadways for the aging population. Chapel Hill, United States, 2015.

CHANG, Tang-Hsien. Effect of vehicles suspension on highway horizontal curve design. Journal of transportation engineering. Nova York, Janeiro/2001.