

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Tráfego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distância Visibilidade
08 - Concordâncias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Mínimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Área Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabolabolos Final

## Capítulo 01

### PRINCIPAIS REQUISITOS DE TOPOGRAFIA PARA PROJETO DE ESTRADAS

#### 1.1 AZIMUTES E RUMOS

##### 1.1.1 AZIMUTE MAGNÉTICO (Az)

Chama-se "Azimute Magnético" de um alinhamento o ângulo que a direção deste alinhamento faz com o Norte Magnético, conforme indica a Figura 1.1

Os azimutes variam de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  e são contados a partir da ponta Norte da agulha no sentido dos ponteiros de um relógio.

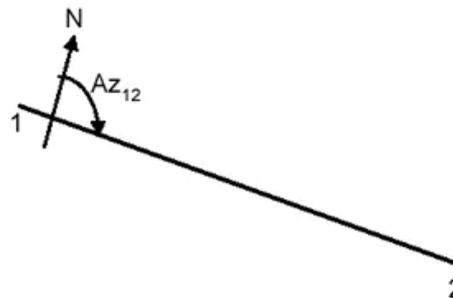


Figura 1.1 Azimute de uma direção

##### 1.1.2 RUMO MAGNÉTICO (R)

Chama-se de "Rumo" de um alinhamento ao menor ângulo que esta direção faz com a direção sul-norte. Os rumos variam entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , conforme a Figura 1.2

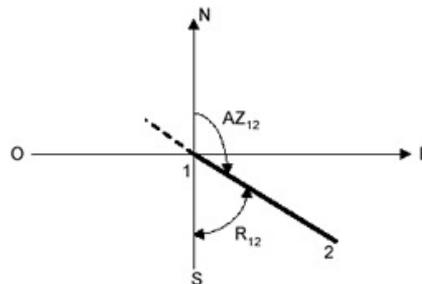


Figura 1.2: Rumo de uma direção

#### 1.2 CONVERSÕES DE AZIMUTES EM RUMOS E VICE-VERSA

O Rumo no 1o quadrante é igual ao Azimute, conforme indica a Figura 1.3:

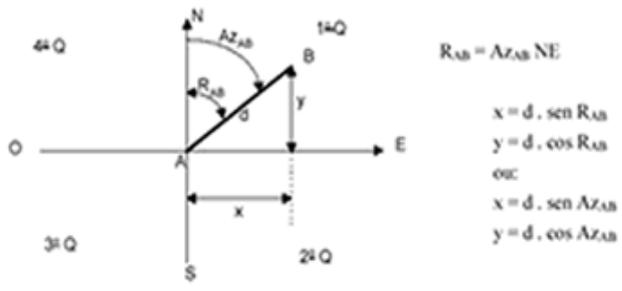


Figura 1.3: Azimutes e Rumos no 1º Quadrante

No 2º quadrante o Rumo é igual a  $(180^\circ - Az)$ , conforme indica a Figura 1.4:

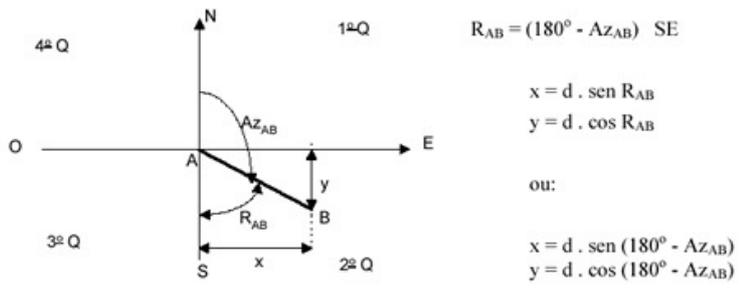


Figura 1.4: Azimutes e Rumos no 2º Quadrante

No 3º quadrante o Rumo é igual a  $(Az - 180^\circ)$ , conforme indica a Figura 1.5:

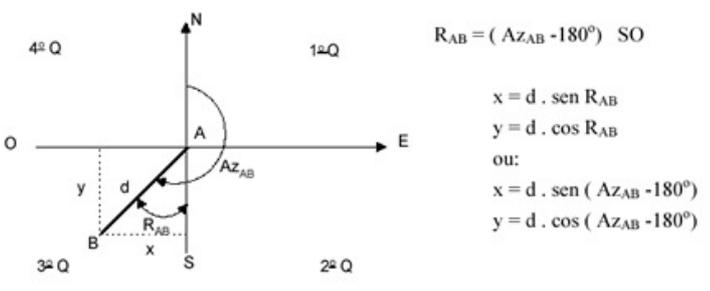


Figura 1.5: Azimutes e Rumos no 3º Quadrante

No 4º quadrante o Rumo é igual a  $(360^\circ - Az)$  conforme indica a Figura 1.6:

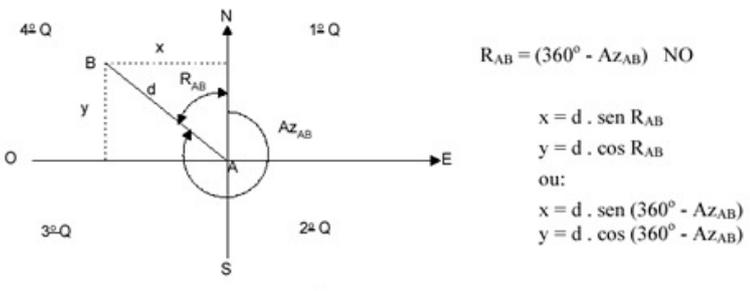


Figura 1.6: Azimutes e Rumos no 4º Quadrante

### 1.3 FÓRMULA GERAL DOS AZIMUTES

Consideremos um levantamento planimétrico fechado, conforme indica a Figura 1.7:

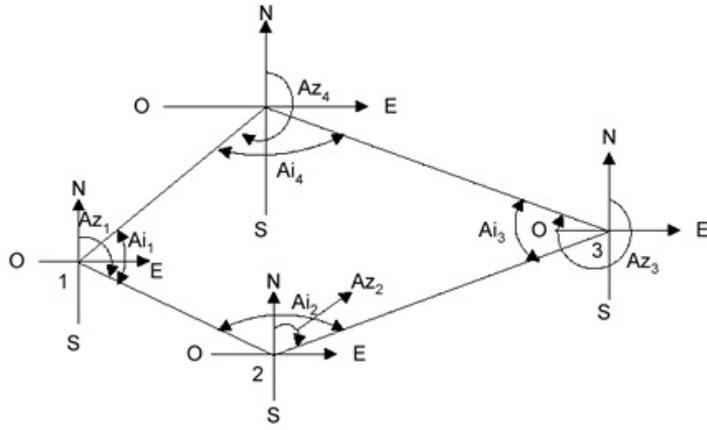
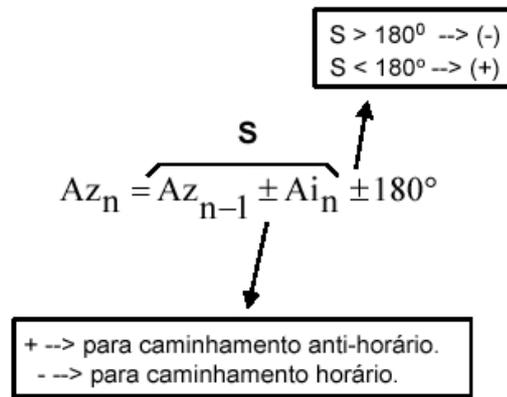


Figura 1.7: Um levantamento fechado



No caso do levantamento das direções de uma estrada, normalmente teremos uma situação do tipo mostrado na Figura 1.8:

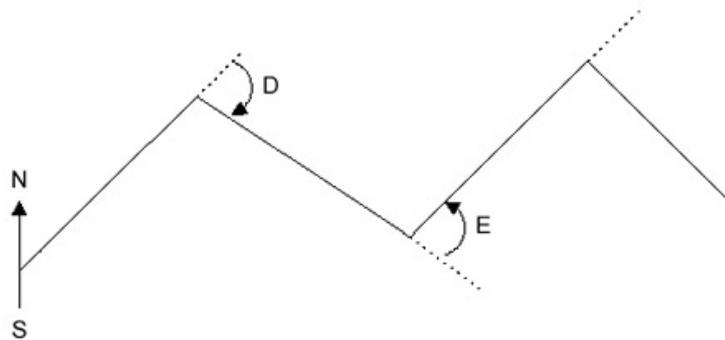


Figura 1.8: Levantamento das diretrizes de uma estrada

A determinação dos azimutes poderá ser feita da seguinte forma, conforme indica a Figura 1.9

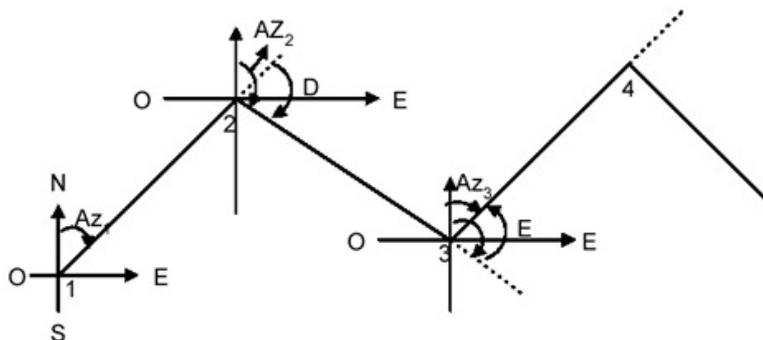


Figura 1.9: Determinação dos azimutes

Para o esquema Figura 1.9 podemos escrever:

$$Az_2 = Az_1 + D$$

$$Az_3 = Az_2 - E$$

onde:

D = ângulo de deflexão à direita;

E = ângulo de deflexão à esquerda.

Generalizando:

$$Az_n = Az_{n-1} + D$$

$$Az_n = Az_{n-1} - E$$

[Capítulo 02](#)

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capitulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabarabolas Final

## Capitulo 02

### **PRINCIPAIS ETAPAS DE UM PROJETO DE ENGENHARIA DE ESTRADAS**

#### **2.1. INTRODUÇÃO**

Entende-se por projeto geométrico de uma estrada ao processo de correlacionar os seus elementos físicos com as características de operação, frenagem, aceleração, condições de segurança, conforto, etc.

Os critérios para o projeto geométrico de estradas baseiam-se em princípios de geometria, de física e nas características de operação dos veículos. Incluem não somente cálculos teóricos, mas também resultados empíricos deduzidos de numerosas observações e análises do comportamento dos motoristas, reações humanas, capacidades das estradas já existentes, entre outras. A construção de uma estrada deve ser tecnicamente possível, economicamente viável e socialmente abrangente.

Em todo projeto de engenharia, e em particular nos projetos de estradas, pode-se, em geral, optar entre diversas soluções. É decisivo para a escolha da solução final o critério adotado pelo projetista, a sua experiência e o seu bom senso. Deverá então o projetista escolher os traçados possíveis e, em seguida, compará-los entre si, atendendo a diversos critérios que serão apresentados ao longo desta disciplina, tais como raios mínimos de curvas horizontais, inclinações de rampas, curvas verticais, volumes de cortes e aterros, superelevação, superlargura, etc.).

#### **2.2. ESTUDOS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA ESTRADA**

Os trabalhos para construção de uma estrada iniciam-se por meio de estudos de Planejamento de Transporte. Esses estudos têm por objetivo verificar o comportamento do sistema viário existente para, posteriormente, estabelecer prioridades de ligação com vistas às demandas de tráfego detectadas e projetadas, de acordo com os dados sócio-econômicos da região em estudo.

As principais atividades para elaboração de um projeto viário são:

- Estudos de tráfego;
- Estudos geológicos e geotécnicos;
- Estudos hidrológicos;
- Estudos topográficos;
- Projeto geométrico;
- Projeto de terraplenagem;
- Projeto de pavimentação;
- Projeto de drenagem;
- Projeto de obras de arte correntes;
- Projeto de obras de arte especiais;
- Projeto de viabilidade econômica;
- Projeto de desapropriação;
- Projetos de interseções, retornos e acessos;
- Projeto de sinalização;
- Projeto de elementos de segurança;
- Orçamento da obra e plano de execução;
- Relatório de impacto ambiental.

#### **2.3. FASES DO ESTUDO DO TRAÇADO DE UMA ESTRADA**

O projeto geométrico de uma estrada comporta uma série de operações que consistem nas seguintes fases:

- Reconhecimento ou Anteprojeto;
- Exploração ou Projeto;
- Locação ou Projeto Definitivo.

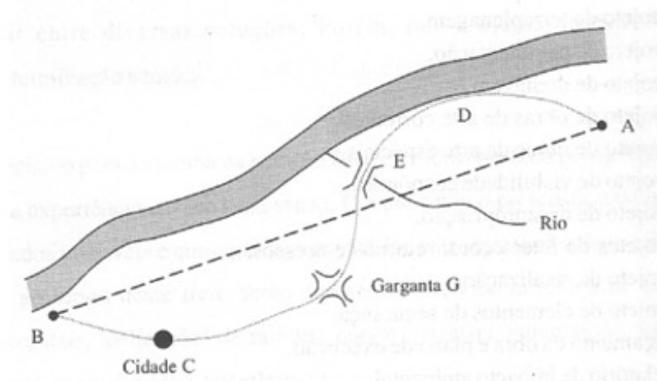
**A seguir faremos uma descrição objetiva destas fases.**

### **2.3.1. Reconhecimento ou Anteprojeto**

É a primeira fase da escolha do traçado de uma estrada. Tem por objetivo principal o levantamento e a análise de dados da região necessários à definição dos possíveis locais por onde a estrada possa passar. Nesta fase são detectados os principais obstáculos topográficos, geológicos, hidrológicos e escolhidos locais para o lançamento de anteprojetos.

#### **2.3.1.1. Elementos necessários para a fase de reconhecimento**

- a) Localização dos pontos inicial e final da estrada;
  - b) Indicação dos pontos obrigatórios de passagem;
  - b.1) Pontos Obrigatórios de Passagem de Condição: são pontos estabelecidos antes de qualquer estudo, condicionando a construção da estrada à passagem por eles. São determinados por fatores não técnicos, como fatores políticos, econômicos, sociais, históricos, etc.
  - b.2) Pontos Obrigatórios de Passagem de Circunstância: são pontos selecionados no terreno, durante o reconhecimento, pelos quais será tecnicamente mais vantajoso passar a estrada (seja para se obter melhores condições de tráfego e/ou para possibilitar obras menos dispendiosas). A escolha desses pontos é, portanto, um problema essencialmente técnico.
  - c) Retas que ligam os pontos obrigatórios de passagem.
    - c.1) Diretriz Geral: É a reta que liga os pontos extremos da estrada, representando a solução de menor distância para realizar a ligação entre os pontos extremos.
    - c.2) Diretriz Parcial: É cada uma das retas que liga dois pontos obrigatórios intermediários. Do estudo de todas as diretrizes parciais resulta a escolha das diretrizes que fornecerão o traçado final da estrada.
- Para exemplificar o exposto anteriormente, consideremos a ligação entre dois pontos A e B, em uma determinada região, esboçada na Figura 2.1.



**Figura 2.1: Diretrizes de uma estrada (Fonte: PONTES FILHO, 1998)**

Assim, na Figura 2.1 os pontos A e B são os pontos extremos. A reta AB, ligando esses pontos, é a diretriz geral da estrada. A cidade C e o porto D, que serão servidos pela estrada a construir, são os pontos obrigatórios de passagem de condição e são determinados pelo órgão responsável pela construção.

A topografia da região pode impor a passagem da estrada por determinados pontos. A garganta G é um exemplo, constituindo-se num ponto obrigatório de passagem de circunstância.

#### **2.3.1.2. Principais tarefas na fase de reconhecimento**

As tarefas a serem desenvolvidas na fase de reconhecimento consistem basicamente de:

- Coleta de dados sobre a região (mapas, cartas, fotos aéreas, topografia, dados sócio-econômicos, tráfego, estudos geológicos e hidrológicos existentes, etc);
- Observação do terreno dentro do qual se situam os pontos obrigatórios de passagem de condição (no campo, em cartas ou em fotografias aéreas);
- A determinação das diretrizes geral e parciais, considerando-se apenas os

pontos obrigatórios de condição;

- Determinação dos pontos obrigatórios de passagem de circunstância;
- Determinação das diversas diretrizes parciais possíveis;
- Seleção das diretrizes parciais que forneçam o traçado mais próximo da diretriz geral;
- Levantamento de quantitativos e custos preliminares das alternativas;
- Avaliação dos traçados.

### 2.3.1.3. Tipos de reconhecimento

A profundidade ou detalhamento dos trabalhos de campo, para a fase de reconhecimento, dependerá da existência e da qualidade das informações disponíveis sobre a região.

De uma maneira geral, os tipos de reconhecimento são:

#### a) Reconhecimento com cartas e fotos:

Muitas vezes o projetista, na sua coleta de dados para os trabalhos de reconhecimento, encontra informações em forma de mapas ou cartas<sup>1</sup> e tem a possibilidade de iniciar, no escritório, os trabalhos preliminares de lançamento das alternativas de traçados sobre os mapas ou cartas topográficas disponíveis.

Geralmente dispõe-se de mapas em escalas pequenas, dando apenas indicações dos cursos d'água e, esquematicamente, o relevo do terreno. O estudo neste tipo de carta não é suficiente para a escolha da melhor alternativa de traçado, sendo necessário deslocar-se ao campo e percorrer várias diretrizes selecionadas em escritório, para se definir qual a melhor.

Assim como o reconhecimento sobre a carta deve ser seguido de uma verificação no campo, esse reconhecimento visual do terreno é complementado por um levantamento topográfico expedito, que nos permita fazer o desenho da(s) faixa(s) reconhecidas(s). O reconhecimento em cartas pode ser auxiliado pelo emprego de fotografias aéreas, através da observação estereoscópica.

Dá-se o nome de estereoscopia à observação em 3 dimensões de 2 fotos aéreas consecutivas que se recobrem parcialmente, através de aparelhos especiais chamados "estereoscópios".

O estereoscópio consta de duas lentes de aumento cujos centros distam entre si uns 6 cm e cuja base é colocada paralelamente à linha de vô das fotografias já orientadas. O observador olha as fotos através das lentes obtendo visão ampliada delas.

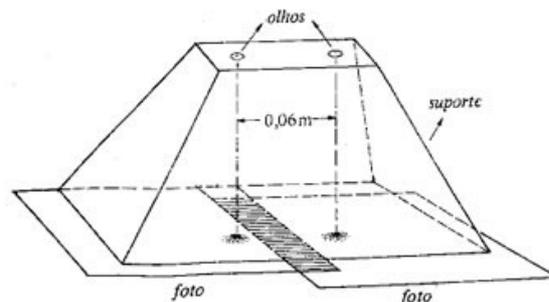


Figura 2. 2: Esquema de um Estereoscópio (Fonte: DE SENSO, 1980)

Para fazermos o chamado estudo estereoscópico do traçado de uma estrada tomamos as fotografias e examinamos, par a par, no estereoscópio, procurando, desse modo, determinar os pontos forçados e, conseqüentemente, as diretrizes do traçado.

Escolhidos alguns deles, situamos os mesmos num "esboço fotográfico". Ligamos, no esboço, os pontos forçados por retas. Fazemos, agora, a volta, isto é, procuramos marcar com lápis cera, na fotografia, a reta acima citada. Recolocamos as fotografias, par a par, no estereoscópio e examinamos a viabilidade desse traçado. Se a linha for viável, o traçado pelos pontos forçados constituirá uma primeira idéia de anteprojeto da estrada.

Poderemos ter uma ou mais sugestões de traçados para o anteprojeto. Todas as variantes devem ser pesquisadas. O traçado, assim obtido através das fotografias, constituirá o chamado Traçado Estereoscópio.

As fotografias aéreas são bastante úteis na definição da orografia<sup>2</sup> e potamografia<sup>3</sup> da região sob reconhecimento. De posse das fotografias, pode-se obter informações relativas às distâncias horizontais e às cotas dos pontos de interesse.

### **b) Reconhecimento aerofotogramétrico:**

O emprego da técnica aerofotogramétrica no estudo de reconhecimento de estradas vem sendo amplamente intensificado, devido às simplificações e aos excelentes resultados obtidos, principalmente em terrenos montanhosos.

A partir de levantamentos aerofotogramétricos pode-se fazer estudos estereoscópicos do traçado, pelo emprego de mosaico controlado, em escalas de 1:5000. Chama-se de mosaico um conjunto de fotografias aéreas, unidas em seus pontos comuns, constituindo um todo referente a determinada região.

Tem-se:

- Mosaico controlado: é quando a junção das fotografias individuais é feita mediante controle das distâncias conhecidas de pontos no terreno, e que figurem nas fotografias.
- Mosaico não controlado: é quando as fotografias são unidas pela simples superposição dos pontos comuns, sem nenhum controle em face do terreno a que se refere.

A preparação de mosaicos controlados é bastante dispendiosa, porém é muito útil, pois mostra todas as características do terreno, menos o relevo. Serve, desta forma, para a obtenção de dados planimétricos, cujas medidas reais podem ser obtidas diretamente, em escala, sobre o mosaico.

O apoio terrestre objetiva a definição de pontos determinados geodesicamente ou topograficamente, com a finalidade de orientar o modelo estereoscópico em planimetria e altimetria.

Pode-se, também, realizar o estudo de alternativas de traçados em plantas planialtimétricas, ditas restituídas, na escala 1:5.000, com curvas de nível com intervalo de contorno de 2,5 m.

Mesmo quando se dispõe de plantas aerofotogramétricas restituídas, a ida ao campo é também necessária na fase de reconhecimento, embora o trabalho de campo possa ser grandemente simplificado.

### **c) Reconhecimento terrestre:**

No caso de insuficiência ou inexistência de elementos cartográficos da região, os trabalhos de campo para o reconhecimento exigirão maiores detalhamentos para se definir os elementos topográficos, capazes de fornecer indicações precisas das alternativas de traçados.

Os trabalhos são desenvolvidos em duas etapas. A primeira, consiste numa inspeção local de todos os traçados possíveis. O engenheiro percorre, de automóvel, à cavalo ou a pé, a região, levando uma bússula, um aneróide e acompanhado de um guia que conheça todos os caminhos. Todas as diretrizes são percorridas e uma avaliação dos traçados, baseada no espírito de observação e outros elementos colhidos, é realizada objetivando selecionar uma ou duas diretrizes para uma avaliação posterior.

A segunda etapa consta de um levantamento topográfico expedito desta(s) alternativa(s) selecionada(s). Durante esta etapa é preciso ter, sempre em mente, as exigências das normas técnicas, notadamente no que se refere a raios mínimos e rampas máximas. O traçado ideal seria, evidentemente, aquele dado pelas diretrizes que ligam apenas os pontos obrigatórios de passagem de condição. Isso, entretanto, é muito raramente possível, devido às exigências das normas em face à orografia e potamografia da região.

Nos levantamentos propriamente ditos podem ser adotados os métodos expeditos comuns de topografia terrestre, onde, em geral, os instrumentos empregados são os seguintes:

- Bússula, para que se possa determinar os azimutes, rumos e deflexões dos alinhamentos;
  - Clinômetro, para medida de ângulos verticais;
  - Aneróide, para medir diferença de nível entre dois pontos do terreno;
  - Podômetro, passômetro ou um telêmetro, para medida das distâncias.
- O engenheiro percorre o traçado da estrada, escolhendo as posições adequadas de passagem e vai anotando a extensão dos alinhamentos, os valores angulares registrados, os obstáculos que o traçado terá que vencer. As anotações são feitas em uma caderneta de campo.

#### **2.3.1.4. Trabalhos de escritório na etapa de reconhecimento**

Após o reconhecimento é feito um relatório completo e detalhado que recebe o nome de Memorial do Reconhecimento, no qual devem ser justificadas todas as opções adotadas. Basicamente, este relatório, que também é chamado de Relatório Preliminar, contém:

- Descrição dos dados coletados no reconhecimento;
- Descrição das alternativas estudadas;
- Descrição de subtrechos de cada alternativa, caso existam;
- Descrição das características geométricas adotadas;
- Apresentação dos quantitativos e custos preliminares (Orçamento Preliminar);
- Análise técnica-econômica e financeira dos traçados.

O memorial deve apresentar uma descrição dos dados coletados, abordando aspectos econômicos gerais da região atravessada, fornecendo notícias sobre a cultura do solo, população e atividade econômica principal das cidades e povoados atravessados, enfim, tudo que possa contribuir para uma atualização do conhecimento sócio-econômico da região.

Além da parte de texto, deve ser elaborado o desenho da linha de reconhecimento em planta e perfil. A escala das plantas a serem apresentadas deve ser 1:20.000, podendo-se aceitar, para trechos muito extensos (acima de 400 km), a representação na escala de 1:40.000 ou 1:50.000.

O perfil da linha de reconhecimento deverá ser apresentado nas escalas horizontal de 1:20.000 (ou 1:50.000) e vertical 1:2000 (ou 1:5000).

Nos desenhos deverão ser assinalados, em forma esquemática, os principais acidentes orográficos e potamográficos dignos de nota, além da posição geográfica das cidades, vilas e povoados.

As alternativas de traçados são lançadas sobre os elementos gráficos disponíveis, considerando, além das características técnicas, obtidas através dos estudos de tráfego para a estrada, aqueles relativos a geologia e hidrologia da área. Devem ser consideradas também as dificuldades topográficas e orográficas, condições de travessia dos cursos d'água, tipos de solos, etc.

Os traçados são representados graficamente através de um anteprojeto geométrico em planta e perfil. Em planta, consiste no lançamento de tangentes e curvas circulares, observadas as condicionantes expostas acima. Em perfil, consiste no lançamento do greide preliminar das alternativas dos traçados, podendo ou não ser concordado por curvas verticais, dependendo da escala das plantas.

Todas as alternativas de traçado da estrada serão orçadas em nível preliminar, para servir de base na avaliação técnico-econômica. Neste orçamento, deverá ser levado em conta a movimentação de terra e as obras de grande vulto (pontes, viadutos, muros de arrimo, túneis, etc).

A avaliação técnico-econômica das alternativas de traçado consiste em se obter os custos totais de transporte, composto dos custos de construção, operação e conservação, de cada alternativa.

Os custos de construção correspondem ao orçamento apresentado no Memorial do Reconhecimento. Os custos de operação correspondem aos custos operacionais dos veículos que usarão a estrada. Estes dependem das condições geométricas da estrada, as quais irão oferecer melhor desempenho na operação do tráfego e definem o comprimento virtual do trecho. Os custos de conservação são estimados em função do volume de tráfego previsto. A rigor, a alternativa mais viável é aquela que apresenta os menores custos totais de transporte. Porém, como os resultados são ainda preliminares, o engenheiro deve usar o bom senso na seleção final das alternativas

### **2.3.2.Exploração ou Projeto**

Na fase de reconhecimento da estrada seleciona-se uma ou duas alternativas de traçado, cujos estudos topográficos foram desenvolvidos a partir de levantamento de natureza expedita, empregando-se métodos de baixa precisão. No reconhecimento não se justifica levantar grandes detalhes topográficos, face ao caráter preliminar dos estudos.

Com o objetivo de realizar o Projeto Definitivo de Engenharia da Estrada, executa-se uma segunda etapa de estudos, com mais detalhes, possibilitando a obtenção de todos os demais elementos para a elaboração de um projeto inicial da estrada. Esta nova etapa é denominada Exploração ou Projeto.

Durante a fase de exploração são desenvolvidos outros estudos, além dos topográficos, como os relativos à tráfego, hidrologia, geologia, geotécnica, etc. Estes estudos possibilitam a elaboração dos projetos geométrico, drenagem, terraplenagem, pavimentação, etc...

A metodologia clássica de exploração consiste basicamente, dentre outros estudos, no levantamento topográfico rigoroso de uma faixa limitada do terreno, dentro da qual seja possível projetar o eixo da futura estrada. Essa faixa tem largura variável, de acordo com a orografia da região, e será levantada topograficamente de forma plani-altimétrica. Neste levantamento empregam-se instrumentos e procedimentos muito mais precisos do que aqueles empregados na fase de reconhecimento, com o objetivo de fazer a representação gráfica do relevo do terreno ao longo da faixa de exploração.

Tomando-se para referência os Pontos Obrigatórios de Passagem (de Condição e de Circunstância), determinados na etapa anterior, procura-se demarcar no terreno uma linha poligonal tão próxima quanto possível do futuro eixo de projeto da estrada.

A poligonal levantada topograficamente na fase de exploração recebe a denominação de Eixo de Exploração ou Poligonal de Exploração. É importante observar que esta poligonal não é necessariamente igual à poligonal estabelecida na fase de reconhecimento, pois a equipe de exploração pode encontrar, nesta fase, uma linha tecnicamente mais indicada e que se situe ligeiramente afastada da diretriz do reconhecimento. Observe-se, também, que o eixo de exploração não será necessariamente o eixo de projeto definitivo, isto é, o eixo da estrada a ser construída.

Portanto, os trabalhos de campo tomam como apoio e guia os estudos desenvolvidos na fase de reconhecimento, os quais servirão para mais facilmente identificar os pontos obrigatórios de passagem, os acidentes geográficos, as travessias de cursos d'água, etc.

#### **2.3.1.1.Trabalhos de campo**

Os trabalhos de campo, na fase de exploração, compreendem classicamente três estágios:

##### **a) Lançamento do eixo da poligonal**

É uma etapa muito importante na exploração, devido ao fato de que a poligonal a ser implantada será a linha de apoio para os demais serviços topográficos, com o objetivo de colher elementos que possibilitem a representação gráfica do relevo do terreno ao longo da faixa. Este aspecto evidencia o extremo cuidado que se deve ter na orientação a ser dada para o lançamento dos alinhamentos, que irão constituir a poligonal de exploração.

O lançamento da poligonal de exploração deverá ser feito com base em medidas lineares (distâncias horizontais) e angulares (azimutes e deflexões) dos alinhamentos. Considerando-se toda a extensão da linha de reconhecimento, pode a implantação da poligonal de exploração ser entregue a uma única equipe de topografia ou distribuída por mais de uma delas. Em qualquer caso, cada trecho a ser levantado por uma equipe deve ter suas extremidades localizadas em pontos obrigatórios de passagem, para que se possa garantir a continuidade do eixo de exploração.

As deflexões devem ser anotadas com aproximação de 1 minuto, enquanto as medidas lineares devem ser feitas com trena de aço. Recomenda-se evitar distâncias curtas entre duas deflexões sucessivas, para atender a condição de tangente mínima estabelecida pela norma.

À medida que se realiza à implantação das tangentes (alinhamentos da poligonal), estas deverão ser estaqueadas. A operação consiste em demarcar no terreno, ao longo dos alinhamentos, pontos distanciados entre si de 20 metros, a partir de um ponto inicial. Este

ponto inicial do estaqueamento recebe a denominação de Estaca Zero. A partir deste ponto, a tangente é piqueteada (isto é, são colocados piquetes) de 20 em 20 m, sendo o estaqueamento numericamente crescente no sentido do desenvolvimento do caminhamento. As medições são feitas com trena de aço. A Figura 2. 3 ilustra um estaqueamento

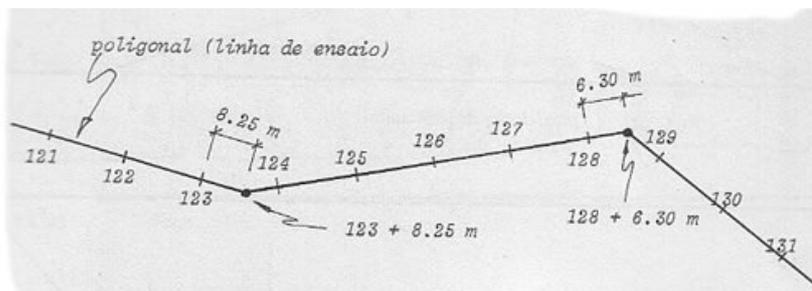


Figura 2. 3: Polígono de Exploração com o estaqueamento (Fonte: DE SENSO, 1980)

Os pontos de mudança de direção, quando não coincidentes com estacas inteiras (o que geralmente acontece) são indicados pela estaca inteira imediatamente anterior mais a distância do ponto a essa estaca. Assim, a estaca fracionária resulta quando a extensão do alinhamento não é divisível por 20. Por exemplo, se o alinhamento tem uma extensão de 125,00 m e tem início na Estaca Zero, a sua outra extremidade fica caracterizada pela Estaca 6 +5,00 m. Nesses pontos, são fixados pregos na parte superior dos piquetes e os mesmos são chamados de estacas-prego ou estacas de mudança, como ilustra a Figura 2. 4. Também pode existir estaca fracionária, entre duas estacas inteiras, quando houver um acidente orográfico, travessia de curso d'água ou outro acidente digno de nota.

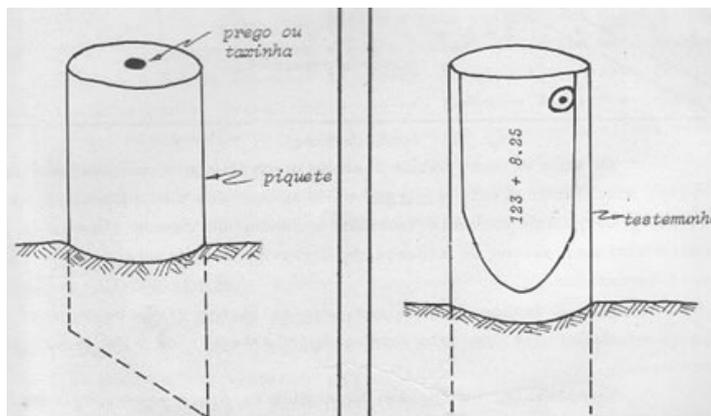


Figura 2. 4: Estaca-prego e testemunha de estaca-prego (Fonte: DE SENSO, 1980)

Os piquetes devem ser cravados até ficarem rente ao chão (para evitar serem deslocados ou retirados por pessoas estranhas) e sempre acompanhadas por estacas (testemunhas) com a indicação do número da estaca, sempre com o número iniciando no topo, como indica a Figura 2. 5.

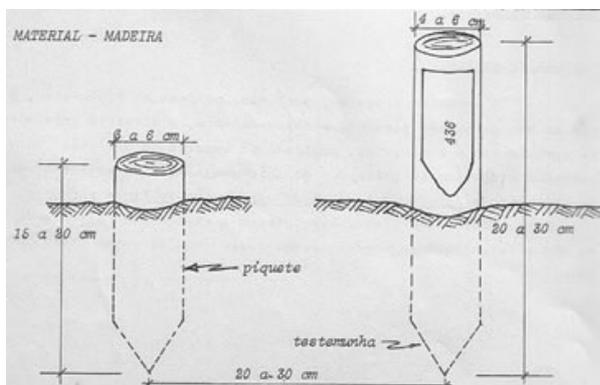


Figura 2. 5: Piquetes e estaca testemunha (Fonte: DE SENSO, 1980)

As anotações deste estágio inicial são feitas na chamada Caderneta de Alinhamento ou Caderneta de Caminhamento, que pode ser visualizada na Figura 2. 6.

ESTACA	DISTÂNCIA	DEFLEXÕES		AZIMUTES		OBS.
		ESQUERDA	DIREITA	LIDO	CALCULADO	
*1	—	—	—	—	—	
2	—	—	—	—	—	
3	—	—	—	—	—	
*4	—	—	—	—	—	
5	—	—	—	—	—	
*5+9,0	—	—	—	—	—	

\*Estacionamento do trânsito

Figura 2. 6: Caderneta de Alinhamento ou Caminhamento (Fonte: CAMPOS, 1979)

Em conclusão, determinando-se o azimute e a extensão de cada alinhamento, as amarrações das tangentes e o estaqueamento da poligonal de exploração, passa-se ao segundo estágio dos trabalhos de campo, qual seja o Nivelamento e Contranivelamento da poligonal de exploração.

**b) Nivelamento e Contranivelamento da poligonal**

O eixo da poligonal deverá ser nivelado em todas as estacas, portanto, utilizando-se os piquetes cravados pela turma de estaqueamento, com o objetivo de determinar as cotas dos pontos do terreno, para traçar o perfil longitudinal.

A cota inicial deverá ser transportada de uma referência de nível (RN) existente na região ou arbitrada, quando tal não puder acontecer.

O método utilizado no nivelamento é aquele baseado no paralelismo de planos, o chamado Nivelamento Geométrico, cujos instrumentos empregados são o nível de luneta com tripé e a mira. Em cada estação mede-se a altura, ou seja, a distância vertical que vai do piquete até a linha de visada, estabelecida com o nível e a mira. A partir destas alturas e da cota inicial da Estaca Zero, determinam-se as cotas de todas as estacas subsequentes.

Como a poligonal é aberta e não apoiada, comumente não tendo as suas extremidades caracterizadas por cotas previamente conhecidas para controle da qualidade do nivelamento, torna-se necessário que o eixo da poligonal seja contranivelado, de preferência por outro operador, e que o registro das leituras e informações seja feito em caderneta diferente. O contranivelamento é um segundo nivelamento que se procede com o fim de verificar a precisão do nivelamento.

Para o extinto DNER, a tolerância dos serviços de nivelamento era de 2 cm/km, sendo que a diferença acumulada máxima deveria ser:

$$E_t \leq 1,25\sqrt{L}$$

onde:

Et = erro, expresso em milímetros;

L = extensão total da poligonal, em quilômetros.

Os elementos do Nivelamento e do Contranivelamento deverão ser anotados em uma Caderneta de Nivelamento, que pode ser vista na Figura 2. 7.

ESTACA	LEITURAS DE MIRA		ALTURA INSTRUMENTO	COTAS	OBS.
	RE	VANTE			
0	R <sub>0</sub>		H <sub>1</sub> = R <sub>0</sub> + R <sub>0</sub>	h <sub>0</sub> = R <sub>0</sub>	
1		V <sub>1</sub>		h <sub>1</sub> = R <sub>1</sub> - V <sub>1</sub>	
2		V <sub>2</sub>		h <sub>2</sub> = R <sub>2</sub> - V <sub>2</sub>	
3	R <sub>3</sub>	V <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> = h <sub>3</sub> + R <sub>3</sub>	h <sub>3</sub> = R <sub>3</sub> - V <sub>3</sub>	(*)
4		V <sub>4</sub>		h <sub>4</sub> = R <sub>4</sub> - V <sub>4</sub>	
5		V <sub>5</sub>		h <sub>5</sub> = R <sub>5</sub> - V <sub>5</sub>	

\* Mudança do Aparelho

Figura 2. 7: Caderneta de Nivelamento (Fonte: CAMPOS, 1979)

**c) Levantamento das Seções Transversais:**

Para possibilitar a representação gráfica do relevo do terreno, ao longo da faixa de

exploração, procede-se ao levantamento de seções transversais, a partir do eixo de exploração, conforme indica a Figura 2. 8.

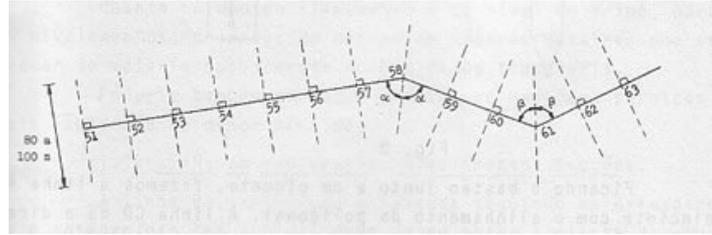


Figura 2. 8: Seç

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capitulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumens
19 - Sobre Parabarabolas Final

## Capitulo 03

### DESENVOLVIMENTO DE TRAÇADOS DE RODOVIAS

#### 3.1. . FATORES QUE INFLUEM NA ESCOLHA DO TRAÇADO

São vários os fatores que interferem na definição do traçado de uma estrada. Dentre eles, destacam-se:

- a topografia da região;
- as condições geológicas e geotécnicas do terreno;
- a hidrologia e a hidrografia da região;
- a presença de benfeitorias ao longo da faixa de domínio da estrada.

Regiões topograficamente desfavoráveis geralmente acarretam grandes movimentos de terra, elevando substancialmente os custos de construção.

As condições geológicas e geotécnicas podem inviabilizar determinada diretriz de uma estrada. Na maioria dos casos são grandes os custos necessários para estabilização de cortes e aterros a serem executados em terrenos desfavoráveis (cortes em rocha, aterros sobre solos moles, etc.).

A hidrologia da região pode também interferir na escolha do traçado de uma estrada, pois os custos das obras de arte e de drenagem geralmente são elevados. O mesmo acontece com os custos de desapropriação. Dependendo do número de benfeitorias ao longo da faixa de implantação da estrada, os custos de desapropriação podem inviabilizar o traçado.

#### 3.2. NOMENCLATURA DOS PRINCIPAIS ACIDENTES GEOGRÁFICOS E TOPOGRÁFICOS QUE INTERESSAM A UM TRAÇADO DE ESTRADA

- Montanha: É uma elevação considerável da crosta terrestre.
- Cordilheira ou Cadeia de Montanhas: É uma sucessão de montanhas ligadas todas entre si. Quando se estuda um traçado ao longo de uma montanha é necessário sempre saber se ela é isolada ou ligada a outra, formando uma cordilheira.
- Cumeada ou Linha de Cumeada: É a linha formada pelos pontos mais altos da montanha ou cordilheira, no sentido longitudinal.
- Contraforte: É uma ramificação mais ou menos elevada de uma montanha ou cordilheira, em direção transversal à mesma. É um acidente importante num traçado de estrada, pois muitas vezes é por ele que o traçado galga a montanha.
- Espigão: É um contraforte secundário que se liga ao contraforte principal, do mesmo modo como este se liga à cordilheira. Este acidente é, muitas vezes, um obstáculo em um traçado de estradas, obrigando a grandes cortes ou mesmo a túneis nas estradas que sobem pelo contraforte.
- Esporão: É um pequeno espigão, aproximadamente normal ao contraforte.
- Cume ou Ponto Culminante: É o ponto mais alto de uma montanha ou cadeia de montanhas. É um acidente que é sempre evitado num traçado.
- Serra: É a denominação genérica de todo terreno acidentado, quer se trate de montanha ou seus contrafortes acidentados.
- Garganta ou Colo: É uma depressão acentuada da linha de cumeada de uma montanha ou cordilheira. Numa garganta, conforme indica a Figura 3.1, tomando-se seu meio, que é o ponto A, sobe-se de A para B e de A para C, e desce-se de A para D e de A para E.

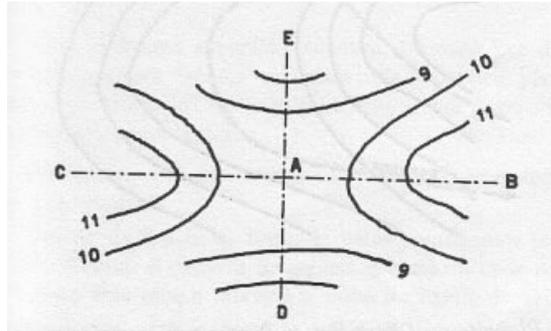


Figura 3.1: Garganta ou Colo (Fonte: CARVALHO, 1967)

Os contrafortes também apresentam estas depressões, dando-se então a elas as denominações de gargantas secundárias, que vão dar nascimento a vales secundários. A denominação de garganta, que adotamos, é muitas vezes imprópria, pois garganta significa uma passagem estreita, e muitas depressões de cumeada são passagens amplas. Daí vem as expressões "garganta aberta", "garganta fechada", etc.

Nos demais países ocidentais, a palavra correspondente a garganta é aplicada ao estrangulamento de um curso d'água, o que não acontece no Brasil. Garganta, com o significado que adotamos, é um acidente importante num traçado de estradas, porque é o ponto escolhido para a travessia de uma montanha, por ser seu ponto mais baixo. Os americanos dão a este acidente o nome sugestivo de "Saddle" (sela).

- Assentada: É uma área quase plana em zona montanhosa. Muitas vezes as assentadas existentes em um contraforte ou no fundo de um vale são utilizadas para se fazer a mudança de sentido nos traçados das estradas, formando as reversões, como indica a Figura 3.2.

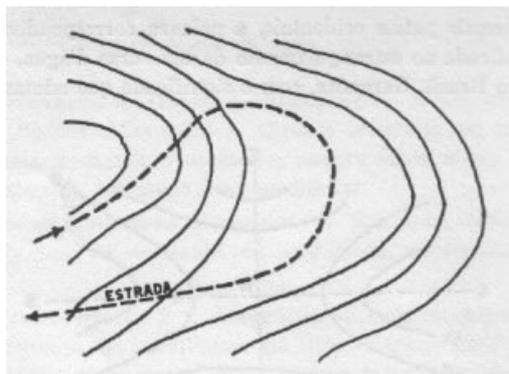


Figura 3.2: Reversões (Fonte: CARVALHO, 1967)

- Encostas, flancos ou vertentes de uma montanha: São as rampas que vão da linha de cumeada até a base da montanha. São as superfícies laterais inclinadas das montanhas. A denominação mais usada nos estudos rodoviários é a palavra encosta. A uma encosta escarpada dá-se o nome de despenhadeiro, ribanceira ou perambeira.
- Fralda de uma elevação: É a parte da encosta mais aproximada da baixada ou do fundo do vale.
- Morros: São elevações limitadas, íngremes, mas terrosas.
- Colina ou outeiro: É um morro achatado.
- Cochilha: É uma elevação extensa, formada por várias colinas, todas ligadas por nesgas de terra estreitas. É uma denominação peculiar ao Sul do Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul, onde é comum este tipo de elevação.
- Planalto ou Chapadão: É uma região mais ou menos plana e horizontal no conjunto, situada a grande altura. Quando existem vários planaltos separados por vales profundos, dá-se o nome de tabuleiro a cada um destes

chapadões. Planície é uma região aproximadamente plana de baixa altitude.

- Rio: É um grande curso d'água. Aos cursos d'água de menor importância, dá-se os nomes: ribeirão, córrego ou riacho, conforme a sua largura. Nas regiões onde só existem pequenos cursos d'água é comum chamar-se de rio a qualquer ribeirão. Na Amazônia denomina-se Igarapé a um curso d'água relativamente pequeno, mas que dê passagem a canoas. No Rio Grande do Sul, dá-se o nome de arroio a um pequeno curso d'água com leito amplo.

- Cachoeira: É um grande desnível existente no leito de um curso d'água, onde suas águas precipitam-se. Quando o leito do curso d'água é constituído de uma série de pequenos degraus, dá-se o nome de cascata. Se o desnível é forte, sem degraus, denomina-se corredeira. Uma pequena queda d'água denomina-se salto. • Boqueirão: É o estrangulamento de um curso d'água. Este termo veio substituir a "garganta dos cursos d'água", que não se quis adotar no Brasil.

- "Canyon" : "É uma garganta sinuosa e profunda, cavada por um curso d'água.

- Vale: É uma superfície côncava, formada por duas vertentes. O vale pode ser "aberto" se existe uma superfície plana entre as vertentes, ou "fechado" em caso contrário. Grota é um vale apertado, profundo e pouco extenso.

- Quebrada: É um trecho de vale cujas encostas são escarpadas e inacessíveis.

- Talvegue: É a linha formada pelos pontos mais profundos de um curso d'água. Num vale seco o talvegue é a linha do fundo do vale.

- Cabeceira: É a área do início do vale onde tem nascimento um curso d'água.

- Bacia Hidrográfica: É a área formada pelo conjunto de todos os terrenos cujas águas afluem para um certo curso d'água.

- Divisor de Águas: É a parte mais saliente do terreno, que separa as águas pluviais que correm para uma certa bacia. Denomina-se também linha das vertentes. O divisor de águas pode ter formas variadas, podendo ser uma crista quando o divisor for estreito, e dorso se for arredondado. No Sul do Brasil, dá-se o nome de lombada ao divisor arredondado, extenso e de declividade suave, que se encontra comumente nas cochilhas. Os traçados rodoviários percorrem, muitas vezes, essas lombadas.

- Desfiladeiro: É uma passagem estreita entre duas montanhas, entre uma montanha e um curso d'água ou entre uma montanha e o mar.

### **3.3. DESENVOLVIMENTO DE TRAÇADOS**

Aparentemente, a melhor solução para a ligação de dois pontos por meio de uma estrada consiste em seguir a diretriz geral. Isto seria possível caso não houvesse entre estes dois pontos nenhum obstáculo ou ponto de interesse que forçasse a desviar a estrada de seu traçado ideal.

Quando a declividade de uma região for íngreme, de modo que não seja possível lançar o eixo da estrada com declividade inferior a valores admissíveis, deve-se desenvolver traçado.

As Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 apresentam alguns exemplos de desenvolvimento de traçados.



Figura 3.3: Foto do desenvolvimento de traçado em zigzague  
(Fonte: PONTES FILHO, 1998)

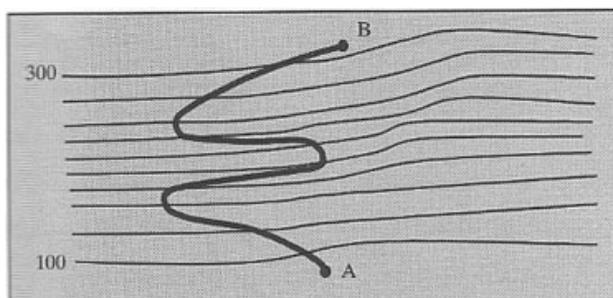


Figura 3.4: : Representação em planta do desenvolvimento de traçado em zigzague  
(Fonte: PONTES FILHO, 1998)

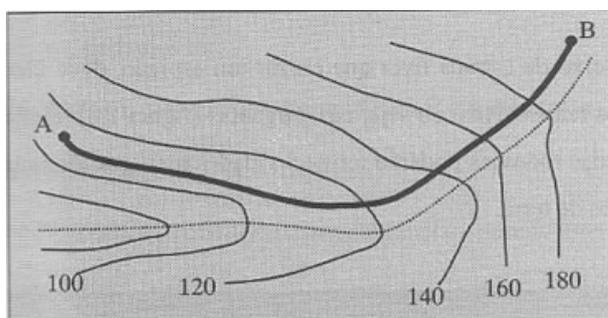


Figura 3.5: Desenvolvimento de traçado acompanhando o talvegue  
(Fonte: PONTES FILHO, 1998)

Quando o eixo da estrada acompanha as curvas de nível (vide Figura 3.6, apresentada a seguir), há uma redução do volume de material escavado. Esta redução ocorre porque, ao se acompanhar as curvas de nível, a plataforma da estrada cruzará menos com as mesmas.

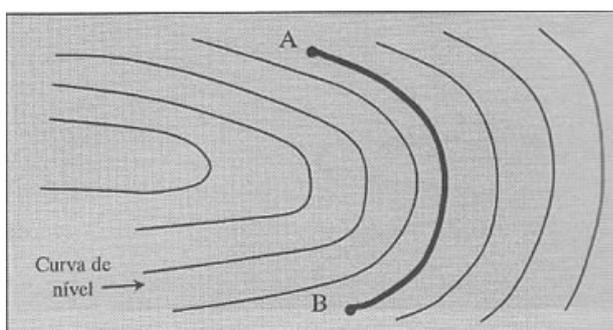


Figura 3.6: Desenvolvimento de traçado acompanhando as curvas de nível  
(Fonte: PONTES FILHO, 1998)

Quando o eixo da estrada tiver que cruzar um espigão, deve fazê-lo nos seus pontos mais baixos, ou seja, nas gargantas (Figura 3.7). Deste modo, as rampas das rodovias poderão ter declividades menores, diminuindo os movimentos de terra.

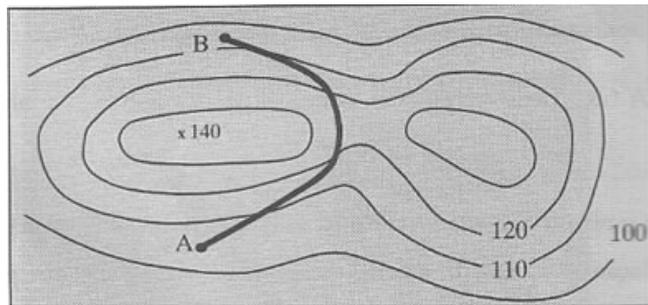


Figura 3.7: Diretriz cruzando espigão pela garganta (Fonte: PONTES FILHO, 1998)

Em regra, a garganta é transposta em corte, a fim de diminuir a declividade média e o Para ilustrar a situação, consideremos a Figura 3.8. Sendo:

H = diferença de cotas entre os pontos A e B;  
 L = distância horizontal entre os pontos A e B;  
 i = rampa máxima do projeto;  
 h = altura máxima de corte e aterro

temos as seguintes situações:

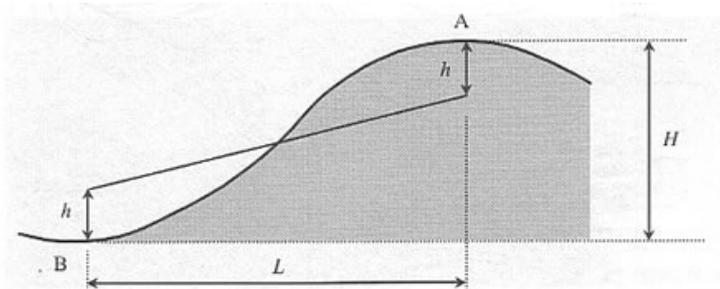


Figura 3.8: Transposição de gargantas (Fonte: PONTES FILHO, 1998)

- Se  $\frac{H}{L} < i$ , não é necessário desenvolver o traçado, cortar nem aterrar.
- Se  $\frac{H}{L} > i$ , podemos ter:
  - a)  $\frac{(H - 2h)}{L} < i$ , caso em que aterrando em B e cortando em A não será necessário desenvolver o traçado.
  - b)  $\frac{(H - 2h)}{L} > i$ , é necessário passar em túnel ou desenvolver o traçado.

[Anterior](#) | [Proximo](#)

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviários

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Tráfego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parábola Comp. Mínimo
15b - Ex. Parábola Simples
15c - Ex. Parábola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Área Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabolóides Final

## Capítulo 04

### NOÇÕES DE TRÁFEGO E CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS

#### 4.1. INTRODUÇÃO

No que diz respeito a uma rodovia, um dos principais elementos que vai determinar as suas características futuras é o tráfego que a mesma deverá suportar. O projeto geométrico de uma estrada de rodagem é condicionado, principalmente, pelo tráfego previsto para nela circular.

O tráfego permite o estabelecimento da Classe de Projeto da Estrada e o adequado dimensionamento de todos os seus elementos. Assim, um dos principais aspectos a considerar na Classificação Técnica das Estradas é, certamente, o aspecto operacional, o qual depende, basicamente, da demanda de tráfego, ou seja, o seu volume de tráfego.

#### 4.2. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DO TRÁFEGO

##### 4.2.1. Volume de Tráfego

É o principal parâmetro no estudo do tráfego. Por definição é o número de veículos que passa por uma determinada seção de uma estrada, num determinado intervalo de tempo. Dependendo do objetivo do estudo, os volumes podem ser referidos a um ou dois sentidos do movimento. Os volumes mais utilizados são os seguintes:

##### a) Volume Anual

É a quantidade total de veículos que passa numa estrada durante o período de um ano. Ele é utilizado quando se deseja estimar a receita para a implantação de pedágios, quando se quer determinar índice de acidentes ou quando se quer estudar as tendências de crescimento do volume para fins de determinação do volume de tráfego da estrada no ano-horizonte de projeto.

##### b) Volume Médio Diário (VMD)

É a quantidade média de veículos que passa numa seção da estrada, durante um dia. Muitas vezes o seu cálculo é efetuado tomando-se o Volume Anual e dividindo-o pelo número de dias do ano (365). Ele é utilizado para avaliar a distribuição do tráfego, medir a demanda atual de uma estrada, programação de melhorias, etc. É muito empregada, na linguagem corrente, a expressão equivalente Tráfego Médio Diário.

##### 4.2.2. Variações de Volume

Os fluxos de tráfego apresentam variações contínuas nos seus volumes. As variações de volume mais importantes ocorrem em função do tempo e de uma maneira cíclica. As principais variações são:

##### a) Variações Horárias

Refletem a variação do tráfego durante as vinte e quatro horas do dia. A flutuação padrão apresenta "picos" pela manhã e ao fim da tarde, coincidindo com os horários do início e fim de expediente administrativo, nas áreas urbanas. O intervalo das 12 às 14 horas também apresenta um volume relativamente alto, embora inferior aos de pico.

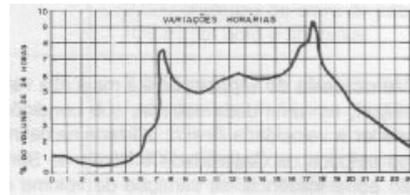


Figura 4.1: Gráfico representando a variação horária do volume de tráfego  
(Fonte: FONTES, 1995)

#### b) Variações Diárias e Semanais

São variações que ocorrem durante cada semana, conforme os dias da semana. De uma maneira geral, em vias urbanas, os volumes diários variam pouco no curso dos dias úteis da semana, com segunda-feira e sexta-feira apresentando valores um pouco acima da média e, os mínimos volumes ocorrem nos domingos e feriados. Em vias rurais, geralmente, observa-se um comportamento inverso àquele das vias urbanas. Normalmente, os maiores volumes ocorrem nos fins de semana e feriados.

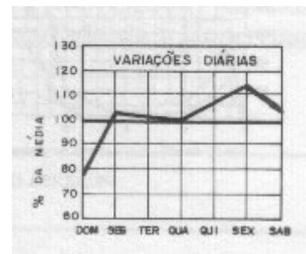


Figura 4.2: Gráfico representando a variação diária do volume de tráfego  
(Fonte: FONTES, 1995)

#### c) Variações Mensais

Ocorrem durante os diversos meses do ano, sendo a flutuação verificada através dos volumes observados mensalmente. As variações são mais sensíveis nas vias rurais do que nas urbanas, sofrendo influências ditas sazonais. A expressão sazonal deriva da palavra inglesa "Season", que significa estação, período, temporada. As influências sazonais são decorrentes, por exemplo, dos períodos de colheita, das férias escolares, etc.

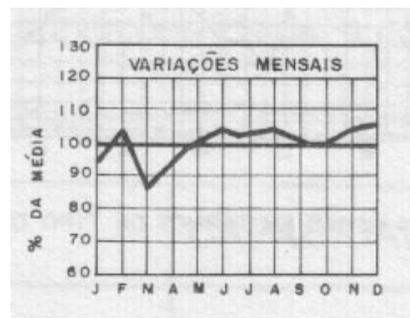


Figura 4.3: Gráfico representando a variação mensal do volume de tráfego  
(Fonte: FONTES, 1995)

#### d) Variações Anuais

São variações que ocorrem de ano para ano, como uma decorrência, basicamente, do desenvolvimento econômico da região, resultando no crescimento da demanda de tráfego. São informações relativas aos volumes anuais, que poderão ser utilizadas nos estudos de projeções de tráfego para obtenção da demanda no ano-horizonte de projeto

### 4.3. TIPOS DE TRÁFEGO EM UMA RODOVIA

Podemos classificar o tráfego de uma rodovia em 3 tipos principais:

#### 4.3.1. Tráfego Existente (Atual)

É o tráfego que utiliza a estrada no ano em que se faz o estudo. A determinação do tráfego existente de uma estrada é efetuada através de contagens volumétricas.

#### **4.3.2. Tráfego Desviado**

É o tráfego existente em outras estradas e que passa a utilizar a estrada em questão, no momento em que são realizados melhoramentos ou no momento em que é terminada a construção da mesma.

#### **4.3.3. Tráfego Gerado**

É o tráfego potencial que não existia e que passa a existir pelo efeito do melhoramento ou da construção, com conseqüente desenvolvimento da região. Sua determinação é bastante difícil e imprecisa. Ela é normalmente efetuada através de estudos econômicos.

### **4.4. COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO EM UMA RODOVIA**

A corrente de tráfego é composta por veículos que diferem entre si quanto ao tamanho, peso e velocidade. Sua composição é a medida, em porcentagem, dos diferentes tipos de veículos que a formam. Os veículos, de uma maneira geral, são classificados em leves (automóveis, camionetes, etc) e pesados (caminhões, ônibus, etc.).

Os veículos pesados, sendo mais lentos e ocupando maior espaço na pista, interferem na mobilidade dos outros veículos, acarretando uma diminuição da vazão de tráfego das vias. Assim, o efeito de um caminhão ou ônibus na corrente de tráfego é equivalente ao efeito de mais

de um automóvel. Em vista disso, é comum adotar um fator de equivalência e transformar um volume misto num volume equivalente de carros de passeio (UCP). Portanto, a influência dos caminhões, ônibus, e outros veículos maiores., na corrente de tráfego, é considerada em termos de sua equivalência em relação aos carros de passeio.

### **4.5. CONTAGENS DE TRÁFEGO EM UMA RODOVIA**

As contagens de tráfego são feitas com o objetivo de conhecer-se o número de veículos que passa através de um determinado ponto da estrada, durante um certo período, podendo-se determinar o Volume Médio Diário (VMD), a composição do tráfego, etc.. Tais dados servem para a avaliação do número de acidentes, classificação das estradas e fornecem subsídios para o planejamento rodoviário, projeto geométrico de estradas, estudos de viabilidade e projetos de construção e conservação. Permitem, ainda, aglomerar dados essenciais para a obtenção de séries temporais para análise de diversos elementos, tais como a tendência de crescimento do tráfego e variações de volume.

Na avaliação do tráfego existente de uma estrada faz-se contagens volumétricas em Postos Permanentes (contagem 24 horas por dia, o ano todo), Postos Sazonais (contagem com vista às safras, ao turismo, festas regionais, etc) e em Postos de Cobertura (contagem uma vez por ano, durante 48 horas, com vistas à determinação do VMD). Estas contagens permitem, quando estatisticamente representativas, estabelecer tendências de crescimento do tráfego, bem como permitir fazer correções nos dados de tráfego obtidos, considerando as variações porventura existentes.

Desta forma, poder-se-á fazer projeções de tráfego para o ano-horizonte, definidor da Classe de Projeto da Estrada (Classificação Técnica), projeções estas também úteis na programação de melhorias na malha rodoviária.

### **4.6. CAPACIDADE DE ESCOAMENTO DE TRÁFEGO DE UMA RODOVIA**

Capacidade de uma via (rua ou estrada) é o número máximo de veículos que pode passar por uma determinada seção, em uma direção ou ambas, durante a unidade de tempo, nas condições normais de tráfego e da via. A capacidade nunca poderá ser excedida sem que se modifiquem as condições da via considerada.

A capacidade de uma via depende de quanto as condições físicas e de tráfego, prevalentes na referida via distanciam-se das condições consideradas ideais. Para efeito

de análise, define-se como condições ideais:

#### 4.6.1. Condições Físicas

- Largura da faixa de tráfego maior ou igual a 3,60 metros;
  - Existência de acostamento e que tenha uma distância lateral livre de 1,80 m, sem qualquer obstáculo que reduza a visibilidade;
  - Existência de canteiro central (separador);
  - Altura livre mínima sobre a via de 4,50 m (gabarito vertical);
  - Existência de faixas especiais de aceleração, desaceleração e de retorno nos cruzamentos;
  - Pavimento em boas condições de uso;
  - Rampa máxima de 2%;
  - Existência de distância de visibilidade igual ou superior a 450 m.
- #### 4.6.2. Condições de Tráfego
- Tráfego composto exclusivamente de veículos de passeio;
  - Existência de controle total de acesso;
  - Fluxo contínuo, livre de interferências laterais de veículos e pedestres.

A Capacidade de uma via foi definida anteriormente para condições ideais. Diversos estudos chegaram a fatores de correção que restringem a capacidade de uma via quando não atendidas, especificamente, cada uma das condições consideradas ideais. Caso sejam atendidas todas as condições ideais, a capacidade de tráfego das diversas vias são as seguintes, conforme indica a Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Capacidade Teórica das vias

TIPO DE VIA	CAPACIDADE TEÓRICA
Via com várias faixas de tráfego	2.000 UCP por hora e por faixa.
Via de duas faixas de tráfego e com duas mãos de direção	2.000 UCP por hora, total em ambas as direções.

É muito importante o conhecimento do valor da Capacidade, pois ela dá o valor limite do número de veículos que poderá passar por uma dada seção. Porém, além desse valor, deve-se levar em conta as condições de operação da via. Para medir as diversas condições de operação, desenvolveu-se o conceito de Níveis de Serviço.

#### 4.7. NÍVEIS DE SERVIÇO

O conceito de Nível de Serviço está associado às diversas condições de operação de uma via, quando ela acomoda diferentes volumes de tráfego.

É uma medida qualitativa do efeito de uma série de fatores, tangíveis e intangíveis, que para efeito prático é estabelecido apenas em função da velocidade desenvolvida na via e da relação entre o volume de tráfego e a capacidade da via (V/C).

Qualquer seção de uma via pode operar em diferentes níveis de serviço, dependendo do instante considerado. De acordo com o "Highway Capacity Manual", foram classificados 6 níveis de serviço, desde o A (condições ideais de escoamento livre) até o F (congestionamento completo). Os diversos níveis de serviço são assim definidos:

- NÍVEL A:

Condição de escoamento livre, acompanhada por baixos volumes e altas velocidades. A densidade do tráfego é baixa, com velocidade controlada pelo motorista dentro dos limites de velocidade e condições físicas da via. Não há restrições devido a presença de outros veículos. Na Figura 4.4 apresenta-se o correspondente ao Nível A.

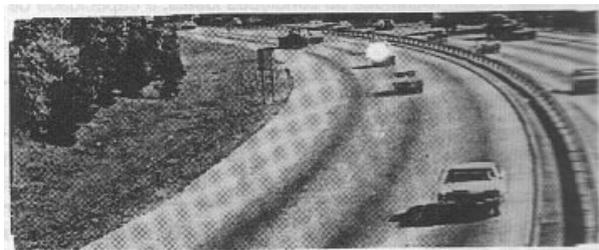


Figura 4.4: Nível de Serviço "A" (Fonte: FONTES, 1995)

• NÍVEL B:

Fluxo estável, com velocidades de operação a serem restringidas pelas condições de tráfego. Os motoristas possuem razoável liberdade de escolha da velocidade e ainda têm condições de ultrapassagem. Veja Figura 4.5



Figura 4.5: Nível de Serviço "B" (Fonte: FONTES, 1995)

• NÍVEL C:

Fluxo ainda estável, porém as velocidades e as ultrapassagens já são controladas pelo alto volume de tráfego. Portanto, muitos dos motoristas não têm liberdade de escolher faixa e velocidade. É a situação da via apresentada na Figura 4.6.



Figura 4.6: Nível de Serviço "C" (Fonte: FONTES, 1995)

• NÍVEL D:

Próximo à zona de fluxo instável, com velocidades de operação toleráveis, mas consideravelmente afetadas pelas condições de operação, cujas flutuações no volume e as restrições temporárias podem causar quedas substanciais na velocidade de operação. Observe a Figura 4.7.



Figura 4.7: Nível de Serviço "D" (Fonte: FONTES, 1995)

• NÍVEL E:

É denominado também de Nível de Capacidade. A via trabalha a plena carga e o fluxo é instável, sem condições de ultrapassagem. Uma via operando em Nível de Serviço "E" pode ser representada pelo que está mostrado na Figura 4.8



Figura 4.8: : Nível de Serviço "E" (Fonte: FONTES, 1995)

• NÍVEL F:

Descreve o escoamento forçado, com velocidades baixas e com volumes abaixo da capacidade da via. Formam-se extensas filas que impossibilitam a manobra. Em situações extremas, velocidade e fluxo podem reduzir-se a zero. A Figura 4.9 mostra uma via operando em Nível "F".



Figura 4.9: Nível de Serviço "F" (Fonte: FONTES, 1995)

A literatura especializada em Engenharia de Tráfego apresenta, de forma detalhada, a metodologia que permite determinar a Capacidade e o Nível de serviço de qualquer trecho de uma via.

#### **4.8. CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS**

Os principais tipos de classificação são:

##### **4.8.1. Quanto à posição geográfica:**

As rodovias federais no Brasil são identificadas pela sigla BR, seguindo-se um traço, uma centena, uma barra e outra sigla correspondente ao estado da federação onde está implantada.

##### **Exemplos:**

BR-101/BA (Trecho de Rodovia Federal localizada no estado da Bahia).

BR-101/RS (Trecho de Rodovia Federal localizada no estado do Rio Grande do Sul).

O primeiro algarismo define a direção dominante da rodovia. Ter-se-á, portanto, o seguinte:

- 0 → Rodovias Radiais;
- 1 → Rodovias Longitudinais;
- 2 → Rodovias Transversais;
- 3 → Rodovias Diagonais;
- 4 → Rodovias de Ligação;

a) Rodovias Radiais: são aquelas que partem de Brasília, em qualquer direção, para ligá-la às capitais estaduais ou a pontos periféricos importantes do País. Ex.: BR-040. (Brasília - Rio de Janeiro).

b) Rodovias Longitudinais: aquelas que têm direção predominantemente Norte-Sul e que, por força de sua grande extensão (maior que 200 km), constituem, em geral, vias de ligação nacional. Ex.: BR-116 (Fortaleza - Jaguarão).

c) Rodovias Transversais: São as que têm direção predominantemente Leste-Oeste e que, normalmente, possuem extensão maior que 200 km. Ex.: BR-230 (Transamazônica).

d) Rodovias Diagonais: possuem direção oblíqua em relação aos paralelos, ou seja, direções Nordeste-Sudoeste ou Noroeste-Sudeste. Assim, podemos ter:

- Diagonais Ímpares: têm direção geral nordeste - sudoeste (NE-SO). Ex. BR-319 (Manaus - Porto Velho).

- Diagonais Pares: têm direção geral noroeste-sudeste (NO-SE). Ex.: BR-316 (Belém - Maceió).

e) Rodovias de Ligação: em geral essas rodovias ligam pontos importantes das outras categorias. Embora sejam estradas de ligação, chegam a ter grandes extensões, como a BR-407, com 1251 km. Já a BR-488 é a menor de todas as rodovias federais, com apenas 1 km de extensão. Esta rodovia faz a conexão da BR-116 com o Santuário Nacional de Aparecida, no Estado de São Paulo.

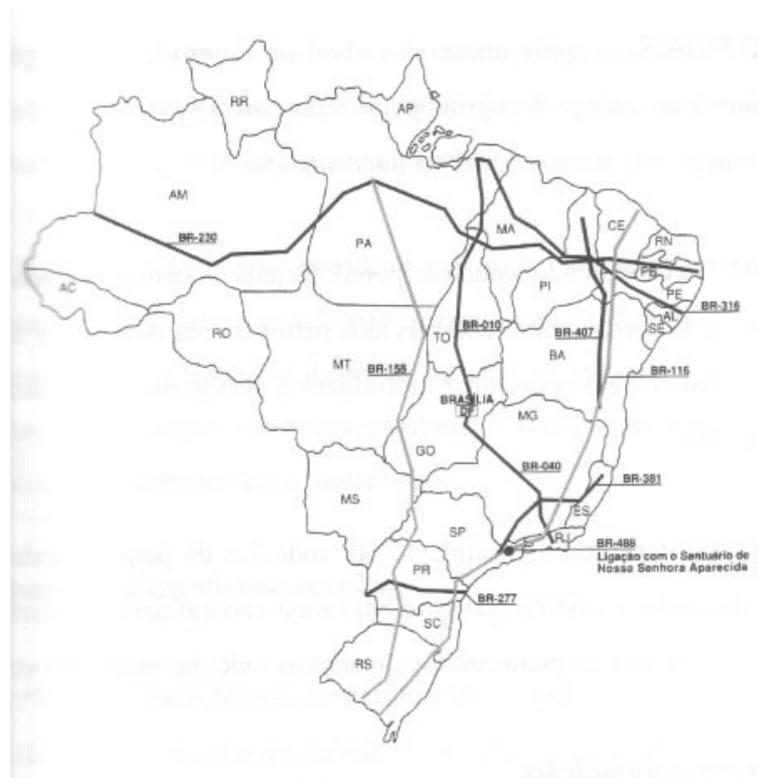


Figura 4.10: Exemplos de rodovias federais (Fonte: PONTES FILHO, 1998)

As rodovias estaduais trazem a sigla do estado, seguida de um traço e, logo a seguir, uma centena. Cada estado da Federação tem uma maneira própria de classificar essa centena, não havendo, ainda, uma normatização única para todos eles.

Exs.: RS-389, RS-734, SC-404

As RODOVIAS MUNICIPAIS também não possuem uma normatização única quanto à denominação.

#### 4.8.2. Quanto à função

A classificação funcional rodoviária é o processo de agrupar rodovias em sistemas e classes, de acordo com o tipo de serviço que as mesmas proporcionam e as funções que

exercem. Quanto à função, as rodovias classificam-se em:

a) Rodovias Arteriais: proporcionam alto nível de mobilidade para grandes volumes de tráfego. Sua principal função é atender ao tráfego de longa distância, seja internacional ou interestadual.

b) Rodovias Coletoras: atende a núcleos populacionais ou centros geradores de tráfego de menor vulto, não servidos pelo Sistema Arterial. A função deste sistema é proporcionar mobilidade e acesso dentro de uma área específica.

c) Rodovias Locais: constituídas geralmente por rodovias de pequena extensão, destinadas basicamente a proporcionar acesso ao tráfego intramunicipal de áreas rurais e de pequenas localidades às rodovias mais importantes.

#### **4.8.3. Quanto à jurisdição:**

a) Estradas Federais: é, em geral, uma via arterial e interessa diretamente à Nação, quase sempre percorrendo mais de um Estado. São construídas e mantidas pelo governo federal.

b) Estradas Estaduais: são as que ligam, entre si, cidades e a capital de um estado. São construídas e mantidas pelo governo estadual. Têm usualmente a função de arterial ou coletora.

c) Estradas Municipais: são construídas pelo governo municipal e se destinam ao interesse deste.

d) Estradas Vicinais: são, em geral, estradas municipais, pavimentadas ou não, de um

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviários

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Tráfego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distância Visibilidade
08 - Concordâncias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parábola Comp. Mínimo
15b - Ex. Parábola Simples
15c - Ex. Parábola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Área Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabarabolas Final

## Capítulo 05

### ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DAS ESTRADAS DE RODAGEM

#### 5.1. INTRODUÇÃO

A geometria de uma estrada é definida pelo traçado do seu eixo em planta e pelos perfis longitudinal e transversal. A Fig. 5.1, apresentada a seguir, resume os principais elementos geométricos de uma estrada.

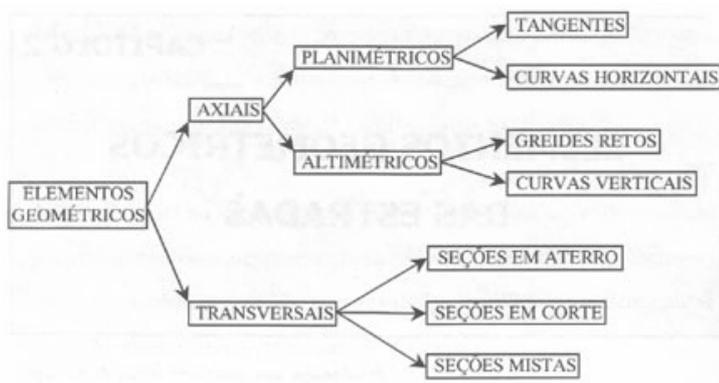


Fig. 5.1: Elementos geométricos de uma estrada  
(Fonte: PONTES FILHO, 1998)

#### 5.2. ELEMENTOS PLANIMÉTRICOS DE UMA ESTRADA:

Eixo de uma estrada é o alinhamento longitudinal da mesma. O estudo de um traçado rodoviário é feito com base neste alinhamento. Nas estradas de rodagem, o eixo localiza-se na região central da pista de rolamento.

A apresentação de um projeto em planta consiste na disposição de uma série de alinhamentos retos, concordados pelas curvas de concordância horizontal.

- Alinhamentos Retos  $\Rightarrow$  São os trechos retos situados entre duas curvas de concordância; por serem tangentes a essas mesmas curvas, são denominados simplesmente tangentes. Os alinhamentos retos restantes são chamados de tangentes externas.

Um alinhamento caracteriza-se:

- Pela sua extensão (comprimento);
- Pela sua posição RELATIVA ou ABSOLUTA.
- Posição Absoluta  $\Rightarrow$  quando se refere ao azimute, sendo a referência a linha Norte-Sul.
- Posição Relativa  $\Rightarrow$  quando se refere à deflexão, ou seja, o ângulo que um alinhamento precedente faz com o precedente.

Consideremos a Fig. 5. 2, apresentada a seguir, mostrando o eixo de um trecho de uma estrada de rodagem:

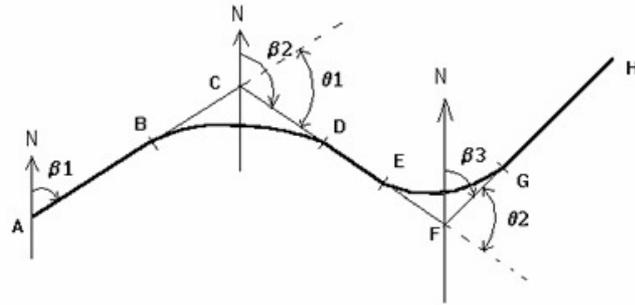


Fig. 5. 2: Eixo de um trecho de estrada de rodagem  
(Fonte: COMASTRI e CARVALHO, 1981)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3 \Rightarrow$  São os azimutes dos alinhamentos.

AZIMUTE  $\Rightarrow$  É o ângulo que a direção faz com o norte magnético, medido no sentido horário.

$\theta_1, \theta_2 \Rightarrow$  São os ângulos de deflexão.

ABDEGH,,  $\Rightarrow$  São as Tangentes.

BCCDEFFG,,  $\Rightarrow$  São as Tangentes Externas.

BD, EG  $\Rightarrow$  Desenvolvimento das curvas de concordância.

### 5.3. CURVAS DE CONCORDÂNCIA HORIZONTAL

As curvas de concordância horizontal são os elementos utilizados para concordar os alinhamentos retos. Essas curvas podem ser classificadas em:

5.3.1. Curvas Simples: quando só são empregadas curvas circulares, como indica a Fig. 5. 3.

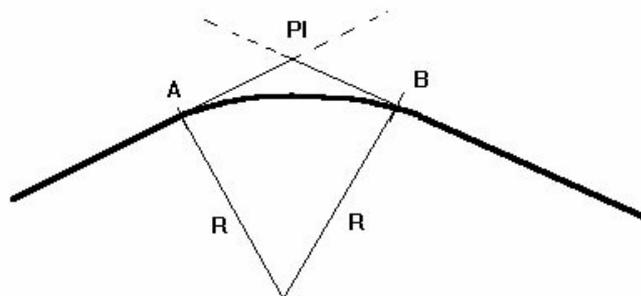


Fig. 5. 3: Curva Circular Simples

#### 5.3.2. Curvas Compostas:

a) **Sem Transição:** quando se utilizam dois ou mais arcos de curvas circulares de raios diferentes, para concordar os alinhamentos retos.

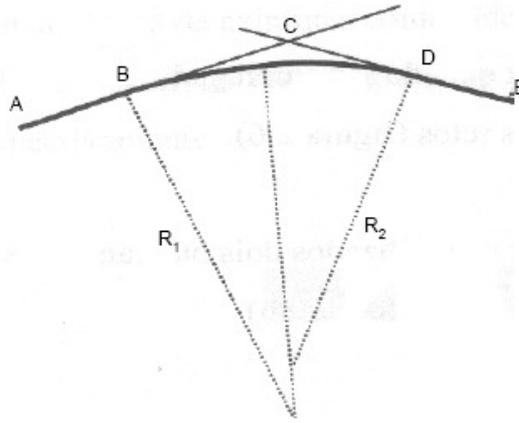


Fig. 5. 4: Curva Horizontal Composta sem Transição

**b) Com Transição:** quando se empregam as radióides na concordância dos alinhamentos retos.

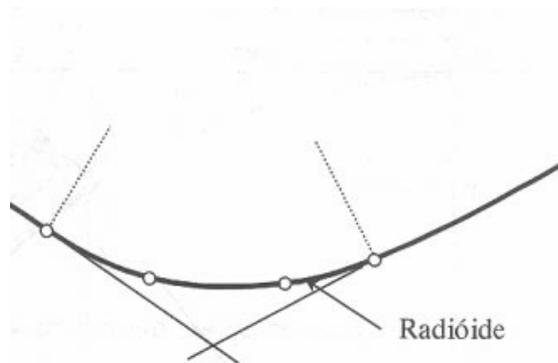


Fig. 5. 5: Curva Horizontal Composta com Transição

Quando duas curvas se cruzam em sentidos opostos com o ponto de tangência em comum, recebem o nome de Curvas Reversas, conforme mostra a Fig. 5. 6.

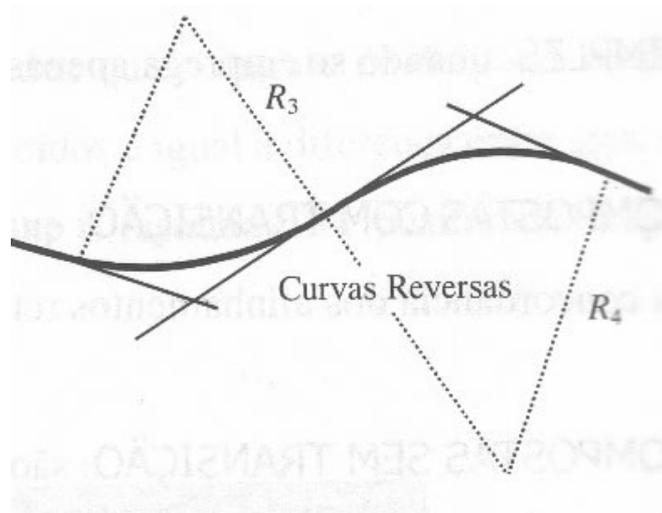


Fig. 5. 6: Curvas Horizontais Reversas

## 5.4. ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS DE UMA ESTRADA

### 5.4.1. Perfil Longitudinal do Terreno

É a representação no plano vertical das diferenças de nível, cotas ou altitudes, obtidas do resultado de um nivelamento feito ao longo do eixo de uma estrada.

### 5.4.2. Greide de uma estrada

São linhas de declividade uniforme que tem como finalidade substituir as irregularidades naturais do terreno, possibilitando o seu uso para fins de projeto. A sua representação, no plano vertical, corresponde a um perfil constituído por um conjunto de retas, concordado por curvas, que, no caso de um projeto rodoviário, irá corresponder ao nível atribuído à estrada.

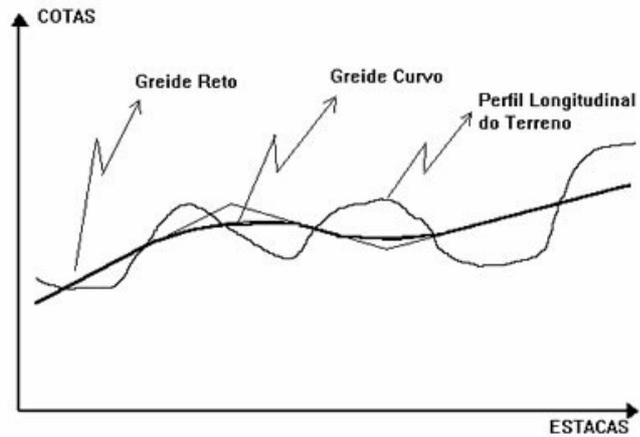


Fig. 5. 7: Perfil Longitudinal e Greide de uma estrada

#### a) Greides Retos

Quando possuem uma inclinação constante em um determinado trecho. Podem ser:

- $> 0$   $\Rightarrow$  quando a tangente do ângulo de inclinação com a horizontal for positiva;
- $= 0$   $\Rightarrow$  quando a tangente do ângulo de inclinação com a horizontal for igual a zero.
- $< 0$   $\Rightarrow$  quando a tangente do ângulo de inclinação com a horizontal for negativa.

#### b) Greides Curvos

Quando se utiliza uma curva de concordância para concordar os greides retos. A curva normalmente utilizada para este tipo de concordância é a Parábola do 2º grau.

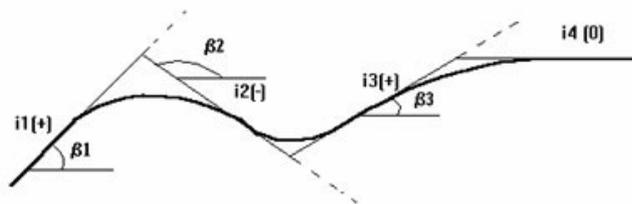


Fig. 5. 8: Greides Retos e Greides Curvos

### 5.4.3. Seção Transversal do Terreno (ou Perfil Transversal do Terreno)

É a representação, no plano vertical, das diferenças de nível, obtidas do resultado de um nivelamento, normal em cada estaca, pertencente ao alinhamento da estrada, conforme indica a .. Fig. 5. 9

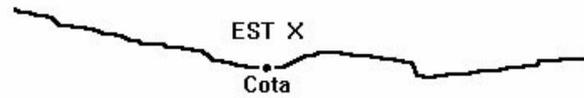


Fig. 5.9: Perfil Transversal do Terreno

#### 5.4.4. Seção Transversal da Estrada (ou Perfil Transversal da Estrada)

Seção transversal é a representação geométrica, no plano vertical, de alguns elementos dispostos transversalmente, em determinado ponto do eixo longitudinal da estrada. Poderemos ter seção em corte, seção em aterro ou seção mista.

Seção em Corte : corresponde à situação em que a rodovia resulta abaixo da superfície do terreno natural, conforme indica a Fig. 5.10.

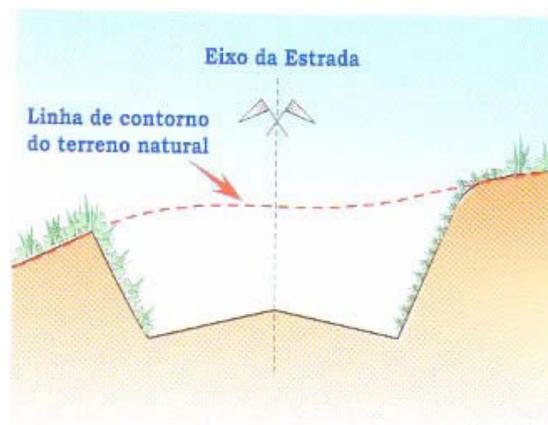


Fig. 5.10: Seção em corte

Seção em Aterro: corresponde à situação contrária, isto é, com a rodovia resultando acima do terreno natural, conforme indica a Fig. 5.11.

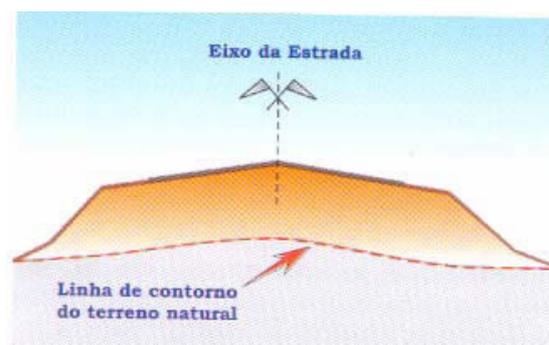


Fig. 5.11: Seção em aterro

Seção Mista: ocorre quando, na mesma seção, a rodovia resulta de um lado, abaixo do terreno natural, e do outro, acima do terreno natural, conforme representado na Fig. 5.12.

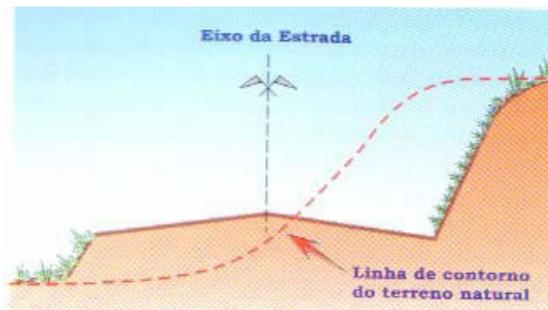


Fig. 5.12: Seção mista

**5.5. ALGUMAS RECOMENDAÇÕES SOBRE OS PRINCIPAIS ELEMENTOS COMPONENTES DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA RODOVIA**

A Fig. 5.13 apresenta um esquema elucidativo de uma seção transversal de uma estrada e os principais elementos de projeto

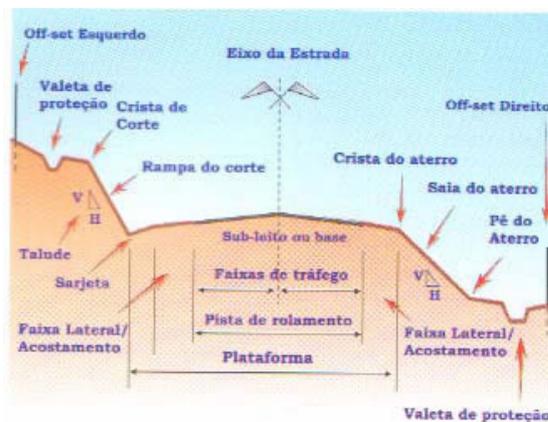
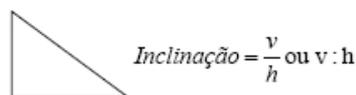


Fig. 5.13: Alguns componentes da seção transversal de uma rodovia

**5.5.1. Taludes**

Talude é a forma de caracterizar a inclinação da saia do aterro ou a rampa do corte, expresso pela relação  $v : h$  entre os catetos vertical ( $v$ ) e horizontal ( $h$ ) de um retângulo, cuja hipotenusa coincide com a superfície inclinada (matematicamente, o talude expressa a tangente do ângulo que a superfície inclinada forma com o horizonte). Um talude na proporção 3:2 significa que a cada 2 m de avanço no plano horizontal teremos 3m no plano vertical.



$$\text{Inclinação} = \frac{v}{h} \text{ ou } v : h$$

Fig. 5.14: Inclinação dos taludes

**a) Talude de Corte**

A inclinação desses taludes deve ser tal que garanta a estabilidade dos maciços, evitando o desprendimento de barreiras. A inclinação deste tipo de talude é variável com a natureza do terreno, sendo que as Normas para projeto de estradas recomendam o seguinte:

- Terrenos com possibilidade de escorregamento ou desmoronamento:  $V/H = 1/1$ ;
- Terrenos sem possibilidade de escorregamento ou desmoronamento:  $V/H = 3/2$ ;
- Terrenos de rocha viva: Vertical.

**b) Talude de Aterro**

A inclinação deste tipo de talude depende da altura do aterro, sendo que as Normas recomendam o seguinte:

- Aterros com menos de 3,00 m de altura máxima:  $V/H = 1/4$ ;
- Aterros com mais de 3,00 m de altura máxima:  $V/H = 1/2$ .

### 5.5.2. Sarjetas

Sarjeta é o dispositivo de drenagem superficial, nas seções de corte. Tem como objetivo coletar as águas de superfície, conduzindo-as longitudinalmente para fora do corte.

a) Rampas das Sarjetas:

- Na parte contígua ao acostamento: 25 %;
- Na parte contígua ao corte: a mesma inclinação deste talude.

b) Distância Horizontal entre o início da sarjeta, a partir do acostamento, e o seu ponto mais baixo, deverá variar:

- Entre 2,00 m e 1,50 m (Classe Especial e Classe I);
- Maior ou igual a 1,00 m (Classe II e III).

### 5.5.3. Faixas de Tráfego (ou Faixa de Rolamento)

É o espaço dimensionado e destinado à passagem de um veículo por vez.

A largura das faixas de rolamento é obtida adicionando-se à largura do veículo de projeto a largura de uma faixa de segurança, função da velocidade de projeto e do nível de conforto de viagem que se deseja proporcionar. Os valores básicos recomendados para a largura de uma faixa de rolamento pavimentada em tangente estão na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Largura das faixas de rolamento, em tangente, em função do relevo e da classe de projeto (m)

CLASSES DE PROJETO	RELEVO		
	PLANO	ONDULADO	MONTANHOSO
0	3,60	3,60	3,60
I	3,60	3,60	3,50
II	3,60	3,50	3,30
III	3,50	3,30	3,30
IV-A	3,00	3,00	3,00
IV-B	2,50	2,50	2,50

#### 5.5.4. Pista de Rolamento

É o espaço correspondente ao conjunto das faixas de tráfego contíguas.

#### 5.5.5. Acostamento e Faixa Lateral

É o espaço adjacente às faixas de tráfego que é destinado à parada emergencial de veículos, não sendo em geral dimensionado para suportar o trânsito de veículos (que pode ocorrer em caráter esporádico); nas seções em aterro, os acostamentos externos poderão incluir uma largura adicional (não utilizável pelos veículos) destinada à instalação de dispositivos de sinalização (placas) ou de segurança ("guard-rails").

Todas as vias rurais deverão possuir acostamentos, pavimentados ou não. Quando pavimentados, os acostamentos contribuem para conter e suportar a estrutura do pavimento da pista. A Tabela 5.2 resume as larguras de acostamentos a serem adotados para as diversas classes de projeto

Tabela 5.2: Largura dos acostamentos externos (m)

CLASSES DE PROJETO	RELEVO		
	PLANO	ONDULADO	MONTANHOSO
0	3,00	3,00	3,00
I	3,00	2,50	2,50
II	2,50	2,50	2,00
III	2,50	2,00	1,50
IV-A	1,30	1,30	0,80
IV-B	1,00	1,00	0,50

## 5.5.6. Plataforma

É a porção da estrada compreendida entre os bordos externos dos acostamentos / faixas laterais, acrescida das sarjetas e / ou larguras adicionais, conforme se trate de seções de corte, de aterro ou mistas.

## 5.5.7. Saia do Aterro

É a superfície lateral (geralmente inclinada) que resulta da conformação de uma seção de aterro; a interseção dessa superfície com o terreno natural é denominada pé do aterro, sendo sua interseção com a plataforma denominada crista do aterro.

## 5.5.8. Rampa do Corte

É a superfície lateral (geralmente inclinada) que resulta da conformação de uma seção de corte. A interseção dessa superfície com a superfície da plataforma é denominada pé do corte, sendo a interseção com o terreno natural denominado crista do corte.

## 5.5.9. Off-sets

São dispositivos (geralmente varas ou estacas) que servem para referenciar a posição das marcas físicas correspondentes às cristas dos cortes ou dos pés dos aterros, colocados em pontos afastados por uma distância fixa convencionada (daí a denominação, do original em inglês, que designa afastamento). Seu objetivo é facilitar a reposição das marcas, se arrancadas durante a construção dos cortes ou dos aterros.

## 5.5.10. Crista de Corte

Ponto limite da conformação dos taludes de corte.

## 5.5.11. Pé de Aterro

Ponto limite da saia dos aterros.

## 5.5.12. Faixa de Domínio

É a faixa desapropriada para a construção da estrada. Tem, normalmente, 50 m de largura, podendo eventualmente apresentar 30, 80, 100 m, de acordo com a categoria da estrada.

Tabela 5.3: Faixas de Domínio - Valores Mínimos (m)

CLASSES	REGIÕES		
	PLANAS	ONDULADAS	MONTANHOSAS
I	60	70	80
II	30	40	50
III	30	40	50

Tabela 5.4: faixas de domínio - valores mínimos (m) - para projetos de melhoramentos de estradas com

custos de desapropriação muito altos

Nº DE FAIXAS DE TRÁFEGO	ZONAS URBANAS OU PROXIMAMENTE URBANAS	ZONAS RURAIS
2	20	30
4	40	60

[Anterior](#) | [Posterior](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capitulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabolabolos Final

## Capitulo 06

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA PROJETO DE ESTRADAS DE RODAGEM**

#### **6.1. INTRODUÇÃO**

Projeto geométrico é a fase do projeto de estradas que estuda as diversas características geométricas do traçado, principalmente em função das leis do movimento, características de operação dos veículos, reação dos motoristas, segurança e eficiência das estradas e volume de tráfego.

Características geométricas inadequadas são causas de acidentes de tráfego, baixa eficiência e obsolescência precoce das estradas. Os diversos elementos geométricos devem ser escolhidos de forma que a estrada possa atender aos objetivos para os quais foi projetada, de modo que o volume de tráfego justifique o investimento realizado.

#### **6.2. CLASSIFICAÇÃO DOS TERRENOS OU REGIÕES**

Segundo as normas técnicas, as características técnicas das estradas são estabelecidas em função da Classe da Estrada e da Região onde ela será construída. Originalmente, a Norma de estradas do DNER estabeleceu 3 tipos de regiões: plana, ondulada e montanhosa. Posteriormente, foi também incluída na classificação a região escarpada. A Tabela 6.1 apresenta esta classificação.

**Tabela 6. 1: Tipos de terrenos ou regiões**

REGIÃO	Critério Adotado (medida ao longo da diretriz ou linha de ensaio)
Plana	declividades até 8 %
Ondulada	declividades entre 8 e 20%
Montanhosa	declividades maiores do que 20%
Escarpada	declividades bem superiores a 20%

#### **6.3. VELOCIDADE DE PROJETO OU VELOCIDADE DIRETRIZ**

A American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) define velocidade de projeto (ou velocidade diretriz) como a máxima velocidade que um veículo pode manter, em determinado trecho, em condições normais, com segurança.

A velocidade de projeto é a velocidade selecionada para fins de projeto da via e que condiciona as principais características da mesma, tais como raios de curvatura, superelevação e distâncias de visibilidade, das quais depende a operação segura e confortável dos veículos. A velocidade de projeto de um determinado trecho de estrada deve ser coerente com a topografia da região e a classe da rodovia.

Em uma determinada estrada deve-se sempre adotar uma única velocidade de projeto, usando-se velocidades diferentes em casos especiais. A variação acentuada na topografia da região é um motivo para o uso de trechos com velocidades de projeto diferentes. Um dos principais fatores que governam a adoção de valores para a velocidade diretriz é o custo de construção resultante. Velocidades diretrizes elevadas requerem características geométricas mais amplas (principalmente no que se refere a curvas verticais e horizontais, acostamentos e larguras) que geralmente elevam consideravelmente o custo de construção.

Definida a velocidade de projeto, a maioria das características geométricas serão calculadas em função dessa velocidade. A Tabela 6.2 resume os valores das velocidades diretrizes a serem adotadas para as diferentes classes de projeto.

Tabela 6. 2: Velocidades de projeto ou velocidade diretriz (km/h)

CLASSES DE PROJETO		REGIÃO		
		PLANA	ONDULADA	MONTANHOSA
0		100	100	80
I	A	100	80	60
	B	100	80	60
II		80	70	50
III		70	60	40
IV	A	60	40	30
	B	60	40	30

#### 6.4. VELOCIDADE DE OPERAÇÃO

Circunstâncias locais poderão exigir a fixação de uma velocidade inferior à velocidade de projeto denominada velocidade de operação. Dessa forma, a velocidade de operação é definida como sendo a mais alta velocidade permitida aos veículos, sem atingir a velocidade de projeto, estabelecida por condições locais.

A velocidade de operação é utilizada nos estudos de capacidade e níveis de serviço da via.

#### 5. VEÍCULOS DE PROJETO

Denomina-se veículo de projeto o veículo teórico de uma certa categoria, cujas características físicas e operacionais representam uma envoltória das características da maioria dos veículos existentes nessa categoria. Essas características condicionam diversos aspectos do dimensionamento geométrico de uma via, tais como:

- A largura do veículo de projeto influencia na largura da pista de rolamento, dos acostamentos e dos ramos de interseções;
- A distância entre eixos influi no cálculo da Superlargura e na determinação dos Raios Mínimos internos e externos das pistas dos ramos das interseções;
- O comprimento total do veículo influencia a largura dos canteiros, a extensão das faixas de espera, etc;
- A relação peso bruto total / potência influencia o valor da rampa máxima e participa na determinação da necessidade de faixa adicional de subida;
- A altura admissível para os veículos influi no gabarito vertical.

A escolha do veículo de projeto deve levar em consideração a composição do tráfego que utiliza ou utilizará a rodovia, obtida de contagens de tráfego ou de projeções que considerem o futuro desenvolvimento da região.

Existem quatro grupos básicos de veículos de projeto a serem adotados, conforme as características predominantes do tráfego (no Brasil, normalmente o veículo CO):

- VP: Veículos de passeio leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo utilitários, pickups, furgões e similares;
- CO: Veículos comerciais rígidos, compostos de unidade tratora simples. Abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de 2 eixos e 6 rodas;
- SR: Veículos comerciais articulados, compostos normalmente de unidade tratora simples e semi-reboque;
- O: Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões que o veículo CO básico, como ônibus de longo percurso e de turismo, e caminhões longos.

A Tabela 6.3 resume as principais dimensões básicas dos veículos de projeto recomendados para utilização nos projetos geométricos de rodovias no Brasil.

Tabela 6.3: Dimensões básicas dos veículos de projeto (m)

CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO	VEÍCULO DE PROJETO			
	VP	CO	O	SR
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8
Raio mínimo da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7
Raio mínimo da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0

As dimensões básicas dos veículos de projeto estão representadas graficamente nas Figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4, apresentadas a seguir.

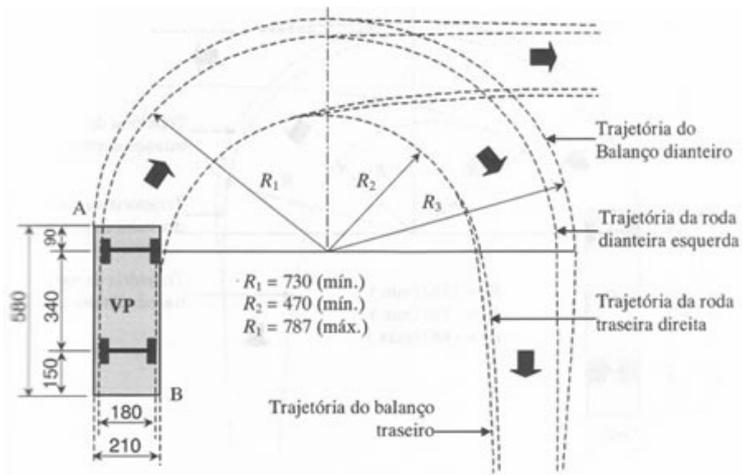


Fig. 6. 1: Dimensões do veículo de projeto VP (cm)

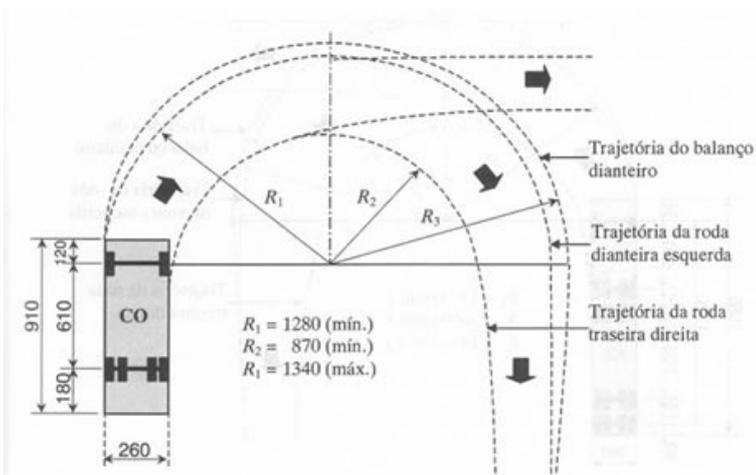


Fig. 6. 2: Dimensões do veículo de projeto CO (cm)

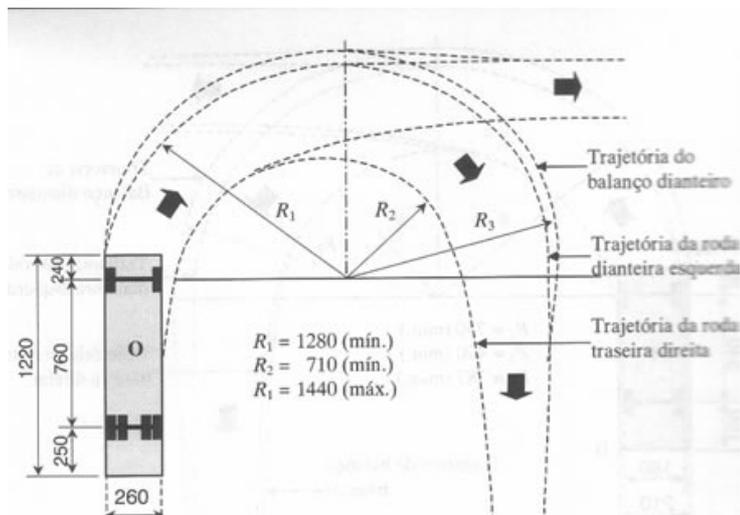


Fig. 6. 3: Dimensões do veículo de projeto O (cm).

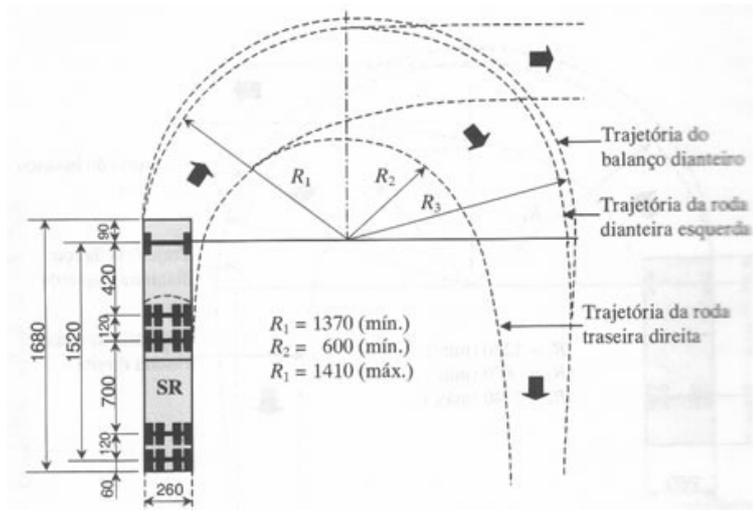


Fig. 6. 4: Dimensões do veículo de projeto SR (cm)

[Anterior](#) | [Proximo](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Tráfego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distância Visibilidade
08 - Concordâncias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Mínimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabolabolos Final

## Capítulo 07

### DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE NAS RODOVIAS

#### 7.1. FINALIDADES

- Fornecer dados para o cálculo do comprimento da curva de concordância vertical convexa das rodovias;
- Fornecer elementos para marcação de banquetas de visibilidade dos cortes em curva;
- Fornecer elementos para sinalização das rodovias.

#### 7.2. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA ( $D_p$ )

É a distância mínima necessária para que um veículo que percorre uma estrada possa parar antes de atingir um obstáculo na sua trajetória.

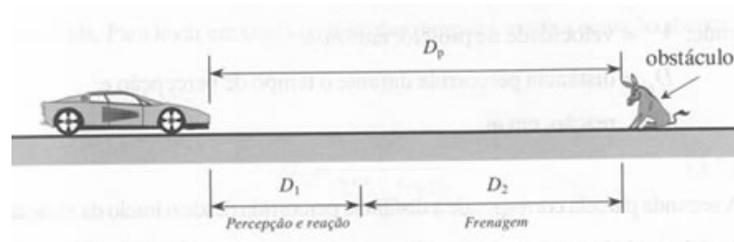


Fig. 7. 1: Distância de Visibilidade de Parada

$D_1$  = parcela relativa à distância percorrida pelo veículo no intervalo de tempo entre o instante em que o motorista vê o obstáculo e o instante em que inicia a frenagem (tempo de percepção e reação).

$D_2$  = parcela relativa à distância percorrida pelo veículo durante a frenagem.

Quando um motorista vê um obstáculo, leva um certo tempo para constatar se o objeto é fixo. Esse tempo depende de vários fatores, como condições atmosféricas, reflexo do motorista, tipo e cor do obstáculo e, especialmente, atenção do motorista.

A AASHTO, baseada em várias experiências, aconselha o uso do valor de 1,5 segundos para esse tempo de percepção. Adicionando-se a esse valor o tempo necessário à reação de frenagem (1,0s), teremos o tempo total de percepção e reação igual a  $t = 2,5$  s.

Logo:

$$D_1 = v \cdot t = 2,5 \cdot v \quad (7.1)$$

com  $v$  em m/s e  $D_1$  em m.

Como em projeto geométrico de estradas é comum o uso da velocidade em km/h, torna-se necessário compatibilizar as unidades da seguinte maneira:

$$D_1 = 2,5 \cdot v(\text{m/s}) = 2,5 \cdot \frac{V(\text{km/h})}{3,6} = 0,7 \cdot V \quad (7.2)$$

onde:  $V$  = velocidade de projeto em km/h;

$D_1$  = distância percorrida durante o tempo de percepção e reação, em m.

Para o cálculo de  $D_2$ , basta aplicar alguns conceitos de física: a energia cinética do veículo ( $E_c$ ) no início do processo de frenagem deve ser anulada pelo trabalho da força de atrito ao longo da distância de frenagem ( $\tau f a$ ). Assim:

$$\Delta E_c = \tau f a \quad (7.3)$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = P \cdot f \cdot D_2 = m \cdot g \cdot f \cdot D_2 \quad (7.4)$$

$$D_2 = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot f} \quad (7.5)$$

Em unidades usuais, e sendo  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , a equação (7.5) fica:

$$D_2 = \frac{(V/3,6)^2}{2 \cdot 9,8 \cdot f} = \frac{V^2}{255 \cdot f} \quad (7.6)$$

Quando o trecho da estrada considerada está em rampa ascendente, a distância de frenagem em subida será menor que a determinada pela equação (6), e maior no caso de descida.

Para levar em conta o efeito das rampas é usada a equação:

$$D_2 = \frac{V^2}{255 \cdot (f + i)} \quad (7.7)$$

Assim, teremos para a distância de visibilidade de parada:

$$D_p = D_1 + D_2 \quad (7.8)$$

$$D_p = 0,7 \cdot V + \frac{V^2}{255 \cdot (f + i)} \quad (7.9)$$

onde:  $D_p$  = distância de visibilidade de parada, em m;

$i$  = greide, em m/m (+, se ascendente; -, se descendente);

$V$  = velocidade de projeto, em km/h;

$f$  = coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento.

O coeficiente  $f$  exprime a atuação do processo de frenagem, seja a eficiência do sistema de frenagem, seja o esforço reativo longitudinal decorrente do atrito pneu/pavimento no caso de frenagem, considerando o pavimento molhado, em condições superficiais razoáveis.

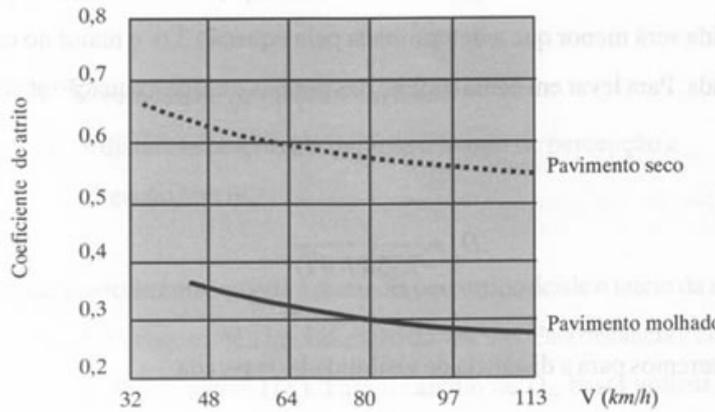


Fig. 7. 2: Relação entre o coeficiente de atrito longitudinal e a velocidade

Medidas experimentais mostram que o valor de f não é o mesmo para qualquer velocidade. Além disso, esse coeficiente varia com o tipo, pressão e condições dos pneus do veículo, tipo e estado da superfície do pavimento, e especialmente, se o pavimento está seco ou molhado.

Os valores de f adotados para projeto, correspondentes à velocidade diretriz são apresentados na Tabela 7. 1.

Tabela 7. 1: Coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento, considerando Vdiretriz

V <sub>diretriz</sub> (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
f = f <sub>t</sub>	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,25

Alguns projetistas levam em consideração que em condições chuvosas, a velocidade efetiva do veículo é reduzida para um valor médio inferior à velocidade diretriz, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 7. 2: Coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento, considerando Vmédia

V <sub>diretriz</sub> (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
V <sub>média</sub> (km/h)	30	38	46	54	62	71	79	86	98
f = f <sub>t</sub>	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,28

Em todos os cálculos envolvendo a distância de visibilidade de parada (D<sub>p</sub>), recomenda-se adotar 1,10 metros como a altura dos olhos do motorista em relação ao plano da pista e 0,15 metros como a menor altura de um obstáculo que o obrigue a parar.

A distância de visibilidade de parada é utilizada nas interseções, nos semáforos e nas curvas verticais, entre outras aplicações.

### 7.3. DISTÂNCIA DUPLA DE VISIBILIDADE DE PARADA (D)

Denomina-se Distância Dupla de Visibilidade de Parada (D) a distância mínima que dois veículos podem parar quando vêm de encontro um ao outro na mesma faixa de tráfego. Ela é utilizada no projeto de curvas verticais convexas de concordância, podendo ser calculada pela expressão:

$$D_p = 2 \cdot \left[ 0,7 \cdot V + \frac{V^2}{255 \cdot (f + i)} \right] \tag{7. 10}$$

### 7.4. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM (D<sub>u</sub>)

É a distância que deve ser proporcionada ao veículo, numa pista simples e de mão dupla para que, quando estiver trafegando atrás de um veículo mais lento, possa efetuar uma manobra de ultrapassagem em condições aceitáveis de segurança e conforto.

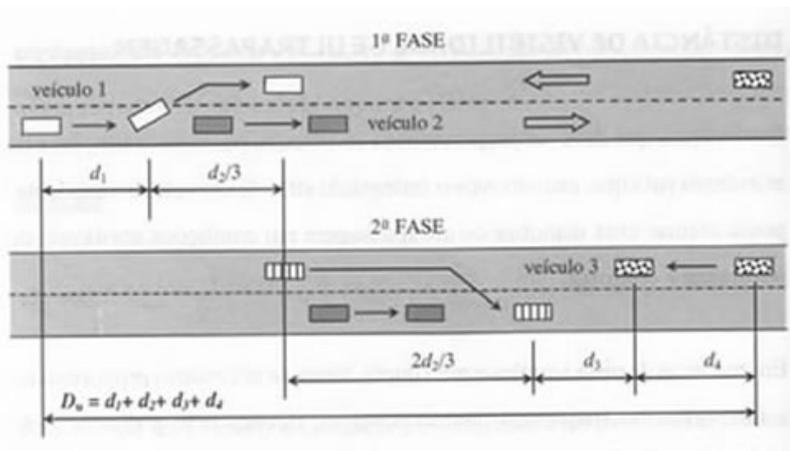


Fig. 7. 3: Esquema de ultrapassagem para cálculo de Du

d1 = distância percorrida durante o tempo de percepção, reação e aceleração inicial;

d2 = distância percorrida pelo veículo 1 enquanto ocupa a faixa oposta;

d3 = distância de segurança entre os veículos 1 e 3, no final da manobra;

d4 = distância percorrida pelo veículo 3, que trafega no sentido oposto.

Durante os anos de 1938 a 1941 foram feitas numerosas observações de campo a respeito da manobra de ultrapassagem mostrada acima, chegando-se às seguintes equações.

Para estradas de Pista Simples:

$$D_u = V \cdot \left[ 1,25 + 0,5 \cdot \sqrt{\frac{V}{a}} \right] \tag{7. 11}$$

Para estradas de Pista Dupla:

$$D_u = V \cdot \left[ 1,25 + 0,2 \cdot \sqrt{\frac{V}{a}} \right] \tag{7. 12}$$

onde: Du = distância de visibilidade de ultrapassagem, em m;

V = velocidade diretriz em km/h;

a = aceleração em m/s<sup>2</sup>.

De acordo com o DNER:

Tabela 7. 3: Valores de “V” e “a” para cálculo de “Du”

Regiões	V (km/h)	a (m/s <sup>2</sup> )
Planas	100	0,60
Onduladas	80	0,80
Montanhosas	60	1,00

A freqüência dos trechos que proporcionam visibilidade de ultrapassagem, bem como sua extensão, é restringida pelos custos de construção decorrentes. Entretanto, sempre que possível, essas distâncias de visibilidade deverão ser proporcionadas.

É recomendado que devam existir trechos com visibilidade de ultrapassagem a cada 1,5 a 3,0 km e tão extenso quanto possível. É sempre desejável que sejam proporcionadas distâncias superiores, aumentando as oportunidades de ultrapassagem e o número de veículos que a realizam de cada vez.

[Anterior](#) | [Proximo](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo



$d$  = deflexão sobre a tangente.

A seguir, serão descritos alguns elementos da curva circular, em maiores detalhes.

**a) RAIOS DA CURVA (R)** ⇒ É o raio do arco do círculo empregado na concordância, normalmente expresso em metros. É um elemento selecionado por ocasião do projeto, de acordo com as características técnicas da rodovia e a topografia da região. A escolha do valor do raio pode ser feita também por meio de gabaritos, que representam, na escala da planta, trechos de curvas circulares de diversos raios, de valores convenientemente escalonados, como exemplificado na Fig. 8. 2.

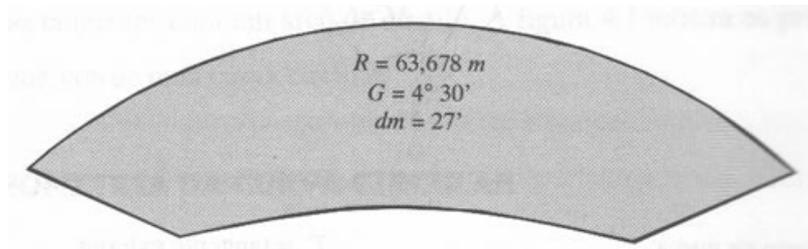


Fig. 8. 2 : Exemplo de gabarito de uma curva circular simples

**b) ÂNGULO CENTRAL (AC)** ⇒ É o ângulo formado pelos raios que passam pelo PC e PT e que se interceptam no ponto O. Estes raios são perpendiculares nos pontos de tangência PC e PT. Este ângulo é numericamente igual a deflexão ( $\Delta$ ) entre os dois alinhamentos, como pode ser demonstrado:

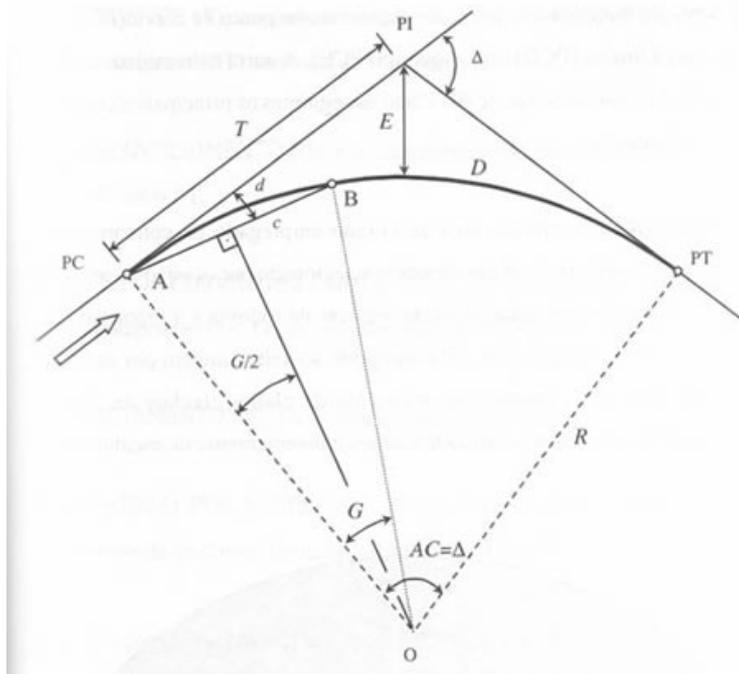
A soma dos ângulos internos do quadrilátero PC,PI,PT,O vale:

$$90^\circ + 90^\circ + (180^\circ - \Delta) + AC = 360^\circ \tag{8. 1}$$

Portanto:

$$AC = \Delta \tag{8. 2}$$

**c) TANGENTES (T)** ⇒ São os segmentos de retas que vão do PC ao PI ou do PI ao PT (não confundir com a extensão do trecho em tangente entre duas curvas consecutivas).



Pode-se determinar o comprimento "T" da seguinte forma:  
No triângulo PC, O, PI obtém-se:

$$\operatorname{tg}(AC/2) = \frac{T}{R} \quad (8.3)$$

Logo:

$$T = R \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{AC}{2}\right) \quad (8.4)$$

**d) DESENVOLVIMENTO DA CURVA (D)** ⇒ É o comprimento do arco do círculo que vai desde o PC ao PT. A extensão do desenvolvimento da curva circular é obtida da seguinte expressão:

$$\frac{2\pi R}{360^\circ} = \frac{D}{AC} \quad (8.5)$$

$$D = \frac{\pi \cdot R \cdot AC}{180^\circ} \quad (8.6)$$

**e) GRAU DA CURVA (G)** ⇒ Chama-se "grau da curva circular" ao ângulo central, que compreende uma corda de um dado comprimento (c). O grau é independente do ângulo central.

Considerando a seguinte proporção na Fig. 8.1:

$$\frac{G}{c} = \frac{\Delta}{D} \quad (8.7)$$

$$G = \frac{c \cdot \Delta}{D} \quad (8.8)$$

Sendo  $\overline{AB} = c$ , tem-se:

$$\operatorname{sen}\left(\frac{G}{2}\right) = \frac{\left(\frac{\overline{AB}}{2}\right)}{R} \quad \text{ou} \quad \operatorname{sen}\left(\frac{G}{2}\right) = \frac{\left(\frac{c}{2}\right)}{R} \quad (8.9)$$

Assim:

$$\frac{c}{2} = R \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{G}{2}\right) \quad (8.10)$$

$$\operatorname{sen}\left(\frac{G}{2}\right) = \frac{c}{2 \cdot R} \quad (8.11)$$

$$\frac{G}{2} = \operatorname{arcsen}\left(\frac{c}{2 \cdot R}\right) \quad (8.12)$$

$$G = 2 \cdot \operatorname{arcsen}\left(\frac{c}{2 \cdot R}\right) \quad (8.13)$$

Os valores mais usados do grau são o G20, que compreende uma corda de 20 metros (distância entre duas estacas consecutivas), o G10 (que compreende a semi-estaca ou 10 metros) e o G5 que compreende a corda de 5 metros. Assim, teremos:

Para  $c = 20$  m:

$$G_{20} = 2 \cdot \arcsen \frac{10}{R} \quad (8.14)$$

Para  $c = 10$  m:

$$G_{10} = 2 \arcsen \frac{5}{R} \quad (8.15)$$

Para  $c = 5$  m:

$$G_5 = 2 \arcsen \frac{2,5}{R} \quad (8.16)$$

**f) RELAÇÃO CLÁSSICA ENTRE O RAIÃO (R) E O GRAU DA CURVA (G):**

Pode-se definir uma curva circular pelo seu grau (G) em lugar de se definir o seu Raio (R), pois existe uma relação constante entre o RAIÃO e o GRAU, que será mostrada como segue:

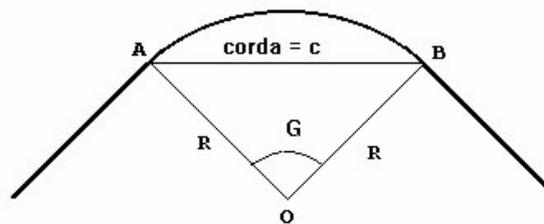


Fig. 8. 4: Relação entre Raio e Grau da Curva

Considerando-se a seguinte proporção:

$$\frac{2\pi R}{360} = \frac{AB}{G} \quad (8.17)$$

chega-se a:

$$G = \frac{180^0 \cdot AB}{\pi R} \quad (8.18)$$

Considerando: arco(AB)  $\cong$  c, podemos escrever:

$$G = \frac{180^0 \cdot c}{\pi \cdot R} \quad (8.19)$$

Quando se faz a substituição do comprimento do arco de uma curva pela sua respectiva corda, comete-se um erro, cuja grandeza passa a ser mais significativa à medida que se aumenta o comprimento da corda.

Utilizando-se as cordas que comumente são usadas nos traçados rodoviários, chega-se aos seguintes valores:

Para  $c = 20$  m:

$$G_{20} \cong \frac{1145,92}{R} \tag{8.20}$$

Para c = 10 m:

$$G_{10} \cong \frac{573}{R} \tag{8.21}$$

Para c = 5 m:

$$G_5 = \frac{286,5}{R} \tag{8.22}$$

**g) DEFLEXÃO POR METRO (dm):**

Durante os trabalhos de locação é de fundamental importância que se conheça o ângulo de deflexão entre uma tangente e uma corda qualquer que parta do ponto de curvatura (PC).

Consideremos a seguinte figura:

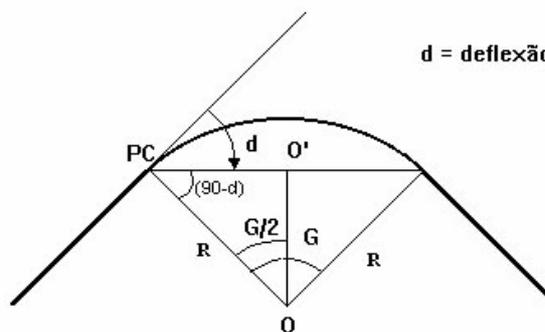


Fig. 8. 5: Deflexão entre a Tangente e a Corda

Pode-se observar que tal deflexão “d” é sempre igual à metade do grau da curva (G) que compreende a corda considerada. Considerando o triângulo PC, O, O', tem-se que:

$$(90^0 - d) + 90^0 + \frac{G}{2} = 180^0 \tag{8.23}$$

implicando que:

$$d = \frac{G}{2} \tag{8.24}$$

Normalmente se busca uma deflexão unitária ou deflexão por metro (dm). A deflexão por metro é o ângulo do segmento que corresponde a uma corda de 1 metro.

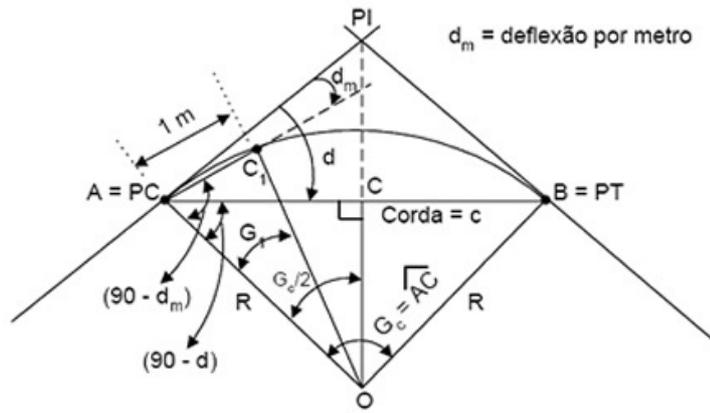


Fig. 8. 6: Deflexão por metro ( $d_m$ )

Por semelhança entre os triângulos "ACO" e "AC1O":

$$\frac{\overline{AC}}{\frac{G_c}{2}} = \frac{\overline{AC_1}}{G_1} \tag{8. 25}$$

Mas:

$$\begin{aligned} \overline{AC} &= \frac{c}{2} \\ G_1 &= 2 \cdot d_m \\ \overline{AC_1} &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

Então:

$$\frac{\frac{c}{2}}{\frac{G_c}{2}} = \frac{1}{2 \cdot d_m} \Rightarrow 2 \cdot d_m \cdot \frac{c}{2} = \frac{G_c}{2} \Rightarrow d_m = \frac{G_c}{2 \cdot c} \tag{8. 26}$$

**h) Afastamento (E):** É a distância entre o PI e a curva.

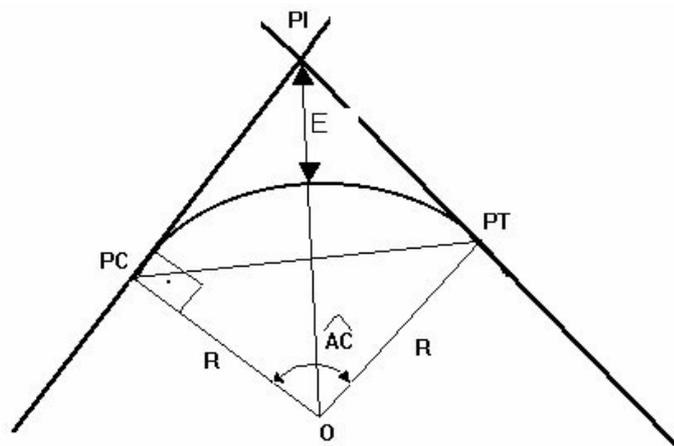


Fig. 8.7: Afastamento

Considerando o triângulo O PC PI :

$$\cos \frac{AC}{2} = \frac{R}{(E + R)} \tag{8. 27}$$

$$E + R = \frac{R}{\cos \frac{AC}{2}} \quad (8.29)$$

$$E + R = \frac{R}{\cos \frac{AC}{2}} \quad (8.29)$$

Mas:

$$\sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha} \quad (8.31)$$

Então, pode-se escrever:

$$E = R \left[ \frac{1}{\cos \frac{AC}{2}} - 1 \right] \Rightarrow E = R \left[ \sec \left( \frac{AC}{2} \right) - 1 \right] \quad (8.32)$$

Combinando-se as Equações (6.4) e (6.30) e usando-se fórmulas trigonométricas, pode-se chegar à seguinte relação:

$$E = T \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{AC}{4} \right) \quad (8.33)$$

### 8.3. EXECUÇÃO DA CONCORDÂNCIA COM CURVA CIRCULAR SIMPLES:

Uma Curva Circular Simples de concordância horizontal ficará perfeitamente definida:

- pelo seu raio R (ou pelo seu Grau "G");
- pelo Ângulo Central (AC).

Então, conhecendo-se "R" e "AC" o roteiro para o cálculo dos demais elementos da Curva Circular Simples é o seguinte:

- a) Determinação do valor da Tangente "T";
- b) Deduzindo o valor da tangente "T" da estaca do "PI", tem-se a estaca do "PC" ("PCD" se for curva à direita e "PCE" se for curva à esquerda);
- c) Cálculo do Desenvolvimento "D", que é a extensão do trecho em curva;
- d) Determinação da estaca do "PT" somando-se ao valor da estaca do "PC", o valor do Desenvolvimento "D";
- e) Cálculo da deflexão por metro "dm".

As indicações usuais nas plantas são as seguintes, podendo variar de projetista para projetista (vide Fig. 8. 8):

- Numeração das estacas;

- Indicação do PC e PT com o número das respectivas estacas escritas ao longo dos raios extremos da curva;
- Na parte interna colocam-se os valores dos principais elementos da curva (R, Δ, G, T, D, dm).

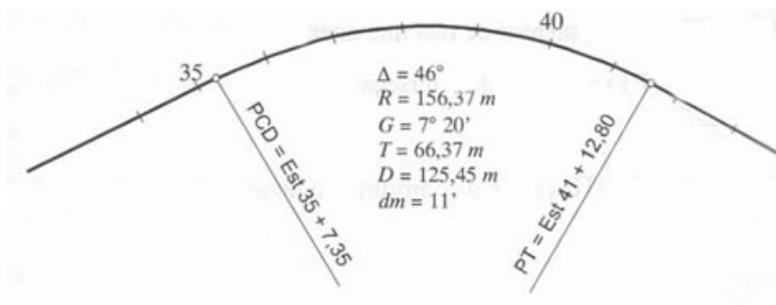
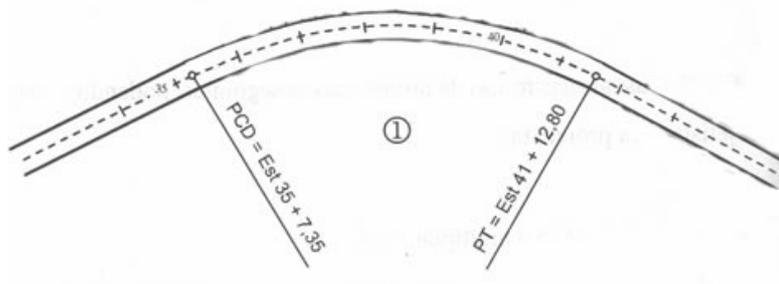


Fig. 8. 8: Indicações dos elementos da curva circular em planta

É comum, também, enquadrar o eixo da estrada entre dois traços paralelos, cujo afastamento é igual à plataforma da estrada. Os valores dos principais elementos das curvas podem ser colocados em tabelas no rodapé da folha de projeto, conforme indica a Figura 6.9.



CURVA	$\Delta$	$R (m)$	$T (m)$	$D (m)$	$dm (')$	E(PC)	E(PT)
①	46°	156,37	66,37	125,45	11	35 + 7,35	41 + 12,80

Fig. 8.9: Indicações dos elementos da curva circular em planta com plataforma e usando uma tabela

**EXEMPLO:**

Calcular os elementos de uma Curva Circular Simples, sendo dados:

PI = Est 180 + 4,12 m

AC = 45o 30'

R = 171,98 m

[Anterior](#) | [Proximo](#)

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviários

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Tráfego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Mínimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumens
19 - Sobre Parabolabolos Final

## Capítulo 09

### LOCAÇÃO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

#### 9.1. INTRODUÇÃO

De acordo com o valor do RAIO (R) da curva, deve-se fazer a locação das estacas, na curva, da seguinte forma:

- $R > 300 \text{ m} \Rightarrow$  Locação de 20 em 20 m ( $c = 20 \text{ m}$ );
- $150 \text{ m} < R < 300 \text{ m} \Rightarrow$  Locação de 10 em 10 m ( $c = 10 \text{ m}$ );
- $R < 150 \text{ m} \Rightarrow$  Locação de 5 em 5 m ( $c = 5 \text{ m}$ ),

onde  $c$  é a corda que está sendo empregada.

Na locação de uma curva circular é freqüente a necessidade de se determinar valores de deflexão da curva para arcos fracionários, não coincidentes com os valores inteiros de 5,00 m, de 10,00 m ou de 20,00 m.

Visando facilitar o cálculo de deflexões para os arcos fracionários, define-se a deflexão por metro ( $d_m$ ) como sendo o valor da deflexão para a corda de 1,00 m, calculando o seu valor, de forma simplificada, em proporção direta ao da deflexão correspondente à corda inteira. Ou seja, sendo  $d_c$  o valor da deflexão para uma corda  $c$ , o valor da deflexão por metro ( $d_m$ ) é aproximado por:

$$d_m = \frac{G_c}{2 \cdot c} = \frac{d_c}{c} \Rightarrow d_c = c \cdot d_m \quad (9.1)$$

Normalmente, para a locação da curva no campo, usamos o chamado processo das deflexões, como indica a Fig. 9. 1.

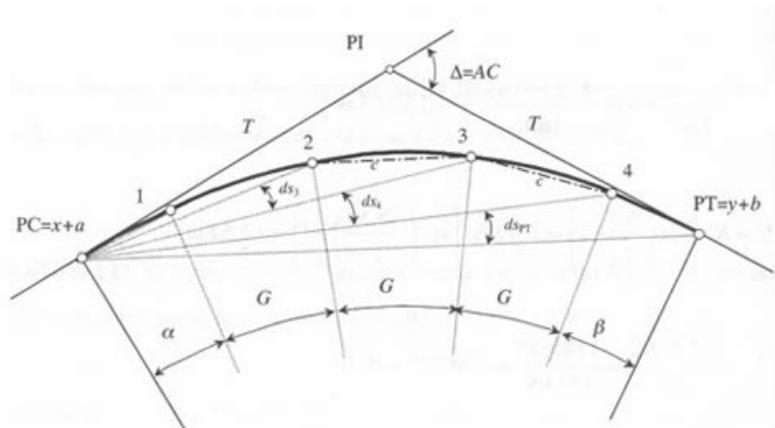


Fig. 9. 1: Locação de curvas circulares por ângulos de deflexão

#### 9.2. DEFLEXÕES SUCESSIVAS

A deflexão sucessiva é aquela correspondente a cada estaca isoladamente, ou seja, é o ângulo que a visada a cada estaca forma com a tangente ou com a visada da estaca anterior.

A primeira deflexão sucessiva ( $ds_1$ ) é obtida pelo produto da deflexão por metro ( $d_m$ ) pela distância entre o PC e a primeira estaca inteira dentro da curva ( $20 - a$ ), de acordo com a expressão abaixo:

$$ds_1 = (20 - a) \cdot \frac{G}{2c} = (20 - a) \cdot d_m \quad (9.2)$$

De modo análogo, a última deflexão sucessiva ( $ds_{PT}$ ) é calculada multiplicando a deflexão por metro ( $d_m$ ) pela distância entre o PT e a última estaca inteira dentro da curva:

$$ds_{PT} = b \cdot \frac{G}{2c} = b \cdot d_m \quad (9.3)$$

As demais deflexões dentro da curva (entre estacas inteiras) são calculadas pela expressão:

$$ds = c \cdot d_m = c \cdot \frac{G}{2c} = \frac{G}{2} \quad (9.4)$$

### 9.3. DEFLEXÕES ACUMULADAS

Estas deflexões são referidas sempre em relação à tangente e apresentam valores acumulados das deflexões sucessivas.

Admitindo-se que os pontos PC e PT sejam estacas fracionárias (caso mais comum), temos para as deflexões acumuladas ( $da$ ) os seguintes valores:

$$da_1 = ds_1 = (20 - a) \cdot \frac{G}{2c} \quad (9.5)$$

$$da_2 = ds_1 + ds_2 = (20 - a) \cdot \frac{G}{2c} + \frac{G}{2} \quad (9.6)$$

$$da_3 = ds_1 + ds_2 + ds_3 = (20 - a) \cdot \frac{G}{2c} + \frac{G}{2} + \frac{G}{2} \quad (9.7)$$

$$da_{n-1} = ds_1 + ds_2 + \dots + ds_{n-1} = (20 - a) \cdot \frac{G}{2c} + \frac{G}{2} + \dots + \frac{G}{2} = (20 - a) \cdot \frac{G}{2c} + (n - 2) \cdot \frac{G}{2} \quad (9.8)$$

$$da_n = da_{PT} = (20 - a) \cdot \frac{G}{2c} + (n - 2) \cdot \frac{G}{2} + b \cdot \frac{G}{2c} \quad (9.9)$$

É organizada uma Caderneta de Locação da Curva, de acordo com o apresentado na Tabela 8.1. Para verificação dos cálculos, a deflexão acumulada para o PT deverá ser igual à metade do ângulo central da curva.

Tabela 9.1: Locação de Curvas Circulares Simples

ESTACAS	DEFLEXÕES SUCESSIVAS	DEFLEXÕES ACUMULADAS
PC = x + a	0°	0°
1	ds <sub>1</sub>	da <sub>1</sub>
2	ds <sub>2</sub>	da <sub>2</sub>
3	ds <sub>3</sub>	da <sub>3</sub>
⋮	⋮	⋮
PT = y + b	ds <sub>PT</sub>	da <sub>PT</sub> = Δ / 2

Pode, ainda, fazer-se a locação da Curva Circular Simples locando-se metade das estacas em função da tangente PC-PI e metade em função da tangente PI-PT. Neste caso, então, faremos a locação da seguinte forma:

- A primeira estaca da curva é obtida estacionando-se o teodolito no PC. Visa-se o PI e se dá uma deflexão  $da_1$ . Sobre esta direção, a partir do PC, mede-se com a trena  $c$  metros (o valor de  $c$  dependerá da distância de

locação e se PC é ou não uma estaca inteira), e marca-se o ponto correspondente à primeira estaca.

- A segunda estaca da curva é obtida dando-se a deflexão  $\alpha_2$  em relação à direção PC-PI. A partir da primeira estaca mede-se  $c$  metros, até a direção dada por  $\alpha_2$ . Assim, determina-se a segunda estaca, por interseção. Deste modo, vai-se determinando as demais estacas, até a estaca correspondente à metade do Desenvolvimento  $D$ .

- A outra metade das estacas é determinada também por deflexões, mas a partir da direção PT-PI, agindo-se analogamente aos casos anteriores, estacionando-se o aparelho em PT.

#### EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Construir a Tabela de Locação da curva do exemplo resolvido no Capítulo 8.

[Anterior](#) | [Proximo](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumens
19 - Sobre Parabolabolos Final

## Capítulo 10

### **SUPERELEVÇÃO E RAIOS MÍNIMOS DE CURVATURA HORIZONTAL NAS ESTRADAS DE RODAGEM**

#### 10.1. INTRODUÇÃO

Ao se definir a velocidade diretriz para o projeto geométrico de uma rodovia, procura-se estabelecer, ao longo do traçado em projeto, condições tais que permitam aos usuários o desenvolvimento e a manutenção de velocidades de percurso próximas a esta velocidade de referência, em condições de conforto e segurança.

No projeto em planta, o eixo de uma rodovia é constituído por trechos em tangente e em curva, que apresentam condições de operação naturalmente diferentes.

Quando percorre um trecho em tangente (desconsiderando-se, por ora, as condições em perfil), um usuário experimenta uma certa sensação de liberdade (ou facilidade) para efetuar pequenas manobras de ajuste lateral no seu curso, não estando sujeito, em princípio, a esforços laterais devidos à geometria da rodovia.<sup>1</sup>

Num trecho em curva, entretanto, as condições operacionais se alteram, devido principalmente ao surgimento de esforços laterais, que passam a atuar sobre o veículo, e devido à sensação de maior confinamento que um trecho em curva impõe ao usuário que a percorre. Estes fatores podem afetar, em seu conjunto, a disposição do usuário em manter a mesma velocidade de operação nos trechos em tangente e nos trechos em curva.

Visando minimizar o impacto negativo desses fatores inerentes aos trechos curvos, são introduzidos os conceitos de superelevação e de superlargura que, devidamente considerados nos projetos das curvas horizontais, ensejam condições de operação mais homogêneas para os usuários ao longo das rodovias.

#### 10.2. SUPERELEVÇÃO

Ao percorrer um trecho de rodovia em curva horizontal com certa velocidade, um veículo fica sujeito à ação de uma força centrífuga, que atua no sentido de dentro para fora da curva, tendendo a mantê-lo em trajetória retilínea, tangente à curva, conforme esquematiza a Fig. 10.1.

<sup>1</sup> Não se considera restrição significativa o esforço lateral devido ao abaulamento, por ser contínuo e quase imperceptível ao usuário, para os valores convencionais de declividade transversal recomendados.

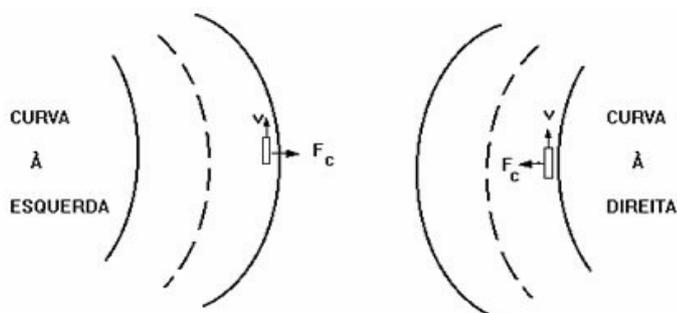


Fig. 10.1: Ação da força centrífuga nas curvas (Fonte: DE SENSO, 1980)

Isto obriga o condutor do veículo a esterçar o volante no sentido da curva para manter o veículo na trajetória desejada.

Imaginando-se uma pista de rolamento plana (sem abaulamentos ou inclinações transversais), essa manobra do condutor é capaz de manter o veículo na pista, na trajetória curva, graças ao atrito que se desenvolve entre os pneus e a superfície de rolamento.

Mas os efeitos combinados da força de atrito e da força centrífuga se fazem sentir tanto sobre os passageiros dos veículos quanto sobre as cargas transportadas.2. O efeito principal sobre os passageiros é a sensação de desconforto causada pelos esforços laterais que empurram os passageiros para um lado ou para outro, dependendo do sentido da curva. Sobre as cargas, a atuação das forças laterais pode causar danos a mercadorias frágeis e desarrumação dos carregamentos, podendo até mesmo comprometer a estabilidade dos veículos em movimento.

Para contrabalançar os efeitos dessas forças laterais, procurando oferecer aos usuários melhores condições de conforto e de segurança no percurso das curvas horizontais, utiliza-se o conceito de superelevação da pista de rolamento, que é a declividade transversal da pista nos trechos em curva, introduzida com a finalidade de reduzir ou eliminar os efeitos das forças laterais sobre os passageiros e as cargas dos veículos em movimento.

A superelevação é medida pela inclinação transversal da pista em relação ao plano horizontal, sendo expressa em proporção (m/m) ou em porcentagem (%).

2 Observe-se que, na verdade, é a ação da força de atrito que se faz sentir sobre os passageiros e sobre as cargas dos veículos numa trajetória curva. Caso não houvesse o atrito, os veículos simplesmente não responderiam às mudanças de direção das rodas dianteiras e permaneceriam em trajetória retilínea (como na superfície de um lago congelado); a força de atrito é que atua sobre os veículos (e portanto sobre os respectivos passageiros e cargas), puxando-os para dentro da curva e mantendo-os na trajetória curva ao equilibrar a ação da força centrífuga.

Na Fig. 10.2 representa-se um veículo em movimento, descrevendo uma trajetória circular, com uma dada velocidade longitudinal (tangencial), numa pista inclinada transversalmente.

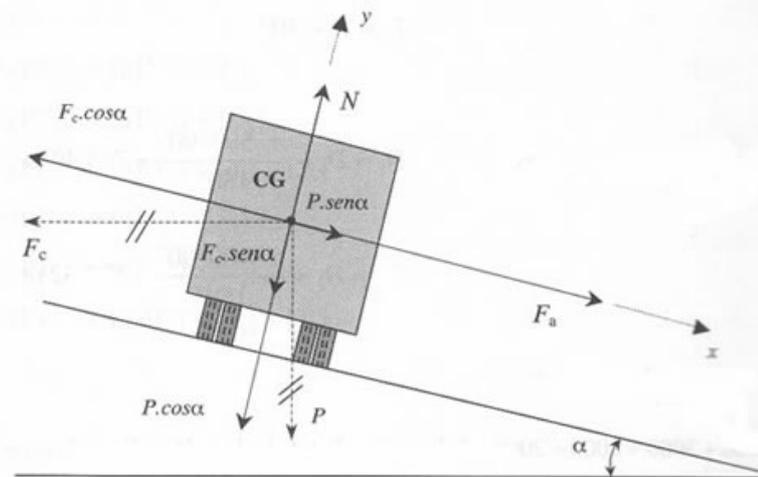


Fig. 10.2: Forças atuantes num veículo em curva (Fonte: PONTES FILHO, 1998)

Estando a pista inclinada com um ângulo  $\alpha$ , a superelevação ( $e$ ) pode ser expressa por:

$$e = \operatorname{tg}(\alpha) \quad (\text{proporção ou m/m}) \quad (10.1)$$

ou

$$e = 100 \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \quad (\%) \quad (10.2)$$

Na Fig. 10.2, tem-se ainda:

P = peso do veículo;  
 N = reação normal à superfície do pavimento, devido ao peso do veículo;  
 Fa = força de atrito transversal;  
 Fc = força centrífuga;  
 De acordo com o esquema de forças da Fig. 10.2, tem-se na direção x:

$$F_c \cdot \cos \alpha = P \cdot \operatorname{sen} \alpha + F_a \quad (10.3)$$

Mas:

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad (10.4)$$

$$F_a = f \cdot N \quad (10.5)$$

onde:

m = massa do veículo, em kg;  
v = velocidade diretriz, em m/s;  
R = raio de curvatura horizontal, em m;  
f = coeficiente de atrito transversal pneu/pavimento;  
g = aceleração da gravidade, em m/s<sup>2</sup>.

Substituindo as Equações (10.4) e (10.5) na Equação (10.3):

$$\frac{m \cdot v^2}{R} \cdot \cos \alpha = P \cdot \sin \alpha + f \cdot N \quad (10.6)$$

Considerando-se a direção y na Fig. 10.2, tem-se:

$$N = P \cdot \cos \alpha + F_c \cdot \sin \alpha \quad (10.7)$$

Substituindo a Equação (10.7) na Equação (10.6):

$$\frac{m \cdot v^2}{R} \cdot \cos \alpha = P \cdot \sin \alpha + f \cdot (P \cdot \cos \alpha + F_c \cdot \sin \alpha) \quad (10.8)$$

Mas:

$$P = m \cdot g \quad (10.9)$$

Substituindo a Eq. (10.9) na (10.8):

$$\frac{m \cdot v^2}{R} \cdot \cos \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha + f \cdot \left( m \cdot g \cdot \cos \alpha + \frac{m \cdot v^2}{R} \cdot \sin \alpha \right) \quad (10.10)$$

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

$$\frac{m \cdot v^2}{R} = m \cdot g \cdot \text{tg} \alpha + f \cdot m \cdot g + f \cdot \frac{m \cdot v^2}{R} \cdot \text{tg} \alpha \quad (10.11)$$

Trabalhando a expressão (10.11) chega-se a:

$$\frac{v^2}{g \cdot R} \cdot (1 - f \cdot \text{tg} \alpha) = \text{tg} \alpha + f \quad (10.12)$$

onde  $\text{tg} \alpha = e$  = Superelevação.

Assim:

$$\frac{v^2}{g \cdot R} \cdot (1 - f \cdot e) = e + f \quad (10.13)$$

Nos casos normais de rodovias rurais, o coeficiente de atrito (f) e o valor da superelevação (e) são pequenos, de modo que o produto f.e aproxima-se de zero. Dessa forma, a Equação (10.13) reduz-se a:

$$\frac{v^2}{g \cdot R} = e + f \quad (10.14)$$

$$e = \frac{v^2}{g \cdot R} - f \quad (10.15)$$

Nas unidades usuais, ou seja, R em metros, V em km/h e  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , tem-se:

$$e = \frac{\left(\frac{v}{3,6}\right)^2}{9,8 \cdot R} - f \quad (10.16)$$

$$e = \frac{V^2}{127 \cdot R} - f \quad (10.17)$$

onde

e = superelevação (m/m);  
 V = velocidade diretriz (km/h);  
 R = raio de curvatura (m);  
 f = coeficiente de atrito transversal, entre pneu/pavimento.

O coeficiente de atrito f difere do conceito puro de coeficiente de atrito da Física Clássica, pois trata-se de um coeficiente de atrito de deslizamento lateral, medido dinamicamente, isto é, com o veículo em movimento.

Os valores a adotar para o coeficiente de atrito f são fixados pelas normas de projeto geométrico, tendo sido obtidos a partir de resultados de medições de campo realizadas em pesquisas bastante antigas, nas décadas de 30 a 50, e confirmadas por trabalhos posteriores, de 1985, nos Estados Unidos.

As normas do DNER fixam, como valores máximos admissíveis de coeficiente de atrito transversal, para fins de projeto, os transcritos na Tabela 10.1, para diferentes velocidades diretrizes.

Tabela 10.1: Valores máximos admissíveis para os coeficientes de atrito transversal "f"

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: FONTES, 1995)

Esses valores são inferiores aos limites verificados<sup>3</sup> para condições usuais de pneus e de pavimentos, e correspondem, na verdade, a coeficientes de atrito medidos em experimentos, com equipamentos apropriados, em velocidades tais que os motoristas, no limiar da sensação de desconforto, reagem instintivamente, evitando transitar em velocidades maiores.

Os valores máximos admissíveis do coeficiente de atrito transversal somente são empregados, em princípio, nas condições limites, ou seja, para as concordâncias horizontais com curvas de raios mínimos e com as superelevações máximas admitidas para o projeto.

A Equação (10.17) não deve ser utilizada diretamente na determinação da superelevação a ser adotada para o projeto de uma concordância horizontal, com os valores da Tabela 10.1. Para ilustrar esta afirmação, sugerimos que se tente determinar, com o auxílio da Equação (10.17) e da Tabela 10.1, a superelevação a ser adotada no projeto de uma concordância horizontal com raio de curva  $R = 35,00 \text{ m}$ , considerando uma velocidade tangencial  $V = 70 \text{ km/h}$ . Essa curva horizontal poderia ser construída com a superelevação encontrada?

### 10.3. Valores Mínimos e Máximos de Superelevação

No projeto e construção de uma rodovia, os trechos em tangente têm pista dotada de abaulamento, para facilitar a condução das águas pluviais para fora da superfície de

rolamento. O acúmulo de água na pista poderia causar risco aos usuários (eventualmente até a aquaplanagem de veículos transitando com excesso de velocidade), além de favorecer a infiltração de águas superficiais para as camadas inferiores do pavimento e para o subleito.

As normas do DNER consideram adequada a utilização dos seguintes valores para o abaulamento, nos projetos de rodovias com os pavimentos convencionais:

Revestimentos betuminosos com granulometria aberta: 2,5 % a 3,0 %;  
 Revestimentos betuminosos de alta qualidade (CBUQ): 2,0 %  
 Pavimento de concreto de cimento: 1,5 %.

3 A experiência Norte-Americana aponta que valores máximos do coeficiente  $f$  obtidos para condição de pneus novos em pavimento molhado, de concreto de cimento, variaram de  $f=0,50$ , para  $V=30$  km/h a  $f=0,35$ , para  $V=100$  km/h (AASHTO, 1995).

Nos trechos em curva, a retirada das águas superficiais da pista é possibilitada pela existência de superelevações.

Para curvas com raios muito grandes em relação à velocidade diretriz de projeto, os efeitos da força centrífuga resultariam desprezíveis, podendo-se projetar seções transversais da pista nessas curvas nas mesmas condições consideradas para os trechos em tangente, ou seja, com abaulamentos, dispensando-se o uso de superelevações.

Os valores de raios de curva acima dos quais as normas do DNER sugerem considerar as curvas como se fossem tangentes, no dimensionamento das seções transversais, estão indicados na Tabela 10. 2.

Tabela 10. 2: 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)

Curvas com raios abaixo dos valores apontados na Tabela 10. 2 exigem a consideração de superelevação adequada.

A superelevação mínima admissível, nesses casos, mesmo quando as forças centrífugas envolvidas não a demandem, deverá ter valor igual ao do abaulamento, para fins de assegurar a devida drenagem superficial.

Já o valor máximo admissível de superelevação a adotar, para as concordâncias horizontais com raios pequenos, é estabelecido em função de outros critérios de ordem prática, levando-se em consideração aspectos técnicos e econômicos.

A maior taxa de superelevação admitida para fins de projeto de rodovias no Brasil é de 12 %, devendo seu emprego ser limitado a casos de melhorias de rodovias existentes ou de correção de problemas existentes que não permitam o aumento dos raios de curvatura; superelevações dessa ordem são muito problemáticas para veículos lentos, que transitam com velocidades significativamente inferiores à velocidade diretriz, pois nesses casos a manutenção dos veículos nas trajetórias curvas pode demandar o esterçamento do volante no sentido contrário ao da curva, causando operação errática e perigosa.

A superelevação máxima de 10 % tem aplicação limitada ao projeto de rodovias de elevado padrão, onde as velocidades de operação dos veículos são relativamente elevadas, com pequena probabilidade de congestionamentos ou de ocorrência de situações que determinem o tráfego a baixas velocidades ou mesmo a parada de veículos sobre a pista. As normas do DNER permitem a consideração desse valor de superelevação máxima para os projetos na classe 0 e na classe I, mas recomendam limitar o seu emprego, nos casos de projetos de rodovias em classe IB, para as regiões de relevo plano e ondulado, que compreendem velocidades diretrizes não inferiores a 80 km/h.

Para as demais classes de projeto de rodovias, as normas do DNER preconizam a adoção da superelevação máxima de 8 %. Esse valor de superelevação máxima pode ser também adotado para o projeto de rodovias de padrões mais elevados, quando as condições previsíveis sugiram possibilidade de operação com velocidades médias significativamente mais baixas que as desejáveis.

A consideração de superelevação máxima de 6 % é recomendável para os projetos de rodovias que se desenvolvam em regiões onde as características de ocupação das áreas adjacentes dificultem o projeto de pistas superelevadas ou mesmo interfiram com as condições de fluidez do tráfego nas rodovias, resultando em velocidades de operação reduzidas.

Quando as características de ocupação das áreas adjacentes são ainda mais problemáticas, pode-se admitir o desenvolvimento de projetos com superelevação máxima limitada a 4 % nas curvas horizontais. Por razões de segurança, a AASHTO recomenda que este valor de superelevação máxima seja considerado somente em áreas urbanas.

A Tabela 10.3, apresentada a seguir, procura resumir o que foi exposto nesta seção.

$e_{m\acute{a}x}$	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)

limite deverá ser observado em todo o projeto, servindo como parâmetro de referência na determinação dos valores específicos de superelevação a adotar para os diferentes raios de curvas, nas concordâncias horizontais.

As normas do DNER fornecem a Tabela 10.4 para os valores máximos de superelevação, em função da classe da estrada e da região onde a mesma será construída.

Tabela 10.4: Taxas de superelevação máxima (%)

REGIÃO	CLASSE 0	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV
PLANA	10	10	8	8	8
ONDULADA	10	10	8	8	8
MONTANHOSA	10	10 <sup>(1)</sup>	8	8	8

<sup>(1)</sup> Somente para Classe IA; para Classe IB, considerar 8%.

#### 10.4. Raios Mínimos das Concordâncias Horizontais

Uma vez estabelecida a superelevação máxima a ser observada nas concordâncias horizontais para determinada condição ou classe de projeto de uma rodovia, fica também definido o menor raio de curva que pode ser utilizado, de forma a não haver necessidade de empregar superelevações maiores que a máxima fixada.

A Equação (10.17), devidamente convertida, é utilizada pelas normas com vistas à determinação dos raios mínimos de curva admissíveis nos projetos. Explicitando, na citada equação, o raio R, tem-se:

$$R = \frac{V^2}{127 \cdot (e + f)} \quad (10.18)$$

e na condição limite:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{m\acute{a}x} + f_{m\acute{a}x})} \quad (10.19)$$

Considerando os valores máximos admissíveis de coeficientes de atrito transversal discriminados na Tabela 10.1, pode-se calcular, por intermédio da Equação (10.19), os valores dos raios mínimos de curva que podem ser utilizados nos projetos, referenciados aos diferentes valores de superelevação máxima a adotar. Na Tabela 10.5 estão relacionados tais valores de raios mínimos.

Tabela 10.5: Raios mínimos de curva para projetos (m)

Superele- vação máxima ( $e_{máx}$ )	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
------	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

As normas do DNER fornecem a Tabela 10.6 para os raios mínimos de curva para projetos (para a superelevação máxima), em função da classe da estrada e da região onde a mesma será construída.

Tabela 10.6: Raios mínimos (m)

REGIÃO	CLASSE 0	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV A	CLASSE IV B
PLANA	540	345	375	230	230	125
ONDULADA	345	210	170	125	125	50
MONTANHOS A	210	115 <sup>(1)</sup>	80	50	50	25

(1) Somente para a Classe IA; para a classe IB, considerar 125 m.

### 10.5. Superelevações a Adotar nas Concordâncias

A superelevação máxima estabelecida para o projeto de uma rodovia somente deve ser utilizada nas concordâncias projetadas com o raio mínimo, que é uma condição extrema do projeto, a ser evitada sempre que possível e razoável.

Quando se empregam raios de curva maiores que o mínimo, as forças centrífugas envolvidas diminuem à medida que aumenta o raio da curva, reduzindo, conseqüentemente, as intensidades das forças de atrito e/ou das forças devidas à superelevação, necessárias para equilibrar os efeitos das forças centrífugas.

Esta condição está matematicamente implícita na Equação (10.17), a qual pode ser convenientemente transformada para facilitar sua interpretação, resultando na igualdade:

$$e + f = \frac{V^2}{127 \cdot R}$$

(10.20)

Dada uma condição de projeto que recomende a utilização de um raio de curva maior que o mínimo, há diferentes formas e critérios de balancear os valores de superelevação (e) e de coeficiente de atrito (f), de modo que a soma de seus efeitos se iguale à força centrífuga atuante sobre o veículo.

O critério adotado pela AASHTO para tal balanceamento é o de estabelecer uma relação variável entre as participações de "e" e de "f" à medida que variam os raios de curva (R). Não estudaremos este critério aqui.

Estudaremos o critério adotado pelo DNER, o qual é assemelhado ao da AASHTO, porém mais simplificado, para a determinação dos valores de superelevação a adotar para cada concordância horizontal no projeto de rodovias. A equação adotada por tal critério é a seguinte:

$$e_R = e_{máx} \cdot \left( \frac{2 \cdot R_{mín}}{R} - \frac{R_{mín}^2}{R^2} \right) \tag{10.21}$$

onde:

$e_R$  = superelevação a adotar para a curva com raio R, em %;

emáx = superelevação máxima para a classe de projeto, em %;  
 Rmín = raio mínimo de curva para a velocidade diretriz dada, em m;  
 R = raio da curva circular utilizada na concordância, em m.

A adoção da Equação (10.21) resulta no acréscimo gradativo e simultâneo dos valores de superelevação e de coeficiente de atrito para contrabalançar o aumento da força centrífuga, à medida que diminuem os raios das concordâncias horizontais.

Nas Tabelas 10.7 e 10.8 estão apresentados os valores de superelevação calculados, de acordo com o critério do DNER, para diferentes valores de raios tabelados, considerando as superelevações máximas de 8 % e 10 %, mais comumente utilizadas em projetos de rodovias em áreas rurais.

Nas referidas Tabelas, as superelevações estão limitadas inferiormente pela inclinação transversal de 2 %, que é o valor correspondente ao abaulamento normalmente utilizado para pavimentos betuminosos de boa qualidade.

Tabelas para outros valores de emáx, considerando diferentes valores de abaulamento e outros raios de curva, poderão ser facilmente construídas utilizando a Equação (10.21).

Tabela 10.7: Valores de superelevação para emáx=8 %, em %

RAIOS (m)	VELOCIDADE DIRETRIZ (km/h)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
31.86	7,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50.58	6,0	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-
61.41	5,2	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-

95.50	3,6	6,2	7,8	-	-	-	-	-	-	-
122.81	2,9	5,2	7,0	-	-	-	-	-	-	-
132.25	2,7	4,9	6,8	8,0	-	-	-	-	-	-
156.29	2,4	4,3	6,1	7,7	-	-	-	-	-	-
191.01	2,0	3,6	5,3	7,0	7,9	-	-	-	-	-
245.57	2,0	2,9	4,4	6,1	7,2	8,0	-	-	-	-
286.49	2,0	2,5	3,8	5,5	6,7	7,7	-	-	-	-
343.79	2,0	2,2	3,3	4,8	6,0	7,1	7,8	-	-	-
381.98	2,0	2,0	3,0	4,4	5,5	6,7	7,5	8,0	-	-
429.73	2,0	2,0	2,7	4,0	5,1	6,3	7,2	7,9	-	-
491.12	2,0	2,0	2,4	3,6	4,6	5,7	6,7	7,6	8,0	-
572.97	2,0	2,0	2,1	3,1	4,0	5,1	6,0	7,0	7,8	-
687.56	2,0	2,0	2,0	2,6	3,5	4,5	5,3	6,3	7,2	7,9
1145.93	2,0	2,0	2,0	2,0	2,2	2,9	3,5	4,4	5,3	6,2
2062.66	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,6	3,3	3,9
3437.75	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,5

Tabela 10.8: Valores de superelevação para emáx=10 %, em %

RAIOS (m)	VELOCIDADE DIRETRIZ (km/h)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
31.86	9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50.58	7,4	9,9	-	-	-	-	-	-	-	-
61.41	6,5	9,3	-	-	-	-	-	-	-	-
95.50	4,6	7,2	9,5	-	-	-	-	-	-	-
122.81	3,7	6,0	8,5	10,0	-	-	-	-	-	-
132.25	3,4	5,6	8,1	9,8	-	-	-	-	-	-
156.29	2,9	4,9	7,3	9,3	10,0	-	-	-	-	-
191.01	2,4	4,2	6,3	8,4	9,6	-	-	-	-	-
245.57	2,0	3,3	5,2	7,2	8,6	9,8	-	-	-	-
286.49	2,0	2,9	4,6	6,4	7,9	9,3	9,9	-	-	-
343.79	2,0	2,4	3,9	5,6	7,0	8,5	9,5	-	-	-
381.98	2,0	2,2	3,5	5,1	6,5	8,0	9,1	9,9	-	-
429.73	2,0	2,0	3,2	4,6	5,9	7,4	8,5	9,6	-	-
491.12	2,0	2,0	2,8	4,1	5,3	6,7	7,9	9,1	9,9	-
572.97	2,0	2,0	2,4	3,6	4,7	6,0	7,1	8,4	9,4	10,0
687.56	2,0	2,0	2,1	3,1	4,0	5,2	6,2	7,5	8,7	9,5
1145.93	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	3,3	4,1	5,1	6,2	7,2
2062.66	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,4	3,1	3,8	4,6
3437.75	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,4	2,9

[Anterior](#) | [Proximo](#)

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabolabolos Final

## Capítulo 11

### CURVAS HORIZONTAIS COM TRANSIÇÃO

#### 11.1. INTRODUÇÃO

Quando um veículo passa de um alinhamento reto para um trecho curvo, surge uma força centrífuga atuando sobre o mesmo, que tende a desviá-lo da trajetória que normalmente deveria percorrer. Este fato representa um perigo e desconforto para o usuário da estrada.

Em outras palavras, a partir da passagem pelo PC, o veículo segue uma trajetória de "transição intermediária" entre a tangente e a curva, a qual varia de acordo com a velocidade, o raio de curvatura e a superelevação. O problema se acentua quando se aumenta a velocidade e se reduz o raio de curvatura, pois a transição se processa numa distância maior, podendo resultar até na invasão da faixa adjacente, como representado pela Fig. 11. 1.

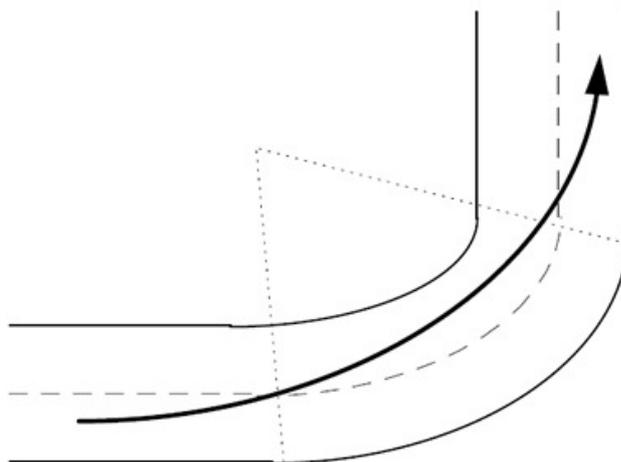


Fig. 11. 1: Problema de invasão da faixa adjacente nas curvas

Uma rodovia para permitir essa transição com conforto e segurança deve ter um alinhamento, o máximo possível, segundo essa transição, ou seja, deve acompanhar a tendência dos veículos que por ela transitam.

Do ponto de vista teórico, o que se deseja é limitar a ação da força centrífuga sobre o veículo, para que sua intensidade não ultrapasse um determinado valor. Isso se consegue através da utilização de uma curva de transição intercalada entre o alinhamento reto (trecho em tangente) e a curva circular. Esta transição é realizada com o fim de distribuir gradativamente o incremento da aceleração centrífuga. Esta curva de transição tem o seu raio de curvatura passando gradativamente do valor infinito (no ponto de contato com a tangente) ao valor do raio da curva circular. Este ponto de encontro das duas curvas, com o mesmo raio, é conhecido como ponto osculador.

Existem vários critérios diferentes visando orientar o estabelecimento do limite de emprego de curvas de transição. Para fins de projetos rodoviários convencionais, o DNER recomenda o critério associado à velocidade diretriz resumido pelos valores constantes da Tabela 11.1, apresentada a seguir. Segundo esse critério, permite-se a dispensa do uso da curva de transição quando a aceleração centrífuga a que o veículo é submetido na curva for igual ou inferior a  $0,4 \text{ m/s}^2$ .

Tabela 11. 1: Valores-limite dos raios R acima dos quais podem ser dispensadas curvas de transição

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
R(m)	170	300	500	700	950	1200	1550	1900

São em número de quatro as curvas que podem ser auxiliares como transição: a **CLOTÓIDE** (também denominada **ESPIRAL DE CORNU**, **RADIÓIDE AOS ARCOS** ou **ESPIRAL DE VAN LEBER**), a **LEMNISCATA DE BERNOUILLE**, a **CURVA ELÁSTICA** (também denominada de **RADIÓIDE ÀS ABSCISSAS**) e a **PARÁBOLA CÚBICA**.

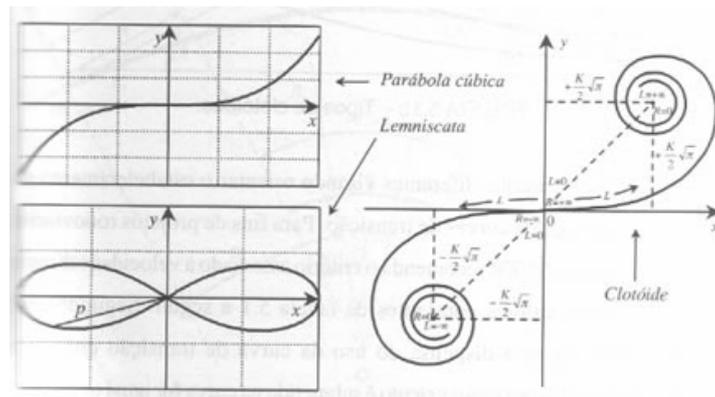


Fig. 11. 2: Curvas de raio variável

Só vamos estudar a CLOTÓIDE, pois é a curva comumente utilizada no Brasil.

Por definição, a clotóide ou espiral é uma curva tal que os raios de curvatura em qualquer de seus pontos é inversamente proporcional aos desenvolvimentos de seus respectivos arcos.

Chamando:

$L$  = comprimento do arco;  
 $R$  = raio de curvatura no extremo do referido arco  
 a lei de curvatura da espiral é expressa pela relação:

$$R \cdot L = K^2 \quad (11.1)$$

onde  $K$  é o parâmetro da espiral.

No ponto SC (Fig. 11. 3, apresentada a na próxima seção) temos  $R = R_c$  e  $L = L_e$ , onde:  
 $R_c$  = raio da curva circular;

$L_e$  = comprimento da espiral ou comprimento da transição, que é o desenvolvimento entre os pontos TS e SC).

Assim sendo, a Equação da Espiral pode ser escrita como:

$$R \cdot L = K^2 = R_c \cdot L_e \quad (11.2)$$

## 11.2. ESPIRAL DE CORNU EMPREGADA COMO CURVA DE TRANSIÇÃO

Em vários casos usa-se a **ESPIRAL DE CORNU** como curva de transição entre a tangente e a curva circular, na concordância horizontal de traçados rodoviários e ferroviários. A adoção de espirais proporciona uma série de vantagens ao traçado da estrada, tais como:

- aumento e diminuição gradativa da força centrífuga que atua sobre os veículos nas curvas;
- a transição entre a inclinação transversal do trecho em tangente para a superelevação do trecho em curva pode ser efetuada na curva de transição;
- no caso de superlargura numa seção transversal em curva circular, a espiral facilita a transição da largura do trecho em tangente para o trecho alargado na curva circular;

- a visualização da estrada torna-se melhor pela supressão de descontinuidade no início e no fim das curvas circulares.

Considere-se, como mostrado na Figura 11.2, duas tangentes que se cortam segundo a deflexão “ $\Delta$ ”:

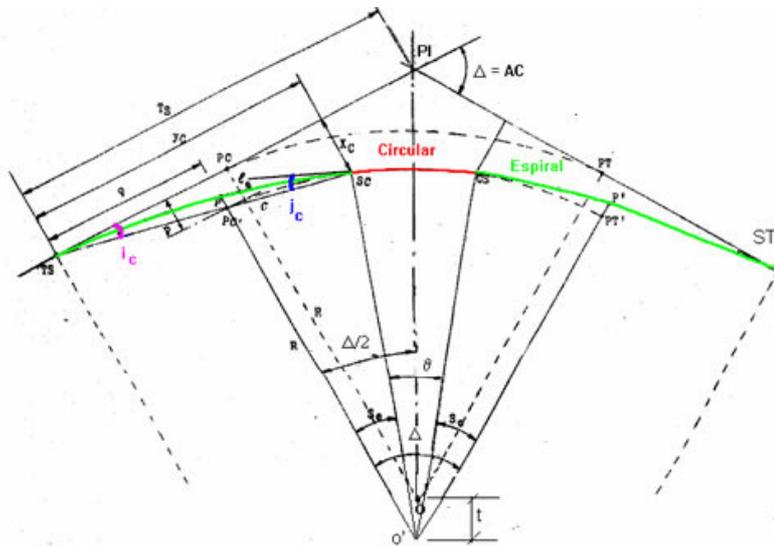


Fig. 11. 3: Principais elementos da transição em espiral

Os elementos principais da transição são:

TS = ponto Tangente-Espiral  
 SC = ponto Espiral-Curva Circular  
 CS = ponto Curva Circular-Espiral  
 ST = ponto Espiral-Tangente  
 PC' e PT' = recuos de PC e PT originais devido à introdução da espiral;  
 P e P' = pontos de passagem da espiral  
 R = Raio da Curva Circular  
 $\Delta$  = ângulo central ou deflexão das tangentes =  $\theta + 2 \cdot Sc$   
 $Sc$  = ângulo central da transição  
 $\theta$  = ângulo central da curva circular  
 $Le$  = comprimento da curva de transição (escolhido)  
 $Yc$  e  $Xc$  = coordenadas de CS ou SC em relação ao TS ou ST  
 $p$  e  $q$  = coordenadas do recuo de PC e PT em relação à TS ou ST.  
 $c$  = corda da espiral;  
 $i_c$  = ângulo entre a corda e a tangente em TS;  
 $j_c$  = ângulo entre a corda e a tangente em SC.

Vamos supor tais tangentes inicialmente concordadas por uma curva circular simples de centro “O” e raio “R”, cujos pontos de contato com as tangentes são PC e PT. Para a inserção da transição em espiral, a curva circular original sofre uma translação “t”, o que desloca seu centro “O” para “O1”. A transição se faz suprimindo parte das tangentes e parte da curva circular. Este método é denominado de RAIO CONSERVADO, com a transição feita pelo eixo da estrada, porque mantém os elementos da curva circular (raio, G, etc). Assim, é que o ponto de tangência no início da curva passa a ser denominado TS (tangente-espiral) e é afastado do PC original ao longo da tangente. O mesmo acontece com o fim da curva, onde o ponto de tangência passa a ser denominado ST (espiral-tangente).

A espiral é tal que seu raio de curvatura varia desde o valor infinito, nos pontos de tangência (TS e ST), até um valor finito, igual ao valor do raio da curva circular, nos pontos de contato SC e CS, onde as curvas são osculatrizes.

Após a inserção da concordância em espiral, o ângulo central AC passará a compreender os ângulos centrais “ $Sc$ ”, de cada ramo da espiral, e o ângulo central “ $\theta$ ”, remanescente da curva circular (arco de círculo entre o SC e o CS), isto é:

$$AC = \theta + 2 \cdot Sc \quad (11.3)$$

Para que a transição se verifique sem que haja superposição dos ramos da espiral é, então, necessário que:

$$AC \geq 2 \cdot Sc \quad (11.4)$$

À expressão (11.4) dá-se a denominação de CONDIÇÃO DE TRANSIÇÃO, que deve ser sempre verificada. Isto significa que, dados dois alinhamentos consecutivos que formam entre si a deflexão  $\Delta$ , o valor do comprimento de cada ramo da curva espiral, escolhida para auxiliar a concordância entre alinhamentos, deve ser tal que o ângulo central  $Sc$  que o compreenda obedeça à condição de transição (11.4). O valor de  $Sc$  é constante para cada par de valores de "R" e "le" (comprimento do trecho em espiral).

Os principais elementos usados para caracterizar uma curva circular com transição em curva espiral são os que podem ser observados na figura anterior, a saber:

- TS  $\Rightarrow$  ponto de passagem do alinhamento reto para a curva espiral.
- SC  $\Rightarrow$  ponto de passagem da curva circular para a curva espiral.
- CS  $\Rightarrow$  ponto de passagem da curva circular para a curva espiral.
- ST  $\Rightarrow$  ponto de passagem da curva espiral para o alinhamento reto.
- $Sc$   $\Rightarrow$  ângulo central do trecho em espiral. Este ângulo pode ser calculado pelas expressões:

$$Sc = \frac{le}{2 \cdot R_c} \quad (\text{em radianos}) \quad (11.5)$$

$$Sc = \frac{le \cdot 180^\circ}{2\pi \cdot R_c} \quad (\text{em graus}) \quad (11.6)$$

$X_c$  e  $Y_c$   $\Rightarrow$  coordenadas cartesianas dos pontos osculadores SC e CS. Podem ser calculados através das seguintes expressões:

$$X_c = \frac{L_e \cdot Sc(rd)}{3} \cdot \left\{ 1 - \frac{Sc^2(rd)}{14} + \frac{Sc^4(rd)}{440} \right\} \quad (11.7)$$

$$Y_c = L_e \cdot \left\{ 1 - \frac{Sc^2(rd)}{10} + \frac{Sc^4(rd)}{216} \right\} \quad (11.8)$$

onde  $L_e$   $\Rightarrow$  comprimento do trecho em espiral.

"q" e "p"  $\Rightarrow$  coordenadas retangulares de recuo do PC e PT, da curva circular original em relação à tangente, tomando como referência o TS ou ST.

Podem ser calculados pelas expressões:

$$q = Y_c - R_c \cdot \text{sen}(Sc^\circ) \quad (11.9)$$

$$p = X_c - R_c \cdot [1 - \cos(Sc^\circ)] \quad (11.10)$$

$\theta$   $\Rightarrow$  Ângulo central do trecho circular, após intercalação da espiral. A partir da expressão (11.3), tem-se que:

$$\theta = AC - 2 \cdot Sc^\circ \quad (11.11)$$

$D_\theta$   $\Rightarrow$  Desenvolvimento do trecho circular, após a intercalação da espiral. Pode ser calculado através da expressão:

$$D_\theta = \frac{\pi \cdot R_c \cdot \theta}{180^\circ} \quad (11.12)$$

$R_c \Rightarrow$  Raio da curva circular empregada;

$T_s \Rightarrow$  tangentes da curva circular com transição em espiral. Seu cálculo pode ser feito a partir da expressão:

$$T_s = q + (R_c + p) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{AC}{2}\right) \quad (11.13)$$

$t \Rightarrow$  Recuo máximo da curva circular original, para a nova posição, quando se faz a transição em espiral. Seu valor é dado por:

$$t = \frac{p}{\cos\left(\frac{AC}{2}\right)} \quad (11.14)$$

$i_c =$  ângulo entre a corda e a tangente em TS;

$j_c =$  ângulo entre a corda e a tangente em SC.

Estes valores podem ser calculados pelas seguintes expressões:

$$i_c = \operatorname{arctg}\left(\frac{X_c}{Y_c}\right) \quad (11.15)$$

$$j_c = S_c - i_c \quad (11.16)$$

Valores de  $S_c$ ,  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $q$ ,  $p$ ,  $i_c$ ,  $j_c \Rightarrow$  podem ser encontrados em tabelas, para os valores de  $l_e$  e  $R$  mais comumente utilizados. (vide CARVALHO, 1966).

Os valores de "q" e "p" também podem ser determinados, com relativa precisão, através das seguintes expressões:

$$q \cong \frac{l_e}{2} \quad (11.17)$$

$$p \cong \frac{l_e^2}{24 \cdot R} \quad (11.18)$$

### 11.3. COMPRIMENTO MÍNIMO DE TRANSIÇÃO

#### 11.3.1. Critério do Comprimento Mínimo Absoluto

Para fins práticos, o menor comprimento de transição admissível é de 30 m ou o equivalente à distância percorrida por um veículo, na velocidade diretriz, no tempo de 2 segundos, prevalecendo o maior.

Comprimentos de transição inferiores não teriam resultados práticos desejáveis, podendo introduzir distorções visíveis nas bordas da pista, comprometendo esteticamente a rodovia.

Representando por  $v$  a velocidade diretriz em m/s, o comprimento mínimo, equivalente à distância percorrida no tempo  $t = 2$  s, será:

$$L_{e_{\min}} = t \cdot v = 2 \cdot v \quad (11.19)$$

ou, expressando a velocidade em km/h:

$$Le_{\min} = 2 \cdot \frac{V}{3,6} \Rightarrow Le_{\min} = 0,556 \cdot V \quad (11.20)$$

onde:

$Le_{\min}$  = comprimento mínimo da transição (m);  
 $V$  = velocidade diretriz (km/h),

lembrando que:

$$Le_{\min} \geq 30m \quad (11.21)$$

### 11.3.2. Critério Dinâmico de Barnett

Como visto anteriormente, ao passar um veículo de um alinhamento reto a uma curva circular, há uma variação instantânea do raio infinito da reta para o raio finito da curva circular, surgindo bruscamente uma força centrífuga que tende a desviar o veículo de sua trajetória.

Para minimizar este inconveniente, além de se usar uma curva de transição, seu comprimento deve ser adequado para que o efeito da força centrífuga apareça de maneira gradual.

A variação da aceleração centrífuga que atua num veículo em trajetória circular é dada por:

$$\frac{d}{dt}(a_c) = J \quad (11.22)$$

Em qualquer ponto da espiral, temos:

$$R \cdot L = R_c \cdot L_e \quad (11.23)$$

Então:

$$R = \frac{R_c \cdot L_e}{L} \quad (11.24)$$

Lembrando que:

$$a_c = \frac{v^2}{R} \quad (11.25)$$

Substituindo a Equação (11.24) na (11.25):

$$a_c = \frac{v^2 \cdot L}{R_c \cdot L_e} \quad (11.26)$$

Sendo o comprimento de transição igual ao produto da velocidade uniforme do veículo pelo tempo que o mesmo necessita para percorrer a espiral, podemos escrever:

$$L = v \cdot t \quad (11.27)$$

Substituindo a Equação (11.27) na (11.26):

$$a_c = \frac{v^2 \cdot v \cdot t}{R_c \cdot L_e} \Rightarrow a_c = \frac{v^3 \cdot t}{R_c \cdot L_e} \quad (11.28)$$

Como a variação da aceleração centrífuga que atua sobre o veículo deve ser constante:

$$\frac{d}{dt}(a_c) = J \Rightarrow J = \frac{v^3}{R_c \cdot L_e} \quad (11.29)$$

O valor da constante J mede a solitação radial ou reação transversal que experimentam os passageiros dos veículos devido à variação da força centrífuga.

O valor aceitável para J varia para cada condutor. Experiências comprovaram que os valores ideais estão entre 0,3 e 0,8 m/s<sup>3</sup>. BARNETT, em seu trabalho Transition Curves for Highways, recomenda o valor J<sub>máx</sub> = 0,6 m/s<sup>3</sup>, valor este adotado pelo DNER.

Adotando J<sub>máx</sub> = 0,6 m/s<sup>3</sup>, R<sub>c</sub> em metros e V em km/h, o comprimento mínimo do trecho de transição, em metros, será:

$$L_{e_{\min}} = \frac{v^3}{J_{\max} \cdot R_c} = \frac{\left(\frac{V}{3,6}\right)^3}{0,6 \cdot R_c} \quad (11.30)$$

$$L_{e_{\min}} = 0,036 \cdot \frac{V^3}{R_c} \quad (11.31)$$

A Equação (11.31) é a chamada Fórmula de Barnett. O valor de L<sub>e</sub> (mínimo) é obtido em metros. Sempre que possível devem ser adotados para L<sub>e</sub> os valores maiores do que o mínimo calculado pela Equação (11.28). Em geral adota-se:

$$L_e = 3 \cdot L_{e_{\min}}, \text{ desde que o valor obtido seja inferior a } L_{e_{\max}}. \quad (11.32)$$

ou:

$$L_e = \frac{L_{e_{\min}} + L_{e_{\max}}}{2} \quad (11.33)$$

#### 11.4. COMPRIMENTO MÁXIMO DE TRANSIÇÃO

Corresponde a um valor nulo para o desenvolvimento do trecho circular (Dθ = 0), ou seja, as espirais se encontram. Então:

$$\theta = AC - 2 \cdot S_c = 0 \Rightarrow AC = 2 \cdot S_c \Rightarrow AC = 2 \cdot \frac{L_{e_{\max}}}{2 \cdot R_c} \quad (11.34)$$

$$L_{e_{\max}} = R_c \cdot AC \quad (11.35)$$

onde na Equação (11.35) L<sub>e<sub>máx</sub></sub> e R<sub>c</sub> são expressos em metros e AC é expresso em radianos. Para AC em graus, a Equação (11.35) fica:

$$L_{e_{\max}} = \frac{R_c \cdot AC^\circ \cdot \pi}{180^\circ} \quad (11.36)$$

#### 11.5. ROTEIRO PARA CÁLCULO DOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS NA CONCORDÂNCIA COM CURVA COM TRANSIÇÃO EM ESPIRAL

1º.) Definição do raio da curva circular (R);

2º.) Com o valor de R, determina-se o comprimento da curva de transição mais adequado;

3º.) Com os valores de "le" e "R", podem ser imediatamente colhidos os valores de alguns elementos geométricos que independem do Ângulo Central (AC), ou seja, Sc, Xc, Yc, p, q, ic, jc; estes valores podem ser obtidos através do uso de tabelas ou podem ser calculados a partir das expressões apresentadas anteriormente;

4º.) Combinando-se os valores encontrados com o valor do Ângulo Central, determina-se o valor correspondente à Tangente Total (Ts), o ângulo central da curva circular ( $\theta$ ) e o desenvolvimento da curva circular ( $D\theta$ );

5º.) Abatendo-se o valor de Ts, em estacas, do valor da estaca correspondente ao PI, determina-se a estaca do TSE ou TSD;

6º.) Partindo-se da estaca do TSE ou TSD e somando-se o valor de Le, em estacas, tem-se a estaca do SC;

7º.) Partindo-se do valor da estaca do ponto correspondente ao SC e somando-se ao mesmo o valor de  $D\theta$ , em estacas, tem-se a estaca do CS;

8º.) Partindo-se da estaca do ponto CS, mais o valor de Le, em estacas, tem-se a estaca do ponto correspondente ao ST.

#### **EXEMPLO:**

Numa curva de uma rodovia, temos os seguintes elementos:  $V = 80$  km/h,  $\Delta = 35^\circ$ ,  $R_c = 500$  m e  $EST\ PI = EST\ 228 + 17,00$  m. Determinar: Lemín, Lemáx, Leadotado, Sc, Xc, Yc,  $\theta$ , p, q, Ts, E, Est TS, Est SC, Est CS, Est ST.

[Anterior](#) | [Proximo](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviários

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabarabolas Final

## Capítulo 12

### LOCAÇÃO DA CURVA CIRCULAR COM TRANSIÇÃO EM ESPIRAL

#### 12.1. INTRODUÇÃO

A locação da curva de transição é iniciada pela localização do ponto TS sobre a primeira tangente a uma distância  $T_s$  do ponto de interseção PI, conforme indica a Figura 12.1.

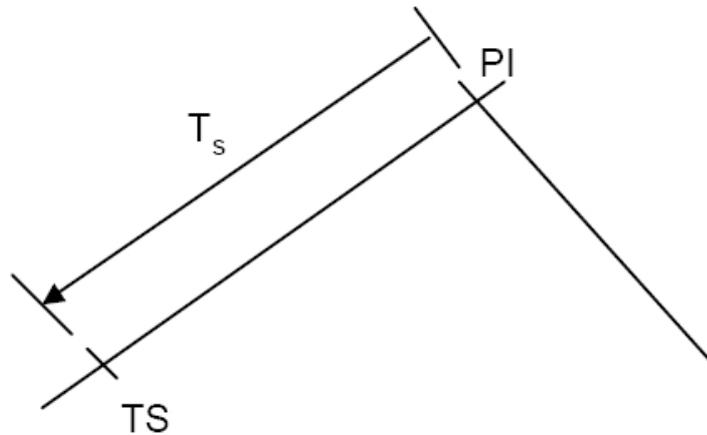
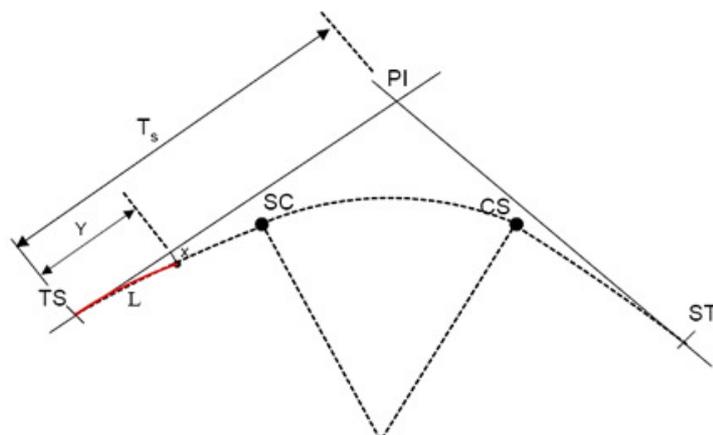


Fig. 12.1: Localização do ponto TS

Depois disso, pode-se iniciar a locação do primeiro ramo da espiral. Para  $R < 100$  m, a locação da espiral deve ser feita de 5 em 5 m. Para  $R \geq 100$  m, a locação deve ser feita de 10 em 10 m.

#### 12.2. MÉTODOS DE LOCAÇÃO

##### 12.2.1. Método de Ordenadas sobre a Tangente



12. 2: Locação pelo Método de Ordenadas sobre a Tangente

$$S = \frac{L^2}{2 \cdot R \cdot L_e} \tag{12.1}$$

$$Y = L \left[ 1 - \frac{S^2}{10} + \frac{S^4}{216} \right] \tag{12.2}$$

$$X = L \left[ \frac{S}{3} - \frac{S^3}{42} \right] \tag{12.3}$$

**12.2.2. Método das Deflexões sobre a Tangente**

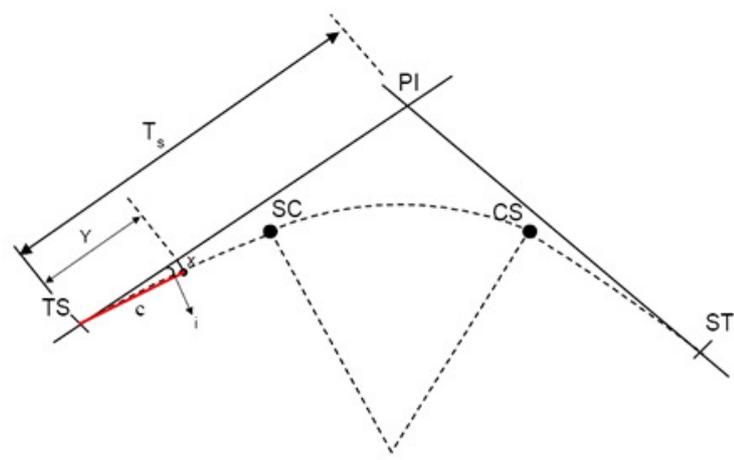


Fig. 12. 3: Locação pelo Método de Deflexões sobre a Tangente

$$\text{tgi} = \frac{X}{Y} \Rightarrow i = \text{arctg} \left( \frac{X}{Y} \right) \tag{12.4}$$

$$\cos i = \frac{Y}{c} \Rightarrow c = \frac{Y}{\cos i} \tag{12.5}$$

O ângulo "i" também pode ser calculado usando a expressão:

$$i = i_c \cdot \left( \frac{L}{L_e} \right)^2 \tag{12.6}$$

**3. MONTAGEM DA TABELA DE LOCAÇÃO**

Tabela de Locação - 1o Ramo da Espiral

ESTACA	L	S	X	Y	i	c
TS						
⋮						
SC						

Corda Total (C<sub>c</sub>) =  
j<sub>c</sub> =

Para locar a curva circular coloca-se o instrumento no ponto SC e visa-se o TS, dá-se a deflexão jc e estabelece-se a direção da tangente no SC, conforme indica a Fig. 12.4.

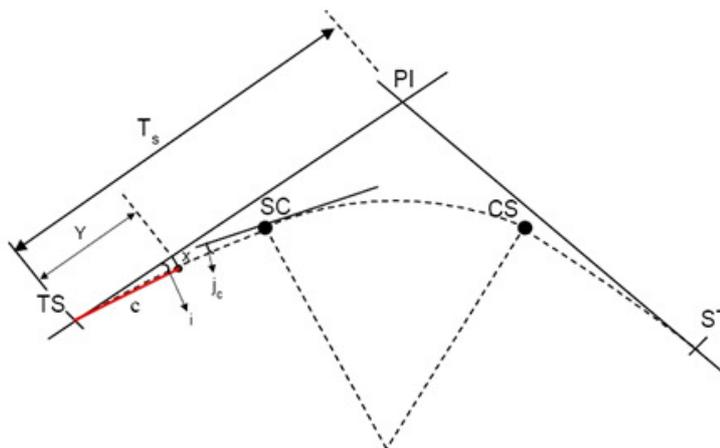


Fig. 12.4: Determinação da tangente no SC

O procedimento para locar o segundo ramo da espiral é idêntico. Centra-se o instrumento no ST e loca-se no sentido de ST para o CS, usando-se as deflexões calculadas.

Tabela de Locação - 2o Ramo da Espiral

ESTACA	L	S	X	Y	i	e
ST						
⋮						
CS						
Corda Total (C <sub>c</sub> ) =						
i <sub>c</sub> =						

**EXEMPLO DE APLICAÇÃO:**

Construir a Tabela de Locação da Curva Circular com Transição em Espiral calculada no Exemplo de Aplicação do Capítulo 11.

[Anterior](#) | [Proximo](#)

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Tráfego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Mínimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabolabolos Final

## Capítulo 13

### SUPERLAGURA EM RODOVIAS

#### 13.1. INTRODUÇÃO

As normas, manuais ou recomendações de projeto geométrico estabelecem as larguras mínimas de faixas de trânsito a adotar para as diferentes classes de projeto, levando em consideração aspectos de ordem prática, tais como as larguras máximas dos veículos de projeto e as respectivas velocidades diretrizes para projeto.

As larguras de faixas de trânsito são fixadas com folgas suficientes em relação à largura máxima dos veículos, de modo a permitir não apenas a acomodação estática desses veículos, mas também suas variações de posicionamento em relação às trajetórias longitudinais, quando trafegam nas faixas, nas velocidades usuais. Dessa forma:

$$L = 2 \cdot l + f \quad (13.1)$$

onde "l" representa a largura do veículo padrão considerado e "f" a folga.

Num trecho em tangente, um veículo de comprimento "b", pode manter um de seus lados paralelo e coincidente com o balizamento central da pista, conforme é ilustrado pela Fig. 13. 1:

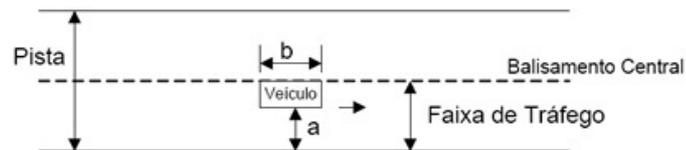


Fig. 13. 1: Veículo num trecho em tangente, trafegando rente ao balizamento central

Nessas condições, o veículo ocupará parte da faixa de trânsito, restando um excesso de largura "a", que é constante, qualquer que seja a posição do veículo dentro da faixa:

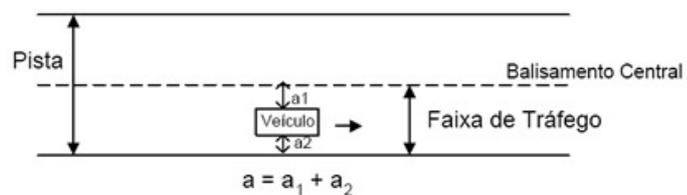


Fig. 13.2: Veículo num trecho em tangente, trafegando numa posição qualquer dentro da faixa

Assim, nos trechos em tangente, os usuários de uma rodovia contam com uma certa liberdade de manobra no espaço correspondente a sua faixa de trânsito, o que lhes permite efetuar pequenos desvios e correções de trajetória para ajustes de curso, conferindo-lhes uma certa condição de fluidez ao trafegar na rodovia. Dessa forma, a diferença constante "a" entre a largura da faixa de trânsito e a largura do veículo, constitui a chamada folga e é um fator de conforto e segurança.

Nos trechos em curva, no entanto, essa condição é alterada, devido a dois fatores principais:

- quando descrevem trajetórias curvas, os veículos ocupam fisicamente espaços laterais maiores do que as suas próprias larguras;
- devido a efeitos de deformação visual, causados pela percepção da pista

em perspectiva, e devido às dificuldades naturais de um veículo pesado em trajetória curva, os trechos em curva horizontal provocam aparência de estreitamento da pista à frente dos usuários, provocando sensação de confinamento.

Com a finalidade de compensar esses fatores, os trechos em curva podem ser alargados, de forma a oferecer aos usuários melhores condições de continuidade quanto à sensação de liberdade de manobra ou melhores condições de fluidez, no que diz respeito à disponibilidade de largura de faixa de trânsito.

Essa largura adicional das faixas de trânsito, a ser projetada para os trechos em curva, é denominada superlargura, sendo representada pela letra S.

### 13.2. CÁLCULO DA SUPERLARGURA PELA FÓRMULA DE VOSHELL-PALLAZZO

Num trecho em curva, observações exaustivamente feitas indicam que o veículo mantém o eixo traseiro e, assim, também toda a parte traseira perpendicular à direção do movimento, ou seja, na direção do raio da curva, conforme esquematizado na Fig. 13.3.

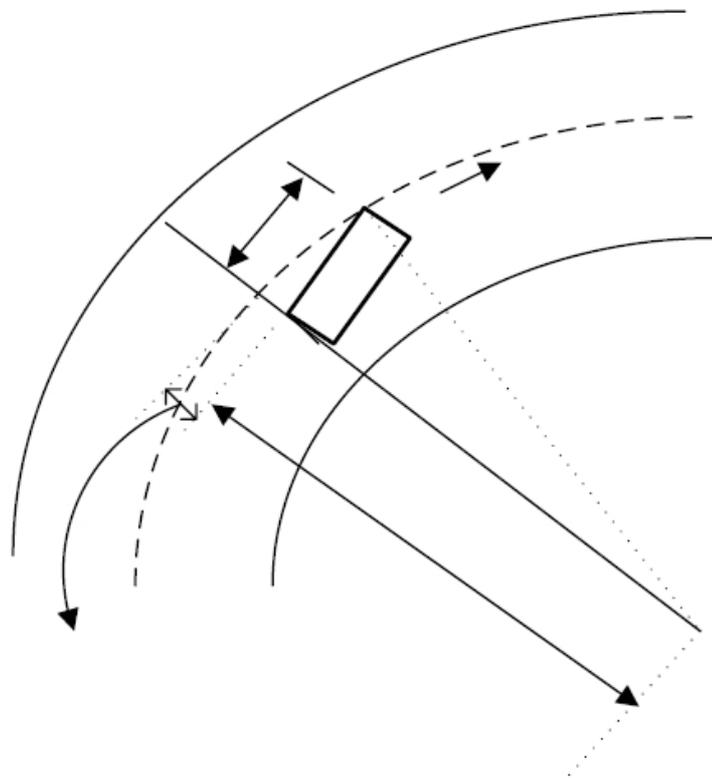


Fig. 13.3: Veículo em curva horizontal

AE = S = Superlargura necessária, devida a posição do veículo na curva;  
 OB = R = Raio de Curvatura;  
 b = comprimento do veículo.

$$R = S + c \Rightarrow S = R - c \quad (13.3)$$

Mas:

$$R^2 = c^2 + b^2 \Rightarrow c^2 = R^2 - b^2 \Rightarrow c = \sqrt{R^2 - b^2} \quad (13.4)$$

Substituindo (13.4) em (13.3):

$$S = R - \sqrt{R^2 - b^2} \quad (13.5)$$

A Equação (13.5) foi deduzida para uma faixa de tráfego. Para "n" faixas de tráfego:

$$S = n \cdot \left( R - \sqrt{R^2 - b^2} \right) \quad (13.6)$$

Observando-se a Equação (13.6), constata-se que a largura do veículo não é levada em conta no cálculo da superlargura. Tal largura é considerada somente no dimensionamento da Faixa de Tráfego.

É introduzida uma correção na fórmula dada pela Equação (13.5), pois constatou-se em experiências feitas nos E.U.A. que a presença das curvas exerce sobre o motorista efeito psicológico, dando a impressão de estreitamento da pista. Esse efeito se deve à perspectiva, razão pela qual a correção é função do raio de curvatura.

VOSHALL propôs, e a AASHO (American Association of State Highway Official) aceitou a seguinte correção a ser adicionada:

$$\text{Correção} = \frac{35}{R} \quad (13.7)$$

Já o D.N.E.R. adotava a seguinte:

$$\text{Correção} = \frac{V}{10 \cdot \sqrt{R}} \quad (13.8)$$

Então, a fórmula da Superlargura ficará:

$$S = n \left( R - \sqrt{R^2 - b^2} \right) + \frac{V}{10 \cdot \sqrt{R}} \quad (13.9)$$

A Equação (13.9) é a chamada Fórmula de Voshell-Pallazzo, onde:

S = Superlargura, em metros;  
 n = número de faixas de tráfego de uma pista;  
 R = Raio de curvatura do eixo da pista, em metros;  
 V = velocidade diretriz, em km/h;  
 b = distância (em metros), entre os eixos da parte rígida do veículo (normalmente se toma igual a 6 m).

### **13.3. METODOLOGIA ATUALMENTE ADOTADA PELO DNER PARA CÁLCULO DA SUPERLARGURA:**

Pela metodologia usada atualmente pelo DNER, a superlargura é obtida calculando a largura total da pista necessária no trecho curvo, para o veículo de projeto adotado (geralmente o veículo CO), deduzindo a largura básica estabelecida para a pista em tangente, segundo a seguinte fórmula:

$$S = L_T - L_B \quad (13.10)$$

onde:

S = superlargura total da pista;  
 L<sub>T</sub> = largura total em curva da pista de 2 faixas de tráfego;  
 L<sub>B</sub> = largura básica da pista em tangente.  
 O valor de L<sub>T</sub> é calculado pela fórmula:

$$L_T = 2 \cdot (G_c + G_L) + G_F + F_D \tag{13.11}$$

onde:

- G<sub>c</sub> = gabarito estático do veículo em curva;
- G<sub>L</sub> = folga lateral do veículo em movimento;
- G<sub>F</sub> = acréscimo devido ao balanço dianteiro do veículo em curva;
- F<sub>D</sub> = folga dinâmica, determinada de forma experimental e empírica.

Para visualizar os elementos anteriores, são apresentadas as Figuras 13.4 e 13.5.

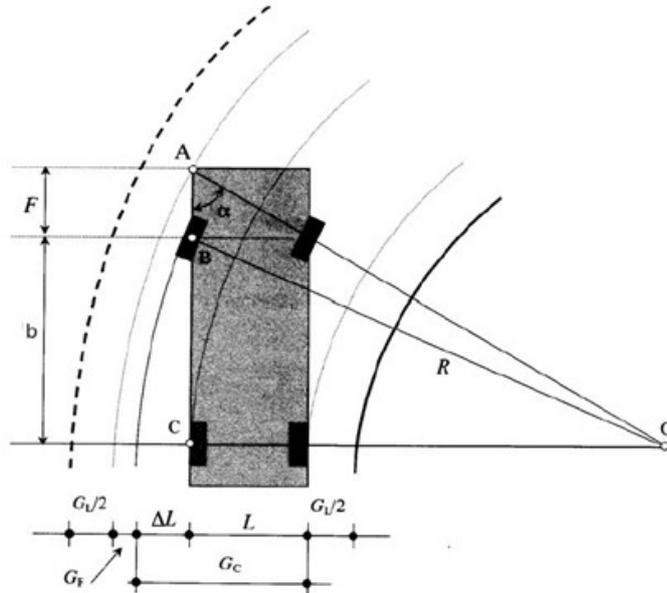


Fig. 13.4: Trajetória de um veículo numa curva (Fonte: PONTES FILHO, 1998)

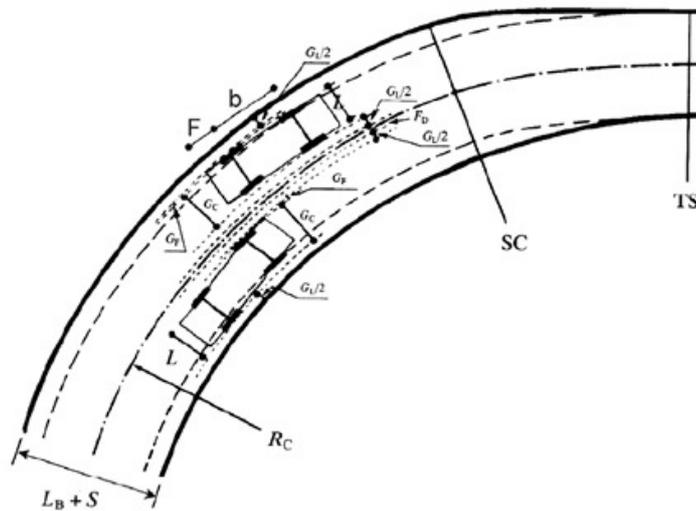


Fig. 13.5: Elementos intervenientes no cálculo da superlargura

Na Fig. 13.4, ΔL corresponde ao acréscimo devido à diferença na trajetória das rodas dianteiras e traseiras. Assim:

$$\Delta L = R - \sqrt{R^2 - b^2} \tag{13.12}$$

Ainda de acordo com a Fig. 13.4 pode ver que:

$$G_c = L + \Delta L \quad (13.13)$$

Assim, substituindo a Equação (13.12) na Equação (13.13):

$$G_c = L + \left( R - \sqrt{R^2 - b^2} \right) \quad (13.14)$$

Na Equação (13.14), a expressão entre parênteses fornece valores muito semelhantes aos da expressão  $\frac{b^2}{2 \cdot R}$ . Desta maneira, a Equação (13.14) resulta em:

$$G_c = L + \frac{E^2}{2 \cdot R} \quad (13.15)$$

Aplicando a lei dos cossenos no triângulo ABO, temos:

$$R^2 = F^2 + (R + G_F)^2 - 2 \cdot F \cdot (R + G_F) \cdot \cos \alpha \quad (13.16)$$

O valor de  $\cos \alpha$  pode ser calculado considerando o triângulo retângulo ACO:

$$\cos \alpha = \frac{b + F}{R + G_F} \quad (13.17)$$

Assim:

$$\begin{aligned} R^2 &= F^2 + (R + G_F)^2 - 2 \cdot F \cdot (R + G_F) \cdot \frac{b + F}{R + G_F} \\ (R + G_F)^2 &= R^2 + F^2 + 2 \cdot F \cdot b \\ G_F^2 + 2 \cdot R \cdot G_F + (-F^2 - 2 \cdot F \cdot b) &= 0 \end{aligned} \quad (13.18)$$

A Equação (13.18) é uma equação do segundo grau da forma:

$$A \cdot G_F^2 + B \cdot G_F + C = 0 \quad (13.19)$$

onde:

$$\begin{aligned} A &= 1 \\ B &= 2 \cdot R \\ C &= (-F^2 - 2 \cdot F \cdot b) \end{aligned}$$

e que pode ser resolvida usando a Fórmula de Báskara, chegando-se a:

$$G_F = \sqrt{R^2 + F \cdot (F + 2 \cdot b)} - R \quad (13.20)$$

A folga dinâmica FD é obtida empiricamente em função da velocidade e do raio de curvatura, dada pela equação seguinte:

$$F_D = \frac{V}{10 \cdot \sqrt{R}} \quad (13.21)$$

Deve ser observado que a folga dinâmica (FD) é o fator de correção que era adotado pelo DNER na fórmula de Voshell-Pallazzo.

Fazendo as devidas substituições, a fórmula geral para cálculo da superlargura é a seguinte:

$$S = 2 \cdot \left( L + \frac{b^2}{2 \cdot R} + G_L \right) + \sqrt{R^2 + F \cdot (F + 2 \cdot b)} - R + \frac{V}{10 \cdot \sqrt{R}} - L_B \quad (13.22)$$

onde:

S = superlargura, em metros;  
 L = largura física do veículo, em metros;  
 b = distância entre eixos, em metros;  
 F = balanço direito do veículo, em m;  
 R = raio da curva, em metros;  
 V = velocidade diretriz, em km/h;  
 GL = folga lateral do veículo em movimento, em metros;  
 LB = largura básica da pista em tangente, em metros.

Os valores do termo GL são adotados em função da largura da pista de rolamento em tangente (LB), de acordo com a Tabela 13.1.

Tabela 13.1: Valores de GL

L <sub>B</sub> (m)	6,00 a 6,40	6,60 a 6,80	7,00 a 7,20
G <sub>L</sub> (m)	0,60	0,75	0,90

Fonte: PONTES FILHO (1998)

Para caminhões e ônibus convencionais de dois eixos e seis rodas, não articulados (veículos CO), os valores adotados para projeto são:

L = 2,60 m;  
 b = 6,10 m;  
 F = 1,20 m.

Em pistas com largura básica (LB = 7,20 m) e adotando o veículo CO como veículo de projeto, a Equação (13.22) fica reduzida a:

$$S_{CO} = \sqrt{16,08 + R^2} + \frac{37,21}{R} + \frac{V}{10 \cdot \sqrt{R}} - R - 0,20 \quad (13.23)$$

Para veículos comerciais articulados, compostos de uma unidade tratora simples e um semi-reboque (veículo SR), os valores adotados para projeto são:

L = 2,60 m;  
 b = 10,00 m;  
 F = 1,20 m.

Para esta situação, a Equação (13.22) fica reduzida a:

$$S_{SR} = \sqrt{25,44 + R^2} + \frac{100}{R} + \frac{V}{10 \cdot \sqrt{R}} - R - 0,20 \quad (13.24)$$

#### 13.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE SUPERLARGURA

Deve ser observado que a necessidade de superlargura aumenta com o porte do veículo e com a redução da largura básica da pista em tangente. A Tabela 13.1 apresenta os valores dos raios acima dos quais é dispensável a superlargura.

Tabela 13.2: Valores dos raios acima dos quais é dispensável a superlargura

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	Tipo de Veículo
R (m)	130	160	190	220	260	310	360	420	CO
R (m)	270	300	340	380	430	480	540	600	SR
LARGURA BÁSICA DA PISTA EM TANGENTE = 7,20 m									
V (km/h)	30	40	50	60	70	80	Tipo de Veículo		
R (m)	340	430	550	680	840	1000	CO		
LARGURA BÁSICA DA PISTA EM TANGENTE = 6,60 m									

Fonte: PONTES FILHO (1998)

Em coerência com a ordem de grandeza das larguras de pista usualmente adotadas, os valores teóricos da superlargura devem, na prática, ser arredondados para múltiplos de 0,20 metros. Considera-se apropriado um valor mínimo de 0,40 metros para justificar a adoção da superlargura. Valores menores podem ser desprezados.

Para pistas com mais de duas faixas, o critério recomendado pelo DNER consiste em multiplicar os valores da superlargura por 1,25 no caso de pistas com três faixas de tráfego, e por 1,50 no caso de pistas com quatro faixas.

[Anterior](#) | [Proximo](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviários

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Tráfego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distância Visibilidade
08 - Concordâncias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parábola Comp. Mínimo
15b - Ex. Parábola Simples
15c - Ex. Parábola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Área Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabarabolas Final

## Capítulo 14

### PROJETO EM PERFIL, PROJETO VERTICAL OU GREIDE DE UMA ESTRADA DE RODAGEM

#### 14.1. INTRODUÇÃO

O projeto de uma estrada em perfil é constituído de greides retos, concordados dois a dois por curvas verticais. Os greides retos são definidos pela sua declividade, que é a tangente do ângulo que fazem com a horizontal. Na prática, a declividade é expressa em porcentagem.

Nos greides ascendentes, os valores das rampas ( $i$ ) são considerados positivos e nos greides descendentes, negativos, conforme indicado na Fig. 14. 1. Para fazer esta convenção é necessário dar um sentido ao perfil, que é geralmente o mesmo do estaqueamento.

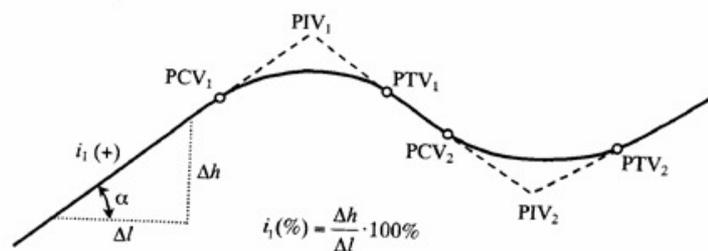


Fig. 14. 1: Perfil de projeto de uma estrada

À interseção dos greides retos dá-se a denominação de PIV (ponto de interseção vertical). Os pontos de tangência são denominados de PCV (ponto de curvatura vertical) e PTV (ponto de tangência vertical), por analogia com a curva circular do projeto em planta. O perfil da futura estrada deve ser escolhido de tal forma que permita aos veículos que percorrerem a estrada uma razoável uniformidade de operação.

A escolha do perfil ideal está intimamente ligada ao custo da estrada, especialmente ao custo da terraplenagem. Condições geológicas e geotécnicas das áreas atravessadas pela estrada terão grande influência na escolha do perfil, pois, tanto na execução dos cortes como dos aterros, condições desfavoráveis do solo natural podem exigir a execução de serviços especiais de alto custo, como escavações em rocha, obras especiais de drenagem, estabilização de taludes e outros.

Assim, muitas vezes a diminuição da altura de um corte ou de um aterro pode reduzir sensivelmente o custo de um determinado trecho de estrada.

Nem sempre essas reduções são possíveis, devido às características técnicas mínimas exigidas, à existência de pontos obrigados como concordância com outras estradas, aos gabaritos de obras civis, às cotas mínimas de aterro necessárias à colocação do leito da estrada acima dos níveis de enchente, etc.

Como exemplo, lembramos os serviços complementares necessários à redução de recalques ou à garantia de estabilidade de aterros construídos sobre solos moles, à estabilização de taludes de cortes altos, à execução de cortes em rocha, etc. Todos esses serviços são dispendiosos em relação ao custo da terraplenagem.

Da mesma forma que no projeto em planta, é sempre desejável que o perfil seja razoavelmente homogêneo, a fim de permitir uma operação uniforme, isto é, que as rampas não tenham grande variação de inclinação e que as curvas de concordância vertical não tenham raios muito diferentes.

Entretanto, a existência de variações acentuadas na topografia da região atravessada obriga, muitas vezes, a execução de trechos de perfil com características técnicas bem

diferentes.

Para o projeto do perfil longitudinal da estrada (greide da estrada) é necessário que, inicialmente seja levantado o perfil do terreno sobre o eixo do traçado escolhido.

Na fase de Exploração (ou Anteprojeto), a escala horizontal 1:10.000 é suficiente. Como as diferenças de altitude são pequenas em relação às distâncias horizontais, sempre é adotada uma escala vertical dez vezes maior que a horizontal, a fim de possibilitar uma boa visualização do perfil. Assim, quando for adotada escala horizontal 1:10.000, a escala vertical deverá ser 1:1000.

Na fase de Projeto Definitivo (ou Locação), é importante um nivelamento do eixo com maior precisão. Normalmente é empregada a escala horizontal 1:2.000 e a escala vertical 1:200.

Como pode ser visualizado na Fig. 14. 1, o greide da estrada é composto por uma seqüência de rampas, concordadas entre si por curvas verticais. O projetista deve, sempre que possível, usar rampas suaves e curvas verticais de raios grandes, de forma a permitir que os veículos possam percorrer a estrada com velocidade uniforme.

Projetos desse tipo são possíveis em regiões de topografia pouco acidentada. Conforme o terreno vai ficando mais acidentado, o uso de rampas suaves e curvas de grandes raios começa a exigir um aumento do movimento de terra (maiores cortes e aterros) e, conseqüentemente, maiores custos.

Nesses casos, a escolha do greide é uma decisão entre melhores condições técnicas (com maior custo) ou rampas mais acentuadas e curvas de menor raio (com um custo menor).

Em termos mais práticos, podemos dizer que o perfil de uma estrada é um gráfico cartesiano no qual representamos, em abscissas, o estaqueamento do eixo da estrada e, em ordenadas, as cotas do terreno e do projeto, além de outros elementos que completam as informações necessárias à construção da estrada.

Um exemplo de projeto de perfil longitudinal é apresentado na Fig. 14. 2.

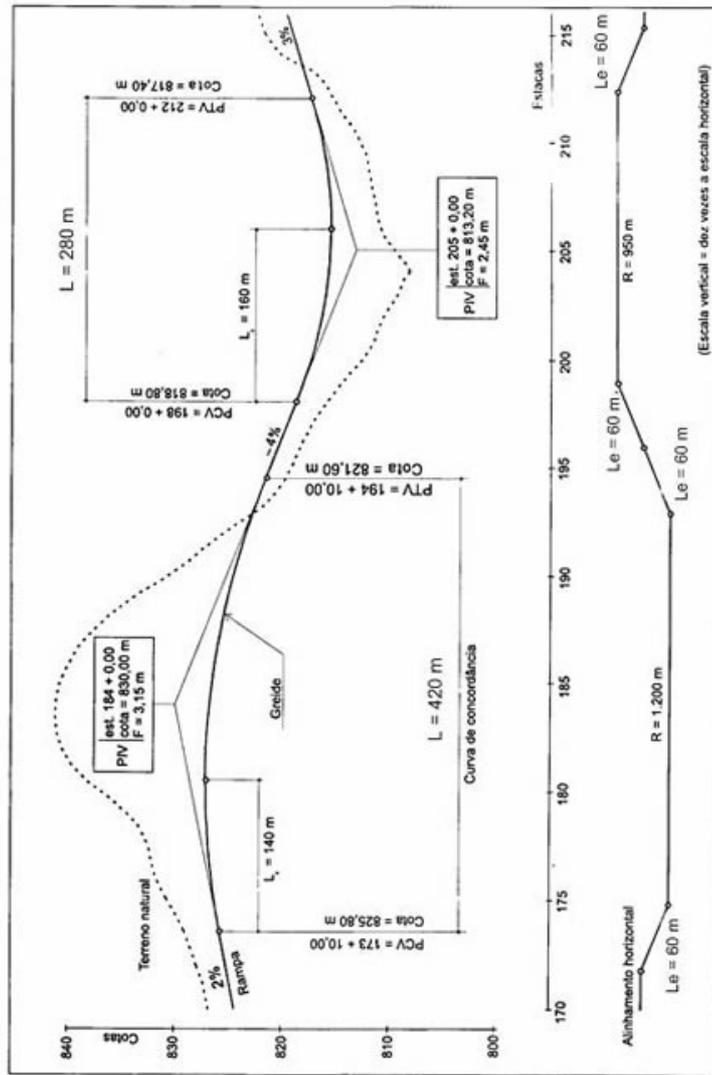


Fig. 14. 2: Exemplo de perfil longitudinal

## 14.2. RAMPAS

### 14.2.1. COMPORTAMENTO DOS VEÍCULOS NAS RAMPAS

- Veículos de passageiros: conseguem vencer rampas de 4% a 5% com perda de velocidade muito pequena. Em rampas de até 3%, o comportamento desses veículos é praticamente o mesmo que nos trechos em nível.
- Caminhões: a perda de velocidade em rampas é bem maior do que a dos veículos de passageiros.

Nas rampas ascendentes, a velocidade desenvolvida por um caminhão depende de vários fatores: inclinação e comprimento da rampa, peso e potência do caminhão, velocidade de entrada na rampa, habilidade e vontade do motorista.

O tempo de percurso dos caminhões em uma determinada rampa cresce à medida que cresce a relação peso / potência. Assim, veículos com a mesma relação peso / potência têm aproximadamente o mesmo comportamento nas rampas.

Caminhões médios conseguem manter velocidades da ordem de 25 km/h em rampas de até 7% e caminhões pesados, apenas velocidades da ordem de 15 km/h, nessas rampas.

### 14.2.2. CONTROLE DE RAMPAS PARA PROJETOS

### **a) Inclinações Máximas (Greide Máximo)**

Com base no comportamento dos veículos nas rampas, podemos obter elementos para a determinação das inclinações máximas admissíveis.

Rampas máximas com até 3% permitem o movimento de veículos de passageiros sem restrições, afetam muito pouco a velocidade dos caminhões leves e médios e são indicadas para estradas com alta velocidade de projeto.

Rampas máximas com até 6% têm pouca influência no movimento dos veículos de passeio, mas afetam bastante o movimento de caminhões, especialmente caminhões pesados, e são aconselháveis para estradas com baixa velocidade de projeto.

Rampas com inclinação superior a 7% só devem ser utilizadas em estradas secundárias, com baixo volume de tráfego, em que a perda de velocidade dos caminhões não provoque constantes congestionamentos, ou em estradas destinadas ao tráfego exclusivo de veículos de passeio. Nessas estradas, em regiões de topografia acidentada, têm sido utilizadas rampas de até 12%.

Quando a topografia do terreno for desfavorável, poderão ser adotados valores maiores que os indicados para as rampas máximas, de forma a dar maior liberdade ao projetista, evitando, assim, pesados movimentos de terra, cortes e aterros

excessivamente altos, ou mesmo evitar a construção de viadutos e túneis, que encarecerão a construção da estrada.

A Tabela 14.1 apresenta os valores das inclinações máximas para rampas recomendados pelas Normas para Projeto de Estradas de Rodagem do DNER.

Tabela 14.1: Inclinação Máxima das Rampas (%)

Classe do Projeto	Região (Relevo)		
	Plana	Ondulada	Montanhosa
Classe 0	3	4	5
Classe I	3	4,5	6
Classe II	3	5	6
Classe III	3	5 a 6	6 a 7
Classe IV	3	5 a 7	6 a 9

### **b) Inclinações Mínimas (Greide Mínimo)**

Nos trechos onde a água de chuva não pode ser retirada no sentido transversal à pista, por exemplo, em cortes extensos ou em pistas com guias laterais, o perfil deverá garantir condições mínimas para o escoamento no sentido longitudinal. Nesses casos, é aconselhável o uso de rampas com inclinação não inferior a 0,5% em estradas com pavimento de alta qualidade e 1% em estradas com pavimento de média e baixa qualidade.

Quando a topografia da região atravessada for favorável e as condições locais permitirem, poderão ser usados trechos em nível (rampa com inclinação 0%), desde que haja condições para a perfeita drenagem da pista.

### **c) Comprimento Crítico de Rampa**

O termo Comprimento Crítico de Rampa é usado para definir o máximo comprimento de uma determinada rampa ascendente na qual um caminhão pode operar sem perda excessiva de velocidade.

A Tabela 14.2 apresenta as recomendações da norma do DNER.

Tabela 14. 2: Comprimento Crítico de Rampa  
COMPRIMENTO CRÍTICO DE RAMPAS

GREIDE (%)	COMPRIMENTO CRÍTICO DE RAMPA (m)	
	RAMPA PRECEDIDA POR TRECHO PLANO	RAMPA PRECEDIDA POR TRECHO DESCENDENTE
3	480	660
4	330	450
5	240	330
6	210	270
7	180	240
8	150	210

[Anterior](#) | [Próximo](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Tráfego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distância Visibilidade
08 - Concordâncias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15 - Cálculo dos Elementos
15a - Ex. Parábola Comp. Mínimo
15b - Ex. Parábola Simples
15c - Ex. Parábola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Área Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabolabolos Final

## Capítulo 15

### CÁLCULO DOS ELEMENTOS DEFINIDORES DA CURVA PARABÓLICA DE CONCORDÂNCIA VERTICAL

#### 15.1. INTRODUÇÃO

As curvas clássicas de concordância empregadas em todo o mundo são as seguintes: parábola de 2o grau, curva circular, elipse e parábola cúbica.

O DNER recomenda o uso de parábolas de 2o grau no cálculo de curvas verticais, de preferência simétricas em relação ao PIV, ou seja, a projeção horizontal das distâncias do PIV ao PCV e do PIV ao PTV são iguais a  $L/2$ , como mostrado na Figura 15.1.

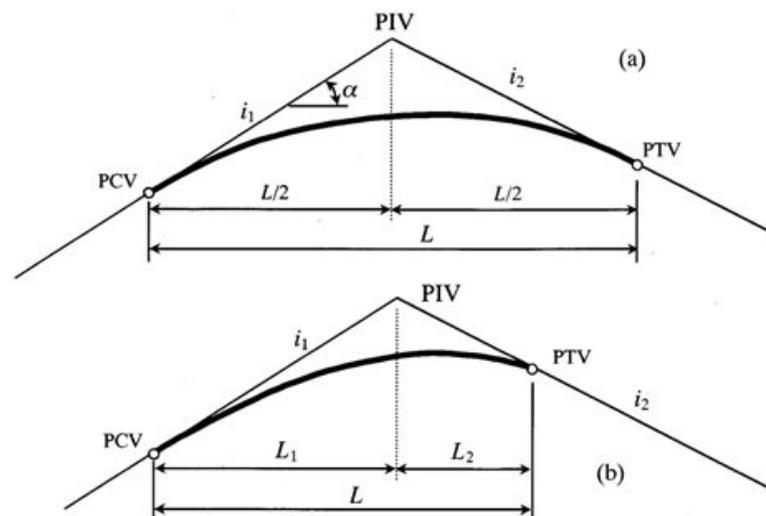


Fig. 15.1: Parábolas empregadas na concordância vertical

Entre as vantagens da parábola do segundo grau, podem ser citadas:

- A equação da curva é simples;
- A transformada da parábola devido às duas escalas no perfil é também uma parábola;
- A taxa de variação de declividade da parábola é constante;
- O PCV e o PTV podem ser locados em estaca inteira ou inteira + 10,00 m;
- É desnecessário o uso de tabelas ou gabaritos para desenhar a curva no projeto.

#### 15.2. TIPOS DE CURVAS VERTICAIS

No processo de Concordância Vertical entre greides retos consecutivos, geralmente têm-se os tipos usuais de curvas verticais apresentados na Figura 15.2.

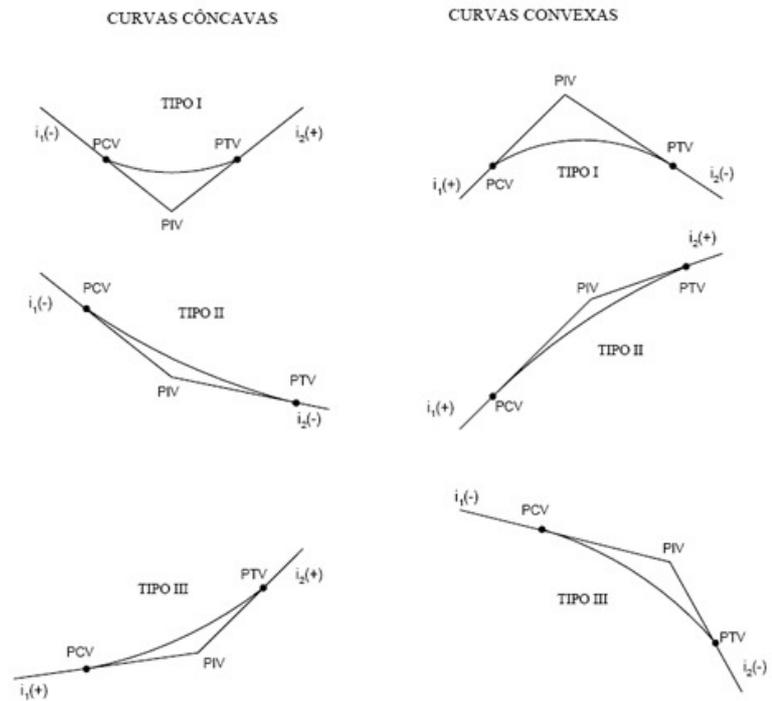


Fig. 15.2: Tipos de Curvas Verticais

Uma etapa importante é caracterizar numericamente os elementos definidores da curva. Esses elementos poderão ser determinados através das expressões matemáticas que serão apresentadas a seguir.

**15.3. DIFERENÇA ALGÉBRICA DE RAMPAS (g):**

É numericamente igual à diferença algébrica das declividades dos greides retos a concordar, ou seja:

$$g = i_1 - i_2 \tag{15.1}$$

Quando  $g > 0$  significa que a curva vertical parabólica é CONVEXA, enquanto que  $g < 0$  indica que a curva é CÔNCAVA.

Podem ser dispensadas curvas verticais quando a diferença algébrica entre rampas contíguas for inferior a 0,5 %.

**15.4. EQUAÇÃO DA PARÁBOLA SIMPLES COM ORIGEM DO SISTEMA DE EIXOS NO PCV**

Consideremos a situação apresentada na Figura 15.3:

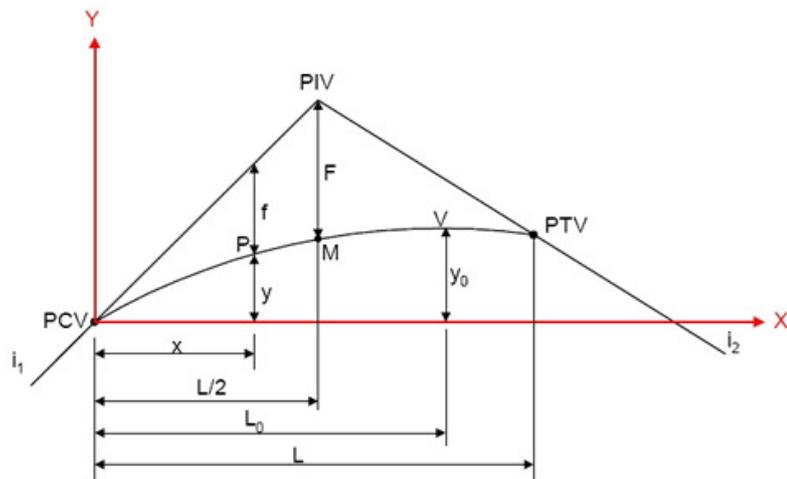


Fig. 15.3: Parábola com o sistema de eixos cartesianos no PCV

A equação da parábola para esta situação é:

$$y = ax^2 + bx + c \tag{15.2}$$

1) Na origem do sistema de eixos, tem-se:

$$\left. \begin{array}{l} x = 0 \\ y = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow c = 0$$

2) A derivada da curva no ponto PCV é igual à inclinação da reta tangente à curva:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= i_1 \\ \frac{d(ax^2 + bx + c)}{dx} &= i_1 \\ 2ax + b &= i_1 \\ b &= i_1 - 2ax \end{aligned}$$

Quando  $x = 0 \xrightarrow{\text{Então}} b = i_1$

3) A derivada da curva no ponto PTV é igual à inclinação da reta tangente à curva:

$$\frac{dy}{dx} = i_2$$

$$\frac{d(ax^2 + bx + c)}{dx} = i_2$$

$$2ax + b = i_2$$

$$2ax = i_2 - b$$

$$a = \frac{i_2 - b}{2x}$$

Mas  $b = i_1 \xrightarrow{\text{Então}} a = \frac{i_2 - i_1}{2x}$

No ponto PTV,  $x = L \xrightarrow{\text{Então}} a = \frac{i_2 - i_1}{2L}$

Mas :  $g = i_1 - i_2 \Rightarrow i_2 - i_1 = -g$

Então :  $a = \frac{-g}{2L}$

Substituindo os valores dos coeficientes a e b na Equação Geral da Parábola [Equação (15.2)] chega-se a:

$$R = S + c \Rightarrow S = R - c \tag{13.3}$$

A Equação (15.3) fornece a ordenada y de qualquer ponto de abscissa x da curva, permitindo a determinação das coordenadas dos pontos da curva em relação ao PCV.

15.5. CÁLCULO DAS FLECHAS PARCIAIS DA PARÁBOLA

15.5.1. PARÁBOLA SIMPLES

a) Para o 1o Ramo:

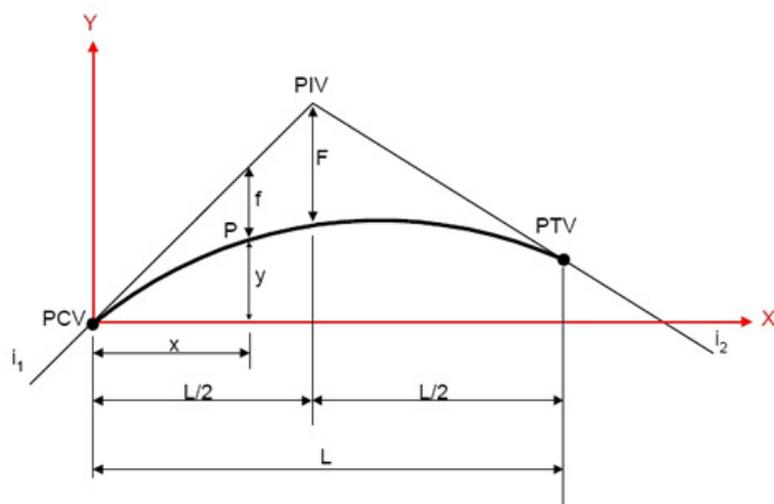


Fig. 15.4: Flechas parciais no 1o ramo da parábola simples

$$i_1 = \frac{f + y}{x} \Rightarrow f + y = i_1 \cdot x \tag{15.4}$$

Substituindo na Equação (15.4) a Equação da Parábola (15.3):

$$f - \frac{g}{2L}x^2 + i_1x = i_1x$$

$$f = \frac{g}{2L} \cdot x^2 \tag{15.5}$$

onde:

f = flecha da parábola no ponto P;  
 g = diferença algébrica das rampas;  
 L = comprimento da curva vertical;  
 x = distância horizontal do ponto de cálculo da flecha ao PCV.  
 Em particular, no ponto PIV, temos a Flecha Máxima (F), que é a seguinte:

$$F = \frac{g}{2L} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{g}{2 \cdot L} \cdot \frac{L^2}{4}$$

$$F = \frac{g \cdot L}{8} \tag{15.6}$$

**b) Para o 2o Ramo:**

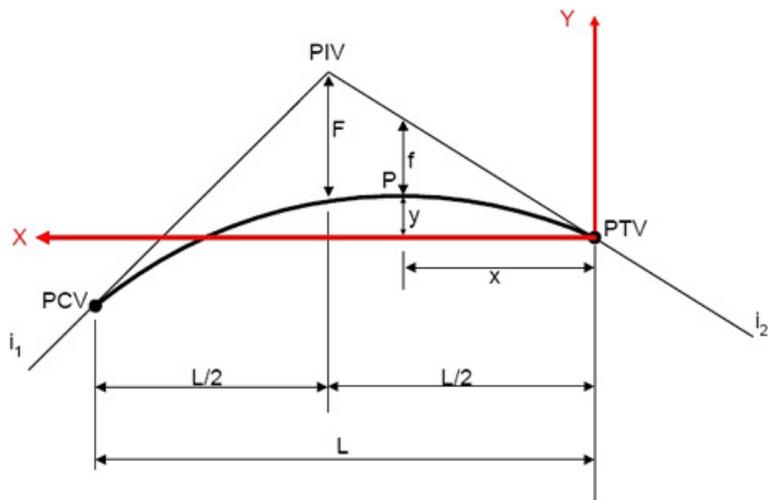


Fig. 15.5: Flechas parciais no 2o ramo da parábola simples

De maneira análoga ao 1o ramo chega-se a:

$$f = \frac{g}{2L} \cdot x^2 \tag{15.7}$$

onde, neste caso, x é a distância horizontal do ponto de cálculo da flecha ao PTV.

Flechas Parciais:

$$F = \frac{L_1 \cdot L_2}{2 \cdot L} \cdot g \tag{15.8}$$

1o Ramo:

$$f_1 = \frac{F}{L_1^2} \cdot x_1^2 \quad (15.9)$$

2o Ramo:

$$f_2 = \frac{F}{L_2^2} \cdot x_2^2 \quad (15.10)$$

### 15.6. CÁLCULO DO PONTO DE ORDENADA MÁXIMA OU MÍNIMA DA PARÁBOLA SIMPLES

Consideremos novamente a parábola apresentada na Figura 15.3 e sua equação (15.3). Derivando a equação (15.3) em relação a  $x$ :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-2 \cdot g \cdot x}{2 \cdot L} + i_1$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-g}{L} \cdot x + i_1 \quad (15.11)$$

No ponto de máximo ou de mínimo:

$$x = L_0$$

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

Então, substituindo na Equação (15.11):

$$0 = \frac{-g}{L} \cdot L_0 + i_1$$

$$\frac{g}{L} \cdot L_0 = i_1$$

$$L_0 = \frac{i_1 \cdot L}{g} \quad (15.12)$$

Fazendo a substituição na Equação (15.3):

$$y_0 = \frac{-g}{2L} \cdot L_0^2 + i_1 \cdot L_0$$

$$y_0 = \frac{-g}{2L} \cdot \frac{i_1^2 \cdot L^2}{g^2} + i_1 \cdot \frac{i_1 \cdot L}{g}$$

$$y_0 = \frac{i_1^2 \cdot L}{2g} \quad (15.13)$$

### 15.7. COTAS E ESTACAS DO PCV E PTV

Para o cálculo das estacas e cotas dos pontos PCV e PTV utilizamos as seguintes relações:

- Para Parábola Simples:

$$\text{EST PCV} = \text{EST PIV} - \frac{L}{2} \quad (15.14)$$

$$\text{EST PTV} = \text{EST PIV} + \frac{L}{2} \quad (15.15)$$

$$\text{Cota (PCV)} = \text{Cota (PIV)} - i_1 \cdot \frac{L}{2} \quad (15.16)$$

$$\text{Cota (PTV)} = \text{Cota (PIV)} + i_2 \cdot \frac{L}{2} \quad (15.17)$$

- Para Parábola Composta:

$$\text{EST PCV} = \text{EST PIV} - L_1 \quad (15.18)$$

$$\text{EST PTV} = \text{EST PIV} + L_2 \quad (15.19)$$

$$\text{Cota (PCV)} = \text{Cota (PIV)} - i_1 \cdot L_1 \quad (15.20)$$

$$\text{Cota (PTV)} = \text{Cota (PIV)} + i_2 \cdot L_2 \quad (15.21)$$

### 15.8. RAIOS DAS CURVAS PARABÓLICAS VERTICAIS

Os raios mínimos das Parábolas usadas na concordância vertical são determinados pela seguinte expressão:

$$\rho = \frac{L}{|g|} \quad (15.22)$$

onde:

L = comprimento da parábola, em metros;  
 |g| = módulo da diferença algébrica de rampas;  
 ρ = raio mínimo da parábola, em metros.

Isolando L na Equação (15.22):

$$L = \rho \cdot |g| \quad (15.23)$$

Muitas vezes é comum trabalhar-se com o valor de "g" em percentagem. Assim, a Equação (15.23) deverá ser dividida por 100:

$$L = \frac{\rho \cdot |g|}{100} \quad (15.24)$$

Na literatura da área de Projeto de Estradas, o módulo de "g" expresso em % é usualmente chamado de A e p/100 é chamado de K, o parâmetro da parábola.

Assim, podemos escrever a Equação (15.24) na seguinte forma:

$$L = K \cdot A \quad (15.25)$$

onde:

L = comprimento da parábola, em metros.  
A = diferença algébrica de rampas, em %.  
K = parâmetro da parábola.

A parábola simples, que é a mais utilizada para curvas verticais, é muito próxima de uma circunferência. Por isso, é usual na literatura de projeto de estradas, em vez de referir-se ao raio p, referir-se ao valor do raio Rv da curva vertical, que deve ser entendido como o raio da circunferência equivalente à parábola, isto é, uma circunferência de raio Rv igual ao raio instantâneo no vértice da parábola.

### **15.9. COMPRIMENTO A SER ADOTADO PARA AS CURVAS PARABÓLICAS DE CONCORDÂNCIA VERTICAL**

Geometricamente, a concordância vertical de dois trechos retos do greide, que se interceptam em um PIV, pode ser efetuada com parábolas de quaisquer comprimentos. No projeto de um greide rodoviário, no entanto, há critérios técnicos que estabelecem limitações quanto aos comprimentos máximo e/ou mínimo das curvas que podem ser utilizadas nas concordâncias verticais, os quais devem ser observados quando se procura escolher o comprimento da curva a ser projetada em cada concordância em particular.

Por questões de ordem prática, os comprimentos de curvas verticais a serem utilizados nos projetos geométricos de rodovias são preferencialmente arredondados para valores inteiros, múltiplos de 20,00 m, de forma a que os pontos de concordância resultem em estacas inteiras, em estacas múltiplas de 10,00 m ou em estacas múltiplas de 5,00 m, dependendo, naturalmente, dos posicionamentos dos pontos de interseção verticais (PIV).

As normas do DNER estabelecem as limitações de comprimentos de curvas verticais, para fins de projetos de rodovias, com base em determinados critérios, como será visto na próxima seção.

#### **15.9.1. Critério do Mínimo Valor Absoluto**

A prática rodoviária indica que curvas verticais muito curtas, embora possam atender tecnicamente a outros critérios, resultam em greides com má aparência, desnecessariamente angulosos.

Para evitar isso, as normas do DNER recomendam que as curvas verticais tenham comprimentos suficientes para que as variações de declividades entre os trechos retos do greide sejam experimentadas pelos usuários ao longo de um tempo igual ou maior que 2 segundos.

O comprimento mínimo da curva, de acordo com este critério, será dado pela distância percorrida por um veículo, que se desloca a uma certa velocidade v, no tempo de 2 s, o qual poderá ser calculado por:

$$L_{\min} = 2 \cdot v \quad (15.26)$$

Convertendo a expressão (15.26) para expressar a velocidade em km/h, resultará:

$$L_{\min} = 2 \cdot \frac{V}{3,6} \quad (15.27)$$

$$L_{\min} = 0,6 \cdot V \quad (15.28)$$

onde:

L<sub>mín</sub> = comprimento mínimo da curva vertical (m);

V = velocidade diretriz (km/h)

Por considerações de ordem prática, o valor de L<sub>mín</sub> deve ser limitado inferiormente a

20,00 m.

### 15.9.2. Critério da Distância de Visibilidade

#### 15.9.2.1. Visibilidade nas Curvas Verticais Convexas

O comprimento mínimo das curvas verticais convexas é determinado em função das condições necessárias de visibilidade nas curvas, de forma a dar ao motorista o espaço necessário a uma frenagem segura.

O critério que era adotado pelo DNER era o seguinte:

Quando dois veículos, trafegando em direções opostas, se aproximam do cume de uma elevação, é indispensável que os motoristas se avistem a tempo e a uma distância suficiente para que possam manobrar com segurança e evitar o choque; essa distância é chamada Distância Dupla de Visibilidade (D).

A Figura Fig. 15.7 apresenta a situação exposta anteriormente.

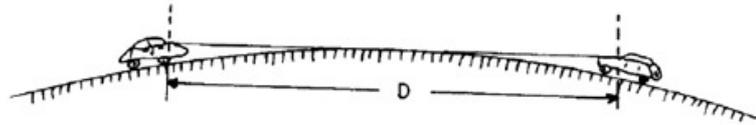


Fig. 15.7: Distância Dupla de Visibilidade na Concordância Vertical Convexa

Neste caso, é estabelecida a altura da vista do motorista em relação à pista (h), como sendo 1,20 m.

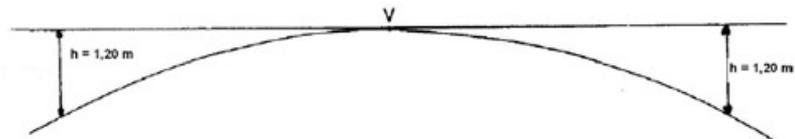


Fig. 15.8: Altura da vista do motorista em relação à pista

O critério atualmente estabelecido pelas normas do DNER, para a determinação do comprimento mínimo de uma curva vertical convexa, considera que um motorista, com os olhos postados a 1,10 m de altura sobre a pista ( $h_1$ ), deva ser capaz de enxergar um obstáculo de 0,15 m de altura acima da pista ( $h_2$ ), a uma distância de visibilidade pelo menos igual à distância de visibilidade de parada ( $D_p$ ), conforme esquematizado na Fig. 15.9.

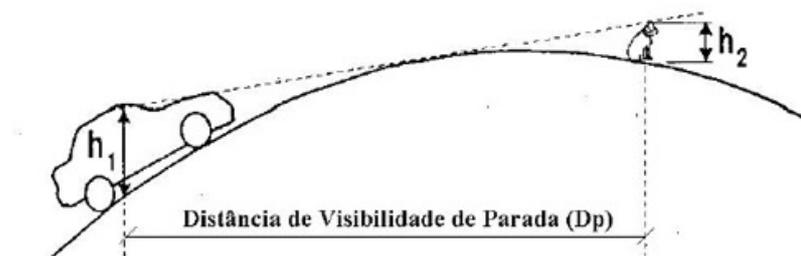


Fig. 15.9: Critério atualmente adotado pelo DNER

Assim, para todas as curvas convexas da estrada deve-se ter:

$$S \geq D_p \quad (15.29)$$

em que:

S = distância de visibilidade do motorista;

$D_p$  = Distância de Visibilidade de Parada

Para determinar o menor comprimento da curva vertical, de forma a ser respeitada a

inequação (15.29), fazemos  $S = D_p$ , considerando a altura da vista do motorista em relação à pista ( $h_1 = 1,10$  m) e a altura do obstáculo ( $h_2 = 0,15$  m).

Observado este critério, há duas situações geometricamente distintas a considerar, dependendo das posições do motorista e do obstáculo em relação à curva, conforme os casos apresentados a seguir.

**1º Caso:** O motorista, dentro da curva, enxerga o obstáculo também postado na curva ( $S=D_p \leq L$ ), conforme a Figura 15.10.

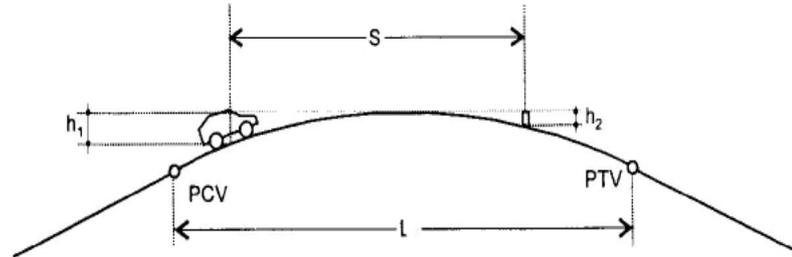
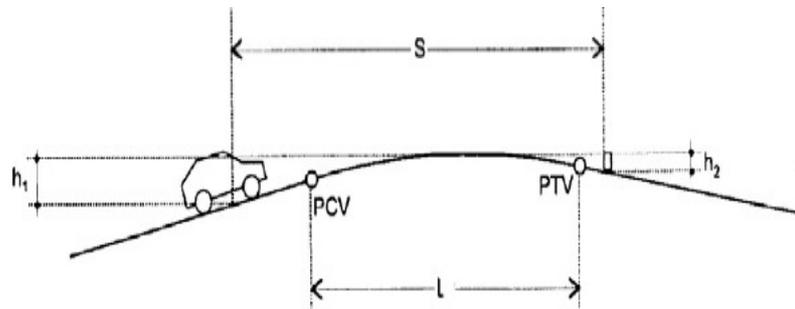


Fig. 15. 10: Esquema de visibilidade para veículo e obstáculo sobre curva convexa

$$L_{min} = \frac{D_p^2}{412} \cdot A \tag{4.30}$$

onde:  
 $L_{min}$  = comprimento mínimo da curva vertical (m);  
 $D_p$  = distância de visibilidade de parada (m);  
 $A$  = diferença algébrica de rampas (%).

**2º Caso:** O motorista, antes da curva, enxerga o obstáculo situado após a curva ( $S=D_p > L$ ), conforme a Figura 15.11.



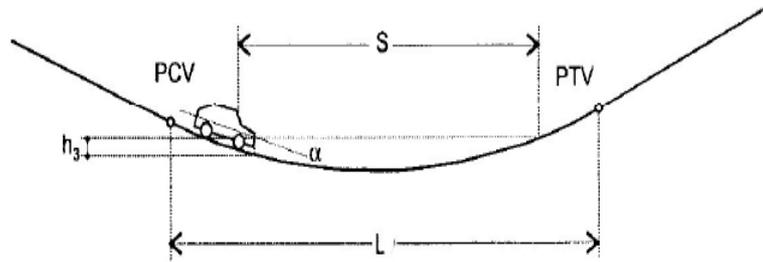
$$L_{min} = 2 \cdot D_p - \frac{412}{A} \tag{4.31}$$

**15.9.2.2. Visibilidade nas Curvas Verticais Côncavas**

Durante o dia e no caso de pistas iluminadas artificialmente, geralmente não ocorrem problemas de visibilidade. Para pistas não iluminadas, aplica-se o critério da visibilidade noturna, ou seja, a pista deve ser iluminada à distância de visibilidade de parada pelo farol do veículo, por hipótese situado a  $h_3 = 0,61$  m acima do plano da pista, supondo que seu fecho o luminoso diverge de  $\alpha = 1$  do eixo longitudinal do veículo.

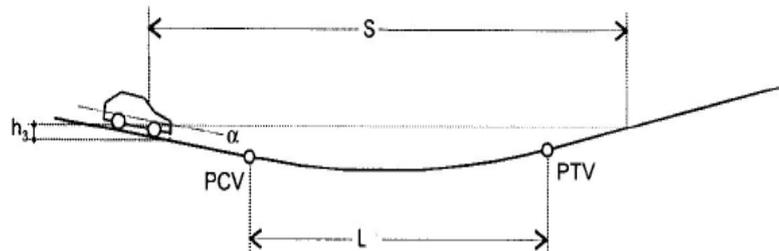
Também no caso das curvas verticais côncavas há duas situações a considerar, dependendo das posições do veículo (de seus faróis) e do ponto mais distante da área suficientemente iluminada em relação à curva, conforme os casos apresentados a seguir.

**1º Caso:** Os faróis do veículo e o ponto mais distante iluminado estão dentro da curva ( $S=D_p \leq L$ ), conforme a Figura 15.12. 0



$$L_{min} = \frac{D_p^2}{122 + 3,5 \cdot D_p} \cdot |A| \tag{4.32}$$

**2º Caso:** Os faróis do veículo, situados antes da curva, iluminam o ponto mais distante, localizado após a curva ( $S=D_p=L$ ), conforme a Figura 15.13.



$$L_{min} = 2 \cdot D_p - \frac{122 + 3,5 \cdot D_p}{|A|} \tag{4.33}$$

[Download do Capítulo 15](#)

[Anterior](#) | [Proximo](#)

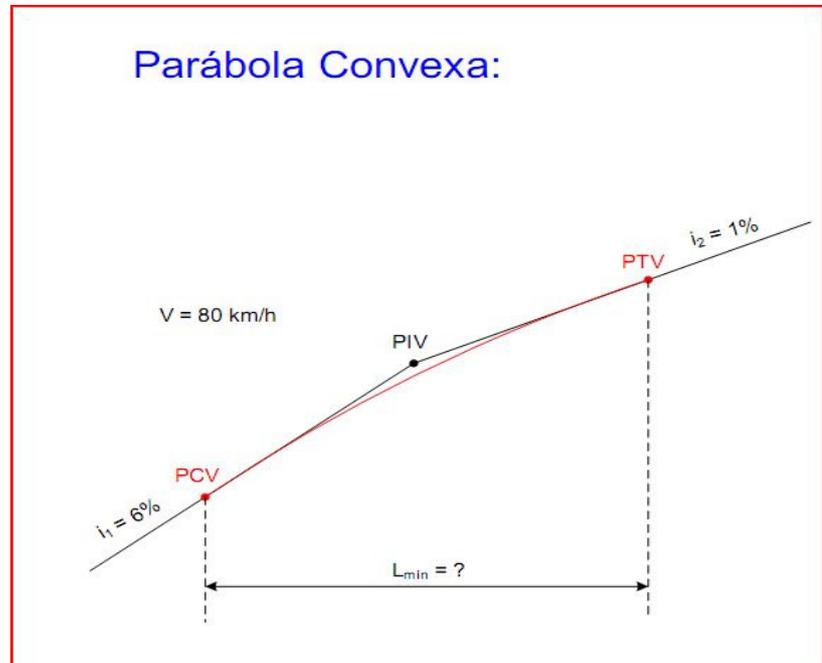
# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviários

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabarabolas Final

## Capítulo 15a

### MÍNIMO DE PARÁBOLAS EXEMPLO DA DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO



a) Critério do Mínimo Valor Absoluto:

$$L_{min} = 0,6 \cdot V = 0,6 \times 80 = 48,00m$$

Supondo, por hipótese, o 1º Caso

b) Critério da Distância de Visibilidade:

$$(D_p \leq L)$$

$$L_{min} = \frac{D_p^2}{412} \cdot A$$

$$A = i_1 - i_2 = 6\% - 1\% = 5\%$$

$$D_p = 0,7 \cdot V + \frac{V^2}{255 \cdot (f + i)}$$

Considerando o critério desejável na Tabela 7.1:

V <sub>diretriz</sub> (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
f = f <sub>t</sub>	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,25

$$f = 0,30$$

Para adotar "i" considera-se a pior situação (descida da maior rampa): i = 0,06

$$D_p = 0,7 \times 80 + \frac{80^2}{255 \cdot (0,30 - 0,06)} = 160,58m$$

$$L_{min} = \frac{D_p^2}{412} \cdot A$$

$$L_{min} = \frac{160,58^2}{412} \cdot 5 = 312,94m$$

→ D<sub>p</sub> ≤ L → Hipótese confirmada

[Exemplo Parabola Simples](#) | [Exemplo Parabola Composta](#) | [Capitulo 16](#)

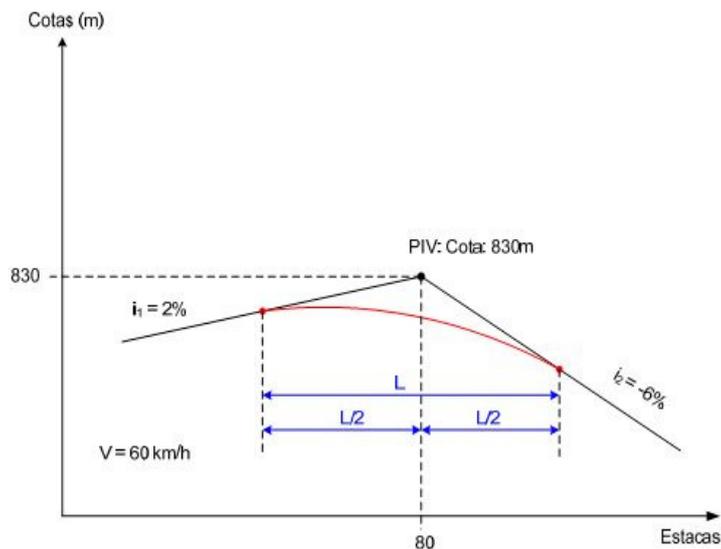
# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviários

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabarabolas Final

## Capítulo 15b

### EXEMPLO DE CÁLCULO DE CONCORDÂNCIA VERTICAL COM PARÁBOLA SIMPLES



a) **Determinação do comprimento da Parábola (L):**

a.1) **Critério do Mínimo Valor Absoluto:**

$$L_{min} = 0,6 \cdot V = 0,6 \times 60 = 36,00m$$

a.2) **Critério da Distância de Visibilidade:**

Supondo, por hipótese, 1º caso ( $D_p \leq L$ ):

$$L_{min} = \frac{D_p^2}{412} \cdot A$$

$$A = i_1 - i_2 = 2\% - (-6\%) = 8\%$$

$$D_p = 0,7 \cdot V + \frac{V^2}{255 \cdot (f + i)}$$

$$V = 60 \text{ km/h}$$

$$i = -6\% = -0,06 \text{ (pior situação)}$$

$$f = 0,33 \text{ (valor desejável)}$$

$$D_p = 0,7 \times 60 + \frac{60^2}{255 \cdot (0,33 - 0,06)} = 94,29m$$

$$D_p \cong 95,00m$$

$$L_{min} = \frac{D_p^2}{412} \cdot A = \frac{95^2}{412} \cdot 8 = 175,24m$$

$$D_p \leq L_{min} \rightarrow \text{hipótese confirmada}$$

$$L_{adotado} = 200,00 \text{ m}$$

**b) Cálculo da Flecha Máxima:**

$$F = \frac{g \cdot L}{8} = \frac{0,08 \times 200}{8} = 2,00m$$

**c) Cálculo das Estacas do PCV e PTV:**

$$\text{EST PCV} = \text{EST PIV} - \frac{L}{2}$$

$$\text{EST PCV} = \text{EST } 80 - \frac{200m}{2} = \text{EST } 80 - 100m = \text{EST } 80 - 5 \text{ estacas}$$

$$\text{EST PCV} = \text{EST } 75$$

$$\text{EST PTV} = \text{EST PIV} + \frac{L}{2}$$

$$\text{EST PTV} = \text{EST } 80 + \frac{200m}{2} = \text{EST } 80 + 100m = \text{EST } 80 + 5 \text{ estacas}$$

$$\text{EST PTV} = \text{EST } 85$$

**d) Cálculo das cotas do PCV e PTV:**

$$\text{Cota(PCV)} = \text{Cota (PIV)} - i_1 \cdot \frac{L}{2}$$

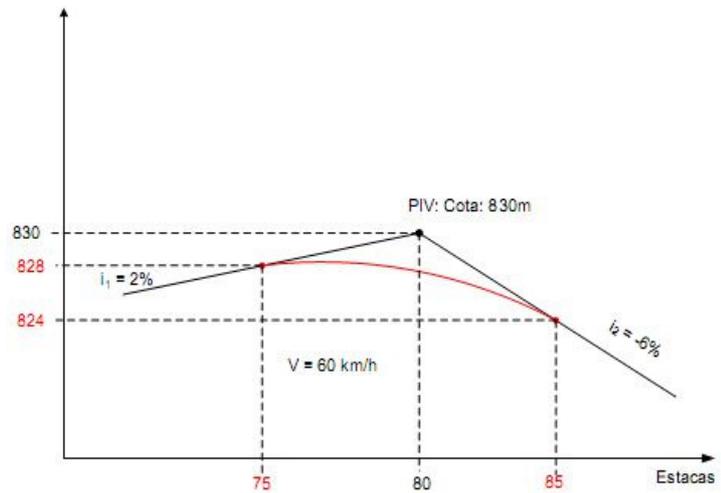
$$\text{Cota(PCV)} = 830 - \left( 0,02 \times \frac{200}{2} \right) = 830 - 2,00$$

$$\text{Cota(PCV)} = 828,00m$$

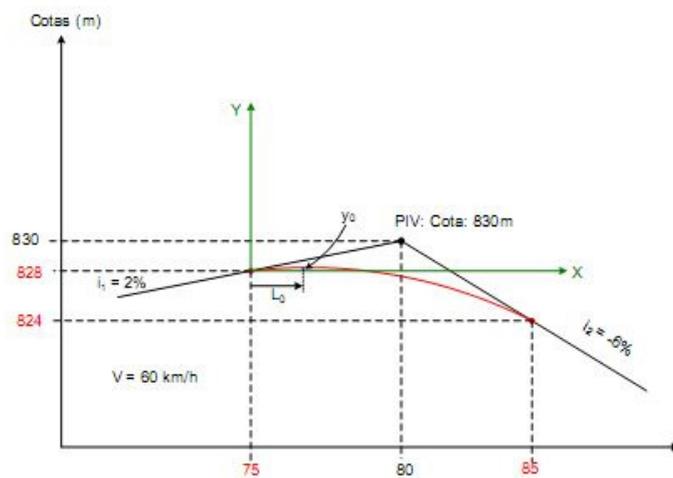
$$\text{Cota(PTV)} = \text{Cota (PIV)} + i_2 \cdot \frac{L}{2}$$

$$\text{Cota(PTV)} = 830 + \left( -0,06 \times \frac{200}{2} \right) = 830 - 6,00$$

$$\text{Cota(PTV)} = 824,00m$$



**e) Cálculo do Ponto de Ordenada Máxima da Parábola (em relação ao PCV):**



$$L_0 = \frac{i_1 \cdot L}{g} = \frac{0,02 \times 200}{0,08} = 50,00m$$

$$y_0 = \frac{i_1^2 \cdot L}{2 \cdot g} = \frac{(0,02)^2 \times 200}{2 \times 0,08} = 0,50m$$

$$\text{ESTACA} \begin{cases} \text{Ponto de Ordenada} \\ \text{Máxima da Parábola} \end{cases} = \text{EST PCV} + L_0 = \text{EST } 75 + 50m = \text{EST } 77 + 10,00m$$

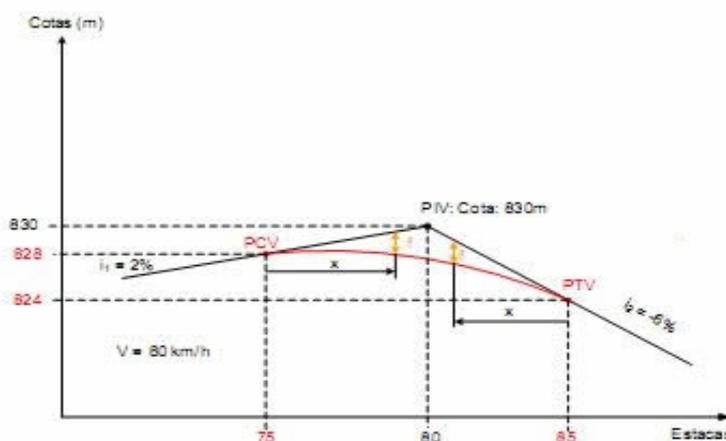
$$\text{Cota} \begin{cases} \text{Ponto de Ordenada} \\ \text{Máxima da Parábola} \end{cases} = \text{Cota(PCV)} + y_0 = 828,00 + 0,50m = 828,50m$$

**f) Cálculo das Flechas Parciais da Parábola:**

$$f = \frac{g}{2 \cdot L} \cdot x^2$$

$$f = \frac{0,08}{2 \times 200} \cdot x^2$$

$$f = (2 \times 10^{-4}) \cdot x^2$$



**TABELA:**

ESTACAS	Rechas Parciais (m)	$C_{GR} = C_0 + i \cdot d_H$	$C_{GC} = C_{GR} - f$
		Cotas Greide Reto	Cotas Greide Curvo
PCV = EST 75	0,00	828,00	828,00
EST 76	0,08	828,40	828,32
EST 77	0,32	828,80	828,48
EST 77 + 10,00'	0,50	829,00	828,50
EST 78	0,72	829,20	828,48
EST 79	1,28	829,60	828,32
PIV = EST 80	2,00	830,00	828,00
EST 81	1,28	828,80	827,52
EST 82	0,72	827,60	826,88
EST 83	0,32	826,40	826,08
EST 84	0,08	825,20	825,12
PTV = EST 85	0,00	824,00	824,00

\*Ponto de Ordenada Máxima

[Exemplo Parabola Comprimento Minimo](#) | [Exemplo parabola Composta](#) | [capitulo 16](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo

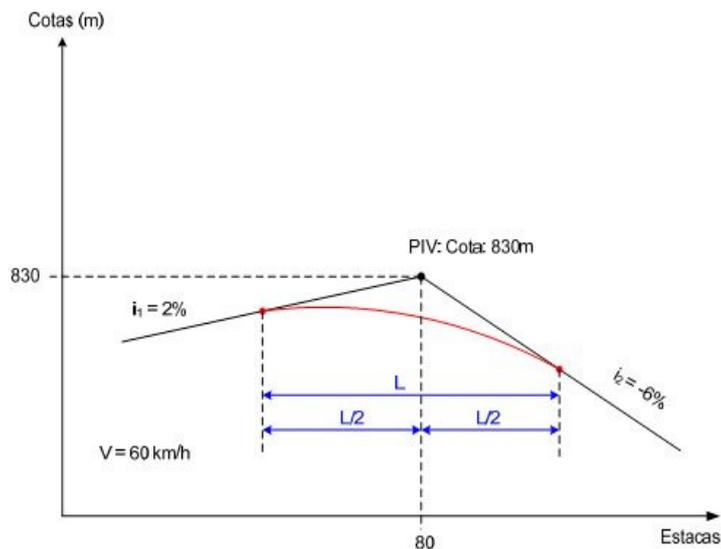
# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviários

## Capítulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabarabolas Final

## Capítulo 15b

### EXEMPLO DE CÁLCULO DE CONCORDÂNCIA VERTICAL COM PARÁBOLA SIMPLES



a) **Determinação do comprimento da Parábola (L):**

a.1) **Critério do Mínimo Valor Absoluto:**

$$L_{min} = 0,6 \cdot V = 0,6 \times 60 = 36,00m$$

a.2) **Critério da Distância de Visibilidade:**

Supondo, por hipótese, 1º caso ( $D_p \leq L$ ):

$$L_{min} = \frac{D_p^2}{412} \cdot A$$

$$A = i_1 - i_2 = 2\% - (-6\%) = 8\%$$

$$D_p = 0,7 \cdot V + \frac{V^2}{255 \cdot (f + i)}$$

$$V = 60 \text{ km/h}$$

$$i = -6\% = -0,06 \text{ (pior situação)}$$

$$f = 0,33 \text{ (valor desejável)}$$

$$D_p = 0,7 \times 60 + \frac{60^2}{255 \cdot (0,33 - 0,06)} = 94,29m$$

$$D_p \cong 95,00m$$

$$L_{min} = \frac{D_p^2}{412} \cdot A = \frac{95^2}{412} \cdot 8 = 175,24m$$

$$D_p \leq L_{min} \rightarrow \text{hipótese confirmada}$$

$$L_{adotado} = 200,00 \text{ m}$$

**b) Cálculo da Flecha Máxima:**

$$F = \frac{g \cdot L}{8} = \frac{0,08 \times 200}{8} = 2,00m$$

**c) Cálculo das Estacas do PCV e PTV:**

$$\text{EST PCV} = \text{EST PIV} - \frac{L}{2}$$

$$\text{EST PCV} = \text{EST } 80 - \frac{200m}{2} = \text{EST } 80 - 100m = \text{EST } 80 - 5 \text{ estacas}$$

$$\text{EST PCV} = \text{EST } 75$$

$$\text{EST PTV} = \text{EST PIV} + \frac{L}{2}$$

$$\text{EST PTV} = \text{EST } 80 + \frac{200m}{2} = \text{EST } 80 + 100m = \text{EST } 80 + 5 \text{ estacas}$$

$$\text{EST PTV} = \text{EST } 85$$

**d) Cálculo das cotas do PCV e PTV:**

$$\text{Cota(PCV)} = \text{Cota (PIV)} - i_1 \cdot \frac{L}{2}$$

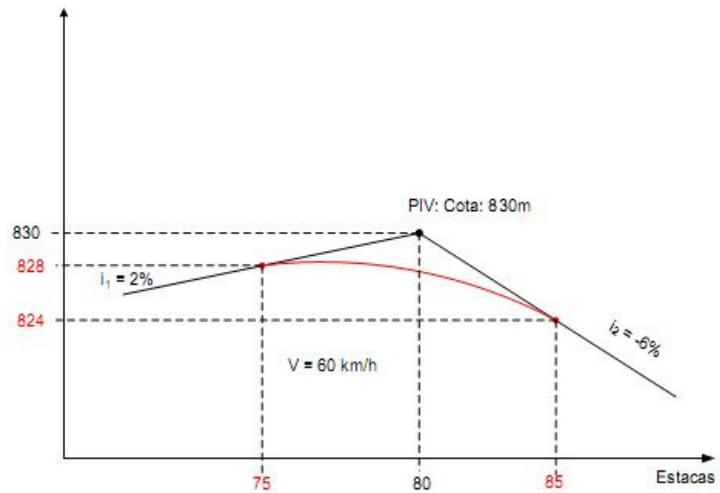
$$\text{Cota(PCV)} = 830 - \left( 0,02 \times \frac{200}{2} \right) = 830 - 2,00$$

$$\text{Cota(PCV)} = 828,00m$$

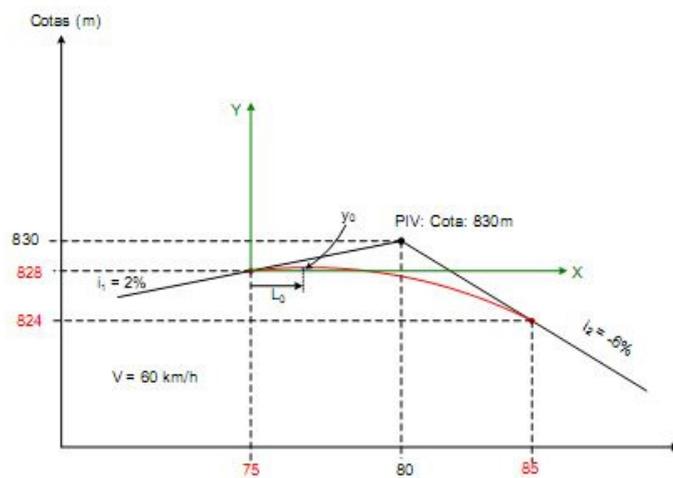
$$\text{Cota(PTV)} = \text{Cota (PIV)} + i_2 \cdot \frac{L}{2}$$

$$\text{Cota(PTV)} = 830 + \left( -0,06 \times \frac{200}{2} \right) = 830 - 6,00$$

$$\text{Cota(PTV)} = 824,00m$$



**e) Cálculo do Ponto de Ordenada Máxima da Parábola (em relação ao PCV):**



$$L_0 = \frac{i_1 \cdot L}{g} = \frac{0,02 \times 200}{0,08} = 50,00m$$

$$y_0 = \frac{i_1^2 \cdot L}{2 \cdot g} = \frac{(0,02)^2 \times 200}{2 \times 0,08} = 0,50m$$

$$\text{ESTACA} \begin{cases} \text{Ponto de Ordenada} \\ \text{Máxima da Parábola} \end{cases} = \text{EST PCV} + L_0 = \text{EST } 75 + 50m = \text{EST } 77 + 10,00m$$

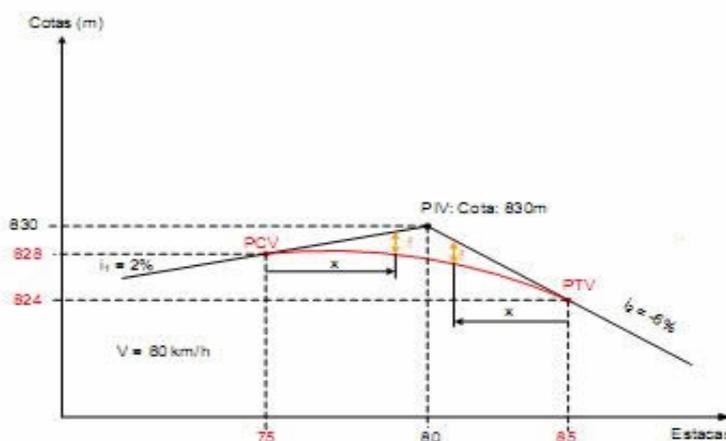
$$\text{Cota} \begin{cases} \text{Ponto de Ordenada} \\ \text{Máxima da Parábola} \end{cases} = \text{Cota(PCV)} + y_0 = 828,00 + 0,50m = 828,50m$$

**f) Cálculo das Flechas Parciais da Parábola:**

$$f = \frac{g}{2 \cdot L} \cdot x^2$$

$$f = \frac{0,08}{2 \times 200} \cdot x^2$$

$$f = (2 \times 10^{-4}) \cdot x^2$$



**TABELA:**

ESTACAS	Rechas Parciais (m)	$C_{GR} = C_0 + i \cdot d_H$	$C_{GC} = C_{GR} - f$
		Cotas Greide Reto	Cotas Greide Curvo
PCV = EST 75	0,00	828,00	828,00
EST 76	0,08	828,40	828,32
EST 77	0,32	828,80	828,48
EST 77 + 10,00'	0,50	829,00	828,50
EST 78	0,72	829,20	828,48
EST 79	1,28	829,60	828,32
PIV = EST 80	2,00	830,00	828,00
EST 81	1,28	828,80	827,52
EST 82	0,72	827,60	826,88
EST 83	0,32	826,40	826,08
EST 84	0,08	825,20	825,12
PTV = EST 85	0,00	824,00	824,00

\*Ponto de Ordenada Máxima

[Exemplo Parabola Comprimento Minimo](#) | [Exemplo parabola Composta](#) | [capitulo 16](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capitulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabarabolas Final

## Capitulo 16

### CADERNETA DE RESIDÊNCIA OU NOTAS DE SERVIÇO DE TERRAPLENAGEM

#### 16.1. INTRODUÇÃO

Antes de explicarmos em que consiste a chamada "Caderneta de Residência", é importante mostrarmos duas equações que podem ser utilizadas para o cálculo das "Cotas dos pontos do greide reto" e das "Cotas dos pontos do greide curvo".

#### 16.2. CÁLCULO DAS COTAS DOS PONTOS DO GREIDE RETO

As cotas do Greide Reto em cada estaca podem ser determinadas através da utilização da seguinte expressão:

$$C_{EST} = C_o \pm i \cdot d_H \tag{16.1}$$

onde:

Co: é uma cota do greide reto conhecida inicialmente;

i: é a declividade longitudinal do greide reto, para o qual se deseja calcular as cotas em cada estaca;

dH: é a distância horizontal entre o ponto de cota "Co" e aquele outro onde se deseja o valor da cota (CEST).

#### 16.3. CÁLCULO DAS COTAS DOS PONTOS DO GREIDE CURVO

As cotas dos pontos do greide curvo podem ser calculadas, em cada estaca, pela seguinte fórmula:

$$C_{greidecurvo} = C_{Est} \pm f_n \tag{16.2}$$

onde:

f = valor da flecha em cada ponto da curva que possui cota CEst.

#### 16.4. CADERNETA DE RESIDÊNCIA

Para preparar a Caderneta de Residência (ou Nota de Serviço de Terraplenagem) para o trabalho de construção, o primeiro passo é calcular as cotas do greide reto projetado. Partindo de uma cota conhecida, vão sendo calculadas as cotas dos diversos pontos do greide reto, de acordo com a rampa, passando pelo PCV até atingir o PIV. Em seguida, tomando-se a inclinação do segundo greide reto, prossegue-se o cálculo até o novo PIV, e assim por diante.

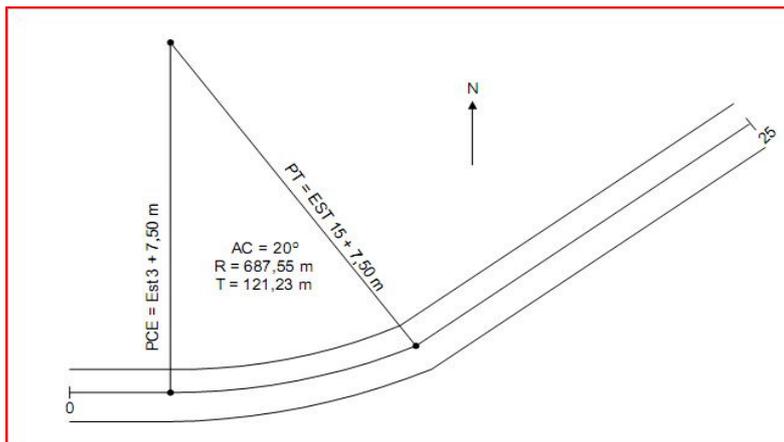
Os valores de f calculados, inscrevem-se na coluna "flechas da parábola" da tabela 16.1. Para a curva parabólica simples, calcula-se os valores das flechas para o primeiro ramo (do PCV ao PIV) e repete-se, em ordem inversa, para o ramo simétrico. Calculados os valores de f, soma-se ou subtrai-se do greide reto e tem-se então as cotas do greide de projeto. Para o cálculo das cotas vermelhas, basta fazer a diferença entre as cotas do terreno natural e as cotas do greide de projeto.

Tabela 16.1: Caderneta de Residência (ou Nota de Serviço de Terraplenagem)

EST.	ALINHAMENTOS		COTAS (m)		FLECHAS DA PARÁBOLA	GREIDE DE PROJETO	COTAS VERMELHAS	
	HORIZ.	VERT.	TERRENO	GREIDE RETO			CORTE (+)	ATERRO (-)

#### 16.5. Exercício Exemplo: Preenchimento de uma Caderneta de Residência

Considere o trecho de estrada apresentado na figura abaixo e os seguintes dados:



Distância de Visibilidade de Parada ( $D_p$ ) = 60 m.  
 Cota do greide reto na Estaca Zero = 200,000 m.  
 EST PIV1 = 9 + 0,00 m  
 EST PIV2 = 18 + 0,00 m  
 $i_1 = -2,3\%$  ;  $i_2 = +3,5\%$  ;  $i_3 = -4,6\%$   
 Comprimento adotado para as parábolas simples:  $L_1 = L_2 = 80$  m.  
 Não esqueça de verificar se o comprimento proposto para as parábolas obedece ao  $L_{mín}$ .

Complete a Caderneta de Residência apresentada abaixo e trace o Perfil Longitudinal do terreno, os greides retos e o greide final da estrada.

**CADERNETA DE RESIDÊNCIA**

ESTA-CAS	ALINHAMENTOS		COTAS (m)		Flechas da Parábola	COTAS GREIDE DE PROJETO	COTAS VERM.	
	HORI-ZON-TAL	VERTI-CAL	TERRE-NO NA-TURAL	GREI-DE RE-TO			CORTE (+)	ATER-RO (-)
0			200,00					
1			199,200					
2			198,300					
3			197,450					
3+7,5 m	PCE		197,180					
4			196,700					
5			195,200					
6			194,600					
7			194,000					
8	AC=20°		193,550					
9	R=687,55m		193,000					
10	T=121,23m		194,200					
11	D=240 m		195,500					
12	$d_m = 2,5'$		196,600					
13			197,800					
14			199,050					
15			200,300					
15+1,5 m	PT		200,900					
16			201,800					
17			203,400					
18			204,150					
19			203,000					
20			201,850					
21			200,620					
22			199,450					
23			198,200					
24			196,300					
25			195,720					

[Anterior](#) | [Proximo](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviarios

## Capitulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Classificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabarabolas Final

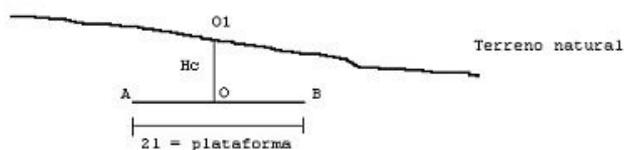
## Capitulo 17

### CÁLCULO DAS ÁREAS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DE UMA RODOVIA

#### 17.1. INTRODUÇÃO

Relembrando:

CORTE: quando se deseja estabelecer a estrada abaixo do terreno natural.  
 ATERRO: quando se deseja elevar a estrada acima do terreno natural.  
 COTA VERMELHA: É a distância vertical entre o eixo da estrada e o nível do terreno.



CORTE:



$\alpha_c$  = inclinação do talude da corte

Fig. 17. 1: Seção transversal em corte

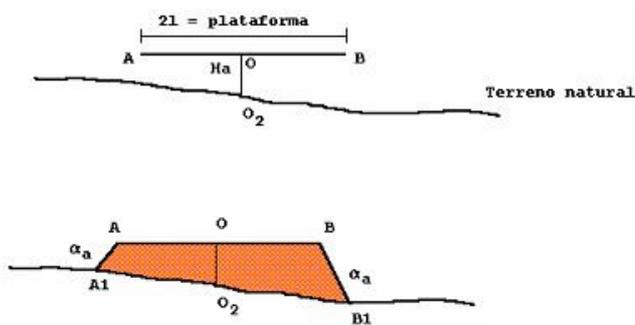
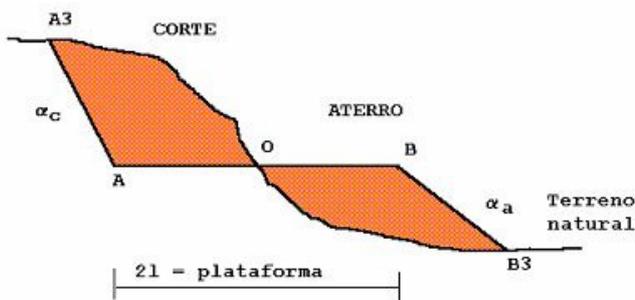


Fig. 17. 2: Seção transversal em aterro.



#### 17.2. CÁLCULO DAS ÁREAS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS

Para o cálculo das áreas das seções transversais métodos mostrados a seguir:

1. Método Geométrico;
2. Método Mecânico;
3. Método Analítico;
4. Método Analítico Simplificado.
5. Método Computacional

### 17.2.1. MÉTODO GEOMÉTRICO

Consiste em dividir a seção transversal em figuras geométricas conhecidas e calcular suas áreas.

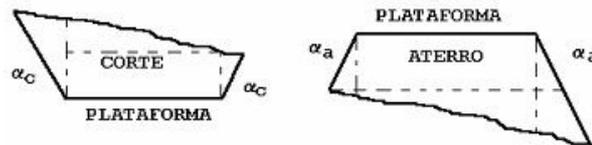


Fig. 17. 4: Método Geométrico

### 17.2.2. MÉTODO MECÂNICO

O aparelho usado é o planímetro, que nas seções desenhadas na escala 1:200 dá a precisão suficiente, pois pretende-se apenas uma estimativa do custo da obra e da distribuição de terras.

O método consiste em desenhar as seções, geralmente de estaca em estaca e, com o planímetro, obter as áreas respectivas, conforme ilustra a Figura 17.5.

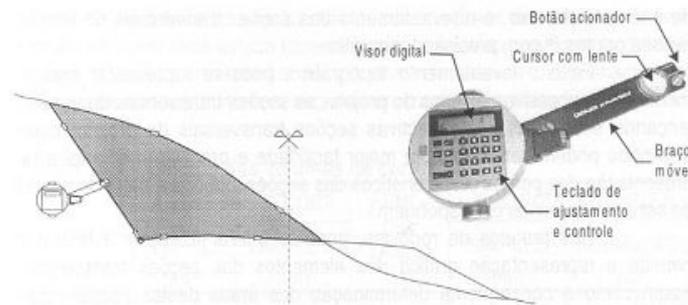


Fig. 17. 5: Planímetro

### 17.2.3. MÉTODO ANALÍTICO

O processo analítico de cálculo da área de uma seção transversal do projeto de uma estrada consiste em calcular a área dessa seção sem desenhá-la. Para isso, faz-se algumas hipóteses simplificadoras e calcula-se a área da seção transversal (S) em função de:

2L = plataforma;  
H = Cota Vermelha;

i = inclinação do terreno;  
 $\alpha$  = inclinação dos taludes.

#### a) FÓRMULA PARA A SEÇÃO PLENA (EM CORTE OU ATERRO):

Não se considera, nesta fórmula, a SUPERLARGURA e a SUPERELEVÇÃO. Além disso, a declividade do terreno (i) é considerada constante, conforme ilustra a Figura 17.6.

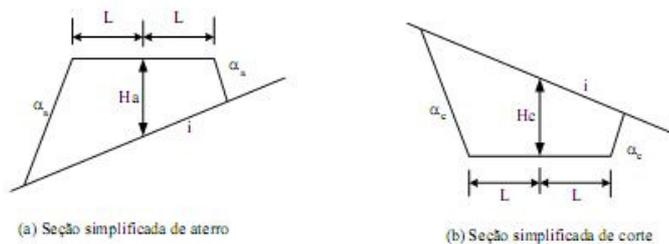


Fig. 17. 6: Seções plenas de aterro e de corte

$$S = \frac{\alpha(H + L \cdot \alpha)^2}{\alpha^2 - i^2} - L^2 \cdot \alpha \tag{17.1}$$

Temos, então, "S" (área da seção transversal) em função de H,L,α,i.

**b) FÓRMULA PARA SEÇÃO MISTA**

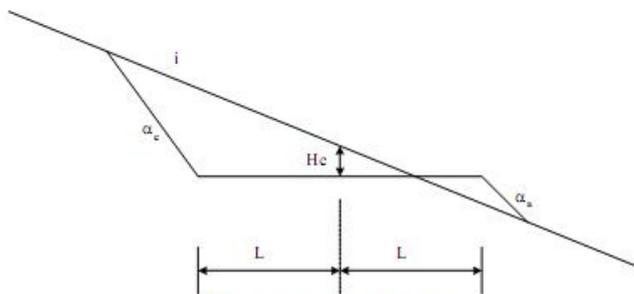


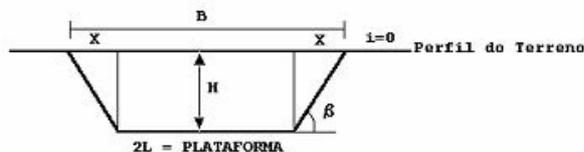
Fig. 17. 7: Seção transversal mista

$$S_c = \frac{\alpha_c(Li + H)^2}{2i(\alpha_c - i)} \tag{17.2}$$

$$S_a = \frac{\alpha_a(Li - H)^2}{2i(\alpha_a - i)} \tag{17.3}$$

**17.2.4.PROCESSO ANALÍTICO SIMPLIFICADO**

Neste método, considera-se a declividade do terreno como sendo igual a "zero", conforme ilustra a Figura 17.8.



$$S_c = \frac{\alpha_c(Li + H)^2}{2i(\alpha_c - i)} \tag{17.2}$$

$$S_a = \frac{\alpha_a(Li - H)^2}{2i(\alpha_a - i)} \tag{17.3}$$

$$A = \frac{[(x_1 + x_2) \cdot (y_1 - y_2) + (x_2 + x_3) \cdot (y_2 - y_3) + \dots + (x_n + x_1) \cdot (y_n - y_1)]}{2} \tag{17.5}$$

onde:  
 A = Área calculada;  
 n = número de vértices considerados.

[Capitulo 16](#) | [Capitulo18](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo

# Noções de Topografia Para Projetos Rodoviaros

## Capitulos

01 - Requisitos
02 - Etapas
03 - Traçado
04 - Trafego e Clsificação
05 - Geometria
06 - Características Técnicas
07 - Distancia Visibilidade
08 - Concordancias Horizontais
09 - Locação Curva Circular
10 - Superelevação
11 - Curvas com Transição
12 - Locação Curvas com Espiral
13 - Super Largura
14 - Greide
15a - Ex. Parabola Comp. Minimo
15b - Ex. Parabola Simples
15c - Ex. Parabola Composta
16 - Nota de Serviço
17 - Area Seção Transversal
18 - Volumes
19 - Sobre Parabarabolas Final

## Capitulo 18

### CÁLCULO DE VOLUMES E DIAGRAMA DE BRÜCKNER (OU DIAGRAMA DE MASSAS)

#### 18.1. CÁLCULO DE VOLUMES

Para o engenheiro projetista de estradas, uma das principais metas durante a elaboração de um projeto é encontrar uma solução que permita a construção da estrada com o menor movimento de terras possível, cumprindo, logicamente, as normas de um traçado racional.

O custo do movimento de terra é, na maioria dos projetos, significativo em relação ao custo total da estrada, sendo portanto um item importante a ser analisado. Nos locais onde os materiais de corte tiverem condições de serem usados nos aterros, o equilíbrio entre volumes de cortes e aterros, minimizando empréstimos e/ ou bota-foras, acarreta em menores custos de terraplenagem.

Para o cálculo do volume de terra a mover numa estrada, é necessário supor que existe um determinado sólido geométrico, cujo volume será facilmente calculado.

O método usual consiste em considerar o volume como proveniente de uma série de prismóides (sólidos geométricos limitados nos extremos por faces paralelas e lateralmente por superfícies planas). No campo, as faces paralelas correspondem às seções transversais extremas, e as superfícies planas laterais correspondem à plataforma da estrada, aos taludes e à superfície do terreno natural, conforme indica a Figura 18.1.

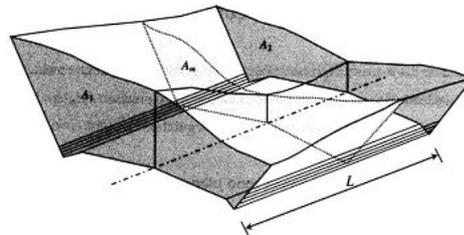


Fig. 18.1: Prismóide formado num tramo de rodovia (Fonte: PONTES FILHO, 1998)

O volume do prismóide da Figura 18.1 pode ser calculado mediante a fórmula:

$$V = \frac{L}{6} \cdot (A_1 + 4 \cdot A_m + A_2) \tag{18.1}$$

onde:

- A1 e A2 = áreas das seções transversais extremas;
- Am = área da seção transversal no ponto médio entre A1 e A2;
- L = distância entre as seções A1 e A2.

Uma fórmula aproximada comumente utilizada para o cálculo dos volumes dos prismóides é a chamada fórmula das áreas médias. A fórmula é a seguinte:

$$V_m = \frac{L}{2} \cdot (A_1 + A_2) \tag{18.2}$$

A Equação (18.2) é deduzida da Equação (18.1), considerando Am por  $\frac{(A_1 + A_2)}{2}$ .

Obtém-se valores exatos para os volumes quando ambas seções transversais são iguais. Para outras condições, os resultados são ligeiramente diferentes. Na prática, o erro cometido é geralmente menor que 2%.

#### 18.2. DIAGRAMA DE MASSAS (OU DIAGRAMA DE BRÜCKNER)

O diagrama de massas (ou de Brückner), facilita sobremaneira a análise da distribuição dos materiais escavados. Essa distribuição corresponde a definir a origem e o destino dos solos e rochas objeto das operações de terraplenagem, com indicação de seus volumes, classificações e distâncias médias de transporte. Após calcular as áreas das seções transversais e os volumes dos prismóides, pode-se preparar uma tabela de volumes acumulados (Tabela 18.1), que serve como base para construção do diagrama.

Para a construção do diagrama, calculam-se inicialmente as chamadas Ordenadas de Brückner. Estas ordenadas correspondem aos volumes de cortes (considerados positivos) e aterros (considerados negativos) acumulados sucessivamente. A somatória dos volumes é feita a partir de uma ordenada inicial arbitrária.



O fator de homogeneização (Fh) é a relação entre o volume de material no corte de origem, e o volume de aterro compactado resultante. Na fase de anteprojeto este fator é em geral estimado. Um fator Fh = 1,4 indica que será necessário escavar cerca de 1,4 m3 corte para obter 1 m de aterro compactado (Figura 18.3).

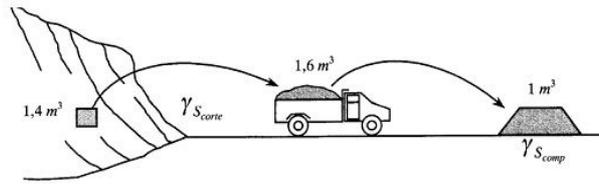


Fig. 18.3: Expansão e contração de solos durante a terraplenagem

Na etapa de projeto, Fh pode ser avaliado pela relação abaixo:

$$F_h = \frac{\gamma_{s\_comp}}{\gamma_{s\_corte}} \tag{18.3}$$

onde:

$\gamma_{s\_comp}$  = massa específica aparente seca após compactação no aterro;  
 $\gamma_{s\_corte}$  = massa específica aparente seca do material no corte de origem.

O fator de homogeneização é aplicado sobre os volumes de aterro, como um multiplicador. Na prática, é utilizado um fator de segurança de 5%, de modo a compensar as perdas que ocorrem durante o transporte dos solos e possíveis excessos na compactação dos mesmos.

**18.4. PROPRIEDADES DO DIAGRAMA DE MASSAS**

Observando-se a Figura 18.2 pode-se deduzir as seguintes propriedades:

1. O diagrama de massas não é um perfil. A forma do diagrama de massas não tem nenhuma relação com a topografia do terreno.
2. Inclinações muito elevadas das linhas do diagrama indicam grandes movimentos de terras.
3. Todo trecho ascendente do diagrama corresponde a um trecho de corte (ou predominância de cortes em seções mistas).
4. Todo trecho descendente do diagrama corresponde a um trecho de aterro (ou predominância de aterros em seções mistas).
5. A diferença de ordenadas entre dois pontos do diagrama mede o volume de terra entre esses pontos.
6. Os pontos extremos do diagrama correspondem aos pontos de passagem (PP).
7. Pontos de máximo correspondem à passagem de corte para aterro.
8. Pontos de mínimo correspondem à passagem de aterro para corte.
9. Qualquer horizontal traçada sobre o diagrama determina trechos de volumes compensados (volume de corte = volume de aterro corrigido). Esta horizontal, por conseguinte, é chamada de linha de compensação (ou linha de terra). A medida do volume é dada pela diferença de ordenadas entre o ponto máximo ou mínimo do trecho compensado e a linha horizontal de compensação.
10. A posição da onda do diagrama em relação à linha de compensação indica a direção do movimento de terra. Ondas positivas (linha do diagrama acima da linha de compensação), indicam transporte de terra no sentido do estaqueamento da estrada. Ondas negativas indicam transporte no sentido contrário ao estaqueamento da estrada.
11. A área compreendida entre a curva de Brückner e a linha de compensação mede o momento de transporte da distribuição considerada.
12. A distância média de transporte de cada distribuição pode ser considerada como a base de um retângulo de área equivalente à do segmento compensado e de altura igual à máxima ordenada deste segmento (Figura 18.4).

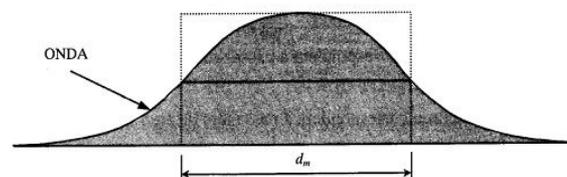


Fig. 18.4: Onda de Brückner

Fig. 18.4: Onda de Brückner

18.5. MOMENTO DE TRANSPORTE

Define-se Momento de Transporte como o produto dos volumes transportados pelas distâncias médias de transporte:

$$M = V \cdot d_m \tag{18.4}$$

Onde:

- M = momento de transporte, em m<sup>3</sup> .dam ou m<sup>3</sup> .km;
- V = volume natural do solo, em m<sup>3</sup> ;
- dm = distância média de transporte, em dam ou km.

Quando é executado um transporte de solo de um corte para um aterro, as distâncias de transporte se alteram a cada viagem, sendo necessária, portanto, a determinação de uma distância média de transporte, que deverá ser igual à distância entre os centros de gravidade dos trechos de cortes e aterros compensados.

Existem várias maneiras de se executar uma distribuição de terras na terraplenagem. A cada uma das alternativas corresponderá uma distância média de transporte global e, por conseguinte, um determinado custo de terraplenagem. Logo, um projeto racional de terraplenagem deverá indicar a melhor distribuição de terras, de maneira que a distância média de transporte e o custo das operações de terraplenagem sejam reduzidos a valores mínimos.

O método mais utilizado para estimativa das distâncias médias de transporte entre trechos compensados é o método do Diagrama de Brückner. Como visto anteriormente, o método nos fornece meios simplificados para o cálculo de dm, da seguinte maneira: toma-se a metade da altura da onda e traça-se uma horizontal nesta altura. A distância média de transporte é a distância entre os pontos de interseção desta reta com o diagrama, medida na escala horizontal do desenho. O momento de transporte é igual à área da onda de Brückner, que pode ser estimada pelo produto da altura da onda (V) pela distância média de transporte (dm), como é apresentado na Figura 18.5.

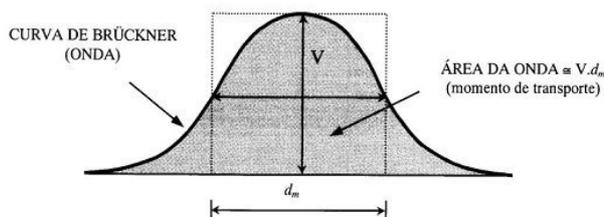


Fig. 18. 5: Momento de Transporte

18.6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Dada a tabela de volumes acumulados abaixo, construir o Diagrama de Brückner. Calcular os volumes de corte e aterro e as distâncias médias de transporte.

ESTACAS	ÁREAS (m <sup>2</sup> )			SOMA DAS ÁREAS (m <sup>2</sup> )		SEMI-DISTÂNCIA (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )		COMPENS. LATERAL (m <sup>3</sup> )
	CORTE	ATERRO	AT. COR.	CORTE	ATERRO		CORTE	ATERRO	
100		4,74	6,64						
101		3,12	4,37		11,01	10,00		110,10	
101+5,00	0,48	0,72	1,01		5,38	2,50		13,45	
102		5,01			5,49	7,50		41,18	
103		6,92			11,93	10,00		119,30	
104		1,63	0,58	0,81	8,55	10,00		85,50	
104+17,00		0,28	0,52	0,73	1,91	1,54		19,10	13,09
105		1,82	2,55		3,28	1,50		4,92	
106		5,16	7,22		9,77	10,00		97,70	
107		6,08	8,51		15,73	10,00		157,30	
108		1,00	6,52	9,13	17,64	10,00		176,40	
109		2,00	5,26	7,36	3,00	15,49	10,00	30,00	30,00
109+9,00		2,60	1,62	2,27	4,60	9,63	4,50	50,70	45,34
110		4,46			7,06	5,50		38,83	
111		6,03			10,49	10,00		104,9	
112		6,42			12,45	10,00		124,50	
113		8,64			15,06	10,00		150,60	
114		9,66			18,30	10,00		183,00	
115		8,02	0,62	0,87	17,68	10,00		176,80	
116		5,07	1,20	1,68	13,09	2,55	10,00	130,90	25,50
117		2,40	2,42	3,39	7,47	5,07	10,00	74,70	50,70
118			3,30	4,62		8,01	10,00	80,10	
119			5,80	8,12		12,74	10,00	127,40	
120			7,70	10,78		18,90	10,00	189,00	

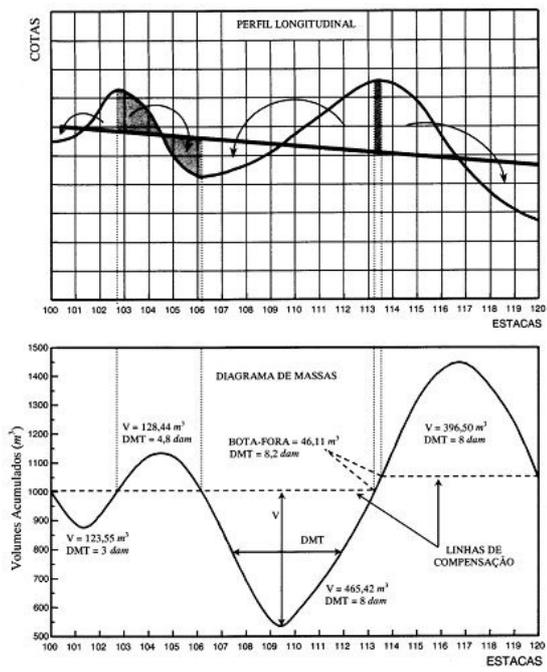


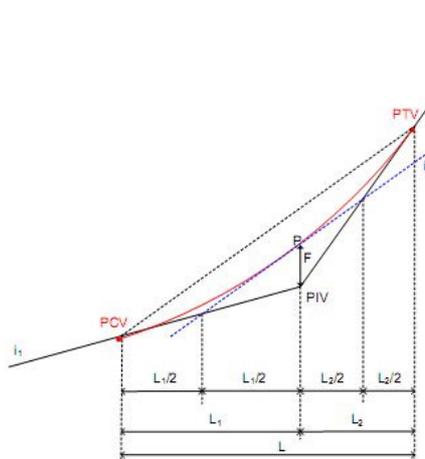
Fig. 18. 6: Perfil Longitudinal e Diagrama de Massas referente ao Exemplo de Aplicação

[Capítulo 17 | Considerações Finais \(Capítulo 19\)](#)

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo



A declividade da reta tangente às curvas em P, sendo igual à da corda que une o PCV ao PTV, pode ser expressa por:



$$i_p = i_{PCV-PTV} = \frac{L_1 \cdot i_1 + L_2 \cdot i_2}{L}$$

**PONTOS DE ORDENADA MÁXIMA OU MÍNIMA**

1º Ramo:

$$L_{01} = \frac{i_1 \cdot L_1}{g_1}$$

Onde:  $g_1 = i_1 - i_p$

$$y_{01} = \frac{i_1^2 \cdot L_1}{2 \cdot g_1}$$

2º Ramo:

$$L_{01} = \frac{i_2 \cdot L_2}{g_2}$$

Onde:  $g_2 = i_p - i_2$

$$y_{01} = \frac{i_2^2 \cdot L_2}{2 \cdot g_2}$$

Final do estudo espero que tenha gostado e aproveitado, qualquer esclarecimento me mande um email para [edivaldo.macedo@topografiageral.com](mailto:edivaldo.macedo@topografiageral.com) ou reporte-se ao Forum da topografiaGeral para sanar suas duvidas.

Aproveitando para pedir que você promova este material para seus colegas a fim de torná-lo mais publico e um instrumento de pesquisa.

Da minha parte só tenho a agradecer a Deus e todos a oportunidade de poder me dedicar a esta classe que tanto tem valorizado o nosso país.

Saudações Topograficas

Edivaldo Lins Macedo

Moderador-Fundador do Forum da TopografoaGeral no Brasil

Desenvolvido Por Edivaldo Lins Macedo