

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

1. ESCOLHA DO TRAÇADO DE UMA ESTRADA	1
1.1. PLANO DIRETOR OU PND:	1
1.2. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO–ECONÔMICA:	2
1.3. PROJETO DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA:	2
1.3.1. RECONHECIMENTO OU ANTEPROJETO:.....	3
1.3.2. EXPLORAÇÃO OU PROJETO:.....	7
1.3.3. LOCAÇÃO OU PROJETO DEFINITIVO:.....	8

CAPÍTULO 2

2. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DAS ESTRADAS:	9
2.1.– CÁLCULO DA POLIGONAL.....	10
2.1.1.– CÁLCULO DE AZIMUTES E DISTÂNCIAS DOS ALINHAMENTOS A PARTIR DAS COORDENADAS DOS VÉRTICES:.....	10
2.1.2.– CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS VÉRTICES A PARTIR DOS AZIMUTES E DISTÂNCIAS.11	
2.2. CURVAS DE CONCORDÂNCIA HORIZONTAL:.....	12
2.3. GREIDES:	13

CAPÍTULO 3

3. ANTEPROJETO:	15
3.1. PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA A LOCAÇÃO DO TRAÇADO:	15
3.1.1.– PROCURAR SEGUIR OS SEGUINTE PRINCÍPIOS:.....	17
3.1.2.– PROCURAR EVITAR:.....	22
3.1.3.– DEFEITOS DOS TRAÇADOS:.....	23
3.2. LANÇAMENTO PRELIMINAR EM PLANTA E PERFIL:.....	27
3.3. INVESTIGAÇÕES COMPLEMENTARES DE CAMPO:	28
3.4. ESTUDO HIDROLÓGICO:.....	28
3.4.1.– COLETA DE DADOS:.....	29
3.4.2.– ESTUDOS HIDROLÓGICOS E CLIMATOLÓGICOS:.....	29
3.4.3.– METODOLOGIA DO ESTUDO HIDROLÓGICO:.....	29
3.5. MOVIMENTO DE TERRA	36
3.5.1.– CÁLCULO DOS VOLUMES:.....	37
3.6. COMPRIMENTO VIRTUAL SEGUNDO O TRABALHO MECÂNICO.....	39
3.7. RESUMO DE CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇADOS	39
3.8. ORÇAMENTO:.....	40
3.9. ESCOLHA DA DIRETRIZ	40
3.10. MEMORIAL DESCRITIVO	40

CAPÍTULO 4

4. ELEMENTOS BÁSICOS PARA PROJETO:	43
4.1. VELOCIDADES:	43
4.1.1. VELOCIDADE DE PROJETO OU DIRETRIZ:.....	43
4.1.2. – VELOCIDADE DE OPERAÇÃO:	44
4.2. CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS QUANTO ÀS CONDIÇÕES TÉCNICAS.	45
4.3. – PROJETO GEOMÉTRICO	46
4.3.1. – VEÍCULOS DE PROJETO:.....	46
4.4. ALINHAMENTOS HORIZONTAL E VERTICAL:	48
4.4.1. ALINHAMENTO HORIZONTAL:.....	48
4.4.2. ALINHAMENTO VERTICAL:.....	50
4.5. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS:.....	51
4.6. FAIXAS DE DOMÍNIO:.....	52
4.7. TIPOS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS:	52
4.7.1. ATERRO:.....	52
4.7.2. CORTE:.....	52
4.7.3. MISTA:.....	53
4.8. – DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE.	53
4.8.1. – DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA OU FRENAGEM:.....	53
4.8.2. – DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM:.....	57
4.9. CLASSES DAS RODOVIAS:.....	60
4.10. CLASSIFICAÇÕES DAS REGIÕES:.....	61

CAPÍTULO 5

5. CURVAS HORIZONTAIS	63
5.1. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS.....	64
5.1.1. TANGENTE (T):.....	64
5.1.2. DESENVOLVIMENTO (D):.....	64
5.1.3. GRAU DA CURVA (G):.....	64
5.1.4. DEFLEXÃO POR METRO (d_m):.....	65
5.1.5. ESTACAS DOS PONTOS NOTÁVEIS :	66
5.1.6. LOCAÇÃO DE CURVAS CIRCULARES POR DEFLEXÕES SUCESSIVAS:.....	66
5.1.7. EXERCÍCIO RESOLVIDO:	66
5.2. RAIOS MÍNIMOS PARA CURVAS HORIZONTAIS:.....	69
5.2.1 CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE:.....	70
5.2.2 CONDIÇÕES MÍNIMAS DE VISIBILIDADE NAS CURVAS HORIZONTAIS	81
5.3. EXERCÍCIOS PROPOSTOS:.....	84

CAPÍTULO 6

6. PERFIL LONGITUDINAL	89
6.1 – DESENHO DO PERFIL:	90
6.2 – RAMPAS:	93

6.2.1 – GENERALIDADES SOBRE O COMPORTAMENTO DOS VEÍCULOS NAS RAMPAS:.....	93
6.2.2 – CONTROLE DE RAMPAS PARA PROJETO:.....	93
6.3 – CURVAS DE CONCORDÂNCIA VERTICAL:	96
6.3.1 – CURVAS VERTICAIS USUAIS:.....	96
6.3.2 – CÁLCULO DAS COTAS E FLECHAS DA PARÁBOLA SIMPLES.....	97
6.3.3 – CÁLCULO DAS COTAS E FLECHAS DA PARÁBOLA DE SEGUNDO GRAU COMPOSTA... 100	
6.4 – COMPRIMENTO MÍNIMO DE CURVAS VERTICAIS CONVEXAS:.....	101
6.4.1.– CASO I: A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE (S) É MENOR OU IGUAL A COMPRIMENTO DA CURVA (L):	101
6.4.2.– CASO II: A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE (S) É MAIOR QUE O COMPRIMENTO DA CURVA (L):.....	104
6.5 – COMPRIMENTO MÍNIMO DE CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS:	106
6.5.1.– CASO I: A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE (S) É MENOR OU IGUAL A COMPRIMENTO DA CURVA (L):	106
6.5.2.– CASO II: A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE (S) É MAIOR QUE O COMPRIMENTO DA CURVA (L):.....	108
6.5.3.– CASO III: VALORES MÍNIMOS PARA O COMPRIMENTO DE CURVA CÔNCAVAS E CONVEXAS:.....	110
6.6 – EXERCÍCIOS SOBRE CURVAS DE CONCORDÂNCIA VERTICAL:	110
6.6.1.– CÁLCULOS DAS COTAS DOS PONTOS NOTÁVEIS:.....	111
6.6.2.– DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DA PARÁBOLA DO 2º. GRAU DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA:.....	111
6.6.3.– TABELA – NOTA DE SERVIÇO DE TERRAPLANAGEM:.....	113
6.7 – EXERCÍCIOS PROPOSTOS	114

CAPÍTULO 7

7. TERRAPLANAGEM:.....	117
7.1. CÁLCULO DAS ÁREAS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS:	118
7.1.1. ÁREAS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS:.....	118
7.2. CÁLCULO DE VOLUMES.....	121
7.2.1. ÁREAS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS:.....	121
7.3. CADERNETA DE RESIDÊNCIA:.....	122
7.4. DISTRIBUIÇÃO DO MATERIAL ESCAVADO.	123
7.4.1. PRINCÍPIOS DO DIAGRAMA DE MASSAS:.....	123
7.4.2. EXECUÇÃO DO DIAGRAMA DE MASSAS OU DE BRUCKNER:.....	124
7.5. EXERCÍCIO RESOLVIDO:	127
7.6. EXERCÍCIOS PROPOSTOS:.....	130

CAPÍTULO 8

8. ROTEIRO PARA PROJETO:.....	135
8.1. CÁLCULOS DOS AZIMUTES E DISTÂNCIAS ENTRE OS PONTOS DE INTERSEÇÃO (PIs): 135	
8.1.1. AZIMUTES.....	136
8.1.2. COMPRIMENTOS DAS LINHAS.....	136

8.2. CÁLCULOS DAS DEFLEXÕES (<i>I</i>):	136
8.3. CÁLCULOS DOS RAIOS MÍNIMOS:	137
8.3.1. CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE:	137
8.3.2. CONDIÇÃO DE VISIBILIDADE:	137
8.4. CÁLCULOS DAS ESTACAS DOS PONTOS NOTÁVEIS DAS CURVAS HORIZONTAIS:	138
8.5. LOCAÇÃO DE CURVAS CIRCULARES:	143
8.6. CURVA VERTICAL:	144
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	147

CAPÍTULO 1

ESCOLHA DO TRAÇADO DE UMA ESTRADA

1. ESCOLHA DO TRAÇADO DE UMA ESTRADA

Economistas, Geólogos, Arquitetos, Advogados, Engenheiros Agrônomos, Civis e Cartógrafos e, em alguns casos específicos, Sociólogos, todos contribuem com seus conhecimentos para a construção de uma moderna rodovia.

Muito antes de construída, a rodovia já está no papel, representando uma pequena parte do planejamento global do Governo, basicamente composto dos seguintes blocos:

A construção de uma estrada deve ser: tecnicamente possível; economicamente viável; socialmente abrangente.

1.1. PLANO DIRETOR OU PND:

O Plano Diretor objetiva a solução da infra-estrutura de transportes de uma maneira geral, isto é, não a solução estanque de determinado sistema, mas a conjugação que atenda aos critérios econômicos. Quer dizer que o Plano Diretor, mais recentemente os Planos Nacionais de Desenvolvimento (PND), decide se é melhor para o país o transporte rodoviário, o ferroviário, o marítimo ou fluvial ou o aéreo.

Os escassos recursos disponíveis são aplicados nas diversas malhas viárias federais, que recentemente têm sido privatizadas.

1.2. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO–ECONÔMICA:

Um Plano Diretor não pode deixar de lado a Viabilidade Técnico–Econômica, que são estudos econômicos e de engenharia que objetivam definir a alternativa do traçado. Enquanto o PND estabelece a necessidade, por exemplo, de uma estrada ligando Salvador a São Luiz, o Estudo de Viabilidade definirá por que locais a rodovia deverá passar.

Também nestes estudos se decidirá se a estrada será pavimentada ou sem pavimento, através dos critérios econômicos e técnicos, tais como:

- **Custo/Benefício: Quanto se gastará e quanto se recuperará;**
- **Ano ótimo de abertura: Ano da entrega ao tráfego;**
- **Taxa de retorno do investimento.**

A primeira etapa, para a construção de uma estrada, é realizar o Estudo de Viabilidade Técnico–Econômica dos trechos rodoviários assinalados nos Planos Diretores ou nos Planos Nacionais de Desenvolvimento (PND), contratando–se empresas de consultoria que serão encarregadas de elaborar estes estudos.

Com o estudo pronto, já se pode partir para a etapa seguinte, a do projeto, caso tenham sido satisfeitas as exigências técnico–econômicas.

1.3. PROJETO DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA:

O projeto de Engenharia destina–se exclusivamente à construção da rodovia.

Segundo (MENESES, H. – CEFET CE)¹, o Projeto Geométrico de uma rodovia, consiste em determinar parâmetros técnicos e geométricos de uma estrada, tanto planimétricos como altimétricos, de modo a tornar seguro e confortável o tráfego de veículos rodoviários.

O projeto de Engenharia destina–se exclusivamente à construção da rodovia. Ou seja, nele serão desenvolvidas as soluções analíticas que foram passadas para mapas, gráficos, quadros esquemáticos e, sobretudo, notas de serviço para implantação da obra.

¹ Departamento de Edificações – Curso de Vias e Transportes.

Nesta fase, portanto, é feita uma licitação, normalmente através da concorrência pública, das empresas em condições de elaborar os projetos.

Toda obra de engenharia voltada para rodovia abrange quatro (4) etapas:

- **Projeto;**
- **Construção;**
- **Operação;**
- **Conservação**

No nosso curso analisaremos basicamente a fase de projeto e suas etapas que podemos dividir que pode ser dividida didaticamente em três fases:

- **Reconhecimento ou anteprojeto;**
- **Exploração ou projeto;**
- **Locação ou projeto definitivo.**

1.3.1. RECONHECIMENTO OU ANTEPROJETO:

Consiste num exame sumário do material existente que são apenas mapas da região, fotos aéreas e demais elementos que permitam o lançamento numa planta na escala de 1:50.000 de traçados alternativos entre as duas extremidades da estrada a ser projetada. Nesta fase devem-se abranger todos os traçados possíveis onde de uma maneira rápida e expedita determinam-se os pontos mais importantes da região em análise.

Numa segunda etapa os estudos passam a ser mais detalhados, adicionando-se informações desenvolvendo-se cálculos para determinação de qual traçado é mais viável economicamente.

Adicionam-se a estes estudos dentre outros os seguintes itens:

1.3.1.1. COLETA DE DADOS SOBRE A REGIÃO:

A fase preliminar se caracteriza por uma etapa de coleta e análise de dados existentes através de mapas cartas, fotos aéreas, topografia, dados sócio-econômicos, tráfego, estudos geológicos e hidrológicos existentes, dentre outros.

Nesta fase pesquisam-se os diversos órgãos existentes tendo como principal foco as análises a estudos existentes, portando é uma etapa considerada de escritório.

Os estudos se aprofundarão dentro de cada área específica.

a – Estudos de tráfego, geológicos e geotécnicos;

São feitos estudos de tráfego (quantos carros passarão pela estrada durante o período para o qual ela está sendo projetada), levando-se em consideração possíveis variações de volume ou mesmo de características que o tráfego possa sofrer durante a vida útil da estrada. Especial cuidado deve ser dado à projeção de necessidades futuras do tráfego, estudos geológicos (solo) e estudos geotécnicos (fundação).

b – Estudos hidrológicos e topográficos;

Os estudos hidrológicos consistem na coleta, processamento e análise de todos os aspectos hidrológicos em todas as fases do projeto.

Já os estudos topográficos têm com objetivo o total conhecimento de todos os aspectos do terreno e suas interferências após a realização dos diversos levantamentos dentro das precisões normalizadas.

Para a fase de anteprojeto tomam-se elementos existentes e informações constantes nas Prefeituras, Casa da Agricultura, Departamentos de Estradas sobre as estradas existentes na região em estudo. Atenção especial deve ser dada aos índices pluviométricos levantados para a região do projeto da estrada a ser construída.

c – Relatório de impacto ambiental, dentre outros.

Os impactos ambientais são de suma importância e não deve ser negligenciado. Trata-se de uma etapa que garantira o equilíbrio entre as intervenções propostas pelo homem e a preservação da natureza.

Podem-se citar como exemplo, os cuidados tomados pelo DER-BA quando da construção da estrada que liga Ilhéus a Itacaré. Estudos sobre os hábitos dos animais da região como os macacos, tamanduás, tatus exigiu que a estrada construída possuísse galerias onde os tatus e tamanduás possam transitar sob a estrada; telas que impedem que

estes animais cruzem a pista, além de redes para que os macacos possam atravessar pelas árvores de um lado para outro da rodovia.

1.3.1.2. ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ANTEPROJETO:

Na eleição do local por onde passará a estrada todos os fatores que possam influir no custo da estrada deverão ser analisados e balanceados, para permitir a escolha de um local onde se possa construir uma boa estrada com um custo mínimo.

A topografia da região é o fator predominante, a escolha de traçados sobre regiões topograficamente desfavoráveis acarreta grandes movimentos de terra e conseqüentemente, altos custos para a execução da infra-estrutura da estrada.

Condições geológicas e geotécnicas dos locais por onde a estrada vai passar também são importantes, as obras adicionais necessárias à estabilização de cortes e aterros executados em terrenos desfavoráveis podem, em alguns casos, representar custos adicionais significativos.

A hidrologia da região é um terceiro fator importante, a escolha de um traçado ruim pode exigir um custo elevado em obras de arte e obras de drenagem desnecessárias em um traçado mais adequado.

A existência de benfeitorias no local escolhido aumenta os custos de desapropriação da faixa para construção da estrada, assim, sempre que possível, deverão ser escolhidos traçados que atravessem terrenos de baixo valor.

1.3.1.3. Detalhe sobre reconhecimento:

Quando desejamos estudar um traçado de uma estrada, temos necessidade de inicialmente estabelecer a sua diretriz geral.

A diretriz geral é definida como sendo a reta que liga os pontos extremos do traçado. Os pontos extremos do traçado são geralmente pré-escolhidos tendo em vista a situação da nova estrada no contexto geral da região. Os pontos extremos da diretriz geral são definidos, em primeira aproximação, pelo PND.

Segundo (PIMENTA, C. R. T.), do ponto de vista prático, uma estrada sempre é feita para ligar os dois pontos pré-escolhidos.

Alinha reta que une esses dois pontos nem sempre é recomendada, por razões de segurança. Mesmo que a topografia permita, traçados com grandes trechos retos devem ser evitados, pois a monotonia da estrada gera sonolência e desatenção dos motoristas. No capítulo 4 estudos revelam os comprimentos máximos em trechos retos.

Se entre os pontos extremos não for possível o estabelecimento de um traçado reto, por exemplo, devido à existência de linha de montanhas, formadas de picos e gargantas, temos então que pesquisar pontos mais favoráveis que permitam a transposição fácil dos maciços. Esses pontos são as gargantas.

Estudaremos agora um conceito importante para definições dos traçados rodoviários que são os pontos obrigados de passagem, podendo ser citados:

- **Gargantas;**
- **Áreas a montante de grotas acentuadas;**
- **Seções mais estreitas de rios;**
- **Travessias adequadas de ferrovias;**
- **Eventual aproveitamento de obras existentes.**

Com esse conjunto de informações é iniciado o lançamento dos anteprojetos da estrada sobre as plantas topográficas das faixas escolhidas.

O lançamento do anteprojeto segue normalmente a seguinte seqüência:

1. Escolha dos pontos de interseções das tangentes (PI_s) em planta;
2. Definições das coordenadas dos PI_s ;
3. Marcações das tangentes entre os diversos PI_s e cálculos dos comprimentos das tangentes;
4. Escolha dos raios mais convenientes para as curvas circulares, de forma a acomodar a estrada à topografia da faixa, evitando os obstáculos conhecidos;
5. Cálculos das estacas pontos notáveis da curva circular: Ponto de Começo (PC) e Ponto de Término (PT); Desenvolvimento da Curva (D) e demais elementos necessários;

6. Cálculos dos estaqueamentos do traçado, estacas de 20 metros;
7. Levantamento do perfil do terreno sobre o traçado escolhido;
8. Escolha dos pontos de interseção das rampas (*PIV_s*) em perfil;
9. Determinações das cotas e estacas dos *PIV_s*;
10. Cálculos das rampas resultantes: inclinações e extensões;
11. Escolhas das curvas verticais: Cálculos das cotas e estacas dos Pontos de Começo Vertical (*PCV*) e Pontos de Término Vertical (*PTV*);
12. Cálculo do movimento de terra.

1.3.2. EXPLORAÇÃO OU PROJETO:

Paralelamente a execução do anteprojeto geométrico são também iniciados os estudos da infra-estrutura e superestrutura da estrada objetivando principalmente o levantamento de problemas que poderão mostrar a conveniência de alteração do anteprojeto geométrico escolhido.

Da elaboração do projeto devem constar:

1. – Estudos topográficos;
2. – Estudos geológicos e geotécnicos;
3. – Estudos hidrológicos (cursos d'água);
4. – Projeto geométrico;
5. – Projeto de terraplanagem;
6. – Projeto de pavimentação;
7. – Projeto de drenagem;
8. – Projeto de obra de arte especial (pontes e viadutos);
9. – Projeto de interseções, retornos e acessos;
10. – Projeto de sinalização, cercas e defesas;
11. – Projeto de paisagismo;
12. – Projeto de desapropriações;
13. – Projeto de instalações para operação de rodovia;
14. – Orçamento dos projetos e plano de execução.

O projeto final da estrada é o conjunto de todos esses projetos complementado por memórias de cálculo, justificativa de solução e processos adotados, quantificação de serviços, especificações de materiais, métodos de execução e orçamento.

1.3.3. LOCAÇÃO OU PROJETO DEFINITIVO:

Segundo (CAMPOS, R. A.), esta etapa consiste na demarcação no terreno do projeto vinda da exploração, através de piqueteamento da linha, de 20 em 20 metros, devidamente numerados.

A locação, por sua vez, fornecerá planta e perfil que constituirão o projeto definitivo, este apto a ser construído.

CAPÍTULO 2

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS PARA ESTRADAS

2. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DAS ESTRADAS:

A geometria de uma estrada é definida pelo traçado do seu eixo em planta e pelos perfis longitudinal e transversal. Topograficamente uma estrada é uma poligonal aberta que parte de um determinado ponto, por exemplo: ponto “A” e chega num outro ponto, ou seja: ponto “B”. A figura 2.1 resume os principais elementos geométricos de uma estrada.

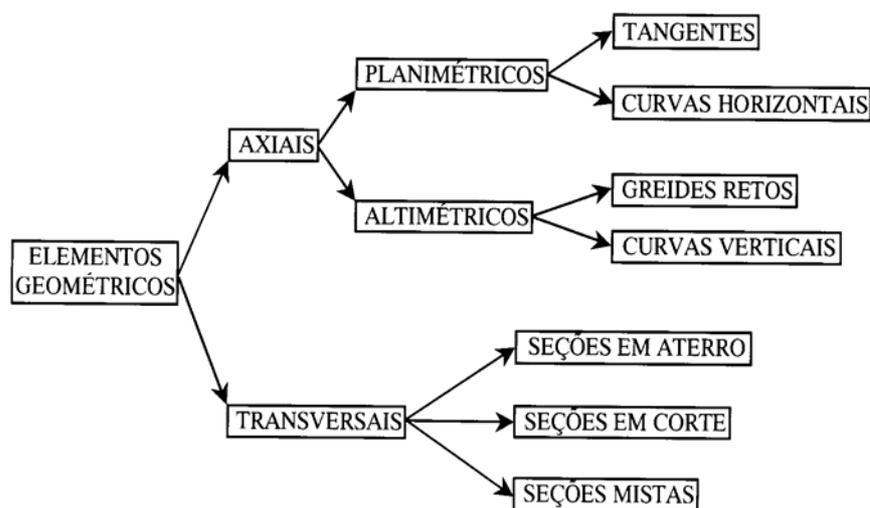


Figura 2.1 – Elementos geométricos de uma estrada (Fonte: PONTES Fo, G.)

2.1.- CÁLCULO DA POLIGONAL

Após a definição dos pontos em planta ou este materializado, define-se uma linha poligonal aberta no terreno, marcando-se fisicamente seus vértices, pode-se medir com precisão topográfica, os comprimentos dos alinhamentos, seus azimutes e ângulos de deflexões.

Estas informações serão de fundamental importância para os cálculos dos raios mínimos das curvas horizontais, conforme veremos adiante.

Dois são os tipos de cálculos básicos a proceder quando se calculam elementos da poligonal:

- O cálculo de azimutes e distâncias dos alinhamentos a partir das coordenadas dos vértices;
- O cálculo das coordenadas dos vértices a partir dos azimutes e distâncias das linhas da poligonal aberta.

Nos itens (2.1.1) e subitens observam-se os cálculos dos azimutes e distâncias dos alinhamentos a partir das coordenadas dos vértices. Já no item (2.1.2) e subitens são apresentados os cálculos das coordenadas dos vértices a partir dos azimutes e distâncias das linhas da poligonal aberta.

2.1.1.- CÁLCULO DE AZIMUTES E DISTÂNCIAS DOS ALINHAMENTOS A PARTIR DAS COORDENADAS DOS VÉRTICES:

2.1.1.1. Rumos e Azimutes:

Como norma geral, para evitar confusões, deve-se utilizar sempre o rumo da linha, cujo valor absoluto é obtido pela fórmula 2.1:

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (2.1)$$

onde: α = **valor absoluto** do rumo da linha². Para se obter o quadrante, observar a Tabela 2.1 que apresenta também a conversão de rumo para azimute.

² Algumas calculadoras fornecem o valor em graus e décimos de graus. Não esquecer de transformar em graus, minutos e segundos.

$$\Delta X = X_{i+1} - X_i \quad (2.2)$$

$$\Delta Y = Y_{i+1} - Y_i \quad (2.3)$$

$\Delta X > 0$	$\Delta Y > 0$	1º. QUADRANTE = NE	Azimute = Rumo
$\Delta X > 0$	$\Delta Y < 0$	2º. QUADRANTE = SE	Azimute = $180^\circ - \text{Rumo}$
$\Delta X < 0$	$\Delta Y < 0$	3º. QUADRANTE = SW	Azimute = $180^\circ + \text{Rumo}$
$\Delta X < 0$	$\Delta Y > 0$	4º. QUADRANTE = NW	Azimute = $360^\circ - \text{Rumo}$

Tabela 2.1 – Tabela de conversão de rumo para azimutes

2.1.1.2. Comprimentos das Linhas:

Os comprimentos das linhas, medidos topograficamente, são dados pela “Lei dos co-senos”, conforme equação 2.4.

$$d_{i-(i+1)} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (2.4)$$

2.1.1.3. Deflexões:

O ângulo de deflexão (I) entre dois alinhamentos de azimutes conhecidos é igual à diferença entre eles (equação 2.5), sendo a deflexão direita ou esquerda, se o resultado for positivo ou negativo, respectivamente.

$$I_i = \text{Azimute}_{(i+1)} - \text{Azimute}_{(i)} \quad (2.5)$$

2.1.2.- CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS VÉRTICES A PARTIR DOS AZIMUTES E DISTÂNCIAS³.

Se uma poligonal orientada referida ao sistema de eixos cartesianos cujas ordenadas coincidam com a orientação norte (N) e cujas abscissas coincida com a orientação leste (E), pode-se determinar as coordenadas cartesianas de quaisquer pontos da poligonal, desde que se conheçam as coordenadas de um ponto da poligonal, os comprimentos ao longo dos alinhamentos, e os Azimutes desses alinhamentos.

³ Observar cálculos no Capítulo 3

2.1.2.1. Cálculo das Coordenadas:

Supondo conhecidas as coordenadas absolutas X_A e Y_A do ponto A, podem-se calcular facilmente as coordenadas absolutas X_B e Y_B do ponto B, por meio das equações (2.6) e (2.7).

$$X_B = X_A + L_{AB} \times \text{sen}(Az_{A-B}) \quad (2.6)$$

$$Y_B = Y_A + L_{AB} \times \text{cos}(Az_{A-B}) \quad (2.7)$$

Observe-se que esta formulação é genérica, ou seja, as fórmulas resultam aplicáveis para qualquer quadrante em que se situe o alinhamento, pois os sinais das coordenadas relativas resultam automaticamente do cálculo das funções seno e co-seno dos Azimutes (já que os ângulos correspondentes variam de 0° a 360°)

2.2. CURVAS DE CONCORDÂNCIA HORIZONTAL:

De forma simplificada o traçado em planta de uma estrada é composto de trechos retos concordados com curvas circulares.

Curvas horizontais são usadas para desviar a estrada de obstáculos que não possam ser vencidos economicamente.

Sem desprezar o princípio de que uma estrada deva ter o traçado mais curto possível, a experiência na escolha de traçados tem mostrado que a estrada deve ter as curvas necessárias para harmonizá-la com a topografia da região gerando um traçado agradável que permita um bom paisagismo.

Essas curvas podem ser classificadas em:

- **SIMPLES:** quando se emprega apenas arco de círculo;
- **COMPOSTAS COM TRANSIÇÃO:** quando são empregadas as radióides na concordância dos alinhamentos retos. No nosso curso não estudaremos as curvas de concordância horizontal com transição.

- **COMPOSTAS SEM TRANSIÇÃO:** são utilizados dois ou mais arcos de círculo de raios diferentes.

2.3. GREIDES:

A apresentação de um projeto em perfil é também constituída por uma série de alinhamentos retos (elementos altimétricos), concordados por curvas de concordância vertical. O perfil longitudinal do terreno é a representação no plano vertical das diferenças de nível, cotas ou altitudes, obtidas do nivelamento feito ao longo do eixo da estrada.

A curva normalmente usada para essas concordâncias é a parábola de 2º.grau.

A Figura 2.2 mostra as classificações dos greides de uma estrada.

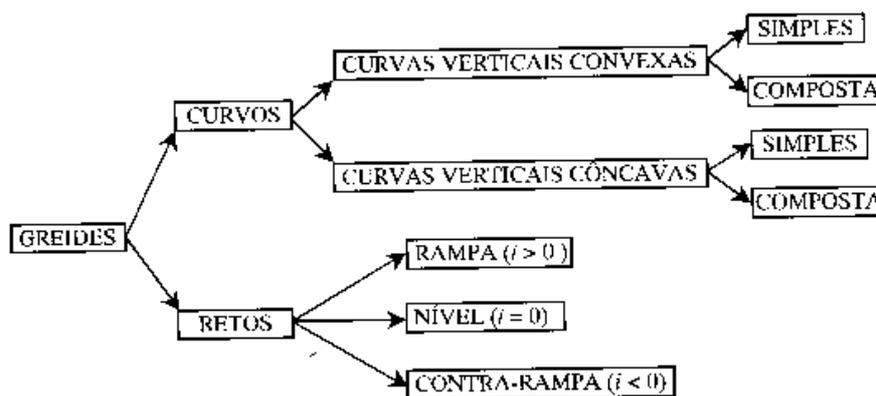


Figura 2.2 – Tipos de greides (Fonte: PONTES Fo., G)

No lançamento do greide de uma estrada, algumas condições importantes devem ser observadas:

- **Minimizações das rampas longitudinais.** A principal limitação ao emprego de rampas suaves reside no fator econômico, traduzido pelo aumento do custo de construção em regiões topograficamente desfavoráveis;
- Deve-se garantir um vão livre de 5,50 m para passagem sobre rodovia federal, de 7,20 m sobre ferrovia e de 2,00 m sobre a máxima enchente verificada nos cursos d'água;

- **Otimização das massas. O greide deve ser uma linha que minimize os volumes de cortes e aterros, equilibrando-os;**
- Cuidados com a drenagem superficial. Evitar que pontos de cota mais baixa fiquem situados dentro de cortes, assim como trechos com declividade menor que 1%;
- **As curvas verticais devem ser suaves e bem concordadas com as tangentes verticais. Frequentes quebras no greide devem ser evitadas;**
- Nas rampas ascendentes longas é preferível colocar rampas maiores no início e diminuir-las no topo, tirando proveito do impulso acumulado no segmento anterior à subida;
- **Harmonizar os projetos geométricos horizontais e verticais. Sempre que possível, as curvas verticais devem estar contidas nos trechos de curva horizontal. Isto, além de oferecer melhor aspecto estético tridimensional, aumenta as distâncias de visibilidade em alguns casos;**
- Onde houver rampa de comprimento acima do crítico e se o volume de tráfego de veículos lentos for considerável, deve-se prever uma 3ª. faixa para uso destes veículos;
- **Para maior facilidade no cálculo das ordenadas da curva vertical, devem-se projetar os greides retos de forma que o PIV coincida com estacas inteiras ou intermediárias (+10,00);**
- Garantir amplas condições de visibilidade;
- **Evitar cortes profundos, principalmente em rochas.**

CAPÍTULO 3

ANTEPROJETO

3. ANTEPROJETO:

Na fase do reconhecimento ou anteprojeto faz-se um exame sumário de uma faixa de terreno onde se lançam todos os traçados possíveis após uma análise rápida e expedita.

Este reconhecimento visa determinar, de imediato, os pontos mais importantes do traçado, dando, em consequência, a sua definição. Nesta fase utiliza-se das informações constante das Normas Admissíveis de Projeto Rodoviários para Novas Estradas, conforme Portaria 19 - DNER de 10 de janeiro de 1949, reeditado 1973 e destacado na TABELA 3.1, tais como velocidade de projeto, raio horizontal mínimo, greide máximo dentre outros.

Características geométricas inadequadas são causas de acidentes, baixa eficiência e obsolescência precoce da estrada, devendo os elementos do projeto geométrico ser escolhidos de forma que a estrada possa atender aos objetivos para o qual foi projetada, isto é, segurança, conforto e eficiência.

3.1. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA A LOCAÇÃO DO TRAÇADO:

Segundo (LEE, S. H. - 2000/1), no lançamento de traçados para as rodovias, estes devem ser considerados como entidades tridimensionais contínuas, com mudanças de direção fluentes e gradativas.

Para facilidade de trabalho e conveniência técnica na elaboração dos projetos, os elementos geométricos da rodovia são decompostos, como já comentados anteriormente, nos elementos em planta, em perfil e em seção transversal.

Para (SANSON, H. J. R. - 1981), tomando como base nos elementos conseguidos pelo reconhecimento preliminar, complementados por investigações adicionais de campo, estabelece-se traçados alternativos. Deve-se lembrar que o traçado é sempre uma estrutura tridimensional, contínua, onde os elementos planimétricos e altimétricos devem combinar-se harmoniosamente. Em resumo, a locação do traçado deve-se nortear num conjunto de exigências quanto a: segurança e comodidade do tráfego, utilidade, economia e estética.

O anteprojeto visa à elaboração posterior do projeto definitivo. Enumera-se a seguir alguns aspectos principais dessas exigências, a serem considerados:

NORMAS ADMISSÍVEIS DE PROJETOS RODOVIÁRIOS PARA NOVAS ESTRADAS							
ITEM	UNIDADE	REGIÃO	CLASSE				
			0	I	II	III	
1- Velocidade de projeto ou diretriz	km/h	plana	120	100	80	60	
		ondulada	100	80	60	40	
		montanhosa	80	60	40	30	
2- Raio horizontal mínimo	m	plana	570	380	230	130	
		ondulada	380	230	130	50	
		montanhosa	230	130	50	30	
3- Greide máximo	%	plana	3	3	3	4	
		ondulada	4	4,5	5	6	
		montanhosa	5	6	7	8	
4- Distância de visibilidade p/ parada	m	plana	210	150	110	75	
		Ondulada	150	110	75	50	
		montanhosa	110	75	50	—	
5- Distância de visibilidade p/ ultrapassagem	m	plana	730	650	500	350	
		ondulada	650	500	350	175	
		montanhosa	500	350	175	—	

CONTINUA...

NORMAS ADMISSÍVEIS DE PROJETOS RODOVIÁRIOS PARA NOVAS ESTRADAS							
6-	Largura do pavimento	m	plana	7,50	7,20	7,00	7,00
						6,50	6,50
			ondulada	7,50	7,20	7,00	7,00
			montanhosa	7,50	7,20	6,00	6,00
7-	Largura do acostamento	m	plana	3,50	3,00	2,00	1,50
			ondulada	3,00			
			montanhosa	2,50	2,50	2,00	0,20
			muito montanhosa	1,00	1,00	1,00	0,80
8-	Faixa de domínio	m	plana	—	60	30	30
			ondulada	—	70	40	40
			Montanhosa	—	80	50	50

TABELA 3.1 – Portaria 19 – DNER_reeditado1973

3.1.1.- PROCURAR SEGUIR OS SEGUINTE PRINCÍPIOS:

- Iniciar a locação pelos *pontos obrigados* e pontos que oferecem vantagens óbvias, por exemplo: gargantas, cidades, portos, áreas que contornam elevações íngremes, áreas a montante de grotas acentuadas, seções mais estreitas de rios, travessias adequadas de ferrovias, eventual aproveitamento de obras e pontes existentes. Observar na figura 3.1 que ligando os pontos extremos “B” e “A”, o traçado passa pela cidade “C”, a garganta “G” a ponte existente em “E” e próximo do rio “D” antes de concluir o traçado proposto.

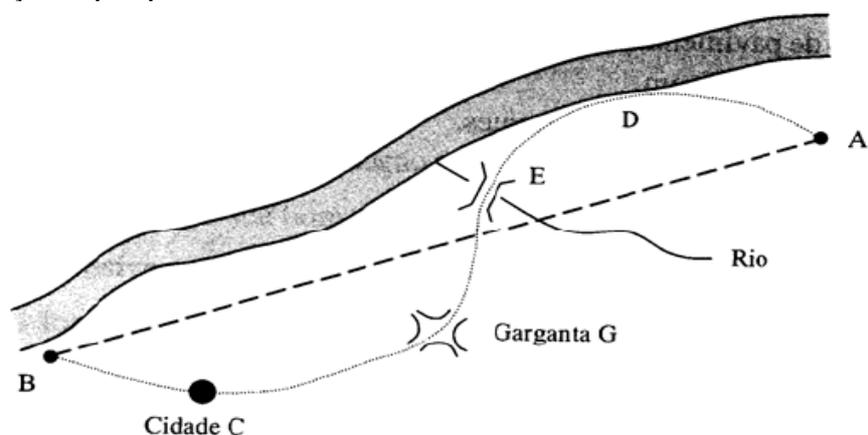


Figura 3.1 – Diretriz geral de uma estrada
(Fonte: PONTES Fo., G.)

- A extensão desenvolvida deverá ser a menor possível. Neste caso analisa-se a menor “*comprimento virtual segundo o trabalho mecânico*”⁴;
- Volume mínimo de terraplenagem, adotando a compensação freqüente entre corte e aterro;
- Distância Média de Transporte (DMT) a menor possível;
- Volume mínimo de terraplenagem, adotando a compensação freqüente entre corte e aterro;
- Proximidade a jazidas de material adequado para a execução do pavimento e de obras de arte;
- Custo de implantação o menor possível. Tal objetivo será atingido quando o eixo da estrada acompanha as curvas de nível (figura 3.2), pois se tem uma redução acentuada dos serviços de terraplanagens.

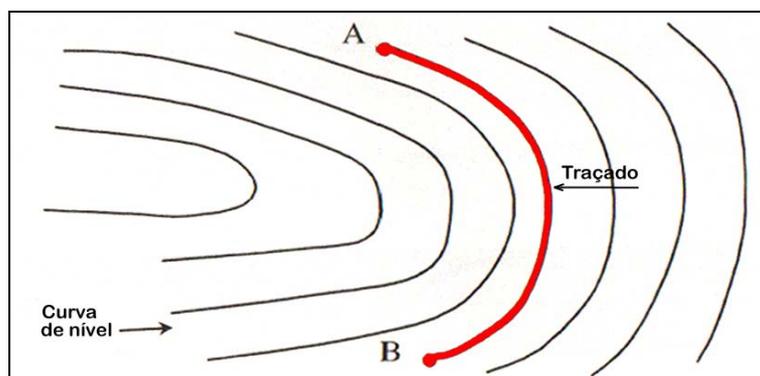


Figura 3.2 – Desenvolvimento de traçado acompanhando as curvas de nível
(Fonte: PONTES Fo., G.)

- Custo operacional da rodovia o menor possível;
- Custo operacional dos veículos o menor possível;

⁴ Representa o comprimento fictício em reta e nível, que corresponde ao menor trabalho mecânico despendido pelo veículo na estrada.

- Optar por terrenos altos, se possível próximo a divisores d' água;

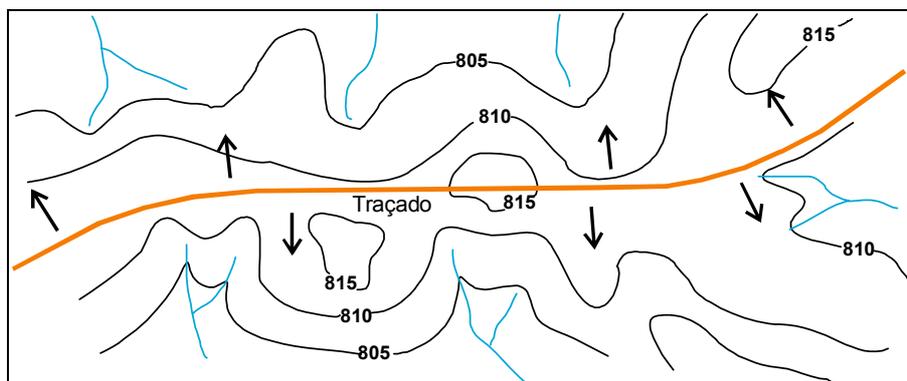


Figura 3.3 – Traçado de Espigão – (Fonte: PIMENTA, C. R. T. – 1999)

- Procurar terrenos com alto Índice de Suporte (IS), para minimizar o custo de pavimentação e obras de arte;
- Terreno de baixo custo de desapropriação;
- Procurar coincidir com as divisas das propriedades;
- Facilidades para a ligação com a rede rodoviária existentes, em pontos favoráveis;
- Cruzar em ângulo reto com rodovias, ferrovias e cursos d' água;
- No cruzamento com ferrovias e rodovias existentes passar, de preferência, por cima destas e, se possível, em corte, de altura adequada (figura 3.4);

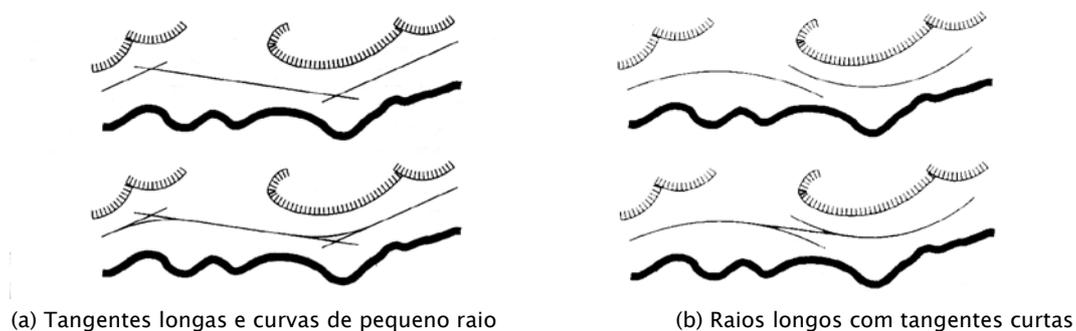


Figura 3.4 – Cruzamento em desnível

(Fonte: <http://cosmo.uol.com.br/noticia/40430/2009-10-28>)

- Acesso conveniente a cidades, aldeias e outros povoados ao longo do traçado;
- Facilidades para a passagem sobre cursos de água (fundações e aterros);
- Greide elevado em terreno plano;

- Curvas horizontais e verticais suaves (sempre que possível adotar o raio maior que o mínimo exigido);
- Curva longa e tangente curta, tanto em planta como em perfil (figura 3.5). Em terreno ondulado, recomenda-se extensão máxima de trecho reto = 3,00 km, na devendo ser maior que 2,5 vezes o comprimento médio das curvas adjacentes, nem maior que a distância percorrida por um veículo, na velocidade diretriz, durante o tempo de 1,5 minutos, portanto a distância máxima será dada pela equação (3.1):



(a) Tangentes longas e curvas de pequeno raio

(b) Raios longos com tangentes curtas

Figura 3.5 - Políticas para concordâncias horizontais

(Fonte: Manual de projetos de rodovia rurais - DNER, 1999, p.64)

$$T = t \times V \quad (3.1)$$

Onde:

T = Trecho máximo em tangente entre duas curvas (m);

t = Tempo máximo percorrido = 1,50 minutos = 90 segundos;

V = Velocidade de projeto ou diretriz (km/h).

Substituindo e transformando:

$$T_{m\acute{a}xima} = 90 \times \frac{1000}{3600} \times V = 25 \times V$$

Para $V = 100$ km/h

$$T_{m\acute{a}xima} = 25 \times V = 25 \times 100 = 2500m$$

- Concordância de duas curvas horizontais de sentido opostos por curvas de transição que se tangenciam ou por trechos retos de

comprimento mínimo necessário a mudança das superelevações. Deve-se adotar para a tangente intermediária ao percurso de aproximadamente 15 segundos percorrido à velocidade diretriz V , ou seja, substituindo em (3.1) tem-se:

$$T_{intermediária} = 15 \times \frac{1000}{3600} \times V \cong 4 \times V$$

Para $V = 100 \text{ km/h}$

$$T_{intermediária} = 4 \times V = 4 \times 100 = 400m$$

- Nas rampas ascendentes longas, íngreme, iniciar com inclinação maior e diminuí-la no alto, ou inserir trechos pequenos de rampa suave ao longo do trecho;
- Coincidência dos vértices das curvas verticais com os das horizontais correspondentes;

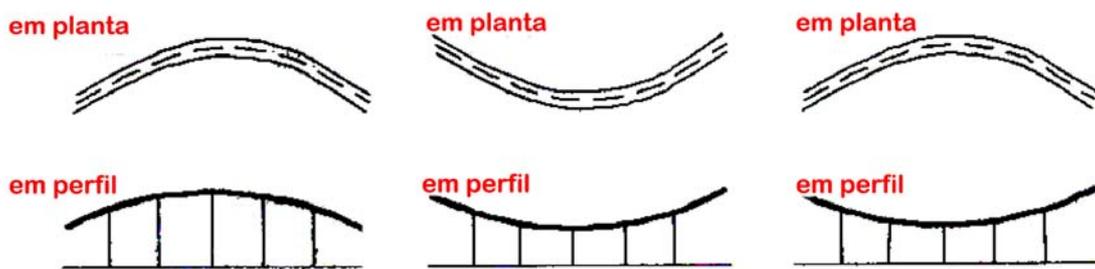


Figura 3.6 - Coordenação de curvas horizontais e verticais
(Fonte: LEE, S. H - 2000/1)

- Iniciar curvas horizontais um pouco antes e terminar um pouco depois das verticais correspondentes;
- Associação de tangentes longas em planta a curvas côncavas longitudinais que atenuem a rigidez do trecho reto;



Figura 3.7 - Tangente longa com curvas verticais côncavas.

3.1.2.- PROCURAR EVITAR:

- Terreno de baixa capacidade de suporte (solos de alta compressibilidade);
- Trecho rochoso (material de 2^a. e 3^a. categoria) em corte;
- Terrenos sujeitos a desmoronamento, como por exemplo, encostas íngremes;
- Terreno pantanoso e/ou sujeitos as inundações;
- Destruição de plantações;
- Danos à paisagem e ao meio-ambiente;
- Cortes muito profundo (ou túneis) e aterros muito altos;
- Interseção em nível com ferrovia e com outras rodovias importantes;
- Interseção em nível com outras rodovias em curva, e no topo ou no pé de rampas longas, íngremes;
- Localização de pontes e viadutos em curva horizontal ou na proximidade desta;
- Concavidades em corte e convexidade em aterro no perfil longitudinal;
- Contra-rampa em trecho de longo aclave;
- Rampas íngremes longas;
- Quebras constantes no alinhamento vertical;
- Mudanças bruscas na distância de visibilidade;
- Tangentes longas em planta, principalmente quando o terreno não for plano;
- Curvas horizontais de pequena extensão quando o terreno for plano;
- Duas curvas horizontais de mesmo sentido unidas por tangente curta;
- A passagem brusca de zonas de curvas de grande raio (planta e perfil) para zonas de raio pequeno;
- Incoerência entre planta e perfil, por exemplo: um traçado contínuo em um plano não se associa as pequenas e freqüentes mudanças de direção no outro;

- Duas curvas verticais de mesmo sentido unidas por pequeno trecho reto;
- Concavidade vertical no início de curvas horizontais, o que impeça a percepção da continuidade da curvatura;
- Associação de curva horizontal de pequeno raio a rampa íngreme;
- Associação de curva horizontal de grande raio a rampa de pequena extensão;

Evidentemente, não será possível satisfazer-se todas as exigências mencionadas, frequentemente incompatíveis, na locação de cada traçado. Deve-se chegar a um meio-termo ponderado que, de qualquer maneira, será condicionado pelo bom senso.

3.1.3.- DEFEITOS DOS TRAÇADOS:

Os manuais dos órgãos responsáveis pelas estradas de rodagem federais e estaduais trazem uma série de recomendações para a concepção geométrica das vias. As ilustrações das figuras 3.8 a 3.12 mostram os erros a serem evitados nos traçados da rodovia, segundo manual do DER-SC (Departamento de Estradas de Rodagem)

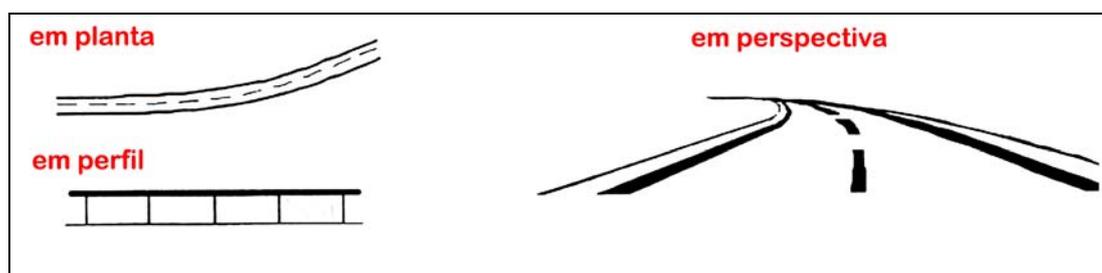


Figura 3.8 – Pista sem Dobra Ótica.

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linhas, cap. 2 - DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.9).

- Curvas de pequeno desenvolvimento entre tangentes dever ser evitadas, pois causa aparência de quebra de continuidade (figura 3.9).

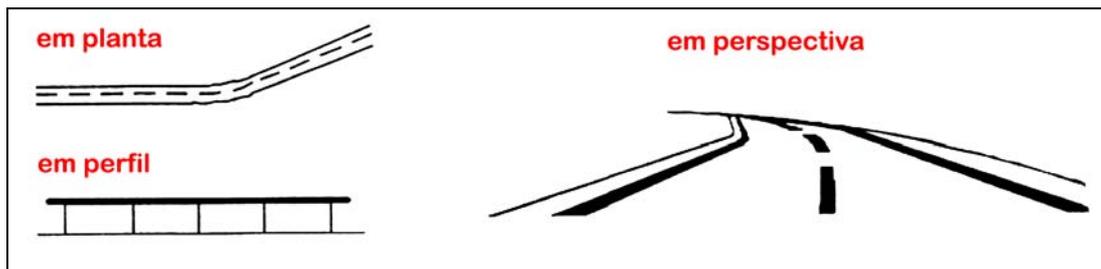


Figura 3.9 – Pista com Dobra Ótica

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 - DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.9).

- Tangentes intermediárias curtas entre curvas de mesmo sentido dever ser evitadas, pois causam aparência de quebra de continuidade (figura 3.10). Quando não for possível adotar para o trecho em tangente (T) o valor indicado na equação (3.1) para um tempo de 15 segundos, ou seja:

Para $V = 100 \text{ km/h}$

$$T_{\text{intermediária}} = 4 \times V = 4 \times 100 = 400m$$

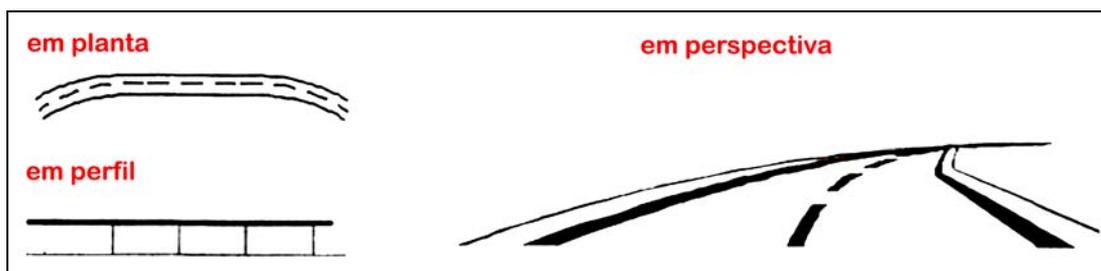


Figura 3.10 – Dobras e Defeitos Óticos.

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 - DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.8).

- Evitar depressões como do indicado nas figuras (3.11) e (3.12). Visualmente a estrada da idéia de descontinuidade.

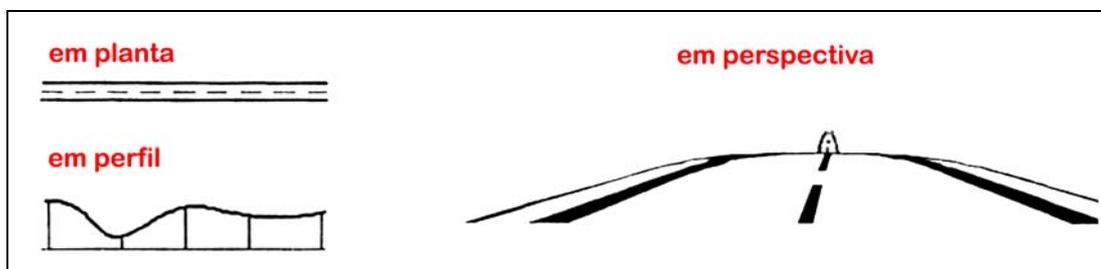


Figura 3.11 – Mergulho em Tangente.

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 - DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.37).

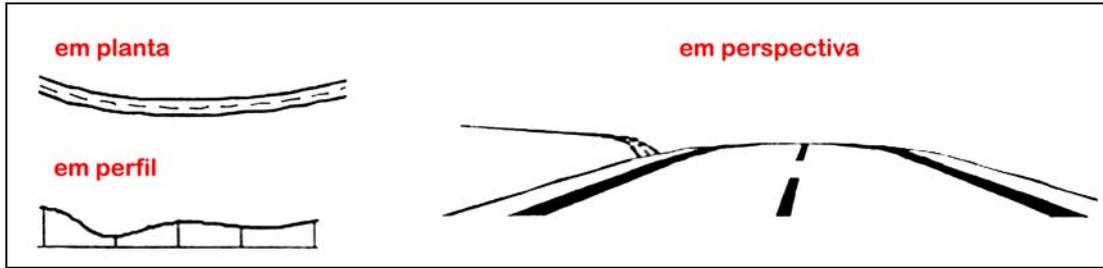


Figura 3.12 – Mergulho em Curva.

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 – DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.37).

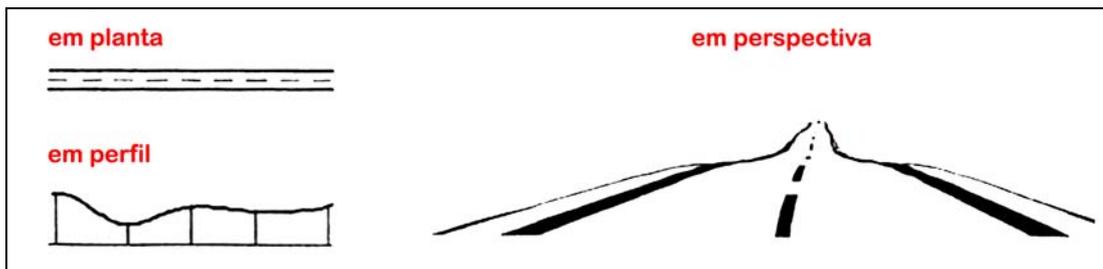


Figura 3.13 – Abaulamento (Tobogã).

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 – DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.36).

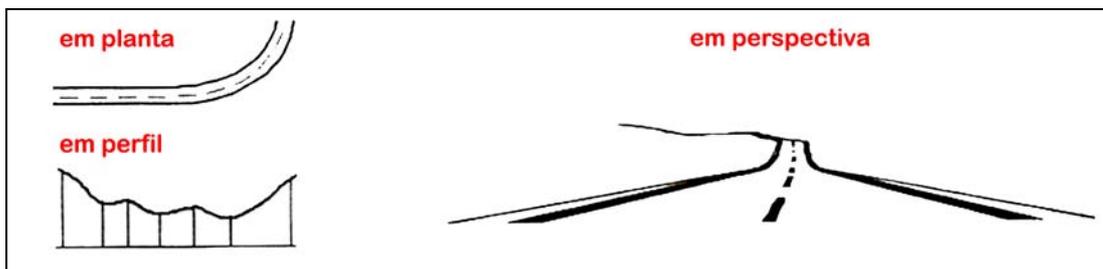


Figura 3.14 – Ondulações na curva.

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 – DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.36).

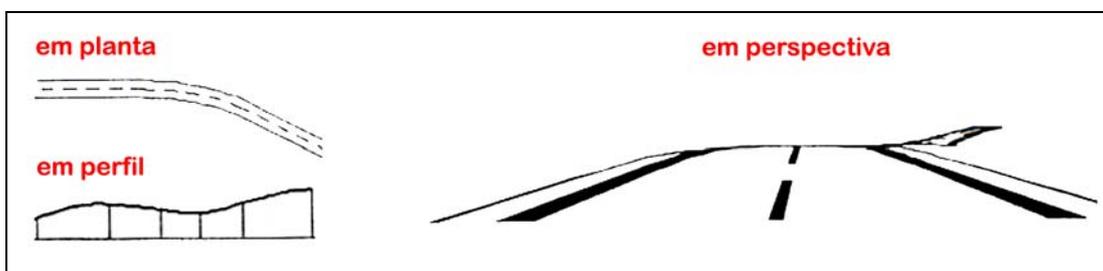


Figura 3.15 – Mergulho Raso.

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 – DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.37).

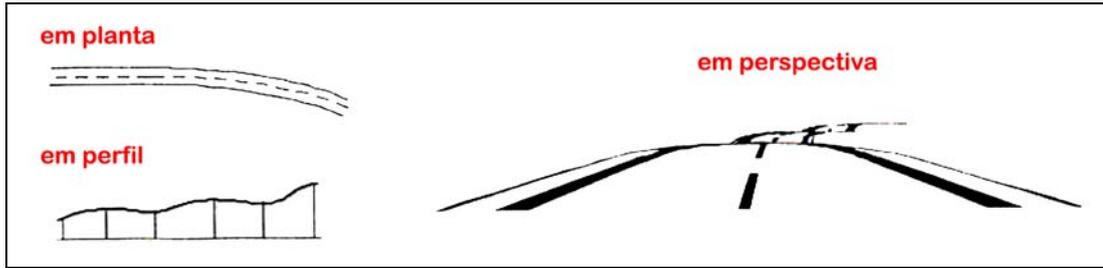


Figura 3.16 – Mergulho Profundo.

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 – DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.37).

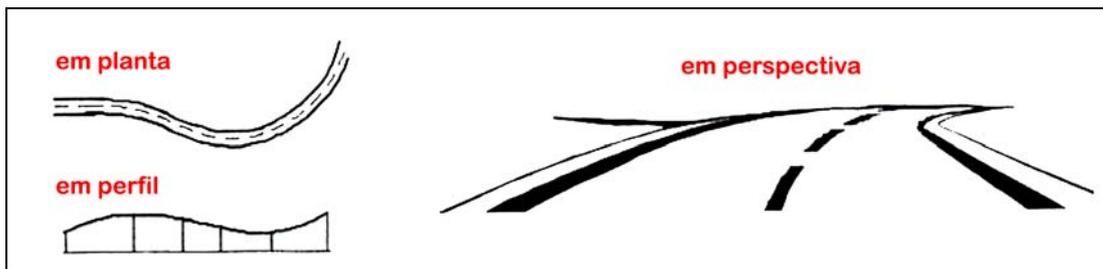


Figura 3.17 – Salto.

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 – DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.38).

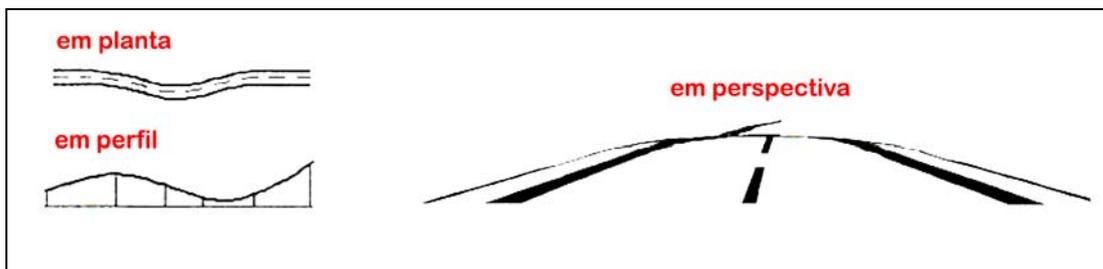


Figura 3.18 – Salto com Deflexão.

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 – DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.38).

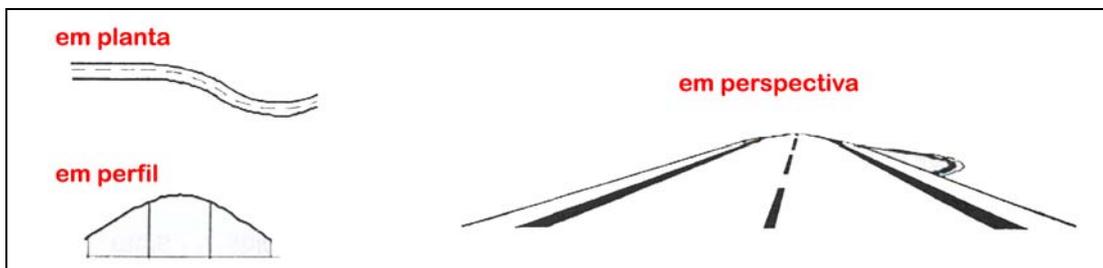


Figura 3.19 – Início da Curva Horizontal na Área Convexa.

(Fonte: Diretrizes para a construção de estradas: traçado das linha, cap. 2 – DCE-T-2 (DER/SC, 1993, p.36).

3.2. LANÇAMENTO PRELIMINAR EM PLANTA E PERFIL:

Os traçados alternativos serão lançados na planta geral planialtimétrica obtida.

Primeiramente, obedecendo, os pontos forçados de condição de passagem, o alinhamento relativo ao nosso anteprojeto. Todas as variantes viáveis são analisadas pra escolha do melhor traçado.

Após o lançamento dos alinhamentos, lança-se o greide, isto é, a posição que tomará a plataforma da estrada em relação ao terreno original, respeitando-se às condições técnicas previamente estabelecidas para a estrada.

A escala do perfil guarda, normalmente, a relação $\frac{1}{10}$ entre as escala horizontal e vertical, portanto, o perfil longitudinal (terreno e greide) será lançado num desenho com escala horizontal igual à da carta (Escala Horizontal = 1:50.000) e numa escala compatível com o terreno para as elevações. (por exemplo: $E_v = 10 \times E_h = 10 \times \frac{1}{50000}$, portanto, Escala Vertical = 1:5.000).

O primeiro lançamento tentativo de greide, no perfil longitudinal, visa somente à verificação de sua viabilidade geométrica (rampa máxima e rampa mínima), sendo que a sua fixação definitiva depende dos cálculos de movimento de terra a serem realizados após o reconhecimento complementar de campo. O nível do greide nos pontos extremos (obrigados) é, no nosso caso, idêntico ao nível do terreno, sendo que essa exigência pode ser dispensada somente nos casos especiais. Deve-se procurar limitar a altura de cortes e aterros a 25 a 30 metros. Se for necessário usar alturas maiores, devem-se tomar precauções especiais (por exemplo: a execução de banquetas). No lançamento do greide deve-se **evitar concavidade em cortes** (que dificultam a drenagem) e **convexidade (lombadas) em aterros**.

Na travessia de represas ou lagos, prever uma ponte somente na parte central (mais profunda), sendo os acessos executados em aterro.

Chama-se a atenção para a exigência quanto às rampas máximas e mínimas. A rampa mínima de 1% em corte e seção mista é importante para a drenagem adequada. Somente em casos especiais será permitido atenuar essa exigência.

No cruzamento do traçado em desnível com rodovias e estradas de ferro existentes, considera-se uma altura livre de, no mínimo, 5,50 metros e uma altura de superestrutura da respectiva obra de arte de 2,00 metros. Admite-se ainda uma espessura de 0,50 metros do pavimento a ser construído sobre o greide de terraplanagem.

3.3. INVESTIGAÇÕES COMPLEMENTARES DE CAMPO:

Numa primeira análise da planta genérica na escala 1:50.000 pode-se observar facilmente a hidrografia e o tipo de vegetação.

Não tendo ainda os estudos de campo relativo à inspeção e exploração do subsolo, devemos observar e destacar em planta para evitar-se que a estrada passe pelos seguintes locais:

- Mangues, Salina, Curso d'água intermitente, Lago ou lagoa intermitente;
- Terrenos sujeitos as inundações, brejo ou pântano;
- Poço (água), nascente, salto, cascata ou catarata;
- Cachoeira, corredeira, rápido, travessão;
- Barragens de terra, alvenaria ou concreto;
- Edificações;
- Matas, floresta, cerrado, caatinga e outros;
- Culturas permanentes como café, seringueiras, laranjas, dentre outras.

3.4. ESTUDO HIDROLÓGICO:

O estudo hidrológico adotado é um resumo da IP-DE-H00/001 - DER, que estabelece a metodologia, procedimentos e forma de apresentação de estudos hidrológicos, de modo a fornecer subsídios para o planejamento da obra e determinação das vazões de dimensionamento das estruturas hidráulicas.

Fases de estudos:

3.4.1.– COLETA DE DADOS:

- ***Dados Básicos:*** Áreas das bacias contribuintes;
- ***Dados Hidro-meteorológicos:*** Para coleta de dados hidro-meteorológicos devem ser pesquisados os bancos de dados pluviométricos e fluviométricos do Estado de São Paulo disponíveis na internet através do site: www.sigrh.sp.gov.br., DAEE dentre outros órgãos;
- ***Obras Hidráulicas e Estudos Existentes nas Bacias da Área:*** Deve-se catalogar as principais obras hidráulicas existentes ou projetadas que possam influir nos estudos hidrológicos.

3.4.2.– ESTUDOS HIDROLÓGICOS E CLIMATOLÓGICOS:

Nesta fase o estudo efetua a Caracterização Física da Área e o Regime Climático Regional, bem como o estudo das chuvas intensas, suas intensidades e freqüência. A Caracterização do Regime Fluvial composta de listagens dos postos fluviométricos da região de interesse, tais como: vazões médias, máximas e mínimas mensais; cotas das enchentes máximas observadas na região com o respectivo período de ocorrência.,

3.4.3.– METODOLOGIA DO ESTUDO HIDROLÓGICO:

3.4.3.1. – Estudos de escoamento Superficial

“Os estudos de escoamento superficial das bacias de drenagem devem abranger a análise das características fisiográficas da bacia, o tipo de solo e sua cobertura, inclusive a estimativa da evolução futura quanto ao uso e ocupação do solo”. Portanto, para o estudo de escoamento superficial deve-se:

- Conhecer a geometria da obra;
- Fazer uma boa pré-escolha dos elementos para drenagem;
- Estimar as vazões;
- Escolher formas e dimensionar os elementos drenantes;
- Estude o controle de fluxo.

Na figura 3.20 apresenta-se os vários elementos de drenagem utilizados com freqüência nas obras rodoviárias.

Utilize as plantas, seus perfis, seções transversais. Tenha BOM SENSO.

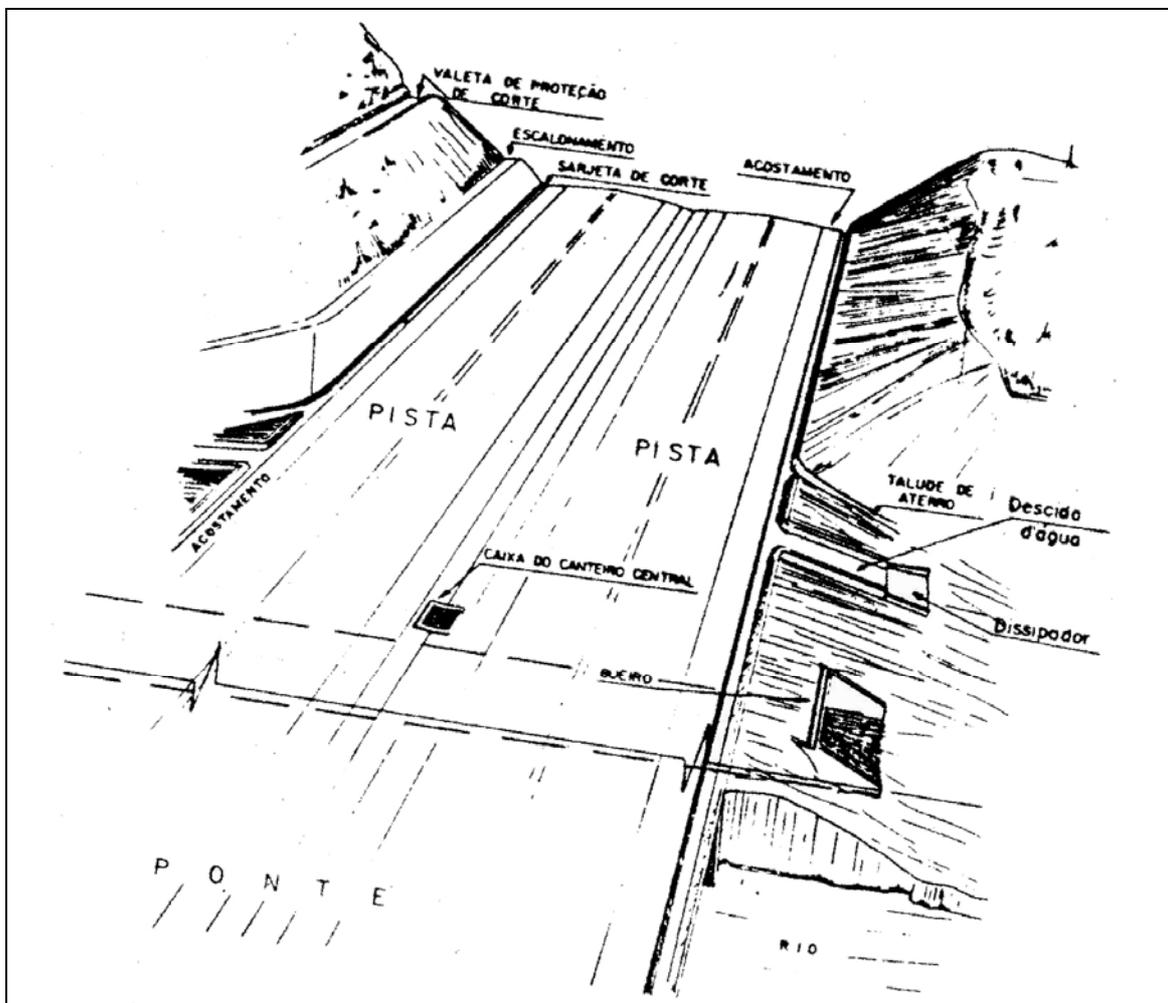


Figura 3.20 – Elementos Drenantes.
(Fonte: FELEX, J. B. – USPSC – 2000).

3.4.3.2. – Metodologia e Parâmetros para Determinação da Vazão de Projeto

A metodologia de cálculos hidrológicos para determinação das vazões de projeto é classificada de acordo com as dimensões das bacias hidrográficas.

Os parâmetros dos cálculos são fixados de acordo com as características da obra e de seus elementos de drenagem.

a. Períodos de Retorno

Quando não houver uma recomendação específica da fiscalização, os períodos de recorrência (TR) a serem adotados estão definidos na tabela 3.1:

ELEMENTO	DIMENSIONAR TR (ANOS)	VERIFICAR TR (ANOS)
Para dispositivos de drenagem superficial	10	-
Para pontes	10	-
Para bueiros e canalizações de talvegues em área urbana ou de expansão urbana	100	-
Para bueiros e canalizações de talvegues em área rural	25	-
Para bueiros e canalizações de talvegues em canais trapezoidais independentes de bueiros ou pontes, em áreas urbanas	50	100
Para bueiros e canalizações de talvegues em canais retangulares	100	-
Para bueiros de talvegue existentes	25	100
Para talvegues secos	25	-

Tabela 3.1 – Período de Retorno (Fonte: DER/SP – IP-DE-H00/001)

b. Método de Cálculo

Para bacias com área de drenagem inferior a 50 km² devem ser utilizados métodos indiretos, baseados nos estudos de intensidade, duração e frequência das chuvas da região. Para estas bacias, caso sejam disponíveis dados fluviométricos em quantidade e qualidade suficientes, deve ser utilizado o método direto estatístico.

Em função da área da bacia hidrográfica, deve-se utilizar os seguintes métodos de cálculo da tabela 3.2.:

No nosso curso estudaremos apenas o Método Racional. Os demais métodos poderão ser utilizados a critério dos alunos.

MÉTODO	ÁREA
Racional	Bacia hidrográfica ≤ 2 km ²
De Ven Te Chow, I Pai Wu ou Triangular	2 km ² \leq Bacia hidrográfica ≤ 50 km ²
Método estatístico direto	Bacia hidrográfica > 50 km ²

Tabela 3.2 – Método a ser utilizado (Fonte: DER/SP – IP-DE-H00/001)

- **Método racional**

O método racional pode ser aplicado conforme apresentado na publicação Engenharia de Drenagem Superficial, de Paulo Sampaio Wilken⁵.

Os coeficientes de escoamento superficial devem ser adotados em função do tipo e uso do solo, considerando a urbanização futura da área pela equação geral 3.2:

$$Q_{solicitante} = \frac{c.i.A}{3,6} \quad (3.2)$$

Onde:

c = coeficiente de escoamento superficial = $\frac{\text{volume} \cdot \text{água} \cdot \text{que} \cdot \text{escoa}}{\text{volume} \cdot \text{de} \cdot \text{chuva}}$

i = intensidade de chuva (mm/h)

A = área da bacia (km²)

- **Coeficiente de escoamentos superficiais ou coeficientes de Runoff**

Os coeficientes de escoamentos superficiais depende da região a ser analisada, dividindo-se em áreas rurais e áreas urbanas conforme valores da tabela 3.3.

Para a plataforma da estrada, o DER/SP – IP-DE-H00/001 adota os seguintes valores:

- Áreas pavimentadas $C = 0,90$;
- Superfícies em taludes $C = 0,70$;
- Áreas gramadas $C = 0,35$.

⁵ 4 WILKEN, Paulo Sampaio. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978.

- **Intensidade de precipitação de chuva**

A intensidade de precipitação de chuva (i) depende do local, da história de chuvas, das hipóteses sobre o risco de a vazão ser superada e deve ser calculada a partir da aplicação da equação de chuvas válidas para a área em estudo.

Deve-se efetuar consulta ao DAEE com a finalidade de consolidar a metodologia de cálculos hidrológicos e verificar os elementos técnicos necessários para embasar a obtenção de outorga junto à Secretaria de Recursos Hídricos.

As equações de chuva, que são expressões empíricas das curvas intensidade/duração/freqüência, apresentam-se normalmente nas seguintes formas:

$$i = \frac{a}{(t_c + b)} \quad \text{ou} \quad (3.3)$$

$$i = \frac{c}{t^m} \quad \text{ou} \quad (3.4)$$

$$i = \frac{a \times TR^n}{(t_c + b)^r} \quad (3.5)$$

Onde :

i – intensidade média em milímetros por minutos ou milímetros por hora;

t_c – tempo de duração da chuva em minutos;

TR – tempo de recorrência em anos (ver Tabela 3.1);

a, b, c, d, e, m, n e r – parâmetros definidos a partir das observações básicas para elaboração da equação.

Tipo de Área de Drenagem	Coeficiente C
Áreas Comerciais	
áreas centrais	0,70 – 0,95
áreas de bairros	0,50 – 0,70
Áreas Residenciais	
residenciais isoladas	0,35 – 0,50
unidades múltiplas, separadas	0,40 – 0,60
unidades múltiplas, conjugadas	0,60 – 0,75
áreas com lotes de 2.000 m ² ou maiores	0,30 – 0,45
áreas suburbanas	0,25 – 0,40
áreas com prédios de apartamentos	0,50 – 0,70
Áreas Industriais	
área com ocupação esparsa	0,50 – 0,80
área com ocupação densa	0,60 – 0,90
Ruas	
revestimento asfáltico	0,70 – 0,95
revestimento de concreto	0,80 – 0,95
revestimento primário	0,70 – 0,85
parques e cemitérios	0,10 – 0,25
Áreas sem Melhoramentos	
solo arenoso, declividade baixa < 2 %	0,05 – 0,10
solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,10 – 0,15
solo arenoso, declividade alta > 7 %	0,15 – 0,20
solo argiloso, declividade baixa < 2 %	0,15 – 0,20
solo argiloso, declividade média entre 2% e 7%	0,20 – 0,25
solo argiloso, declividade alta > 7 %	0,25 – 0,30

Tabela 3.3 – Coeficientes de Runoff (C)
(Fonte: DER/SP – IP-DE-H00/001)

Para cada local a equação da chuva intensa deve ser determinadas os parâmetros observados nas equações gerais (3.3), (3.4) e (3.5).

Apresentamos a seguir a equação geral da intensidade de chuvas (i) para a cidade de São Paulo determinada pelos Engenheiros A. G. Occhipintt e P. M. Santos para a duração de até 60 minutos e para durações superiores, a saber:

- Para duração de até 60 min

$$i = \frac{27,96 \times TR^{0,112}}{(t_c + 15)^r} \quad \text{e} \quad r = 0,86 \times TR^{-0,0114} \quad (3.6)$$

- Para durações superiores

$$i = \frac{42,23 \times TR^{0,150}}{t_c^{0,82}} \quad (3.7)$$

onde

i – intensidade média em milímetros por hora (mm/h);

t_c – tempo de duração ou de concentração da chuva em minutos (min);

- **Tempo de concentração (t_c)**

Observando o gráfico da figura 3.21 chega-se a conclusão que a partir do tempo de concentração (t_c) a vazão (Q) provocada por uma chuva de intensidade (i) passa a ser máxima e constante sendo definida pela equação (3.8).

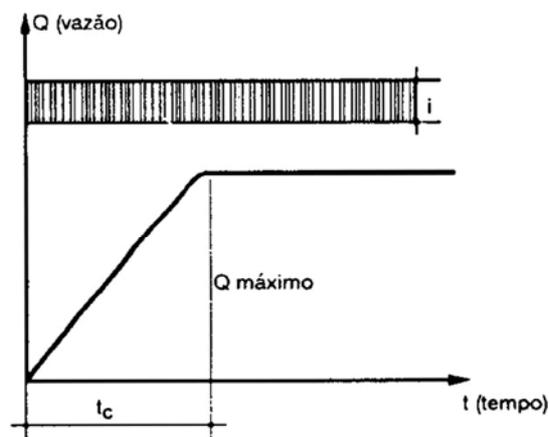


Figura 3.21 – Relação entre a Vazão (Q) e o tempo da chuva
(Fonte: FELEX, J. B. – USPSC – 2000).

$$t_c = 57 \left[\sqrt{\frac{L^3}{H}} \right]^{0,77} \quad (3.8)$$

onde

L – Comprimento do talvegue da bacia (km);

H – Máxima diferença de cotas (m).

IMPORTANTE: ADOPTAR $t_c = 10$ minutos como valor mínimo.

- **Bacia Hidrográfica (A)**

A área da Bacia Hidrográfica é obtida de levantamentos topográficos ou fotogramétricos; através de planímetros, sendo calculada entre as linha de divisor de água conforme demonstrado na figura 3.22.

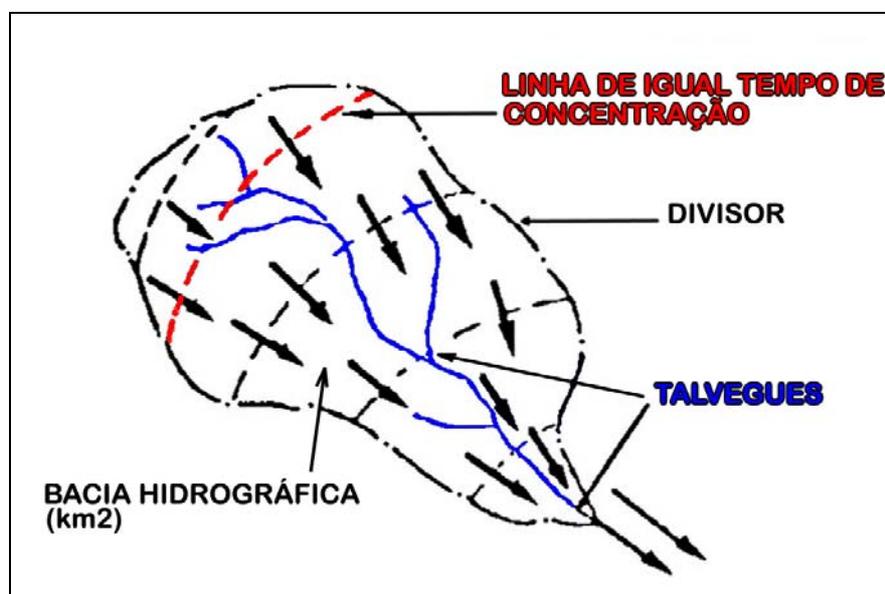


Figura 3.22 – Limites de uma Bacia Hidrográfica.
(Fonte: FELEX, J. B. – USPSC – 2000).

3.5. MOVIMENTO DE TERRA

Após traçados o perfil longitudinal e transversal, já se dispõe de dados necessários para uma verificação da viabilidade da locação do greide de cada traçado através dos cálculos de movimento de terra.

No cálculo de volumes é necessário conhecer-se a largura (L) da plataforma do greide de regularização (pista de terraplanagem) e as inclinações dos taludes. A inclinação dos taludes de corte e aterro varia conforme o tipo de solo encontrado.

O principal objetivo do projetista de estradas é o de efetuar o menor movimento de terra possível, cumprindo, logicamente, as normas de um traçado racional.

O perfil longitudinal (greide) gera, portanto, volumes a escavar (cortes) e volumes a aterrar (aterros). No projeto do greide procura-se um perfil longitudinal que proporcione boas compensações entre cortes e aterros, e também distâncias de transportes tão reduzidas quanto possível.

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 botas-foras, acarreta em menores custos de terraplanagem.

3.5.1.- CÁLCULO DOS VOLUMES:

3.5.1.1. - Método Simplificado.

Embora o processo simplificado leve a erros por admitir o terreno em nível, é um processo usado pois, nos permite avaliar com rapidez os volumes de terraplanagem. Na figura 3.23 estão esquematizados os procedimentos que serão utilizados na fase de anteprojeto.

As anotações de aula que orientam o trabalho prático apresentam as tabelas nos ANEXO 6, 7 e 8 que serão utilizadas para o cálculo do volume aproximado do movimento de terra, fase de anteprojeto.

$$\begin{aligned} \text{Áreas longitudinais} & \quad : O = D \times H \quad \text{ou seja: } H = \frac{O}{D} \\ (3.9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Áreas transversais} & \quad : A = 2L \times H + 2\left(\frac{t \times H \times H}{2}\right) = 2L \times H + t \times H^2 \quad (3.10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumes} & \quad : V = D(2 \times L \times H + t \times H^2) = D \times H(2 \times L + t \times H) \quad (3.11) \end{aligned}$$

A = Área da seção transversal.

- $2L$ = Base
 H ou H_c ou H_a = Altura de corte ou aterro.
 t ou t_c ou t_a = Talude de corte ($t_c/1$) ou aterro ($t_a/1$).

Substituindo (3.9) em (3.10) : $V = O(2 \times L + t \times H)$

Existem as seguintes relações entre os volumes de corte (.C.), aterro (A), empréstimo (E) e bota-fora (B):

No caso de bota-fora : $B = C - A \times F_c$

No caso de empréstimo : $E = A \times F_c - C$

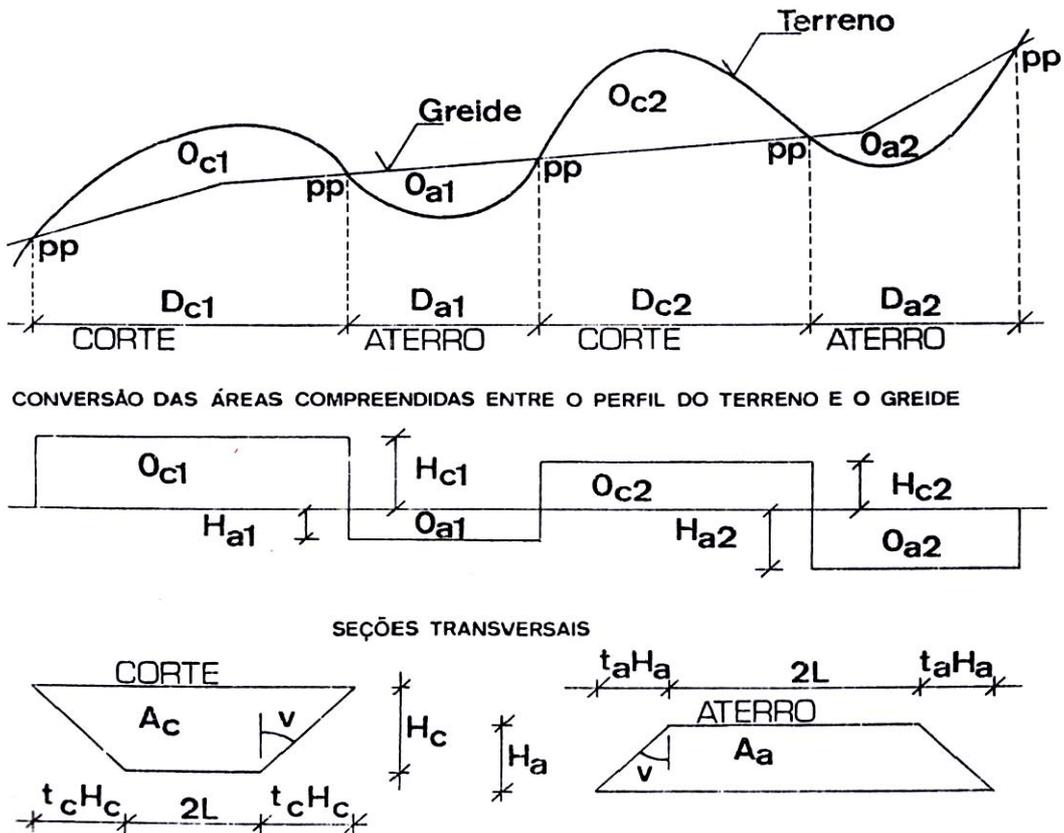


Figura 3.23 - Cálculos dos Volumes - Método Simplificado.

3.6. COMPRIMENTO VIRTUAL SEGUNDO O TRABALHO MECÂNICO

Denomina-se “COMPRIMENTO VIRTUAL SEGUNDO O TRABALHO MECÂNICO”, o comprimento fictício em reta e nível, que corresponde ao mesmo trabalho mecânico despendido pelo veículo na estrada, cuja tração se estuda.

A fórmula geral para rodovias é dada por:

$$L_v = L + \sum_i^n \frac{h_i}{r_v}$$

Onde:

- L_v = Comprimento virtual da estrada;
- L = Comprimento real desenvolvido da estrada;
- h = Desnível parcial (positivo);
- r_v = 20 kg/ton. (resistência ao rolamento).

Calcula-se o L_v nos dois sentidos do trecho em apreço e adota-se o valor médio.

As anotações de aula que orientam o trabalho prático apresentam no ANEXO 9 um exemplo resolvido para determinação do comprimento virtual.

3.7. RESUMO DE CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇADOS

Dispomos agora de todos os dados necessários para caracterizar adequadamente os traçados. É conveniente resumir esses dados conforme planilha modelo das notas de aula que orientam o trabalho prático, ANEXO 10, para facilitar a posterior elaboração de orçamento e comparação entre os traçados.

Não é exigido um critério pré-estabelecido de discriminação entre sub-trechos neste resumo; como sugestão, pode-se fazer a divisão em sub-trechos conforme o tipo de região definido pela topografia e/ou geologia. De qualquer maneira, deve-se reduzir ao mínimo possível essa subdivisão.

3.8. ORÇAMENTO:

Com a quantificação dos serviços a executar, elaborada em parágrafos anteriores, e com a tabela de preços unitários para cada serviço, dispõe-se dos elementos necessários para a elaboração do orçamento para cada traçado alternativo.

Os orçamentos serão elaborados, convenientemente, conforme planilha modelo das notações de aula que orientam o trabalho prático no ANEXO 11.

3.9. ESCOLHA DA DIRETRIZ

Para a escolha da diretriz definitiva, entre os traçados alternativos, é conveniente um levantamento comparativo, conforme planilha modelo das notações de aula que orientam o trabalho prático no ANEXO 12. De importância especial nessa comparação são os seguintes parâmetros:

- **Extensão desenvolvida total;**
- **Custo total de implantação e pavimentação, conforme orçamento;**
- **Custo operacional da rodovia;**
- **Custo operacional dos veículos.**

O custo operacional da rodovia (conservação, policiamento, etc.) depende, logicamente, da extensão desenvolvida, além de outros fatores (clima, tipo de pavimento, etc.). No nosso caso pesquisar o valor a ser atribuído em revistas especializadas ou na internet. O custo operacional dos veículos depende também de vários fatores (tipo de veículo, tipo de pavimento, custo de combustível).

Não é possível a fixação de critérios rígidos para a escolha de diretriz. Novamente, é necessário um julgamento ponderado dos respectivos intervenientes, baseado no bom senso.

3.10. MEMORIAL DESCRITIVO

O anteprojeto será acompanhado de relatório descritivo e justificativo, sob forma de texto, onde será tratada, de maneira prática, sucinta e objetiva, a seguinte seqüência de assuntos:

- Objetivo do trabalho e etapas programadas;
- Características técnicas e operacionais da rodovia;
- Levantamento preliminar: fontes consultadas e resultados obtidos;
- Descrição sumária da região;
- Critério de escolha preliminar e descrição geral dos traçados alternativos (planta e perfil);
- Plano de investigações complementares;
- Avaliação dos resultados das investigações complementares;
- Confirmação da escolha dos traçados fixados inicialmente ou, eventualmente, o abandono ou alteração destes;
- Estudos hidrológicos;
- Cálculos de movimento de terra;
- Comprimento virtual;
- Orçamentos, inclusive justificativa dos preços unitários adotados;
- Análise comparativa dos traçados;
- Escolha da diretriz definitiva.

Os desenhos, tabelas, planilhas, gráficos, esquemas, etc. fazem, logicamente, parte integral do relatório, onde se faz, sempre quando procedente, referência aos mesmos.

CAPÍTULO 4

ELEMENTOS BÁSICOS PARA PROJETO

4. ELEMENTOS BÁSICOS PARA PROJETO:

Características geométricas inadequadas são causas de acidentes, baixa eficiência e obsolescência precoce da estrada, devendo os elementos do projeto geométrico ser escolhidos de forma que a estrada possa atender aos objetivos para o qual foi projetada, isto é, segurança, conforto e eficiência.

4.1. VELOCIDADES:

A velocidade com a qual um determinado veículo percorre a estrada depende das características do veículo, vontade do motorista, qualidade da estrada, condições climáticas do momento, volume condições de escoamento de tráfego do momento, características geométricas do traçado.

4.1.1. VELOCIDADE DE PROJETO OU DIRETRIZ:

É a velocidade básica para fixação das características técnicas do traçado, é também a máxima velocidade admissível, mantidos o conforto e segurança do usuário. A velocidade de projeto ou diretriz (V) poderá ser variável ao longo do trecho, entretanto é sempre aconselhável adotar a velocidade diretriz única em todo trecho (Tabela 4.1).

4.1.2. – VELOCIDADE DE OPERAÇÃO:

Chama-se velocidade de operação (V_m) a média de velocidades para todo o tráfego ou parte dele, obtida pela soma das distâncias percorridas dividida pelo tempo de percurso. É menor que a velocidade diretriz (V); os valores de velocidades considerados estão relacionados na Tabela 4.2.

É variável com a intensidade de tráfego, e é função também da velocidade diretriz, pois melhores condições técnicas acarretam maior segurança a maiores velocidades.

NORMAS ADMISSÍVEIS DE PROJETOS RODOVIÁRIOS PARA NOVAS ESTRADAS							
ITEM	UNIDADE	REGIÃO	CLASSE				
			0	I	II	III	
1- Velocidade de projeto ou diretriz	km/h	plana	120	100	80	60	
		ondulada	100	80	60	40	
		montanhosa	80	60	40	30	
2- Raio horizontal mínimo	m	plana	570	380	230	130	
		ondulada	380	230	130	50	
		montanhosa	230	130	50	30	
3- Greide máximo	%	plana	3	3	3	4	
		ondulada	4	4,5	5	6	
		montanhosa	5	6	7	8	
4- Distância de visibilidade p/ parada	m	plana	210	150	110	75	
		Ondulada	150	110	75	50	
		montanhosa	110	75	50	—	
5- Distância de visibilidade p/ ultrapassagem	m	plana	730	650	500	350	
		ondulada	650	500	350	175	
		montanhosa	500	350	175	—	
6- Largura do pavimento	m	plana	7,50	7,20	7,00	7,00	
		ondulada	7,50	7,20	7,00	7,00	
		montanhosa	7,50	7,20	6,00	6,00	
7- Largura do acostamento	m	plana	3,50	3,00	2,00	1,50	
		ondulada	3,00				
		montanhosa	2,50	2,50	2,00	0,20	
		muito montanhosa	1,00	1,00	1,00	0,80	
8- Faixa de domínio	m	plana	—	60	30	30	
		ondulada	—	70	40	40	
		Montanhosa	—	80	50	50	

TABELA 4.1 – Portaria 19 – DNER_reeditado1973

PARA VOLUME DE TRÁFEGO BAIXO										
V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
V_m (km/h)	30	40	47	55	63	70	77	85	91	98

PARA VOLUME DE TRÁFEGO MÉDIO										
V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
V_m (km/h)	30	40	42	50	59	67	73	79	85	85

PARA VOLUME DE TRÁFEGO ALTO										
V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
V_m (km/h)	30	40	40	47	52	56	59	60	60	60

Tabela 4.2 - Velocidades médias de Operação (Fonte: AASHTO, 1995, p 156)

4.2. CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS QUANTO ÀS CONDIÇÕES TÉCNICAS.

As principais características geralmente consideradas nesse tipo de classificação são aquelas que relacionam diretamente com a operação do tráfego:

- velocidade;
- rampas;
- raios;
- larguras de pista e acostamento;
- distâncias de visibilidade;
- níveis de serviço, etc.

Estas, por sua vez, são restringidas por considerações de custos, condicionados especialmente pelo relevo.

As classes de projeto recomendadas encontram-se resumidas na tabela 4.3:

CLASSES DE PROJETO		CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA
O		Via Expressa Controle total de acesso	Decisão administrativa
I	A	Pista dupla Controle parcial de acesso	Os volumes de tráfego previstos ocasionarem níveis de serviço em rodovia de pista simples inferiores aos níveis C ou D
	B	Pista simples Controle parcial de acesso	Volume horário de projeto > 200 Volume médio diária (VDM) > 1400
II		Pista simples	VDM entre 700 e 1400
III		Pista simples	VDM entre 300 e 700
IV	A	Pista simples	VDM entre 50 e 200
	B	Pista simples	VDM < 50

Tabela 4.3 – Classes de Projeto (Áreas Rurais)

4.3. – 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;
- eficiência das estradas;
- volume de tráfego.

4.3.1. – VEÍCULOS DE PROJETO:

É o veículo teórico de certa categoria, cujas características físicas e operacionais representam uma envoltória das características das maioria dos veículos existentes nessa categoria.

Existem quatro grupos básicos de veículos a serem adotados conforme as características predominantes do tráfego. Na tabela 4.4 estão às características dos veículos de projeto (VP; CO; O e SR). No Brasil, adota-se normalmente o veículo CO (figura 4.1):

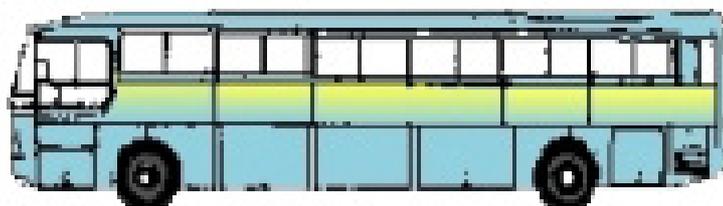
- VP: Veículos de passeio leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo utilitários, pick-ups, furgões e similares.
- CO: Veículos comerciais rígidos, compostos de unidade tratora simples. Abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de 2 eixos e 6 rodas.
- SR: Veículo comercial articulado, composto 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.

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

TABELA 4.4 - Dimensões básicas dos veículos de projeto (m)

Fonte: DNER

Na figura 3.1 tem-se os raios mínimos e máximos para o veículo CO levando-se em consideração a trajetória do balanço dianteiro, trajetória da roda dianteira esquerda e trajetória da roda traseira direita.



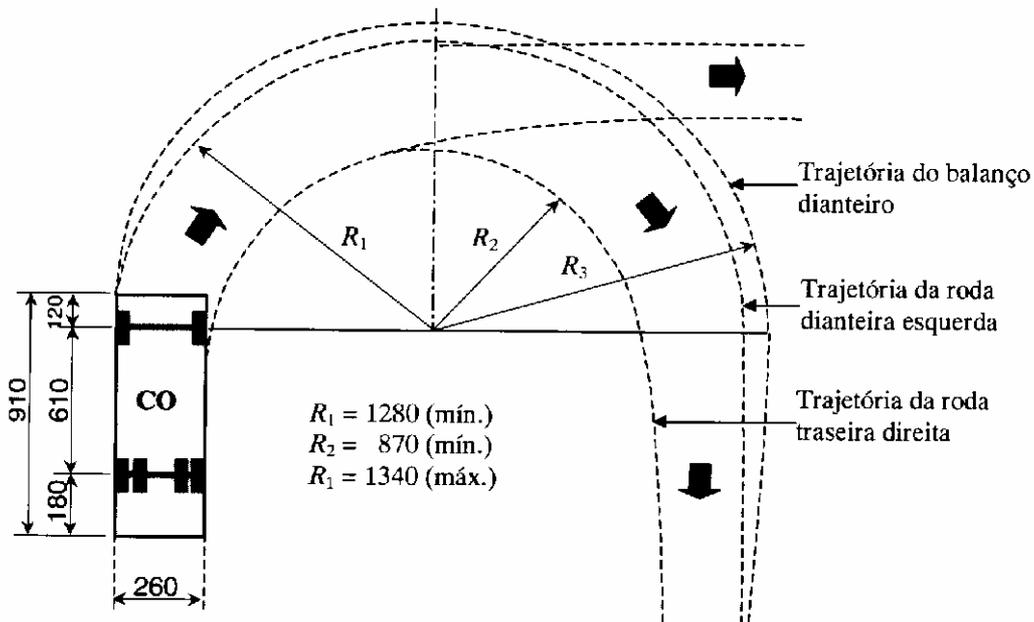


Figura 4.1 - Veículo de projeto (cm)

4.4. ALINHAMENTOS HORIZONTAL E VERTICAL:

4.4.1. ALINHAMENTO HORIZONTAL:

A estrada é um ente tridimensional que deve ser confortável e esteticamente agradável ao motorista que a percorre, composto basicamente de trechos retos concordados por curvas, e deverá ser coerente com a topografia da região. Um alinhamento fluente, bem ajustado à topográfica, é desejável do ponto de vista estético, construtivo e de manutenção.

Segundo o DNER, um critério que pode ser usado limita a extensão das tangentes a um percurso de 1,5 minutos percorrido à velocidade diretriz V , equação (4.1). Esta configuração reduz a sensação de monotonia para o motorista e problemas de ofuscamento noturno, além de ajustar-se mais favoravelmente à topografia, podendo reduzir o movimento de terra causado pela terraplenagem.

Verificando:

- Tempo de percurso = 1,5 minutos = 90 segundos;

$$T = 90 \times V \times \frac{1000}{3600} = 25 \times V$$

Portanto:

$$T = 25 \times V \quad (4.1)$$

Onde:

V = Velocidade diretriz em km/h.

T = Trecho em tangente em metros.

A seguir, apresentamos algumas das principais recomendações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), relativas ao alinhamento horizontal de rodovias:

- É indesejável a existência de duas curvas sucessivas no mesmo sentido quando entre elas existir um curto trecho de tangente, pois a maioria dos motoristas não espera a existência de uma outra curva no mesmo sentido. Quando não for possível substituir por uma curva de raio maior, adotar para a extensão T da tangente intermediária um percurso de aproximadamente 15 segundos percorrido à velocidade diretriz V , conforme equação (4.2):

$$T = 15 \times V \times \frac{1000}{3600} \cong 4 \times V$$

$$T = 4 \times V \quad (4.2)$$

- Curvas de transições sucessivas em sentidos opostos deverão ter suas extremidades coincidentes ou separadas por extensões curtas em tangente calculadas conforme equação (3.2).
- O traçado deve ser o mais uniforme e homogêneo possível.
- Evitar curvas fechadas no fim de longas tangentes, pois são pontos potencialmente de acidentes.
- Quando em regiões planas ou onduladas, o raio mínimo de curvatura horizontal entre dois alinhamentos retos, sendo um deles maior que o estipulado pela equação (4.1), calcular o raio mínimo (R_{min}) para uma velocidade diretriz de 140 km/h.

- Para ângulos centrais pequenos as curvas devem ter grandes raios de forma que os seus desenvolvimentos não sejam muito pequenos, a fim de evitar a aparência de dobras.
- Os traçados devem ser tão direcionais e adaptados à topografia quanto possível, devendo os ângulos de deflexão (I) estar situado entre 10° e 35° .
- Para deflexões inferiores a 5° , deve-se efetuar a concordância de tal forma que o desenvolvimento da curva (D) será dada pela equação (4.3).

Portanto:

$$D \geq 30 \times (10^\circ - I^\circ) \quad (4.3)$$

Onde:

D = desenvolvimento da curva, em metros;
 30 = constante (*metros/graus*).

- Deflexões menores que $15'$ dispensam concordância com curva horizontal.
- Deve-se evitar o uso de curvas com raios muito grandes (maiores que 5.000 metros, por exemplo), devido a dificuldades que apresentam para o seu percurso pelos motoristas.

4.4.2. ALINHAMENTO VERTICAL:

Desenhadas geralmente nas escalas (H-V; 1:100; 1:200), é a figura geométrica obtida pela interseção de um plano vertical perpendicular ao eixo da locação de um plano vertical perpendicular ao eixo da locação, com o terreno natural e plataforma da estrada.

Recomendações quanto ao traçado em perfil:

- O projeto do greide deve evitar freqüentes alterações de menor vulto nos valores das rampas. Estas deverão ser tão contínuas quanto possível. Deverão ser evitadas sempre que possíveis curvas verticais no mesmo sentido separadas por pequenas extensões de rampa.

- Nos trechos em corte ou em seção mista, deve-se projetar o greide com declividade igual ou superior a 1,000 %; rampas inferiores requerem cuidados especiais quanto à drenagem; o mínimo permitido é de 0,350 %, limitado a uma extensão de 30,00 m.
- Nos trechos em corte, deve-se evitar concavidades com rampas de sinais contrários, para evitar problemas com a drenagem superficial.
- Em regiões planas, o greide deve ser preferencialmente elevado.
- Em trechos longos em rampa, é conveniente dispor as rampas íngremes na parte inferior e as rampas mais suaves no topo, para tirar proveito do impulso acumulado no segmento plano ou descendente anterior à subida.
- As rampas têm grande influência sobre a capacidade das rodovias, especialmente naquelas de duas faixas e mão dupla. A tabela 4.5 resume os valores máximos recomendados para as rampas das diferentes classes de rodovias.

TABELA DE RAMPAS MÁXIMAS (%)			
CLASSE DE PROJETO	RELEVO		
	PLANO	ONDULADO	MONTANHOSO
Classe 0	3	4	5
Classe I	3	4,5	6
Classe II	3	5	7
Classe III	4	6	8
Classe IV-A	4	6	8
Classe IV-B	6	8	10

Tabela 4.5. - Inclinação Máxima das Rampas (%) - (Fonte: DNER)

- Valor máximo absoluto.
- A extensão de rampas acima de 8% será desejavelmente limitada a 300 metros contínuos

4.5. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS:

Os elementos geométricos que compõem a seção transversal e suas dimensões são escolhidos em função da classe da rodovia, conforma Tabela 4.6.

LARGURA DAS FAIXAS DE TRÁFEGO (m)				
REGIÃO	ESPECIAL	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III
Plana	3,75	3,60	3,50	3,50
Ondulada	3,75	3,60	3,25 – 3,50	3,00 – 3,50
Montanhosa	3,75	3,60	3,25	3,00

Tabela 4.6. – Largura das Faixas de Tráfego – (Fonte: DNER – Portaria nº. 19 art. 30º)

4.6. FAIXAS DE DOMÍNIO:

É a faixa de terra destinada à construção da estrada, é definida em função das características técnicas das estradas, conforme valores definidos na tabela 4.7.

LARGURA DAS FAIXAS DE DOMÍNIO (m)				
REGIÃO	ESPECIAL	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III
Plana	–	60	30	30
Ondulada	–	70	40	40
Montanhosa	–	80	50	50

Tabela 4.7. – Largura das Faixas de Domínio – (Fonte: DNER – Portaria nº. 19 art. 24º)

4.7. TIPOS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS:

4.7.1. ATERRO:

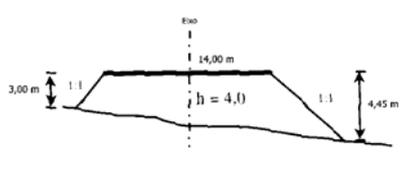


Figura 4.2. – Seção Transversal Típica de Aterro – (Fonte: PONTES Fo, G.)

4.7.2. CORTE:

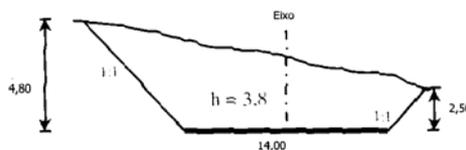


Figura 4.3. – Seção Transversal Típica de Corte – (Fonte: PONTES Fo, G.)

4.7.3. MISTA:

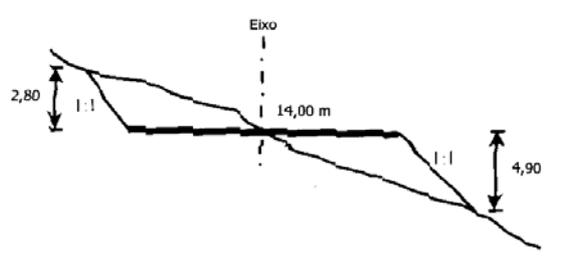


Figura 4.4. – Seção Transversal Mista – (Fonte: PONTES Fo, G)

4.8.– DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE.

A estrada deve oferecer ao motorista que a percorre, em qualquer ponto, condições mínimas de visibilidade para parar o veículo com segurança, em virtude de obstáculos que possam surgir no seu percurso. Cuidados especiais devem ser tomados nos pontos de cruzamentos, acessos à estrada, etc.

Consideram-se na prática 2 valores de distância de visibilidade a saber:

- Distância de visibilidade de parada ou frenagem;
- Distância de visibilidade de ultrapassagem.

4.8.1.– DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA OU FRENAGEM:

É a distância desejável para que um veículo, que percorra a rodovia à velocidade diretriz, consiga parar o veículo com segurança, recorrendo ao freio, e sem atingir um obstáculo surgido na sua frente, mesmo em condições chuvosas.

A distância de visibilidade de parada é a soma de duas parcelas, conforme mostrado na figura 4.5. A primeira parcela D_1 , é 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). A segunda parcela, D_2 , é relativa à distância percorrida pelo veículo durante a frenagem.

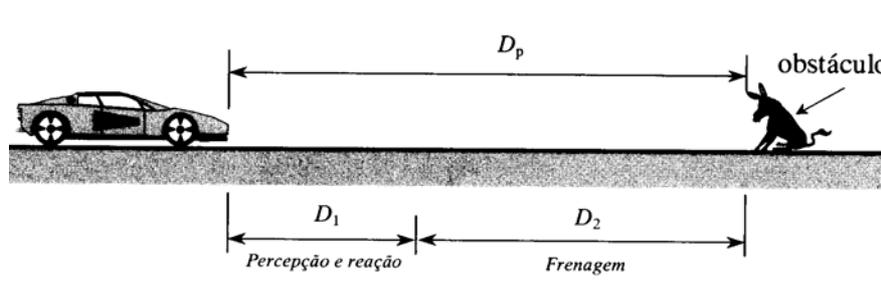


figura 4.5 – Distância de visibilidade de parada (Fonte: PONTES Fo, G)

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

$$D_1 = v \cdot t = 2,5 \cdot v$$

Com v em m/s e D_1 em metros. Como em projeto geométrico de estradas é comum o uso de velocidades em km/h , torna-se necessário compatibilizar as unidades da seguinte maneira:

$$D_1 = 2,5 \cdot v(m/s) = 2,5 \cdot \frac{V(km/h)}{3,6} = 0,7 \cdot V \quad (4.1)$$

onde: V = velocidade de projeto, em km/h .

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

A Segunda parcela corresponde à distância percorrida desde o início da atuação do sistema de frenagem até a imobilização do veículo. Esta distância é chamada de Distância de Frenagem (D_2). Para o cálculo de D_2 , basta aplicar alguns conceitos da física. A energia cinética do veículo no início do processo de frenagem deve ser anulada pelo trabalho da força de atrito ao longo da distância de frenagem. Assim temos:

$$\Delta E_c = \tau_a$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot f_L \cdot D_2$$

$$D_2 = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot f_L} \quad (4.2)$$

Em unidades usuais, e sendo $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, a equação (4.2) fica:

$$D_2 = \frac{(V/3,6)^2}{2 \times 9,8 \times f_L} = \frac{V^2}{255 \cdot f_L} \quad (4.3)$$

Quando o trecho da estrada considerada está em rampa, a distância de frenagem em subida será menor que a determinada pela equação (4.3), e maior no caso de descida. Para levar em conta o efeito das rampas é usada a equação abaixo:

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

Assim, teremos para a distância de visibilidade de parada:

$$D_p = D_1 + D_2$$

$$D_p = 0,7 \cdot V + \frac{V^2}{255 \cdot (f_L + i)} \quad (4.4)$$

onde: D_p = distância de visibilidade de parada, em metros.

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

V = velocidade de projeto ou de operação, em km/h .

f_L = coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento.

Observou-se que o coeficiente f_L 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.

Na tabela (4.8), o coeficiente (f_L) 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.**

$V(km/h)$	30	40	50	60	70	80	90	100	120
f_L	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,25

Tabela 4.8 – Coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento (Fonte: DNER)

Em todos os cálculos envolvendo a distância de visibilidade de parada, 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.

Denomina-se Distância Dupla de Visibilidade (D_d) a distância mínima necessária para que dois veículos, que percorrendo a mesma faixa de tráfego em sentidos opostos e à velocidade de projeto, não se choquem recorrendo aos freios. Ela é utilizada no projeto de curvas verticais convexas de concordância, podendo ser calculada pela expressão (4.5).

$$D_d = 2 \cdot \left[0,7 \cdot V + \frac{V^2}{255 \cdot (f_L + i)} \right] \quad (4.5)$$

A distância dupla de visibilidade fornece os elementos mínimos para o cálculo da concordância vertical dos greides para os traçados rodoviários.

DISTÂNCIA DUPLA DE VISIBILIDADE (m)				
REGIÃO	ESPECIAL	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III
Plana	400	300	200	130
Ondulada	300	200	130	70
Montanhosa	200	130	70	50
Escarpa	200	130	70	50

Tabela 4.9 - Distância Dupla de Visibilidade - (Fonte: DNER - Portaria nº 19 art. 18º)

Nos cálculos das distâncias duplas de visibilidade, a velocidade V é a velocidade diretriz correspondente à classe, exceto para a classe especial onde a velocidade considerada é ligeiramente superior a velocidade diretriz, isto é, $V_1 = \frac{4}{3}V$.

4.8.2.- DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM:

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.

É recomendado que devam existir trechos com visibilidade de ultrapassagem a cada 1,50 a 3,00 quilômetros e tão extenso quanto possível. A figura 4.6 mostra o esquema de ultrapassagem.

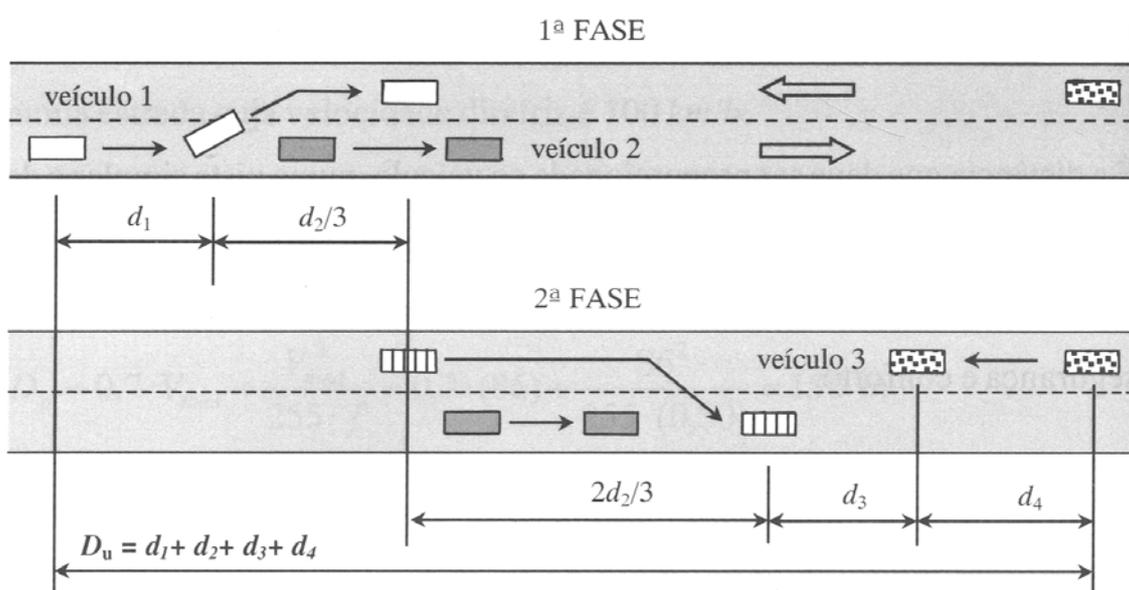


figura 4.6 – Manobra de ultrapassagem – (Fonte: PONTES Fo, G)

Onde:

d_1 = distância percorrida durante o tempo de percepção, reação e aceleração inicial,

d_2 = distância percorrida pelo veículo 1 enquanto ocupa a faixa oposta,

d_3 = distância de segurança entre os veículos 1 e 3, no final da manobra,

d_4 = distância percorrida pelo veículo 3 que trafega no sentido oposto.

4.8.2.1- DISTÂNCIA (d_1):

Esta distância depende dos seguintes fatores: tempo de percepção e reação e tempo para levar o veículo 1 desde sua velocidade forçada à posição de ultrapassagem.

$$d_1 = \left(v - m + \frac{a \times t_1}{2} \right) \times \frac{t_1}{3,6} \quad (4.6)$$

Onde:

v = velocidade média do VEÍCULO 1, em *km/h*.

m = diferença de velocidades entres os VEÍCULOS 1 e 2, em *km/h*.

t_1 = tempo necessário para percorrer a distância d_1 , em *segundos*.

a = aceleração média do VEÍCULO 1, em *km/h/s*.

4.8.2.2- DISTÂNCIA (d_2):

Esta distância é calculada pela equação:

$$d_2 = \frac{1}{3,6} \times v \times t_2 \quad (4.7)$$

Onde:

v = velocidade média do VEÍCULO 1, em *km/h*.

t_2 = tempo em que o VEÍCULO 1 ocupa a faixa oposta, em *segundos*.

4.8.2.3- DISTÂNCIA (d_3):

Distância de segurança, variando de 30 a 90 metros.

4.8.2.4- DISTÂNCIA (d_4):

Distância percorrida pelo veículo 3, que vem em sentido oposto. Seguindo orientações da AASHTO, esta distância é calculada:

$$d_4 = \frac{2}{3} \times d_2 \quad (4.8)$$

4.8.2.5- TABELAS COM AS DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM:

Uma série de observações do comportamento dos motoristas durante as manobras de ultrapassagem, levou a AASHTO a criar quatro grupos de velocidades e adotar valores para cada um dos grupos conforme tabela 4.10:

GRUPO DE VELOCIDADES (km/h) VEL. MÉDIA DE ULTRAPASSAGEM (km/h)	50 – 65	66 – 80	81 – 95	96 – 110
	56,2	70,0	84,5	99,8
manobra inicial				
<i>a</i> = aceleração média (km/h/s)	2,25	2,30	2,37	2,41
<i>t</i> ₁ = tempo (s)	3,6	4,0	4,3	4,5
<i>d</i> ₁ = distância percorrida (m)	45	65	90	110
Ocupação da faixa da esquerda				
<i>t</i> ₂ = tempo (s)	9,3	10,0	10,7	11,3
<i>d</i> ₂ = distância percorrida (m)	145	195	250	315
espaço de segurança				
<i>d</i> ₃ = espaço (m)	30	55	75	90
Veículo que trafega no sentido oposto				
<i>d</i> ₄ = distância percorrida (m)	95	130	165	210
$D_u = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$ (m)	315	445	580	725

Tabela 4.10 – Valores adotados pela AASHTO – (Fonte: PIMENTA)

Já foram propostos muitos outros critérios para o cálculo da distância de ultrapassagem. Na tabela 4.11 apresentamos os valores adotados pela AASHTO e na tabela 4.12 os valores adotados pelo DNER.

VELOCIDADE DE PROJETO (km/h)	VELOCIDADES ADOTADAS		DISTÂNCIA DE ULTRAPASSAGEM (m)
	Veículo Ultrapassado (km/h)	veículo que ultrapassa (km/h)	
30	29	44	217
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	407
70	59	74	482
80	65	80	541
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	728
120	91	106	792

Tabela 4.11 – Distâncias de ultrapassagens tabelados pela AASHTO – (Fonte: PIMENTA)

Os valores recomendados pelo DNER estão resumidos na tabela 3.12, não cabendo para velocidades maiores que 100 km/h. Só aplicáveis a rodovias de pista dupla.

V(km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
D_u (m)	180	370	350	430	490	560	630	680

Tabela 4.12 – Distância de ultrapassagens tabelados pelo DNER – (Fonte: GLAUCO)

4.9. CLASSES DAS RODOVIAS:

As estradas são classificadas em 4 categorias ou classes, levando em conta o seu máximo volume de tráfego diário, esperado ao final de 10 anos (art. 59º., art. 5º – parágrafo 2º.).

CLASSE	VMD
Especial	$VMD > 3.000$
I	$1.000 < VMD \leq 2.000$
II	$500 < VMD \leq 1.000$
III	$VMD \leq 500$

Tabela 3.13 – Classes das Rodovias

4.10. CLASSIFICAÇÕES DAS REGIÕES:

As regiões atravessadas pelas estradas poderão ser classificadas em 1ª. aproximação em:

REGIÃO	DESNÍVEL AO LONGO DA DIRETRIZ
Plana	$i < 10 \text{ m/km}$
Ondulada	$10 \text{ m/km} \leq i < 40 \text{ m/km}$
Montanhosa	$i \cong 40 \text{ m/km (constante)}$
Escarpa	$i > 40 \text{ m/km}$

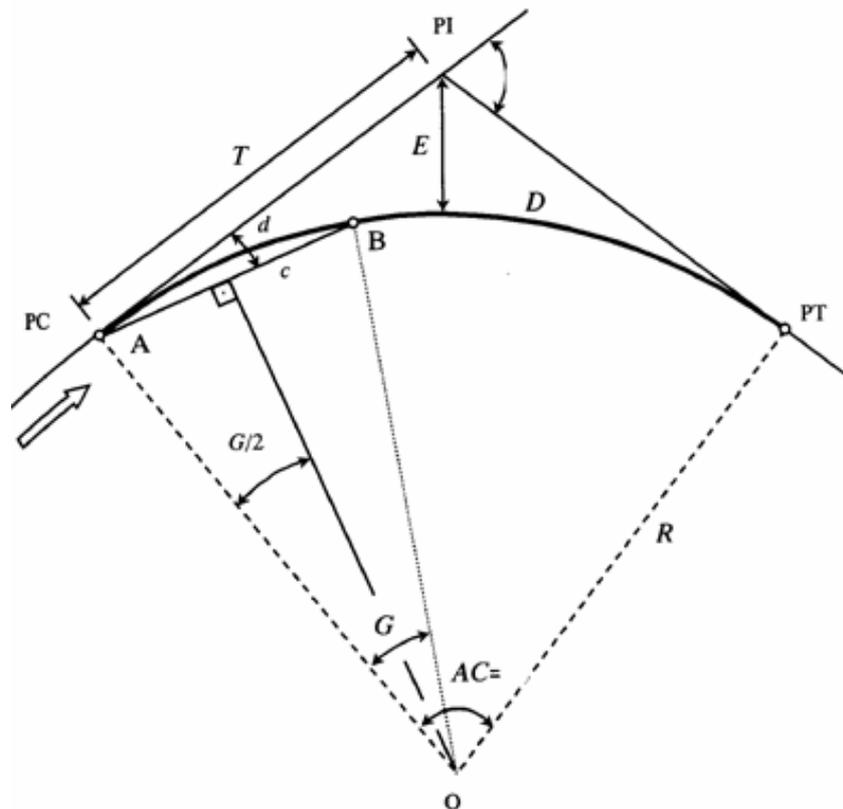
Tabela 4.14 - Classificações das Regiões

CAPÍTULO 5

CURVAS HORIZONTAIS

5. CURVAS HORIZONTAIS

Para concordar dois alinhamentos retos, foi há muito, escolhida a curva circular, devido à simplicidade desta curva para ser projetada e locada. O estudo da curva circular é fundamental para a concordância (figura 5.1).



Onde:

PC	= ponto de começo	T	= tangente externa
PT	= ponto de término	O	= centro da curva
PI	= ponto de interseção das tangentes	E	= afastamento
D	= desenvolvimento da curva	G	= grau da curva
I	= ângulo de deflexão	c	= corda
AC	= ângulo central da curva	d	= deflexão sobre a tangente
R	= raio da curva circular		

Figura 5.1 - Curva Horizontal Circular Simples.

5.1. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS

5.1.1. TANGENTE (T):

Segmento de reta que une os pontos de curva (PC) e de tangente (PT) ao ponto de interseção (P).

$$T = R \cdot \tan\left(\frac{I}{2}\right) \quad (5.1)$$

5.1.2. DESENVOLVIMENTO (D):

É o comprimento do arco de círculo, desde o (PC) até o (PT).

$$D = \frac{\pi \cdot R \cdot I}{180^\circ} \quad (5.2)$$

5.1.3. GRAU DA CURVA (G):

É o ângulo central que corresponde a uma corda de comprimento (c). O grau é independente do ângulo central.

$$G = \frac{180^\circ \cdot c}{\pi \cdot R} \quad (5.3)$$

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

Utilizando uma corda $c = 20$ metros, a equação (5.3) fica:

$$G_{20} = \frac{1145,92}{R} \quad (5.4)$$

Para facilitar a locação de uma curva horizontal, adotar para o grau da curva G , valores múltiplos de 40'.

Na tabela 5.1 apresentamos uma seqüência para determinação de valores múltiplos de 40' :

1 - Adota-se R' (provisório) $> R_{min}$.
2 - Calcula-se $G'_{20} = \frac{1145,92}{R'} 20$;
3 - Adota-se G , múltiplo de 40", próximo a G' , com $G < G'$;
4 - Calcula-se $R = \frac{1145,92}{G_{20}}$ que será o valor adotado para a curva horizontal

Tabela 5.1 (Tabela prática para determinação do raio R)

5.1.4. DEFLEXÃO POR METRO (d_m):

É o ângulo formado entre a tangente T e uma corda de comprimento $c = 1,00$ metro que parta do PC .

Aplicando alguns conceitos de geometria, pode-se verificar facilmente que os valores da deflexão sobre a tangente são dados por:

$$d_{20} = \frac{G_{20}}{2} \quad (5.5)$$

Para o cálculo da deflexão por metro, basta dividir a deflexão sobre a tangente pelo valor da corda $c = 20$ metros:

$$d_m = \frac{d_{20}}{20} = \frac{G_{20}}{40} \quad (5.6)$$

Recomenda-se adotar valores inteiros para a deflexão por metro, para facilitar as leituras dos ângulos de deflexão para a locação da curva.

5.1.5. ESTACAS DOS PONTOS NOTÁVEIS :

1. - Estaca do PC $E(PC) = E(PI) - (T)$ (5.7)

2. - Estaca do PT $E(PT) = E(PC) + (D)$ (5.8)

5.1.6.LOCAÇÃO DE CURVAS CIRCULARES POR 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 é obtida pelo produto da deflexão por metro (d_1) pela distância do PC à primeira estaca inteira.

Para demonstrar o processo de locação de curvas circulares por deflexões sucessivas, nada melhor que resolver o exercício a seguir:

5.1.7.EXERCÍCIO RESOLVIDO:

Em uma curva circular, conhece-se os seguintes elementos: Azimute da tangente inicial = $85^{\circ}00'00''$; $E(PI) = 148 + 5,60$ m; $AC=I=22^{\circ}.36'$ e $R=600,00$ m. Calcular a tangente (T), o desenvolvimento (D), o grau da curva (G) e as estacas $E(PC)$ e $E(PT)$, sendo uma estaca igual a 20 metros. Preparar também a Tabela de Locação.

Resolução:

1 - Adota-se R' (provisório) = 600,00 m. No exemplo não foi verificado se R' satisfaz a condição de ser $> R_{min}$. Na prática devemos efetuar tal verificação.

2 - Cálculo de G' e adotar G , múltiplo de $40''$, menor que G' .

$$G'_{20} = \frac{114592}{R'} = \frac{114592}{600} = 1^{\circ}54'36'' \xrightarrow{\text{Adotando-se múltiplo de } 40'', \text{ sempre menor}} 1^{\circ}54'00''$$

5 - Tabela de locação da curva pelo método das deflexões.

(1)	(2)	(3)	(4)
ESTACAS	DEFLEXÕES SUCESSIVAS	LEITURA	AZIMUTE NA TANGENTE
PT = 154 + 2,98	0° 08' 29"	96° 18' 00" + Δ1	107° 36' 00"
154	0° 57' 00"	96° 09' 31"	
153	0° 57' 00"	95° 12' 31"	
152	0° 57' 00"	94° 15' 31"	
151	0° 57' 00"	93° 18' 31"	
150	0° 57' 00"	92° 21' 31"	
149	0° 57' 00"	91° 24' 31"	
148	0° 57' 00"	90° 27' 31"	
147	0° 57' 00"	89° 30' 31"	
146	0° 57' 00"	88° 33' 31"	
145	0° 57' 00"	87° 36' 31"	
144	0° 57' 00"	86° 39' 31"	
143	0° 42' 31"	85° 42' 31"	
PC = 142 + 5,08	-	-	85° 00' 00"
SOMATÓRIA	11° 18' 00"		

IMPORTANTE: Verificar que a somatória das DEFLEXÕES SUCESSIVAS deve ser igual à metade do ângulo de deflexão (Δ).

$$d_{20} = \frac{G_{20}}{2} = \frac{1^{\circ}54'00''}{2} = 0^{\circ}57'00''$$

$$d_{14,92} = 14,92 \times \frac{d_{20}}{20} = 0^{\circ}42'31'' \text{ (Distância entre Est[142 + 5,08m] e Est [143]).}$$

$$d_{2,98} = 2,98 \times \frac{d_{20}}{20} = 0^{\circ}08'29'' \text{ (Distância entre Est[154] e Est [154 + 2,98m]).}$$

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Azimute na tangente PC} &= 85^{\circ}00'00'' && (4) \\ &+ d_{14,92} && 00^{\circ}42'31'' && (2) \\ \text{LEITURA EST 143} &= 85^{\circ}42'31'' && (3) \\ &+ d_{20,002} && 00^{\circ}57'00'' && (2) \\ \text{LEITURA EST 144} &= 85^{\circ}42'31'' && (3) \end{aligned}$$

...

LEITURA EST 154	96° 09´ 31”	(3)
+ $d_{2,98}$	00° 08´ 29”	(2)
LEITURA EST 154+2,98	96° 09´ 31”	(3)
+ ΔI	11° 18´ 00”	(2)
Azimute na tangente PT =	107° 36´ 00”	(4)

NOTA: Quando a curva for à direita (deflexões positivas) deve-se adotar o sinal (+) para a coluna (2). Para curvas à esquerda (deflexões negativas) deve-se adotar o sinal (-) para a coluna (2)

5.2. RAIOS MÍNIMOS PARA CURVAS HORIZONTAIS:

A escolha do raio a ser adotado para uma determinada curva de um traçado depende da análise de diversos fatores específicos da curva e da harmonia do conjunto de elementos que constituirão a planta da estrada.

Problemas locais (p.ex.: Serra) obrigam às vezes, adoção de raios de curvas pequenos, sendo estes limitados por dois fatores determinantes (R_{min}).

Os raios mínimos de curvatura horizontal são os menores raios das curvas que podem ser percorridas em condições limite com a velocidade diretriz e a taxa máxima de superelevação admissível, em condições aceitáveis de segurança e de conforto de viagem.

Dois fatores principais limitam os mínimos valores dos raios a serem adotados.

- 1.- Estabilidade dos veículos que percorrem a curva com grande velocidade;
2. - Mínimas condições de visibilidade.

5.2.1 CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE:

Todo veículo em movimento curvilíneo é forçado para fora da curva pela força centrífuga (F_c). Esta força é compensada pela componente do peso do veículo (P) devido à superelevação da curva e pelo atrito lateral (F_a) entre os pneus e a superfície do pavimento (Figura 5.3).

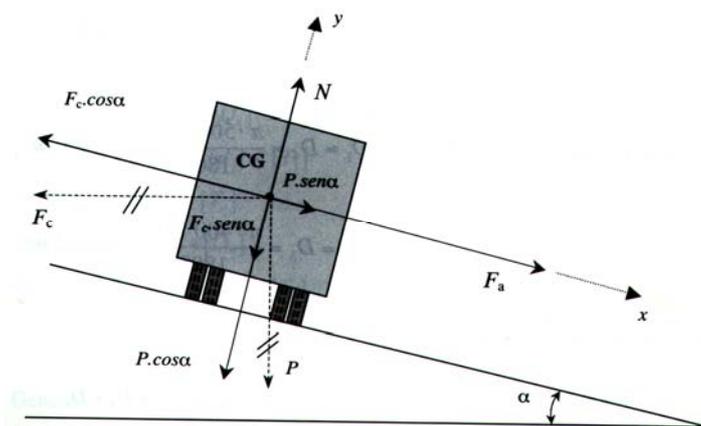


Figura 5.3. - Forças atuantes num veículo em curva. (Fonte: PONTES Fo, G)

Da figura 5.3. observa-se que a equação de equilíbrio de forças, no plano paralelo ao da pista de rolamento, pode ser representada por:

$$F_c \cdot \cos \alpha = P \cdot \sin \alpha + F_a \quad (5.9)$$

Quando a força centrífuga vence a dos atritos dos pneus com o pavimento, o veículo perde a estabilidade. Para colaborar com o atrito dos pneus, aumentando a força de resistência eleva-se a parte externa da pista (superelevação da pista), ou seja, inclinação transversal da pista em relação ao plano horizontal.

Pode-se observar que, para uma dada velocidade de percurso e para um mesmo raio de curvatura, quanto maior for a superelevação menor será a participação da força de atrito no equilíbrio das forças laterais, diminuindo portanto a intensidade da resultante das forças laterais que atuam sobre os passageiros e sobre as cargas.

A força centrífuga que atua sobre o veículo, nas condições representadas na figura 5.1 pode ser calculada por:

$$F_c = \frac{m.v^2}{R} = \frac{P.v^2}{g.R} \quad (5.10)$$

Onde:

F_c → Força centrífuga (N);

P → Peso do veículo (N);

m → Massa do Veículo (kg);

v → Velocidade tangencial do veículo (m/s);

g → Aceleração da gravidade = 9,8 m/s²;

R → Raio da curva circular (m).

A força de atrito (F_a) pode ser calculada, considerando a metodologia convencional da física (mecânica) clássica por:

$$F_a = f.(P_N + F_{cN}) \quad (5.11)$$

Onde:

F_a → Força de atrito (N);

$(P_N + F_{cN})$ → Força de contato entre pneu e o pavimento, perpendicular à superfície de contato (N);

f → Coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento (adimensional);

Na expressão (5.11) o valor de F_{cN} resultará muito pequeno perante P_N para as inclinações transversais α normalmente empregadas. Para fins práticos, despreza-se a força F_{cN} , simplificando a expressão (5.11) por:

$$F_a = f.P_N = f.P.\cos \alpha \quad (5.12)$$

Substituindo as expressões (5.10), (5.12) já vistas na equação de equilíbrio das forças que atuam lateralmente (5.9) sobre o veículo, na seção transversal, tem-se, no plano paralelo ao da pista:

$$\frac{P.v^2}{g.R}.\cos \alpha = P.\sen \alpha + f.P.\cos \alpha \quad (5.13)$$

Dividindo todas as parcelas por $P.\cos\alpha$, adotando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e convertendo as unidades para expressar a variável velocidade (V) em km/h e raio (R) em metros, chega-se a:

$$\frac{v^2}{g.R} = \tan\alpha + f \quad (5.14)$$

Mas, a superelevação é calculada pela expressão:

$$e = \tan\alpha \quad (5.15)$$

Em (5.14), entrando com a velocidade em km/h e obtendo o raio em metros, temos:

$$R = \frac{\left(\frac{V}{3,6}\right)^2}{9,8.(e + f)}$$

$$R = \frac{V^2}{127.(e + f)} \quad (5.16)$$

Onde:

$e \rightarrow$ superelevação (m/m);

$V \rightarrow$ Velocidade tangencial do veículo (km/h);

$R \rightarrow$ Raio da curva circular (m);

$f \rightarrow$ Coeficiente de atrito transversal, entre pneu e pavimento (m/m);

Adotando-se simultaneamente os valores máximos admissíveis para a superelevação e para o coeficiente de atrito transversal, pode-se calcular o valor do raio mínimo admissível, para uma dada velocidade. A expressão para cálculo de R_{\min} é a seguinte:

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127.(e_{\max} + f_{\max})} \quad (5.17)$$

5.2.1.1 VALORES LIMITES DA SUPERELEVAÇÃO:

Os valores máximos adotados para a superelevação são determinados, no Brasil, em função dos seguintes fatores:

- Condições climáticas, isto é, freqüência de chuvas;
- Condições topográficas do local;
- Localização: área rural ou urbana;
- Velocidade média do tráfego.

A superelevação é limitada a $e_{min} = 2\%$. O DNER resume na Tabela 5.1 os valores de $e_{máx}$.

e_{max}	CASOS DE EMPREGO
12%	Máximo absoluto em circunstância 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 do projeto.
6%	Valor inferior normal. Adotar para projetos em áreas urbanizadas ou em geral sujeitando o tráfego a reduções de velocidade de parada.
4%	Mínimo. Adotar em situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente.

Tabela 5.1. – Taxas máximas de superelevação admissível. (Fonte: DNER)

5.2.1.2 VALORES MÁXIMOS DO COEFICIENTE DE ATRITO:

A força de atrito aparece como consequência do atrito transversal entre o pneu do veículo e o pavimento. Vimos na introdução, que essa força, que é o produto da força normal pelo coeficiente de atrito (expressão 5.3), aumenta à medida que é solicitada, até um valor máximo, quando o veículo começa a deslizar.

As normas do DNER fixam, como valores de coeficientes de atrito transversal máximos admissíveis para fins de projeto, os transcritos na Tabela 5.2 para diferentes velocidades diretrizes.

$V(km/h)$	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$f_{máx}$	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Tabela 5.2. - Valores Máximos Admissíveis do Coeficiente de atrito transversal. (Fonte: DNER)

A AASHTO recomenda as equações (5.18) e (5.19), com V em km/h , para os seguintes intervalos de velocidades e resumo na Tabela 5.3.

- Para $30 \leq V < 80 km/h$.

$$f_{máx} = 0,19 - \frac{V}{1600} \quad (5.18)$$

- Para $80 \leq V \leq 120 km/h$.

$$f_{máx} = 0,24 - \frac{V}{800} \quad (5.19)$$

$V(km/h)$	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$f_{máx}$	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,09

Tabela 5.3. - Valores Máximos Admissíveis do Coeficiente de atrito. (Fonte: AASHTO)

Analisando-se as Tabelas 5.2 e 5.3 pode-se concluir que para as velocidades variando de 50 km/h até 80 km/h apresentam valores iguais. Para velocidades inferiores a 50 km/h e superiores a 80 km/h a tabela 5.2 (DNER) apresentam valores do coeficiente de atrito superiores aos da tabela 5.3 (AASHTO).

Também o coeficiente de atrito é limitado inferiormente, para uso em projetos, pelo valor zero apesar da possibilidade de ocorrer “atrito negativo” que é aquela que segura o veículo que tem tendência de deslizar em direção ao centro da curva.

5.2.1.3 PARALELOGRAMO DOS VALORES ACEITÁVEIS PARA A SUPERELEVAÇÃO:

Do rearranjo das equações (5.4) e (5.16) podemos tirar as seguintes conclusões:

$$e + f = \frac{V^2}{g.R} = \frac{V^2 \cdot G_{20}}{g \cdot 1145,92} \Rightarrow e = K.G - f \quad (5.20)$$

Onde $K = \frac{V^2}{1145,92 \cdot g}$ é constante.

Para um dado valor de f , a superelevação é proporcional a G (grau da curva), ou seja, se fixarmos f , a relação entre e e G é linear. Isto nos permite traçar o gráfico de e em função de G para um coeficiente de atrito nulo. É uma reta passando pela origem, cujo coeficiente angular é $\frac{V^2}{1145,92 \cdot g}$. (figura 5.4). Da mesma forma, se quisermos o atrito máximo,

teremos uma reta paralela à primeira, cortando o eixo das ordenadas em $-f_{máx}$.

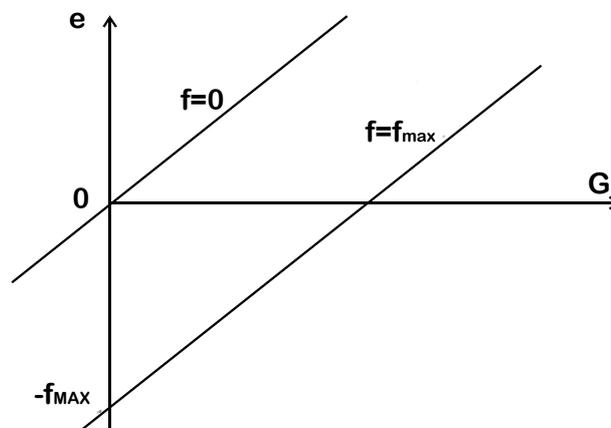


Figura 5.4. - Relação entre e e G . (Fonte: PIMENTA)

Qualquer reta paralela às duas nos dá a relação entre e e G para um determinado f que pode ser interpolado entre zero e $f_{máx}$.

Impostas as limitações ao coeficiente de atrito e à superelevação, o gráfico de e em função de G fica reduzido a um paralelogramo (figura 5.5), sendo que, para todos os pares de valores cuja representação

gráfica fica fora do paralelogramo, não se pode garantir a segurança do veículo.

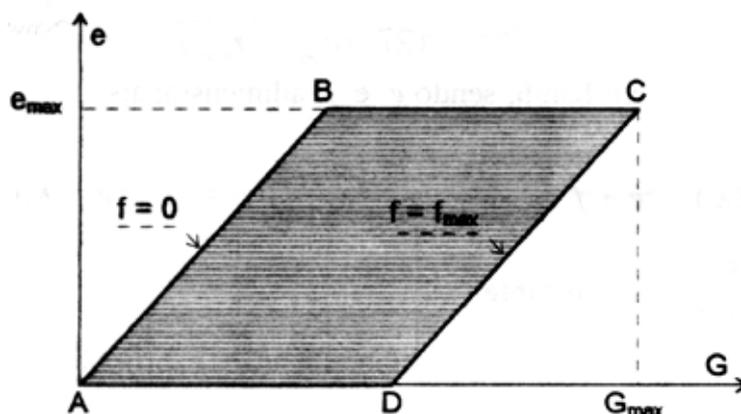


Figura 5.5. - Paralelogramo dos Valores Aceitáveis (Fonte: PIMENTA)

5.2.1.4 CRITÉRIO PARA ESCOLHA DA SUPERELEVAÇÃO NO TRECHO CIRCULAR:

Uma vez estabelecida a velocidade de projeto e a superelevação máxima para o trecho (Tabela 5.1), fica determinado o raio mínimo e, conseqüentemente o grau máximo.

Para uma curva qualquer, desde que o raio seja maior que o mínimo, portanto $G < G_{m\acute{a}x}$, existe uma infinidade de valores aceitáveis para a superelevação, desde que corresponda a um ponto interno ao paralelogramo. É necessário estabelecer um critério para a escolha do valor mais conveniente.

Vamos analisar os quatro critérios mais usados para determinação da superelevação das curvas circulares.

● CRITÉRIO 1:

Oferece o máximo conforto possível aos veículos que trafegam na velocidade de projeto. Quanto menor o atrito, maior o conforto dos passageiros e a estabilidade do veículo por ser menor a tendência ao deslizamento. O maior conforto possível ocorre quando o ponto cai sobre a reta AB do paralelogramo da figura 5.3 ($f=0$). Utilizar este critério seria escolher a superelevação de maneira que o ponto caia sempre sobre as retas AB e BC.

● CRITÉRIO 2:

Consiste em escolher a superelevação de forma a dar o conforto máximo para o veículo que percorra a estrada na velocidade média de operação V_m , isto é, escolher a superelevação de forma que o ponto caia sobre a reta AE ou ED na figura 5.4.

A reta obtida nas condições $V=V_m$ e $f=0$ tem equação:

$$e = \frac{V_m^2 \cdot G}{g \cdot 1145,92} \quad (5.21)$$

● CRITÉRIO 3:

Escolher a superelevação da maneira que o ponto caia sempre sobre a diagonal maior do paralelogramo (figura 5.4).

Neste critério, a superelevação e o coeficiente de atrito variam sempre na mesma proporção. Oferece mais conforto que os critérios 1 e 2, para veículos que têm velocidade abaixo da média.

Este critério tem sido adotado em projetos de estradas onde é significativo o tráfego de veículos pesados ou são esperados altos volumes de tráfego com frequência.

O critério foi adotado pelo DERSA do Estado de São Paulo no projeto das rodovias Imigrantes e dos Bandeirantes.

● CRITÉRIO 4:

O critério conhecido como método da AASHTO consiste em traçar a reta AE da figura 5.6 (mesma reta do critério 2) e concordá-la com a reta EC, no ponto C (G_{max}), através de uma parábola. A linha assim obtida (linha 4 da figura 5.4) nos dará a superelevação em função do grau.

Este método dá maior conforto para os veículos que trafegam próximo da velocidade média de percurso V_m nas curvas horizontais de raios grandes ou de raios pequenos. Para curvas de raios médios, dá valores intermediários entre os critérios 2 e 3.

O método da AASHTO é o critério mais utilizado em projetos de estradas.

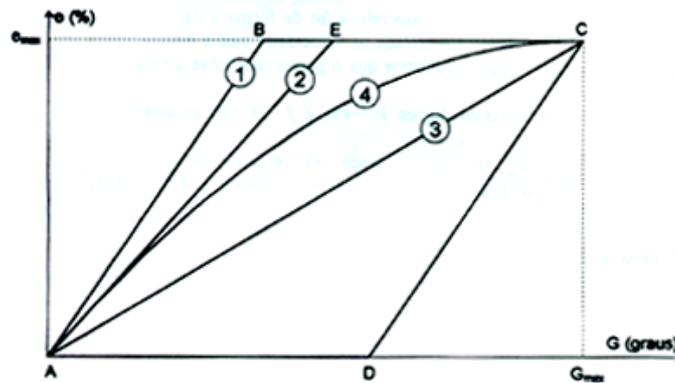


Figura 5.6. - Critérios para escolha da Superelevação (Fonte: PIMENTA)

5.2.1.5 EXERCÍCIO RESOLVIDO:

1 - Dados $V=60 \text{ km/h}$ e $e_{m\acute{a}x} = 10\%$, traçar o paralelogramo dos valores aceitáveis de $e=f(G)$. Traçar a reta correspondente ao atrito nulo, considerando-se a velocidade de operação, e esboçar a curva da AASHTO.

RESOLUÇÃO:

Substituindo a equação (5.4) em (5.16) e desenvolvendo temos a equação (5.22):

$$e = \frac{V^2 \cdot G}{145.531,80} - f \quad (5.22)$$

Onde:

$V \rightarrow$ Velocidade tangencial do veículo (km/h);

● Sabemos que, pelo **CRITÉRIO 1**, o coeficiente de atrito pneu x pavimento ($f = 0$), temos a condição máxima de conforto para os veículos que trafegam à velocidade de Projeto (V). Portanto:

Para $V = 60 \text{ km/h}$ e $f = 0$, temos:

$$e = 0,025 G_{20}$$

Se quisermos o atrito máximo, teremos uma reta paralela à primeira.

Para $V = 60 \text{ km/h}$ e $f = f_{\max} = 0,15$ (Tabela 5.3), temos:

$$e = 0,025 G_{20} - 0,15$$

- Sabemos que, pelo **CRITÉRIO 2**, a superelevação consiste em dar conforto máximo para os veículos que trafegam à velocidade média (V_m) e o coeficiente de atrito pneu x pavimento ($f = 0$). Portanto:

Para $V = 60 \text{ km/h} \xrightarrow{\text{Tabela 2.2-Trafego-médio}} V_m = 50 \text{ km/h}$ e $f = 0$, temos:

$$e = 0,017 G_{20}$$

- Sabemos que, pelo **CRITÉRIO 3**, devemos escolher a superelevação de maneira que o ponto caia sempre sobre a diagonal maior do paralelogramo.

Critério adotado pelo DERSA do Estado de São Paulo no projeto das rodovias Imigrantes e dos Bandeirantes.

Para $e = 10\% = 0,10 \xrightarrow{(5.23)} 0,10 = 0,025.G_{\max} - 0,15 \xrightarrow{\text{desenvolvendo}} G_{\max} = 10^o$

Portanto temos:

$$e = 0,010 G_{20}$$

- Sabemos que, o **CRITÉRIO 4**, método da AASHTO, é o critério mais utilizado em projetos de estradas para escolha da superelevação no trecho circular.

Sabe-se que:
$$\frac{d^2 y}{dx} = r = cte$$

Integrando:
$$\int \frac{d^2 y}{dx} = \frac{dy}{dx} = rx + c$$

$$x = 0 \rightarrow \frac{dy}{dx} = \text{tg}1 \therefore c = \text{tg}1$$

Mas, tg1 é obtida fazendo-se $V_p = V_m$. Da Tabela 2.2, para $V = 60 \text{ km/h}$, para volume de tráfego médio, tem-se $V_m = 50 \text{ km/h}$.

Portanto:
$$K = \frac{V^2}{145.542} = \text{tg}1 = 0,017$$

Então:
$$\frac{dy}{dx} = rx + 0,017$$

$$x = L \rightarrow \frac{dy}{dx} = \text{tg}2 = 0 \therefore 0 = rL + 0,017 \therefore r = \frac{-0,017}{L}$$

Portanto:
$$\frac{dy}{dx} = \left(\frac{-0,017}{L} \right) x + 0,017, \text{ Integrando novamente}$$

$$\int \frac{dy}{dx} = y = \left(\frac{-0,017}{L} \right) \cdot \frac{x^2}{2} + 0,017x + c_1$$

Para $x = 0 \rightarrow y = 0 \rightarrow c_1 = 0$.

$$\therefore y = \frac{-0,017}{2.L} x^2 + 0,017x$$

$$y = e - 0,03$$

Do gráfico, tem-se:

$$x = G - 1,76$$

$$L = 10 - 1,76 = 8,24$$

Substituindo em (E) tem-se:

$$e = -0,00103.(G - 1,76)^2 + 0,017(G - 1,76) + 0,03$$

Portanto:

G_{20}	1,76	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E (\%)$	3,0	3,4	4,9	6,3	7,4	8,4	9,1	9,6	9,9	10,0

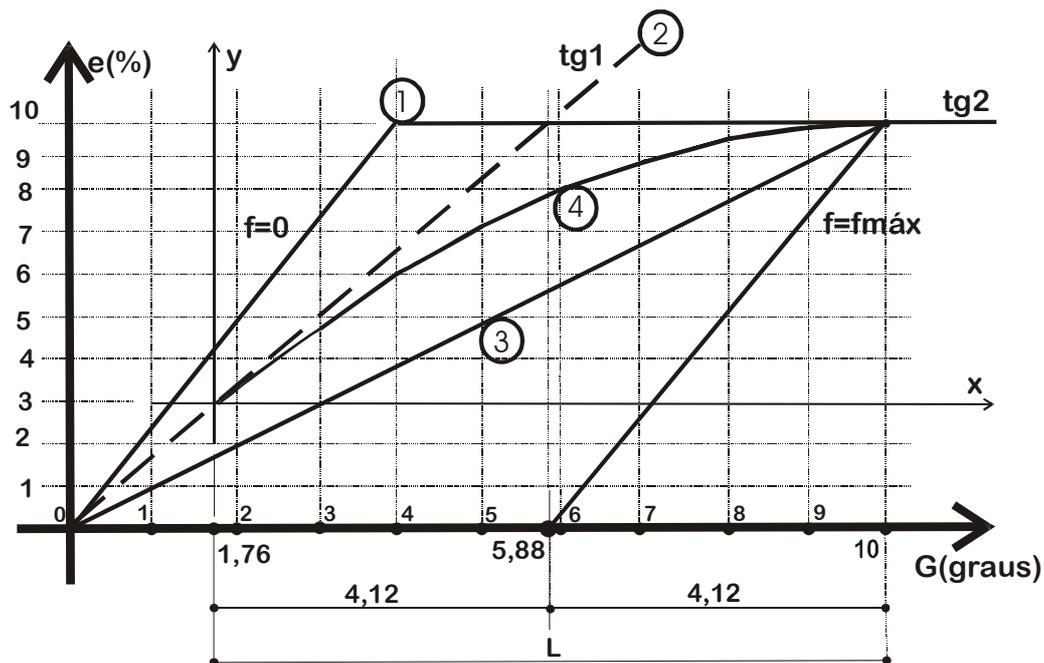


Figura 5.7. - Figura para valores possíveis da superelevação, para $V=60 \text{ km/h}$ e $e_{\text{máx}}=10\%$

5.2.2 CONDIÇÕES MÍNIMAS DE VISIBILIDADE NAS CURVAS HORIZONTAIS

Todas as curvas horizontais de um traçado devem necessariamente atender às condições mínimas de visibilidade, isto é, assegurar uma distância de visibilidade não inferior à distância de visibilidade de parada.

Definido o raio mínimo quanto à estabilidade para o projeto de uma estrada, devemos ainda verificar para cada curva horizontal se o valor do raio adotado para essa curva satisfaz às condições mínimas de visibilidade.

Assim, todas as curvas horizontais de um traçado devem necessariamente assegurar a visibilidade a uma distância não inferior à distância de frenagem ou de parada (D_p) conforme definido na equação (5.23).

Distância de frenagem (D_p) é a mínima distância necessária para que um veículo que percorra a estrada na velocidade de projeto possa parar, com segurança, antes de atingir um obstáculo na sua trajetória.

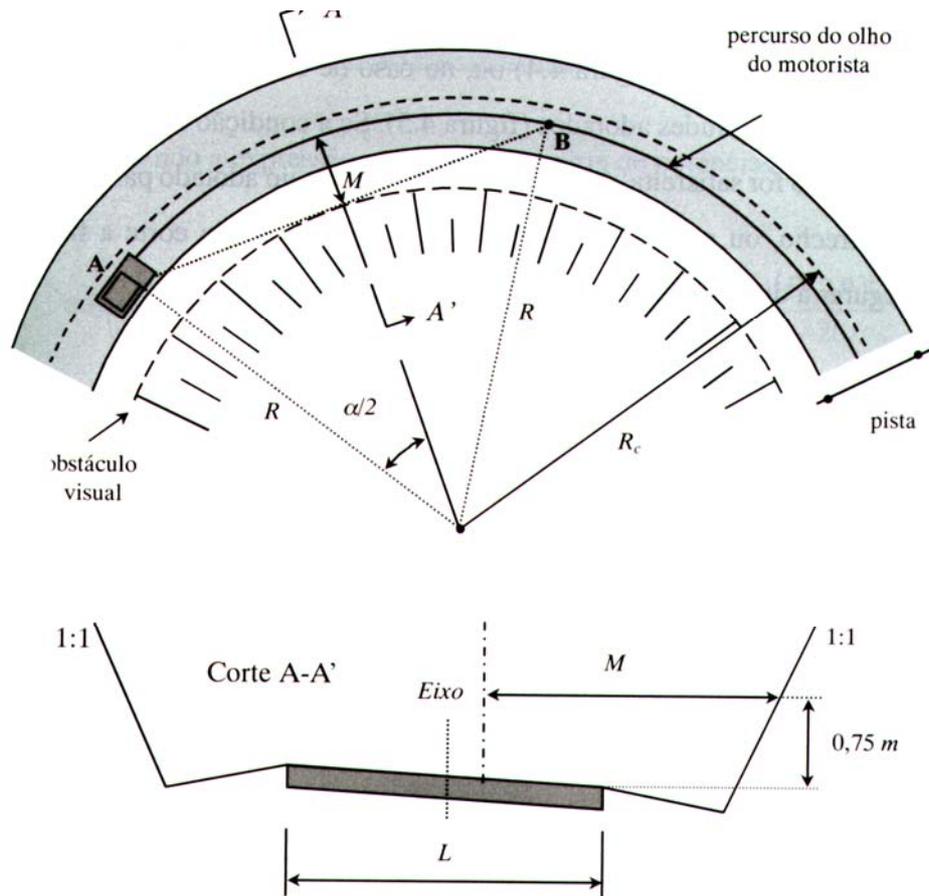


Figura 5.8. - Curva Horizontal em corte. (Fonte: PONTES Fo, G)

$$D_p = 0,7.V + \frac{V^2}{255.(f_L \pm i)} \quad (5.23)$$

onde:

D_p = distância de frenagem (m).

V = Velocidade diretriz (km/h).

f_L = coeficiente de atrito longitudinal pneu x pavimento.

i = inclinação longitudinal do trecho (rampa).

O sinal positivo (+) para as rampas em subida e negativo (-) para as rampas em descida. Assim, em cada curva, a visibilidade deverá ser verificada em função dos obstáculos à visibilidade existente, ou no caso

de curva dentro de cortes, em função da posição e inclinação dos taludes adotados.

Analisando para a situação mais desfavorável, ou seja, uma curva horizontal em corte.

Condição mínima de visibilidade:

$$\widehat{AB} \geq D_p$$

Da figura 5.6, temos:

$$\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{R-M}{R} \therefore M = R \left[1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad (5.24)$$

Na condição limite, o comprimento do arco AB é igual à distância de visibilidade (D_p). Da geometria, temos:

$$\alpha(\text{radianos}) = \frac{\widehat{AB}}{R} = \frac{D_p}{R}$$

Substituindo o valor de α (em radianos) na equação (5.24), obtém-se:

$$M = R \left[1 - \cos\left(\frac{D_p}{2R}\right) \right]$$

Desenvolvendo a expressão $\cos\left(\frac{D_p}{2R}\right)$ em série de potência, temos:

$$\cos\left(\frac{D_p}{2R}\right) = 1 - \frac{\left(\frac{D_p}{2R}\right)^2}{2!} + \frac{\left(\frac{D_p}{2R}\right)^4}{4!} - \frac{\left(\frac{D_p}{2R}\right)^6}{6!} + \dots \cong 1 - \frac{\left(\frac{D_p}{2R}\right)^2}{2!}$$

Logo, a equação (5.25) pode ser escrita da seguinte maneira:

$$M = R \left[1 - \cos\left(\frac{D_p}{2R}\right) \right] = R \left[1 - 1 + \frac{\left(D_p^2\right)}{8.R^2} \right]$$

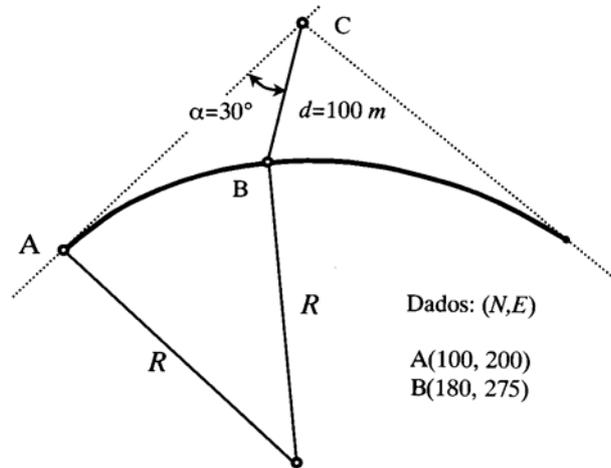
$$M = \frac{D_p^2}{8.R}$$

Definindo-se o valor de M , calcula-se o valor do Raio R que será igualado ao R_{min} .

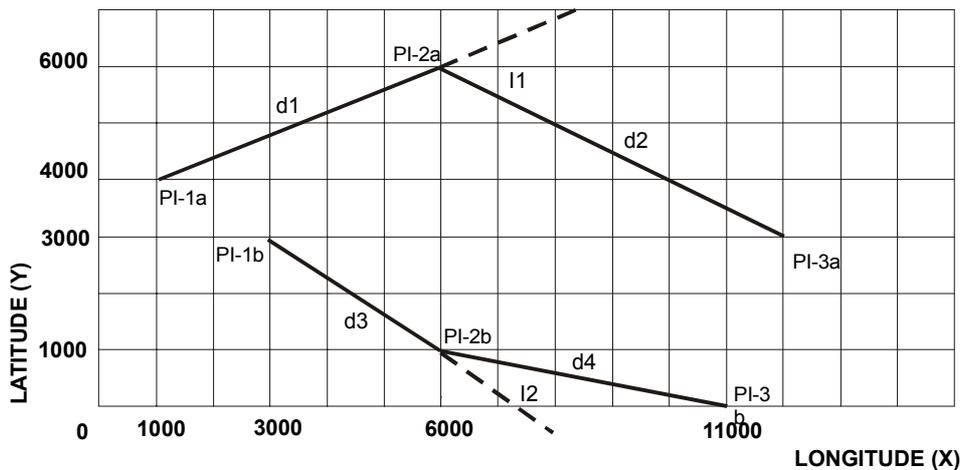
$$R_{min} = \frac{D_p^2}{8.M} \quad (5.25)$$

5.3. EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

1 - (Glauco) Calcular o raio R da curva circular da figura abaixo:



2 - (Glauco) Calcular os comprimentos e os azimutes dos alinhamentos da figura abaixo. Calcular também os ângulos de deflexão:



3 - (Concurso DNER) O azimute é o ângulo, no plano horizontal, de uma direção qualquer com o meridiano. O rumo de $76^{\circ} 30'$ SE de uma visada a vante corresponde ao azimute de:

- a) $103^{\circ} 30'$ b) $166^{\circ} 30'$ c) $256^{\circ} 30'$ d) $283^{\circ} 30'$

4 - (Concurso DNER) Nos projetos de estradas de rodagem, os perfis longitudinais são desenhados em papel quadriculado ou milimetrado,

em escalas horizontais (distâncias) e verticais (cotas), que normalmente guardam uma proporção de:

- a) 10:1 b) 2:3 c) 1:10 d) 3:2

5 - (Concurso DNER) Na planta de um projeto, a indicação de escala 1:500 (horizontal) significa que 1 cm no desenho equivale, no terreno, a uma distância de:

- a) 50 m b) 5 m c) 0,50 m d) 0,05 m

6 - (Concurso DNER) Numa rodovia de 3.000 metros de comprimento, a numeração final da última estaca é:

- a) 30 b) 60 c) 150 d) 300

7 - (Glauco) Dados $I = 30^\circ 12'$ e $G_{20} = 2^\circ 48'$, calcular T e D .

8 - (Glauco) Usando os dados do problema anterior, e assumindo que $E(PI) = 42 + 16,60$ m, calcular as estacas do PC e do PT.

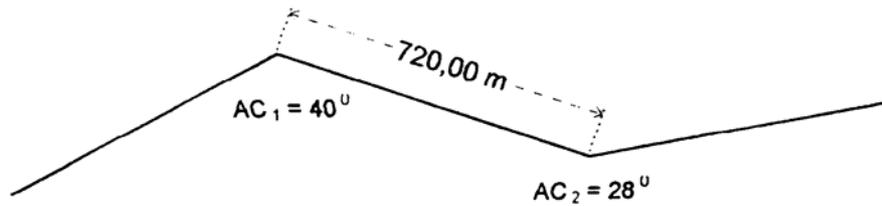
9 - (Glauco) Dados $I = 22^\circ 36'$ e $G_{20} = 4^\circ$, $E(PC) = 40 + 15,00$ m. Construir a tabela de locação da curva.

10 - (Glauco) Dados $I = 47^\circ 12'$, $E(PI) = 58 + 12,00$ m. Calcular R , T e D para $G_{20} = 6^\circ$. Calcular também $E(PC)$ e $E(PT)$.

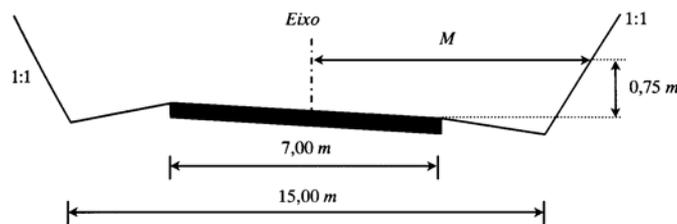
11 - (Pimenta) Em um traçado com curvas horizontais circulares, conforme esquema abaixo, desejando-se fazer $R_1 = R_2$:

Qual o maior raio possível?

Qual o maior raio que se consegue usar, deixando um trecho reto de 80 metros entre a curvas?

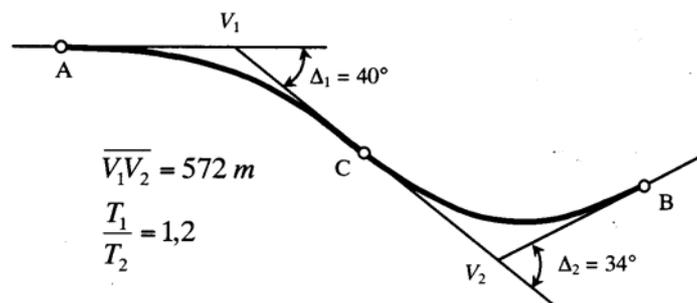


12 - Uma estrada foi projetada com velocidade de projeto $V_p = 90$ km/h ($emáx = 12\%$). Uma curva circular de raio $R_c = 450$ metros está em um corte com declividade longitudinal de $i = 1\%$ e seção transversal dada na figura. Verificar o valor do raio da curva quanto à estabilidade (ou seja, verificar se $R \geq R_{min}$). Verificar também se a condição mínima de visibilidade de parada é satisfeita. Considerar: linha do percurso do olho do motorista = eixo da pista.

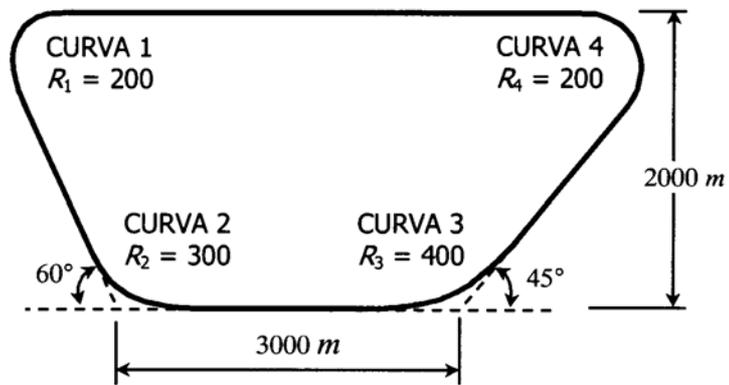


13 - (Exame Nacional de Cursos - 1997) No projeto básico de um trecho da BR-101, a primeira tangente fez uma deflexão à direita de 90° , com o objetivo de preservar uma área de mata Atlântica. Originou-se o PI-1, localizado na estaca $81 + 19,00$ m. Para a concordância horizontal necessária a essa deflexão, usou-se uma curva circular de raio igual a 600,00 metros. Quais as estacas dos pontos notáveis da curva (PC e PT)?

14 - (Glauco) Dadas as curvas reservas da figura, calcular o comprimento do trecho entre os pontos A e B e os raios das curvas.



15 - (Glauco) Calcular o comprimento do circuito.



CAPÍTULO 6

PERFIL LONGITUDINAL

6. PERFIL LONGITUDINAL

O projeto de uma estrada é representado em folha única (planta e perfil), estando estas etapas intimamente ligadas, ou seja, não se deve primeiramente definir ou aquela etapa, mas ao se definir o traçado em planta, há também a mentalização do perfil, procurando sempre obter-se um projeto com boas características técnicas tanto em planta como em perfil.

O perfil de uma estrada deve ser escolhido de forma tal que permita, aos veículos que a percorrem, uma razoável uniformidade de operação, estando intimamente ligado ao custo da estrada, especialmente ao custo da terraplanagem.

Não podemos deixar de levar em considerações as condições geológicas e geotécnicas das áreas atravessadas pela estrada que vão ter 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, geralmente caros em relação ao custo normal da terraplanagem, como:

- Escavações em rocha;
- Obras especiais de drenagem;
- Obras de estabilização de taludes de cortes altos;
- Serviços complementares necessários à redução de recalques ou garantias da estabilidade de aterros pesados executados sobre solos moles.

Analogamente ao projeto em planta é sempre desejável que o perfil seja razoavelmente homogêneo, isto é, que as rampas não tenham grandes variações de inclinação e que as curvas de concordância vertical não tenham raios muito diferentes; entretanto a existência de variações acentuadas na topográfica da região atravessada obriga, muitas vezes, a execução de trechos de perfil com características técnicas bem diferentes.

6.1 – DESENHO DO PERFIL:

Ao contrário da planta, o perfil é representado sobre o desenvolvimento de uma superfície cilíndrica gerada por uma reta vertical, superfície essa que contém o eixo da estrada em planta (figura 6.1)

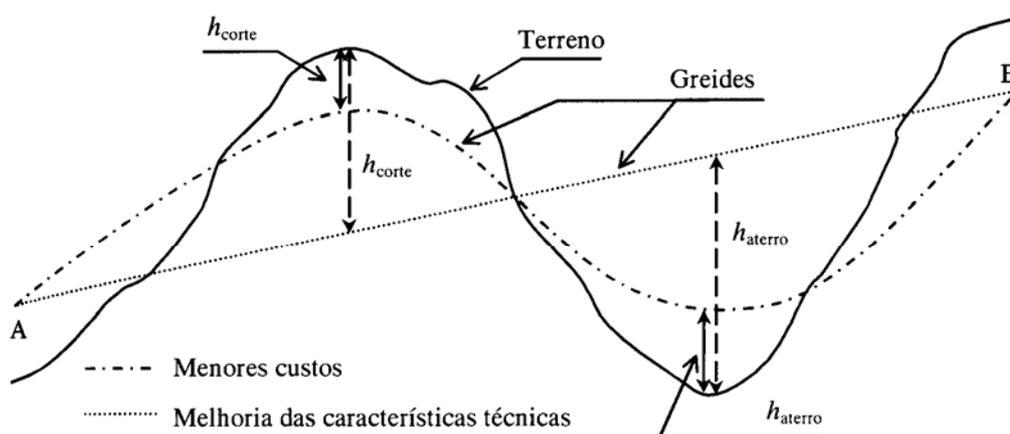


Figura 6.1 – Perfil Longitudinal (Fonte: PEIXOTO)

O perfil do projeto (greide) é composto de rampas ascendentes (+) e descendentes (-), figura 6.2, considerando sempre o sentido do estaqueamento; as rampas se interceptam em pontos denominados PIV, e são concordadas por curvas de concordância vertical.

As medidas no perfil longitudinal são tomadas sempre na horizontal, para obtenção da extensão.

Os pontos notáveis das curvas de concordância vertical são:

- PCV = Ponto de Começo da curva Vertical.

- PTV = Ponto de Término ou de final da curva Vertical.

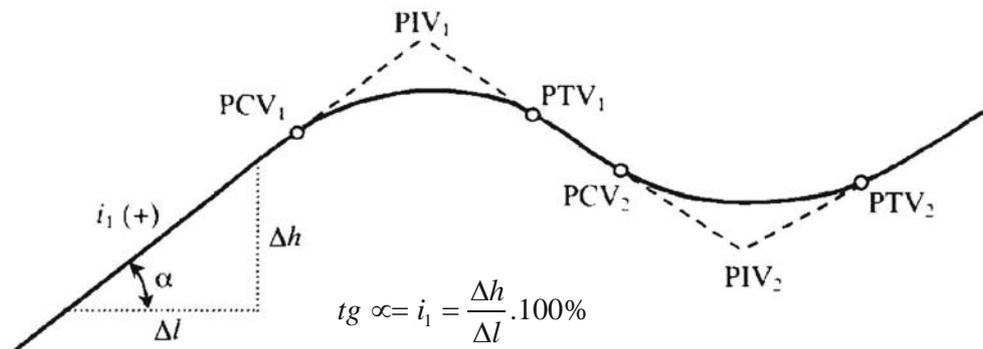


Figura 6.2. - Perfil de uma estrada. (Fonte: PONTES Fo, G)

As curvas clássicas de concordância empregadas em todo o mundo são as seguintes:

- **Parábola do 2º grau;**
- **Curva circular;**
- **Elipse;**
- **Parábola Cúbica.**

O DNER recomenda o uso da parábola do 2º grau no cálculo de curvas verticais, de preferência simétricas (figura 6.3 a).

Entre as vantagens da parábola do 2º grau, podemos citar:

- **A equação da curva é simples;**
- **A transformada da parábola devido às 2 escalas no perfil é também uma parábola;**
- **A taxa de variação da declividade da parábola é constante;**
- **O PCV e o PTV podem ser locados em estacas inteiras ou + 10,00, como convém no projeto e no perfil definitivo;**
- **É desnecessário o uso de tabelas ou gabaritos para desenhar a curva no projeto.**

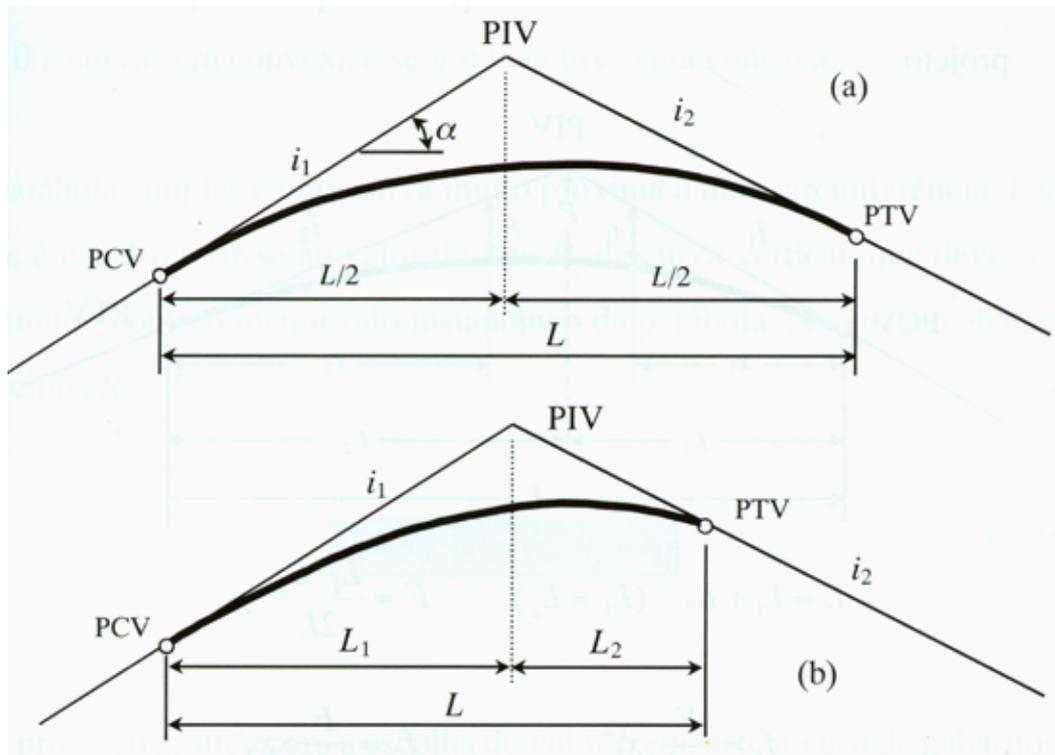


Figura 6.3. - Parábolas de 2º. Grau: (a) simples; (b) composta.

Nos estudos de curvas verticais é muito utilizada a expressão $i_1 - i_2$, que é a variação total da declividade do greide:

$$g = i_1 - i_2 \quad (6.1)$$

A expressão $i_1 - i_2$ é algébrica. Na utilização da expressão 6.1, os sinais das rampas i_1 e i_2 devem ser mantidos.

Pelo sinal de g podemos dizer se a curva é côncava ou convexa. Quando $g > 0$ a curva será convexa e se $g < 0$ a curva será côncava.

A parábola simples é uma curva muito próxima a uma circunferência. Por isso, é usual referir-se ao valor do raio R_v da curva vertical, que deve ser entendido como o menor raio instantâneo da parábola. A equação 6.2 relaciona R_v e L .

$$L = R_v \cdot |g| = R_v \cdot |i_1 - i_2| \quad (6.2)$$

6.2 – RAMPAS:

6.2.1 – GENERALIDADES SOBRE O COMPORTAMENTO DOS VEÍCULOS NAS RAMPAS:

Como os veículos (passeios, médios, pesados, ...) têm comportamentos diferentes nas rampas, procura-se limitar estas a valores inferiores a um valor máximo, dependendo da Classe da rodovia.

Para os veículos de passageiros, (passeio), rampas até 7 ou 8% têm pouca influência no comportamento, sendo que a operação de veículos de passageiros em rampas de até 3% é praticamente a mesma que nos trechos em nível, havendo apenas uma pequena perda de velocidade para alguns veículos.

Para Caminhões (médios e pesados), a perda de velocidade em rampas é bem maior do que a dos veículos de passageiros, sendo que, para as rampas ascendentes, a velocidade desenvolvida por um caminhão depende de vários fatores:

- Inclinação do greide;
- 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 a medida que decresce a relação $\frac{POTÊNCIA}{PESO}$, assim, veículos com a mesma relação $\frac{POTÊNCIA}{PESO}$ tem aproximadamente o mesmo comportamento nas rampas.

6.2.2 – CONTROLE DE RAMPAS PARA PROJETO:

6.2.2.1 – INCLINAÇÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS DAS RAMPAS:

Baseando-nos no comportamento dos veículos nas rampas, podemos tirar elementos para a determinação das inclinações máximas admissíveis recomendadas pela Norma de Estradas de Rodagem do DNER, conforme a Tabela 6.1.

TABELA DE RAMPAS MÁXIMAS (%)			
CLASSE DE PROJETO	RELEVO		
	PLANO	ONDULADO	MONTANHOSO
Classe 0	3	4	5
Classe I	3	4,5	6
Classe II	3	5	6
Classe III	3 a 4 ⁽¹⁾	5 a 6 ⁽¹⁾	7 a 8 ⁽¹⁾
Classe IV-A	4	6	8
Classe IV-B	6	8	10 ⁽²⁾

Tabela 5.1. - Inclinação Máxima das Rampas (%) - (Fonte: DNER)

(1) Valor máximo absoluto.

(2) A extensão de rampas acima de 8% será desejavelmente limitada a 300 metros contínuos

Para estradas secundárias os valores da tabela poderão ser acrescidos de até 2%.

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 existam condições para a perfeita drenagem da pista.

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.

6.2.2.2. - COMPRIMENTO CRÍTICOS DE RAMPAS:

Trechos de estradas com sucessão de rampas muito curtas devem ser evitadas, pois criam necessidade de muitas curvas verticais e conseqüentemente problemas de visibilidade para ultrapassagem, reduzindo a capacidade de tráfego da rodovia, podendo causar congestionamentos e afetar a segurança da estrada.

Por outro lado, rampas muito longas provocam redução da velocidade dos veículos pesados, dificultando o livre movimento dos veículos mais rápidos, reduzindo a capacidade, etc. ...

O comprimento máximo seria, a rigor, limitado pelo comprimento crítico, onde um veículo padrão pode operar sem uma excessiva perda de velocidade.

O valor do comprimento crítico deve ser determinado em função dos seguintes fatores:

- Relação $\frac{POTÊNCIA}{PESO}$ do caminhão tipo, escolhido como representativo do tráfego da estrada;
- Perda de velocidade do caminhão tipo na rampa;
- Velocidade de estrada na rampa, fator que vai depender das condições do trecho que precede a rampa considerada;
- Menor velocidade com a qual o caminhão tipo possa chegar ao fim da rampa sem prejuízos acentuados do fluxo de tráfego da estrada.

O gráfico da figura 6.4, obtido para um caminhão nacional de 20 toneladas e velocidade de entrada na rampa de 80 km/h, permite a determinação do comprimento crítico em função da inclinação da rampa e do valor da perda de velocidade estabelecida.

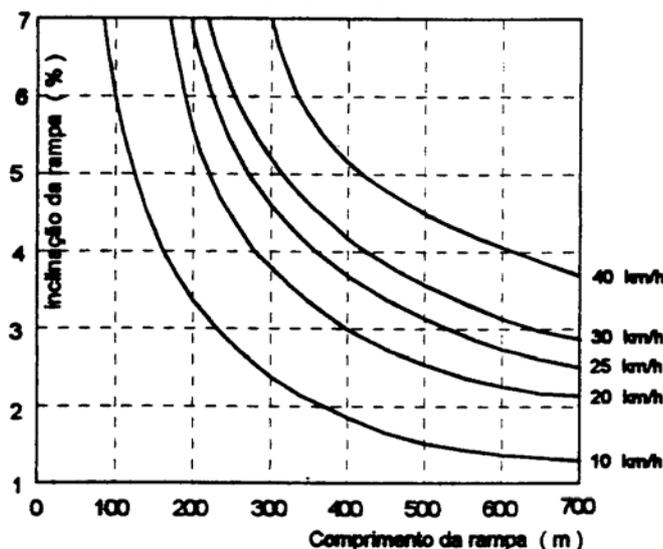


Figura 6.4.- Comprimento Crítico das Rampas - Caminhão Nacional de 164 kg/kW

(Fonte: PIMENTA)

Para a determinação do comprimento crítico com o uso do gráfico da figura 6.3, implicando na aceitação do caminhão tipo utilizado para elaboração do gráfico, procede-se da seguinte maneira:

- Escolhe-se a maior perda de velocidade com a qual o veículo tipo possa chegar ao fim da rampa sem causar prejuízos significativos à corrente de tráfego da estrada (geralmente 25 km/h.);
- Entra-se no gráfico com o valor da inclinação da rampa (i) e obtém-se o comprimento crítico em função da redução de velocidade escolhida.

6.3 – CURVAS DE CONCORDÂNCIA VERTICAL:

A concordância das rampas projetadas, devem atender as condições de segurança, conforto, boa visibilidade e permitir a drenagem adequada da plataforma da estrada.

Segundo a Portaria nº. 19 – art. 17º, as curvas verticais de concordâncias entre declividades longitudinais sucessivas serão parábolas do 2º. grau ou círculos de grandes raios.

A parábola simples de eixo vertical é uma das curvas mais usadas por dar uma boa aparência à curva, boa concordância entre as rampas e ser uma curva onde as cotas de seus diversos pontos podem ser facilmente obtidas através de cálculos rápidos.

6.3.1 – CURVAS VERTICAIS USUAIS:

Considerando o sentido do estaqueamento adotado é sempre (→), da esquerda para a direita.

Para a determinação dos coeficientes **a**, **b** e **c** da equação da parábola (6.3), procedemos da seguinte maneira:

1. - Adotando a origem do sistema de eixos coincidente com o PCV, temos:

$$\left. \begin{array}{l} x = 0 \\ y = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow c = 0$$

2. - A derivada da curva no ponto PCV é igual à inclinação da reta tangente à curva (i_1):

$$\frac{d}{d_x}(a.x^2 + b.x + c) = i_1 \rightarrow \begin{cases} 2ax + b = i_1 \\ x = 0 \end{cases} \Rightarrow b = i_1$$

3. - A derivada na curva no PTV é igual à inclinação da reta tangente à curva (i_2):

$$\frac{d}{d_x}(a.x^2 + b.x + c) = i_2 \rightarrow \begin{cases} 2ax + b = i_2 \\ x = L \end{cases} \Rightarrow 2aL + i_1 = i_2 \Rightarrow a = \frac{(i_2 - i_1)}{2L}$$

4. Substituindo os valores de **a**, **b** e **c**, e fazendo **g** = ($i_1 - i_2$), a equação geral da parábola é a seguinte:

$$y = \frac{-g}{2L}..x^2 + i_1.x \quad (6.4)$$

A equação (6.4) 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. Para o cálculo das cotas de um ponto genérico **P** em relação a um plano de referência, a equação utilizada é a seguinte:

$$Cota(P) = \frac{-g}{2L} \cdot x^2 + i_1 \cdot x + Cota(PCV) \quad (6.5)$$

Ainda com relação à figura 6.5, temos as seguintes relações:

$$f + y = i_1 \cdot x \therefore f - \frac{g}{2L} \cdot x^2 + i_1 \cdot x = i_1 \cdot x$$

$$f = \frac{g}{2L} \cdot x^2 \quad (6.6)$$

Onde:

f = flecha da parábola.

g = diferença algébrica das rampas ($i_1 - i_2$)

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, que é a seguinte:

$$F = \frac{g}{2L} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2$$

$$F = \frac{g \cdot L}{8} \quad (6.7)$$

6.3.2.1 - CÁLCULO DO PONTO DE ORDENADA MÁXIMA OU MÍNIMA

Derivando a equação (6.4), temos:

$$\frac{d_y}{d_x} \left(\frac{-g}{2L} \cdot x^2 + i_1 \cdot x \right) = \frac{-g}{L} \cdot x + i_1$$

No ponto de máximo ou mínimo, temos:

$$x = L_0 \quad \text{e} \quad \frac{d_y}{d_x} = 0$$

Fazendo as devidas substituições:

$$L_0 = \frac{i_1 \cdot L}{g} \quad \text{e} \quad y_0 = \frac{i_1^2 \cdot L}{2g}$$

Onde:

L_0 = abscissa do vértice V em relação ao PCV .

y_0 = ordenada do vértice V em relação ao PCV .

6.3.2.2 – COTAS E ESTACAS DO PCV E PTV

Para o cálculo das estacas e cotas PCV e PTV utilizamos as seguintes relações:

$$E(PCV) = E(PIV) - \left[\frac{L}{2} \right] \quad (6.8)$$

$$E(PTV) = E(PIV) + \left[\frac{L}{2} \right] \quad (6.9)$$

$$Cota(PCV) = Cota(PIV) - i_1 \cdot \left[\frac{L}{2} \right] \quad (6.10)$$

$$Cota(PTV) = Cota(PIV) + i_2 \cdot \left[\frac{L}{2} \right] \quad (6.11)$$

6.3.3 – CÁLCULO DAS COTAS E FLECHAS DA PARÁBOLA DE SEGUNDO GRAU COMPOSTA

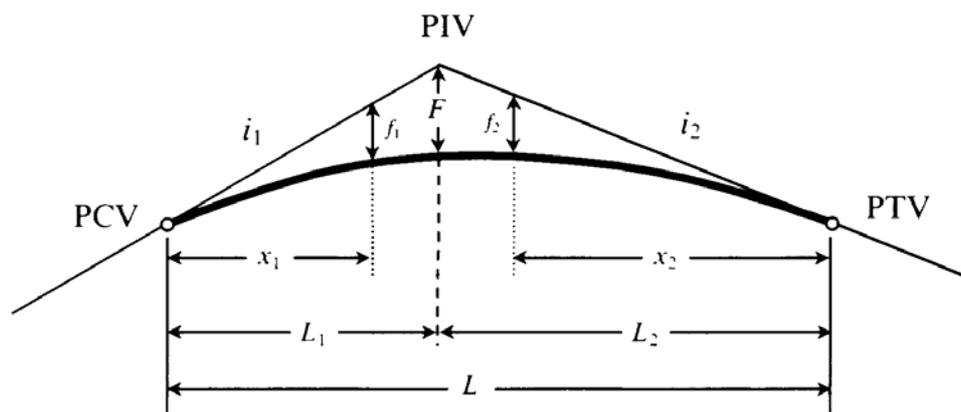


Figura 6.7 - Elementos da parábola do 2º grau composta.

$$L = L_1 + L_2 \quad \text{com} \quad L_1 \neq L_2$$

$$F = \frac{L_1 \times L_2}{2L} \times g \quad f_1 = \frac{F}{L_1^2} \cdot x_1^2 \quad f_2 = \frac{F}{L_2^2} \cdot x_2^2$$

6.4 – COMPRIMENTO MÍNIMO DE CURVAS VERTICAIS CONVEXAS:

O mínimo comprimento das curvas verticais convexas é determinado em função das condições necessárias de visibilidade nas curvas, de forma a dar ao motorista o espaço necessário e uma frenagem segura, quando este avista um obstáculo parado em sua trajetória. O critério recomendado requer que um motorista com seu campo de visão situado a uma altura $H = 1,10$ m acima do plano da pista enxergue um obstáculo situado sobre a pista, com altura $h = 0,15$ m.

Para a determinação do comprimento mínimo de curvas verticais, utiliza-se o Critério da Distância de Visibilidade de Parada ou de Frenagem, definida pela equação (6.9).

$$D_p = 0,7.V + \frac{V^2}{255.(f_L + i)} \quad (6.9)$$

onde:

D_p = distância de visibilidade de parada, em metros.

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

V = velocidade de projeto ou de operação, em km/h .

f_L = coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento.

A consideração da distância de visibilidade de ultrapassagem geralmente leva a valores exagerados para o comprimento das curvas verticais, que são de difícil aplicação na prática.

6.4.1.- CASO I: A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE (S) É MENOR OU IGUAL A COMPRIMENTO DA CURVA (L):

$$S = D_p \leq L.$$

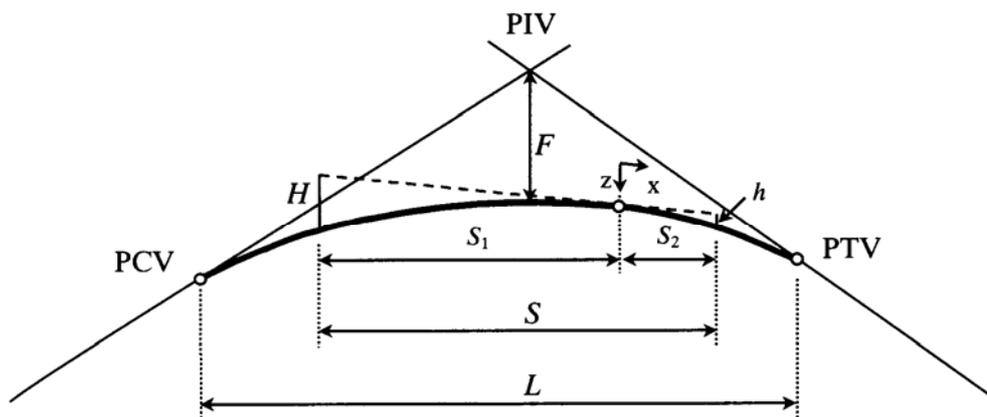


Figura 6.8 - Comprimento mínimo de curvas verticais convexas ($S \leq L$)

Observando a Figura 6.8 e a equação da parábola para o sistema escolhido (origem no ponto PCV), temos:

$$z = k \cdot x^2 \quad \text{mas} \quad k = \frac{F}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} = \frac{g}{2L}$$

Substituindo:

$$z = \frac{F}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} \cdot x^2$$

Ainda com relação à figura 6.8, temos:

$$H = k \cdot S_1^2 \quad \text{e} \quad h = k \cdot S_2^2$$

Fazendo as devidas substituições, temos:

$$\frac{H}{S_1^2} = \frac{F}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad \text{e} \quad \frac{h}{S_2^2} = \frac{F}{\left(\frac{L}{2}\right)^2}$$

Desenvolvendo:

$$S_1 = \frac{L}{2} \cdot \sqrt{\frac{H}{F}} \quad \text{e} \quad S_2 = \frac{L}{2} \cdot \sqrt{\frac{h}{F}}$$

Substituindo estes valores na equação $S = S_1 + S_2$, temos:

$$S = \frac{\sqrt{H} \cdot L/2 + \sqrt{h} \cdot L/2}{\sqrt{F}} = \frac{L}{2} \left(\frac{\sqrt{H} + \sqrt{h}}{\sqrt{F}} \right)$$

Numa curva vertical, fazendo um arranjo na equação (6.5) temos:

$$F = \frac{A \times L}{800}$$

Donde:

$$S = \frac{10 \cdot \sqrt{8} \times L \times (\sqrt{H} + \sqrt{h})}{2 \cdot \sqrt{A \times L}}$$

$$L = \frac{S^2}{200 \cdot (\sqrt{H} + \sqrt{h})^2} \times A$$

Substituindo os valores $H = 1,10 \text{ m}$ e $h = 0,15 \text{ m}$, temos, segundo DNER:

$$L = \frac{S^2}{412} \times A = K \times A$$

Na condição limite, temos $S = D_p$. Logo, o comprimento mínimo da curva vertical é:

$$L_{\min_{DNER}} = \frac{D_p^2}{412} \times A = K_{\min} \times A \quad (6.12)$$

Onde:

L_{\min} = comprimento mínimo da curva vertical, em metros.

D_p = distância de visibilidade de parada, em metros.

A = diferença algébrica das rampas, em %.

K = parâmetro da parábola, em metros.

Já a AASHTO adota para $H = 1,07 \text{ m}$ e $h = 0,15 \text{ m}$, finalizando a equação

$$L_{\min \text{ AASHTO}} = \frac{D_P^2}{404} \times A = K_{\min} \times A \quad (6.13)$$

6.4.2.- CASO II: A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE (S) É MAIOR QUE O COMPRIMENTO DA CURVA (L):

$$S = D_F \rangle L$$

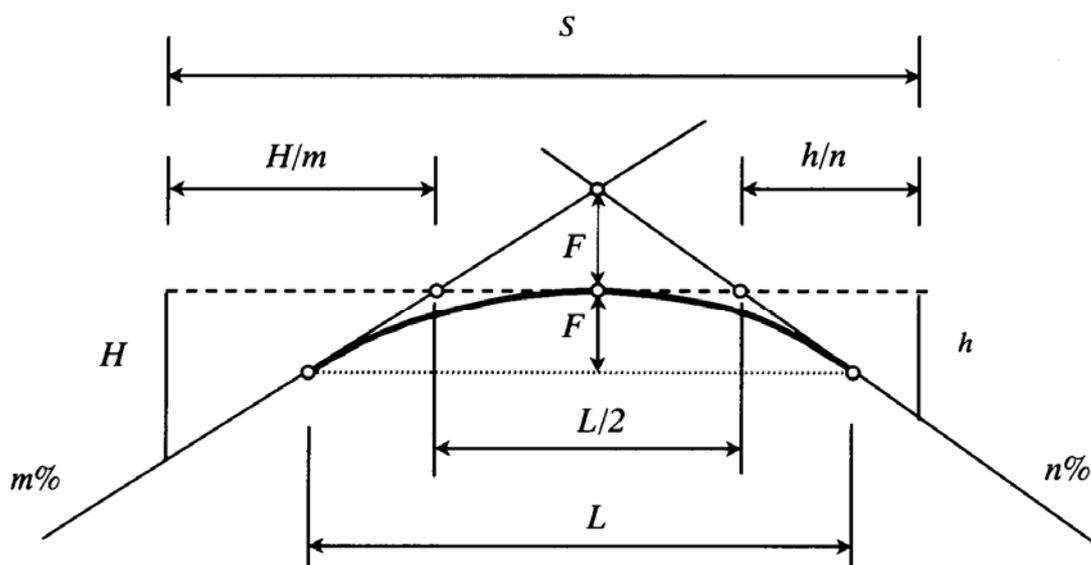


Figura 6.9 - Comprimento mínimo de curvas verticais convexas ($S > L$)

Da Figura 6.9, podemos deduzir:

$$S = \frac{L}{2} + \frac{H}{m} + \frac{h}{n} \quad (6.14)$$

Para S mínimo, a linha de visão deve ser tangente ao vértice da curva. Logo, a taxa de variação de n deve ser igual a oposta à de m , ou seja:

$$\frac{dS}{dm} = 0 = \frac{-H}{m^2} + \frac{h}{n^2}$$

$$\frac{H}{m^2} = \frac{h}{n^2}$$

Donde: $m = n \times \sqrt{\frac{H}{h}}$ e $n = m \times \sqrt{\frac{h}{H}}$

Sabemos que:

$$A/100 = m - (-n) = m + n = n \times \sqrt{\frac{H}{h}} + n = n \left(\sqrt{\frac{H}{h}} + 1 \right) \Rightarrow n = \frac{A/100}{\sqrt{\frac{H}{h}} + 1}$$

Analogamente:

$$A/100 = m - (-n) = m + n = m + m \times \sqrt{\frac{h}{H}} = m \left(\sqrt{\frac{h}{H}} + 1 \right) \Rightarrow m = \frac{A/100}{\sqrt{\frac{h}{H}} + 1}$$

Substituindo os valores de m e n na equação (6.14), temos:

$$S = \frac{L}{2} + \frac{(\sqrt{h} + \sqrt{H})^2}{A/100}$$

$$L = 2S - \frac{2(\sqrt{h} + \sqrt{H})^2}{A/100}$$

Substituindo os valores $H = 1,10$ m e $h = 0,15$ m, temos, segundo DNER:

$$L = 2S - \frac{412}{A}$$

Na condição limite, temos $S = D_p$. Logo, o comprimento mínimo da curva vertical é:

$$L_{\min_{DNER}} = 2D_p - \frac{412}{A} \quad (6.15)$$

Onde:

L_{\min} = comprimento mínimo da curva vertical, em metros.

D_p = distância de visibilidade de parada, em metros.

A = diferença algébrica das rampas, em %.

Já a AASHTO adota para $H = 1,07$ m e $h = 0,15$ m, finalizando a equação

$$L_{\min_{AASHTO}} = 2D_p - \frac{404}{A} \quad (6.16)$$

6.5 – COMPRIMENTO MÍNIMO DE CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS:

Ao contrário das curvas convexas, as curvas côncavas não apresentam problemas de visibilidade e o comprimento mínimo dessas curvas deve ser determinado em função da análise de:

- conforto;
- drenagem da curva;
- visibilidade noturna.

Durante o dia e no caso das pistas iluminadas artificialmente, geralmente não ocorrem problemas de visibilidade. Para pista 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 situada a 0,61 m acima da pista, supondo que o seu fecho luminoso diverge de 1° do eixo longitudinal do veículo.

6.5.1.– CASO I: A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE (S) É MENOR OU IGUAL A COMPRIMENTO DA CURVA (L):

$$S = D_p \leq L.$$

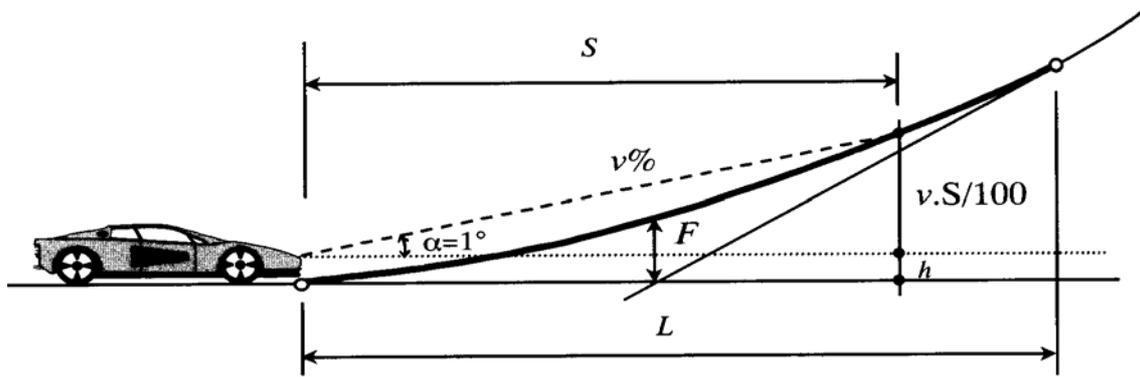


Figura 6.10 – Comprimento mínimo de curvas verticais côncavas ($S \leq L$)

Da Figura 6.10 pode-se deduzir:

$$\frac{F}{(L/2)^2} = \frac{\frac{v.S}{100} + h}{S^2}$$

Sendo $F = \frac{A.L}{800}$, temos:

$$\frac{\frac{A.L}{800}}{(L/2)^2} = \frac{v.S + 100h}{100.S^2}$$

$$L = \frac{A.S^2}{2.(v.S + 100.h)}$$

Empregando os valores recomendados, temos:

$$\begin{cases} h = 0,61m \\ v = 1,75\% \end{cases}$$

$$L = \frac{S^2}{122 + 3,5.S} . A = K . A$$

Na condição limite, temos $S = D_p$. Logo, a equação se reduz a:

$$L_{\min_{DNER}} = \frac{D_p^2}{122 + 3,5.D_p} . A = K_{\min_{DNER}} . A \quad (6.17)$$

Onde:

L_{min} = comprimento mínimo da curva vertical, em metros.

D_p = distância de visibilidade de parada, em metros.

A = diferença algébrica das rampas, em %.

K = parâmetro da parábola, em metros.

Já a AASHTO adota para $v = 1,75\%$ e $h = 0,75$ m, finalizando a equação

$$L_{\min_{AASHTO}} = \frac{D_p^2}{150 + 3,5.D_p} . A = K_{\min_{AASHTO}} . A \quad (6.18)$$

6.5.2.- CASO II: A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE (S) É MAIOR QUE O COMPRIMENTO DA CURVA (L):

$$S = D_p \rangle L.$$

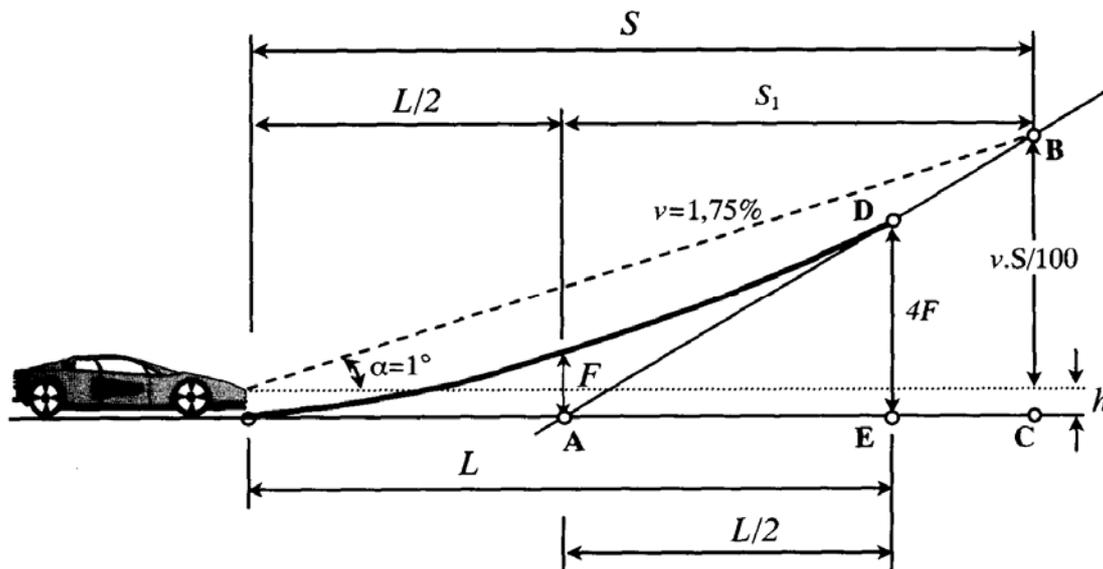


Figura 6.11 - Comprimento mínimo de curvas verticais côncavas ($S > L$)

Da Figura 6.11, podemos observar que:

$$S = \frac{L}{2} + S_1$$

Dos triângulos semelhantes ABC e ADE podemos deduzir:

$$\frac{S_1}{\frac{v.S}{100} + h} = \frac{L/2}{4F}$$

Sendo $F = \frac{A.L}{800}$, podemos escrever:

$$S_1 = \frac{(v.S/100) + h}{A/100}$$

Donde:

$$S = \frac{L}{2} + \frac{v.S + 100.h}{A}$$

Isolando o valor de L e empregando os valores recomendados pelo DNER, sendo $h = 0,61$ m e $v = 1,75\%$, temos:

$$L = 2S - \frac{122 + 3,5.S}{A}$$

Na condição limite, temos $S = D_p$. Logo, a equação se reduz a:

$$L_{\min_{DNER}} = 2D_p - \frac{122 + 3,5.D_p}{A} \quad (6.19)$$

Onde:

L_{\min} = comprimento mínimo da curva vertical, em metros.

D_p = distância de visibilidade de parada, em metros.

A = diferença algébrica das rampas, em %.

Já a AASHTO adota para $v = 1,75\%$ e $h = 0,75$ m, finalizando a equação:

$$L_{\min_{AASHTO}} = 2D_p - \frac{155 + 3,5.D_p}{A} \quad (6.20)$$

6.5.3.– CASO III: VALORES MÍNIMOS PARA O COMPRIMENTO DE CURVA CÔNCAVAS E CONVEXAS:

Os valores de L_{min} definidos pelas equações (6.12), (6.15), Método do DNER, ou pelas equações (6.13), (6.16), Método da AASHTO para curvas convexas. E pelas equações (6.17), (6.18), Método do DNER, ou pelas equações (6.19), (6.20), Método da AASHTO para curvas côncavas.

Para ambos os casos (curvas convexas e curvas côncavas), valores muito pequenos para L não são desejáveis. Pelo critério do mínimo valor absoluto, o comprimento mínimo das curvas verticais deve permitir ao motorista perceber e alteração de declividade longitudinal.

Adotando para essa percepção um período de tempo mínimo de 2 segundos, o comprimento mínimo da curva vertical de acordo com esse critério é dado pela equação (6.21).

$$L_{min} \geq 0,60.V \quad (6.21)$$

Onde:

L_{min} = comprimento mínimo da curva vertical, em metros.

V = velocidade de projeto em km/h.

6.6 – EXERCÍCIOS SOBRE CURVAS DE CONCORDÂNCIA VERTICAL:

Dado o perfil representado na figura 6.12, calcular as cotas do greide (perfil de referência), do PTV_1 ao PTV_2 e preparar a tabela de locação da curva vertical.

NOTA: NÃO SERÁ NECESSÁRIO CALCULAR O COMPRIMENTO MÍNIMO DA CURVA VERTICAL.

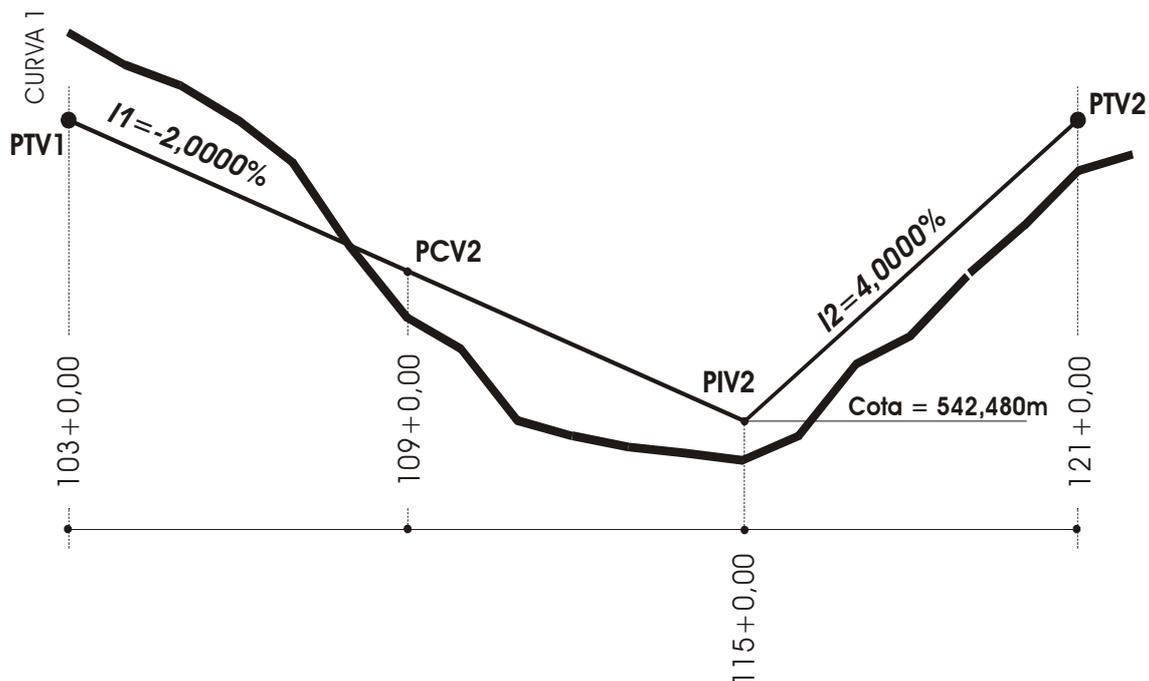


Figura 6.12 – Greide e Perfil.

6.6.1.- CÁLCULOS DAS COTAS DOS PONTOS NOTÁVEIS:

$$Cota_{PTV_1} = 542,48 + 0,02 \times 240,00 = 547,28 \text{ m}$$

$$Cota_{PCV_2} = 542,48 + 0,02 \times 120,00 = 544,88 \text{ m}$$

$$Cota_{PTV_2} = 542,48 + 0,04 \times 120,00 = 547,28 \text{ m}$$

6.6.2.- DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DA PARÁBOLA DO 2º. GRAU DA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA:

Sabemos que: $y = a \cdot x^2 + b \cdot x$

Onde $b = i_1 = -0,02$

$$a = \frac{(i_2 - i_1)}{2 \cdot L_v} = \frac{0,04 - (-0,02)}{2 \times 240} = 0,000125$$

Portando $y = 0,000125 \cdot x^2 - 0,02 \cdot x$

Determinação do Vértice da parábola (ponto de mínimo)

$$L_0 = \frac{i_1 \cdot L}{g} = \frac{-0,02 \times 240,00}{-0,06} = 80,00m$$

e

$$y_0 = \frac{i_1^2 \cdot L}{2g} = \frac{(-0,02)^2 \times 240}{2 \times (-0,02 - 0,04)} = -0,800$$

Substituindo os valores de x na equação geral, temos:

$$x = 0 \rightarrow y = 0,000125 \times 0^2 - 0,02 \times 0 = 0,000$$

$$x = 20 \rightarrow y = 0,000125 \times 20^2 - 0,02 \times 20 = -0,350$$

$$x = 40 \rightarrow y = 0,000125 \times 40^2 - 0,02 \times 40 = -0,600$$

$$x = 60 \rightarrow y = 0,000125 \times 60^2 - 0,02 \times 60 = -0,750$$

$$\text{Estaca do vértice } x = 80 \rightarrow y = 0,000125 \times 80^2 - 0,02 \times 80 = -0,800$$

$$x = 100 \rightarrow y = 0,000125 \times 100^2 - 0,02 \times 100 = -0,750$$

$$x = 120 \rightarrow y = 0,000125 \times 120^2 - 0,02 \times 120 = -0,600$$

$$x = 140 \rightarrow y = 0,000125 \times 140^2 - 0,02 \times 140 = -0,350$$

$$x = 160 \rightarrow y = 0,000125 \times 160^2 - 0,02 \times 160 = 0,000$$

$$x = 180 \rightarrow y = 0,000125 \times 180^2 - 0,02 \times 180 = 0,450$$

$$x = 200 \rightarrow y = 0,000125 \times 200^2 - 0,02 \times 200 = 1,000$$

$$x = 220 \rightarrow y = 0,000125 \times 220^2 - 0,02 \times 220 = 1,650$$

$$x = 240 \rightarrow y = 0,000125 \times 240^2 - 0,02 \times 240 = 2,400$$

6.6.3.- TABELA - NOTA DE SERVIÇO DE TERRAPLANAGEM:

ESTACA	ALINHAMENTOS		COTAS (m)		ORDENADAS DA PARÁBOLA		GREIDE DE PROJETO	COTAS VERMELHAS	
	HOR.	VERTICAL	TERRENO	GREIDE RETO	X	Y		CORTE (+)	ATERRO (-)
103		(PTV1)	547,850	547,280			547,280	0,570	
104		-2,0000%	547,339	546,880			546,880	0,459	
105			546,878	546,480			546,480	0,398	
106			546,326	546,080			546,080	0,246	
107			545,828	545,680			545,680	0,148	
108			545,280	545,280			545,280	0,000	
109		(PCV2)	544,318	544,880	0,000	0,000	544,880		-0,562
110		-2,0000%	543,969	544,530	20,000	-0,350	544,530		-0,541
111			543,330	544,280	40,000	-0,600	544,280		-0,950
112			543,341	544,130	60,000	-0,750	544,130		-0,789
113(V)			543,527	544,080	80,000	-0,800	544,080		-0,553
114			543,441	544,130	100,000	-0,750	544,130		-0,689
115		(PIV2)	543,526	544,280	120,000	-0,600	544,280		-0,754
116		4,0000%	543,320	544,530	140,000	-0,350	544,530		-1,210
117			544,320	544,880	160,000	0,000	544,880		-0,560
118			544,631	545,330	180,000	0,450	545,330		-0,699
119			545,138	545,880	200,000	1,000	545,880		-0,742
120			545,878	546,530	220,000	1,650	546,530		-0,652
121		(PTV2)	546,799	547,280	240,000	2,400	547,280		-0,481

Tabela 6.1 - Tabela - Nota de Serviço de Terraplanagem

Colunas:

1. Estacas;
2. Alinhamentos: Indicar as curvas horizontais e verticais;
3. Cotas do terreno obtidas no perfil longitudinal;
4. Cotas do greide reto, calculadas em função da rampa para cada 20 metros;
5. Abscissa x para a referência (0,0) no PCV;
6. Ordenada y para a referência (0,0) no PCV;
7. Greide de projeto: Incluir as cotas da curva parabólica;
8. Cotas vermelhas de corte: (+) , (8) = (3) - (7) > 0.
9. Cotas vermelhas de aterro: (-) , (8) = (3) - (7) < 0.
- 10.

6.7 – EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1 – Sendo conhecidos os dados constantes do croqui abaixo (Figura 6.13), calcular as cotas dos PIVs e a rampa desconhecida.

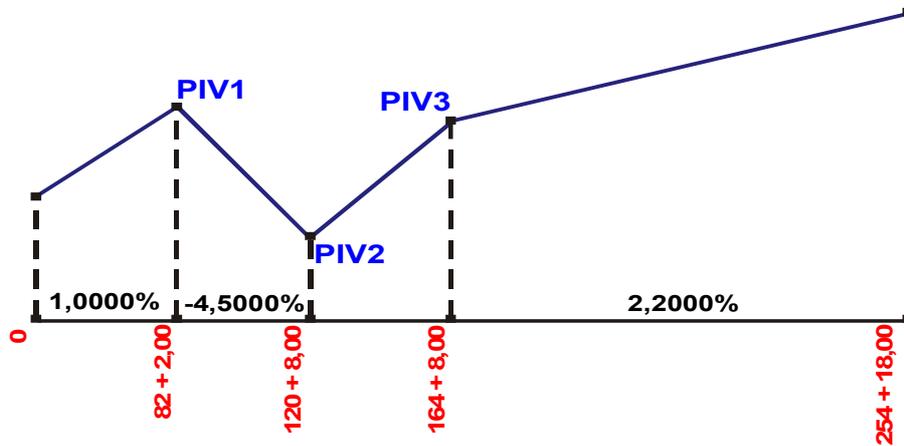


Figura 6.13 – Greide.

2 – Com os dados do exercício anterior e adotando-se os raios (em módulo): $R_1 = 6.000,00$ metros, $R_2 = 4.000,00$ metros e $R_3 = 10.000,00$ metros, calcular as estacas dos PCVs e PTVs.

3 – (Pimenta) Dado o esquema abaixo (Figura 6.14), substituir as duas curvas por uma só, usando o maior raio possível, sem que a nova curva vertical saia do intervalo entre as estacas 58 e 87. Calcular o PIV, o raio, o PCV e o PTV da nova curva.

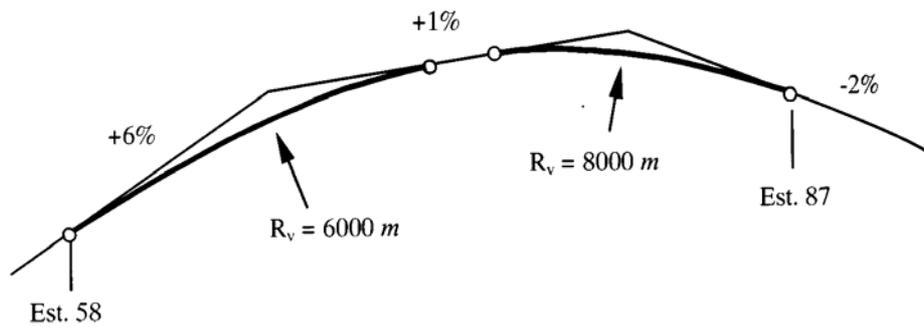


Figura 6.14

4 - (Adaptado prof. Pimenta) Projeta-se uma rodovia com pista dupla e $V_p = 100\text{ km/h}$. As rampas estão definidas conforme esquema da figura 6.15. Deseja-se que, na estaca 144, a altura de corte seja a menor possível, respeitando-se a condição mínima de visibilidade. Sabendo-se que a cota do terreno na estaca 144 é 653,71 m, determinar a altura de corte, o raio da curva vertical, o PCV e o PTV.

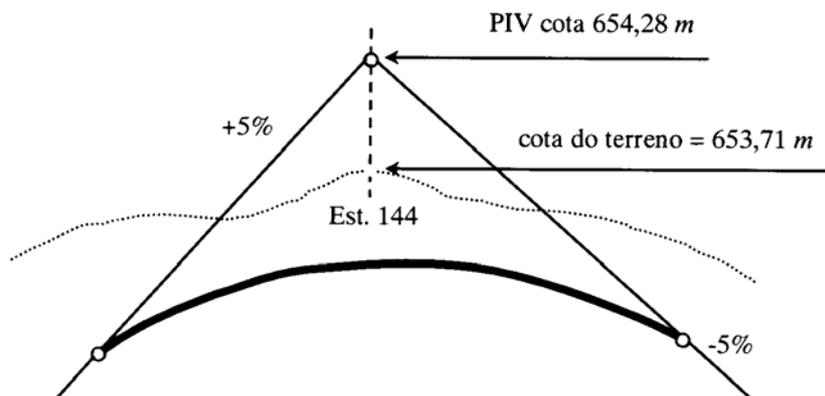


Figura 6.15

CAPÍTULO 7

TERRAPLANAGEM

7. TERRAPLANAGEM:

Após traçados o perfil longitudinal e transversal, já se dispõe de dados necessários para uma verificação da viabilidade da locação do greide de cada traçado através dos cálculos de movimento de terra.

No cálculo de volumes é necessário conhecer-se a largura (L) da plataforma do greide de regularização (pista de terraplanagem) e as inclinações dos taludes. A inclinação dos taludes de corte e aterro varia conforme o tipo de solo encontrado.

O principal objetivo do projetista de estradas é o de efetuar o menor movimento de terra possível, cumprindo, logicamente, as normas de um traçado racional.

O perfil longitudinal (greide) gera, portanto, volumes a escavar (cortes) e volumes a aterrar (aterros). No projeto do greide procura-se um perfil longitudinal que proporcione boas compensações entre cortes e aterros, e também distâncias de transportes tão reduzidas quanto possível.

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 botas-foras, acarreta em menores custos de terraplanagem.

ATERRO

X = ESTACA 20 = 400,00 m
 COTA DO GREIDE (EIXO) = 150,000 m

PONTOS	COORDENADAS		PRODUTOS	
	Y	COTA	POSITIVOS	NEGATIVOS
1	0,000	150,000		4,000 x 150,000 = 600,000
2	4,000	150,000	0,000 x 150,000 = 0,000	7,800 x 150,000 = 1.170,000
3	7,800	146,000	4,000 x 146,000 = 584,000	4,000 x 146,000 = 584,000
4	4,000	146,700	7,800 x 146,700 = 1.144,260	0,000 x 146,700 = 0,000
5	0,000	147,400	4,000 x 147,400 = 589,600	-4,000 x 147,400 = -589,600
6	-4,000	148,100	0,000 x 148,100 = 0,000	-5,400 x 148,100 = -799,740
7	-5,400	148,700	-4,000 x 148,700 = -594,800	-4,000 x 148,700 = -594,800
8	-4,000	150,000	-5,400 x 150,000 = -810,000	0,000 x 150,000 = 0,000
1	0,000	150,000	-4,000 x 150,000 = -600,000	
SOMATÓRIO			313,0600	369,8600

ÁREA DA SEÇÃO = 28,4000 m²

• Seção mista (corte e aterro)

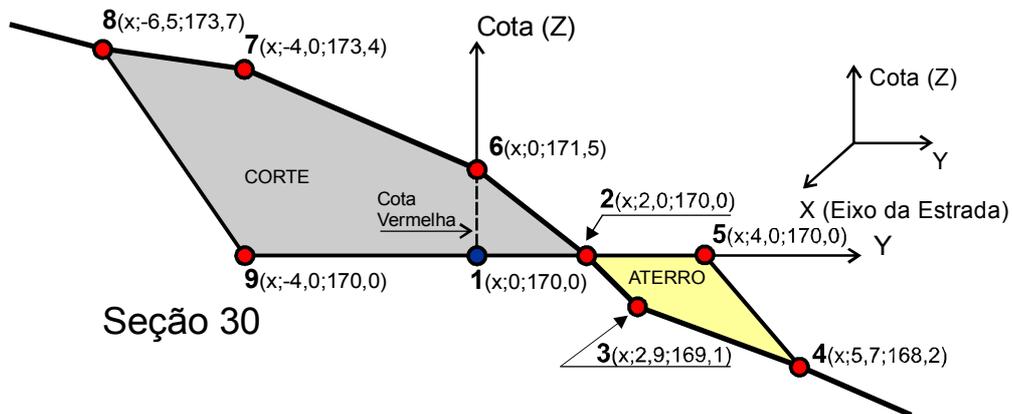


Figura 7.2 – Método analítico para cálculo de áreas – Seção Mista

CORTE

X = ESTACA 30 = 600,00 m
 COTA DO GREIDE (EIXO) = 170,000 m

PONTOS	COORDENADAS TOTAIS		PRODUTOS	
	Y	COTA	POSITIVOS	NEGATIVOS
1	0,000	170,000		2,000 x 170,000 = 340,000
2	2,000	170,000	0,000 x 170,000 = 0,000	0,000 x 170,000 = 0,000
6	0,000	171,500	2,000 x 171,500 = 343,000	-4,000 x 171,500 = -686,000
7	-4,000	173,400	0,000 x 173,400 = 0,000	-6,500 x 173,400 = -1.127,100
8	-6,500	173,700	-4,000 x 173,700 = -694,800	-4,000 x 173,700 = -694,800
9	-4,000	170,000	-6,500 x 170,000 = -1.105,000	0,000 x 170,000 = 0,000
1	0,000	170,000	-4,000 x 170,000 = -680,000	
SOMATÓRIO			-2.136,8000	-2.167,9000

ÁREA DA SEÇÃO = 15,5500 m²

ATERRO

X = ESTACA 30 = 600,00 m
 COTA DO GREIDE (EIXO) = 170,000 m

PONTOS	COORDENADAS TOTAIS		PRODUTOS	
	Y	COTA	POSITIVOS	NEGATIVOS
2	2,000	170,000		2,900 x 170,000 = 493,000
3	2,900	169,100	2,000 x 169,100 = 338,200	5,700 x 169,100 = 963,870
4	5,700	168,200	2,900 x 168,200 = 487,780	4,000 x 168,200 = 672,800
5	4,000	170,000	5,700 x 170,000 = 969,000	2,000 x 170,000 = 340,000
1	2,000	170,000	4,000 x 170,000 = 680,000	
SOMATÓRIO			2.474,9800	2.469,6700

ÁREA DA SEÇÃO = 2,6550 m²

- **Seção de Corte**

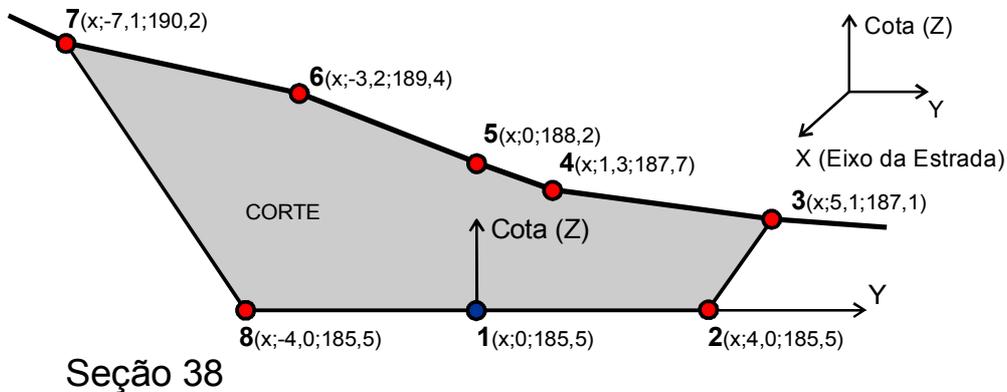


Figura 7.3 – Método analítico para cálculo de áreas – Seção de Corte

CORTE

X = ESTACA 38 = 760,00 m
 COTA DO GREIDE (EIXO) = 185,500 m

PONTOS	COORDENADAS		PRODUTOS	
	Y	COTA	POSITIVOS	NEGATIVOS
1	0,000	185,500		4,000 x 185,500 = 742,000
2	4,000	185,500	0,000 x 185,500 = 0,000	5,100 x 185,500 = 946,050
3	5,100	187,100	4,000 x 187,100 = 748,400	1,300 x 187,100 = 243,230
4	1,300	187,700	5,100 x 187,700 = 957,270	0,000 x 187,700 = 0,000
5	0,000	188,200	1,300 x 188,200 = 244,660	-3,200 x 188,200 = -602,240
6	-3,200	189,400	0,000 x 189,400 = 0,000	-7,100 x 189,400 = -1.344,740
7	-7,100	190,200	-3,200 x 190,200 = -608,640	-4,000 x 190,200 = -760,800
8	-4,000	185,500	-7,100 x 185,500 = -1.317,050	0,000 x 185,500 = 0,000
1	0,000	185,500	-4,000 x 185,500 = -742,000	
SOMATÓRIO			-717,3600	-776,5000

ÁREA DA SEÇÃO = 29,5700 m²

7.1.1.3.- PLANÍMETROS

Os planímetros são instrumentos que servem para medir a área de uma figura, mecanicamente, percorrendo o seu contorno. Foi muito utilizado

no passado. Hoje se encontra em desuso, sendo utilizado na maioria das vezes para a determinação da área de bacias hidrográficas.

7.2. CÁLCULO DE VOLUMES

7.2.1. ÁREAS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS:

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 externas, e as superfícies planas laterais correspondem à plataforma da estrada, os taludes e a superfície do terreno natural. O volume do prismóide da figura 7.4 pode ser calculada mediante a fórmula (7.2):

$$V = \frac{L}{6}(A_1 + 4 \times A_m + A_2) \quad (7.2)$$

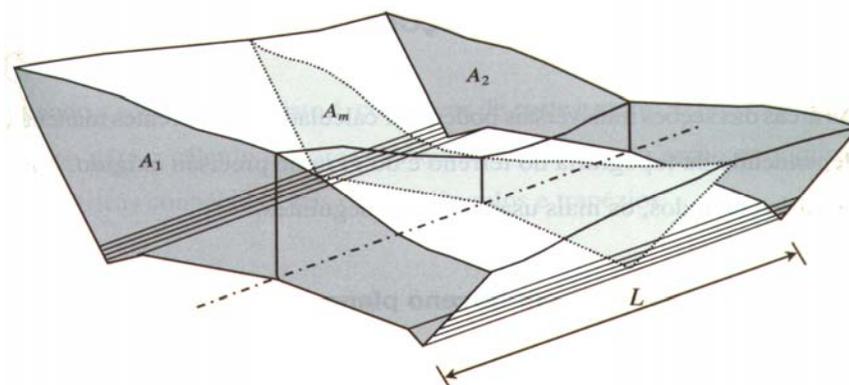


FIGURA 7.4 - Prismóide formado num ramo de rodovia (fonte: CARCIENTE)

Uma fórmula aproximada comumente utilizada para o cálculo dos volumes dos prismóides é a chamada fórmula das áreas médias.

A equação (7.3) se deduz da equação (7.2), substituindo $A_m = \frac{(A_1 + A_2)}{2}$.

Obtêm-se valores exatos para os volumes quando ambas as seções transversais são iguais. Para outras condições, os resultados são ligeiramente diferentes.

A fórmula é a seguinte:

$$V_m = \frac{L}{2}(A_1 + A_2) \quad (7.3)$$

7.3. CADERNETA DE RESIDÊNCIA:

É a caderneta que nos fornece as notas de serviço, isto é, a indicação de quanto devemos escavar ou aterrar em cada estaca.

- As cotas do terreno são obtidas da caderneta de nivelamento.
- As cotas do greide são obtidas do projeto, através de cálculo analítico.
- Após o cálculo das alturas de corte ou aterro, utilizando as fórmulas simplificadas apresentadas pelo processo simplificado obtemos as áreas das seções que serão utilizadas para o cálculo dos volumes de corte ou aterro.
- Um exemplo da caderneta de residência:

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
ESTACA	DECLIVIDADE	COTAS		NOTAS DE SERVIÇO		ÁREAS	
		TERRENO	GREIDE	ATERRO	CORTE	ATERRO	CORTE
1	↓ +1%	728,50	725,10		3,40		58,7
2		729,65	725,30		4,35		77,9
3		730,81	725,50		5,31		98,4
4	CURVA VERTICAL	728,70	725,60		3,10		52,9
5		727,55	725,55		2,00		32,7
6		722,75	725,45	2,70		51,4	
7	↓ -1%	722,05	725,25	3,20		63,4	
8		720,75	725,05	4,30		92,2	
9		718,85	724,85	6,00		144,0	
10		717,50	724,65	7,15		183,9	
11		716,88	724,45	7,57		113,6	
12		715,65	724,25	8,60		239,9	
13		714,95	724,05	9,10		260,7	
14		713,10	723,85	10,75		334,6	

(1) → Coluna das estacas

(2) → Declividades do greide.

- (3) → Coluna das cotas do terreno (obtidas do levantamento topográfico “in loco”).
- (4) → Coluna das cotas do greide (obtidas do anteprojeto).
- (5) → Coluna (3) – Coluna (4), se negativo.
- (6) → Coluna (3) – Coluna (4), se positivo.
- (7) → Cálculo da área de aterro utilizando-se um dos métodos descritos nos itens (7.1.1.1), (7.1.1.2) ou (7.1.1.3).
- (8) → Cálculo da área de corte utilizando-se um dos métodos descritos nos itens (7.1.1.1), (7.1.1.2) ou (7.1.1.3).

7.4. DISTRIBUIÇÃO DO MATERIAL ESCAVADO.

Após a conclusão do projeto em planta e perfil, que deve ter sido elaborado de modo a ter-se o mínimo possível de movimento de terra, passamos então ao estudo da distribuição mais conveniente dos volumes escavados.

Dentre os vários métodos utilizados para a distribuição dos volumes escavados, estudaremos apenas o Diagrama de Bruckner ou Diagrama de Massas.

7.4.1. PRINCÍPIOS DO DIAGRAMA DE MASSAS:

Uma forma de bem assimilar o funcionamento do diagrama antes de aplicá-lo, é através de princípios que o regem.

a.1. Primeiro princípio (da construção do diagrama):

A linha do diagrama sobe nos trechos de corte e desce nos aterros; portanto passa por máximos relativos na passagem de corte para aterro e por mínimos relativos na passagem de aterro para corte.

Tanto os máximos como os mínimos são relativos e não há necessidade de termos os absolutos, porque os transportes serão feitos em trechos relativamente curtos.

a.2. Segundo princípio (da linha de distribuição):

Quando traçamos uma linha paralela à linha de construção cortando a linha do diagrama, ficam determinados volumes iguais de corte e de aterro. Esta linha chama-se linha de distribuição.

a.3. Terceiro princípio (dos empréstimos e bota-foras):

Quando duas linhas de distribuição sucessivas fazem um degrau para baixo, temos a necessidade de um “empréstimo”; quando o degrau é para cima temos um “bota-fora”.

“Empréstimo” acontece quando falta terra e temos necessidade de tirá-la das partes laterais para a plataforma. “Bota-fora” é quando sobra terra na plataforma e necessitamos jogá-la nas laterais.

a.4. Quarto princípio:

Quando a linha do diagrama está acima da linha de distribuição, o transporte da terra é para frente; quando o diagrama está abaixo da linha de distribuição, o transporte da terra é para trás.

a.5. Quinto princípio:

Em cada ponto do diagrama, a leitura da vertical (ordenada) nos fornece o valor dos volumes acumulados até esse ponto.

a.6. Sexto princípio:

A área limitada pelo diagrama e a horizontal qualquer dá o momento de transporte entre o corte e o aterro que se compensam.

7.4.2. EXECUÇÃO DO DIAGRAMA DE MASSAS OU DE BRUCKNER:

O diagrama de massas (“mass diagram”) também é conhecido como diagrama de Bruckner, seu criador. É utilizado para planejar o transporte de terra entre cortes e aterros, bem como calcular suas quantidades para efeito de valores, objetivando o estudo da distribuição de terras de modo a ter-se o transporte mais econômico.

Desenhado o perfil (terreno e greide), calculam-se os volumes de cortes (C_1, C_2, \dots, C_n) e aterros (A_1, A_2, \dots, A_n), considerando que os aterros ao serem compactados aumentam de volume.

Para possibilitar a comparação entre volumes de corte e aterro, é necessário o uso de um fator de conversão de volumes. Dá-se o nome

de fator de homogeneização (F_h) à relação entre o volume de material no corte de origem, e o volume de aterro compactado resultante.

O coeficiente de acréscimo de volume dos aterros é calculado como:

$$F_h = \frac{\delta_s}{\delta_c} \cong 1,30 \rightarrow (\text{fator de compactação}). \quad (7.4)$$

onde:

δ_s = massa específica aparente seca após compactação no aterro.

δ_c = massa específica aparente seca do material no corte de origem.

O fator de homogeneização é aplicado sobre os volumes de aterro, como um multiplicador.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
QUADRO PARA CÁLCULO DA TERRAPLANAGEM									
EST.	ÁREAS (m ²)		SOMA DAS ÁREAS		SEMI DISTÂNCIA	VOLUMES			COMPEN SAÇÃO LATERAL
	ATERRO	CORTE	ATERRO	CORTE		PARCIAIS		ACUMU- LADOS	
						ATERRO	CORTE		
1		58,7		0	10	x1,3=		0	0
2		77,9		136,6	10	x1,3=		1366,0	1366,0
3		98,4		176,3	10	x1,3=		1763,0	3129,0
4		52,9		151,3	10	x1,3=		1513,0	4642,0
5		32,7		85,6	10	x1,3=		856,0	5498,0
5+10	0	0		32,7	5	x1,3=		163,5	5661,5
								5661,5	
6	51,4		51,4		5	x1,3=	-334,1		5327,4
7	63,4		144,8		10	x1,3=	-1882,4		3445,0
8	92,2		155,6		10	x1,3=	-2022,8		1422,2
9	144,0		236,2		10	x1,3=	-3070,6		-1648,4
10	183,9		327,9		10	x1,3=	-4262,7		-5911,1
11	113,6		297,5		10	x1,3=	-3867,5		-9778,6
12	239,9		353,5		10	x1,3=	-4595,5		-14374,1
13	260,7		500,6		10	x1,3=	-6507,8		-20881,9
14	334,6		595,3		10	x1,3=	-7738,9		-28620,8
14+8	0	0	334,6		4	x1,3=	-1739,9		-30360,7
.							-36022,2		
.									
.									

- (1) → ESTACAS
- (2) → ÁREAS DE ATERRO.
- (3) → ÁREAS DE CORTE.
- (4) → SOMATÓRIA DAS ÁREAS DE ATERRO ENTRE DUAS SEÇÕES CONSECUTIVAS.
 Por exemplo: $58,7 + 77,9 = 136,6$.
 $77,9 + 98,4 = 176,3$.
 ...
- (5) → SOMATÓRIA DAS ÁREAS DE CORTE ENTRE DUAS SEÇÕES CONSECUTIVAS.
 Por exemplo: $0,0 + 51,4 = 51,4$.
 $51,4 + 63,4 = 114,8$.
 $63,4 + 92,2 = 155,6$.
 ...
- (6) → SEMI DISTÂNCIA ENTRE DUAS SEÇÕES CONSECUTIVAS.
- (7) → CÁLCULO DO VOLUME DE ATERRO: (4) X (6) X 1,3.
- (8) → CÁLCULO DO VOLUME DE CORTE: (5) X (6) X 1,0.
- (9) → CÁLCULO DO VOLUME ACUMULADO PARA A CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE MASSAS.
 Por exemplo: $0,0 + 1366,0 = 1366,0$.
 $1366,0 + 1763,0 = 3129,0$.
 $3129,0 + 1513,0 = 4642,0$.
 ...
- (10) → DISTRIBUIÇÃO DOS VOLUMES LATERAIS.

Com os volumes acumulados construí-se o DIAGRAMA DE BRUCKNER, sobre o mesmo perfil da prancha de projeto, escolhendo-se uma horizontal de referência e sobre ela marcando-se os volumes acumulados (vertical) relacionados às estacas.

A escala vertical do diagrama usada geralmente é 1:1.000 m³ (1cm = 1.000 m³).

Para levar a terra do corte para o aterro, algumas viagens são curtas e outras longas. Precisamos procurar a distância média, obtido pelo diagrama de massas. Multiplicando o volume de corte pela distância média de transporte obtemos o momento de transporte.

Portanto:

$$M_t = \sum_i^n V_i \times d_i \quad (7.5)$$

Onde:

M_t = Momento de transporte ($m^3 \cdot dam$).

V_i = Volume de corte parcial.

d_i = Distância média parcial.

Após a determinação do volume total, podemos calcular a distância média do transporte no trecho analisado, portanto:

$$d_m = \frac{M_t}{V_c} \quad (7.6)$$

Onde:

d_m = Distância média total.

V_c = Volume de corte total.

7.5. EXERCÍCIO RESOLVIDO:

Calcular o Momento de Transportes e o custo do serviço de terraplenagem para o trecho abaixo, sabendo-se que:

- Distância do bota fora : $(d_{bf}) = 0,3 \text{ km}$;
- Custo de escavação : $(C_e) = \text{R\$ } 1,50/\text{m}^3$;
- Custo de transporte : $(C_t) = \text{R\$ } 0,75/\text{m}^3.\text{km}$
- Custo da compactação : $(C_c) = \text{R\$ } 0,65/\text{m}^3$
-

LARGURA DA PLATAFORMA = 14,00 m

TALUDES = 1:1

COEFICIENTE DE REDUÇÃO = 1,2

ESTACA	COTAS PELO EIXO			"OFF-SETS" (COTAS)		ÁREA DA SEÇÃO	
	GREIDE	TERENO	VERMELHA	ESQUERDA	DIREITA	CORTE	ATERRO
0	640,150	640,150	0,000	640,150	640,150	0,00	0,00
1	640,700	641,300	0,600	641,910	640,880	9,48	0,00
2	641,150	642,290	1,140	642,980	641,470	16,73	0,00
3	641,500	645,060	3,560	646,500	644,000	64,52	0,00
4	641,750	647,360	5,610	647,600	647,080	109,76	0,00
5	641,900	647,120	5,220	646,720	647,200	98,37	0,00
6	641,950	645,850	3,900	644,920	646,340	67,42	0,00
7	641,900	643,900	2,000	642,360	645,150	30,70	0,00
8	641,750	640,810	-0,940	638,110	644,720	7,90	18,53
9	641,550	637,330	-4,220	636,270	638,400	0,00	76,83
10	641,450	632,000	-9,450	632,000	632,000	0,00	221,60
11	641,550	637,950	-3,600	635,460	638,240	0,00	75,02
12	641,850	642,420	0,570	641,000	644,120	11,39	1,78
13	642,250	645,610	3,360	645,060	646,330	59,14	0,00
14	642,650	646,520	3,870	646,580	646,500	69,37	0,00
15	643,050	644,700	1,650	644,700	644,700	25,82	0,00
16	643,450	643,450	0,000	643,450	643,450	0,00	0,00

ESTACA	VOLUMES		ATERRO CORRIGIDO	VOLUME EXCEDENTE	VOLUMEACUMULADO		DIAGRAMA DE MASSAS
	CORTE	ATERRO			CORTE	ATERRO	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	94,80	0,00	0,00	94,80	94,80	0,00	94,80
2	262,10	0,00	0,00	262,10	356,90	0,00	356,90
3	812,50	0,00	0,00	812,50	1169,40	0,00	1169,40
4	1742,80	0,00	0,00	1742,80	2912,20	0,00	2912,20
5	2081,30	0,00	0,00	2081,30	4993,50	0,00	4993,50
6	1657,90	0,00	0,00	1657,90	6651,40	0,00	6651,40
7	981,20	0,00	0,00	981,20	7632,60	0,00	7632,60
8	386,00	185,30	222,36	163,64	8018,60	222,36	7796,24
9	79,00	953,60	1144,32	-1065,32	8097,60	1366,68	6730,92
10	0,00	2984,30	3581,16	-3581,16	8097,60	4947,84	3149,76
11	0,00	2966,20	3559,44	-3559,44	8097,60	8507,28	-409,68
12	113,90	768,00	921,60	-807,70	8211,50	9428,88	-1217,38
13	705,30	17,80	21,36	683,94	8916,80	9450,24	-533,44
14	1285,10	0,00	0,00	1285,10	10201,90	9450,24	751,66
15	951,90	0,00	0,00	951,90	11153,80	9450,24	1703,56
16	258,20	0,00	0,00	258,20	11412,00	9450,24	1961,76

- **Diagrama de massas:**

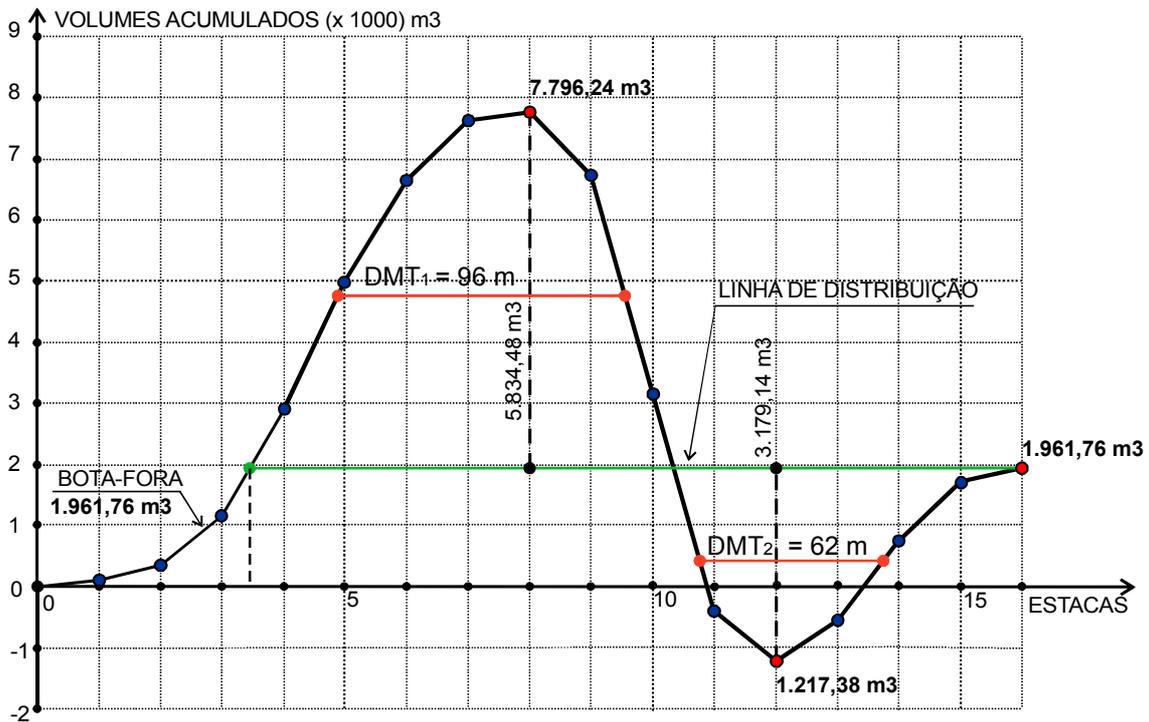


FIGURA 7.5 - Digrama de Massas ou de Brückner

- **Cálculo do momento de transporte (M_t)**

$$M_t = 5.834,48m^3 \times 96,00m + 3.179,14m^3 \times 62,00m$$

$$M_t = 757.216,76m^3 \times m$$

- **Cálculo da DMT para a distribuição**

$$DMT = \frac{M_t}{V} = \frac{757.216,76m^3 \times m}{9.013,62m^3}$$

$$DMT = 84,00m = 8,4dam$$

- **Cálculo do custo de serviço de terraplenagem**

$$C_t = V(C_e + C_t \times DMT + C_c) + V_{bf}(C_e + C_t \times d_{bf} + C_c) + V_{emp}(C_e + C_t \times d_{emp} + C_c)$$

$$C_t = 9.013,62(1,50 + 0,75 \times 0,084 + 0,65) + 1.961,76(1,50 + 0,75 \times 0,30 + 0,65) + 0$$

$$C_t = R\$24.606,32$$

7.6. EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

Exercício 1

Proposto pelo Professor Carlos Reynaldo Toledo Pimenta, da Escola de Engenharia de São Carlos/USP.

Dado o trecho de estrada da figura 7.6 e suas seções transversais, determinar as quantidades de escavação, volume de aterro compactado e o momento total de transporte. Considera $F_h = 1,1$ e DMT para empréstimo e/ou bota-fora = 10,2 *dam*.

NOTA: Calcular as áreas das seções pelo MÉTODO ANALÍTICO.

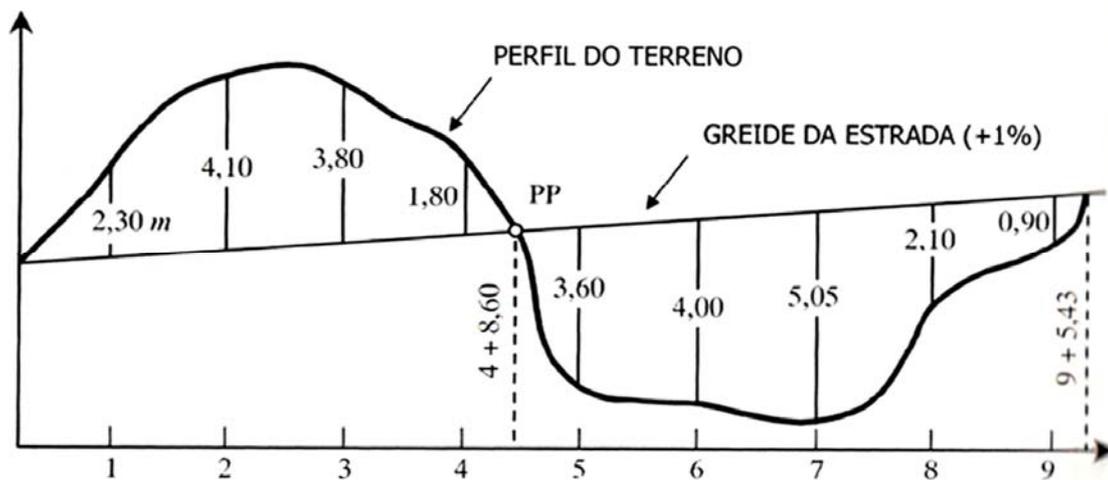
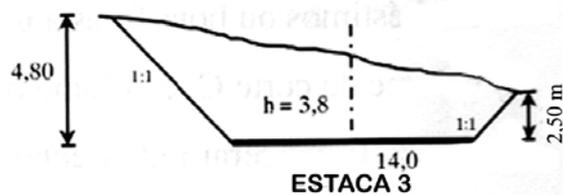
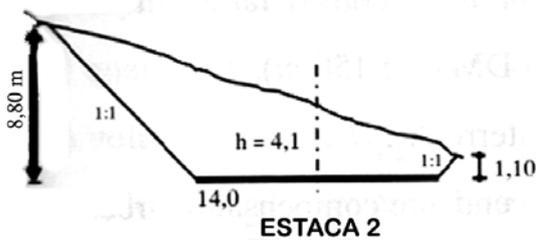
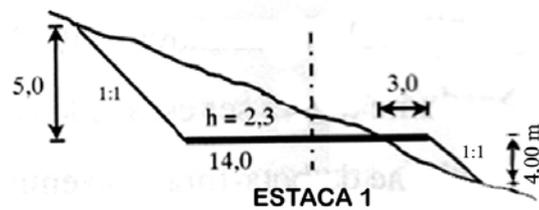
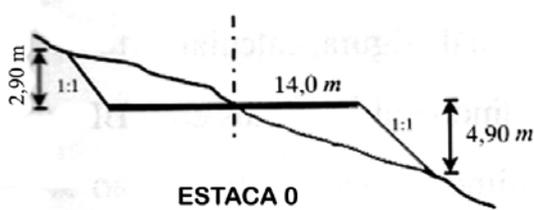


FIGURA 7.6 - Perfil e Greide de uma Estrada Rural.

QUADRO PARA CÁLCULO DA TERRAPLANAGEM									
ESTACA	ÁREAS (m ²)		SOMA DAS ÁREAS		SEMI DISTÂNCIA	VOLUMES			COMPENSAÇÃO LATERAL
	ATERRO	CORTE	ATERRO	CORTE		PARCIAIS		ACUMULADOS	
						ATERRO	CORTE		
0									
1									
2									
3									
4									
4+8,60									
5									
6									
7									
8									
9									
9+5,43									
TOTAIS									



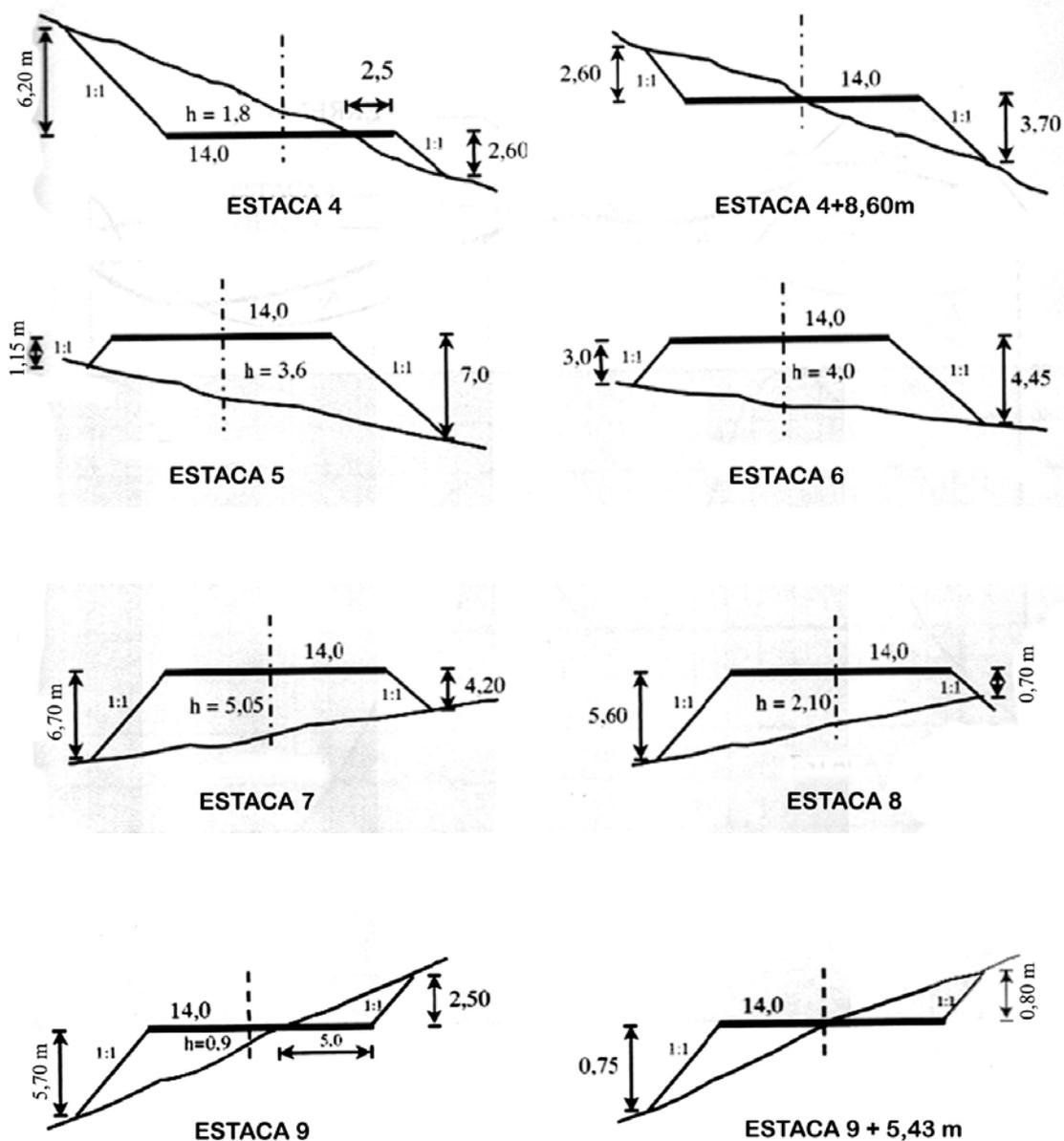


FIGURA 7.7 – Seções Transversais.

Exercício 2

Dado o quadro “CÁLCULO DE TERRAPLANAGEM” a seguir, que se originou do greide projetado, construir o diagrama de Bruckner e deduzir os demais elementos do projeto.

NOTA: As áreas de aterro já foram acrescidas pelo fator de compactação (= 1,3).

QUADRO PARA CÁLCULO DA TERRAPLANAGEM									
ESTACA	ÁREAS (m ²)		SOMA DAS ÁREAS		SEMI DISTÂNCIA	VOLUMES			COMPEN SAÇÃO LATERAL
	ATERRO	CORTE	ATERRO	CORTE		PARCIAIS		ACUMU- LADOS	
						ATERRO	CORTE		
0	0	0	0		-	0		0	
1	15		15		10	-150		-150	
2	25		40		10	-400		-550	
3	40		65		10	-650		-1200	
4	50		90		10	-900		-2100	
5	20		70		10	-700		-2800	
5+10	0	0	20		5	-100		-2900	
						-2900			
5+10	0	0		0	-			-2900	
6		10		10	5		50	-2850	
7		30		40	10		400	-2450	
8		50		80	10		800	-1650	
9		45		95	10		950	-700	
10		25		70	10		700	0	
11		15		40	10		400	400	
11+8	0	0		15	4		60	460	
							3360		
11+8	0	0	0		-			460	
12	10		10		6	-60		400	
13	25		35		10	-350		50	
14	15		40		10	-400		-350	
15	5		20		10	-200		-550	
15+16	0	0	5		8	-40		-590	
						-1050			
15+16	0	0		0	-			-590	
16		5		5	2		10	-580	
17		15		20	10		200	-380	
18		20		35	10		350	-30	
19		10		30	10		300	270	
20		0		10	10		100	370	
							960		
TOTAIS						-3950	4320		

CAPÍTULO 8

ROTEIRO PARA PROJETO

8. ROTEIRO PARA PROJETO:

Neste capítulo, com o objetivo de apresentar um roteiro completo para o desenvolvimento de um projeto rodoviário, apresentaremos, com as devidas simplificações, cada etapa a ser executada num projeto rodoviário.

Faremos citações aos às formulas utilizadas e efetuaremos os cálculos adotando algumas simplificações.

Iniciaremos o PROJETO em questão, considerando, que após a verificação de todos os aspectos relativos a pontos obrigados e demais itens necessários ao bom desenvolvimento do projeto rodoviário.

8.1. CÁLCULOS DOS AZIMUTES E DISTÂNCIAS ENTRE OS PONTOS DE INTERSEÇÃO (PIs):

Na tabela 8.1 apresenta-se as coordenadas dos PIs obtidas da planta e serão utilizados para o cálculo dos respectivos Azimutes e as Distâncias.

PONTOS	LONGITUDE (X)	LATITUDE (Y)
A	230.850,00	7.490.430,00
PI ₁	231.250,00	7.489.490,00
PI ₂	232.930,00	7.487.270,00
PI ₃	233.810,00	7.488.020,00
B	234.850,00	7.487.450,00

Tabela 8.1 - Tabela do Coordenadas Totais.

Utilizando as fórmulas [2.1], [2.2], [2.3] e [2.4], mais a conversão apontada na Tabela 2.1, obtém-se:

8.1.1. AZIMUTES

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \arctg \frac{X_{PI_1} - X_A}{Y_{PI_1} - Y_A} = \arctg \frac{(231.250,00 - 230.850,00)}{(7.489.490,00 - 7.490.430,00)}$$

$\alpha = - 23^\circ 03' 05''$ (Utilizar a fórmula da Tabela 2.1 entrando com o valor absoluto do ângulo α)

Observa-se que $\Delta X > 0$ e $\Delta Y < 0 \Rightarrow \text{Azimute} = 180^\circ - |\alpha|$

Portando, $\text{Az}_{A-PI1} = 156^\circ 56' 55''$.

LINHAS	AZIMUTES)
A- PI ₁	156° 56' 55"
PI ₁ - PI ₂	142° 52' 59"
PI ₂ - PI ₃	49° 33' 36"
PI ₃ - B	118° 43' 34"

8.1.2. COMPRIMENTOS DAS LINHAS

$$d_{A-PI1} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \sqrt{(231.250,00 - 230.850,00)^2 + (7.489.490,00 - 7.490.430,00)^2}$$

$$d_{A-PI1} = 1021,57 \text{ m}$$

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)
A- PI ₁	1.021,57
PI ₁ - PI ₂	2.784,03
PI ₂ - PI ₃	1.156,24
PI ₃ - B	1.185,96

8.2. CÁLCULOS DAS DEFLEXÕES (I):

O ângulo de deflexão (I) entre dois alinhamentos de azimutes conhecidos é igual a diferença entre eles (equação 2.5), sendo a deflexão direita ou esquerda, se o resultado for positivo ou negativo, respectivamente.

$$I_i = \text{Azimute}_{(i+1)} - \text{Azimute}_{(i)} = 142^\circ 52' 59'' - 156^\circ 56' 55'' = - 14^\circ 03' 56''.$$

DEFLEXÕES (I)	ÂNGULO	OBS.
I_1	- 14° 03' 56"	CURVA À ESQUERDA
I_2	- 93° 19' 23"	CURVA À ESQUERDA
I_3	69° 09' 58"	CURVA À DIREITA

8.3. CÁLCULOS DOS RAIOS MÍNIMOS:

8.3.1. CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE:

O objetivo é o cálculo do menor raio que pode ser usado com segurança em uma curva horizontal de rodovia, considerando que a estrada é de CLASSE I, em região plana, onde:

- Velocidade de projeto ou diretriz (V) = 100 km/h (Tabela 3.1)
- Superelevação máxima ($e_{máx}$) = 10% para fluxo ininterrupto em regiões planas. (Tabela 5.1)⁶
- Coeficiente de atrito transversal ($f_{máx}$) = 0,13 (tabela 5.2)

Portanto, aplicando a equação [5.17]

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{máx} + f_{máx})} = \frac{100^2}{127 \cdot (0,10 + 0,13)} = 342,35 \text{ m}$$

8.3.2. CONDIÇÃO DE VISIBILIDADE:

Aplicando as equações [4.4] para o cálculo da distância de parada e a equação [5.25] para o cálculo do raio mínimo da curva horizontal, tem-se:

- Coeficiente de atrito longitudinal (f_L) = 0,28 (tabela 4.8)
- Inclinação longitudinal (i) = - 0,03 (tabela 3.1)⁷
- Velocidade de projeto ou diretriz (V) = 100 km/h (Tabela 3.1)

Cálculo da distância de parada (situação mais desfavorável):

⁶ Os órgãos responsáveis pelos projetos rodoviários utilizam-se alguns critérios para determinação da superelevação de forma a dar conforto aos usuários. Ver item 5.2.1.4 do capítulo 5.

⁷ Adotado o valor máximo do greide para região plana em situação mais desfavorável (a que determina o maior valor para a distância de parada).

$$D_p = 0,7.V + \frac{V^2}{255.(f_L + i)} = 0,70 \times 100 + \frac{100^2}{255.(0,28 + (-0,03))} = 226,86 \text{ m}$$

Adotando o valor de $M = 10,00 \text{ m}$ e aplicando na equação [5.25]:

$$R_{\min} = \frac{D_p^2}{8.M} = \frac{226,86^2}{8 \times 10,00} = 643,32 \text{ m}$$

Adota-se para o raio mínimo do valor que satisfaça as condições de estabilidade e visibilidade, portanto: $R_{\min} = 643,32 \text{ m}$.

NOTA: Observar que a equação [5.25] é dada em função da D_p e M , portanto, se tivermos condições de aumentar o valor de M , diminuiremos o R_{\min} .

8.4. CÁLCULOS DAS ESTACAS DOS PONTOS NOTÁVEIS DAS CURVAS HORIZONTAIS:

Utilizando as fórmulas [5.1], [5.2], [5.3], [5.4] e a tabela 5.1 para a determinação do Raio.

1 - Adota-se $R' = 650,00 \text{ m} > R_{\min}$.

2 - Cálculo de $G'_{20} = \frac{1145,92}{R'} = \frac{1145,92}{650} = 1^\circ 45' 47''$

3 - Adota-se $G = 1^\circ 40' 00''$

4 - Calcula-se $R = \frac{1145,92}{G} = \frac{1145,92}{1^\circ 40' 00''} = 687,552 \text{ m}$

• CURVA 1 - À ESQUERDA

$$T_1 = 687,552 \times \tan\left(\frac{14^\circ 03' 56''}{2}\right) = 84,82 \text{ m}$$

$$D_1 = \frac{\pi \times 687,552 \times 14^\circ 03' 56''}{180^\circ} = 168,79 \text{ m}$$

- **CURVA 2 - À ESQUERDA**

$$T_2 = 687,552 \times \tan\left(\frac{93^\circ 19' 23''}{2}\right) = 728,63 \text{ m}$$

$$D_2 = \frac{\pi \times 687,552 \times 93^\circ 19' 23''}{180^\circ} = 1.119,88 \text{ m}$$

Trecho em tangente entre o $\overline{PT_1 - PC_2} = 1.970,80 \text{ m} > 4V = 400,00 \text{ m}$, portanto satisfaz.

- **CURVA 3 - À DIREITA**

$$T_3 = 687,552 \times \tan\left(\frac{69^\circ 09' 58''}{2}\right) = 474,01 \text{ m}$$

$$D_3 = \frac{\pi \times 687,552 \times 69^\circ 09' 58''}{180^\circ} = 830,00 \text{ m}$$

Trecho em tangente entre o $\overline{PT_2 - PC_3}$ não existe (figura 8.1), pois se somarmos $T_2 + T_3 = 1.202,64 \text{ m} > 1153,24 \text{ m}$. Não poderemos aceitar a existência do trecho em tangente entre o PI_2 e o PI_3 .

Novo traçado deverá ser estudado.

Sabemos que a concordância de duas curvas horizontais de sentido opostos por curvas de transição que se tangenciam ou por trechos retos de comprimento mínimo necessário a mudança das superelevações. Deve-se adotar para a tangente intermediária ao percurso de aproximadamente 15 segundos percorrido à velocidade diretriz V , ou seja, substituindo em (3.1) tem-se:

$$T_{\text{intermediária}} = 15 \times \frac{1000}{3600} \times V \cong 4 \times V$$

Para $V = 100 \text{ km/h}$

$$T_{\text{intermediária}} = 4 \times V = 4 \times 100 = 400 \text{ m}$$

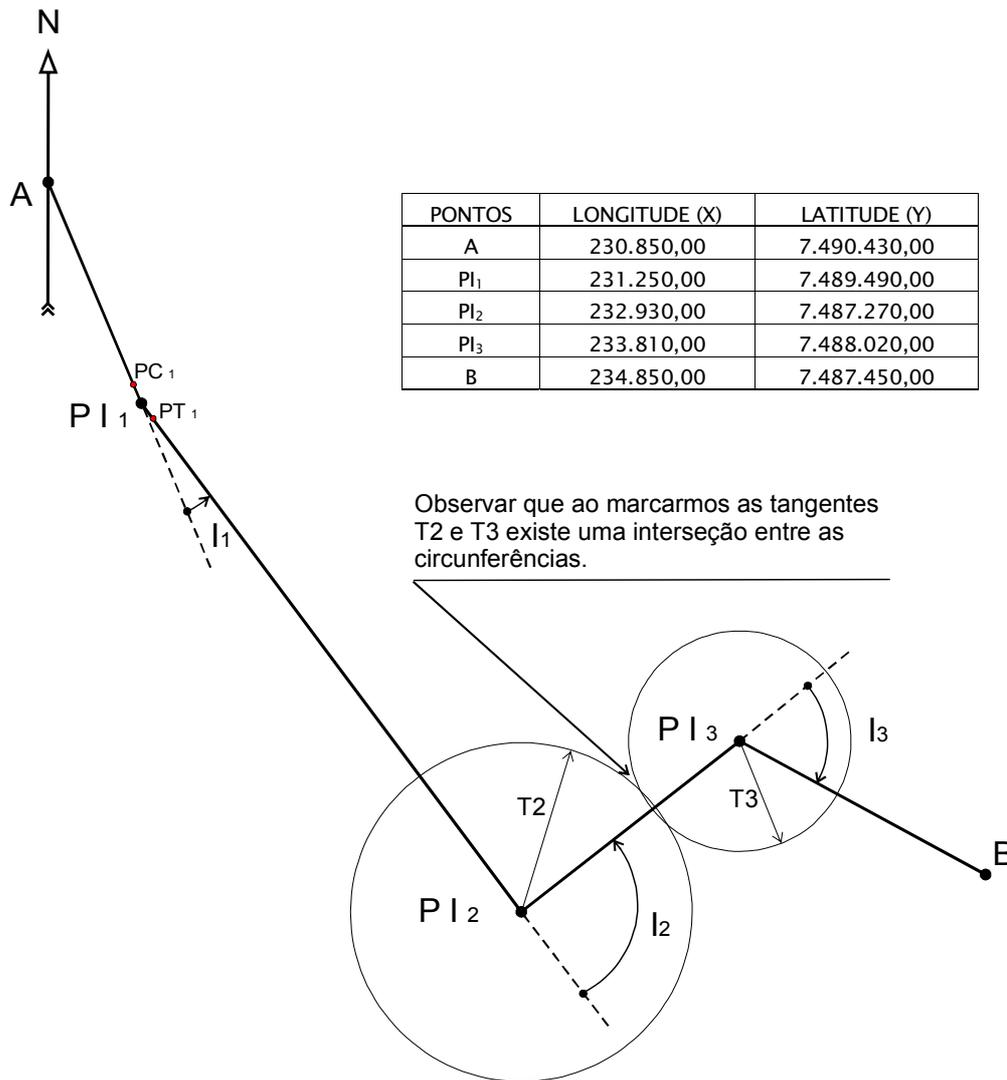


Figura 8.1 - Opção de traçado.

Estudando-se novo traçado, e, após as definições dos novos PI_s , indicados na figura 8.2, tem-se:

PONTOS	LONGITUDE (X)	LATITUDE (Y)
A	230.850,00	7.490.430,00
PI ₁	231.250,00	7.489.490,00
PI ₂	232.090,00	7.488.380,00
PI ₃	233.810,00	7.488.020,00
B	234.850,00	7.487.450,00

Recalculando para a opção da figura 8.2 temos:

- **AZIMUTES:**

Utilizando as fórmulas [2.1], [2.2], [2.3] e [2.4], mais a conversão apontada na Tabela 2.1, obtém-se:

LINHAS	AZIMUTES)
A- PI ₁	156° 56' 55"
PI ₁ - PI ₂	142° 52' 59"
PI ₂ - PI ₃	101° 49' 17"
PI ₃ - B	118° 43' 34"

- **COMPRIMENTOS DAS LINHAS:**

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)
A- PI ₁	1.021,57
PI ₁ - PI ₂	1.232,94
PI ₂ - PI ₃	1.757,27
PI ₃ - B	1.185,96

- **CÁLCULOS DAS DEFLEXÕES:**

DEFLEXÕES (I)	ÂNGULO	OBS.
l ₁	- 14° 03' 56"	CURVA À ESQUERDA
l ₂	- 41° 03' 42"	CURVA À ESQUERDA
l ₃	16° 54' 17"	CURVA À DIREITA

- **RECALCULANDO AS ESTACAS DOS PONTOS NOTÁVEIS:**

Adotando valores definidos anteriormente, ou seja:

$$\begin{array}{lll}
 R_{min} = 687,552 \text{ m} & R_{min} = 687,552 \text{ m} & R_{min} = 687,552 \text{ m} \\
 T_1 = 84,82 \text{ m} & T_2 = 257,49 \text{ m} & T_3 = 102,17 \text{ m} \\
 D_1 = 168,79 \text{ m} & D_2 = 492,74 \text{ m} & D_3 = 202,86 \text{ m}
 \end{array}$$

Conhecidos esses valores, pode-se calcular os comprimentos das tangentes, ou seja, dos alinhamentos da poligonal excluídos das tangentes exteriores e incluindo-se as curvas horizontais.

Calculando-se diretamente o estaqueamento, no caso de projeto exemplificado, chega-se aos seguintes valores:

LINHA	COMPRIMENTO	ESTACAS	PTO NOTÁVEL	ESTACA	OBS.
	0,00	0 + 0,00m	A	0 + 0,00m	
A - PI ₁	1021,57				
- T ₁	- 84,82				
	936,75	46+16,75m	PC ₁	46+16,75m	
D ₁	168,79				
	1.105,54	55+5,54m	PT ₁	55+5,54m	
PI ₁ - PI ₂	1.232,94				
- T ₁	- 84,82				
- T ₂	- 257,49				
	1.996,17	99+16,17m	PC ₂	99+16,17m	
D ₂	492,74				
	2.488,91	124+8,91m	PT ₂	124+8,91m	
PI ₂ - PI ₃	1.757,27				
- T ₂	- 257,49				
- T ₃	- 102,17				
	3.886,52	194+6,52m	PC ₃	194+6,52m	
D ₃	202,86				
	4.089,38	204+9,38m	PT ₃	204+9,38m	
PI ₃ - B	1.185,96				
- T ₃	- 102,17				
	5.173,17	258+13,17m	B	258+13,17m	

NOTA: Observar que somando os trechos em tangentes temos uma distância total percorrida de 5.197,74 metros. Incorporando as curvas o novo comprimento total da rodovia passa para 5.173,17 metros em virtude das curvas circulares que diminui o trajeto.

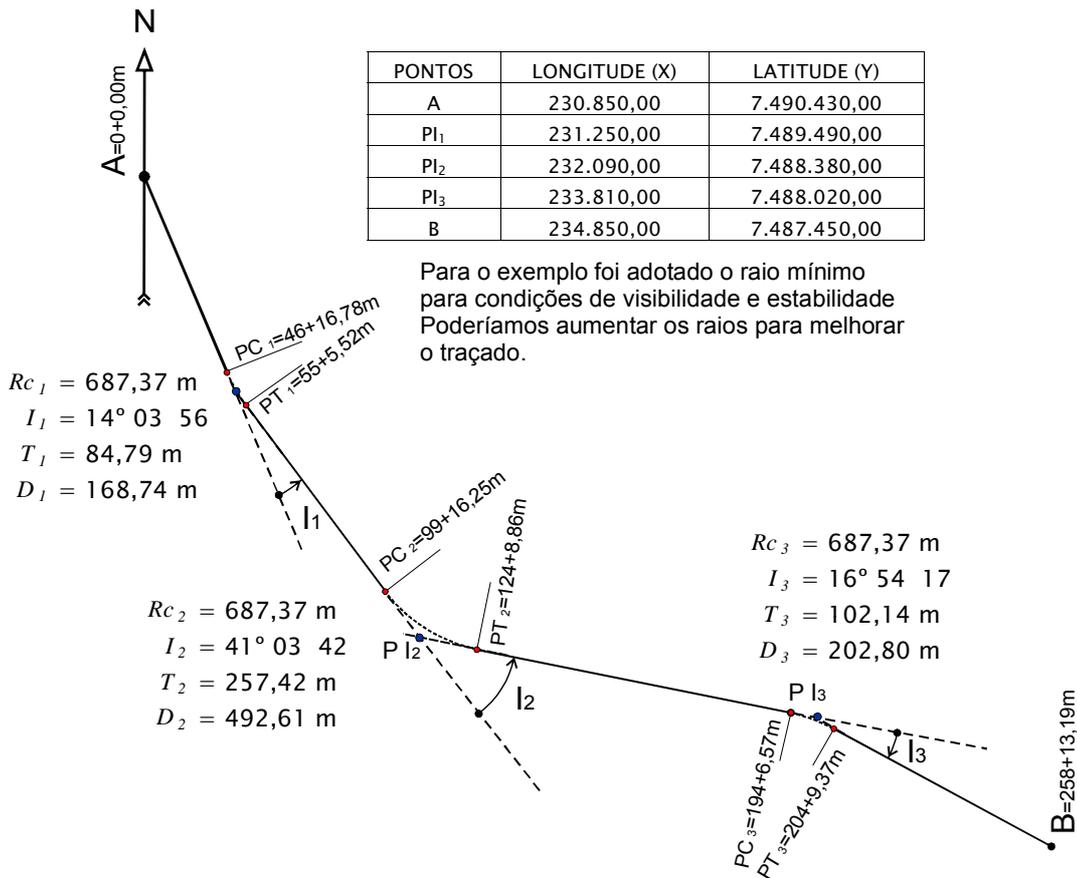


Figura 8.2 - Forma de apresentação dos dados de cada curva.

8.5. LOCAÇÃO DE CURVAS CIRCULARES:

Faremos como exemplo a locação da curva circular 2 utilizando o método das deflexões acumuladas.

- Deflexão para 20,00 metros: $d_{20} = \frac{G}{2} = 0^\circ 50' 00''$
- Deflexão para locar a estaca 100: $d_{3,83} = \frac{3,83}{20} \times d_{20} = 00^\circ 09' 34''$
- Deflexão para locar a estaca 124+8,91 m: $d_{8,91} = \frac{8,91}{20} \times d_{20} = 00^\circ 22' 17''$
- Deflexões acumuladas do PC2 até Pt2: $\Delta 1 = 20^\circ 31' 51''$

ESTACA	DEFLEXÕES À ESQUERDA (-)			LEITURA			AZIMUTE NA TANGENTE			
	o	'	''	o	'	''	o	'	''	
PT2 124 + 8,91	0	22	17	122	21	8	-Δ1	101	49	17
124	0	50	0	122	43	25				
123	0	50	0	123	33	25				
122	0	50	0	124	23	25				
121	0	50	0	125	13	25				
120	0	50	0	126	3	25				
119	0	50	0	126	53	25				
118	0	50	0	127	43	25				
117	0	50	0	128	33	25				
116	0	50	0	129	23	25				
115	0	50	0	130	13	25				
114	0	50	0	131	3	25				
113	0	50	0	131	53	25				
112	0	50	0	132	43	25				
111	0	50	0	133	33	25				
110	0	50	0	134	23	25				
109	0	50	0	135	13	25				
108	0	50	0	136	3	25				
107	0	50	0	136	53	25				
106	0	50	0	137	43	25				
105	0	50	0	138	33	25				
104	0	50	0	139	23	25				
103	0	50	0	140	13	25				
102	0	50	0	141	3	25				
101	0	50	0	141	53	25				
100	0	9	34	142	43	25				
PC2 99 + 16,17								142	52	59
Σ	20	31	51							

8.6. CURVA VERTICAL:

Considerando que incorporada à curva horizontal 2 temos uma curva vertical côncava definida conforme as rampas indicadas no perfil (figura 8.3).

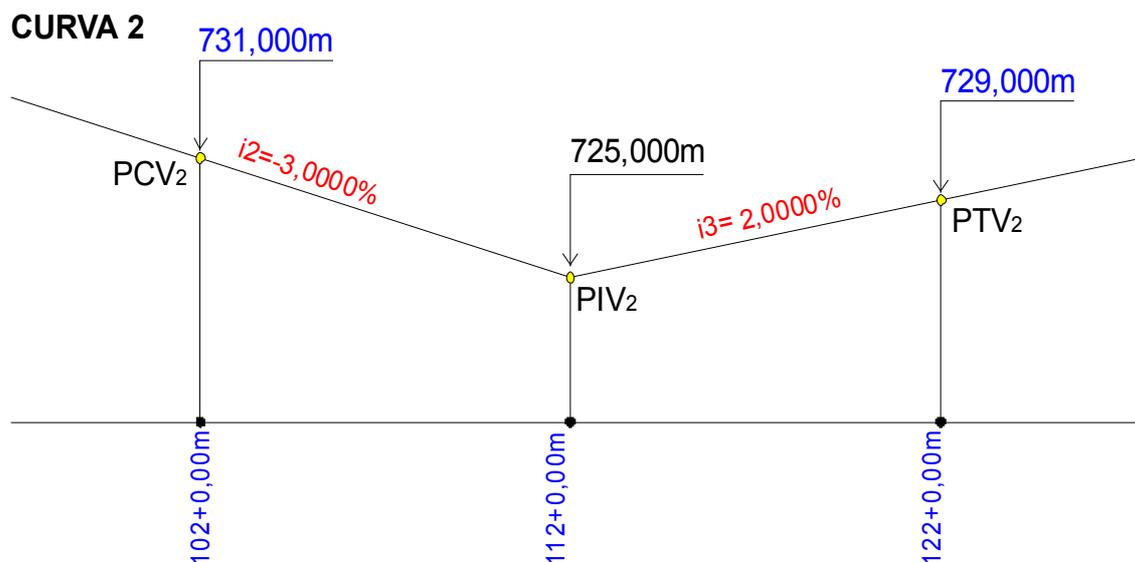


Figura 8.3 - Perfil da curva vertical 2

Coincidindo o PI_2 da curva horizontal com o PIV_2 da curva vertical e que o raio instantâneo da curva é igual a 8000,00 metros.

A cota do PIV_2 é igual a 725,00 metros.

- **Cálculo do comprimento instantâneo (L_v):**

$$L_v = R_v \times |i_{(n+1)} - i_n| = 8000 \times |0,0200 - (-0,0300)| = 400,00 \text{ m} = 20 + 0,00 \text{ m}$$

- **Cálculo das estacas dos pontos notáveis:**

CURVA VERTICAL 2

ESTACA PIV_2	=	112 + 0,00 m
- $L_v/2$	=	10 + 0,00 m
ESTACA PCV_2	=	102 + 0,00 m
+ L_v	=	20 + 0,00 m
ESTACA PTV_2	=	122 + 0,00 m

- **Cotas das estacas dos pontos notáveis:**

$$Cota_{PCV_2} = 725,00 + 0,0300 \times 200,00 = 731,00 \text{ m}$$

$$Cota_{PTV_2} = 725,00 + 0,0200 \times 200,00 = 729,00 \text{ m}$$

- **Determinação da equação da parábola do 2º. Grau da Curva Vertical:**

Sabemos que: $y = a.x^2 + b.x$

Onde $b = i_n = -0,0300$

$$a = \frac{(i_{(n+1)} - i_n)}{2.L_v} = \frac{0,0200 - (-0,0300)}{2 \times 400} = 0,0000625$$

Portando $y = -0,0000625.x^2 - 0,03.x$

- **Tabela de locação da Curva Vertical:**

ESTACA	COTAS (m)		ORDENADAS DA PARÁBOLA		GREIDE DE PROJETO
	TERRENO	GREIDE RETO	X	Y	
	99	732,800			732,800
	100	732,200			732,200
	101	731,600			731,600
(PCV2)	102	731,000	0	0,000	731,000
i2 = -3,0%	103	730,400	20	-0,575	730,425
	104	729,800	40	-1,100	729,900
	105	729,200	60	-1,575	729,425
	106	728,600	80	-2,000	729,000
	107	728,000	100	-2,375	728,625
	108	727,400	120	-2,700	728,300
	109	726,800	140	-2,975	728,025
	110	726,200	160	-3,200	727,800
	111	725,600	180	-3,375	727,625
(PIV2)	112	725,000	200	-3,500	727,500
i3 = 2,0%	113	725,400	220	-3,575	727,425
	114	725,800	240	-3,600	727,400
	115	726,200	260	-3,575	727,425
	116	726,600	280	-3,500	727,500
	117	727,000	300	-3,375	727,625
	118	727,400	320	-3,200	727,800
	119	727,800	340	-2,975	728,025
	120	728,200	360	-2,700	728,300
	121	728,600	380	-2,375	728,625
(PTV2)	122	729,000	400	-2,000	729,000
	123	729,400			729,400
	124	729,800			729,800

Os demais cálculos são encontrados nos respectivos capítulos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1 - **AMARAL**, Raphael do Campos, 1979 - 2^a. edição - Projeto de Estradas - Universidade de São Paulo - Escola Politécnica - Apostila.
- 2 - **PIMENTA**, Carlos Reynaldo T. e outro, 1999 - Apostila - Projeto Geométrico e de Terraplenagem de Rodovias - Universidade de São Paulo - EESC.
- 3 - **PIMENTA**, Carlos Reynaldo T. - Projeto de Estradas, 1981 - Apostila - Universidade de São Paulo - EESC.
- 4 - **SENÇO**, Wlastermiler de, 1929 - Manual de técnicas de projetos rodoviários / PINI.
- 5 - **PONTES FILHO**, Glauco, 1998 - Estrada de rodagem: Projeto Geométrico - São Carlos.
- 6 - **ODA**, Sandra, 2003 - Estudos de Traçados - Notas de Aulas - Universidade Estadual de Maringá.
- 7 - **LEE**, Shun Han, 2000 - Projeto Geométrico de Estradas - Apostila - Universidade Federal de Santa Catarina.
- 8 - **ALBANO**, João F, - Apostila de Estradas -Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 9 - **DE 01/HID-001**, 2005 - Estudos Hidrológicos. São Paulo - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO.
- 10 - **DNER** - Manual de Implantação Básica, 1996
- 11 - **DNER** - Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, 1999.