

Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina
Diretoria de Estudos e Projetos

Diretrizes para a Concepção de Estradas (DCE)

Parte: Condução do Traçado

DCE-C

Fevereiro/2000



Diretrizes para a Concepção de Estradas (DCE)

Parte: Condução do Traçado

DCE-C

Notas Preliminares

Esta Publicação é tradução da publicação de origem alemã intitulada “ **Richtlinien für die Anlage von Strassen (RAS) , Teil: Linienführung (RAS - L) , Ausgabe 1995** . Será utilizado pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina para a Condução do Traçado de Estradas. As diferenças sensíveis, se houverem, entre alguns dados usados na aplicação do processo por força de comportamento dos participantes do trânsito, diferenças entre veículos, etc., por hora serão desconsiderados, pois, as diferenças de resultados, se existirem, não representariam um erro grosseiro a ponto de comprometer a praticidade destes resultados. Mesmo porque, nos levantamentos dos dados e na manipulação destes para a obtenção dos parâmetros utilizados na aplicação do processo, existe tal empirismo que, talvez, uma busca por um preciosismo não seria nem realístico e nem prático.

A opção de traduzir a publicação original e aplicar os seus conceitos é perfeitamente válida, partindo do princípio de que, essa publicação original, desde a sua idealização até sua finalização, foi, sem dúvida, objeto de amplas pesquisas e estudos e não caberia a nós mudar ou adaptar conceitos sem pesquisas e/ou estudos conduzidos propriamente. Se assim procedêssemos, isto é, tentássemos adaptar a publicação original sem estes cuidados, ai sim estaríamos incorrendo em erros grosseiros quando da aplicação do método. Caberá ao DER-SC, portanto, no futuro, promover pesquisas, estudos e observações do método aqui contido.

Com a divulgação dessa Publicação objetivamos, portanto, suprir o DER-SC de ferramentas práticas e simples para resolver seus problemas relacionados à condução do traçado de uma estrada..

Talvez algum conceito dessa publicação não possa ser aplicado devido à insuficiência de dados. Nestes casos então procurou-se uma outra forma de solucionar o problema com a aplicação de um outro processo, o qual constará em local apropriado. Por força de legislação brasileira e outras diferenças marcantes, poderão aparecer valores diferentes relativamente à publicação original. Estas mudanças, sempre que existirem, estarão devidamente anotadas.

Para finalizar, queremos deixar aqui nossos votos de um bom uso desta publicação, que seja aplicada com critério e racionalidade e que, cada vez mais, tenhamos boas soluções para os nossos problemas na área de engenharia de estradas.

NOTA : O DER - SC não é responsável por erros de tradução porventura existentes.

Diretoria de Estudos e Projetos

Índice

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 Conteúdo | 9 |
| 1.2 Área de Aplicação | 9 |
| 1.3 Objetivo..... | 9 |
| 1.4 Aplicação..... | 13 |
| 2. O Desenrolar da Concepção e suas Etapas | 15 |
| 2.1 Estudo de Alternativas..... | 18 |
| 2.2 O Anteprojeto para Aprovação do Mantenedor | 18 |
| 2.3 O Anteprojeto para Aprovação da Entidade Governamental..... | 19 |
| 2.4 O Projeto Executivo | 19 |
| 3. Velocidades Determinantes | 21 |
| 3.1 Explanção dos Conceitos | 21 |
| 3.2 Determinação..... | 21 |
| 3.3 Compatibilidade entre a Velocidade de Projeto V_p e a Velocidade V_{85} | 21 |
| 3.4 Uniformidade | 22 |
| 4. Elementos do Projeto no Plano Horizontal | 23 |
| 4.1 A Reta..... | 23 |
| 4.1.1 Aplicação | 23 |
| 4.1.2 Valores Referenciais | 23 |
| 4.2. A Curva Circular | 23 |
| 4.2.1 Aplicação..... | 23 |
| 4.2.2 Valores Limites e de Referência | 24 |
| 4.3 A Curva de Transição | 25 |
| 4.3.1 Aplicação..... | 25 |
| 4.3.2 Valores Limites | 25 |
| 4.3.3 Formas de Curva de Transição..... | 26 |
| 5. Elementos Altimétricos..... | 29 |
| 5.1 Inclinação Longitudinal..... | 29 |
| 5.1.1 Aplicação | 29 |
| 5.1.2 Valores Limites e de Referência | 29 |
| 5.1.3 Áreas de Giro em Inclinações Longitudinais Relativamente Pequenas | 30 |
| 5.2 A Curva Vertical | 30 |
| 5.2.1 Aplicação | 30 |
| 5.2.2 Valores Limites e de Referência | 30 |
| 5.2.3 Inclinação Longitudinal Mínima da Calha para Drenagem de Borda-Alta nas Mudanças de Inclinações Longitudinais | 31 |
| 6. O Traçado Espacial | 33 |
| 6.1 Elementos do Traçado Espacial | 33 |
| 6.2 A Concepção do Espaço de Trânsito | 34 |
| 6.2.1 Elementos do Plano Horizontal | 34 |
| 6.2.2 Elementos do Plano Vertical Longitudinal..... | 35 |
| 6.2.3 A Sobreposição do Plano Horizontal com o Plano Vertical Longitudinal | 36 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7. Elementos de Projeto na Seção Transversal | 41 |
| 7.1 A Inclinação Transversal na Reta | 41 |
| 7.1.1 A Inclinação Transversal da Pista de Trânsito..... | 41 |
| 7.1.2 A Inclinação Transversal dos demais Elementos da Seção Transversal na Reta | 41 |
| 7.2 A Inclinação Transversal na Curva Circular | 41 |
| 7.2.1 A Inclinação Transversal da Pista de Trânsito..... | 41 |
| 7.2.2 Inclinação Transversal dos Demais Elementos da Seção Transversal na Curva Circular..... | 42 |
| 7.2.3 Inclinação Transversal com Caimento no Sentido da Borda Externa da Curva (“Inclinações Negativas”) | 42 |
| 7.3 Rampas e Giros | 42 |
| 7.3.1 Aplicação | 42 |
| 7.3.2 Valores Limites e de Referência | 43 |
| 7.3.3 Consideração ao escoamento das Águas | 44 |
| 7.3.4 Formas de Giro da Pista de Trânsito | 44 |
| 7.3.5 Casos Especiais de Giro | 47 |
| 7.4 Alargamento da Pista de Trânsito | 47 |
| 7.5 A Largura Adicional da Pista em Curvas | 47 |
| 7.6 Voltas | 48 |
| 8. Elementos de Projeto relacionados com a Visibilidade | 49 |
| 8.1 Distâncias de Visibilidade Necessárias | 49 |
| 8.1.1 Distância de Visibilidade Necessária para Paradas..... | 49 |
| 8.1.2 Distância de Visibilidade Necessária para Ultrapassagens | 49 |
| 8.2 As Distâncias de Visibilidade Existentes para Parada e para Ultrapassagem | 50 |
| 9. Coletânea dos Elementos de Projeto | 51 |
| Glossário | 69 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Conteúdo

A parte *Condução do Traçado* das Diretrizes para a Concepção de Estradas (**DCE-C**) contém os princípios, a metodologia e valores limites e referências para a concepção de estradas novas (implantação), para a reforma e para a ampliação de estradas fora e dentro de áreas urbanizadas (**tabela 1**).

É tratado aqui a configuração geométrica do traçado da estrada e das faixas de trânsito e também são dadas indicações e princípios para a elaboração espacial do traçado e a concepção do espaço de trânsito.

1.2 Área de Aplicação

As estradas para o trânsito público, de acordo com as *Diretrizes para a Concepção de Estradas, Parte: Encadernamento Funcional de Redes (DCE-R)*, são divididas em cinco categorias de **A** até **E**, apresentadas nas **Tabelas 1 e 2**, de acordo com:

- posição (fora ou dentro de áreas urbanizadas);
- ocupação das margens (com ou sem urbanização);
- função determinante (interligação, integração de áreas, local).

De acordo com sua importância para interligações e conexões na rede viária, identificados pelas escalas de funções **I** até **VI**, pode-se, de acordo com a **DCE-R**, dividir as estradas dos grupos de categoria **A** até **E** em **16** subgrupos significativos. A **Tabela 2** mostra estas categorias de estradas e suas determinadas características de projeto e de operação.

A **DCE-C** se aplica para a implantação, a reforma e a ampliação de estradas do grupo de categoria **A** e para as das categorias **B I** e **B II**. Para as estradas sem urbanização nas margens das categorias **B III** e **B IV** e também para as estradas com urbanização nas mar-

gens dos grupos de categoria **C** até **E**, se aplicam as **RCE-EVP¹⁾** e as **RCE-EIA²⁾**.

As estradas da categoria **A VI** (caminhos rurais e florestais) são concebidas de acordo com outros modelos técnicos.

1.3 Objetivo

As **DCE-C** formam a base para a concepção de estradas seguras e adequadas à função a que se destinam. Elas documentam o nível técnico atual de conhecimento e suas especificações são baseadas em fundamentos teóricos, resultados de pesquisas e na experiência.

Sua aplicação deve fomentar tanto a uniformidade construtiva de estradas de mesma função bem como deve tornar claramente diferenciáveis, através de regulamentações específicas, as estradas com diferentes funções. Os princípios básicos de projeto das **DCE-C** relacionados às categorias de estrada são apresentadas na **Tabela 3**.

A diferenciação dos princípios básicos relativamente à função possibilita um melhor alcance dos objetivos relacionados ou não com o tráfego e o trânsito nas diversas estradas. Por meio de uma definição diferenciada dos elementos de projeto, são atendidos também os requisitos:

- da estruturação regional e do planejamento regional;
- da proteção à natureza e do cuidado paisagístico;
- do plano diretor e também como da concepção da geometria espacial da estrada;
- da economia na construção e na operação;
- da economia de combustível;
- da proteção contra emissões poluentes.

1) Recomendações para a Concepção de Estradas Urbanas Principais.

2) Recomendações para a Concepção de Estradas para Integração de Áreas.
DCE-C - 02/2000

Tabela 1: Campo de Aplicação da DCE-C

| Grupo de Categoria Função | | fora de Áreas urbanizadas | dentro de Áreas urbanizadas | | | |
|----------------------------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|----------|----------|
| | | sem urbanização nas margens | com urbanização nas margens | | | |
| | | interligação | | integração | local | |
| | | A | B | C | D | E |
| interligação longa | I | A I | B I | C I | | |
| interligação supra-regional / regional | II | A II | B II | C II | D II | |
| interligação de comunidades | III | A III | B III | C III | D III | E III |
| integração de Áreas | IV | A IV | B IV | C IV | D IV | E IV |
| interligação secundária | V | A V | - | - | D V | E V |
| caminho | VI | A VI | - | - | - | E VI |

DCE-C, DCE-S

RCE-EIA

RCE-EUP

-

normalmente não ocorre

muito problemático

problemático

não praticável

Tabela 2: Classificação das Estradas e suas Características Técnicas e Operacionais

| Função da Estrada | | Características de Projeto e de Operação | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Grupo de Categoria | Categoria da Estrada | Tipo de Tráfego | Velocidade Admissível ⁽²⁾ V _{adm} (km/h) | Seção Transversal | Interseções | Velocidade de Projeto V _p (km/h) |
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| A estradas sem urbanização nas margens; fora de áreas urbanizadas; com função determinante de interligação | A I interligação longa | vam vam | nenhuma ≤ 100 [120] | pista dupla pista simples | níveis diversos [nív. div.] nível único | 120 100 100 90 [80] |
| | A II interligação supra-regional/ regional | vam [vam] geral | nenhuma ≤ 100 | pista dupla pista simples | nív. div. [nível único] nível único | 100 90 [80] 90 80 [70] |
| | A III interligação de comunidades | vam geral | ≤ 100 ≤ 100 | pista dupla pista simples | [nív. div.] nível único nível único | [90] 80 70 80 70 60 |
| | A IV interligação com função de integração de áreas | geral | ≤ 100 | pista simples | nível único | 70 60 [50] |
| | A V interligação secundária | geral | ≤ 100 | pista simples | nível único | [50] |
| | A VI caminho rural | geral | ≤ 100 | pista simples | nível único | nenhuma |
| B estradas sem urbanização nas margens; em áreas urbanizadas e pré-urbanizadas; com função determinante de interligação | B I auto-estrada urbana | vam | ≤ 100 | pista dupla | nív. div. | 100 90 80 [70] |
| | B II de trânsito rápido | vam | ≤ 80 | pista dupla | nív. div. [nível único] | 80 70 [60] |
| | B III principal | geral geral | ≤ 70 ≤ 70 | pista dupla pista simples | nível único nível único | 70 60 [50] 70 60 [50] |
| | B IV coletora principal | geral | ≤ 60 | pista simples | nível único | 60 50 |
| C estradas com urbanização nas margens; em áreas urbanizadas; com função determinante de interligação | C III principal | geral geral | 50 50 | pista simples | nível único nível único | [70] [60] 50 [40] [60] 50 [40] |
| | C IV coletora principal | geral | 50 | pista simples | nível único | 50 [40] |
| | D IV coletora | geral | ≤ 50 | pista simples | nível único | nenhuma |
| D estradas com urbanização nas margens; em áreas urbanizadas; com função determinante de integração | D V de acesso às propriedades nas margens | geral | ≤ 50 | pista simples | nível único | nenhuma |
| | E V de acesso às propriedades nas margens | geral | velocidade de pedestre | pista simples | nível único | nenhuma |
| | E VI caminho urbano | geral | velocidade de pedestre | pista simples | nível único | nenhuma |

[] - valores de exceção

vam - veículos automotores

1) Copiada da DCE-C (RAS-L Edição 1995)

2) Nos segmentos fora de interseções e de acordo com a legislação Alemã

Tabela 3: Elementos de Conceção para Estradas do Grupo de Categoria A e para as Categorias B I e B II

| Grupo de Categoria | Categoria da Estrada | Princípio de Projeto | Determinação da V_{85} | Aproveitamento do Atrito Radial | Curva de Transição | Relação de Raios | Tempo de Percepção e Reação | Distância de Visibilidade para Ultrapassagem (m) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| <p>A</p> <p>estradas sem urbanização nas margens; fora de áreas urbanizadas; com função determinante de interligação</p> | A I interligação longa | deslocamento dinâmico | pista dupla: com $V_p > 100$ km/h: $V_{85} = V_p + 10$ km/h com $V_p < 100$ km/h: $V_{85} = V_p + 20$ km/h Anexo 1: pista simples: caso 1: dependente de C e B caso 2: dependente de R e B | 50 % com q_{max} 10 % com q_{min} | necessária | necessária | 2,0 s | necessária (pista simples) |
| | A II interligação supra-regional/regional | | | | | | | |
| | A III interligação de comunidades | | | | | | | |
| | A IV interligação com função de integração de áreas | | | | | | | |
| | A V interligação secundária | | | | | | | |
| | A VI caminho rural | | | | | | | |
| <p>B</p> <p>estradas sem urbanização nas margens; em áreas urbanizadas e pré-urbanizadas; com função determinante de interligação</p> | B I auto-estrada urbana | deslocamento geométrico | V_{85} = velocidade admissível | 50 % com q_{max} 10 % com q_{min} | necessária | necessária | não se aplica | não necessária |
| | B II de trânsito rápido | | | | | | | |

1.4 Aplicação

As Diretrizes para a Condução do Traçado de Estradas não podem oferecer soluções padronizadas para todos os trabalhos de concepção devido a sua própria natureza e objetivo. Elas contêm, por esta razão, uma tolerância quanto ao cálculo e a avaliação e tal tolerância deverá ser utilizada juntamente com uma ponderação cuidadosa nas necessidades do planejamento mencionadas abaixo.

Na aplicação das diretrizes não se deve utilizar parâmetros rígidos, mas sim terão que ser ponderadas as relações entre o traçado e :

- a segurança e a facilidade de movimentação do tráfego motorizado e não motorizado;
- as restrições paisagísticas e urbanísticas;
- a economia na construção e na operação;
- a proteção ecológica ao meio ambiente;
- as exigências dos usos não relacionados com o trânsito.

As definições encontradas nas diretrizes não isentam de uma cuidadosa avaliação do projeto caso a caso, especialmente quando se tratar das considerações das exigências do meio ambiente e de sua ponderação com os requisitos de segurança e aspectos econômicos. Nestes casos, a função de planejamento deve ser vista sob o aspecto da análise das situações de conflito entre a demanda do tráfego e os demais requisitos, devendo-se, com a análise dos diversos objetivos, encontrar soluções individuais.

Em alguns casos especiais justificados podem também ocorrer desvios dos valores limites exigidos pelo deslocamento dinâmico. As justificativas para estes desvios devem então ser incluídas na documentação do projeto. Este desvios geralmente efetiva uma redução do padrão técnico de trânsito e podem levar a uma redução da segurança do tráfego. Principalmente em estradas da categoria **B I** e **B II**, tais reduções do padrão técnico de trânsito são freqüentemente inevitáveis devido a restrições urbanas. No caso de tais desvios, após uma avaliação dos conflitos locais resultantes e das possibilidades de solução, deve estar fundamentado que a solução escolhida está mais de acordo com as necessidades concorrentes e é a mais aceitável em relação à segurança do tráfego e, se for o caso, reforçar esta segurança com medidas compensatórias de condução visual e de sinalização com placas.

Em estradas fora de áreas urbanizadas, o traçado deve respeitar o espaço vital marginal. Portanto, na concepção destas estradas, deve haver preocupação com as necessidades da obra da estrada e do tráfego em relação a
DCE-C - 02/2000

- proteção ambiental e o tratamento paisagístico;
- preservação dos recursos naturais;
- proteção contra as emissões poluentes

e o estabelecimento de um equilíbrio. Conseqüentemente, a segurança do tráfego deve ser sempre preferencialmente ponderada.

O tipo de relevo é decisivo para o traçado da estrada. Isto significa que a condução do traçado relacionada às dimensões dos raios (*traçado de relação*) é importante, acentuadamente para estradas em relêvos relativamente acidentados, como, por exemplo, em montanhas e colinas, tendo portanto, este relêvo, influência decisiva sobre a segurança. A obediência ao traçado de relação é aqui mais importante do que a obediência aos valores limites de traçado para os raios circulares. Em relevos relativamente planos e acidentados, um traçado de relação raramente atende as exigências de um traçado econômico e adaptado ao meio ambiente. Em regiões extensas relativamente planas, a expectativa dos motoristas não está essencialmente dirigida para um trecho relativamente denso em curvas. Nestes casos, para orientar o traçado, podem ser usadas linhas demarcatórias, como, por exemplo, limites de loteamentos, traçados de linhas de transmissão e outros traçados de trânsito e linhas marcantes na característica da paisagem, como por exemplo bordas de florestas. Um traçado "forçado" e relativamente denso em curvas se torna, em muitos casos, anti-natural e "pesado". Em relevo característico de montanhas, no qual, por exemplo, para se vencer grandes diferenças de cotas é feito um traçado em reversão (voltas), o motorista não espera um trecho confortável em termos de trânsito segundo o *traçado de relação*, mas sim espera um trecho com uma quantidade relativamente grande de curvas e de trânsito difícil. Desde que a irregularidade do traçado seja anunciada ao motorista em tempo hábil, o *traçado de relação* não precisa ser empregado, em ambos os casos.

Também nas ampliações e nas reformulações de estradas, muitas vezes se deve aceitar desvios do *traçado de relação*. Isto é aceitável quando existir visibilidade suficiente e quando os locais de perigo possam ser reconhecidos em tempo hábil ou se possa alertar para os perigos por meio de placas de sinalização.

Em estradas dentro de áreas urbanizadas, o efeito sobre as margens depende da exigência dos terrenos limítrofes e das edificações. Por isto, o projeto de estradas das categorias **B I** e **B II** requer especialmente o controle de sua tolerância com o meio marginal, visando:

- os requisitos de aproveitamentos não relacionados com o trânsito;

- os efeitos de ruídos e substâncias nocivas;
- a utilização de áreas verdes;
- a imagem da cidade.

No texto da diretriz, bem como nas tabelas e quadros para a concepção da pista de trânsito, são dados valores limites (mínimos e/ou máximos), cujas definições

se derivam dos requisitos para um desenrolar seguro do tráfego em termos de deslocamento dinâmico, da movimentação, da visibilidade e da drenagem, relativamente à um veículo individual. As definições que resultarem por motivos de uniformização e de estética são caracterizados como valores orientativos.

2. O Desenrolar da Concepção e suas Etapas

A concepção de uma estrada, definida como ciclo de trabalho desde a idéia até a sua implantação, é efetuada em diversas fases, com o resultado de um trabalho iterativo de progressão, definido para registro através de desenhos, cálculos e descrição dos projetos.

Estas fases seguem em etapas de desenrolar que se inter-relacionam, nas quais a documentação se torna cada vez mais detalhada e precisa. Em cada fase são realizadas decisões de avaliação e decisões intermediárias, as quais devem ser documentadas cuidadosamente. Somente assim o desenrolar lógico dos trabalhos de uma concepção se torna consultável também no final do processo. Uma componente abrangente e integrado de todas as fases da concepção é o *Exame de Suportabilidade com o Meio Ambiente (ESMA)*.

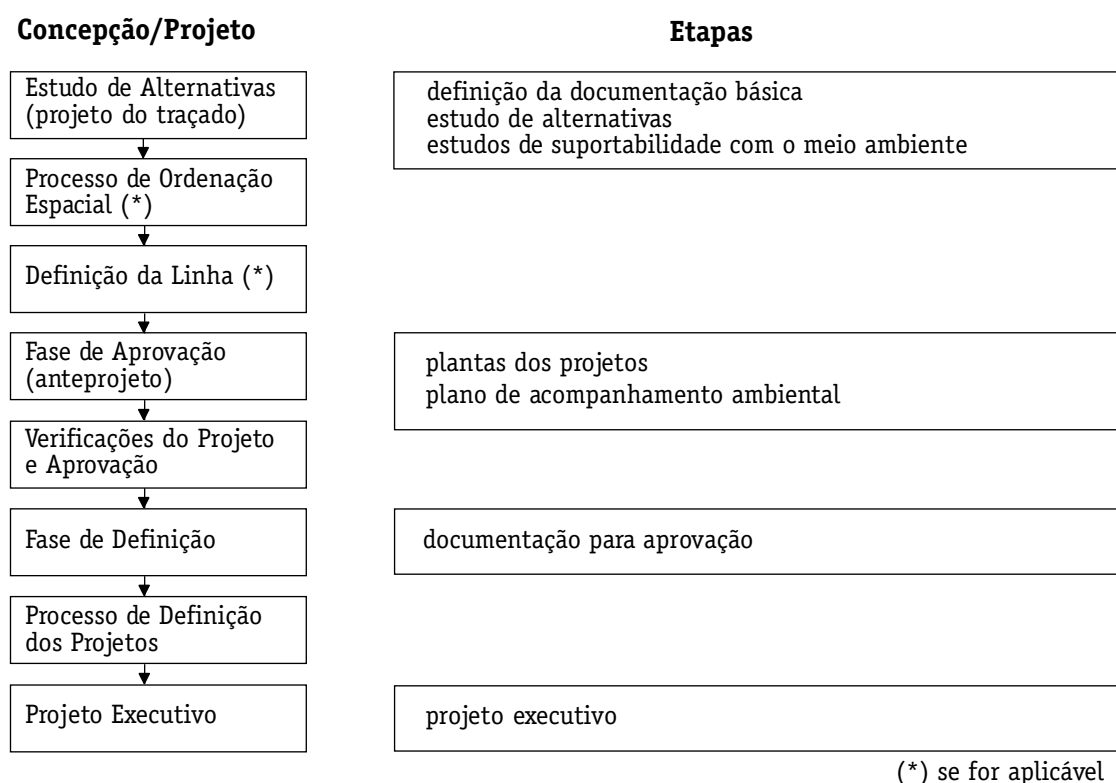
Em todas as fases do planejamento deve ser realizado um trabalho de projeto nas quais também as **DCE-S** encontram aplicação.

O desenrolar geral da concepção e as etapas de traba-

lho é mostrado no **Quadro 1** como exemplo para uma obra de implantação. Em outras categorias de estradas e em medidas de melhoramento, com base em legislações territoriais diferenciadas, resultam seqüências mais ou menos modificadas.

A aplicação das **DCE-C** e de outras diretrizes e publicações técnicas importantes para a concepção de estradas é mostrado no **Quadro 2** para as distintas fase da concepção .

Os múltiplos inter-relacionamentos entre o comportamento do tráfego, concepção da estrada e aspectos ambientais, requerem, nos trabalhos de projeto e também dentro das diversas fases do planejamento, um procedimento iterativo. Para se caracterizar este processo iterativo, é então representado no **Quadro 3**, no exemplo das diretrizes para concepção do traçado, a metodologia do desenrolar da concepção e, novamente, com seu relacionamento com as diretrizes para a concepção e publicações técnicas mais importantes.



(*) se for aplicável

Quadro 1: Fases de Planejamento e Etapas de Projeto de uma Concepção de Implantação¹⁾

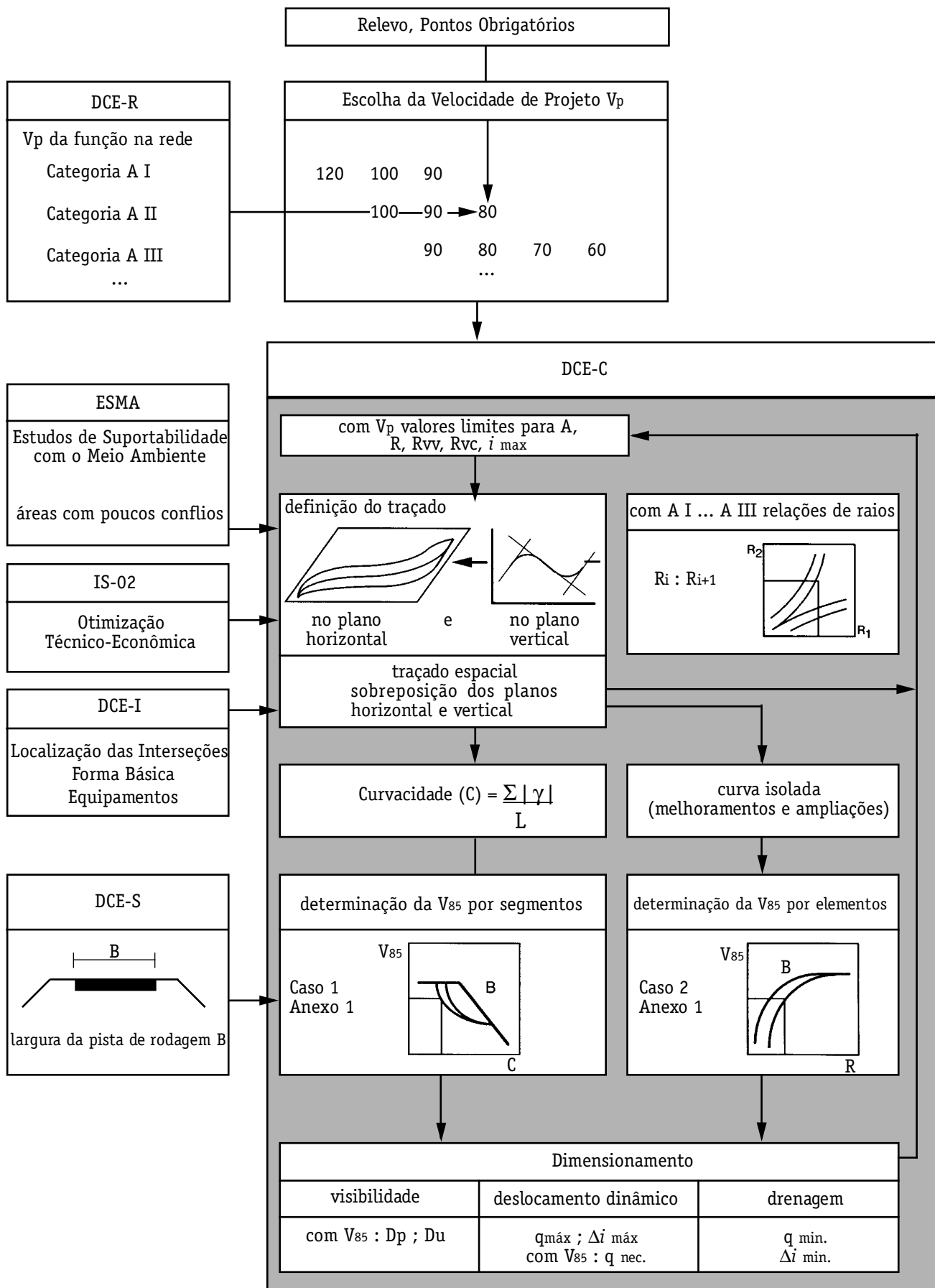
1) Adaptado parcialmente para nossa situação
DCE-C - 02/2000

| | Estudo de Alternativas Projeto do Traçado | Fase de Aprovação (anteprojeto) | Fase de Definição | Projeto Executivo |
|----------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------|
| Qualidade de Tráfego | Redes de Estradas (DCE-R) | | | |
| | Dimensionamento da Seção Transversal (DCE-S) | | | |
| Segurança | Condução do Traçado (DCE-C) | | | |
| | Seção Transversal (DCE-S) | | | |
| | Interseções (DCE-I) | | | |
| | Detalhamentos Fios | | | |
| Meio Ambiente | Impacto Ambiental | | | |
| | | Plano de Acompanhamento de Proteção Ambiental (ver DCE-TP-1) | | Plano Executivo de Proteção Ambiental (ver DCE-TP-2) |
| | Emissões (DPCR, FTPA) | | | |
| Economia | Análise de Custos/Benefício (IS-02) ¹⁾ | | | |

DCE-TP : Tratamento Paisagístico
DPCR : Proteção Contra Ruídos
FTPA : Poluição Atmosférica

1) adaptado

Quadro 2: Aplicação das DCE-C e outras Diretrizes e Publicações por Etapas Distintas da Concepção



Quadro 3: Metodologia do Desenrolar da Concepção de acordo com as DCE-C (estradas rurais)
DCE-C - 02/2000

2.1 Estudo de Alternativas

O estudo de alternativas serve para a definição do traçado e inicia geralmente com base na documentação de um plano diretor de estradas, com a definição dos limites e a análise do espaço do projeto. Ele deve incluir todos as variantes significativas do ponto de vista de trânsito e deve apresentar uma quantidade tal que possam ser determinados todos os efeitos significativos para as áreas marginais da futura estrada.

Com isto, também são estudados os possíveis efeitos sobre os patrimônios naturais protegidos de acordo com a legislação, dentro de um Estudo de Suportabilidade com o Meio Ambiente (ESMA). Em uma análise da sensibilidade são avaliadas as áreas do espaço da concepção, levando em conta também os patrimônios naturais sob proteção oficial. A partir desta análise espacial resultam, de um lado, as regiões que possuem situações especialmente conflitantes e, por outro lado, as regiões mais pobres em conflitos ou corredores mais pobres em conflitos, nas quais o engenheiro de estradas desenvolve então diversas variantes para o empreendimento de *implantação* nos planos vertical e horizontal. Neste caso, devem ser consideradas todas as variantes dentro deste corredor que forem razoáveis e, se for o caso, incluída também uma variante de melhoria da ligação existente.

As vantagens e desvantagens de todas as variantes devem finalmente ser determinadas através de uma larga comparação de variáveis e serem confrontadas. Juntamente deve ser também considerada a assim denominada *solução zero* (fazer nada) como caso de referência. São importantes os seguintes critérios de avaliação, entre outros:

- efeitos sobre o tráfego e o trânsito (qualidade da interligação, a capacidade, a segurança, o alívio de vias dentro de áreas urbanizadas)
- efeitos sobre bens de proteção ambiental (homem, animais, plantas, solo, água, ar, clima, paisagem, bens culturais e demais bens específicos).
- preocupações de planejamento espacial (p. ex.: paisagem local, possibilidades de crescimento urbano, restrições nas periferias de localidades, intenções de planejamento por terceiros)
- intervenções em estruturas existentes (p. ex.: estrutura habitacional e econômica, agricultura e manejo florestal, requisição de edificações e áreas, seccionamento do terreno, acessibilidade)
- preocupações de ordem econômica (p. ex.: custos especiais de construção, execução da obra, custos operacionais).

A variante resultante deste processo de comparação e

do processo de filtragem é a variante preferencial. Esta servirá como esboço do estudo de alternativas (projeto do traçado) para o processo de definição da linha. De acordo com as legislações sobre estradas e as gerais, se for o caso deve ser estabelecido um processo de ordenação espacial e/ou um processo de definição do traçado. O objetivo deste processo de definição de traçado é coordenar o empreendimento da implantação da estrada com outros planejamentos significativos do espaço e com os objetivos da ordem espacial e do planejamento territorial. Ao lado de uma participação do órgão mantenedor com as preocupações de ordem pública, neste contexto, inicialmente, há também uma participação formal da comunidade e das associações de proteção ambientais reconhecidas.

2.2 O Anteprojeto para Aprovação do Mantenedor

Para que os levantamentos, avaliações e definições efetuados no anteprojeto tenham uma consistência ampla, dentro do possível, até a definição da concepção, as etapas devem ter uma seqüência rápida. Procura-se realizar um "projeto em uma única etapa", tal projeto tendo então diferentes componentes de acordo com os propósitos dos diferentes processos (autorizações da administração interna, definição de projeto).

Com base no esboço do estudo de alternativas acordado, é elaborado então o projeto para aprovação (anteprojeto). Este serve para os controles administrativos internos, técnicos, controles de ordem econômica e para a concessão das medidas de construção da estrada e forma a base para a aquisição antecipada de terrenos.

O anteprojeto é elaborado de acordo com as "Instruções e Diretrizes Concernentes", geralmente na escala **1:5.000** ou **1:1.000**. No âmbito da configuração desta fase, devem ser elaborados, especialmente, os seguintes componentes:

- projeto geométrico da estrada no plano horizontal e no vertical
- plano de acompanhamento de tratamento paisagístico
- estudos hidrológicos
- estudos técnicos de emissões (ruídos, substâncias nocivas).

Além disto, para as demais partes do empreendimento de implantação de uma estrada, podem ser necessários projetos de detalhamento especiais (p. ex.: interseções, obras especiais, etc.).

2.3 O Anteprojeto para Aprovação da Entidade Governamental

Nesta fase dos trabalhos, o Estudo de Alternativas tem seu desenrolar continuado até o anteprojeto para aprovação pela entidade governamental correspondente. Neste são representados todos os detalhes legais relevantes com suficiente exatidão, geralmente na escala **1:1.000** ou **1:1.500**. A partir do anteprojeto para aprovação, deve ser possível então identificar o tipo e o grau de envolvimento de cada técnico participante. O mesmo constitui a base para uma avaliação geral de todos os requisitos oficiais, legais e privados e para a regulamentação das questões de desapropriação e indenização.

2.4 O Projeto Executivo

Para a preparação da execução da obra é elaborado então um projeto executivo. Neste são assumidos os regulamentos do processo do anteprojeto e com seus efeitos sobre o empreendimento e incluídos na concepção. Assim, é necessário então um elevado grau de detalhamento (p. ex.: plantas de estações, perfis transversais etc.). O projeto deve ser concretizado a tal ponto que possa servir como uma base segura para a concorrência pública e distribuição dos lotes de construção e para execução da obra.

3. Velocidades Determinantes

3.1 Explicação dos Conceitos

A *velocidade de projeto* V_p como grandeza técnica orientativa e econômica é determinada de acordo com as condições locais e a função prevista da estrada na rede. É levado em consideração a qualidade desejada para esta função no desenrolar do tráfego. A V_p define os limites e valores orientativos para a maioria dos elementos de projeto (ver **item 9**), especialmente:

- os raios mínimos de curvas horizontais;
- os parâmetros mínimos das clotóides;
- as inclinações longitudinais máximas; e
- os raios mínimos dos cumes e das baixadas.

Com isto são influenciados, de modo decisivo, a característica do trecho e, conseqüentemente, a segurança e a qualidade do desenrolar do tráfego e também os aspectos econômicos. A velocidade de projeto V_p deve, por isto, dentro do possível, ser constante ao longo de segmentos interligados de trechos.

A *velocidade* V_{85} representa uma grandeza para o controle do projeto e de seus elementos no plano horizontal para o dimensionamento dinâmico e de elementos no plano vertical longitudinal e transversal relevantes para a segurança. Ela deve representar o real comportamento do tráfego e é conceituada como sendo uma velocidade que não é ultrapassada por **85 %** dos carros de passeio, numa condição de pista livre e molhada. Para estradas de pista simples estão disponíveis suficientes processos para a avaliação da V_{85} (ver **item 3.2** e o **anexo 1**). No entanto, em estradas rurais de pista dupla e em estradas do grupo de categoria **B**, a velocidade V_{85} é uma grandeza pré-definida de acordo com a avaliação dos requisitos de segurança e economia.

A velocidade V_{85} normalmente varia ao longo de um trecho. Os limites de variação permissíveis constam nos **Itens 3.3** e **3.4**. Com a V_{85} são determinados:

- a inclinação transversal na curva;
- raios mínimos para os casos de inclinação transversal com caimento no sentido da borda externa da curva
- as distâncias de visibilidade para parada;
- as distâncias de visibilidade necessárias para ultrapassagem.

3.2 Determinação

A *velocidade de projeto* V_p é obtida na **Tabela 2** em função da categoria da estrada. De acordo com a **quadrante DCE-C - 02/2000**

idade de trânsito desejada (definida pela velocidade média de viagem de acordo com a **DCE-R**) e pelas dificuldades do relevo ou pelo acúmulo de pontos obrigatórios, devem então ser escolhidos os valores superiores ou inferiores das velocidades indicadas.

Em estradas das categorias **B I** e **B II**, a velocidade de projeto V_p corresponde, em geral, à velocidade máxima admissível V_{adm} .

A velocidade V_{85} é definida ou calculada como a seguir:

- em estradas de pista simples da categoria **A**, a velocidade V_{85} varia de acordo com a geometria do segmento em consideração. Então, para estas estradas, com base nos relacionamentos conhecidos entre a característica do segmento e a velocidade de trânsito, a velocidade V_{85} é avaliada de acordo com os processos contidos no **Anexo 1**. Estes processos devem ser utilizados separadamente de acordo com o tipo de obras: Implantação, **Caso 1** ou reforma e ampliação, **Caso 2**.

- nas estradas de pista simples (**2+1**) (**três faixas**), as faixas para ultrapassagens proporcionam trânsito em alta velocidade e, portanto, este tipo de estrada não pode ser considerada como uma estrada de pista simples regular para os processos de determinação das velocidades V_{85} . A V_{85} é portanto determinada de acordo com a **Equação (2)**, não podendo porém exceder o valor $V_{85} = 100^{(1)}$ km/h, (velocidade máxima admissível para estradas de pista simples)

- mesmo em estradas de pista dupla da categoria **A** não há conhecimentos seguros sobre o relacionamento da característica do segmento e a velocidade de trânsito. A velocidade V_{85} nestas estradas é definida então conforme as **Equações (1) e (2)**:

$$V_{85} = V_p + 10 \text{ km/h para } V_p \geq 100 \text{ km/h} \quad (1)$$

$$V_{85} = V_p + 20 \text{ km/h para } V_p < 100 \text{ km/h} \quad (2)$$

- em estradas das categorias **B I** e **B II** a velocidade V_{85} é fixada em $V_{85} = V_{adm}$.

3.3 Compatibilidade entre a Velocidade de Projeto V_p e a Velocidade V_{85}

A velocidade de projeto V_p e a velocidade V_{85} devem estar em uma proporção equilibrada entre si. Com isto pretende-se que a característica do segmento e o comportamento dinâmico dos motoristas sejam ajustados entre si. Isto é válido especialmente para estradas com

1) De acordo com a Legislação Alemã

raios de curva relativamente pequenos ou uma curvacidade relativamente grande.

Em velocidades de projeto relativamente médias, um traçado horizontal com raios mínimos permite também velocidades V_{85} bem acima do que as que foram desejáveis através da escolha da V_p . Conseqüentemente, o ajuste entre V_p e V_{85} se torna dificultoso. Se, nestes casos, não for possível a escolha de uma V_p superior para o segmento do trecho considerado, pelo menos a transição entre segmentos de características diferentes deve ser concebida cuidadosamente com o uso de medidas de compensação de traçado (**anexo 2**).

3.4 Uniformidade

A velocidade de projeto V_p deve, dentro do possível, permanecer constante em segmentos os mais longos e interligados dentro de um mesmo relevo, para que a característica do segmento no percurso de um traçado de estrada seja equilibrado para o motorista. Ao longo de um segmento mais longo pode, no entanto, ocorrer também uma mudança da característica deste e assim ser possível uma troca da velocidade de projeto. Então, nestes casos, os elementos de projeto são cuidadosamente ajustados entre si, devendo ser modificados gradualmente.

A velocidade realmente utilizada, ajustada pela V_{85} , deve ser a mais constante possível. Isto é assegurado

antes de tudo através das relações de raios exigidas de acordo com o **Item 4.2.2**. Uma seqüência de elementos equilibrada dinamicamente dentro de segmentos com a mesma velocidade de projeto favorece um modo de tr nsitar constante e econ mico. Em estradas da categoria **B I** e **B II**, o modo de tr nsitar   influenciado mais pela velocidade máxima admissível do que pela escolha dos elementos de projeto baseada no deslocamento dinâmico. Ainda assim não se deve abrir mão do princípio do equilíbrio entre elementos consecutivos do projeto, se, com isto, não houver desvantagens substanciais para outros objetivos (por exemplo concep o urbanística e prote o a monumentos).

Caso as velocidades V_{85} determinadas em segmentos seqüenciais se diferenciarem em mais de **10 km/h**, deve então ser verificado se os valores de velocidade de ambos os segmentos podem ser adaptados entre si ou se, através de um segmento adicional intermediário, pode ser criada uma transi o progressiva de um nível de velocidade para o outro.

Na amplia o de segmentos de estradas existentes, devem ser observados os elementos de projeto dos segmentos interligados. Quando existirem diferenças nítidas na característica do segmento, então as transi es devem ser projetadas cuidadosamente. Na transi o de segmentos ampliados para os não ampliados de estradas existentes, aconselha-se sempre uma sinaliza o adequada.

4. Elementos do Projeto no Plano Horizontal

4.1 A Reta

4.1.1 Aplicação

A reta pode ser vantajosa, como elemento do projeto, para estradas do grupo de categoria **A**:

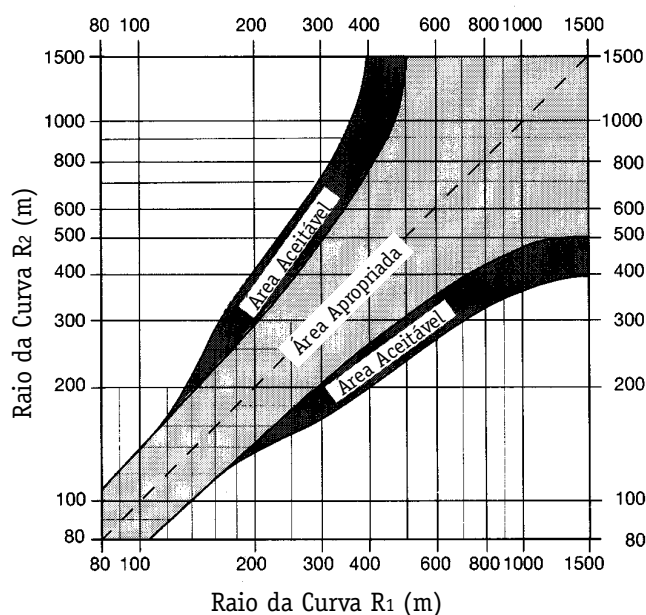
- em circunstâncias específicas de relevo, como, por exemplo, em regiões planas e em vales largos;
- na área de interseções;
- na geração de distâncias de visibilidade para ultrapassagem em estradas de pista simples, especialmente em baixadas; e
- no caso de traçado paralelo a ferrovias, canais e fronteiras.

Para estradas do grupo de categoria **B I** e **B II** existem vantagens :

- quando houver restrições urbanas pré-estabelecidas; e
- na área de interseções.

No entanto, as retas longas, com inclinação longitudinal constante, especialmente em estradas da categoria **A**, tem a desvantagem de:

- dificultar a avaliação das distâncias e das velocidades dos veículos que vem em sentido contrário e dos que estão no mesmo sentido;
- induzir o motorista a transitar em velocidades excessivas;



Quadro 4: Relacionamento entre Raios Sequenciais nas Estradas do Grupo de Categorias A

DCE-C - 02/2000

- aumentar o perigo de ofuscamento por veículos vindos em sentido contrário, à noite;
- se adaptarem com dificuldade à estrutura da paisagem em relevo acidentado.

Conseqüentemente, na implantação de estradas do grupo de categoria **A**, devem ser evitadas retas muito longas com inclinações longitudinais constantes e devem, portanto, ser substituídas por curvas com raios relativamente grandes.

4.1.2 Valores Referenciais

Devido ao ofuscamento noturno, o comprimento máximo das retas, L_{max} (m), com inclinação longitudinal constante, em estradas do grupo de categoria **A**, não deve ultrapassar numericamente a um valor correspondente a **20** vezes a velocidade de projeto V_p (km/h).

Caso, entre curvas fletidas para lados contrários, seja necessário a introdução de uma reta relativamente curta, então o seu comprimento máximo permissível é determinado de acordo com a **Equação (7)** (ver item **4.3.3.2**).

Em estradas do grupo de categoria **A** deve-se evitar um segmento reto entre curvas fletidas para o mesmo lado. Caso isto não seja possível, o comprimento mínimo deste segmento L (m) deve ser numericamente em torno de **6** vezes o valor da velocidade de projeto V_p (km/h), para que seja garantida a constância da condução ótica.

Em estradas do grupo de categoria **A**, as retas, as curvas circulares e as curvas de transição devem ser combinadas entre si, de tal forma que, sob consideração dos elementos do plano vertical longitudinal, seja conseguido um bom traçado espacial.

4.2. A Curva Circular

4.2.1 Aplicação

Os raios das curvas devem ter tal dimensão, que:

- se adaptem em dimensão e seqüência à estrutura do relevo e aos elementos marcantes da paisagem e do relevo;
- estejam em equilíbrio com os elementos do plano vertical longitudinal em dimensão, seqüência e efeito espacial;
- proporcionem um modo de dirigir constante, ou seja, uma relação equilibrada entre a velocidade de projeto V_p e a velocidade V_{85} .

Na ampliação de estradas existentes do grupo de categoria **A** e na implantação, na reforma e na ampliação de estradas das categorias **B I** e **B II**, principalmente as exigências de proteção à paisagem e às condições marginais de urbanização requerem, isoladamente, na definição dos raios, um cuidadoso equilíbrio entre os requisitos dos aproveitamentos das áreas marginais e da harmonia do traçado.

4.2.2 Valores Limites e de Referência

Em estradas do grupo de categoria **A**, por motivo de segurança do tráfego, os raios das curva circulares seqüenciais devem estar em uma proporção equilibrada entre si (*traçado de relação*).

O relacionamento entre os raios circulares em curvas seqüenciais esta apresentado no **Quadro 4**. Em estradas das categorias **A I** e **A II**, a seqüência de raios deve estar posicionada na *área apropriada*. Em estradas das categorias **A III** e **A IV**, é suficiente a aplicação da *área aceitável*.

Na ampliação de estradas existentes, a observância da seqüência permitida de raios leva muitas vezes à conflitos com os objetivos relacionados aos cuidados paisagísticos ou urbanísticos das edificações urbanas. Somente poderá ser dispensada a obediência à seqüência admissível de raios em estradas das categorias **A III** e **A IV** se, devido a isto, forem evitadas conseqüências especialmente desvantajosas. Nestes casos devem ser previstas medidas compensatórias (ver também **item 1.4** e o **anexo 2**).

Arcos de raios variáveis, fletidos para o mesmo lado, com curvaturas diferentes e com tangente comum no ponto de união (*Curvas de Cesto*) devem, por princípio, ser evitados. Nestes casos, é necessário a inclusão de um arco de transição entre estes arcos (linha ovóide).

Para a seqüência *Reta - Curva de Transição - Curva Circular*, os raios mínimos de curvatura da **Tabela 4** em dependência do comprimento **L (m)** da reta se mostraram eficientes, não representando porém um limite rígido. Na aplicação da **Tabela 4** deve ser verificado se, através da V_p , já não são necessários raios mínimos maiores (**tabela 5**).

Tabela 4: Raios Mínimos das Curvas Circulares na Seqüência de Elementos Reta - Clotóide - Arco de Circunferência

| Comprimento L (m) da Reta | R min (m) do Arco de Circunferência |
|---------------------------|-------------------------------------|
| $L \geq 300$ m | R min > 400 m |
| $L < 300$ m | R min > L |

Os arcos circulares interligados através de uma reta devem manter, pelo menos, as relações do **Quadro 4**, quando o comprimento desta reta for de $L < 300$ m. A dispensa de arcos de transição para certos valores de raios consta no **Item 4.3.1**.

O arco de circunferência deve ter um comprimento suficiente para que, nele, o deslocamento do veículo, com a velocidade de projeto V_p , demore no mínimo **dois** segundos ou mais (**tabela 5**)

Os raios mínimos de curvas circulares **R_{min}** são apresentados na **Tabela 5**. Eles dependem da velocidade de projeto V_p , do aproveitamento **n** da força radial e dos valores limites da inclinação transversal **q**. No **Quadro 28** (ver **item 7.2.1**) e no **Anexo 3** podem ser obtidos detalhes sobre as relações entre os raios e as

Tabela 5: Raios Mínimos e Comprimentos Mínimos dos Arcos de Circunferência

| V_p | R min (m) | L min (m) |
|-------|-----------|-----------|
| 50 | 80 | 30 |
| 60 | 120 | 35 |
| 70 | 180 | 40 |
| 80 | 250 | 45 |
| 90 | 340 | 50 |
| 100 | 450 | 55 |
| 120 | 720 | 65 |

inclinações transversais

Caso os raios mínimos de curvatura de acordo com a **Tabela 5**, ou a seqüência de raios conforme o **Quadro 4** não puderem ser mantidos, em casos excepcionais, os efeitos de redução de segurança que conseqüentemente ocorrerem devem ser atenuados por outras medidas, como, por exemplo, melhoria do reconhecimento da curva pela liberação do campo visual. No caso de um valor inevitavelmente abaixo do valor mínimo do raio de curvatura ou da seqüência de raios necessários, é adequado também sinalizar a curva com plantio, com dispositivos condutores ou com sinais de trânsito (ver **anexo 2**).

Em estradas de pista dupla, os obstáculos visuais no espaço central separador (por exemplo, cercas anti-ofuscantes, vegetação), resultam freqüentemente na redução da distância visual para paradas. Portanto, nestes casos, deve ser verificada para a faixa interna de trânsito, a distância visual suficiente para paradas conforme o **Anexo 10**. Caso as distâncias visuais mínimas para parada não sejam alcançadas, deverá então ser cogitado, quando for o caso, uma limitação da velocidade em pista molhada, um alargamento do espaço

central separador, um deslocamento das defensas em relação a borda da pista ou a escolha de raios maiores. Os raios mínimos de *Voltas* são tratados no **Item 7.6**.

4.3 A Curva de Transição

4.3.1 Aplicação

A curva de transição deve:

- através da modificação progressiva da curvatura, proporcionar um traçado homogêneo e, assim, possibilitar uma velocidade constante e uma variação contínua da aceleração centrífuga que ocorre nos deslocamentos em curvas;
- servir de transição para a giro transversal da pista;
- efetivar um traçado satisfatório sob o aspecto visual.

O seu uso é necessário em todas as estradas.

A curva de transição é formada por uma clotóide. Neste tipo de curva, a curvatura se modifica linearmente ao longo da curva (ver o **anexo 4**). A lei de formação da clotóide é:

$$A^2 = R \cdot L \quad (3)$$

A (m) parâmetro da clotóide

R (m) raio do final da clotóide

L (m) comprimento da clotóide até o raio R

Somente se pode dispensar uma curva de transição quando o raio em questão tiver valor maior do que aqueles indicados na **Tabela 6**. Caso porém se trate de curvas com inclinação transversal com caimento no sentido da borda externa da curva, podem também ser necessários raios maiores do que os mínimos, conforme a **Tabela 12**.

Em caso de restrições locais pode-se aplicar os valores de excessão contidos da **Tabela 6**. Os valores de excessão podem também ser utilizados nos casos em que a deflexão total da curva γ for menor do que **10 graus** (*curva plana*). Porém, neste caso, o comprimento mínimo da curva L_{min} (m) deve ser o dobro do valor numérico da velocidade de projeto V_p (km/h).

Tabela 6: Raios Mínimos de Curva Circulares para a Dispensa de Curvas de Transição

| V_p (km/h) | R_{min} (m) |
|------------------------|---------------|
| ≤ 80 | 1 500 [1000] |
| > 80 | 3 000 [2000] |
| [...] valor de exceção | |

4.3.2 Valores Limites

Para que a curva de transição se destaque visualmente, ela deve provocar uma alteração da direção de, no mínimo, $\tau = 3,5$ graus, a partir do ponto de início. Disto resulta, para o menor parâmetro de clotóide permitido, a seguinte condição:

$$A_{min} = \frac{R}{3} \quad (4)$$

onde:

A (m) parâmetro da clotóide

R (m) raio do final da clotóide

Da **Equação (4)** resultam os valores dos parâmetros mínimos da clotóide da **Tabela 7**.

Tabela 7: Parâmetros Mínimos das Clotóides

| V_p (km/h) | A_{min} (m) |
|------------------------|---------------|
| 50 | 30 |
| 60 | 40 |
| 70 | 60 |
| 80 | 80 |
| 90 | 110 |
| 100 | 150 [120] |
| 120 | 240 [120] |
| [...] valor de exceção | |

No caso de raios relativamente grandes, resultam então, desta condição, curvas de transição muito longas. Para se evitar problemas com a drenagem nestes casos, em geral é necessário uma giro da pista em partes (ver **item 7.3**). Como, neste caso, podem ocorrer prejuízos ao conforto de trânsito e à dirigibilidade, o comprimento da clotóide, em raios relativamente grandes, deve ser reduzido, na medida do possível, ao necessário para a giro da plataforma com Δi_{min} segundo a **Tabela 13**. Além disto, em curvas de transição excessivamente longas relativamente, dependendo das circunstâncias, não existe espaço para uma curva principal com comprimento suficiente. Por isto, nestes casos, pode-se

escolher o parâmetro de clotóide inferior a $A = \frac{R}{3}$ [ver **anexo 5, equação (40)**]. Assim é possível desviar-se da exigência de $\tau \geq 3,5$ graus. Em ângulos relativamente pequenos, a clotóide quase não é percebida pelo motorista.

Em curvas com ângulo central relativamente pequeno, nas quais o comprimento da curva não é suficiente para se conseguir, por meio de uma clotóide de $A \geq$

$\frac{R}{3}$, um comprimento da curva principal correspondente a um tempo de deslocamento sobre ela de **2,0 s** com a **V_p**, deve-se atribuir às clotóides e à curva principal o mesmo comprimento (**LA1 = LR = LA2**).

Por motivos de segurança, como limite superior para o parâmetro de clotóide, é válida a **Equação (5)**. As clotóides que daí resultam possuem uma variação direcional máxima de **τ = 31,8 graus**.

$$A_{max} = R \quad (5)$$

onde:

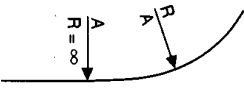
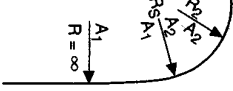
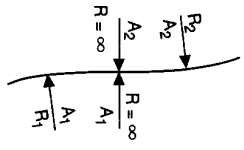
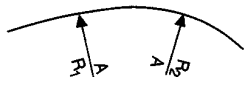
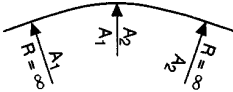
A_{max} (m) parâmetro máximo da clotóide

R (m) raio do final da clotóide

Além das condições citadas, o parâmetro da clotóide deve ser escolhido de tal maneira que a inclinação transversal total da curva seja formada dentro da curva de transição, sem que se ultrapasse as inclinações longitudinais máximas permitidas para as bordas da pista **Δi_{max}**. (ver **item 7.3.2** e o **anexo 5**).

4.3.3 Formas de Curva de Transição

Para as diversas formas da curva de transição resultam as possibilidades de aplicação mostradas no **Quadro 5**.

| União | Usar | Evitar |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Retas com Curva Circular | Clotóide Simples  | Clotóide de Cesto  |
| Duas Curvas Circulares | Clotóide Reversa  | |
| | Clotóide Oval  | |
| Duas Retas com somente Curvas de Transição | | Clotóide de Vértice  |

Quadro 5: Aplicabilidade das Clotóides

4.3.3.1 Clotóide Simples

A *clotóide simples* permite a transição entre a reta e a curva circular. Basicamente devem ser consideradas as condições conforme o **Item 4.3.2**, isto é, o parâmetro da clotóide terá que ser tanto maior quanto menor for o raio da curva circular. A transição torna-se assim mais longa e visualmente mais suave. Do mesmo modo vale também que a clotóide deve permitir a transição tão mais gradual quanto mais longa for a reta e quanto mais larga for a seção transversal da estrada. Estas recomendações valem para estradas em que a seqüência de raios, conforme o **Item 4.2.2**, se posicione na área apropriada e nas quais se espera uma velocidade uniforme.

Caso as exigências quanto à seqüência de raios não puderem ser cumpridas, então terá que se chamar a atenção para curva circular com suficiente antecedência, principalmente em retas relativamente longas. Neste caso pode ser vantajosa, excepcionalmente, a

escolha de um parâmetro de clotóide $A = \frac{R}{3}$. A transição

terá efeito mais “pesado” e, devido a isto, o traçado de curva circular se torna mais claro ao motorista sendo então este levado a diminuir a velocidade no momento que possa reconhecer visualmente e em tempo hábil esta transição mais “pesada”.

4.3.3.2 Clotóide Reversa

A *clotóide reversa* é composta de duas clotóides, fletidas para lados diferentes, as quais se tocam em seus pontos de origem ($R = \infty$). Para cada clotóide valem as condições da clotóide simples (ver **item 4.3.3.1**). No interesse de um traçado harmônico de linhas e de uma formação regular das rampas da inclinação transversal, ambos os ramos da clotóide devem ter aproximadamente o mesmo parâmetro, especialmente em estradas das categorias **A I** e **A II**. No caso de parâmetros desiguais em estradas das categorias **A I** e **A II** e, se possível, também nas estradas das categorias **A III**, **B I** e **B II**, deverá ser observada a seguinte condição para os casos de **A₂ ≤ 200 m**:

$$A_1 \leq 1,5 \cdot A_2 \quad (6)$$

onde:

A_1, A_2 (m) parâmetros das clotóides

Para a seqüência de raios das duas curvas circulares entre as quais é inserida uma clotóide reversa deve-se observar o **Quadro 4**.

Para um ajustamento aos pontos obrigatórios locais, são permitidas retas curtas entre as duas clotóides. Para que seja mantida a impressão visual da clotóide de volta, o comprimento da reta intermediária não deve

exceder o valor da **Equação (7)**.

Quando uma reta intermediária relativamente mais longa for inevitável, deve então ser observado que, nesta região, o valor da curvacidade do plano vertical longitudinal permaneça menor do que o valor da curvacidade do plano horizontal, para que sejam evitadas descontinuidades visuais.

$$L_I \leq 0,08 \cdot (A_1 + A_2) \quad (7)$$

onde:

A_1, A_2 (m) parâmetros das clotóides

L_I (m) comprimento da reta intermediária

4.3.3.3 Clotóide Oval

A *clotóide oval* é um segmento de clotóide que une duas curvas circulares fletidas para o mesmo lado. As curvas circulares devem estar dispostas de tal forma que não se interceptem e que não tenham o mesmo centro.

Para a seqüência dos raios das duas curvas circulares entre as quais é inserida uma clotóide oval devem ser observados os limites citados no **Quadro 4**. Para que a clotóide oval apareça visualmente, ela deve apresentar uma modificação da direção de $\tau \geq 3,5$ graus.

Se as duas curvas circulares a serem unidas estiverem lado a lado ou se cruzarem, então a ligação terá que ser procurada através de uma circunferência envolvente. Assim resulta a seqüência *curva circular - clotóide oval - curva circular* (envolvente) - *clotóide oval - curva circular*. Para a sua aplicação valem os princípios da clotóide oval.

4.3.3.4 Clotóide de Cesto

A *clotóide de cesto* consiste de uma seqüência de clotóides, fletidas para o mesmo lado, as quais apresentam raios iguais e tangente comum no ponto de união. Deve ser evitada, sempre que possível, por motivos de segurança. Se não for possível evitar o seu uso devido a situações de pouco espaço disponível, então os parâmetros das clotóides não devem ter valores muito diferentes entre si, por motivos de deslocamento dinâmico. Especialmente em estradas das categorias **A I** e **A II** e, conforme a possibilidade, também em estradas das categorias **A III**, **B I** e **B II**, os parâmetros das clotóides em seqüência não devem ser dife-

rentes entre si de modo relativamente grande. O menor dos dois parâmetros não deve estar abaixo dos valores mínimos definidos no **Item 4.3.2**.

4.3.3.5 Clotóide de Vértice

A *clotóide de vértice* é formada por duas clotóides simples (ver **item 4.3.3.1**), com os parâmetros **A1** e **A2**, as quais se juntam em um ponto de mesma curvatura **R1 = R2**. Deve ser usada somente em casos especiais, como, por exemplo, em ângulos de mudança de direção relativamente pequenos, pois exige, em seu ponto comum, teoricamente um movimento brusco do volante, o qual condiciona, conforme a experiência, à um modo de dirigir inconstante. Os parâmetros de ambos os ramos da clotóide de vértice devem ser, dentro do possível, idênticos, (**A1 = A2**), especialmente em estradas das categorias **AI** e **AII**. Clotóides de Vértice com raios de união abaixo dos valores mínimos citados na **Tabela 8** devem ser evitadas. No traçado com clotóides de vértice valem, para os parâmetros mínimos das clotóides, os valores conforme o **Item 4.3.2** e, para os raios mínimos no ponto de união das clotóides, para estradas de todos os grupos de categoria, os valores do **Item 4.2.2**.

Tabela 8: Raios Mínimos no Ponto de União em Clotóides de Vértice

| Rmin (m) em Estradas do Grupo de Categoria | |
|--------------------------------------------|------------|
| A | B I / B II |
| 450 | 250 |

Por motivos de deslocamento dinâmico e técnicos, a inclinação transversal máxima deve ocorrer numa região em torno do ponto de contato e em segmentos iguais para ambos os ramos da clotóide. A extensão da área com inclinação transversal constante é determinada através da **Equação (8)**. Esta extensão deve ser posicionada de tal modo que fique metade numa clotóide e metade na outra.

$$L_{q \text{ const}} = 0,3 \cdot V_p \quad (8)$$

$L_{q \text{ const}}$ (m) segmento com $q =$ constante

V_p (km/h) velocidade de projeto

5. Elementos Altimétricos

5.1 Inclinação Longitudinal

5.1.1 Aplicação

As inclinações longitudinais devem ser as menores possíveis, por motivos de segurança do tráfego, de redução dos custos operacionais e de energia, de diminuição de emissão de gases e de qualidade do fluxo de tráfego. Considera-se adequadas as inclinações longitudinais abaixo de **4,0 %**. Por outro lado, para a redução das intervenções na paisagem e no quadro paisagístico e para a redução dos custos de construção, a inclinação longitudinal deve ser ajustada ao terreno da melhor forma possível.

5.1.2 Valores Limites e de Referência

5.1.2.1 Inclinação Longitudinal Máxima

As inclinações longitudinais máximas indicadas na **Tabela 9** não devem ser excedidas por motivos da segurança do tráfego. Os valores mais altos para as estradas das categorias **B I** e **B II** são em função das exigências especiais em áreas urbanizadas.

Tabela 9: Inclinações Longitudinais Máximas

| V _p (km/h) | <i>i</i> _{máx} (%) em Estradas das Categoriais | |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|------------|
| | A | B I / B II |
| 50 | 9,0 | 12,0 |
| 60 | 8,0 | 10,0 |
| 70 | 7,0 | 8,0 |
| 80 | 6,0 | 7,0 |
| 90 | 5,0 | 6,0 |
| 100 | 4,5 | 5,0 |
| 120 | 4,0 | — |

Quando for imperativo a utilização de ***i* ≥ 10,0 %**, então a inclinação máxima para deslizamento é excedida (ver **item 7.2.1**).

Na área de interseções de nível único, inclinações longitudinais com mais de **4,0 %** devem, se possível, ser evitadas, por motivos de técnicas de projeto (conexão da estrada secundária) e de operação de tráfego (limitação da distância necessária para paradas).

Nos segmentos de túneis em estradas dos grupos de categorias **A**, as inclinações longitudinais devem ser limitadas, se possível, no máximo a ***i*_{máx} = 4,0 %**. Especialmente nos casos de extensões relativamente grandes, deverá ser almejado ***i*_{máx} = 2,5 %**. Inclinações lon-

gitudinais acima deste valor em túneis tem as seguintes desvantagens:

- maior emissão de gases de combustão;
- perigo maior de acidentes de trânsito;
- propagação mais rápida de líquidos inflamáveis;
- diminuição das velocidades dos veículos pesados.

Quando a inclinação longitudinal recomendada for excedida, eventualmente poderá ser necessária uma proibição para o tráfego de cargas perigosas através de túneis.

Se, na inclinação longitudinal escolhida para estradas do grupo de categorias **A**, não se alcançar a velocidade de deslocamento desejada pelo planejamento da rede de estrada e por ser esta velocidade fortemente influenciada pela velocidade de percurso do veículo de carga padrão de dimensionamento, deve-se então verificar se esta velocidade pode ser alcançada por meio da modificação da seção transversal (faixa adicional de trânsito) ou da modificação do traçado.

5.1.2.2 Inclinações Mínimas na Área de Giro da Pista

Estradas sem Borda-Alta

Em estradas sem borda-alta deverá ser procurada uma inclinação longitudinal mínima de ***i* ≥ 0,7 %**, ou, melhor ainda, de ***i* ≥ 1,0 %**, para evitar áreas de difícil escoamento das águas na área de giro da pista onde esta tem inclinação transversal contrária ao giro. Para que seja proporcionada uma drenagem suficiente da pista de trânsito, deve-se procurar uma diferença de **0,2 %** (melhor ainda de **0,5 %**) entre a inclinação longitudinal do eixo de giro e o gradiente de inclinação longitudinal (ver também o **item 7.3.2**).

$$i - \Delta i \geq 0.2 \% \text{ (melhor ainda } 0.5 \% \text{)} \quad (9)$$

onde:

i (%) inclinação longitudinal do eixo de giro

Δi (%) gradiente da inclinação longitudinal (diferença entre a inclinação longitudinal da borda da pista e o eixo de giro)

Com isto se consegue que nenhum ponto das bordas da pista apresente um gradiente de inclinação oposta. O valor de **0,5 %** deve ser procurado devido às tolerâncias admitidas na execução da camada final do pavimento.

Se, em casos excepcionais, o eixo de giro não for coincidente com o centro da pista (ver **item 7.3.1**), então

a inclinação longitudinal no centro desta, resultante da inclinação longitudinal do eixo de giro (greide) e da inclinação longitudinal da borda, deve acontecer em dependência de $i + \Delta i \geq 0.7 \%$. A exigência de uma inclinação longitudinal mínima de **0.5 %** de acordo com a **DCE-D¹** poderá resultar em valores superiores.

Estradas com Borda-Alta

Em estradas com borda-alta deve ser prevista uma inclinação longitudinal mínima de $i_{\min} = 0.5\%$ para todas as calhas para drenagem. A inclinação do eixo da pista nesta área de giro deverá ser **0,5%** maior do que o *gradiente de inclinação longitudinal* sempre que o escoamento das águas de superfície não seja assegurado através de dispositivos especiais de drenagem.

$$i - \Delta i \geq 0.5 \% \quad (10)$$

onde:

- i (%) inclinação do eixo da pista
 Δi (%) gradiente de inclinação longitudinal: diferença entre a inclinação longitudinal da borda da pista e o eixo de giro.

5.1.2.3 Inclinações Longitudinais Mínimas em Obras Especiais (Os.Es.) Relativamente Longas

Para a drenagem da estrada na área de passagens superiores, estas devem ser normalmente projetadas de tal modo que seja mantida uma inclinação longitudinal mínima de $i = 0.5 \%$.

5.1.3 Áreas de Giro em Inclinações Longitudinais Relativamente Pequenas

Se, devido às condições de relevo ou de urbanização, a inclinação longitudinal mínima não puder ser mantida, mesmo deslocando-se o ponto de inclinação transversal **0,0 (zero) %** com relação ao ponto de início da clotóide (ver **item 7.3.3**), então a área de giro da plataforma deve ser formada de forma oblíqua (ver **item 7.3.3**). Para que sejam evitadas áreas de fraco escoamento, podem também ser consideradas inclinações transversais negativas (ver **item 7.2.3**).

5.2 A Curva Vertical

5.2.1 Aplicação

Os arredondamentos de cumes e de baixadas são regularmente feitos através de parábolas quadráticas na forma aproximada de arcos circulares. A característica para a grandeza do arco de arredondamento é o raio de curvatura R_v no vértice da parábola quadrática (ver **anexo 6**).

Para uma melhor adaptação do perfil longitudinal (greide) ao terreno natural, podem ser escolhidos também, em casos excepcionais, outros tipos de curvas. Os elementos de projeto terão que assegurar, de qualquer maneira, distâncias de visibilidade suficientes (ver **anexo 10**).

As curvas verticais são geralmente unidas por retas mas também podem se tocar diretamente. No casos de união de duas curvas verticais através de uma reta intermediária relativamente curta em estradas da categoria **A**, é válida a observação do traçado espacial.

As curvas verticais devem ser escolhidas de tal maneira que, juntamente com os elementos de projeto em planta,

- proporcionem um traçado espacial equilibrado;
- proporcionem altos índices de segurança através das distâncias visuais adequadas;
- preservem a imagem da paisagem; e
- se adaptem o melhor possível ao relevo, reduzindo assim os custos da obra.

Especialmente em estradas do grupo de categorias **B I** e **B II** as exigências do traçado geométrico são hierarquicamente inferiores às necessidades de ajuste às condições de urbanização.

Se na reforma e/ou na ampliação de estradas existentes dos grupos de categorias **B I** e **B II** os parâmetros das curvas verticais adaptados às circunstâncias do relevo ficarem abaixo dos valores mínimos citados e se as circunstâncias inerentes à urbanização não permitirem um aumento suficiente destes parâmetros, então terá que ser ponderado uma limitação de velocidade (na eventualidade de pista molhada) por motivos de segurança.

5.2.2 Valores Limites e de Referência

Os raios das curvas verticais sempre são dimensionados espacialmente. Através das alturas desejadas da **Tabela 20** (ver **anexo 10**), para cada região de maior curvatura, com observância da velocidade **V₈₅** e da inclinação longitudinal média, deverá ser comprovada a distância visual para paradas (ver **item 8**).

Para o caso especial de ocorrência de reta no plano horizontal, valem os raios de curvatura verticais de cumes constantes da **Tabela 10**. Os raios mínimos de vértice das curvas já mostraram ser suficientemente seguros através de sua aplicação prática. As profundidades dos cortes na região dos vértices não são exageradas e o greide pode ser amplamente ajustado ao relevo. O valor mínimo do raio para o vértice da parábola para uma curva qualquer é obtido utilizando-se o mo-

1) Diretrizes para a Concepção de Estradas, Parte: Drenagem

delo constante no **Anexo 7**. Quando estes valores forem utilizados não é mais exigível a comprovação da distância de visibilidade para paradas com a **V85**.

Tabela 10: Raios Mínimos de Curva Vertical dos Cumes em Retas no Plano Horizontal e Raios dos Vértices com Meia e Total Distância de Visibilidade para Ultrapassagem.

| V_p (km/h) | $R_{V_{min}}$ (m) (em $D_p^{1)}$) | R_v (m) (em $0,5 \cdot D_u^{2})/em D_u$) |
|--------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|
| 50 | 1 400 | 7 000/28 200 |
| 60 | 2 400 | 7 800/30 000 |
| 70 | 3 150 | 8 600/35 000 |
| 80 | 4 400 | 10 300/40 000 |
| 90 | 5 700 | 12 200/48 000 |
| 100 | 8 300 | 13 000/52 000 |
| 120 | 16 000 | — |

1) Distância de Visibilidade para Paradas

2) Distância de Visibilidade para Ultrapassagens

Nas curvas convexas que possuem distâncias de visibilidade no intervalo entre a meia e a plena distância de visibilidade para ultrapassagem são requeridas manobras de ultrapassagem críticas e, por isto, está situação deve ser evitada em estradas de pista simples. Caso seja prevista sinalização para ultrapassagem, deve-se observar que, nos trechos com proibição, os veículos lentos (por exemplo tráfego rural) podem em geral ser ultrapassados com segurança. Tais trechos devem ser definidos no projeto e indicados na sinalização.

Os raios mínimos indicados para os vértices podem ser inferiores em casos isolados (por exemplo: curvas espaciais de acordo com o **anexo 8** ou cumes relativamente curtos) quando, para os arredondamentos, for comprovada a existência de uma distância de visibilidade suficiente para paradas. Os relacionamentos geométricos no plano vertical entre os raios dos vértices, a distância de visibilidade para paradas e as diversas alturas desejadas estão representadas no **Anexo 7**.

Os valores dos raios das baixadas (côncavos) não devem, por motivos visuais, ser inferiores do que a metade dos valores dos raios dos cumes (convexos), não devendo entretanto ser inferiores aos valores da **Tabela 11**. Quando se levar em conta o raio mínimo da baixada de acordo com a **Tabela 11**, garante-se então uma visibilidade suficiente em passagens inferiores (altura livre igual a **5,10¹ m** com altura visual no caminhão igual a **2,50 m**) e no tráfego noturno.

Tabela 11 : Raios Mínimos Recomendados para Baixadas (Valores Orientativos)

| V_p (km/h) | R_{vcmin} |
|--------------|-------------|
| 50 | 500 |
| 60 | 750 |
| 70 | 1 000 |
| 80 | 1 300 |
| 90 | 2 400 |
| 100 | 3 800 |
| 120 | 8 800 |

Os raios mínimos côncavos indicados oferecem visualmente um traçado satisfatório. Estes raios podem ser inferiores ao da tabela nos casos de ampliação de estradas e em situações de pouco espaço em áreas urbanizadas.

Para que seja evitada a impressão de um traçado descontínuo em cumes e baixadas nos casos de diferenças de inclinação longitudinal relativamente pequenas, o comprimento da reta no plano vertical deve corresponder ao comprimento da reta no plano horizontal. Os comprimentos mínimos das retas são determinados de acordo com as **Equações (11) e (12)**:

$$\text{Categoria A : } T_{min} = V_p \quad (11)$$

$$\text{Categoria B : } T_{min} = 0,75 \cdot V_p \quad (12)$$

onde:

T_{min} (m) comprimento mínimo da tangente no plano vertical

V_p (km/h) velocidade de projeto

O ajuste adequado dos elementos do plano vertical com os elementos do plano horizontal é tratado na parte executiva do traçado espacial.

5.2.3 Inclinação Longitudinal Mínima da Calha para Drenagem de Borda-Alta nas Mudanças de Inclinações Longitudinais

Em cumes e em baixadas formados por tangentes com inclinações longitudinais contrárias, ocorre, na região do vértice, inclinações longitudinais de $i \leq 0,5 \%$, numa extensão **L** de acordo com a **Equação (13)**. Em estradas com bordas-altas deve-se cuidar para que a calha para drenagem tenha a inclinação longitudinal mínima. Caso contrário, serão necessárias medidas adicionais de drenagem (ver **DCE-D**).

1) Adaptado para nosso tipo de veículo padrão
DCE-C - 02/2000

$$L = \frac{R_v}{100} \quad (13)$$


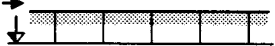





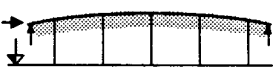

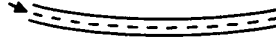
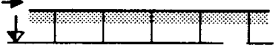

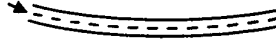
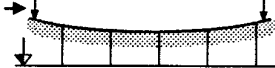
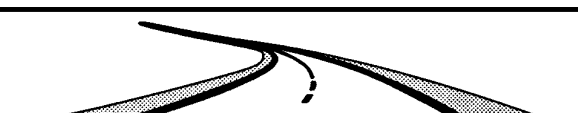
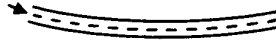
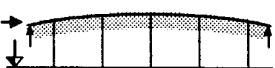

| | | |
|----|-----|----------------------------------------------------------------------|
| L | (m) | extensão da região com inclinações longitudinais insuficientes |
| Rv | (m) | raios verticais |

6. O Traçado Espacial

6.1 Elementos do Traçado Espacial

O traçado de uma estrada é tridimensional e, portanto, deve ser visto sempre de forma espacial. O processamento e a representação do projeto de uma estrada é no entanto feita preponderantemente no plano vertical longitudinal, no plano horizontal e no plano vertical transversal (seção transversal). Através da sobreposição dos elementos de projeto horizontais

e verticais, com inclusão das seções transversais, surgem os elementos espaciais representados no **Quadro 6**. Estes elementos espaciais e as seqüências de elementos espaciais resultantes das suas junções podem ser representados na forma de figuras em perspectiva ou maquetes. Aqui a perspectiva do motorista é a única representação de perspectiva servível para a avaliação de uma estrada do ponto de vista de trânsito.

| Elemento do Plano Horizontal | Elemento do Plano Vertical Longitudinal | Elemento Geométrico Espacial Resultante |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Reta</p> |  <p>Reta</p> |  <p>Reta com Inclinação Constante</p> |
|  <p>Reta</p> |  <p>Curva</p> |  <p>Baixada numa Reta</p> |
|  <p>Reta</p> |  <p>Curva</p> |  <p>Cume numa Reta</p> |
|  <p>Curva</p> |  <p>Reta</p> |  <p>Curva com Inclinação Longitudinal Constante</p> |
|  <p>Curva</p> |  <p>Curva</p> |  <p>Baixada numa Curva</p> |
|  <p>Curva</p> |  <p>Curva</p> |  <p>Cume numa Curva</p> |

Quadro 6: Elementos Espaciais a partir da Sobreposição de Retas e Curvas com Inclusão da Seção Transversal

6.2 A Concepção do Espaço de Trânsito

Uma boa condução visual é a premissa para uma segurança suficiente e para uma boa qualidade de trânsito do traçado de uma estrada. Esta condição visual é alcançada quando a estrada transmite uma imagem “relaxante” e quando o seu percurso é suficientemente perceptível e assim identificável em tempo hábil e nitidamente compreensível.

A condução visual se realiza inicialmente pela configuração da pista de trânsito e se tornará tanto mais nítida quanto melhor forem identificadas visualmente as laterais desta pista e a separação das faixas (por exemplo através de marcação).

A condução através das bordas tem especial significado em áreas de deformação nos alargamentos da pista de trânsito ou nos acréscimos de faixas de trânsito.

6.2.1 Elementos do Plano Horizontal

6.2.1.1 A Retra

Trechos retos devem ser usados apenas quando tem o propósito de simplificar o trânsito ou quando possibilitam uma boa adaptação ao relevo. A impressão de rigidez de uma reta no plano horizontal em terreno acidentado pode ser atenuada por meio de uma curva vertical côncava com raio de curvatura relativamente grande (**quadro 7**). Pode também ser usada uma curva horizontal com raio relativamente grande. Em ambos os casos é dada a possibilidade de avaliação do sentido de trânsito de veículos na faixa de trânsito esquerda, bem como uma melhor estimativa da velocidade destes veículos de sentido contrário.

As desvantagens citadas no **Item 4** são válidas para as retas.

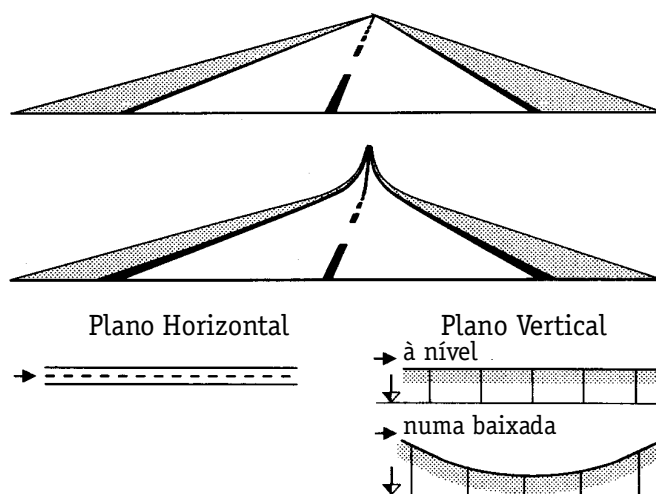
6.2.1.2 A Curva

Curvas relativamente curtas entre retas, com comprimentos de retas também relativamente curtos, aparecem como uma “dobra” quando visto pela perspectiva do motorista (**quadro 8**), a qual somente poderá ser evitada através do aumento do raio da curva circular. Os raios devem ser tanto maiores quanto menor for a mudança de direção do eixo.

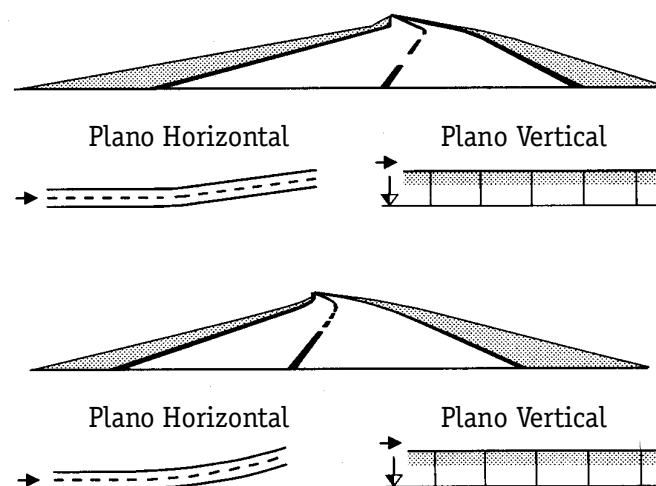
6.2.1.3 Seqüência dos Elementos no Plano Horizontal

As dimensões dos elementos de projeto seqüências no plano horizontal é determinada através das *relações de raios* pre-definidas e das relações entre curvas de transição e curvas circulares (ver **itens 4.2 e 4.3**).

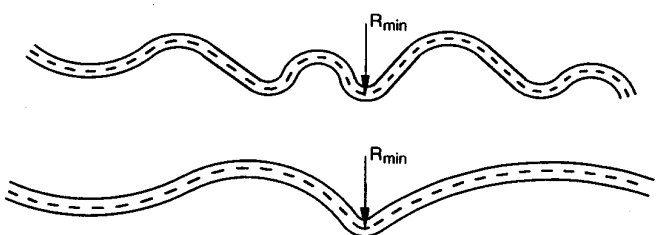
A segurança do desenrolar do tráfego num traçado relativamente sinuoso com muitas curvas por unidade



Quadro 7: Retra com Greide à Nível e com uma Baixada



Quadro 8: Borda de Pista de Trânsito com e sem Dobra Visual



Quadro 9: Estradas com e sem Relação de Raios

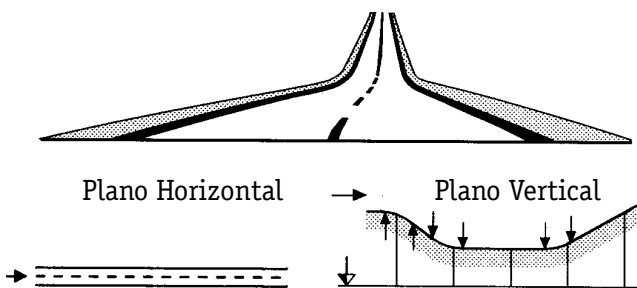
de segmento não é substancialmente comprometida por uma curva de raio relativamente pequeno. Um grau de sinusidade relativamente maior, ligado à uma velocidade de projeto relativamente baixa, não é sinônimo de um elevado risco de acidentes. É decisivo que os locais de irregularidades sejam evitados (**quadro 9**). Por isto, justamente na área de raios de curvatura relativamente pequenos e médios, as relações dos raios vizinhos devem ser mantidos de acordo com o **Quadro 4**.

6.2.2 Elementos do Plano Vertical Longitudinal

6.2.2.1 A Reta

A reta no plano vertical é um segmento com inclinação longitudinal constante. Ela não oferece maiores problemas quanto à condução espacial de uma estrada.

Uma reta relativamente curta entre duas baixadas sequenciais pode dar a impressão de um cume, devendo ser evitada (**quadros 10 e 11**). Da mesma forma, uma reta relativamente curta entre dois cumes visíveis pode dar a impressão de uma baixada. Deve-se ter cuidado, especialmente em área de passagens superiores, quanto a estas duas ocorrências.



Quadro 10: Configuração Insatisfatória da Pista de Trânsito com Cume Falso

6.2.2.2 A Baixada

A baixada é um elemento com uma boa condução visual.

Para se conseguir um traçado harmonioso, deve-se evitar curvas côncavas relativamente curtas entre trechos relativamente longos com inclinação longitudinal constante. Neste caso é irrelevante se o traçado no plano horizontal é uma reta (ponto de inflexão notável na plataforma, **quadro 12**) ou se é uma curva (configuração insatisfatória no plano horizontal, **quadro 13**)

6.2.2.3 O Cume

O traçado espacial na região do cume tem efeito decisivo sobre as condições de visibilidade. Cumes com raios relativamente pequenos limitam a distância visual.

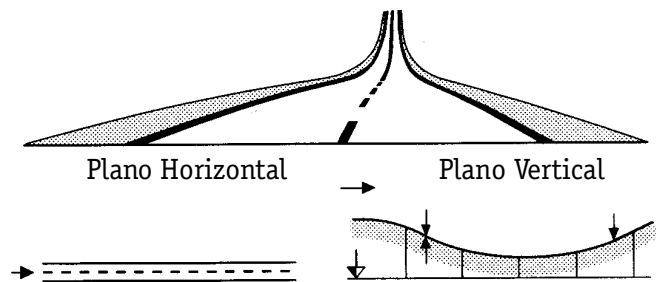
6.2.2.4 Seqüência de Elementos no Plano Vertical Longitudinal

A seqüência dos elementos no plano vertical longitudinal deve seguir amplamente a forma do relevo.

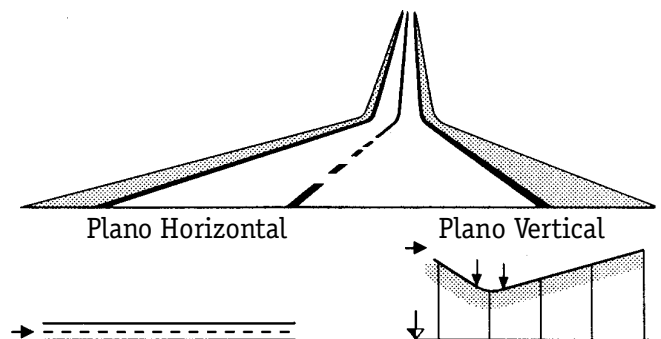
Em relevo ondulado, o raio do cume deve ser superior ao raio da baixada para facilitar a avaliação das distâncias de visibilidade (**quadro 14**, ver também **itens 5.2.2 e 8.1**). Ao contrário, em diferenças de cotas relativamente pequenas (até **10,0 m**) e em áreas planas, os raios das baixadas devem ser maiores do que os dos cumes (com obediência das distâncias de DCE-C - 02/2000

visibilidade para parada, **quadro 14**).

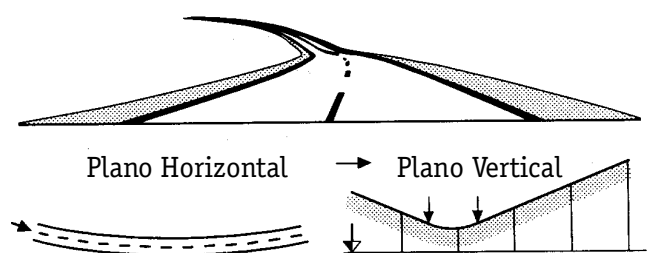
Devem ser excluídas as várias alterações de inclinação relativamente curtas devido aos cumes e as baixadas em um trecho com boa visibilidade e substituídas por um greide mais fluente



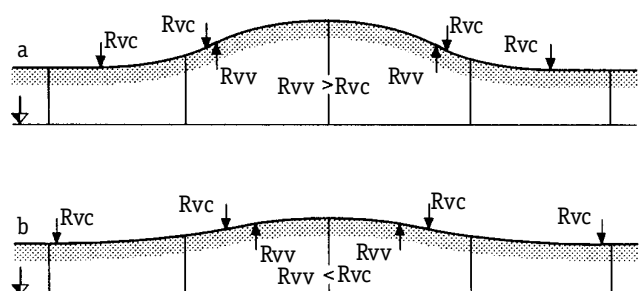
Quadro 11: Representação da Pista de Trânsito em Sintonia com o Plano Vertical



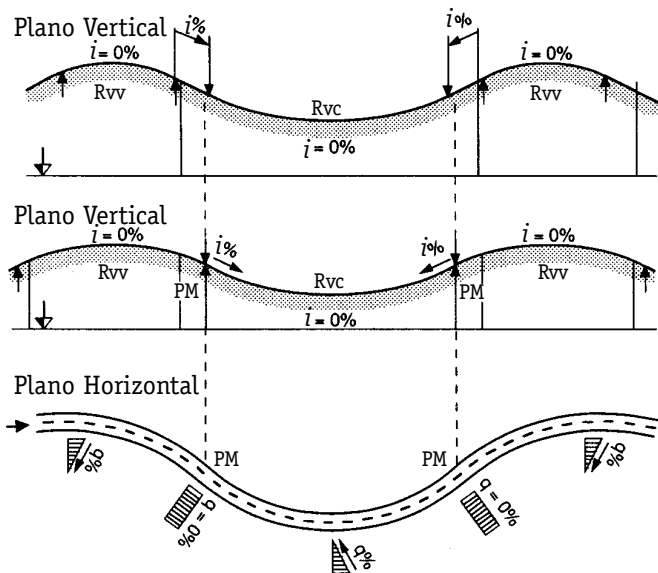
Quadro 12: Ponto de Inflexão Nítido da Plataforma na Baixada



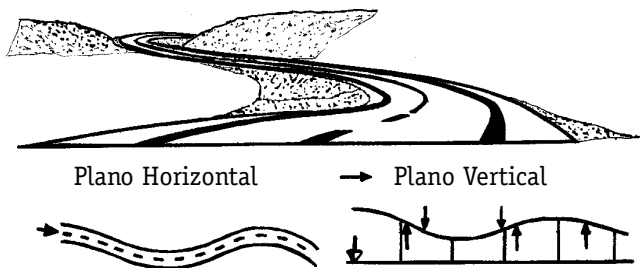
Quadro 13: Representação Fora de Sintonia com o Plano Horizontal



Quadro 14: Coordenação de Rvv e Rvc



Quadro 15: Sintonia dos Elementos no Plano Horizontal e no Plano Vertical



Quadro 16: Representação em Sintonia com o Plano Horizontal

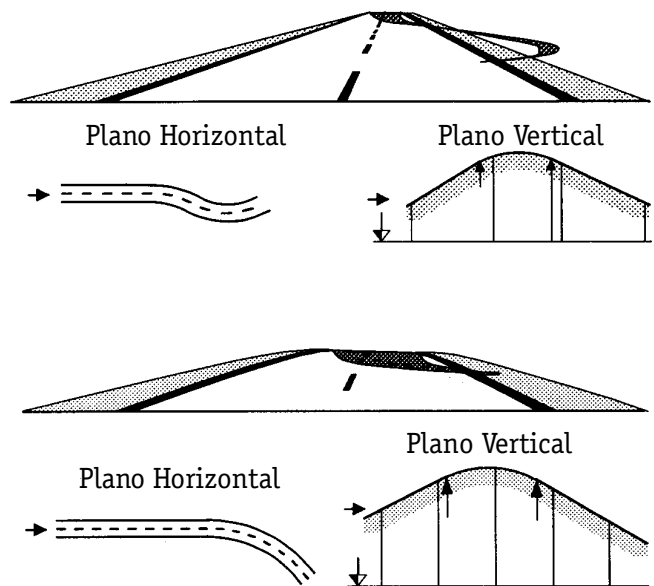
6.2.3 A Sobreposição do Plano Horizontal com o Plano Vertical Longitudinal

Na sobreposição de baixadas e curvas horizontais podem ocorrer avaliações errôneas por parte dos motoristas. As baixadas em curvas horizontais transmitem aos motoristas especialmente a impressão de um traçado mais generoso do que o é na realidade. Por causa disto, a relação entre os raios das curvas horizontais e os raios da baixada devem ser ajustados entre si. A experiência tem demonstrado que a relação $R : R_v$ deve ser dentro do possível relativamente pequena e não superior a $1 : 5$ até $1 : 10$.

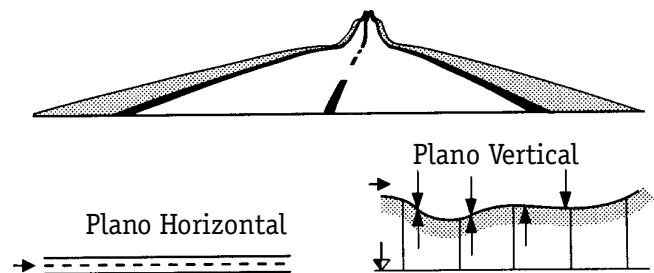
Quanto mais plano for o relevo, tanto maior deve ser mantida a relação entre raios verticais e raios horizontais.

Em geral se tem um traçado vantajoso quanto ao aspecto visual, de drenagem e de deslocamento dinâmico quando os pontos de inflexão do plano horizontal e os do plano vertical se situarem aproximadamente na mesma posição (**quadros 15 e 16**).

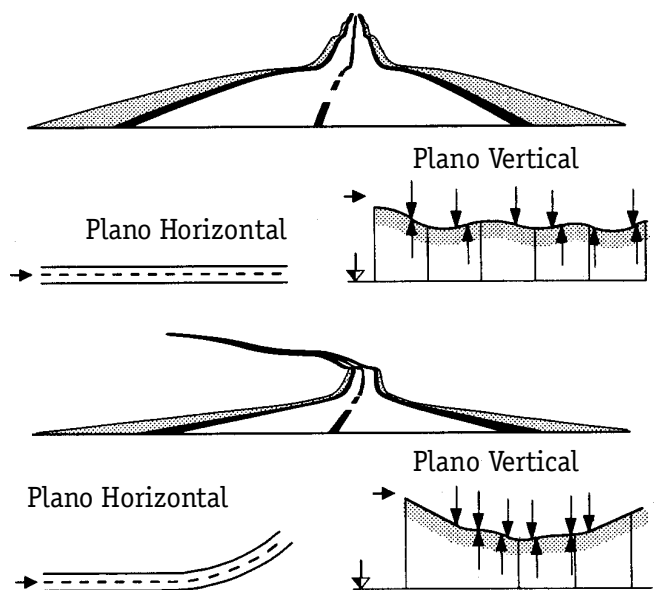
Esta regra pressupõe uma mesma quantidade de pontos de inflexão de curva no plano horizontal e no pla-



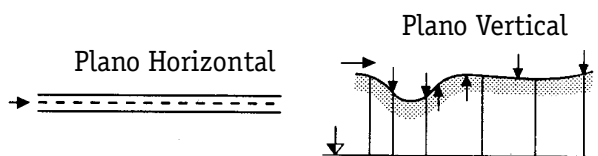
Quadro 17: Início da Curva Horizontal na Área de Cumes



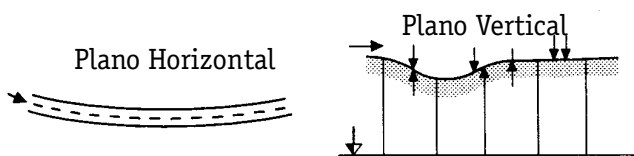
Quadro 18: Abaulamentos



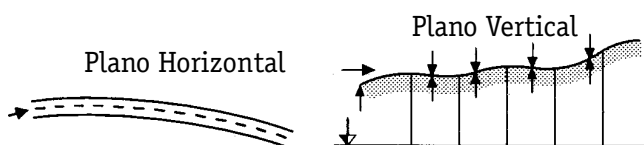
Quadro 19: Ondulação de Pista em Reta e em Curva Horizontal



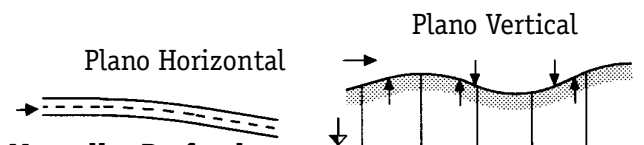
Mergulho na Reta



Mergulho na Curva



Mergulho Profundo



Mergulho Profundo

no vertical. Dependendo do relevo e de outros condicionantes do traçado, o número de pontos de inflexão poderá, porém, ser muito variado.

O traçado será também mais agradável e constante quando os pontos de tangência do plano horizontal e do plano vertical se situarem bem próximos entre si e uma maior extensão possível do segmento da estrada ficar entre estes pontos de tangência. Constituem uma exceção curvas isoladas e com desenvolvimentos relativamente pequenos em baixadas. Estas, devido ao “efeito de baixada”, parecem ser maiores do que realmente são. Para que aqui seja evitada uma ilusão de ótica pela sobreposição de curva côncava com curva horizontal, o início da curva horizontal e o início da curva côncava devem estar, dentro do possível, o mais afastados ou o início da curva côncava deve ser deslocado para dentro da curva horizontal para que a “intensidade” da curva seja perfeitamente reconhecível, ou a curva côncava deve ser antecipada o suficiente para que a curva horizontal comece apenas no seu final.

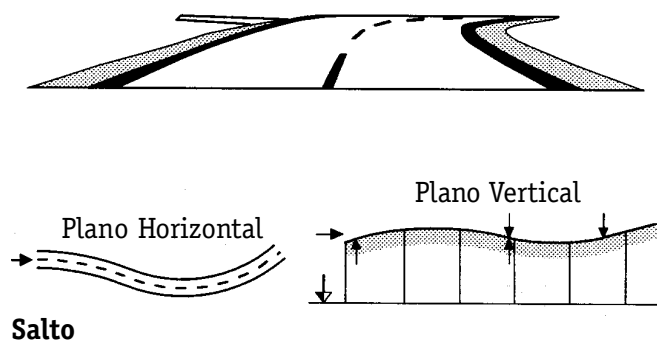
Recomenda-se um controle antecipado pela comparação da posição dos polígonos das tangentes no plano horizontal e no vertical.

Em regiões onduladas e montanhosas, principalmente com inclinações longitudinais relativamente mais fortes, pode ser vantajoso que, entre o final da curva convexa e o início da curva côncava, sejam usados segmentos com inclinação longitudinal constante. O ponto de inflexão do plano horizontal deverá então ser deslocado adequadamente para o mais próximo possível do início da curva côncava, para permitir aos motoristas o seu reconhecimento antecipado.

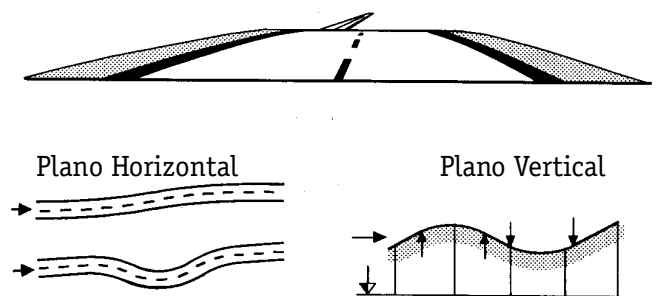
Caso não seja possível manter a mesma posição dos pontos de inflexão horizontais e verticais devido às condições locais, a mudança de direção deve ser então nitidamente reconhecível e iniciar dentro da distância de visibilidade existente. A curva horizontal não pode ser “mascarada” na região do cume pois o motorista deve poder avaliar em tempo hábil o seu direcionamento e, se possível, também a curvatura. Por isto, a mudança de direção reconhecível do plano horizontal deve ter, pelo menos, **3,5 graus**, quando medido a partir do início da curva de transição, dentro da distância de visibilidade existente (**quadro 17**).

Ocorrem abaulamentos quando o traçado no plano horizontal segue uma curta elevação do terreno sem um segmento de ocultamento visual (segmentos de estrada sem visibilidade) (**quadro 18**). Abaulamentos sequenciais levam à uma ondulação da pista de trânsito (**quadro 19**). A impressão causada pelos abaulamentos e pela ondulação da pista se intensifica com o aumento da largura desta, sendo muito perigoso no trânsito noturno (sob a luz de faróis).

Quadro 20: O “Mergulho” de uma Estrada
DCE-C - 02/2000

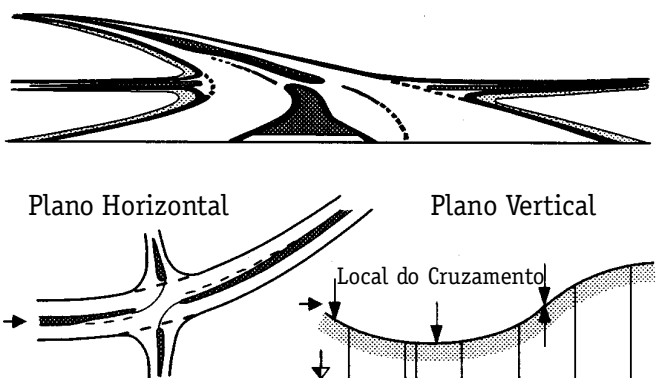


Salto

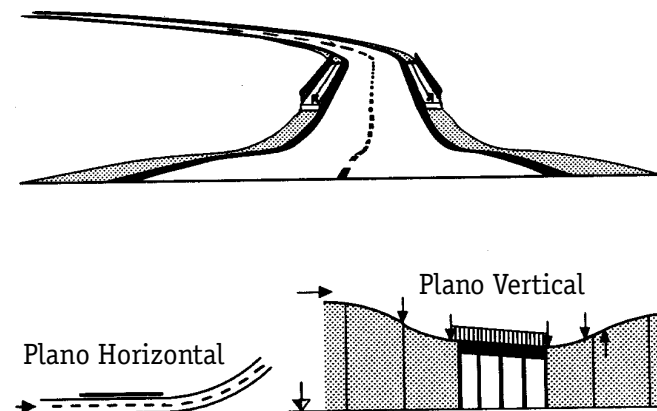


Salto com Deflexão

Quadro 21: O "Salto" de uma Estrada



Quadro 22: A Interseção na Baixada



Quadro 23: O Efeito "Tábua"

Se o traçado seguir as elevações do terreno de tal modo que ocorram trechos parciais de ocultamento visual, surge a impressão de "mergulho" (**quadro 20**). Caso o traçado tenha característica oscilante mais intensa, surge então a impressão de "saltos" (**quadro 21**). O motorista pode então se enganar com relação ao percurso verdadeiro do traçado e em relação ao tráfego com sentido contrário. Estas situações apresentam grandes perigos, principalmente nas manobras de ultrapassagem.

As interseções, por motivos de visibilidade, devem, na medida do possível, se situar em baixadas (**quadro 22**). Caso isto não seja possível para ambas as estradas devido às condições de relevo, então pelo menos para uma, de preferência aquela de posição hierárquica menor relativamente ao trânsito, deverá ser configurada como baixada.

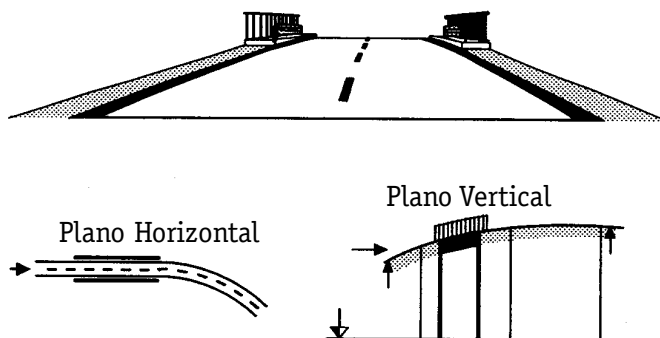
Em primeiro lugar se define a visibilidade da estrada de ordem inferior no local onde se verificará a condição de "dar a preferência ou parar" e, em segundo lugar, a distância para parada do veículo com a máxima velocidade na estrada de categoria superior.

A facilidade de reconhecimento de interseções pode ser aumentada através de meios adequados (arborizações, dispositivos de condução, sinalização vertical). Devem ser ainda observada a manutenção das condições de visibilidade necessárias.

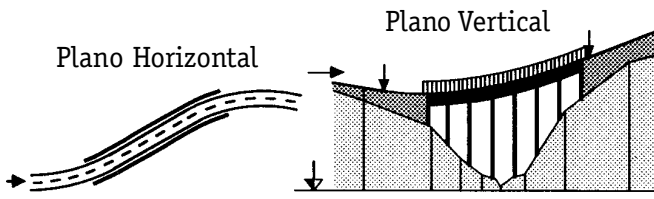
As Passagens Superiores devem se integrar no fluxo do traçado e o efeito de "tábua" deve ser evitado (**quadros 23 e 24**, ver também o **item 6.2.2.1**)

Quando for proporcionado o reconhecimento antecipado de Passagens Superiores relativamente extensas, o motorista terá potenciais condições de se adaptar a diferentes situações (por exemplo ventos laterais).

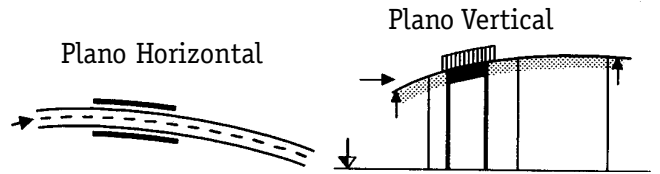
As Passagens Superiores que sobrepõem o início de uma curva tem um efeito visual especialmente desvantajoso. Por isto, na área da passagem, o traçado já deverá ter uma curva nítida (**quadros 25 e 26**).



Quadro 25: Passagem Superior na Ret



Quadro 24: Harmonização na Fluência do Traçado



Quadro 26: Passagem Superior na Curva

7. Elementos de Projeto na Seção Transversal

7.1 A Inclinação Transversal na Reta

7.1.1 A Inclinação Transversal da Pista de Trânsito

A inclinação transversal necessária para o escoamento das águas da pista de trânsito na reta deve ser formada de acordo com o **Quadro 27**. Fazem parte da pista as faixas de trânsito e as faixas de borda.

A inclinação transversal mínima e ao mesmo tempo a regular da pista de trânsito nas retas, em todas as categorias de estradas, é de:

$$q_{\min} = 2,5 \% \quad (14)$$

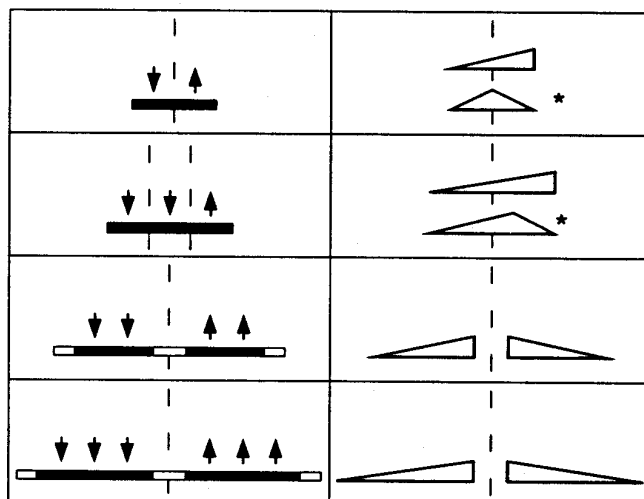
Em estradas de pista simples de **uma, duas** ou **três** faixas, é em geral usada uma inclinação transversal unidirecional (“**uma** água”) em retas.

Na ampliação de estradas existentes, em casos excepcionais pode ser vantajoso em termos econômicos uma indicação bidirecional (“**duas** águas”).

As pistas de único sentido de estradas de pista dupla de todos os grupos de categoria são implantadas, nas retas, sempre com inclinação unidirecional. O escoamento da água é feito normalmente no sentido da borda externa.

7.1.2 A Inclinação Transversal dos demais Elementos da Seção Transversal na Reta

A inclinação dos outros elementos da seção transversal está regulamentada nas **DCE-S** (ver **item 2.6** destas diretrizes).



* em casos excepcionais na ampliação de estradas existentes

Quadro 27: Formas de Inclinação Transversal em Retas

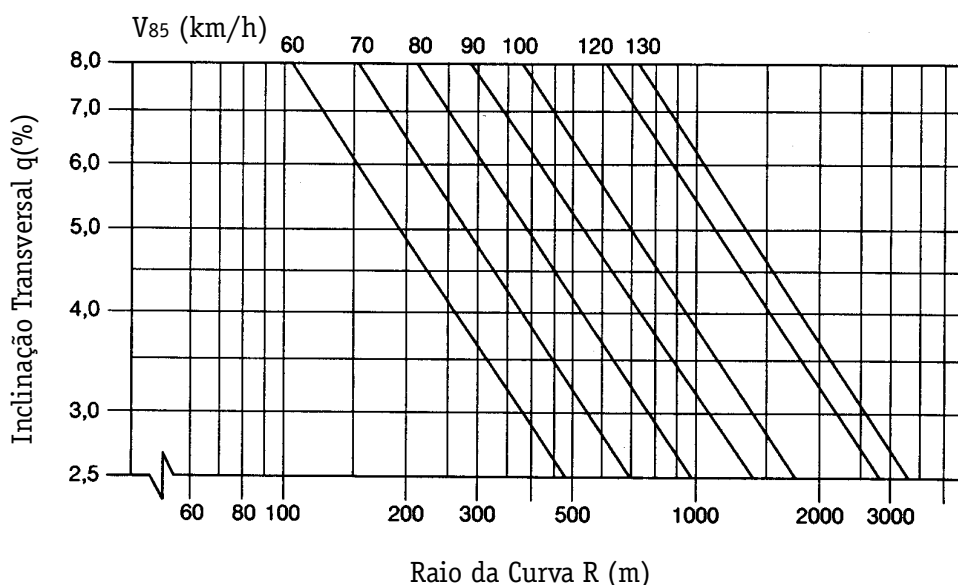
7.2 A Inclinação Transversal na Curva Circular

7.2.1 A Inclinação Transversal da Pista de Trânsito

Nas curvas, a inclinação transversal tem em geral o caimento no sentido da borda interna, por motivos de deslocamento dinâmico. A inclinação máxima nestes casos é:

$$q_{\max} = 8,0 \% \quad (15)$$

Deve ser observado para que não seja excedidas uma inclinação transversal de **10,0 %**, para evitar o deslizamento dos veículos.



Quadro 28: Inclinações Transversais Necessárias em Função da Velocidade V_{85} e dos Raios das Curvas Circulares (valores calculados de acordo com o anexo 3)

Caso as inclinações transversais máximas não possam ser empregadas nos casos de inclinações longitudinais relativamente acentuadas, porque deste modo ter-se-ia uma inclinação oblíqua resultante relativamente muito grande, deve-se então aumentar, correspondentemente, o valor do raio.

A inclinação transversal máxima pode também ser dimensionada independentemente da V_{85} para um melhor reconhecimento da curva cujo raio está situado abaixo da seqüência de elementos recomendados no **Item 4.2.2**.

Por motivos técnicos de drenagem, a inclinação transversal mínima na curva circular é igual à inclinação mínima transversal na reta, isto é:

$$q_{\min} = 2,5 \% \quad (16)$$

O relacionamento entre os raios das curvas, inclinação transversal e a velocidade V_{85} está representado no **Quadro 28**. As inclinações transversais obtidas deste quadro podem ser arredondadas para múltiplos de **0,5 %**.

Em curvas circulares com ângulo central relativamente muito pequeno, a inclinação transversal plena deve existir pelo menos numa extensão, em (**m**), correspondente a um percurso de dois segundos com a velocidade de projeto V_p (**km/h**).

7.2.2 Inclinação Transversal dos Demais Elementos da Seção Transversal na Curva Circular

As faixas laterais pavimentadas e as faixas adicionais laterais devem ter, nas curvas, a mesma inclinação transversal, em valor e sentido, da pista de trânsito (ver **item 2.5** das **DCE-S**).

Contrário ao exposto, na área final de uma faixa para saídas, é permitido uma linha divisória, sem arredondamento, entre a pista principal de trânsito e essas faixas, quando isso for exigido devido à declividade transversal e ao giro da plataforma na curva de transição do ramo para saídas. A diferença entre as inclinações transversais da faixa direta de trânsito e a faixa para saídas não deve, porém, ultrapassar o valor de **5,0 %** na área próxima ao vértice das áreas de bloqueio. O início do giro da faixa para saídas pode, caso necessário, ser antecipado, de tal modo que, no início da curva de transição desta faixa para desincorporação, se tenha uma inclinação transversal $q = 0,0 \%$.

Tabela 12: Raios Mínimos para a Implantação de uma Inclinação Transversal com Caimento no Sentido da Borda Externa da Curva (valores arredondados conforme o anexo 3)

| V_{85} (Km/h) | Rmin (m) | |
|--------------------|----------------|----------------|
| | $q = - 2,5 \%$ | $q = - 2,0 \%$ |
| 70 | 600 | 550 |
| 80 | 950 | 850 |
| 90 | 1400 | 1300 |
| 100 | 2100 | 1900 |
| 110 | 3000 | 2600 |
| 120 | 4100 | 3500 |
| 130 | 5500 | 4600 |

7.2.3 Inclinação Transversal com Caimento no Sentido da Borda Externa da Curva ("Inclinações Negativas")

A inclinação transversal com caimento no sentido da borda externa da curva deve em geral ser evitada.




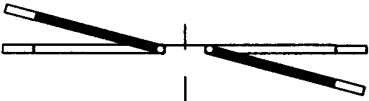
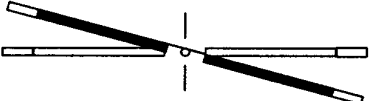

Em casos excepcionais em estradas de pista dupla, na área de interseções ou para evitar áreas de pouco escoamento de água em trechos com pequenas inclinações longitudinais, pode ser permitida uma inclinação transversal com caimento no sentido da borda externa da curva. Esta inclinação, para pistas com pavimento tipo flexível, é de $q = - 2,5\%$. Assim, mesmo com uma formação eventual de trilhas de roda, é proporcionado o escoamento das águas para o lado externo da curva. Para pistas com pavimento tipo rígido é suficiente uma inclinação transversal de $q = - 2,0 \%$. Nos casos de inclinação transversal com caimento no sentido da borda externa da curva, os valores dos raios mínimos indicados na **Tabela 12**, provenientes do **Anexo 3**, tem que ser respeitados, para evitar derrapagens transversais dos veículos quando em movimento na curva.

No caso de uma seqüência de curvas fletidas para o mesmo lado, a direção do caimento transversal não pode sofrer mudanças em nenhuma hipótese.

7.3 Rampas e Giros

7.3.1 Aplicação

A modificação da inclinação transversal da pista de trânsito é feita no segmento da transição. Dentro deste segmento, as bordas da pista são contempladas com rampas e a pista sofre um giro. A modificação da inclinação transversal se dá, em estradas de pista

| | | |
|-------------|---|------------------------------------------------------------------------------------|
| Caso Normal | 1 |  |
| | 2 |  |
| Exceção | 3 |  |
| | 4 |  |
| | 5 |  |
| | 6 |  |

Quadro 29: Eixos de Giro da Pista de Trânsito

simples, em geral por meio do giro desta pista em torno do seu eixo (ver **quadro 29, caso 1**). Em estradas de pista dupla o giro se dá em geral em torno dos eixos das pistas de trânsito (ver **quadro 29, caso 2**).

Do mesmo modo, em casos excepcionais, como, por exemplo, com espaço central separador de pistas relativamente muito estreito quando da implantação de interseções de nível único em curvas ou em passagens por sobre os espaços centrais separadores de pistas, estradas de pista dupla podem ser giradas em torno das bordas adjacentes ao espaço central separador (ver **quadro 29, caso 4**) ou em torno do eixo da estrada localizado no meio do espaço separador central (ver **quadro 29, caso 5**)

Nas velocidades de projeto $V_p = 100/120$ km/h, a adoção de greides independentes para as pistas de trânsito pode ser uma solução econômica na região do giro. Quando existir passagem por zero na inclinação transversal, o eixo de giro da pista de trânsito de único sentido de trânsito pode ser deslocado da linha de centro (ver **quadro 29, caso 6**) desde que o deslocamento atenda às exigências: $i - \Delta i \geq 0,0$ % na borda da pista de trânsito, $i + \Delta i \geq 0,7$ % no centro da pista e $i_{max} = 0,9$ %.

Se existir uma curva de transição, então o giro da pista DCE-C - 02/2000

deverá ser feito dentro da extensão desta curva, independentemente do tipo da inclinação transversal utilizada (inclinação tipo “uma água” ou “duas águas”) e da posição do eixo de giro em relação à pista. Deve ser evitado o avanço da distribuição da inclinação transversal por sobre a reta ou por sobre a curva circular.

Se, em casos excepcionais, não existir uma curva de transição, então o giro da pista na seqüência de elementos *reta - curva circular* deverá ser executado metade antes do ponto de contato, na reta e metade após este ponto, na curva circular. Devidamente justificado, o giro pode ser realizado totalmente na reta ou totalmente na curva circular.

7.3.2 Valores Limites e de Referência

O gradiente de inclinação longitudinal Δi é a diferença entre as inclinações longitudinais da borda da pista de trânsito e do eixo de giro. Temos então:

$$\Delta i = \frac{q_f - q_i}{L_g} \cdot a \quad (17)$$

onde:

- Δi (%) gradiente de inclinação longitudinal
- q_f (%) inclinação transversal da pista de trânsito no fim do segmento de giro
- q_i (%) inclinação transversal da pista de trânsito no início do segmento de giro (q_i) deve ser colocado com valor negativo quando tiver inclinação contrária a (q_f)
- L_g (m) comprimento do segmento de giro da pista de trânsito
- a (m) distância da borda da pista de trânsito ao eixo de giro.

Para evitar, dentro do segmento de transição, um giro transversal demasiadamente rápido da pista, o qual pode ter efeitos desfavoráveis tanto no deslocamento dinâmico quanto no aspecto visual, o gradiente de inclinação longitudinal máximo Δi_{max} não deve ultrapassar os valores da **Tabela 13**.

A extensão mínima para o giro da pista de trânsito L_{gmin} resulta da **Equação (18)**, sob consideração do gradiente de inclinação longitudinal máximo Δi_{max} da **Tabela 13** e da distância a da borda da pista de trânsito ao eixo de giro.

$$L_{g \min} = \frac{q_f - q_i}{\Delta i_{max}} \cdot a \quad (18)$$

onde:

- Δi_{max} (%) gradiente de inclinação longitudinal

| | |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | máximo |
| q_f | (%) inclinação transversal da pista de trânsito no fim do segmento de giro |
| q_i | (%) inclinação transversal da pista de trânsito no início do segmento de giro (colocar q_i negativamente quando com inclinação contrária a q_f) |
| $L_{g\min}$ | (m) comprimento mínimo do segmento de giro |
| a | (m) distância da borda da pista de trânsito ao eixo de giro. |

Não é necessário o arredondamento dos vértices que surgem no início e no fim do segmento de giro pois as

Tabela 13: Valores Limites do Gradiente de Inclinação Longitudinal

| V_p (km/h) | Δi_{\max} (%) com | | Δi_{\min} (%) ¹⁾ |
|-----------------------------------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------------------|
| | $a < 4,00$ m | $a \geq 4,00$ m | |
| 50 | $0,50 \cdot a$ | 2,0 | 0,10 · a ($\leq \Delta i_{\max}$) |
| 60 ... 70 | $0,40 \cdot a$ | 1,6 | |
| 80 ... 90 | $0,25 \cdot a$ | 1,0 | |
| 100 ... 120 | $0,225 \cdot a$ | 0,9 | |
| a (m) : distância da borda da pista ao eixo de giro | | | |
| 1) apenas quando $q \leq 2,5$ % | | | |

máximas diferenças de inclinações ficam em geral na ordem de grandeza das tolerâncias de obra.

7.3.3 Consideração ao escoamento das Águas

Nas áreas de giro da pista, o gradiente de inclinação longitudinal em qualquer um dos pontos do segmento $+ q_{\min} / \text{zero} / - q_{\min}$, não deve ser inferior aos valores de Δi_{\min} apresentados na **Tabela 13**. Se esta condição não puder ser cumprida então deve ser usado um *giro de plataforma oblíquo*, ou seja, o segmento $+ q_{\min}$ até $- q_{\min}$ dever ter um gradiente de inclinação longitudinal Δi_{\min} . Além disto, as inclinações longitudinais do eixo e o gradiente de inclinação longitudinal mínimo devem ser ajustados entre si para assegurar um suficiente escoamento de águas, conforme o **Item 5.1.2.2**. No trecho ainda à disposição da curva de transição é feito o restante do giro da pista de trânsito até chegar à inclinação transversal necessária no início da curva circular (ver **quadro 30a** e **30b**, para $\Delta i < \Delta i_{\min}$, bem como o **quadro 39** do **anexo 5**).

Caso não se consiga assegurar, na região do ponto de início da clotóide, uma inclinação longitudinal

suficiente, devido a condições obrigatórias especiais, então o ponto de inclinação transversal **zero** poderá ser deslocado, em estradas do grupo de categoria **A**, num comprimento de $L = 0,1 \cdot A^1$ e, em estradas dos grupos de categorias **B I** e **B II**, de $L = 0,2 \cdot A$ em relação ao ponto de contato das clotóides. Isto também é válido para a seqüência *reta - clotóide - curva circular*.

Outra possibilidade para evitar regiões de pouco escoamento é dado pelo *giro oblíquo* na área de $+ q_{\min} / \text{zero} / - q_{\min}$ (ver **quadro 30a** bem como o **quadro 40, anexo 5**). Esta solução é no entanto tecnicamente custosa, pois sua construção é preponderantemente manual. Por isto, é difícil manter as exigências técnicas após uma compactação adequada.

O giro oblíquo pode ser concebido de tal maneira que a pista de trânsito, com exceção da áreas de arredondamento de cumes, apresente uma inclinação transversal mínima adequada ao escoamento das águas de pelo menos $q = 2,5$ %. A sua extensão, por motivos de deslocamento dinâmico, é de :

$$L_g = 0,1 \cdot B \cdot V_p \quad (19)$$

onde:

L_g (m) comprimento do segmento de giro oblíquo

B (m) largura da pista de trânsito

V_p (km/h) velocidade de projeto

O segmento de giro oblíquo também se estende à área da faixa lateral pavimentada.

Em estradas com borda-alta, pode também ser realizado o giro em torno da borda interna da pista de trânsito se, de outro modo, por exemplo, quando da superposição de i e Δi , a inclinação longitudinal da calha para drenagem i_c ficar abaixo de **0,5 %**.



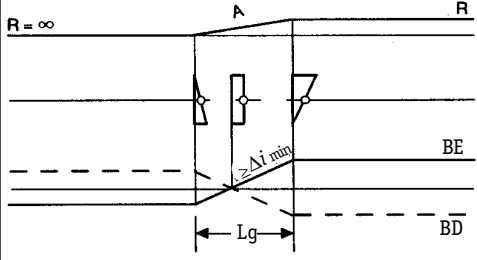
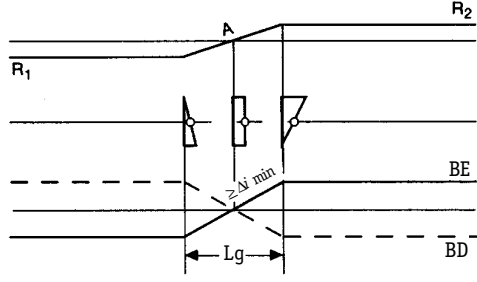
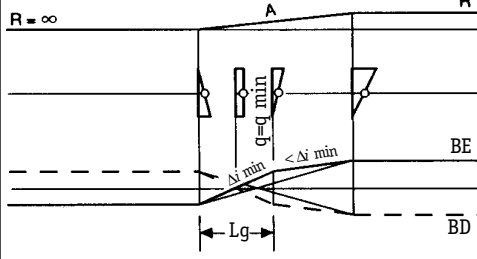
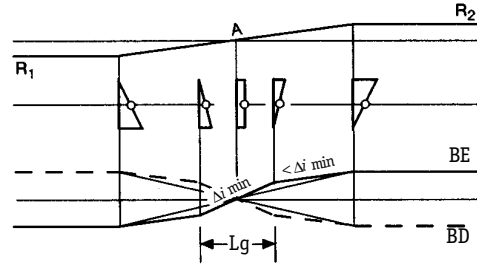

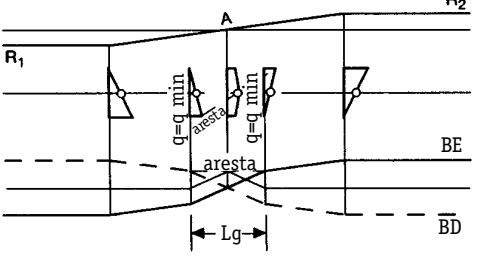

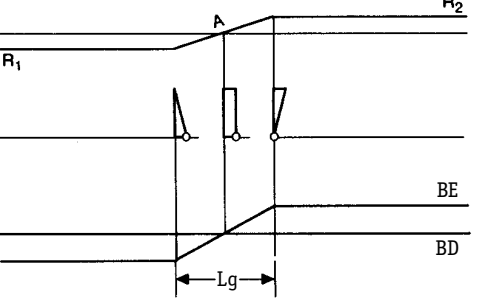
7.3.4 Formas de Giro da Pista de Trânsito

Para cada caso em particular são adotadas as formas básicas de giro da pista de trânsito mostradas nos **Quadros 30a** e **30b**.

O giro de todas as faixas adicionais adjacentes à pista de trânsito é executado ao longo do mesmo segmento da curva de transição ou no trecho de transição correspondente da pista de trânsito. Não há valores especiais para os gradientes de inclinação longitudinal que ocorrerem nestes casos.

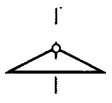
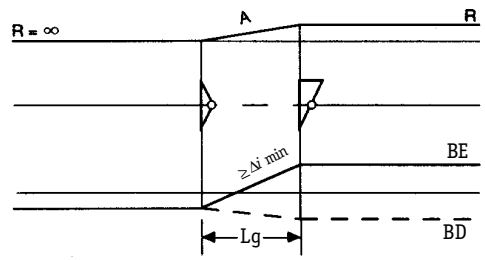
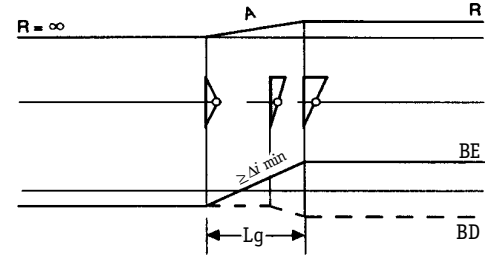
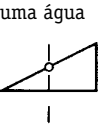
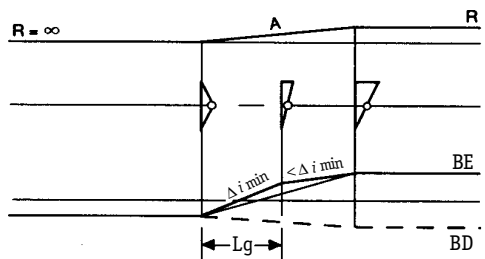
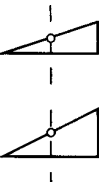
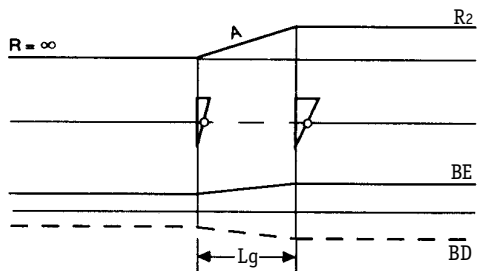
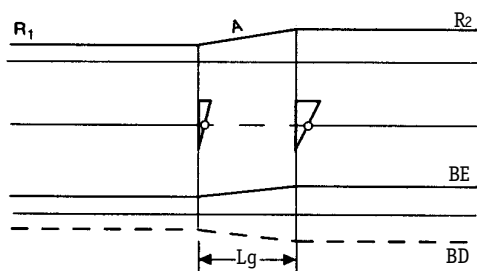
Quando forem executados giros oblíquos nas faixas laterais adicionais, então será necessária uma representação especial no plano vertical longitudinal.

1) L e A em (m)

| Transição | Δi | Tangente - Clotóide - Curva Circular | Curva Circular - Clotóides Curva Circular |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>entre inclinações transversais contrárias diferentes ou de mesmo valor</p>  <p>início do giro</p>  <p>final do giro</p> | $\geq \Delta i_{\min}$ |  | <p>Clotóide Reversa</p>  |
| | $< \Delta i_{\min}$ |  |  |
| | $< \Delta i_{\min}$ |  | <p>Giro Obliquo</p>  |
| | $\geq \Delta i_{\min}$ |  | <p>Giro pela Borda</p>  |

- o Eixo de Giro
- BE Borda Esquerda
- BD Borda Direita

Quadro 30a: Formas de Giro da Pista de Trânsito
DCE-C - 02/2000

| Transição | Δi | Tangente - Clotoíde - Curva circular | Curva Circular - Clotoíde - Curva circular |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| de: duas águas  | $\geq \Delta i_{\min}$ |  | |
| para: | $\geq \Delta i_{\min}^*$ |  | |
| uma água  | $< \Delta i_{\min}$ |  | |
| entre inclinações transversais relativamente grandes e de mesmo sentido  | qualquer |  | Clotoíde Oval  |

- o Eixo de Giro
- BE Borda Esquerda
- BD Borda Direita

* Ficam suavizadas as saliências no eixo da pista, porém os segmentos com q_{\min} ficam relativamente mais longos

Quadro 30b: Formas de Giro da Pista de Trânsito

7.3.5 Casos Especiais de Giro

Quando houver alargamentos simultâneos ou alargamentos simples da pista, o gradiente de inclinação longitudinal determinante para a inclinação longitudinal é o da pista original. Não são aplicados valores limites especiais para o gradiente de inclinação longitudinal da borda da pista no segmento de transição.

7.4 Alargamento da Pista de Trânsito

Nas mudanças de seção transversal, nas modificações do espaço central, nas inclusões de separadores de pistas, nas inserções de faixas adicionais de trânsito e nas inserções de faixas para saídas e entradas, as faixas diretas de trânsito devem ser adaptadas à nova seção transversal através de deformações. Para se conseguir um alinhamento oticamente satisfatório das faixas de trânsito diretas, a deformação, quando ocorrer em segmentos de raios relativamente pequenos, deve ser feita na borda interna da curva e, quando ocorrer em retas, em ambos os lados em relação ao eixo da estrada. As bordas da pista de trânsito devem, se possível, ser traçadas individualmente, independentemente do eixo da estrada, ou deverão ser adaptados por meio de duas parábolas quadráticas na forma de duas curvas em "S" (ver o **anexo 9**).

A extensão da deformação a ser adotada para todos os grupos de categorias de estradas deve ser de :

$$L_d = V_p \cdot \sqrt{\frac{i}{3}} \quad (20)$$

onde:

L_d (m) extensão da deformação

V_p (km/h) velocidade de projeto

i (m) ordenada máxima da deformação

Outros detalhes acerca do segmento de deformação L_d oticamente desejável e para a execução da adaptação podem ser obtidos através das *Diretrizes sobre Interseções*.

7.5 A Largura Adicional da Pista em Curvas

Ao se movimentar na curva, as rodas traseiras de um veículo descrevem um raio menor do que as rodas dianteiras. Devido a isto, haverá então a necessidade de um alargamento adicional i da pista em relação à largura na reta. O alargamento necessário da pista em curvas circulares para **raios ≥ 80 m** e **n faixas de trânsito** é calculado de acordo com a **Equação (21)**:

$$i = n \cdot R_b - \sqrt{(R_b^2 - D^2)} \quad (21)$$

onde:

D (m) distância entre eixos mais o balanço dianteiro do veículo

R_b (m) raio da borda externa

i (m) alargamento da pista de trânsito

n (--) quantidade de faixas de trânsito diretas

Devem ser estudadas as modificações angulares **[equação (22)]** e a extensão da curva no segmento com largura adicional **[equação (48), anexo 9]**.

O acréscimo na largura, necessária para os casos específicos de encontros de veículos, é determinada pela soma dos alargamentos das faixas de trânsito. Porém, o alargamento total da pista de trânsito só será alcançado quando, na transição de *reta - clotóide - curva circular*, o comprimento da adaptação ultrapassar o

valor $L_d = 2 \cdot D + \frac{A^2}{2 \cdot R}$ **[ver a equação (48), anexo 9]**.

Caso este comprimento não seja alcançado, o acréscimo necessário deverá ser calculado conforme a **Equação (51)** (ver **anexo 9**).

Para o parâmetro de veículos D ¹⁾ devem ser usados os seguintes valores:

| | |
|---------------------------------|---------|
| - Automóvel | 4,00 m |
| - Caminhão | 8,00 m |
| - Reboques | 10,00 m |
| - Ônibus 1 (tipo padrão urbano) | 8,00 m |
| - Ônibus 2 (tipo articulado) | 9,00 m |
| - Ônibus 3 (<i>Megaliner</i>) | 11,70 m |

Para a determinação do alargamento adicional da pista de trânsito em estradas rurais é recomendado o tipo de encontro Reboque/Reboque (**tabela 14**).

A largura adicional plena i_{max} somente é necessário aplicar quando o ângulo de modificação da direção exceder o valor $\gamma_{i_{max}}$, tomando-se como referência o

Tabela 14: Largura Adicional da Pista de Trânsito em Curvas.

| Tipos de Encontros Determinantes | Largura Adicional (com $n = 2$) para i (m) | | |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | | $B \leq 6,0$ m | $B > 6,0$ m |
| reboque/reboque | $\frac{50 \cdot n}{R}$ | $30 < R \leq 400$ | $30 < R \leq 200$ |
| ônibus 2/ônibus 2 | $\frac{40 \cdot n}{R}$ | $30 < R \leq 320$ | $30 < R \leq 160$ |

1) Valores originais das Diretrizes. Poderão ser utilizados sem erros perceptíveis para as nossas situações
DCE-C - 02/2000

ponto de i_{\max} , conforme a **Equação (22)**. Os valores intermediários para $\gamma_{\text{exist}} < \gamma_{i_{\max}}$ são obtidos das **Equações (23) e (24)**

$$\gamma_{i_{\max}} = 2 \cdot \frac{D}{R} \cdot \frac{200}{\pi} \quad (22)$$

$$i_{\text{nec}} = p \cdot i_{\max} \quad (23)$$

$$p = \sqrt[3]{\frac{\gamma_{\text{exist}}}{\gamma_{\max}}} \quad (24)$$

onde:

| | |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| i_{\max} (m) | alargamento máximo |
| γ_{exist} (grados) | ângulo de modificação de direção existente |
| $\gamma_{i_{\max}}$ (grados) | ângulo de modificação de direção para atingir o valor de i_{\max} |
| p (--) | fator de redução |

Podem ser dispensadas as larguras adicionais da pista de trânsito calculadas abaixo de **0,25 m** nas larguras de pista **B ≤ 6,0 m** e as abaixo de **0,50 m** nas larguras de pista **B > 6,0 m**.

Os cálculos necessários para a determinação da largura adicional referem-se ao eixo da pista, para todas as faixas de trânsito. A largura adicional i deve ser implantada no sentido da borda interna, com exceção das voltas, onde deve ser implantada no sentido da borda externa.

A transição da largura normal da pista de trânsito na reta para a nova seção transversal na curva acrescida do valor i é realizada sobre todos os três elementos, de acordo com o **Anexo 9**.

7.6 Voltas

Nas voltas, aplicadas em condições de relevo difíceis, há necessidade de adoção de largura adicionais de pista relativamente muito grandes, devido ao emprego de raios relativamente pequenos. Por isso, voltas só são projetadas para atender a movimentação geométrica e independem do deslocamento dinâmico do tráfego adotado para o trecho normal. Devido à isso, uma seqüência equilibrada e a observação de seqüências de raios não são exigidas.

Como o motorista não espera os raios relativamente muito pequenos devido às características do trajeto, as voltas devem ser precedidas por uma curva contrária. Além disso, deve haver uma sinalização muito clara em relação à quebra da característica do trajeto, através de sinais de trânsito correspondentes. A observância da visibilidade livre melhora a fluência do tráfego.

Os raios mínimos não podem fixar abaixo de **12,50 m** para o eixo da pista de trânsito e de **5,30 m** para o borda interna desta pista. Recomenda-se, para o parâmetro da curva de transição, o intervalo conforme a **Equação (25)**.

$$R \leq A \leq 1,2 \cdot R \quad (25)$$

onde:

| | |
|-------|------------------------|
| A (m) | parâmetro da clotóide; |
| R (m) | raio da curva circular |

As regras indicadas no **Item 7.5** referentes a transição da seção normal para a seção alargada podem ser aplicadas nas voltas somente até um raio de **R = 30,0 m**. Para raios menores e até **R = 12,50 m** é necessário a implantação de curva de giro. Se os "tipos de encontros determinantes" tiverem que ser empregados também nas voltas em razão da importância do tráfego da estrada, então o alargamento da pista de trânsito terá que ser feito separadamente para cada faixa de trânsito.

Uma diminuição da inclinação longitudinal na área da volta deve sempre ser almejada para facilitar o movimentação em curvas relativamente "fechadas".

8. Elementos de Projeto relacionados com a Visibilidade

8.1 Distâncias de Visibilidade Necessárias

A segurança do tráfego e a qualidade do desenrolar deste, exigem distâncias de visibilidade acima de um valor mínimo especificado.

A *distância de visibilidade para paradas* não tem apenas a função de proporcionar uma parada em tempo hábil, mas também, semelhantemente à velocidade de projeto, de constituir um elemento regulador no projeto que age diretamente sobre o deslocamento dinâmico do tráfego, para assegurar o tempo mínimo de reação e percepção. Esta distância é determinante para a avaliação das condições de visibilidade em estradas de pista simples e dupla de todas os grupos de categorias.

A *distância de visibilidade necessária para ultrapassagens* deve garantir ultrapassagens seguras. Por isto, ela define, adicionalmente, as condições visuais utilizadas pelo tráfego em sentido contrário de estradas de pista simples da categoria **A**. Em estradas das categorias **B I** e **B II**, as distâncias de visibilidade para ultrapassagem tem importância secundária.

8.1.1 Distância de Visibilidade Necessária para Paradas

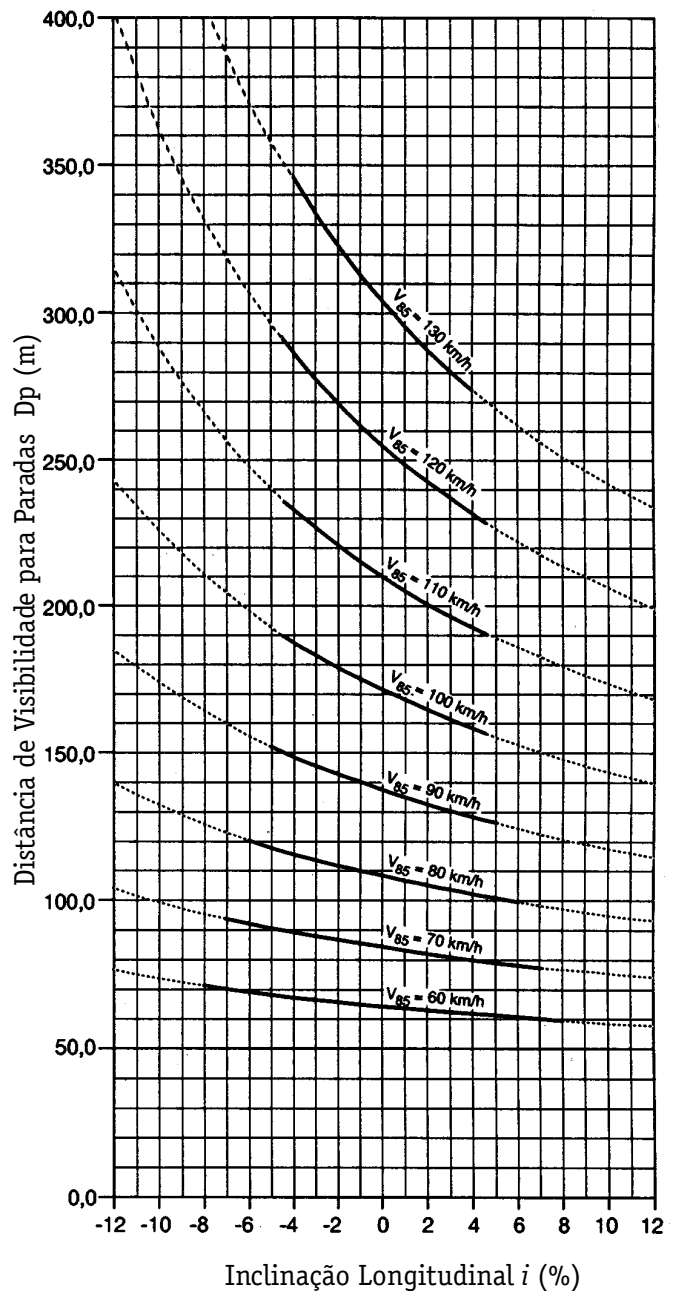
Define-se como *distância de visibilidade necessária para paradas* D_p , o trajeto que o motorista precisa para parar o seu veículo, com a velocidade V_{85} , diante de um obstáculo inesperado na faixa de trânsito correspondente. Este trajeto corresponde à distância percorrida pelo veículo durante o tempo de percepção e de reação, mais a distância de frenagem efetiva. (ver o **anexo 10**).

A distância de visibilidade necessária para paradas pode ser determinada no **Quadro 31**. Deve-se partir das inclinações longitudinais médias, as quais devem ser determinadas de segmento a segmento.

8.1.2 Distância de Visibilidade Necessária para Ultrapassagens

Chama-se de *distância de visibilidade necessária para ultrapassagens* D_u , o percurso necessário para efetuar um processo de ultrapassagem seguro. Esta distância pode ser obtida da **Tabela 15** para estradas em áreas rurais. Para estradas da categoria **B I** e **B II**, por motivo de segurança do tráfego (tráfego de conversão), não existem exigências quanto a uma distância de visibilidade necessária para ultrapassagens e, por isto, nestas estradas, não se considera estas distâncias.

As distâncias de visibilidade situadas no intervalo compreendido entre a metade e o valor pleno da distância



Quadro 31: Distância de Visibilidade Necessária para Paradas D_p

Tabela 15: Distância de Visibilidade Necessária para Ultrapassagens D_u para Estradas do Grupo de Categoria A

| V_{85} (km/h) | D_u (m) |
|-----------------|-----------|
| 60 | 475 |
| 70 | 500 |
| 80 | 525 |
| 90 | 575 |
| 100 | 625 |

de visibilidade necessária para ultrapassagens geram manobras de ultrapassagens perigosas e tem efeito prejudicial sobre a segurança do tráfego.

Em áreas críticas, onde é intencionada uma proibição de ultrapassagem, é possível que veículos lentos (tráfego agrícola) possam ser ultrapassados com segurança. Por isto, nestes casos, deve ser proporcionada a possibilidade de ultrapassagem através de sinalização adicional.

Podem ocorrer problemas com distâncias de visibilidade próximos da meia distância visual para ultrapassagens. No traçado de um projeto podem ocorrer, na realidade, distâncias de visibilidade maiores do que aquelas situadas em cumes coincidentes com retas no plano horizontal. Uma vez que estas distâncias se situam na região problemática entre a meia e a plena distância de visibilidade para ultrapassagem, recomenda-se, por motivos de segurança, a determinação da *distância de visibilidade espacial*.

8.2 As Distâncias de Visibilidade Existentes para Parada e para Ultrapassagem

As efetivas *distâncias de visibilidade existentes para parada e para ultrapassagem* de uma estrada são obtidas do traçado, da seção transversal e das margens da estrada (ver **anexo 10**).

As distâncias de visibilidade existentes são comparadas com as distâncias de visibilidade necessárias por meio de gráficos de distâncias de visibilidade, os quais devem ser elaborados em separado para cada sentido de trânsito (ver **anexo 10**).

Terão que ser cumpridas especialmente as seguintes exigências:

- a distância de visibilidade para paradas deve existir em todas as estradas e em toda extensão do trecho.
- como valor orientativo para a parte do trecho com possibilidades de ultrapassagens vale a média **20,0 a 25,0 %**. A distribuição destes segmentos ao longo do trecho deve ser a mais homogênea possível. Deve-se observar que uma parte significativa do trecho não poderá ser utilizada para ultrapassagens devido a proibições de ultrapassagem impostas ou devido à grande ocorrência de tráfego. Se a quantidade existente de distâncias de visibilidade para ultrapassagens for menor do que a quantidade mínima acima citada por motivos de proteção ambiental ou por motivos econômicos e se for difícil a modificação do traçado para se obter a quantidade mínima necessária, então poderão ser criadas possibilidades de ultrapassagem através da implantação de faixas de trânsito adicionais. Segmentos deste tipo devem ser incluídos nos cálculos da quantidade de trajetos com distâncias de visibilidade suficiente para ultrapassagens.
- o segmento de visibilidade deve ser executado de acordo com o traçado espacial de modo a ser previsível e reconhecível.

O campo visual deve ser mantido livre. Todos os obstáculos que prejudiquem a visibilidade até a altura da linha de visão devem ser permanentemente evitados (p. ex.: taludes, muros de arrimo, veículos estacionados, defensas em áreas de entradas, etc.). Fileiras de árvores em plantação espaçosa, assim como árvores individuais e arbustos, podem permanecer no campo visual a ser mantido livre quando oferecem restrição visual insignificante e quando estas servirem para guiar visualmente o tráfego ou para a formação do espaço de trânsito.

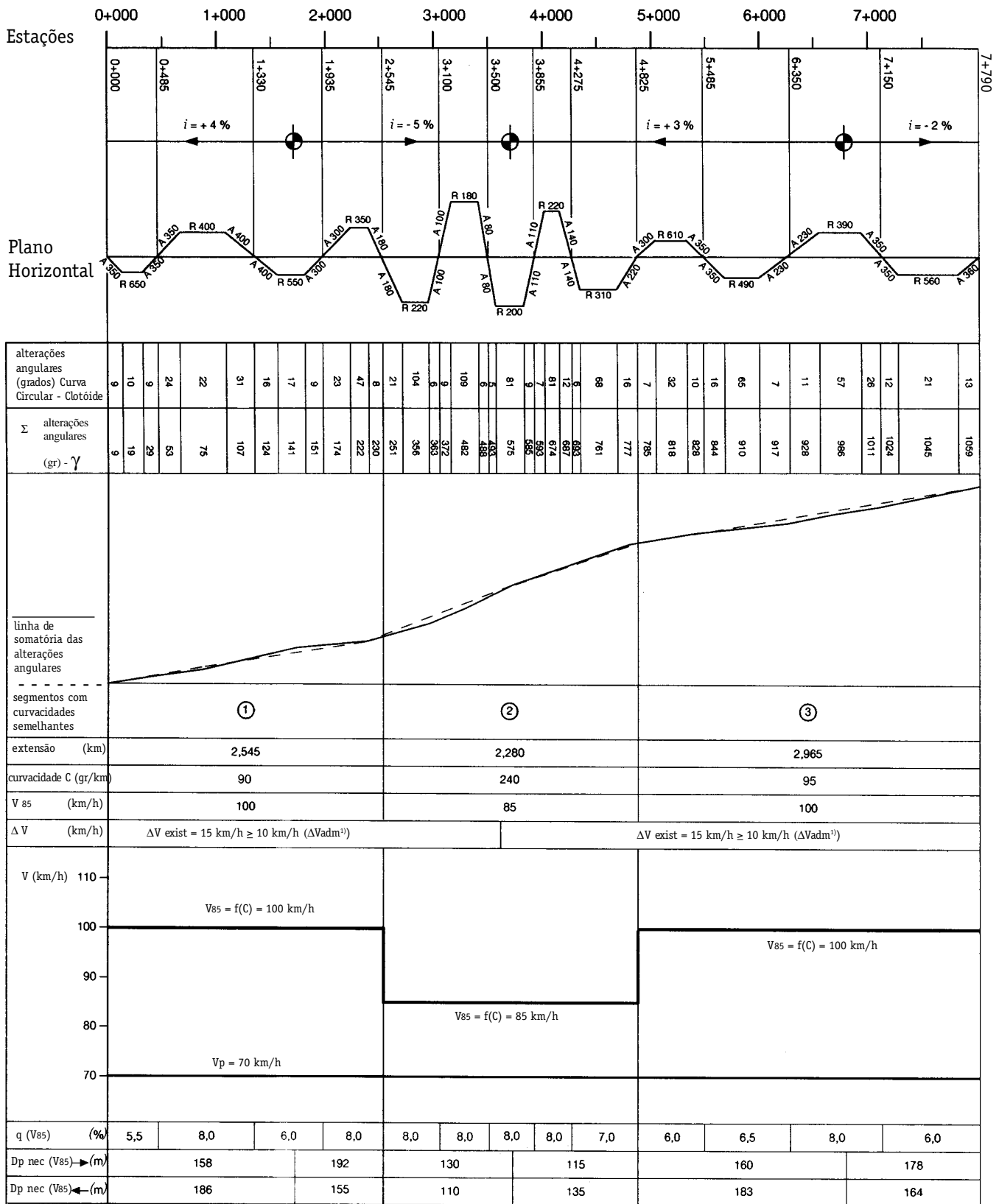
9. Coletânea dos Elementos de Projeto

| Elementos de Projeto | Ver Item | Estradas do Grupo de Categoria | Velocidade Determinante Utilizada | Valores Limites para V (km/h) conforme a Coluna 4 | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------|----------|----------|-----------|-------|------------|
| | | | | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 120 | |
| Plano Horizontal | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| | Comprimento Máximo da Reta | L max (m) | A | Vp | — | 1.200 | 1.400 | 1.600 | 1.800 | 2.000 | 2.400 |
| | Comprimento Mínimo da Reta no caso de Curvas Fletidas para o mesmo Lado | L min (m) | A | Vp | — | 360 | 420 | 480 | 540 | 600 | 720 |
| | Raio Mínimo Circular | R min (m) | A,B | Vp | 80 | 120 | 180 | 250 | 340 | 450 | 720 |
| | Parâmetro Mínimo de Clotóide | A min (m) | A,B | Vp | 30 | 40 | 60 | 80 | 110 | 150 | 240 |
| | Raio Mínimo Circular no caso de Inclinação Transversal com Caimento no Sentido da Borda Externa da Curva (q = - 2,0 %) | R min (m) | A,B | V85 | — | — | 550 | 850 | 1.300 | 1.900 | 3.500 |
| | Inclinação Longitudinal Máxima | i max (%) | A | Vp | 9,0 | 8,0 | 7,0 | 6,0 | 5,0 | 4,5 | 4,0 |
| | Inclinação Longitudinal Mínima na Região de Giro da Pista de Trânsito | i min (%) | B | Vp | 12,0 | 10,0 | 8,0 | 7,0 | 6,0 | 5,0 | — |
| | | | A,B | — | 0,7 (sem borda-alta: $i - \Delta i \geq 0,2 \%$) | | | | | | |
| | | | A,B | — | 0,7 (sem borda-alta: $i - \Delta i \geq 0,2 \%$) | | | | | | |
| Plano Vertical Longitudinal | Raio Mínimo do Cume | R _{vv} min (m) | A,B | Vp | 1.400 | 2.400 | 3.150 | 4.400 | 5.700 | 8.300 | 16.000 |
| | Raio Mínimo da Baixada | R _{vc} min (m) | A,B | Vp | 500 | 750 | 1.000 | 1.300 | 2.400 | 3.800 | 8.800 |
| | Inclinação Transversal Mínima | q min (%) | A,B | — | 2,5 | | | | | | |
| | Inclinação Transversal Máxima | q max (%) | A,B | — | 8,0 | | | | | | |
| Seção Transversal | Gradiente de Inclinação Longitudinal Máximo | Δi max (%) | A,B | Vp | 0,5 · a | 0,4 · a | 0,25 · a | 0,25 · a | 0,225 · a | 0,9 | (a ≥ 4,0m) |
| | Gradiente de Inclinação Longitudinal Mínimo | Δi min (%) | A,B | Vp | 2,0 | 1,6 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | (a ≥ 4,0m) |
| | | | A,B | — | a (m) distância da borda da pista ao eixo de giro | | | | | | |
| Visibilidade | Distância de Visibilidade Mínima para Paradas para i = 0 % | D _p min (m) | A,B | V85 | 50 | 65 | 85 | 110 | 140 | 170 | 250 |
| | Distância de Visibilidade Mínima para Ultrapassagens | D _u min (m) | A | V85 | — | 475 | 500 | 525 | 575 | 625 | — |
| | Extensão Mínima do Trecho com Distância de Visibilidade para Ultrapassagens | | A | — | 20 | | | | | | |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Anexo 1: Determinação da Velocidade V85 em Estradas de Pista Simples do Grupo de Categoria A (relativo ao item 3.2) | 54 |
| Anexo 2: Medidas Compensatórias para Traçados Irregulares na Ampliação de Estradas Existentes (relativo ao item 4.2.2) | 55 |
| Anexo 3: Cálculo dos Raios Mínimos em Curvas (ver itens 4.2.2 e 7.2.3) | 56 |
| Anexo 4: Geometria da Clotóide (ver item 4.3.1) | 56 |
| Anexo 5: Áreas de Giro da Pista de Trânsito na Curva de Transição (ver item 7.3.2) | 58 |
| Anexo 6: Cálculo das Curvas Verticais (ver | 60 |
| item 5.2.1) | 60 |
| Anexo 7: Correlação entre o Raio Mínimo da Curva Vertical Convexa e a Distância de Visibilidade para Paradas (ver item 5.2.2) | 60 |
| Anexo 8: Curva de Fuga [forma especial de curvas verticais convexas e côncavas (ver item 5.2.2)] | 61 |
| Anexo 9: Deformação das Bordas da Pista de Trânsito (ver itens 7.4 e 7.5) | 61 |
| Anexo 10: Determinação da Distância de Visibilidade (ver item 8) | 63 |
| Glossário | 69 |

Anexo 1: Determinação da Velocidade V_{85} em Estradas de Pista Simples do Grupo de Categoria A (relativo ao item 3.2)

$V_p = 70 \text{ km/h}$ $B = 6,5 \text{ m}$



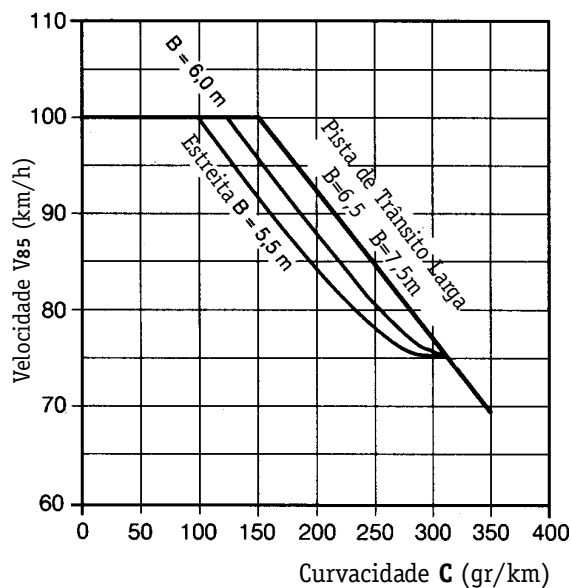
1) Deve-se avaliar quais medidas de transição devem ser previstas em função do valor de ΔV na troca de segmento e em função da facilidade de reconhecimento da característica do trajeto (ver anexo 2).

Quadro 32: Exemplo para a Determinação da Velocidade V_{85} em Estradas de Pista Simples do Grupo de Categoria A

Em estradas de pista simples do grupo de categoria **A**, a velocidade esperada V_{85} é função em alto grau da característica do segmento (ver **quadro 32**). A V_{85} pode ser determinada tanto para uma parte contínua do trecho total bem como para uma curva isolada.

Caso 1: Caso Normal de Implantação

A velocidade V_{85} é determinada para ambos os sentidos de trânsito, em segmentos e em função da curvacidade e da largura da pista de trânsito, a partir do **Quadro 33**. A curvacidade é a somatória das alterações angulares do plano horizontal, tomadas em valores absolutos, dentro de um segmento, dividida pela extensão desse segmento e assim calculada de acordo com a **Equação (26)**. O trecho a ser examinado terá que ser dividido em segmentos de curvacidades semelhantes. Os limites desses segmentos podem ser determinados, da melhor maneira, a partir da linha compensatória traçada sobre a linha da somatória dos valores absolutos das alterações angulares de direção (ver **quadro 32**).



Quadro 33: Correlação entre a Curvacidade C, a Largura da Pista B e a Velocidade V_{85} em Estradas de Pista Simples do Grupo de Categoria A

$$C = \frac{\sum \gamma_i}{L} \quad (26)$$

onde:

C (grados/km) curvacidade

γ_i (grados) alteração angular total da curva

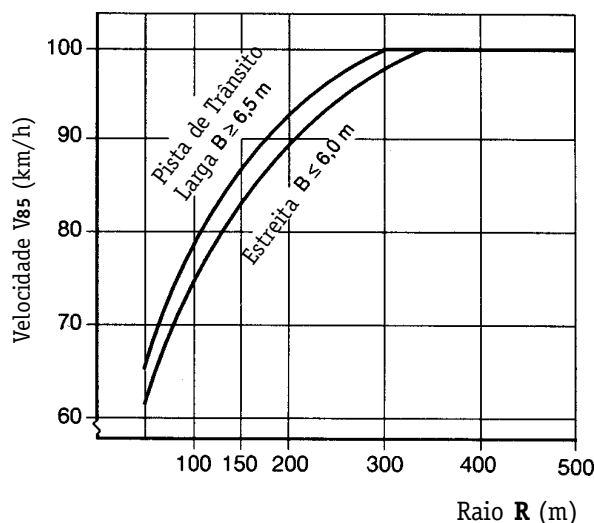
$$\gamma_i = \tau_{1i} + \alpha_{1i} + \tau_{2i}$$

α_i (grados) alteração de ângulo na curva circular

| | | |
|----------|----------|-----------------------------------------|
| τ_i | (grados) | alteração de ângulo na clotóide |
| L | (m) | comprimento do segmento |
| B | (m) | largura da pista de acordo com as DCE-S |

Caso 2: Caso Normal para Segmentos de Trechos relativamente Curtos nas Ampliações e nas Reformas

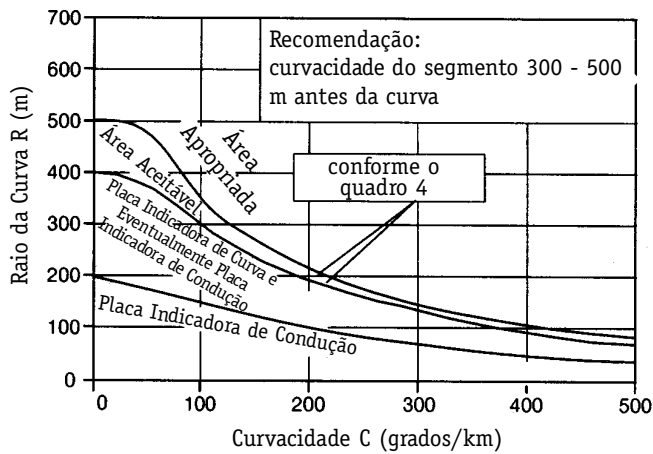
Nas medidas de reforma e de ampliação em segmentos de trechos relativamente curtos, a velocidade V_{85} pode também ser estimada para curvas isoladas, de acordo com o **Quadro 34**, utilizando-se a largura da pista de trânsito e o raio da curva.



Quadro 34: Correlação entre o Raio de Curva R, Largura de Pista B e a Velocidade V_{85} em Estradas de Pista Simples do Grupo de Categoria A

Anexo 2: Medidas Compensatórias para Traçados Irregulares na Ampliação de Estradas Existentes (relativo ao item 4.2.2)

Se as correlações de raios exigidas no **Quadro 4** (ver **item 4.2.2**) não puderem ser cumpridas na ampliação de estradas existentes, recomenda-se então chamar a atenção para as irregularidades na seqüência dos raios por meio de melhorias na condução ótica (sinalização viva, aumento da inclinação transversal da curva ou balizadores) e/ou através de uma sinalização por meio de placas, as quais advertem para a inconstância da relação de raios. O **Quadro 35** oferece informações sobre as medidas possíveis. Deve ser considerado que o risco de acidentes cresce em direção ao ponto zero do diagrama.



Quadro 35: Apoio para Medidas Adequadas em caso da impossibilidade de evitar um Traçado Inconstante na Ampliação de Estradas Existentes.

Anexo 3: Cálculo dos Raios Mínimos em Curvas (ver itens 4.2.2 e 7.2.3)

Da **Equação (27)** resultam os raios mínimos de curvas circulares para $q = 2,5\%$ e $q = 7,0\%$ contidos na **Tabela 17**. Não é permitido uma variante de raios mínimos de curva circulares com $q = 8,0\%$. A inclinação transversal máxima de $q = 8,0\%$ de acordo com a **Equação (15)**, leva em consideração, no dimensionamento da inclinação transversal, também as velocidades radiais superiores determinadas com a **V₈₅**.

$$R_{min} = \frac{V^2}{3,6^2 \cdot g \cdot (f_{Rmax} \cdot n + q)} = \frac{V^2}{127 \cdot (f_{Rmax} \cdot n + q)} \quad (27)$$

onde:

- R_{min} (m) raio mínimo da curva circular
- V (km/h) velocidade
- utilizar:
- V_p (km/h) quando a inclinação transversal tiver caimento no sentido da borda interna da curva
- V₈₅ (km/h) quando a inclinação transversal tiver caimento no sentido da borda externa da curva
- g (m/s²) aceleração da gravidade
- f_{Tmax} (--) coeficiente de aceleração tangencial máximo (a 95 % dos valores do coeficiente de atrito)

$$f_{Tmax} = 0,241 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0,721 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 0,708$$

f_{Rmax} (--) coeficiente de aceleração radial [f_{Rmax} = 0,925 · f_{Tmax}]

onde:

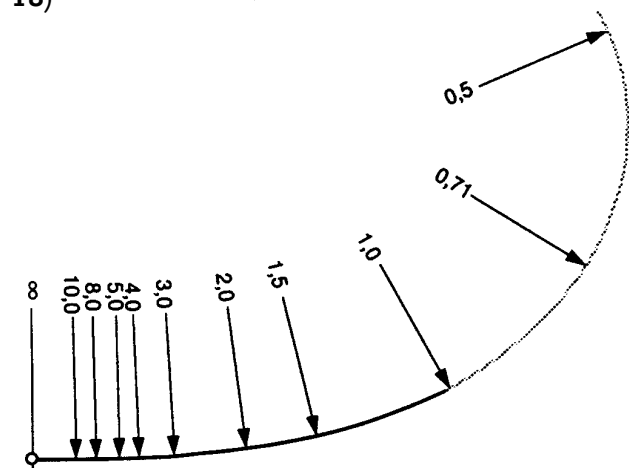
- n (--) aproveitamento do coeficiente de aceleração radial máximo
- q (--) inclinação transversal (usar com sinal negativo no caso de caimento no sentido da borda externa da curva)

Tabela 17: Raios Mínimos de Curva Circular Horizontal [valores de acordo com a equação (27) e arredondados]

| V _p (km/h) | R _{min} (m) | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| | q = 7,0 % n = 50 % | q _{min} = 2,5 % n = 10 % |
| 50 | 80 | 320 |
| 60 | 120 | 490 |
| 70 | 180 | 700 |
| 80 | 250 | 980 |
| 90 | 340 | 1400 |
| 100 | 450 | 1700 |
| 120 | 720 | 2700 |

Anexo 4: Geometria da Clotóide (ver item 4.3.1)

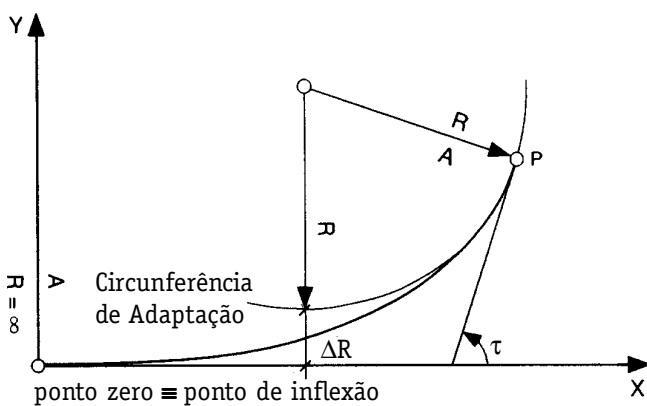
Todas as clotóides são geometricamente semelhantes entre si. Devido a isto, em todas as clotóides, nos pontos de mesmas formas, aparecem os mesmos ângulos de direção e os mesmos valores de forma e de proporção $r/a = R/A = \text{constante}$. Estes pontos da curva são chamados de pontos característicos e são definidos, claramente, através do raio r da **clotóide unitária (a=1)** para todas as clotóides (**Quadro 36 e tabela 18**).



Quadro 36: Pontos Característicos da Clotóide

Tabela 18: Parâmetros dos Pontos Característicos da Clotóide

| Pontos Característicos | τ (grados) | τ (rad.) | A | | R | | L | |
|------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-----------------|
| | | | | | | | | |
| 1 | 31,83 | 0,50 | 1,00 R | 1,00 L | 1,00 A | 1,00 L | 1,00 A | 1,00 R |
| 1,5 | 14,16 | 0,22 | 0,67 R | 1,50 L | 1,50 A | 2,25 L | 0,67 A | 0,45 R |
| 2 | 7,96 | 0,13 | 0,50 R | 2,00 L | 2,00 A | 4,00 L | 0,50 A | 0,25 R |
| 3 | 3,54 | 0,06 | 0,33 R | 3,00 L | 3,00 A | 9,00 L | 0,33 A | 0,11 R |
| 4 | 1,99 | 0,03 | 0,25 R | 4,00 L | 4,00 A | 16,00 L | 0,25 A | 0,06 R |
| 5 | 1,27 | 0,02 | 0,20 R | 5,00 L | 5,00 A | 25,00 L | 0,20 A | 0,04 R |
| 6 | 0,89 | 0,01 | 0,17 R | 6,00 L | 6,00 A | 36,00 L | 0,17 A | 0,03 R |
| ∞ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | — | — | 0,00 | 0,00 |
| $\frac{R}{A}$ | $\frac{100}{r^2 \cdot \pi}$ | $\frac{1}{2} r^2$ | $\frac{R}{r}$ | $r \cdot L$ | $r \cdot A$ | $r^2 \cdot L$ | $\frac{A}{r}$ | $\frac{R}{r^2}$ |



$$\Delta R = A \cdot \left(\frac{l^3}{24} - \frac{l^7}{2680} + \frac{l^{11}}{506880} - \frac{l^{15}}{154828800} \right) \quad (35)$$

$$X_c = A \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{l^5}{240} + \frac{l^9}{34560} - \frac{l^{13}}{8386560} \right) \quad (36)$$

O número de membros é suficiente para uma precisão de **1,0 mm** até **A = 3.000 m**. ($l = L / A$)

R (m) raio da circunferência de adaptação ao ponto P da clotoide

A (m) parâmetro da clotoide

L (m) extensão da clotoide do ponto inicial ao ponto P

τ ângulo entre as tangentes no ponto inicial e no ponto P

X, Y coordenadas retangulares do ponto P

X_c abcissa do centro da curva

ΔR (m) distância entre a tangente da curva no ponto inicial e a circunferência de adaptação

Para cálculos aproximados de X, Y e ΔR , em função de L e R, são suficientes as seguintes fórmulas expressas em L e R:

$$X \cong L \quad (37)$$

$$Y \cong \frac{L^2}{6 \cdot R} \quad (38)$$

$$\Delta R \cong \frac{L^2}{24 \cdot R} \quad (39)$$

Quadro 37: Geometria da clotoide

A lei de formação da clotoide é:

$$A^2 = R \cdot L \quad (28)$$

$$\tau(\text{rad}) = \frac{L}{2 \cdot R} \quad (29)$$

$$\tau(\text{gr}) = \frac{L}{2 \cdot R} \cdot \frac{200 \text{ gr}}{\pi} \quad (30)$$

$$X = \int_0^L \cos \frac{L^2}{2 \cdot R^2} dL \quad (31)$$

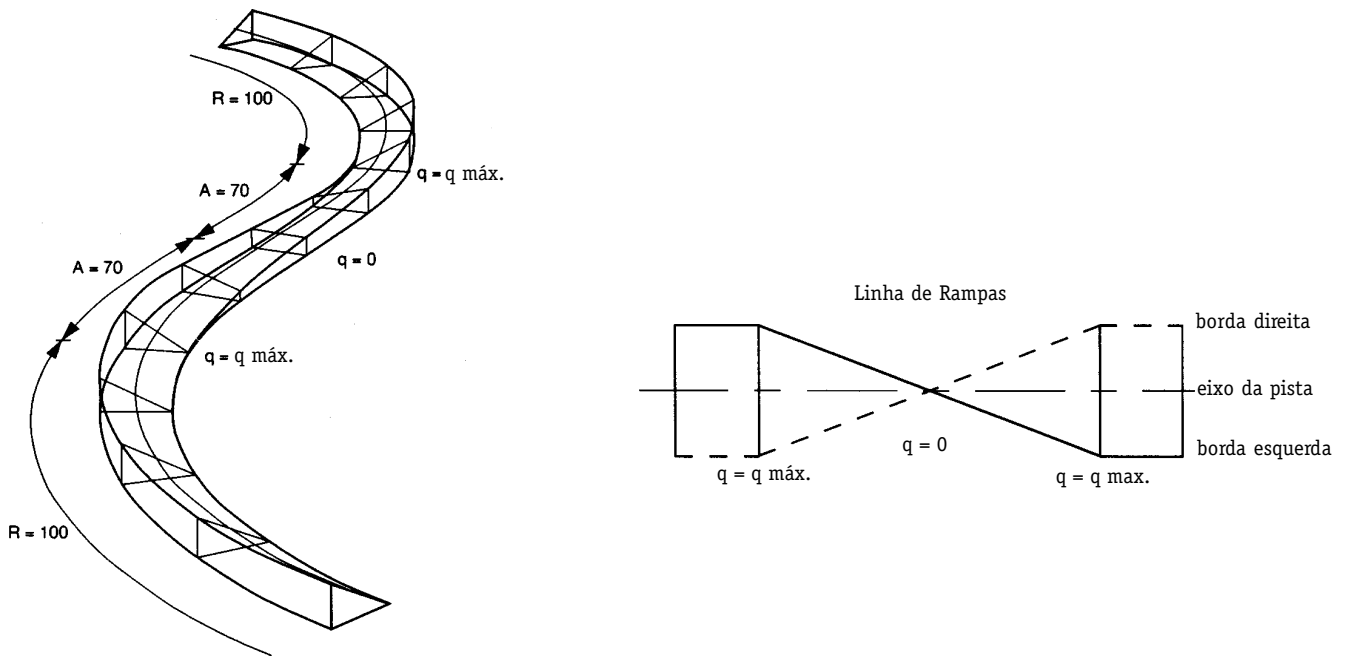
$$Y = \int_0^L \text{sen} \frac{L^2}{2 \cdot R^2} dL \quad (32)$$

Desenvolvimento da série para X, Y, ΔR e X_c

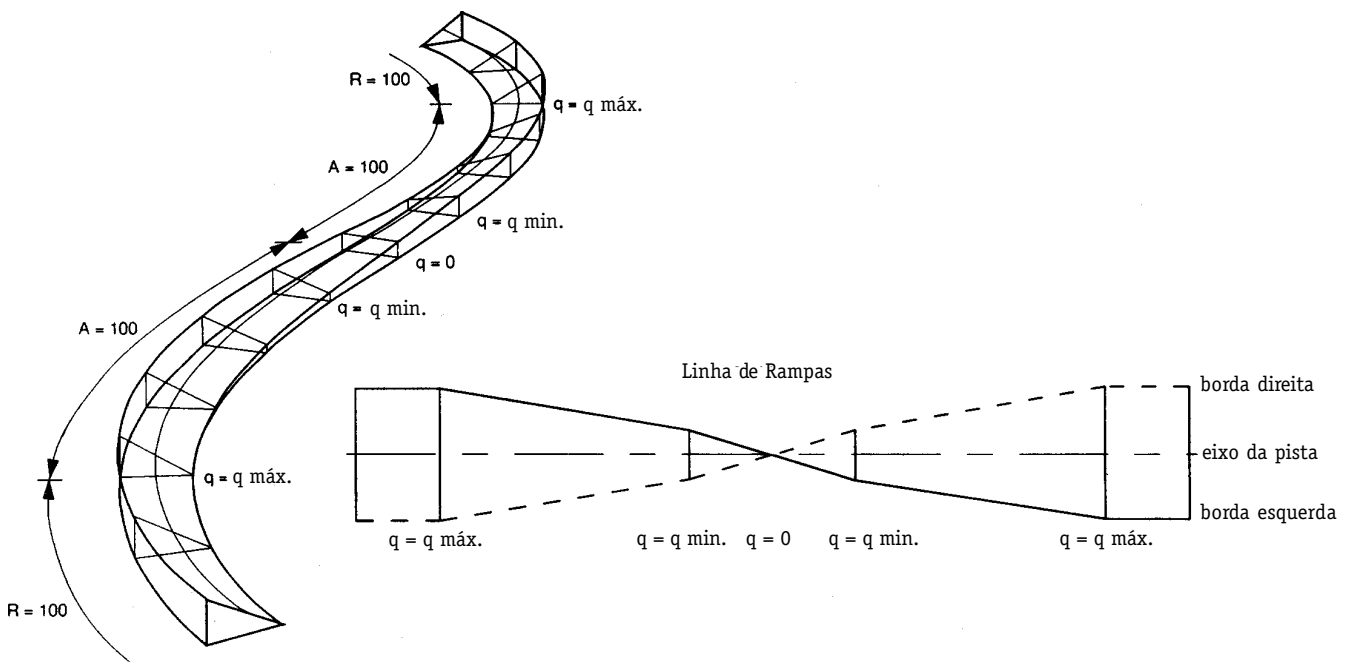
$$X = A \cdot \left(L - \frac{l^5}{40} + \frac{l^9}{3456} - \frac{l^{13}}{599040} + \frac{l^{17}}{175472640} \right) \quad (33)$$

$$Y = A \cdot \left(\frac{l^3}{6} - \frac{l^7}{336} + \frac{l^{11}}{42240} - \frac{l^{15}}{9676800} \right) \quad (34)$$

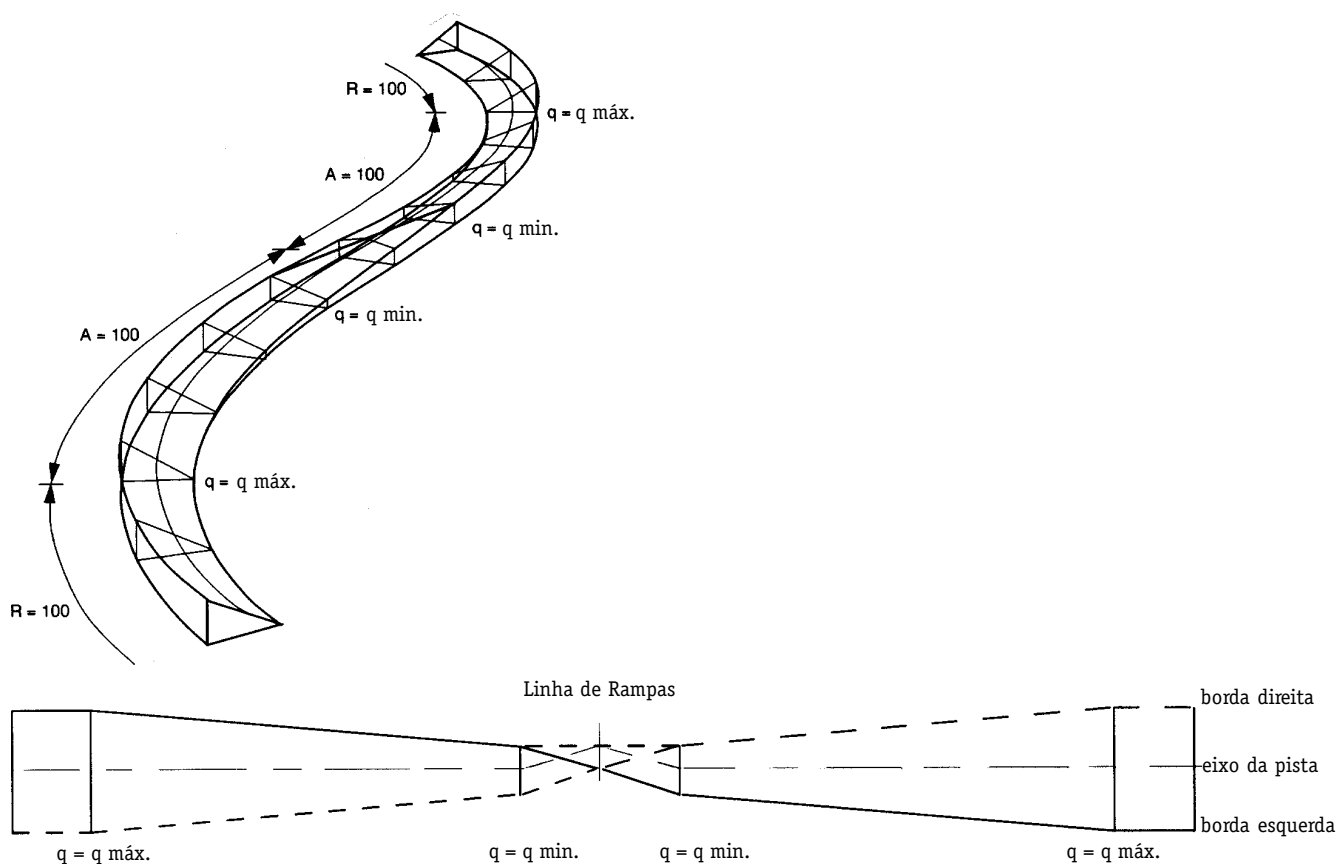
Anexo 5: Áreas de Giro da Pista de Trânsito na Curva de Transição (ver item 7.3.2)



Quadro 38: Exemplo de um Segmento Curto de Giro



Quadro 39: Exemplo de um Segmento Longo de Giro com Giros Diferenciados (ver item 7.3.3)



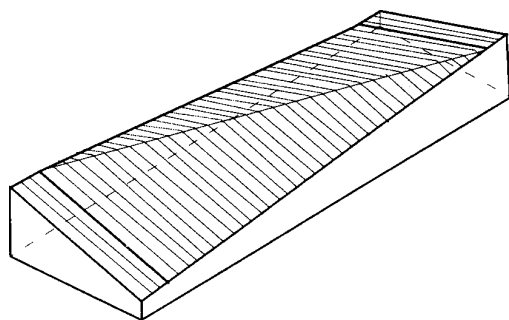
Quadro 40: Exemplo de um Segmento Longo de Giro com Giro Oblíquo. (ver item 7.3.3)

Clotóide Simples:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{a \cdot (q_f - q_i)}{\Delta i_{max}}} \cdot R \quad (40)$$

Segmento de Clotóide:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{a \cdot (q_f - q_i)}{\Delta i_{max} \cdot \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)}} \quad (41)$$



Quadro 41: Vista de um Segmento com Giro Oblíquo (representação exagerada).

Cálculo do Comprimento Mínimo da Clotóide a partir da Condição do Perfil Longitudinal da Borda e do Giro da Pista de Trânsito

Na maioria dos casos, há uma necessidade de um comprimento de clotóide para a distribuição da inclinação transversal e para o giro da pista de trânsito, pois, as condições conforme o **Item 4.3.2**, são amplas. Caso se torne necessário calcular o parâmetro mínimo da clotóide a partir destas condições, deve-se usar as seguintes fórmulas:

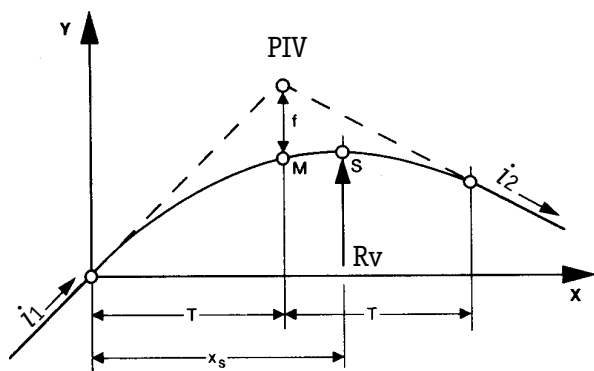
onde:

- A_{min} (m) parâmetro mínimo da clotóide.
- a (m) distância da borda da pista de trânsito ao eixo de giro.
- q_f (%) inclinação transversal no final da clotóide
- q_i (%) inclinação transversal no início da clotóide
- q_2 (%) inclinação transversal no final do segmento de clotóide
- q_1 (%) inclinação transversal no início do segmento de clotóide (usar q_i e q_1 negativamente quando forem contrários a q_f e q_2)

| | | |
|--------------------|-----|----------------------------------------|
| Δi_{max} . | (%) | gradiente de inclinação longitudinal |
| R | (m) | raio no final da clotóide |
| R ₂ | (m) | raio no final do segmento de clotóide |
| R ₁ | (m) | raio no início do segmento de clotóide |

| | | |
|--------|-----|--------------------------------------------------------------------|
| $i(x)$ | (%) | inclinação longitudinal em um ponto qualquer da curva vertical. |
| $y(x)$ | (m) | ordenada de um ponto qualquer da curva |
| x_s | (m) | abscissa do vértice. |
| f | (m) | flecha da parábola. |
| M | | ponto da curva na vertical do PIV. |
| S | | ponto extremo da curva vertical, em relação à horizontal (vértice) |
| PIV | | ponto de inflexão vertical |

Anexo 6: Cálculo das Curvas Verticais (ver item 5.2.1)



$$x_s = \frac{i_1}{100} \cdot R_v \quad (42)$$

$$i(x) = i_1 + \frac{x}{R_v} \cdot 100 \quad (43)$$

$$y(x) = \frac{i_1}{100} \cdot x + \frac{x^2}{R_v} \cdot 100 \quad (44)$$

$$T = \frac{R_v}{2} \cdot \left(\frac{i_2 - i_1}{100} \right) \quad (45)$$

$$f = \frac{T^2}{2 \cdot R_v} = \frac{T}{4} \cdot \left(\frac{i_2 - i_1}{100} \right) = \frac{R_v}{8} \cdot \left(\frac{i_2 - i_1}{100} \right)^2 \quad (46)$$

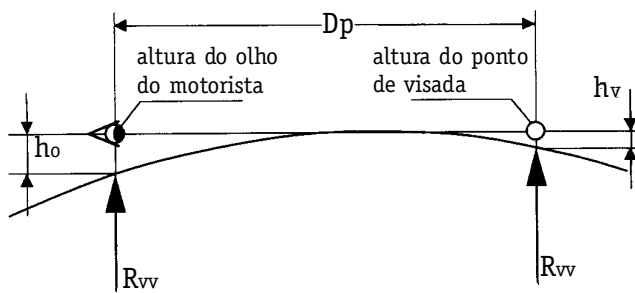
Regras para os sinais:

| | |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Active : | positivo (+i ₁ , +i ₂) |
| Declive: | negativo (-i ₁ , -i ₂) |
| Raio da Curva Côncava (R _{vc}): | positivo (+R _v) |
| Raio da Curva Convexa (R _{vv}): | negativo (-R _v) |
| R _v | (m) parâmetro da parábola do 2º grau (raio da circunferência de adaptação no vértice). |
| T | (m) comprimento da tangente |
| i ₁ , i ₂ | (%) inclinação longitudinal da tangente |

Quadro 42: Cálculo de Curvas Verticais com a Utilização de Parábola do 2º Grau.

Anexo 7: Correlação entre o Raio Mínimo da Curva Vertical Convexa e a Distância de Visibilidade para Paradas (ver item 5.2.2)

Os raios mínimos das curvas verticais convexas da Tabela 10 (ver item 5.2.2) provém da experiência. Entre o raio mínimo da curva convexa **R_{vv}**, a distância de visibilidade para paradas **D_p** a altura do olho do motorista **h_o**, e a altura do ponto de visada **h_v**, existe, conforme um modelo de medição geométrica, a seguinte relação (quadro 43):



$$R_{vv \text{ min}} = \frac{D_p^2}{2 \cdot (\sqrt{h_o} + \sqrt{h_v})^2} \quad (47)$$

| | | |
|---------------------|-----|---------------------------------------------------------------------|
| R _{vv min} | (m) | raio mínimo da curva vertical convexa. |
| D _p | (m) | distância de visibilidade necessária para paradas (ver o quadro 31) |
| h _o | (m) | altura do olho do motorista |
| h _v | (m) | altura do ponto de visada (ver quadro 43 e tabela 20) |

Quadro 43: Distâncias de Visibilidade Necessárias para Paradas e para Ultrapassagens em Curvas Verticais Convexas

As alturas do ponto de visada constantes da **Tabela 20 (anexo 10)** foram calculadas a partir dos raios mínimos das curvas verticais convexas da **Tabela 10 (ver item 5.2.2)**, assim como da distância de visibilidade necessária para paradas do **Quadro 31 (ver item 8.1.1)**, sob as seguintes condições periféricas de influência adotadas:

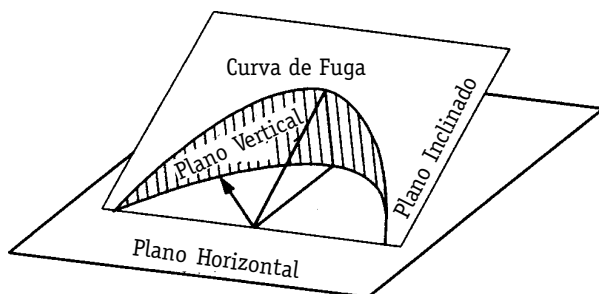
- $V_{85} = V_p + 10$ km/h
- o percurso total para parada se situa na região do ponto extremo (vértice) da curva com uma inclinação longitudinal média de $i_m = \pm 0,0\%$ (na metade anterior e na metade posterior desta região do ponto de vértice).

Nos cálculos dos raios das curvas verticais convexas com meia e total distância visual de ultrapassagem foi utilizado a altura do olho do motorista h_o de acordo com a **Tabela 20** e a distância de visibilidade para ultrapassagens da **Tabela 15**.

A correlação entre as distâncias de visibilidade para ultrapassagens e as velocidades de projeto é também resultante das condições de influências periféricas acima citadas.

Anexo 8: Curva de Fuga [forma especial de curvas verticais convexas e côncavas (ver item 5.2.2)]

A curva de fuga facilita o reconhecimento do traçado da estrada na área da curva, pois a curva espacial determinada pelo raio da curva no plano horizontal e pelo raio no plano vertical se situa em uma área plana inclinada (ver **quadro 44**). Através desta visão tridimensional são ampliadas as distâncias de visibilidade em relação àquelas determinadas bidimensionalmente segundo o **Anexo 7**.



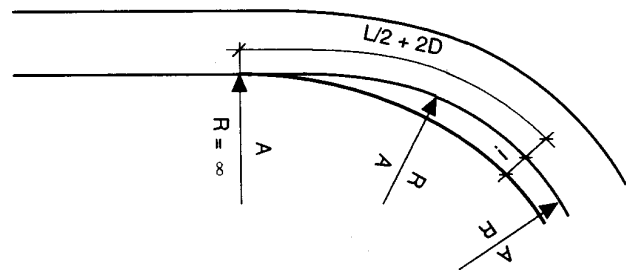
Quadro 44: Curva de Fuga

Anexo 9: Deformação das Bordas da Pista de Trânsito (ver itens 7.4 e 7.5)

As deformações das bordas da pista de trânsito são necessárias:

- na implantação de faixas adicionais para saídas ou entradas em interseções (alargamentos de pista).
- na implantação de alargamentos de pista de trânsito em curvas
- na consideração de curvas de giro na implantação de voltas

a) Cálculo dos Comprimentos de Deformação em Alargamentos de Pista



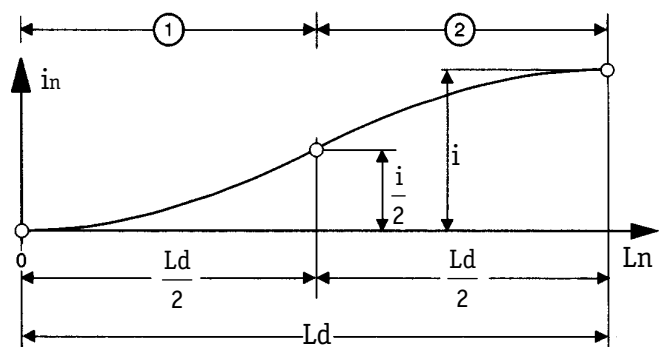
$$L_d = 2 \cdot D + \frac{L}{2} = 2 \cdot D + \frac{A^2}{2 \cdot R} \quad (48)$$

onde:

- L_d (m) comprimento da deformação
- D (m) eixo de reboque (distância entre eixos + balanço dianteiro)
- A (m) parâmetro da clotóide
- L (m) comprimento da clotóide
- R (m) raio

Quadro 45: Seqüência Reto - Clotóide - Curva Circular (ver item 7.4)

b) Deformação de Borda de Pista com Duas Parábolas Quadráticas sem Reto Intermediária:



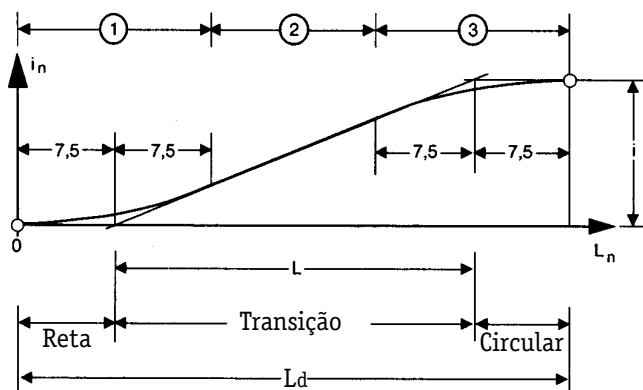
$$i_n = \frac{2 \cdot i \cdot L_n^2}{L_d^2} \quad \text{para } 0 \leq L_n \leq \frac{L_d}{2} \quad (49a)$$

$$i_n = i - \frac{2 \cdot i \cdot (L_d - L_n)^2}{L_d^2} \quad \text{para } \frac{L_d}{2} \leq L_n \leq L_d \quad (49b)$$

onde:

- i (m) alargamento total da pista
- L_d (m) comprimento da deformação
- i_n (m) alargamento da pista num determinado ponto.
- L_n (m) extensão da deformação até um ponto determinado.

c) Deformação de Borda de Pistas com Duas Parábolas Quadráticas com Retra Intermediária



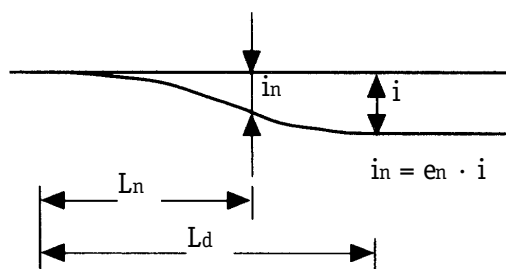
$$i_n = \frac{i}{30,0 \cdot L} \cdot L_n^2 \quad \text{para } 0 \leq L_n \leq 15,0 \text{ m} \quad (50a)$$

$$i_n = \frac{i}{L} \cdot (L_n - 7,5 \text{ m}) \quad \text{para } 15,0 \text{ m} \leq L_n \leq (L_d - 15,0 \text{ m}) \quad (50b)$$

Quadro 46: Deformação das Bordas da Pista de Rodagem em caso de Alargamentos (ver ítem 7.4)

Tabela 19: Configuração Unitária para a Deformação conforme o Quadro 46

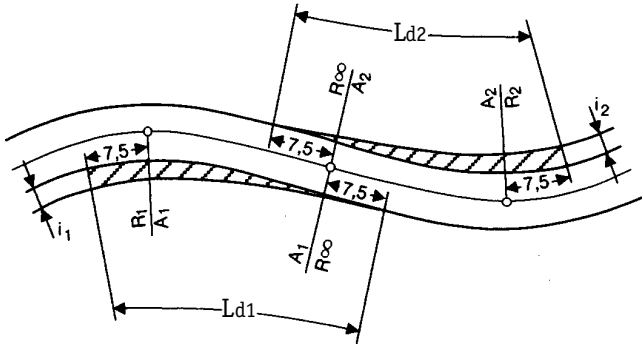
| $a = \frac{L_n}{L_d}$ | e_n | Δe_n | $a = \frac{L_n}{L_d}$ | e_n | Δe_n |
|-----------------------|-------|--------------|-----------------------|-------|--------------|
| 0,00 | 0,000 | | 0,50 | 0,500 | |
| | | 0,005 | | | 0,095 |
| 0,05 | 0,005 | | 0,55 | 0,595 | |
| | | 0,015 | | | 0,085 |
| 0,10 | 0,020 | | 0,60 | 0,680 | |
| | | 0,025 | | | 0,075 |
| 0,15 | 0,045 | | 0,65 | 0,755 | |
| | | 0,035 | | | 0,065 |
| 0,20 | 0,080 | | 0,70 | 0,820 | |
| | | 0,045 | | | 0,055 |
| 0,25 | 0,125 | | 0,75 | 0,875 | |
| | | 0,055 | | | 0,045 |
| 0,30 | 0,180 | | 0,80 | 0,920 | |
| | | 0,065 | | | 0,035 |
| 0,35 | 0,245 | | 0,85 | 0,955 | |
| | | 0,075 | | | 0,025 |
| 0,40 | 0,320 | | 0,90 | 0,980 | |
| | | 0,085 | | | 0,015 |
| 0,45 | 0,405 | | 0,95 | 0,995 | |
| | | 0,095 | | | 0,005 |
| 0,50 | 0,500 | | 1,000 | 1,000 | |



$$i_n = i - \frac{i}{30,0 \cdot L} \cdot (L_d - L_n)^2 \text{ para } (L_d - 15,0\text{m}) \leq L_n \leq L_d \text{ (50 c)}$$

onde:

- i (m) alargamento total da pista
- L (m) comprimento da clotóide
- L_d (m) comprimento da deformação = $L + 15,0$ m

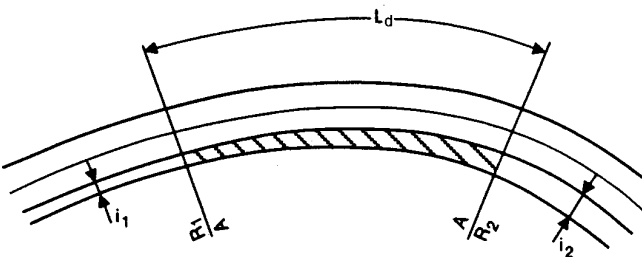


- i_n (m) alargamento da pista num determinado ponto.
- L_n (m) extensão da deformação até um ponto determinado.

Quadro 47 : Deformação da Borda da Pista em casos de Alargamentos (ver item 7.5)

d) deformação em alargamentos de pista de trânsito através de distribuição linear.

Se o desenvolvimento da parte circular for menor do que **15,0 m**, então as áreas de deformação começam e terminam no meio da curva circular. Se a proporção for de $\frac{L}{i} \geq 20$, então a deformação no segmento da curva de transição poderá ser executada linearmente.



$$i_n = \frac{i}{L_d} \cdot L_n \quad (51)$$

onde:

- i (m) alargamento total da pista de trânsito
- L_d (m) comprimento da curva de transição = comprimento da deformação
- i_n (m) alargamento da pista de trânsito num determinado ponto

- L_n (m) extensão da deformação até um ponto determinado

Quadro 48: Alargamento de Pista numa Clotóide Reversa (distribuição do alargamento conforme o quadro 47)

onde:

- i_1 (m) alargamento da pista no início da clotóide oval
- i_2 (m) alargamento da pista no fim da clotóide oval
- L (m) comprimento da clotóide oval = comprimento da deformação
- i_n (m) alargamento da pista num determinado ponto
- L_n (m) extensão da deformação até um ponto determinado.

Quadro 49: Alargamento de Pista numa Clotóide Oval.

Anexo 10: Determinação da Distância de Visibilidade (ver item 8)

Determinação da Distância de Visibilidade Necessária para Paradas

A distância de visibilidade para paradas é calculada através das seguintes equações:

$$D_p = D_1 + D_2 \quad (53)$$

$$D_1 = \frac{V_0}{3,6} \cdot t_R \quad (54)$$

$$D_2 = \frac{1}{3,6^2 \cdot g} \cdot \int_{v_1}^{v_2} \frac{V}{f_T(V) + \frac{i}{100} + \frac{R_a}{P_a}} dV \quad (55)$$

onde:

- D_p (m) distância de visibilidade para paradas
- D_1 (m) distância percorrida no tempo de percepção e reação
- D_2 (m) distância de frenagem
- V (km/h) velocidade
- V_0 (km/h) velocidade no início da frenagem
- t_R (s) tempo de percepção e reação ($t_R = 2$ s)
- g (m/s²) aceleração da gravidade

f_r (--) coeficiente de atrito tangencial

$$f_r = 0,241 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0,721 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 0,708$$

onde:

i (%) inclinação longitudinal (positivo: ativo; negativo: declive).

R_a (N) resistência do ar de um automóvel.

P_a (N) peso de um automóvel.

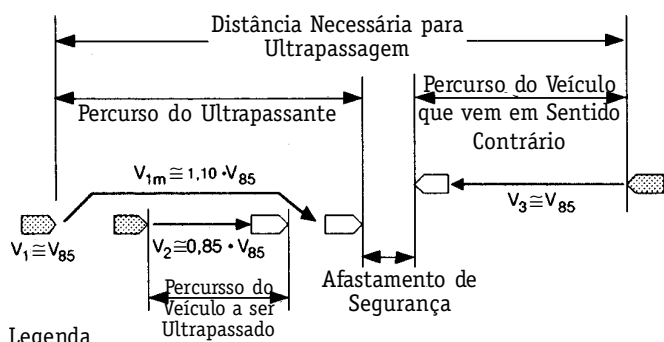
$$R_a / P_a = 0,327 \cdot 10^{-4} \left(\frac{V}{3,6}\right)^2$$

A distância necessária para paradas é igual na curva e na reta.

A **Integral (55)** pode ser resolvida para o processo de frenagem aplicando os seguintes parâmetros: $V_2 = V_0 = V_{85}$; $V_1 = 0$ com $f_R = 0$ e $f_T = f(v)$, como:

$$D_2 = 147,8 \cdot \ln \left[\frac{0,266 \cdot \left(\frac{V_0}{100}\right)^2 - 0,72 \cdot \frac{V_0}{100} + \frac{i}{100} + 0,708}{\frac{i}{100} + 0,708} \right] + \frac{213}{\sqrt{\frac{1,064 \cdot i}{100} + 0,233}} \cdot \arctg \left(\frac{\frac{V_0}{100} \cdot \sqrt{\frac{1,064 \cdot i}{100} + 0,233}}{2 \cdot \frac{i}{100} - 0,721 \cdot \frac{V_0}{100} + 1,42} \right) \quad (56)$$

$$\frac{213}{\sqrt{\frac{1,064 \cdot i}{100} + 0,233}} \cdot \arctg \left(\frac{\frac{V_0}{100} \cdot \sqrt{\frac{1,064 \cdot i}{100} + 0,233}}{2 \cdot \frac{i}{100} - 0,721 \cdot \frac{V_0}{100} + 1,42} \right)$$



Legenda
 veículo no início do processo de ultrapassagem
 veículo no final do processo de ultrapassagem

Quadro 50: Modelo da Distância de Visibilidade para Ultrapassagem

onde:

D_2 (m) distância de frenagem

V_0 (km/h) velocidade no início da frenagem

i (%) inclinação longitudinal média ao longo do percurso de frenagem (colocar negativo para declives)

Modelo da Distância para Ultrapassagens

A distância necessária para ultrapassagens se compõe do trajeto percorrido pelo veículo ultrapassante e pelo veículo que vem em sentido contrário durante o tempo de duração da manobra de ultrapassagem, bem como da distância de segurança entre os dois veículos no final do processo (ver **quadro 50**). A distância de visibilidade para ultrapassagens depende então, neste caso, da velocidade V_{85} .

Determinação das Distâncias de Visibilidade Existentes (ver o item 8.2)

A capacidade de percepção da visão humana é limitada. Obstáculos na pista precisam ter um tamanho mínimo para que possam ser vistos e reconhecidos a partir de uma certa distância. Essa percepção mínima depende da capacidade visual humana, das qualidades óticas do obstáculo e da pista, assim como das circunstâncias de luminosidade e de condições climáticas. Obstáculos grandes demais para serem atropelados, podem, mesmo assim, ser pequenos demais para serem observados em tempo hábil ao se transitar com a velocidade determinante. Por isso, também, não é possível padronizar um obstáculo, suas medidas e suas qualidades óticas na medição da distância de visibilidade para paradas, de modo que se terá que partir sempre de um modelo para a determinação da distância de visibilidade que seja geometricamente, psicologicamente e fisiologicamente sensatos, o qual, mesmo assim, ainda não é satisfatório. Mesmo existindo em cada local do projeto as distâncias de visibilidade para paradas exigidas, não se pode assegurar, em todos os casos, o reconhecimento de pequenos obstáculos. Devido a isso, fala-se nas diretrizes, da altura de um ponto de visada e não da altura de um ponto de obstáculo.

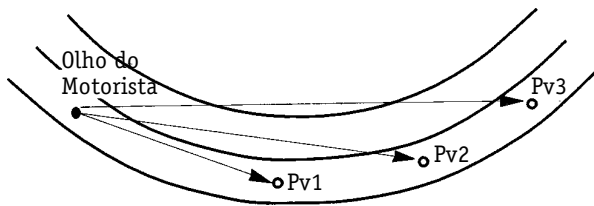
Para a determinação das distâncias de visibilidade valem as seguintes regras:

- a determinação terá que ser feita sob consideração do espaço da estrada. Devem ser considerados todos os dispositivos da própria estrada em si, bem como plantações eventualmente existentes e as previstas
- a determinação deve ser feita para cada tipo de distância de visibilidade, em ambos os sentidos de trânsito
- como dado de entrada para a determinação das

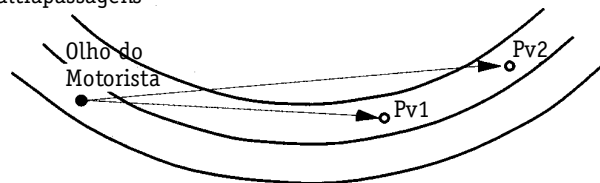
Tabela 20 : Dados de Entradas para a Determinação de Distâncias de Visibilidade Existentes

| | Olho do Motorista | | Ponto de Visada | | |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|------------|---------------|
| | Posição | Altura ho (m) | Posição | V85 (km/h) | Altura h2 (m) |
| distância de visibilidade para paradas | no eixo da própria faixa de trânsito | 1,0 | no eixo da própria faixa de trânsito | 60 | 0,00 |
| | | | | 70 | 0,05 |
| | | | | 80 | 0,15 |
| | | | | 90 | 0,25 |
| | | | | 100 | 0,35 |
| | | | | 110 | 0,40 |
| | | | | 120 | 0,45 |
| 130 | 0,45 | | | | |
| distância de visibilidade para ultrapassagens | no eixo da própria faixa de trânsito | 1,0 | no eixo da faixa de sentido oposto | 1,0 | |

possíveis trajetórias visuais do olho do motorista até o ponto de visada para a determinação das distâncias para paradas



possíveis trajetórias visuais do olho do motorista até o ponto de visada para a determinação das distâncias para ultrapassagens



Quadro 51: Posição do Olho do Motorista e do Ponto de Visada para a Determinação das Distâncias de Visibilidade para Paradas e para Ultrapassagens

distâncias de visibilidade devem ser adotadas as grandezas e os valores apresentados na **Tabela 20**. Estes estão representados e explicados adicionalmente no **Anexo 7**

- a altura do olho do motorista em relação a pista de trânsito e do ponto de visada estão contidos no **Quadro 51**, separadamente em distância para parada e distância para ultrapassagens

Para uma primeira determinação das distâncias de visibilidade, os eixos das faixas de trânsito em estradas de pista simples ou dupla podem ser escolhidos como linhas de referência. Em caso de valores limites destas distâncias, devem ser determinadas para a faixa mais crítica dentro de uma mesma pista de trânsito.

Caso a distância de visibilidade para paradas não possa ser atingida, deverá então ser considerada uma limitação de velocidade em pista molhada. As distâncias de visibilidade para paradas em pista seca podem ser determinadas de modo aproximado utilizando-se as **Equações (57)** até **(59)** com a adoção de um coeficiente de atrito tangencial de $f_T = 0,8$.

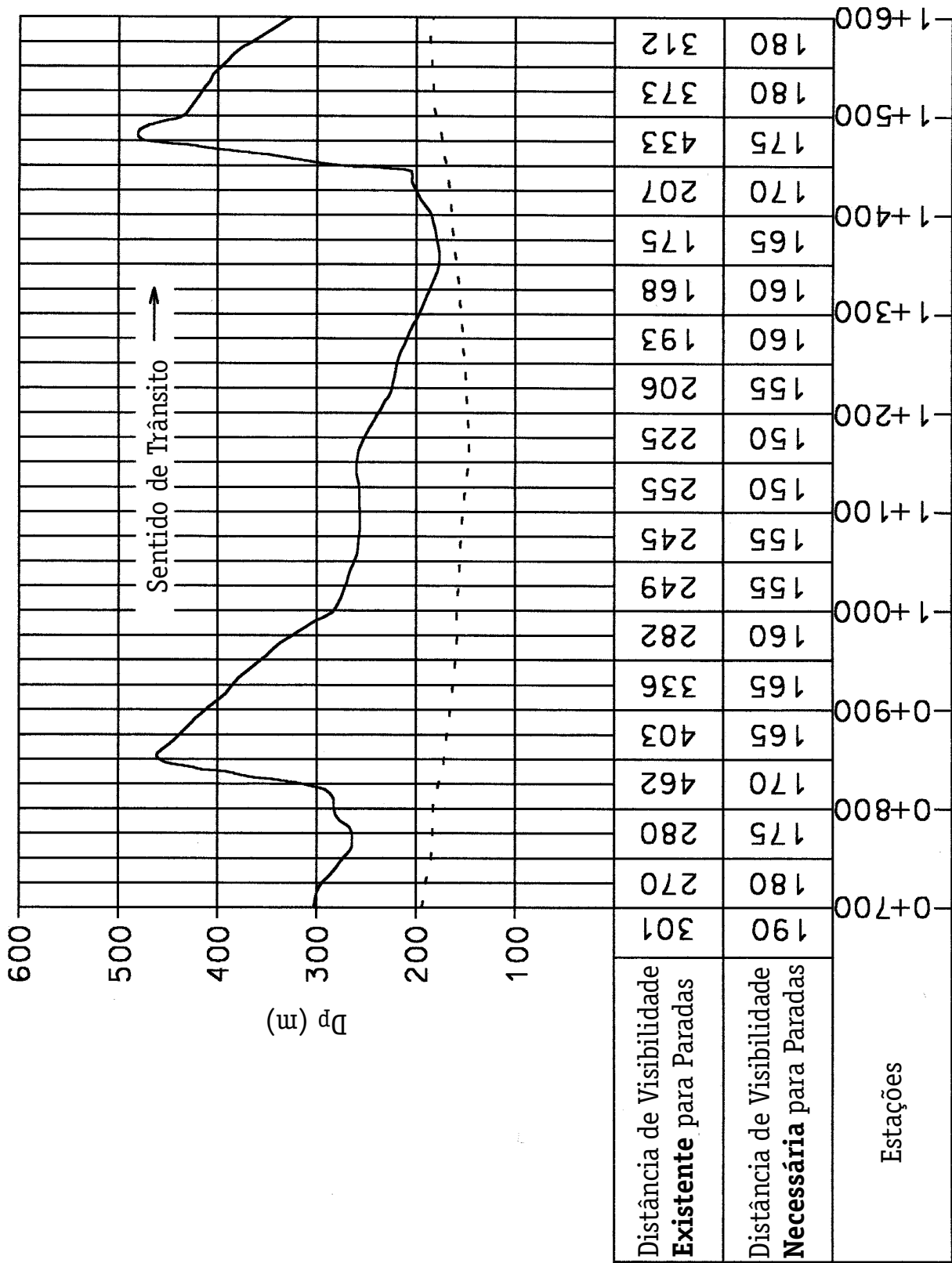
$$D_p = D_1 + D_2 \quad (57)$$

$$D_1 = \frac{V_{85}}{3,6} \cdot t_R \quad (58)$$

$$D_2 = \frac{1}{2 \cdot g \cdot 3,6^2} \cdot \frac{V_{85}^2}{f_T + \frac{i}{100}} \quad (59)$$

onde:

- D_p (m) distância de visibilidade para paradas
- D_1 (m) distância percorrida no tempo de percepção e reação
- D_2 (m) distância de frenagem
- V_{85} (km/h) velocidade no início da frenagem
- t_R (s) tempo de percepção e reação ($t_R = 2s$)
- g (m/s^2) aceleração da gravidade
- f_T (--) coeficiente de atrito tangencial
- i (%) inclinação longitudinal (positiva: aclave, negativa: declive)



Quadro 52: Exemplo de uma Análise da Distância de Visibilidade

Garantia de Obtenção da Distância de Visibilidade Necessária para Paradas em Curvas à Esquerda de Pistas de Único Sentido de Trânsito

A observação dos raios mínimos no traçado de uma estrada não garante que seja sempre alcançada a distância de visibilidade necessária na faixa de trânsito esquerda em pistas de único sentido. Em raios relativamente pequenos, a vegetação, cercas anti-fuscantes ou paredes anti-ruído reduzem a distância de visibilidade. Deve ser verificado, caso a caso, em função do traçado espacial, se as defensas situadas no espaço central constituem impedimentos visuais. Caso uma curva à esquerda com ângulo central relativamente grande coincida com um cume, constata-se que a defesa no espaço central é uma limitação visual, pois ela limita o reconhecimento de eventuais obstáculos na faixa esquerda. De qualquer maneira, deve ser assegurado o reconhecimento, em tempo hábil, de um veículo parado (p. ex.: o último veículo de um congestionamento).

As grandezas determinantes para a redução da distância de visibilidade são: o raio da curva e o afastamento do obstáculo em relação ao olho do motorista. Esta distância é influenciada pela concepção da seção transversal (largura da faixa esquerda de trânsito, posição da borda interna da pista e da metade do espaço central separador menos a largura do obstáculo visual) e pela trajetória dos veículos.

As correlações da distância de visibilidade para paradas necessária com diversas velocidades e as distâncias de visibilidade realmente existentes estão representadas no **Quadro 54**. Por isto, são considerados os raios das curvas e a distância entre a borda interna da faixa de trânsito esquerda e o obstáculo em questão no espaço central.

O **Quadro 54** se baseia nas seguintes premissas (**quadro 53**)

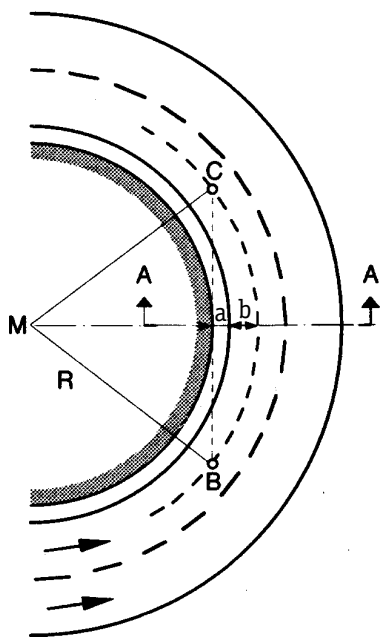
- o veículo se desloca na faixa de trânsito esquerda de tal modo que o olho do motorista (**B**) se posiciona, independentemente da largura da faixa de trânsito, com um afastamento **b = 1,80 m** em relação borda desta faixa (ou seja, a distância entre a linha da visão do motorista e a borda esquerda da faixa de trânsito é considerada constante).
- um eventual obstáculo (**C**) se encontra na faixa de trânsito esquerda também com afastamento **b = 1,80 m** em relação à borda esquerda desta faixa.

No lado direito do diagrama do **Quadro 54** é dada a distancia de visibilidade necessária em pista molhada para diversas velocidades com diferentes inclinações longitudinais. Com o uso desta distância de visibilidade para paradas necessária, pode ser obtido, em função do raio escolhido, o afastamento (incluída a faixa de borda) que deve ter um obstáculo visual em relação à borda da faixa de trânsito esquerda para que seja cumprida a condição de visibilidade.

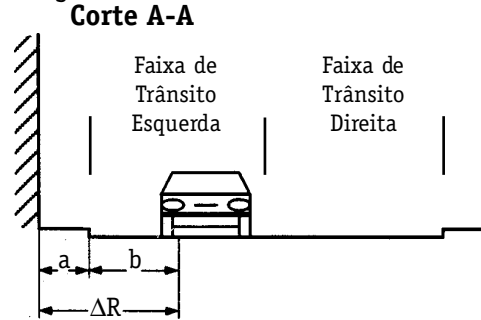
Para o exemplo apresentado de uma estrada **B I** e para uma velocidade V_{85} de **100 km/h** resulta uma distância de visibilidade necessária para paradas de **172,0 m**. Para que seja efetiva esta distância de visibilidade para paradas com as premissas geométricas acima citadas, o afastamento **a** de um obstáculo visual da borda da faixa de trânsito esquerda deveria ser de no mínimo **6,40 m**, para um raio mínimo de **R = 450 m**, permitido para uma velocidade $V_p = 100 \text{ km/h}$. Com um raio **R = 1.000 m** é necessário um afastamento de **a ≥ 1,90 m**. Em uma implantação feita de acordo com as diretrizes, determina-se, a partir destes valores, o valor do afastamento **a** na **Tabela 21**.

Tabela 21: Afastamentos que devem existir entre a Borda da Faixa de Rodagem e o Obstáculo Visual no Espaço Central Separador em Seções Transversais Padrão

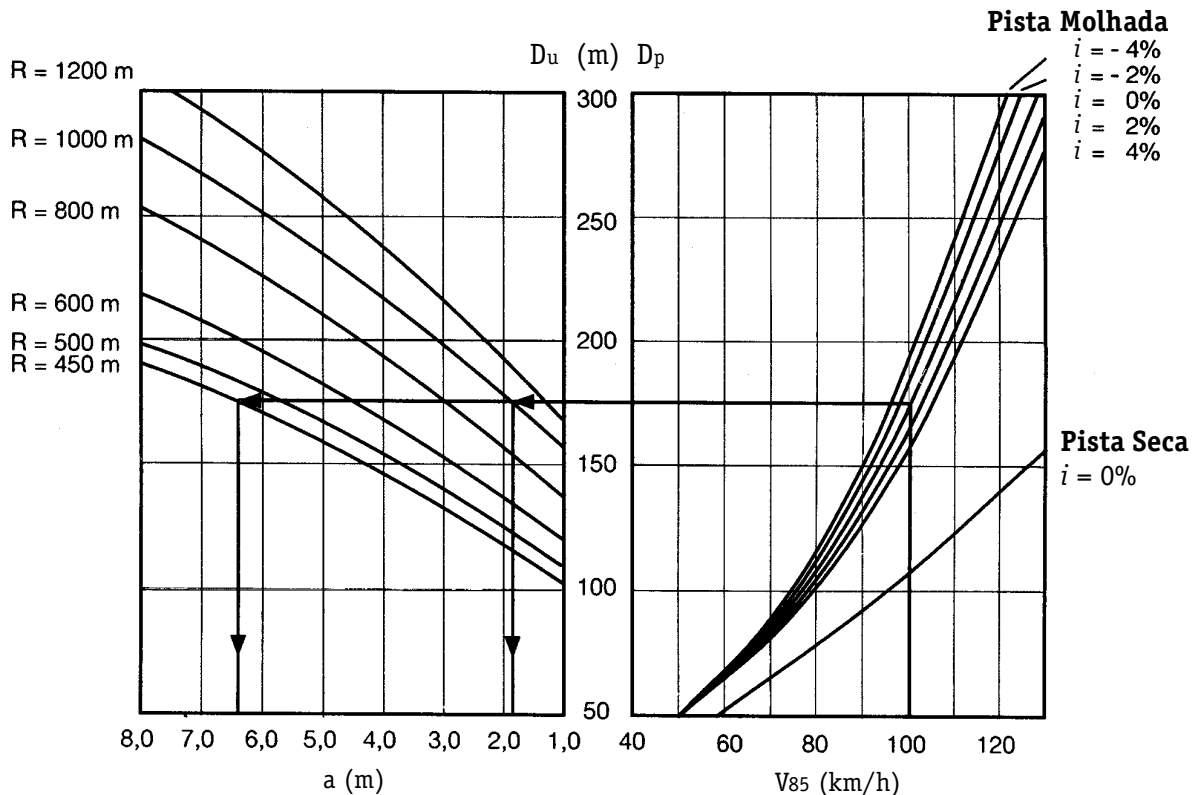
| Medidas (m) | SP 20 | SP 26 | SP 29,5 | SP 33 | SP 35,5 |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Meia Largura da Faixa Central Separadora | 1,00 | 1,50 | 1,75 | 1,50 | 1,75 |
| Meia Largura do Obstáculo Visual (p. ex. defesa em cumes) | - 0,40 | - 0,40 | - 0,40 | - 0,40 | - 0,40 |
| Largura de Faixa da Borda Interna | + 0,50 | + 0,50 | + 0,75 | + 0,50 | + 0,75 |
| Afastamento a entre a Faixa de Trânsito e o Obstáculo Visual | = 1,10 | = 1,60 | = 2,10 | = 1,60 | = 2,10 |



B olho do motorista
 C obstáculo presumido
 R raio da curva circular
 b afastamento do olho (B) ou do obstáculo presumido (C) em relação à borda esquerda da faixa de trânsito esquerda (presume-se: $b = 1,80 \text{ m} = \text{constante}$)
 a afastamento da faixa de trânsito em relação ao obstáculo visual com inclusão da calha para drenagem



Quadro 53: Modelo Geométrico para a Determinação das Distâncias de Visibilidade em Pistas de Único Sentido em Curvas à Esquerda



Quadro 54: Distância de Visibilidade Necessária para Paradas e Afastamentos Necessários entre a Borda Esquerda da Faixa de Trânsito Interna de uma Pista de Único Sentido e Obstáculos Visuais no Espaço Central Separador.

Glossário

Trânsito : é o movimento. O ato de se deslocar.

Tráfego : são os elementos participantes do trânsito.

Estradas de Pista Simples : sem quaisquer complementação do nome, são estradas com **duas** faixas de trânsito, numa única pista, sem separação construtiva entre as faixas, com dois sentidos de trânsito, podendo os veículos de um dos sentido ocupar temporariamente a faixa destinada aos veículos do outro sentido

Estradas de Pista Simples (2+1) : são estradas com **três** faixas de trânsito, numa única pista, com dois sentidos de trânsito, com alternância de uso das duas faixas para ambos os sentidos em segmentos regulares

Estradas de Pista Dupla : são estradas de **quatro** ou mais faixas de trânsito, divididas para atender os dois sentidos, com ou sem separação construtiva dos sentidos

Deslocamento Geométrico : é a movimentação curvilínea em baixa velocidade de um veículo automotor, isto é, a força centrífuga que aparece nestes casos é desprezível

Deslocamento Dinâmico : é a movimentação curvilínea de um veículo automotor numa velocidade considerável, isto é, a força centrífuga que aparece nestes casos já não é desprezível

INTERSEÇÃO : Situação de encontro de duas ou mais estradas (interligação) e também o nome do dispositivo disciplinador dos movimentos de interligação

Braço de uma Interseção : É toda embocadura de uma interseção

Interseção de Nível Único : Interseção onde as manobras de cruzamento são feitas num mesmo nível

Interseção a Níveis Diversos : Interseção onde as manobras de cruzamento são feitas em níveis diferentes

Acesso : Interseção com **três** braços. Uma estrada emboca numa outra estrada direta (interseção em forma de **T**)

Cruzamento : Interseção com **quatro** braços. Encontro de duas estradas, com ambas tendo continuidade após o ponto de encontro

Movimentos numa Interseção :

Conversão : É todo movimento de mudança de rota de um participante do trânsito

Tipos de Conversão :

a) Em Interseções de Mesmo Nível

Nestes casos a estrada de passagem direta (preferencial) é o referencial. Temos então :

Saida à Direita : manobra de conversão à direita, da preferencial para a secundária

Saida à Esquerda : manobra de conversão à esquerda, da preferencial para a secundária

Entrada à Esquerda : manobra de conversão à esquerda, da secundária para a preferencial

Entrada à Direita : manobra de conversão à direita, da secundária para a preferencial

Cruzamento : manobra de transpor a pista da estrada preferencial vindo da secundária

b) Em Interseções a Níveis Diversos

Nestes casos temos três situações a considerar:

1 - Acesso (em forma de T)

Entrada à Esquerda : Manobra *Braço Secundário - Braço Preferencial à Esquerda*

Entrada à Direita : Manobra *Braço Secundário - Braço Preferencial à Direita*

Saida à Esquerda : Manobra *Braço Preferencial - Braço Secundário à Esquerda*

Saida à Direita : Manobra *Braço Preferencial - Braço Secundário à Esquerda*

Obs. : para efeito de *Direita* ou *Esquerda* considera-se a posição relativa do condutor na interseção

2 – Cruzamento de Auto-Estradas: Neste tipo de interseção não se define uma preferencial com no tipo acesso. Portanto, as manobras de interligação serão nominadas simplesmente como *saidas* e a complementação *esquerda* ou *direita* dependerá somente se o movimento de ingresso na outra estrada for à esquerda ou à direita, relativamente a posição na interseção.

3 – Em algumas situações poderão aparecer as estradas referenciais dos movimentos. Na ausência destas referências, os movimentos são sempre referenciados a estrada principal.

Saidas e Entradas: sem qualquer complementação referem-se somente a saidas e entradas relativamente à uma pista de trânsito

Faixa ou Segmento para Acomodação : Faixas ou Segmentos destinados para a adaptação dos veículos quando vão mudar sua situação de trânsito, isto é, vão parar, sair, entrar, etc..

Faixa ou Segmento para Posicionamento ou Armazenamento: Faixas ou Segmentos destinados para paradas e armazenamento de veículos obrigados a dar a preferência em suas manobras de conversão