

FELIPE ISSA KABBACH JUNIOR
ENGENHEIRO CIVIL , ESCOLA POLITÉCNICA DA USP , 1974

REAVLIAÇÃO DAS DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DE
PARADA E DOS COMPRIMENTOS DE CURVAS VERTICAIS
REQUERIDOS PARA PROJETOS DE VIAS RURAIS E URBANAS

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da USP
para a obtenção do título
de Mestre em Engenharia

Orientador : Prof. Dr. Felipe Augusto Aranha Domingues
Professor Adjunto do Departamento de Engenharia
de Transportes da EPUSP

São Paulo, 1984

Aos meus pais; à Cris
tina, à Fernanda e ao
que está por chegar.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Prof. Dr. Felipe Augusto Aranha Domingues;

aos colegas do Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP, pelo constante estímulo;

aos colegas e à direção da SONDOTÉCNICA Engenharia de Solos S.A., pelo incentivo e apoio;

em especial, ao colega Eng^o Carlos Yukio Suzuki, pelas sugestões, pela revisão dos textos e pelo auxílio na confecção de tabelas e figuras.

SUMÁRIO

Os parâmetros básicos que condicionam a determinação de valores mínimos de projeto para a distância de visibilidade de parada e para os comprimentos de curvas verticais foram originalmente fixados há mais de 40 anos. Deste então, algumas das características básicas dos veículos se alteraram significativamente; além disso, vários estudos foram realizados para melhor avaliar a capacidade visual e o comportamento dos motoristas em diferentes situações.

Tomando por base as atuais características e tendências predominantes na frota de veículos nacionais, bem como os resultados de alguns desses mencionados estudos, o presente trabalho tem por finalidade analisar e reavaliar cada um dos referidos parâmetros. Ao final, a partir dos valores revisados destes parâmetros, são propostos novos valores mínimos de projeto para a distância de visibilidade de parada e para os comprimentos de curvas verticais de concordância.

ABSTRACT

Major parameters that affect computation of minimum design values for stopping sight distance and for vertical curve lengths were originally established more than 40 years ago. Since that time, there have been significant changes of some main vehicle features; in addition much research has done to better evaluate the visual ability and the behavior of drivers under different conditions.

Considering actual predominant characteristics and trends of brazilian passenger cars, as well as the results of some of the above-mentioned research, the purpose of this study is to conduct an analysis and reevaluation of each one of these parameters. At the end, new minimum design values for stopping sight distance and for vertical curve lengths are suggested.

Í N D I C E

	<u>Página</u>
NOTAÇÃO E NOMENCLATURA	i
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	v
1. APRESENTAÇÃO	001
1.1 Introdução	002
1.2 Objetivos do Trabalho	005
2. CONCEITUAÇÃO DA DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PA RADA (DVP)	007
2.1 O Problema da Visibilidade em uma Via	008
2.2 A Influência das Limitações de Visibilida de no Traçado de uma Via	009
2.3 A Expressão de Determinação da DVP	010
2.4 Valores Mínimos de Projeto Fixados para a DVP	012
3. AS CURVAS VERTICAIS E SUA RELAÇÃO COM A DVP	016
3.1 Geometria da Curva Vertical de <u>Concordân</u> cia	017
3.2 Critério para Fixação dos Comprimentos <u>Mí</u> nimos das Curvas Verticais de Concordância	019
3.3 Valores dos Comprimentos Mínimos das <u>Cur</u> vas Verticais	026
4. ANÁLISE DOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A FIXAÇÃO DOS COMPRIMENTOS DAS CURVAS VERTICAIS	031
4.1 Questionamento dos Valores Atribuídos aos Parâmetros que Influenciam Direta ou <u>Indi</u> retamente as Condições de Visibilidade em	

	Curvas Verticais	032
4.2	Análise da Sensibilidade da DVP em Relação aos Parâmetros que Afetam a sua Determinação.....	034
4.3	Análise da Sensibilidade do Comprimento de uma Curva Vertical Convexa em Relação aos Parâmetros que Afetam a sua Determinação.....	040
4.4	Análise da Sensibilidade do Comprimento da Curva Vertical Côncava em Relação aos Parâmetros que Afetam a sua Determinação.....	046
4.5	Reavaliação dos Parâmetros que Afetam a Fixação da DVP	050
4.6	Reavaliação dos Parâmetros que Afetam Diretamente a Fixação do Comprimento das Curvas Verticais Convexas	064
4.7	Reavaliação dos Parâmetros que Afetam Diretamente a Fixação do Comprimento das Curvas Verticais Côncavas	072
5.	PROPOSIÇÃO DE NOVOS VALORES MÍNIMOS PARA A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA	075
6.	PROPOSIÇÃO DE NOVOS VALORES MÍNIMOS PARA OS COMPRIMENTOS DE CURVAS VERTICAIS	079
6.1	Curvas Verticais Convexas	080
6.2	Curvas Verticais Côncavas	086
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	092
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

NOTAÇÃO E NOMENCLATURA

a	aceleração centrífuga admissível
A	diferença algébrica das rampas concordadas pela parábola
AASHO	American Association of State Highway Officials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DVP	distância de visibilidade de parada
DVU	distância de visibilidade de ultrapassagem
f	coeficiente de atrito entre os pneus e o pavimento
g	aceleração da gravidade
GM	General Motors
h	hora
H_1	altura dos olhos do motorista
H_2	altura do objeto situado na pista, à frente do motorista
H_f	altura dos faróis do veículo
i	declividade do greide da via
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
K	parâmetro de curvatura da curva vertical parabólica de concordância
km	quilômetro
L	comprimento da curva vertical parabólica de concordância
m	metro

(continua)

(continuação)

NDTT/USP	Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico de Trans <u>portes</u> da Universidade de São Paulo
PROGRES	Programa Especial de Vias Expressas
s	segundo
SAE	Society of Automotive Engineers
t _r	tempo de percepção, decisão e reação do motoris <u>ta</u>
V	velocidade de deslocamento do veículo
VW	Volkswagen

LISTA DE FIGURAS

	<u>Página</u>
3.1 Distância de visibilidade em curvas verticais convexas	021
3.2 Distância de visibilidade em curvas verticais côncavas	022
3.3 Comprimentos mínimos de curvas verticais convexas para condições recomendadas, estabelecidos pelo DNER	027
3.4 Comprimentos mínimos de curvas verticais convexas para condições excepcionais, estabelecidos pelo DNER	028
3.5 Comprimentos mínimos de curvas verticais côncavas para condições recomendadas, estabelecidos pelo DNER	029
3.6 Comprimentos mínimos de curvas verticais côncavas para condições excepcionais, estabelecidos pelo DNER	030
4.1 Sensibilidade da DVP ao tempo de percepção, decisão e reação, em função da velocidade	036
4.2 Sensibilidade da DVP ao coeficiente de atrito pavimento/pneu, em função da velocidade	036
4.3 Sensibilidade da DVP à velocidade, em função da velocidade de deslocamento do veículo	038
4.4 Sensibilidade do valor de "K" a variações na DVP	044
4.5 Coeficientes de atrito utilizados para cálculo da distância de visibilidade de parada em função da velocidade	057

Página

4.6	Representação esquemática da altura média dos olhos do motorista	066
6.1	Comprimentos mínimos propostos para curvas verticais convexas	083
6.2	Comprimentos mínimos propostos para curvas verticais côncavas	088

LISTA DE TABELAS

	<u>Página</u>
2.1 Redução na velocidade diretriz da via em condições chuvosas, para valores mínimos recomendados de DVP	013
2.2 Coeficientes de atrito para valores mínimos recomendados e excepcionais de DVP	013
2.3 Valores de DVP recomendados e excepcionais estabelecidos pelo DNER	014
2.4 Correções nas distâncias mínimas recomendadas de visibilidade de parada em função da velocidade e da rampa (em metros)	015
2.5 Correções nas distâncias mínimas excepcionais de visibilidade de parada em função da velocidade e da rampa (em metros)	015
4.1 Parâmetros "K" de curvas verticais convexas para diferentes alturas dos olhos do motorista .	041
4.2 Parâmetros "K" de curvas verticais convexas para diferentes alturas do obstáculo	042
4.3 Acréscimos aplicáveis aos valores mínimos recomendados de DVP para igualar o efeito sobre o comprimento das curvas verticais convexas causado pela redução da altura dos olhos do motorista ou da altura do obstáculo (em metros) ..	045
4.4 Parâmetros "K" de curvas verticais côncavas para diferentes alturas de faróis	047

	<u>Página</u>
4.5	Acréscimos acarretados nos valores mínimos re <u>co</u> mendados de "K" para diferentes <u>ma</u> jorações no valor da DVP 048
4.6	Acréscimos aplicáveis aos valores mínimos reco <u>me</u> ndados de DVP para igualar o efeito sobre o comprimento das curvas verticais côncavas cau <u>s</u> ado pela redução da altura dos faróis 049
4.7	Tempos de percepção, decisão e reação para vá <u>ri</u> os percentis da população de motoristas apli <u>ca</u> íveis ao cálculo da DVP (segundos) 055
4.8	Valores de "f" determinados para pavimento de concreto betuminoso molhado e valores de "f" recomendados para projeto 058
4.9	Valores de coeficiente de atrito de frenagem em função da velocidade de deslocamento do veí <u>cu</u> lo 059
4.10	Altura média dos olhos dos motoristas para veí <u>cu</u> los marcas Volkswagen e General Motors fa <u>br</u> icados entre 1976 e 1980..... 067
5.1	Valores mínimos de projeto propostos para a dis <u>ta</u> ncia de visibilidade de parada (DVP) 077
6.1	Valores mínimos de projeto propostos para o pa <u>ra</u> metro "K" de curvas verticais convexas 081
6.2	Valores mínimos de projeto propostos para o pa <u>ra</u> metro "K" de curvas verticais côncavas 087

1. APRESENTAÇÃO

1. APRESENTAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Um dos fatores mais importantes para a segurança e para a eficiência operacional de uma via rural ou urbana é sem dúvida a sua capacidade de poder proporcionar boas condições de visibilidade aos motoristas que por ela trafegam.

Talvez seja por esta razão que a distância de visibilidade é considerada como uma das mais importantes características de projeto relacionadas com a segurança de uma via.

A importância da distância de visibilidade decorre do fato de que a ela estão associadas informações acerca da via que o motorista necessita receber através de seus sentidos, para poder manter seu veículo na trajetória e velocidade desejadas ou, quando surgir algum obstáculo inesperado à sua frente, poder fazê-lo parar ou mesmo realizar outro tipo de manobra adequado.

Os parâmetros de visibilidade básicos considerados na elaboração de um projeto viário são as distâncias de visibilidade de parada e de ultrapassagem.

A distância de visibilidade de parada (DVP) é a distância que precisa ser proporcionada ao motorista para que, dirigindo na velocidade de projeto, ou próximo dela, e percebendo a existência à sua frente de qualquer obstáculo ou elemento que lhe represente perigo, seja ele capaz de freiar seu veículo, imobilizando-o, de forma a evitar uma colisão.

A distância de visibilidade de ultrapassagem (DVU) é a distância que precisa ser proporcionada ao veículo, em uma pista simples e de dupla mão de direção, para que, quando estiver trafegando atrás de um veículo lento que vai à sua fren

te, possa efetuar uma manobra de ultrapassagem, em condições aceitáveis de conforto e segurança.

A distância de visibilidade de parada destaca-se por ser, de acordo com os manuais de projeto mais conhecidos e usados, um parâmetro essencial na fixação dos comprimentos de curvas de concordância do alinhamento vertical de uma via, o mesmo não ocorrendo, no entanto, com a distância de visibilidade de ultrapassagem, já que, se considerada para tal finalidade, ela conduziria a valores extremamente exagerados para os referidos comprimentos.

Pelo fato da distância de visibilidade de parada condicionar os comprimentos das curvas verticais de concordância e estas, por sua vez, condicionarem os volumes de aterro ou de escavação necessários à execução da obra, sempre houve a preocupação, por parte dos órgãos rodoviários federais, estaduais e municipais, em adotar para estes elementos de projeto valores mínimos conservadores ou até mesmo restritos.

Existem, no entanto, três razões fundamentais para se proceder a uma reavaliação dessa filosofia que tem norteado a maioria dos projetos, a saber:

- 1) O acréscimo causado ao volume de aterro ou ao volume de escavação, em decorrência de uma majoração não exagerada no comprimento de uma curva vertical de concordância, é, em geral, efetivamente insignificante quando comparado com o volume total de terraplenagem da obra viária que está sendo projetada.
- 2) Houve, ao longo das últimas décadas, indiscutível evolução na técnica de execução de aterros e de escavações, com o surgimento de equipamentos cada vez mais sofisticados e com grande capacidade de movimentação de material, proporcionando condições para que tal ti

po de serviço tivesse seu custo proporcionalmente re
duzido ao longo do tempo.

- 3) Existe uma justificada tendência nos dias atuais de se proporcionar condições de segurança cada vez maiores aos usuários das vias de transporte, bem como de permitir o atendimento a um maior e mais rápido número de veículos, respeitados, obviamente, os limites suportáveis dos custos de implantação das obras. Na atualidade não há mais lugar para a tendência, que chegou a vigorar em certas épocas, de minimização dos custos da obra sem a preocupação de garantir mínimas condições de segurança e de qualidade de serviço oferecida aos usuários.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Ao longo dos últimos anos, vários estudos foram desenvolvidos, em sua maioria no exterior, para analisar o efeito da tendência de variação de algumas características básicas dos veículos (diminuição do tamanho, aumento da capacidade de aceleração e de frenagem, etc.) sobre os principais parâmetros básicos de projeto recomendados pelos manuais mais conhecidos, em especial o "Blue Book" da AASHTO (4).

A necessidade de realização de tais estudos decorreu principalmente do fato de muitos dos mencionados parâmetros terem sido analisados e fixados pela então AASHO (American Association of State Highway Officials) durante as décadas de 40 e 50, quando algumas das características básicas dos veículos eram diferentes das atualmente encontradas nas frotas de veículos da maior parte dos países ocidentais. Além disso, no caso de outros parâmetros, foram fixados valores empíricos por falta de um melhor conhecimento, na época, de alguns fatores humanos relacionados com a capacidade visual e com o comportamento dos motoristas em diferentes situações ao longo de uma via.

Com base nos resultados e conclusões de alguns desses estudos, distintas entidades e organismos viários, principalmente dos Estados Unidos, chegaram a introduzir nas normas vigentes novos critérios para determinação de valores adequados para as distâncias de visibilidade, visando proporcionar melhores condições de segurança em diferentes tipos de vias.

Seguindo a linha de desenvolvimento de alguns desses mencionados trabalhos, e procurando considerar as atuais características e tendências predominantes na frota de veículos e na população de motoristas do Brasil, o presente trabalho tem por finalidade analisar os fatores que influenciam a fixação de valores de distância de visibilidade de

parada (DVP), bem como analisar a influência que esses e outros fatores tem sobre a determinação dos comprimentos de curvas verticais recomendáveis para efeito de projeto, ou seja, curvas que garantam disponibilidade da DVP em qualquer ponto de sua extensão.

No caso dos fatores que afetam diretamente a fixação dos valores da DVP, são analisados os efeitos da velocidade do veículo, do coeficiente de atrito do pavimento, do tempo de reação do motorista e da declividade do greide; no caso dos fatores que afetam diretamente a determinação dos comprimentos de curvas verticais convexas, são analisados os efeitos da altura dos olhos do motorista e os efeitos da altura do obstáculo situado à frente do mesmo; no caso das curvas verticais côncavas é analisado o efeito da altura dos faróis.

Ao final, com base na referida análise, são propostos novos valores mínimos de projeto para a distância de visibilidade de parada e para os comprimentos de curvas verticais de concordância.

2. CONCEITUAÇÃO DA DISTÂNCIA DE
VISIBILIDADE DE PARADA (DVP)

2. CONCEITUAÇÃO DA DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA (DVP)

2.1 O PROBLEMA DA VISIBILIDADE EM UMA VIA

Pelo fato de um veículo automotor poder desenvolver velocidades consideráveis, ele pode percorrer distâncias apreciáveis em alguns poucos segundos.

Quando trafegando, por exemplo, à máxima velocidade atualmente permitida (80 km/h), um veículo percorre mais de 1.300 m por minuto, ou seja, mais de 20 m por segundo.

Em decorrência de tal fato, quando em caso de emergência, a ação de frenagem do veículo consome um certo período de tempo, mesmo que os freios sejam acionados rapidamente. Da mesma forma, a reação psicológica do motorista, quando ele percebe o surgimento de uma situação de perigo, não é imediata, ou seja, ele leva um determinado período de tempo para dar início ao acionamento dos freios.

Esse tempo total consumido corresponde a uma certa distância percorrida desde a percepção da situação de perigo, por parte do motorista, até a parada completa do veículo.

Assim, sob o aspecto estrito da segurança, toda via urbana ou rural deve proporcionar, ao longo de toda a sua extensão, uma distância mínima de visibilidade, proporcional à sua velocidade diretriz, que garanta ao motorista a condição de, ao perceber a existência de um obstáculo ou de uma situação de perigo à sua frente, freiar seu veículo, de forma a evitar uma colisão.

2.2 A INFLUÊNCIA DAS LIMITAÇÕES DE VISIBILIDADE NO TRAÇAMENTO DE UMA VIA

A visibilidade em uma via é limitada pelas mudanças de direção e de declividade ao longo de sua extensão, especialmente pelas curvas horizontais dos trechos em corte e pelas curvas verticais convexas.

As curvas verticais côncavas, por sua vez, tem a característica de limitar à noite a extensão da via atingida pelos faróis dos veículos, e acabam limitando, portanto, de uma forma indireta, a distância de visibilidade noturna.

No caso das curvas horizontais, a limitação de visibilidade acaba, na grande maioria das vezes, não condicionando a fixação de padrões mínimos de projeto (raios de curvatura mínimos para o alinhamento da via), uma vez que, além de existirem alternativas para eliminar ou atenuar essa limitação (através do alargamento da plataforma ou do abatimento do talude, por exemplo), surge como fator mais significativo a influir na condição de segurança do veículo o efeito da força centrífuga que passa a atuar sobre ele, enquanto se deslocando em percurso em curva.

Ao contrário, no caso das curvas de concordância do alinhamento vertical, as mencionadas limitações de visibilidade acabam por exigir requisitos mínimos de projeto, os quais implicam na fixação de comprimentos mínimos para as curvas, a fim de garantir que em toda a extensão das mesmas o motorista tenha condições de fazer parar seu veículo, no caso de avistar um obstáculo à sua frente.

Dessa forma, a distância de visibilidade de parada é o principal parâmetro que condiciona a fixação de padrões mínimos de projeto para as curvas de concordância do alinhamento vertical de uma via.

2.3 EXPRESSÃO DE DETERMINAÇÃO DA DVP

Tendo em vista o que já foi exposto, a DVP deve ter seu valor mínimo fixado através da somatória de duas distâncias: uma correspondente à extensão percorrida pelo veículo desde o instante em que o motorista avista um obstáculo à sua frente (e que lhe obriga a tentar parar seu veículo) até o instante em que ele efetivamente aciona os freios; e a outra correspondente à extensão necessária para que o veículo páre totalmente após o acionamento dos freios.

A primeira dessas distâncias depende da velocidade de deslocamento do veículo, bem como do tempo de percepção, decisão e reação do motorista. A segunda distância depende, além da velocidade de deslocamento do veículo, e além da condição dos freios, dos pneus e da superfície de rolamento, também dos alinhamentos horizontal e vertical da via no local em questão.

Assim, a fórmula geral para cálculo da DVP é a que se segue:

$$DVP = d_1 + d_2$$

onde: d_1 = distância percorrida durante o tempo de percepção, decisão e reação do motorista médio que se sucede ao avistamento do obstáculo;

d_2 = distância percorrida desde o início de atuação do sistema de frenagem até a imobilização.

Se a velocidade de deslocamento do veículo for designada por "V" e o tempo de percepção, decisão e reação do motorista for designado por " t_r ", a distância " d_1 " pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$d_1 = V \cdot t_r$$

A distância de frenagem (" d_2 "), por sua vez, pode ser determinada através da seguinte expressão, deduzida das equações clássicas da Física, e válida para um trecho em nível (horizontal) de via:

$$d_2 = \frac{V^2}{2 \cdot f \cdot g}$$

onde: V = velocidade do veículo quando os freios são acionados;

f = coeficiente de atrito entre os pneus e o pavimento;

g = aceleração da gravidade.

Para o caso geral de um trecho de via que tenha seu greide definido por uma declividade "i", a expressão de cálculo da distância de frenagem sofre a seguinte alteração:

$$d_2 = \frac{V^2}{2g (f + i)}$$

No caso, o valor de "i" deve ser tomado em porcentagem e com sinal positivo para greides ascendentes e negativo para greides descendentes.

Assim, a fórmula geral de cálculo da DVP, preconizada pela AASHTO e válida para qualquer situação de greide, assume a seguinte configuração:

$$DVP = V \cdot t_r + \frac{V^2}{2g (f + i)} \quad (1)$$

Deve-se salientar que o parâmetro "f" da fórmula deve exprimir, na realidade, toda a atuação do processo de frenagem, ou seja, considerar tanto a eficiência do sistema de frenagem do veículo como o esforço reativo longitudinal decorrente do atrito entre pneu e pista.

2.4 VALORES MÍNIMOS DE PROJETO FIXADOS PARA A DVP

Todos os órgãos rodoviários federais e estaduais do Brasil, bem como inúmeros órgãos correlatos de outros países ocidentais, vem adotando em seus manuais de projeto os mesmos valores mínimos de DVP preconizados pela AASHTO, oriundos da aplicação da expressão (1) apresentada no subitem anterior.

No caso do Brasil, os manuais de projeto geométrico mais conhecidos e utilizados tem sido aqueles publicados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, podendo-se destacar dentre eles os seguintes:

- Normas para o Projeto Geométrico de Estradas de Rodagem - Diretoria de Planejamento - 1975;
- Instruções para o Projeto Geométrico de Rodovias Rurais - Diretoria de Planejamento - 1979;
- Normas para o Projeto Geométrico de Vias Urbanas - Diretoria de Planejamento - Programa Especial de Vias Expressas - PROGRES - 1974.

Nestes manuais distinguem-se dois grupos de valores mínimos para as distâncias de visibilidade de parada (DVP) a serem proporcionadas ao motorista: os valores mínimos recomendados e os valores mínimos excepcionais. Tal procedimento decorre de duas hipóteses diferentes consideradas para a velocidade do veículo, a saber:

- No caso dos valores mínimos recomendados, a velocidade efetiva de operação do veículo é considerada como tendo sido reduzida, em condições chuvosas, para um valor médio inferior à velocidade diretriz, de acordo com as relações indicadas na Tabela 2.1 a seguir apresentada.

Tabela 2.1 - REDUÇÕES NA VELOCIDADE DIRETRIZ DA VIA EM CONDIÇÕES CHUVOSAS, PARA VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE DVP

$V_{dir.}$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
$V_{med.}$ (km/h)	30	38	46	54	62	71	79	86

Fonte: DNER (Ref. 5 e 6)

- No caso dos valores mínimos excepcionais, a hipótese adotada é a de que a velocidade efetiva de operação do veículo é igual à velocidade diretriz, de forma a refletir a tendência dos motoristas de trafegarem o mais rápido possível, mesmo em condições chuvosas.

Assim, deve-se interpretar que os valores mínimos recomendados são aqueles que se referem a condições mínimas restritas em termos de segurança, enquanto os valores mínimos excepcionais referem-se a condições mínimas desejáveis.

Os valores para o coeficiente de atrito entre pneus e pavimento (f) considerados nos referidos manuais são aqueles indicados para condições chuvosas no "Blue Book" da AASHTO (4), conforme discriminado a seguir na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - COEFICIENTES DE ATRITO PARA VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS E EXCEPCIONAIS DE DVP

$V_{dir.}$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
"f" para valores mínimos recomendados	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30
"f" para valores mínimos excepcionais	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28

Fonte: DNER (Ref. 5 e 6)

O valor para o tempo de percepção, decisão e reação do motorista médio (t_r) que se sucede ao avistamento do obstáculo é o mesmo adotado no "Blue Book" da AASHTO (4), ou seja, de 2,5 segundos, o qual é suficiente, segundo o DNER, para desprezar-se o efeito de freio-motor e de eventuais influências do greide.

Os valores básicos de DVP recomendados para projeto nos referidos manuais do DNER, calculados de acordo com a expressão (1), indicada no subitem 2.3, e considerando a utilização dos valores de "f" e " t_r " acima descritos, encontram-se na Tabela 2.3 a seguir apresentada.

Tabela 2.3 - VALORES DE DVP RECOMENDADOS E EXCEPCIONAIS ESTABELECIDOS PELO DNER

VELOCIDADE DIRETRIZ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
DVP recomendada (m)	30	45	60	75	90	110	130	155
DVP excepcional (m)	30	45	65	85	110	140	175	210

Fonte: DNER (Ref. 5 e 6)

Tais valores foram calculados para declividade nula, e segundo os manuais do DNER devem ainda assim ser considerados como aceitáveis para fins de projeto em qualquer circunstância, tendo em vista que os acréscimos/decréscimos decorrentes da influência de greides descendentes/ascendentes podem ser desprezados.

Para os casos em que se possa justificar a consideração da influência do greide, como por exemplo em rodovias de pista dupla, nas curvas verticais convexas que concordam duas rampas de mesmo sentido, o DNER fornece, meramente a título de informação, os valores dos acréscimos/decréscimos aos valores básicos.

cos de DVP, conforme indicado nas Tabelas 2.4 e 2.5 a seguir apresentadas.

Tabela 2.4 - CORREÇÕES NAS DISTÂNCIAS MÍNIMAS RECOMENDADAS DE VISIBILIDADE DE PARADA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E DA RAMPA (EM METROS)

V \ i	-6%	-4%	-2%	+2%	+4%	+6%
40	+3	+2	+1	-1	-1	-1
50	+5	+3	+1	-1	-2	-3
60	+7	+5	+2	-2	-4	-5
80	+15	+9	+4	-4	-7	-10
100	+24	+15	+7	-6	-11	-16

V = velocidade diretriz correspondente à velocidade média de viagem adotada (km/h)

i = rampa

Fonte: DNER (Ref. 5 e 6)

Tabela 2.5 - CORREÇÕES NAS DISTÂNCIAS MÍNIMAS EXCEPCIONAIS DE VISIBILIDADE DE PARADA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E DA RAMPA (EM METROS)

V \ i	-6%	-4%	-2%	+2%	+4%	+6%
40	+3	+2	+1	-1	-2	-2
50	+6	+4	+2	-2	-3	-4
60	+10	+6	+3	-2	-4	-6
80	+21	+13	+6	-5	-10	-14
100	+38	+23	+11	-9	-18	-25

Fonte: DNER (Ref. 5 e 6)

3. AS CURVAS VERTICAIS E SUA RELAÇÃO COM A DVP

3. AS CURVAS VERTICAIS E SUA RELAÇÃO COM A DVP

3.1 GEOMETRIA DA CURVA VERTICAL DE CONCORDÂNCIA

A concordância entre duas rampas do alinhamento vertical de uma via é usualmente feita através da utilização de uma parábola do 2º grau, uma vez que esta curva reúne um conjunto de vantagens não oferecido por qualquer outro tipo de curva.

Dentre tais vantagens, destacam-se:

- A equação simples e as propriedades bastante adequadas da parábola, tanto no que diz respeito ao seu cálculo como ao seu desenho;
- O fato da taxa de variação da declividade da parábola ser constante (importante para a variação do esforço trator dos veículos na via);
- O fato da transformada da parábola, para efeito de seu desenho em escala deformada do perfil (anamorfose), ser também uma parábola;
- O cálculo simples e rigoroso da distância efetiva de visibilidade em qualquer dos pontos da parábola, seja por intermédio de expressões algébricas, seja através de processo gráfico.

As parábolas são usualmente caracterizadas pelo seu parâmetro de curvatura K, que traduz a taxa de variação da declividade longitudinal da curva na unidade de comprimento, estabelecida para cada velocidade.

O parâmetro K representa, então, o comprimento da curva no plano horizontal que corresponde a cada 1% de variação na declividade longitudinal, e pode, portanto, ser expresso pela relação:

$$K = \frac{L}{A} \quad (2)$$

onde: L = comprimento total da curva (no plano horizontal)

A = diferença algébrica, em percentagem, das rampas
concordadas pela parábola.

3.2 CRITÉRIO PARA FIXAÇÃO DOS COMPRIMENTOS MÍNIMOS DAS CURVAS VERTICAIS DE CONCORDÂNCIA

Conforme já exposto, é essencial que as curvas verticais sejam dotadas de características que proporcionem em todos os seus pontos condições de visibilidade suficientes para que os motoristas possam fazer parar seus veículos quando percebem uma situação de perigo à sua frente.

Considerando que, para uma dada diferença algébrica das rampas a serem concordadas, uma curva vertical parabólica do 2º grau fica perfeitamente definida através de seu comprimento, pode-se concluir que a distância de visibilidade de parada (DVP) é o parâmetro básico que condiciona a fixação deste elemento característico da curva.

Embora, no entanto, o critério de garantir adequadas condições de visibilidade seja fundamental para a definição das características de uma curva vertical, são ainda levados em conta mais dois outros critérios quando da fixação do seu mínimo comprimento necessário.

Os três referidos critérios são sucintamente descritos a seguir:

a) Critério da máxima aceleração centrífuga admissível

Tal critério procura limitar o desconforto a que ficam sujeitos motorista e passageiros devido à variação da aceleração radial, especialmente nas curvas verticais côncavas, onde os efeitos da aceleração da gravidade e da aceleração centrífuga se somam, ao contrário das convexas, onde as referidas acelerações são subtrativas (gerando um certo efeito de flutuação).

Os comprimentos mínimos das curvas verticais parabólicas que levam em conta este critério são obtidos

através da seguinte fórmula constante dos manuais do DNER, a qual tem origem em estudos da AASHTO:

$$L = \frac{A \cdot V^2}{1.296 a} \quad (3)$$

onde: L = comprimento mínimo da curva vertical (m)

A = diferença algébrica das rampas concordadas pela parábola (%)

V = velocidade do veículo (km/h)

a = aceleração centrífuga admissível (m/s^2), que varia de 1,5 a 5,0% da aceleração da gravidade, conforme o padrão da via.

Deve-se salientar que a sensação de conforto não é de fácil avaliação, pois que depende de fatores como o tipo de suspensão do veículo, a flexibilidade dos pneus, o peso carregado pelo veículo e outros. As limitadas experiências levadas a efeito para tal avaliação conduziram à recomendação da AASHTO de que a sensação de conforto em curvas côncavas ocorre quando a aceleração centrípeta não excede o valor de 1 $pé/s^2$, ou seja, cerca de 3% da aceleração da gravidade.

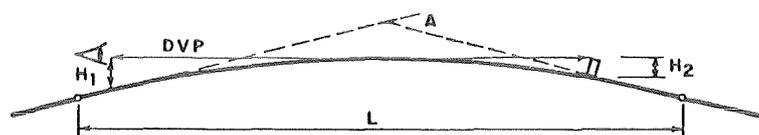
b) Critério da distância de visibilidade necessária

Tal critério procura traduzir a necessidade que a curva vertical de concordância tem de proporcionar ao longo de toda a sua extensão uma distância de visibilidade mínima suficiente para que o motorista possa freiar seu veículo, quando percebe a existência de um obstáculo à sua frente.

Tal distância de visibilidade, que por definição é a própria DVP, é determinada de duas diferentes maneiras, conforme a curva vertical seja côncava ou convexa.

Nas curvas verticais convexas, considera-se que o motorista, cujos olhos está situado a uma certa altura " H_1 " acima do plano da pista, deve enxergar um objeto com altura " H_2 " situado sobre a pista, conforme ilustrado na Figura 3.1 a seguir apresentada.

FIGURA 3.1- DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE EM CURVAS VERTICAIS CONVEXAS



H_1 = ALTURA DOS OLHOS
 H_2 = ALTURA DO OBJETO
 L = COMPRIMENTO DA CURVA

Para esse caso, considerando-se a situação especificada, bem como a geometria da curva convexa (parábola do 2º grau), as fórmulas de determinação do comprimento mínimo necessário para a mesma são as seguintes:

- Para $L \geq DVP$:

$$L = \frac{A \cdot DVP^2}{200 (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2} \quad (4)$$

- Para $L < DVP$:

$$L = 2 \cdot DVP - \frac{200 (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2}{A} \quad (5)$$

onde: L = comprimento mínimo da curva vertical convexa

A = diferença algébrica, em porcentagem, das rampas concordadas pela parábola

DVP = distância de visibilidade de parada

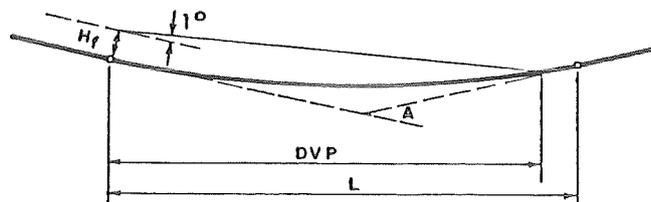
H_1 = altura dos olhos do motorista em relação à pista

H_2 = altura do objeto situado na pista, à frente do motorista.

Os manuais de projeto do DNER estabelecem para " H_1 " e " H_2 " respectivamente os valores 1,10 m e 0,15 m, os quais foram obtidos arredondando-se os valores preconizados no "Blue Book" da AASHTO (4), iguais respectivamente a 3,75 pés e 6 polegadas.

Nas curvas verticais côncavas, considera-se que a pista deve ser iluminada à distância de visibilidade de de parada (DVP) pelo farol do veículo, situado a uma altura " H_f " acima do plano da pista, supondo que seu fecho luminoso diverge de 1° do eixo longitudinal do veículo, conforme ilustrado na Figura 3.2 a seguir apresentada.

FIGURA 3.2 - DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE EM CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS



H_f = ALTURA DOS FARÓIS
L = COMPRIMENTO DA CURVA

Na situação especificada, pressupõe-se que o farol tenha sua intensidade suficiente para iluminar a pista até a mencionada distância, embora não seja estabelecido um valor de iluminamento mínimo.

Para essa situação ilustrada, considerando-se a geometria da curva côncava, as fórmulas de determinação do comprimento mínimo necessário para a mesma são as seguintes:

- Para $L \geq DVP$:

$$L = \frac{A \cdot DVP^2}{200 (H_f + DVP \cdot \text{tg } 1^\circ)} \quad (6)$$

- Para $L < DVP$:

$$L = \frac{2 \cdot (DVP \cdot A - 100 \cdot DVP \cdot \text{tg } 1^\circ - 100 \cdot H_f)}{A} \quad (7)$$

onde: L = comprimento mínimo da curva vertical côncava

A = diferença algébrica, em percentagem, das rampas concordadas pela parábola

DVP = distância de visibilidade de parada

H_f = altura dos faróis em relação à pista.

A altura dos faróis do veículo em relação à pista é adotada como igual a 0,61 m nos manuais de projeto do DNER, tendo sido tal valor obtido por arredondamento daquele preconizado no "Blue Book" da AASHTO, ou seja, 2 pés.

c) Critério do mínimo valor absoluto

Tal critério procura atender à necessidade de que o comprimento mínimo da curva vertical permita ao mo

torista perceber a alteração de declividade longitudinal enquanto percorre a mesma, o que faz com que sejam levadas em conta, indiretamente, considerações de aparência geral da curva.

Tomando por base valores empíricos adotados em diferentes Estados americanos, a AASHTO estabeleceu a seguinte expressão de determinação do mínimo valor absoluto para o comprimento de uma curva vertical:

$$L = 3.V$$

onde: L = mínimo comprimento da curva, em pés

V = velocidade de projeto, em milhas/hora.

A partir dessa expressão, o DNER estabeleceu sua recomendação para o mínimo comprimento absoluto, através da utilização da seguinte fórmula.

$$L = 0,6.V \quad (8)$$

onde: L = mínimo comprimento da curva, em metros

V = velocidade de projeto, em km/hora.

Deve-se salientar que o valor calculado segundo as expressões recomendadas corresponde a um período de tempo de cerca de 2s, que deve levar um motorista médio para perceber a alteração de declividade longitudinal ao longo da curva vertical.

O comprimento mínimo recomendado para uma curva vertical corresponde ao maior valor dentre os três calculados segundo os critérios retro descritos.

No caso das curvas verticais convexas, a utilização do "critério da distância de visibilidade necessária" conduz a valores que satisfazem tanto ao aspecto da segurança como aos

de conforto e aparência. Os valores determinados através do "critério do mínimo valor absoluto" acabam prevalecendo apenas nos casos em que a diferença algébrica das rampas é pequena (não superior a cerca de 3%), ou ainda nos casos em que a velocidade de projeto é baixa (até 40 km/h). Isso ocorre porque fisicamente o que acontece é que a DVP correspondente a qualquer uma das duas situações indicadas é tal que a linha de visada do motorista passa acima do ponto mais alto da curva, fazendo com que o seu comprimento necessário (em termos de visibilidade) seja muito pequeno.

No caso das curvas verticais côncavas, também a utilização do "critério da distância de visibilidade necessária" é a que conduz aos valores mais convenientes para atender à grande maioria dos casos com os quais o projetista se defronta na prática. O "critério da máxima aceleração centrífuga admissível" não chega praticamente a ser utilizado, pois o valor calculado através dele chega a atingir, para condições usuais de projeto, no máximo 75% do valor correspondente obtido pelo "critério da distância de visibilidade necessária". Quanto aos valores obtidos pelo "critério do mínimo valor absoluto", como acontece com as curvas convexas, eles prevalecem apenas nos casos em que a diferença algébrica das rampas é pequena ou em que a velocidade de projeto é baixa.

Assim sendo, a distância de visibilidade de parada é o parâmetro básico que condiciona a fixação dos mínimos comprimentos adequados para as curvas verticais, só prevalecendo sobre ele o aspecto estético nos casos em que há necessidade de garantir um mínimo valor absoluto para os referidos comprimentos.

3.3 VALORES DOS COMPRIMENTOS MÍNIMOS DAS CURVAS VERTICAIS

Os valores mínimos dos comprimentos das curvas verticais, calculados segundo o procedimento descrito, encontram-se usualmente representados em ábacos como uma função da diferença algébrica das rampas e da velocidade diretriz do veículo (à qual está associado um valor de DVP).

São a seguir apresentados nas Figuras 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6 os conhecidos ábacos dos manuais de projeto do DNER, destinados à determinação dos comprimentos mínimos de curvas verticais convexas e côncavas, para condições recomendadas e excepcionais, os quais foram confeccionados a partir dos ábacos correspondentes editados no "Blue Book" da AASHTO.

Conforme já citado, deve-se entender os valores recomendados como aqueles relacionados a condições mínimas restritas em termos de segurança e os valores excepcionais como aqueles relacionados a condições mínimas desejáveis.

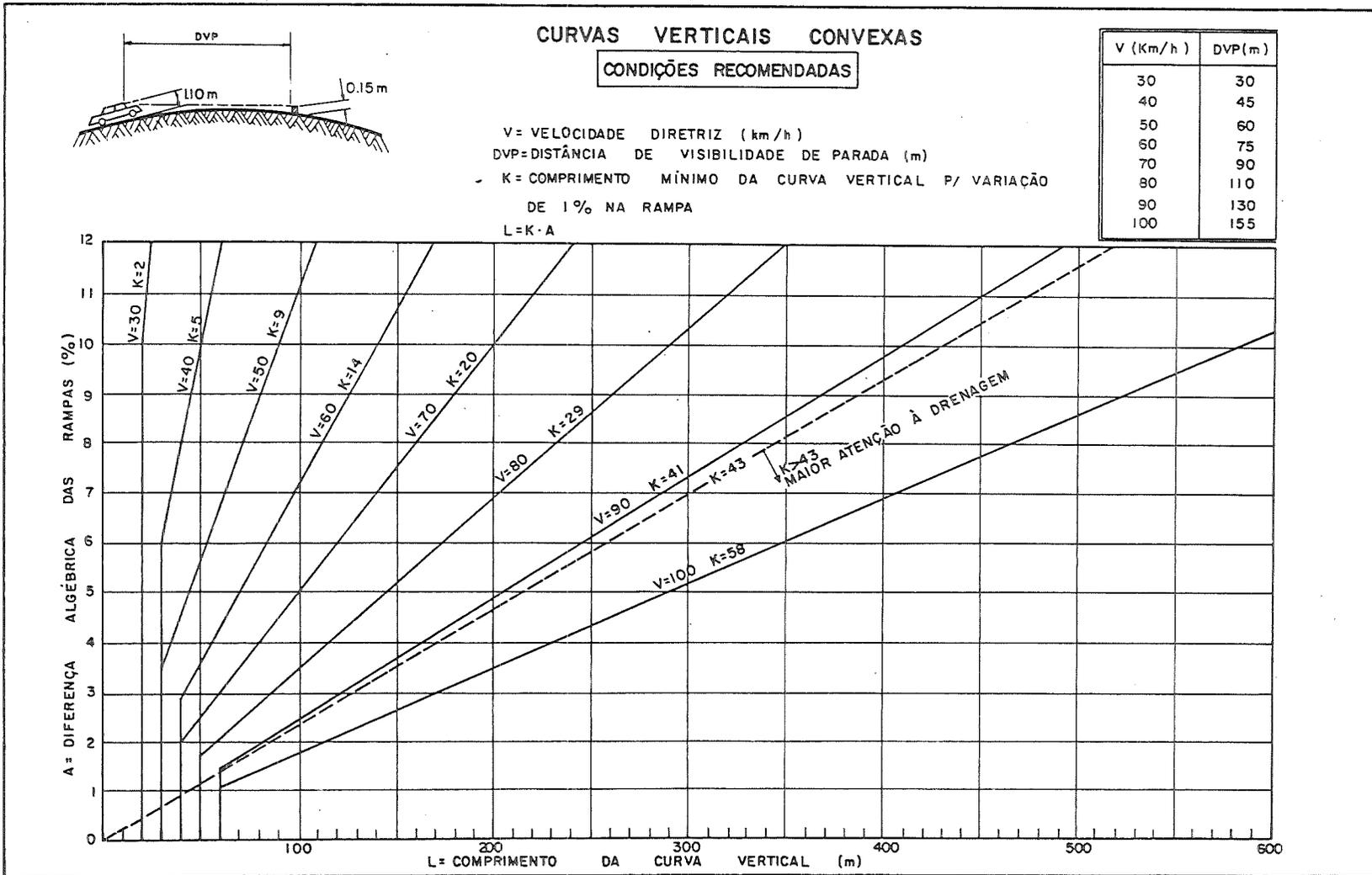


FIGURA 3.3 - COMPRIMENTOS MÍNIMOS DE CURVAS VERTICAIS CONVEXAS PARA CONDIÇÕES RECOMENDADAS, ESTABELECIDOS PELO DNER.

FONTE : DNER (REF. 5 E 6) .

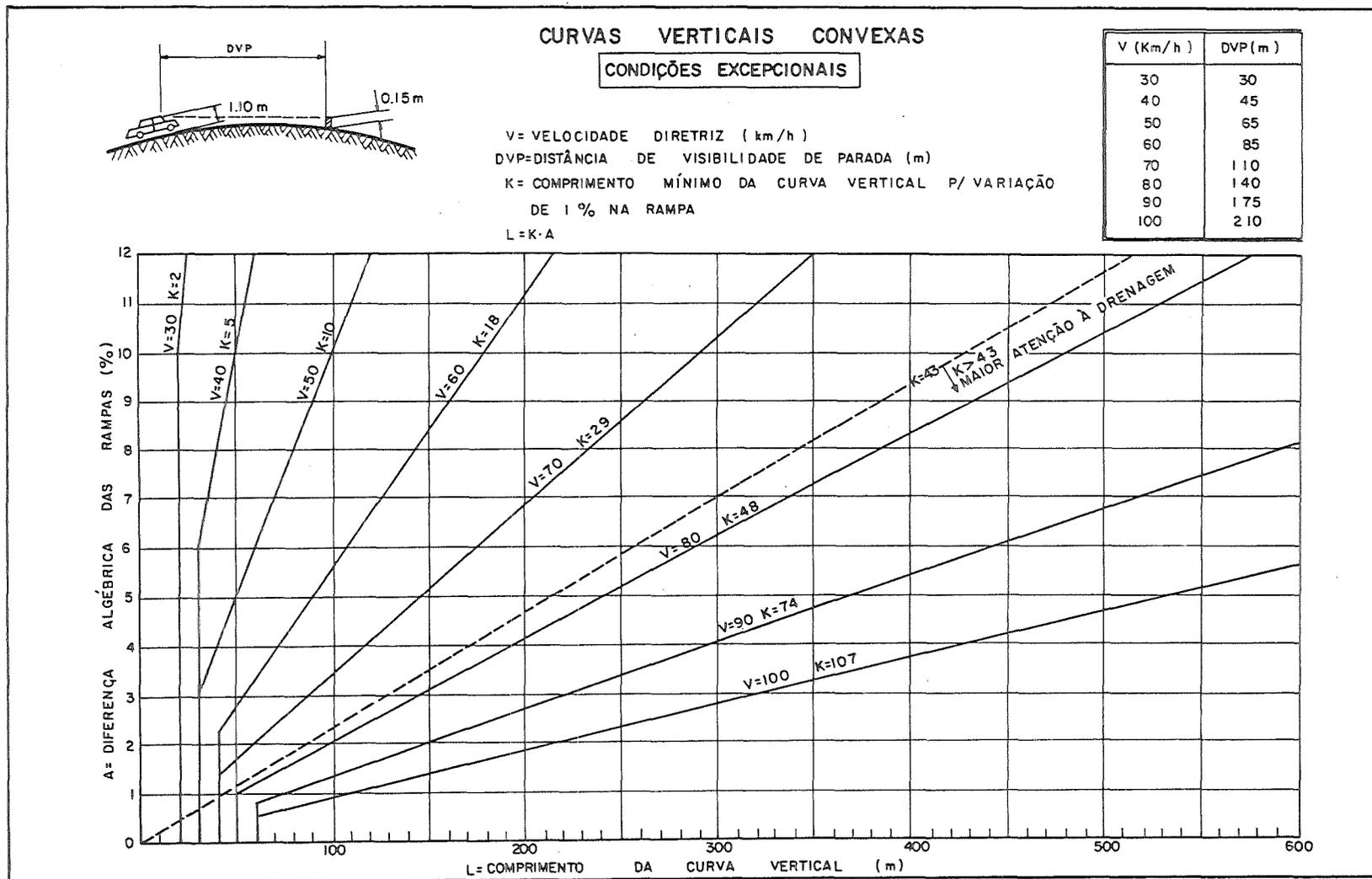


FIGURA 3.4 - COMPRIMENTOS MÍNIMOS DE CURVAS VERTICAIS CONVEXAS PARA CONDIÇÕES EXCEPCIONAIS, ESTABELECIDOS PELO DNER .

FONTE : DNER (REF. 5 E 6) .

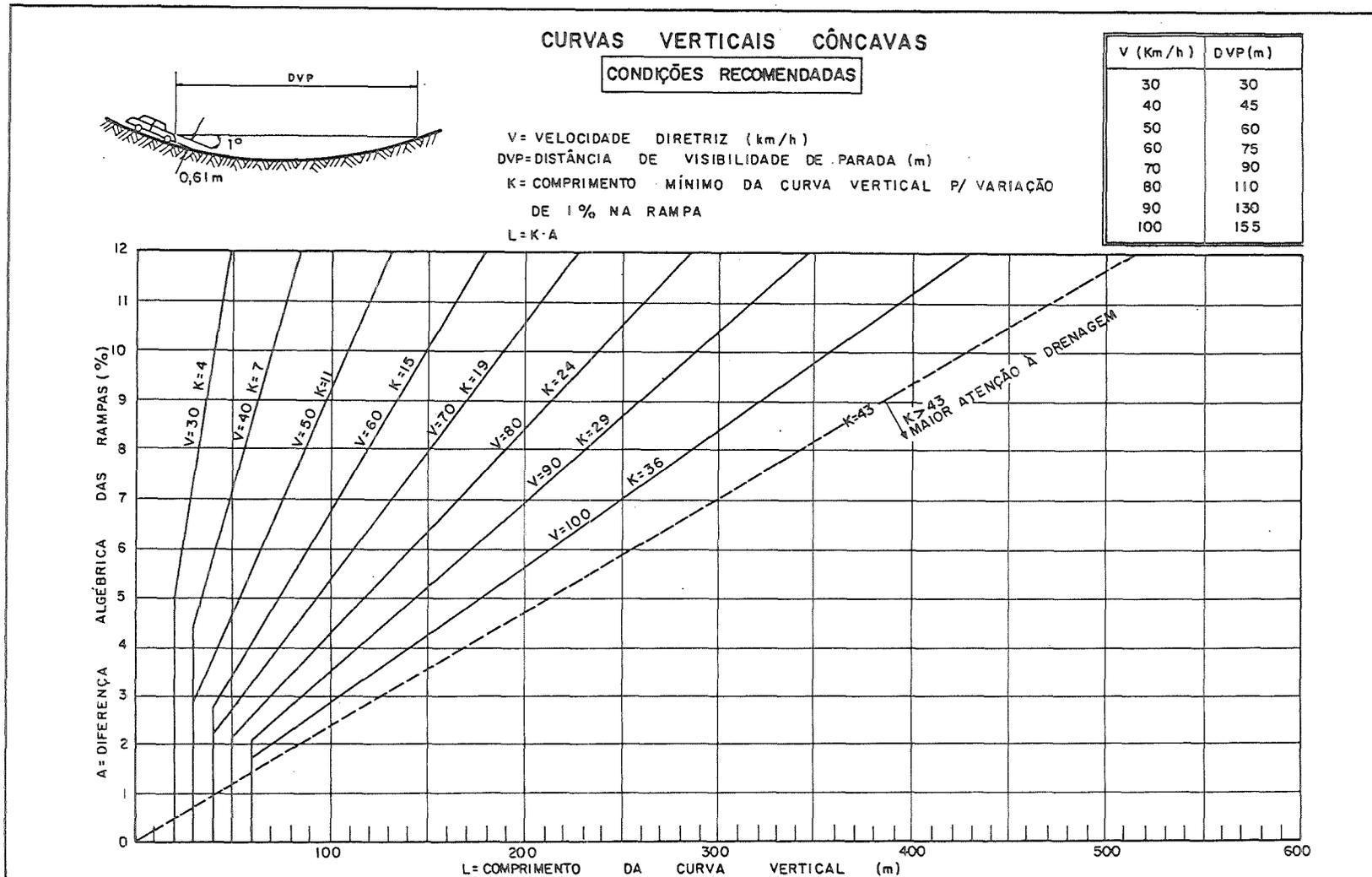


FIGURA 3.5 – COMPRIMENTOS MÍNIMOS DE CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS PARA CONDIÇÕES RECOMENDADAS, ESTABELECIDOS PELO DNER .

FONTE : DNER (REF. 5 E 6) .

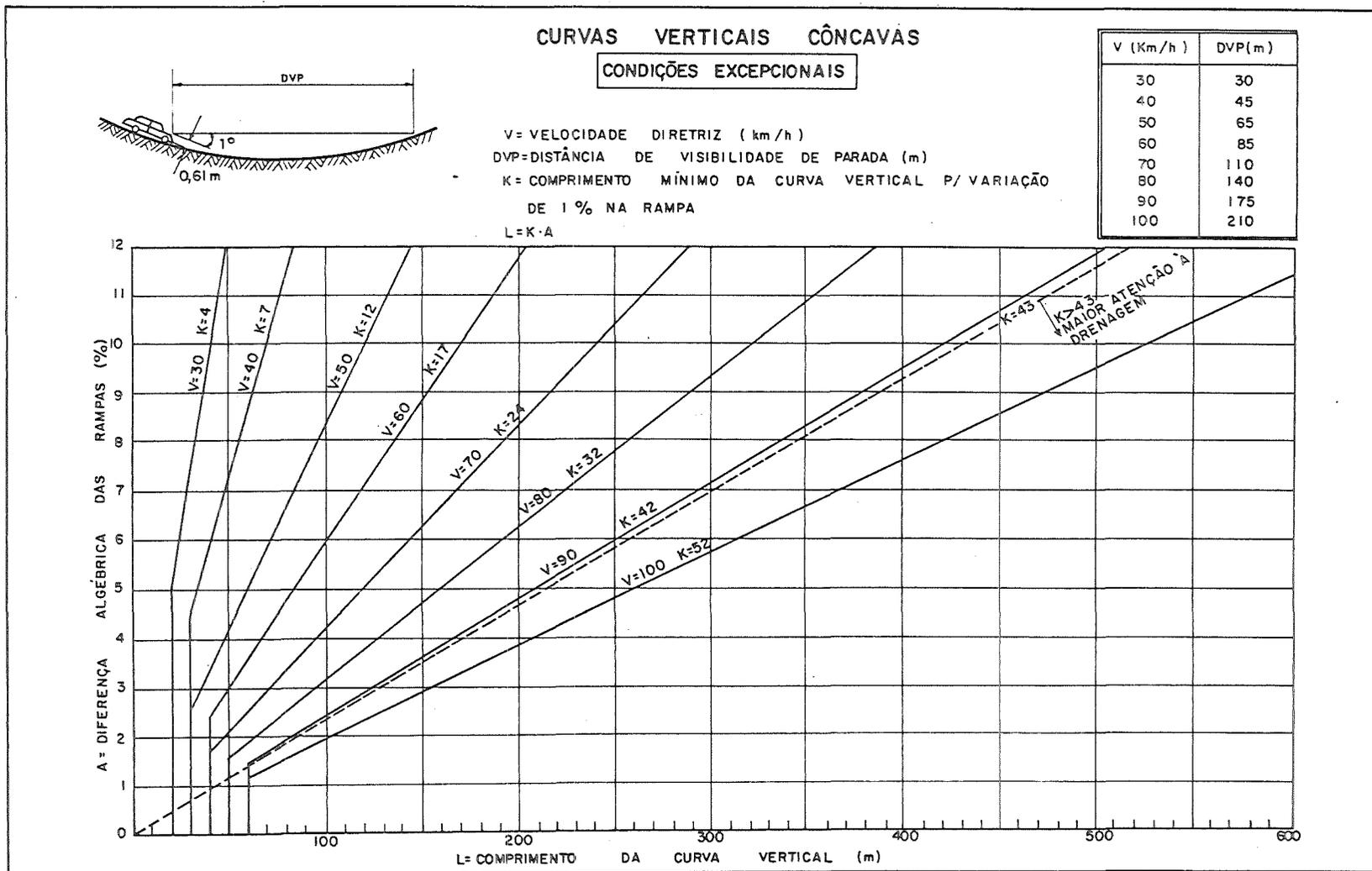


FIGURA 3.6 – COMPRIMENTOS MÍNIMOS DE CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS PARA CONDIÇÕES EXCEPCIONAIS, ESTABELECIDOS PELO DNER .

FONTE : DNER (REF. 5 E 6) .

4. ANÁLISE DOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A FI
XAÇÃO DOS COMPRIMENTOS DAS CURVAS VERTICAIS

4. ANÁLISE DOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A FIXAÇÃO DOS COMPRIMENTOS DAS CURVAS VERTICAIS

4.1 QUESTIONAMENTO DOS VALORES ATRIBUÍDOS AOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM DIRETA OU INDIRETAMENTE AS CONDIÇÕES DE VISIBILIDADE EM CURVAS VERTICAIS

Com base no que já foi exposto nos capítulos anteriores, pode-se concluir que a necessidade de garantir em projeto uma adequada distância de visibilidade de parada em todos os pontos de uma via está relacionada com um procedimento que engloba dois subprocessos distintos, a saber:

- A distância de visibilidade de parada (DVP) a ser proporcionada ao longo da via deve ser fixada a partir de uma adequada avaliação de parâmetros relacionados com as características do veículo, da pista e do motorista.
- As curvas verticais de concordância devem possuir comprimento suficiente para que a distância de visibilidade resultante em cada um de seus pontos atenda aos requisitos mínimos adotados na fixação da DVP.

Conforme também já foi visto, os parâmetros que afetam a fixação da DVP são a velocidade do veículo (V), o coeficiente de atrito entre os pneus e o pavimento (f), o tempo de percepção, decisão e reação do motorista (t_r) e a declividade do greide da pista (i).

Os parâmetros relacionados com a distância de visibilidade resultante em cada ponto de uma curva vertical convexa são a altura dos olhos do motorista (H_1) e a altura do objeto (H_2) situado à sua frente, e o relacionado com a distância de visibilidade noturna nas curvas côncavas é a altura dos fárois (H_f).

Todos os citados parâmetros foram originalmente analisados e estabelecidos pela então AASHO (American Association of State Highway Officials) na década de 40, quando várias características básicas dos veículos diferiam das atualmente verificadas nas frotas de veículos da maior parte dos países ocidentais.

Além disso, por falta de um melhor conhecimento, na época, de alguns fatores humanos relacionados com a capacidade visual e com o comportamento dos motoristas em diferentes situações ao longo de uma via, alguns desses parâmetros foram fixados empiricamente, sem um embasamento técnico mais sólido.

Desta forma, tendo em vista o melhor conhecimento que hoje se dispõe acerca das três interfaces do sistema motorista-veículo-via, constata-se que certos valores atribuídos pela AASHO aos referidos parâmetros podem ser questionados. Aliás, em vista disso é que ao longo dos últimos anos vários estudos foram desenvolvidos no exterior questionando tais valores e, em alguns casos, até propondo alterações substanciais nos mesmos.

Com base em detalhada análise efetuada sobre vários estudos que enfocam o assunto em estudo, com base na experiência do autor com a realização de vários projetos viários e com base na consideração das principais características da frota de veículos e da população de motoristas brasileiros, é apresentada a seguir uma análise de sensibilidade e uma reavaliação de cada um dos mencionados parâmetros e suas implicações com as condições de operação e de segurança de uma via.

Na sequência, primeiramente serão analisados os parâmetros que afetam diretamente a fixação da distância de visibilidade de parada (DVP), e depois os parâmetros que afetam diretamente a fixação do comprimento das curvas verticais.

4.2 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DA DVP EM RELAÇÃO AOS PARÂMETROS QUE AFETAM A SUA DETERMINAÇÃO

4.2.1 Sensibilidade da DVP à Variação do Tempo de Percepção, Decisão e Reação do Motorista

A sensibilidade da DVP à variação do tempo de percepção, decisão e reação do motorista pode ser avaliada pela derivada parcial de sua expressão geral de cálculo (1), em relação a este parâmetro:

$$\frac{d(DVP)}{d(t_r)} = v \quad (9)$$

A Figura 4.1, adiante apresentada, mostra a taxa de variação da DVP em relação ao parâmetro " t_r " para diferentes velocidades de deslocamento do veículo.

Pela Figura 4.1, pode-se concluir que, para grandes velocidades, um pequeno acréscimo no tempo de percepção, reação e decisão do motorista acarreta um acréscimo não desprezível no valor absoluto da DVP.

Por outro lado, a expressão (1) revela que, em termos relativos, o valor da DVP torna-se menos sensível à variação de " t_r " à medida que cresce a velocidade do veículo, já que o tempo de percepção, decisão e reação do motorista não influi na parcela correspondente à distância de frenagem.

Exemplificando-se numericamente, pode-se citar que um acréscimo igual a 1,0 s no valor de " t_r " acarreta, à velocidade de 80 km/h, um acréscimo de 22,2 m no valor da DVP, sendo que, à velocidade de 60 km/h, o acréscimo é de 16,7 m e a 40 km/h de 11,1 m.

Se considerados os valores mínimos recomendados para a DVP

nos manuais do DNER (vide Tabela 2.3), esses mencionados acréscimos corresponderão a variações de 20,2%, 22,3% e 24,7%, respectivamente para as velocidades de 80, 60 e 40 km/h.

4.2.2 Sensibilidade da DVP à Variação do Coeficiente de Atrito entre os Pneus e o Pavimento

A DVP, conforme se verifica na expressão (1), é inversamente proporcional ao coeficiente de atrito entre os pneus e o pavimento (f).

A sensibilidade da DVP à variação desse parâmetro pode ser avaliada pela derivada parcial da expressão (1) em relação ao mesmo:

$$\frac{d(\text{DVP})}{d(f)} = - \frac{v^2}{2g (f + i)^2}$$

A função resultante para esta derivada é representada, para diferentes valores de velocidade, na Figura 4.2, considerando-se, no caso, declividade nula ($i = 0$), conforme procedimento adotado pelo DNER na fixação da DVP, bem como os valores de " f " fixados por este órgão para diferentes velocidades (vide Tabela 2.2).

Através da Figura 4.2, pode-se concluir que, à medida que a velocidade do veículo cresce, a sensibilidade da DVP ao coeficiente de atrito pavimento/pneu também cresce.

À velocidade de 80 km/h, por exemplo, um acréscimo de 0,01 no coeficiente de atrito acarretará um aumento de cerca de 2,6 m na DVP; às velocidades de 60 e 40 km/h o mesmo acréscimo no coeficiente de atrito causará aumentos respectivamente de cerca de 1,2 m e 0,4 m na DVP.

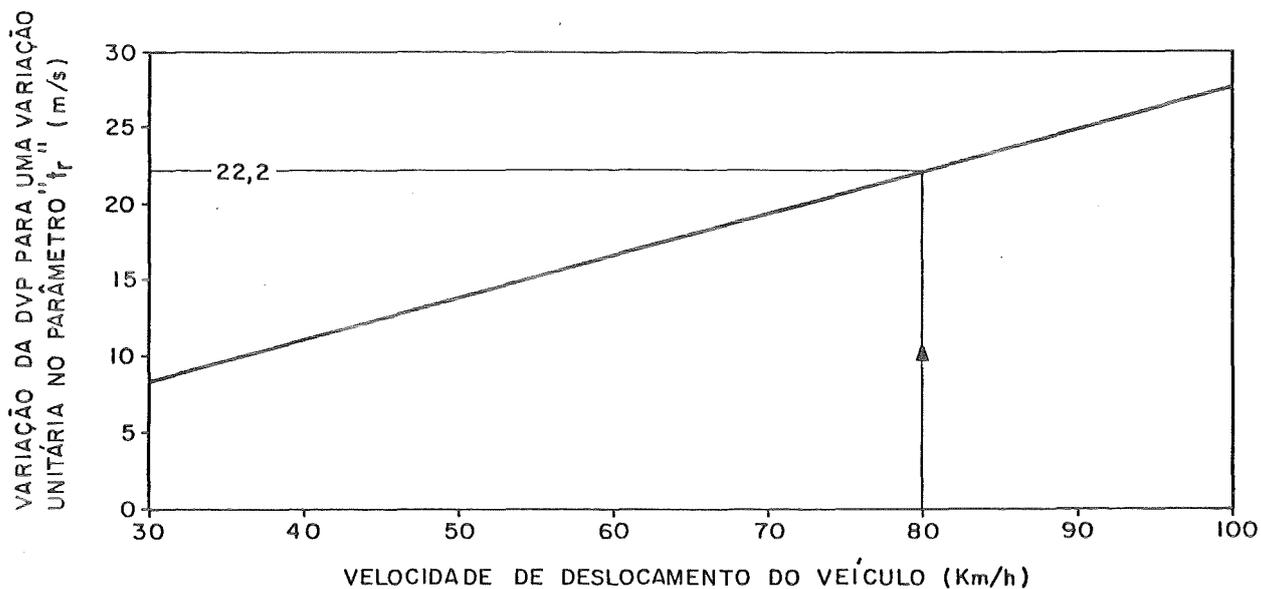


FIGURA 4.1 - SENSIBILIDADE DA DVP AO TEMPO DE PERCEPÇÃO, DECISÃO E REAÇÃO, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE.

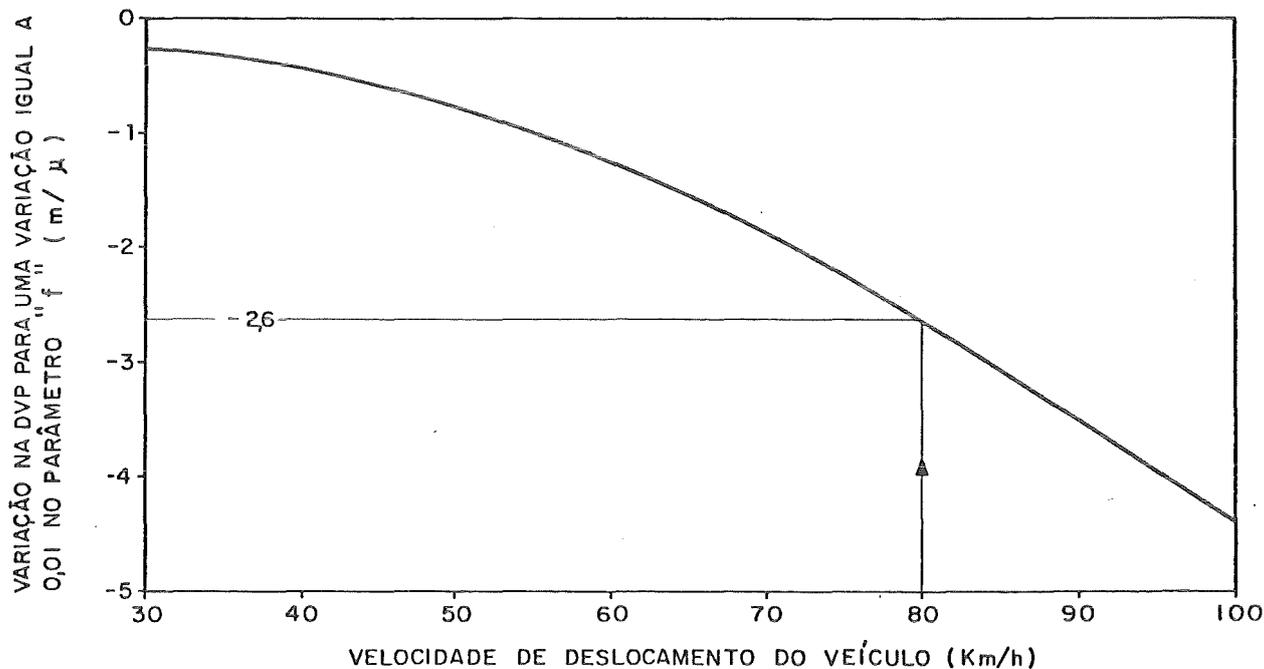


FIGURA 4.2 - SENSIBILIDADE DA DVP AO COEFICIENTE DE ATRITO PAVIMENTO/PNEU, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE

Se forem comparados os resultados da Figura 4.1 com os da Figura 4.2, pode-se concluir que, à velocidade de 80 km/h, é necessária uma redução igual a 0,085 no valor do coeficiente de atrito para que o valor da DVP sofra o mesmo acréscimo causado pela majoração de 1 s no tempo de percepção, decisão e reação do motorista.

Assim, pode-se concluir que, à velocidade de 80 km/h, é necessária uma redução de cerca de 27,4% no valor fixado pelo DNER para o coeficiente de atrito pavimento/pneu (0,31) para igualar o efeito de um acréscimo de 40% no valor de 2,5 s fixado para " t_r " no cálculo da DVP.

4.2.3 Sensibilidade da DVP à Variação da Velocidade do Veículo

A sensibilidade da DVP à variação da velocidade de deslocamento do veículo é dada pela derivada parcial da expressão (1) em relação a este parâmetro:

$$\frac{d(DVP)}{d(V)} = t_r + \frac{V}{g(f + i)} \quad (11)$$

A Figura 4.3, adiante apresentada, mostra a taxa de variação da DVP por unidade de variação na velocidade, para diferentes velocidades de deslocamento do veículo, considerando-se o valor de " t_r " igual a 2,5 s e declividade nula (conforme procedimento do DNER na fixação da DVP), bem como os valores de "f" também fixados pelo citado órgão (vide Tabela 2.2).

Como a Figura 4.3 indica, a DVP é bastante sensível a variações do parâmetro velocidade. Por exemplo, à velocidade de 80 km/h, cada km/h de variação nessa velocidade acarreta uma variação de 2,7 m na DVP. Isso significa dizer que, em uma curva vertical projetada para uma velocidade de 80 km/h, um acréscimo de 1 km/h na velocidade assumida resultará em uma deficiência de quase 3 m na DVP.

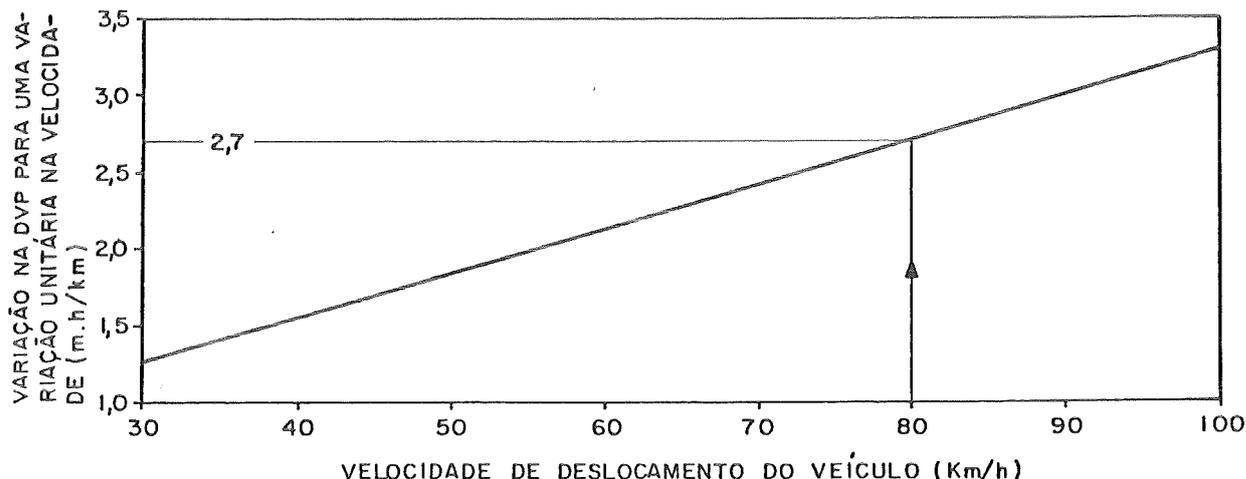


FIGURA 4.3- SENSIBILIDADE DA DVP À VELOCIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DO VEÍCULO.

A sensibilidade da DVP a variações na velocidade pode ser avaliada através da comparação entre os resultados das Figuras 4.1 e 4.3. Por exemplo, à velocidade de 80 km/h, basta um acréscimo de tão somente 8,2 km/h nessa velocidade para igualar a majoração da DVP causada pela variação de 1,0 s no tempo de percepção, decisão e reação do motorista.

No caso, portanto, pode-se concluir que é necessária uma variação de cerca de 10% na velocidade de 80 km/h do veículo para igualar o efeito de uma variação de 40% no valor de 2,5 s fixado para "t_r" no cálculo da DVP.

4.2.4 Sensibilidade da DVP à Variação da Declividade do Greide

A declividade do greide é uma característica geométrica típica em cada ponto específico da via, não cabendo, portanto, admitir variações no valor da mesma visando analisar a correspondente variação no valor da DVP.

É cabível, no entanto, uma análise do efeito decorrente da utilização de declividade nula para o greide, ao invés da declividade real existente em cada ponto específico da via.

As Tabelas 2.4 e 2.5 anteriormente apresentadas contêm as correções a serem efetuadas nos valores recomendados e excepcionais de DVP, em função da velocidade e da rampa. Tais correções são aplicáveis aos valores de DVP calculados para greide nulo, constantes da Tabela 2.3.

Comparando-se os valores das Tabelas 2.4 e 2.5 com os correspondentes valores da Tabela 2.3, conclui-se que os acréscimos ou decréscimos aplicáveis aos valores de DVP calculados para declividade nula são proporcionalmente reduzidos, não ultrapassando a porcentagem de 10% para greides variando de +6% a - 4%.

À velocidade de 80 km/h, por exemplo, para os greides ascendentes de 2%, 4% e 6%, os decréscimos aplicáveis representam respectivamente 3,6%, 6,4% e 9,1% dos correspondentes valores mínimos recomendados de DVP, calculados em condições de declividade nula de greide. No caso dos valores mínimos excepcionais de DVP, os decréscimos aplicáveis correspondem respectivamente às porcentagens de 3,6%, 7,1% e 10,0%.

Na mesma velocidade, para greides descendentes de 2%, 4% e 6%, os acréscimos aplicáveis representam respectivamente 3,6%, 8,2% e 13,6% dos correspondentes valores mínimos recomendados e 4,3%, 9,3% e 15,0% dos correspondentes valores mínimos excepcionais.

4.3 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DO COMPRIMENTO DE UMA CURVA VERTICAL CONVEXA EM RELAÇÃO AOS PARÂMETROS QUE AFETAM A SUA DETERMINAÇÃO

4.3.1 Sensibilidade do Comprimento da Curva Vertical Convexa à Variação da Altura dos Olhos do Motorista

As expressões (4) e (5) são as utilizadas para a determinação do comprimento de uma curva vertical convexa (L), quando prevalece o critério da distância de visibilidade necessária.

A sensibilidade do comprimento da curva à variação da altura dos olhos do motorista (H_1) pode ser avaliada calculando-se valores de " $K = L/A$ " para diferentes valores deste parâmetro, mantendo-se fixos os valores dos demais parâmetros (DVP e H_2).

Na Tabela 4.1, adiante apresentada, são indicados valores de " K " para valores de " H_1 " iguais a 1,00 m, 1,05 m e 1,15 m, considerando-se velocidades de projeto iguais a 40, 60 e 80 km/h, às quais estão associados valores mínimos recomendados de DVP iguais respectivamente a 45, 75 e 110 m. Tais valores indicados na Tabela foram calculados utilizando-se a expressão (4), que corresponde à situação mais comum de projeto ($L \geq DVP$), e o valor de " H_2 " fixado pelo DNER (0,15 m).

Os resultados constantes da Tabela 4.1 revelam que uma redução de 5 cm no valor de " H_1 " fixado pelo DNER (de 1,10 m para 1,05 m) acarreta um acréscimo médio no valor de " K ", e portanto no comprimento da curva vertical convexa, de cerca de 3,5%, para as velocidades consideradas.

Se o decréscimo no valor de " H_1 " fôr de 10 cm (de 1,10 m para 1,00 m), o acréscimo médio no valor de " K " é de cerca de 7,1%, e se fôr de 15 cm (de 1,10 m para 0,95 m) de cerca de

11,2%.

Tabela 4.1 - PARÂMETROS "K" DE CURVAS VERTICAIS CONVEXAS PARA DIFERENTES ALTURAS DOS OLHOS DO MOTORISTA

ALT. DOS OLHOS DO MOTORISTA (m)	VELOCIDADE (km/h)		
	40 (DVP = 45 m)	60 (DVP = 75 m)	80 (DVP = 110 m)
0,95	5,46	15,16	32,61
1,00	5,26	14,61	31,44
1,05	5,08	14,11	30,35
1,10 (*)	4,91	13,64	29,33

(*) Valor de altura dos olhos do motorista fixado pelo DNER para o cálculo de comprimentos mínimos de curvas verticais convexas.

4.3.2 Sensibilidade do Comprimento da Curva Vertical Convexa à Variação da Altura do Obstáculo

A sensibilidade do comprimento de uma curva vertical (L) à variação da altura do obstáculo (H_2) pode ser avaliada calculando-se valores de " $K = L/A$ " para diferentes valores deste parâmetro, mantendo-se fixos os valores dos demais parâmetros (DVP e H_1).

Na Tabela 4.2, adiante apresentada, são indicados valores de "K" para valores de " H_2 " iguais a 0,00 m, 0,075m e 0,15m, considerando-se velocidades de projeto iguais a 40, 60 e 80 km/h, às quais estão associados valores mínimos recomendados de DVP iguais respectivamente a 45, 75 e 110 m. Tais valores indicados na Tabela foram calculados utilizando-se a expressão (4), e o valor de " H_1 " fixado pelo DNER (1,10 m).

Tabela 4.2 - PARÂMETROS "K" DE CURVAS VERTICAIS CONVEXAS PARA DIFERENTES ALTURAS DO OBSTÁCULO

ALT. DO OBSTÁCULO (m)	VELOCIDADE (km/h)		
	40 (DVP = 45 m)	60 (DVP = 75 m)	80 (DVP = 110 m)
0,00	9,20	25,57	55,00
0,05	6,25	17,37	37,37
0,10	5,43	15,09	32,47
0,15 (*)	4,91	13,64	29,33

(*) Valor de altura do obstáculo fixado pelo DNER para o cálculo de comprimentos mínimos de curvas verticais convexas.

Os resultados constantes da Tabela 4.2 revelam que uma redução de 5 cm no valor de " H_2 " fixado pelo DNER (de 0,15 m para 0,10 m) acarreta um acréscimo médio no valor de "K" de cerca de 10,6%, para as velocidades consideradas.

Se o decréscimo no valor de " H_2 " fôr de 10 cm (de 0,15 m para 0,05 m), o acréscimo médio no valor de "K" é de cerca de 27,3%, e se fôr de 15 cm (de 0,15 m para 0,00 m) de cerca de 87,5%.

Assim, os resultados da Tabela 4.1, quando comparados com os da Tabela 4.2, revelam que o comprimento de uma curva vertical convexa é extremamente mais sensível à altura do objeto do que à altura dos olhos do motorista. Na situação mais extrema dentre aquelas analisadas, constata-se que uma mesma redução (15 cm) no valor da altura dos olhos do motorista e no valor da altura do obstáculo causa variação de 11,2% no valor de "K" no primeiro caso e de 87,5% no segundo caso.

4.3.3 Sensibilidade do Comprimento da Curva Vertical Convexa à Variação da DVP

A sensibilidade do comprimento de uma curva vertical convexa à variação da DVP pode ser avaliada pela derivada parcial da expressão (4) em relação a este parâmetro:

$$\frac{d(K)}{d(DVP)} = \frac{DVP}{100 (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2} \quad (12)$$

A Figura 4.4, adiante apresentada, mostra a taxa de variação do valor de "K" por unidade de variação na DVP, considerando-se para "H₁" e "H₂" os valores fixados pelo DNER em seus manuais de projeto (1,10 m e 0,15 m).

A Figura 4.4 revela que uma variação em valores tanto maiores de DVP acarreta uma variação tanto maior no valor de "K".

Como os valores de DVP são fixados em função da velocidade de projeto e são crescentes com o aumento deste parâmetro (vide Tabela 2.3), pode-se concluir que o comprimento de uma curva vertical convexa é mais sensível a variações da DVP à medida que cresce a velocidade de projeto adotada para a via.

Assim, por exemplo, no caso da velocidade de 80 km/h, para a qual é fixado o valor mínimo recomendado de DVP igual a 110 m, a cada metro acrescido nesse valor de DVP corresponderá uma majoração no valor de "K" igual a 0,53. Se, também para exemplificar, tal DVP tiver que ser garantida em uma curva vertical convexa destinada a concordar duas rampas cujas declividades apresentem diferença algébrica igual a 6%, então, para a velocidade considerada, a cada metro de variação na DVP corresponderá uma variação de 3,2 m no comprimento mínimo necessário para a curva.

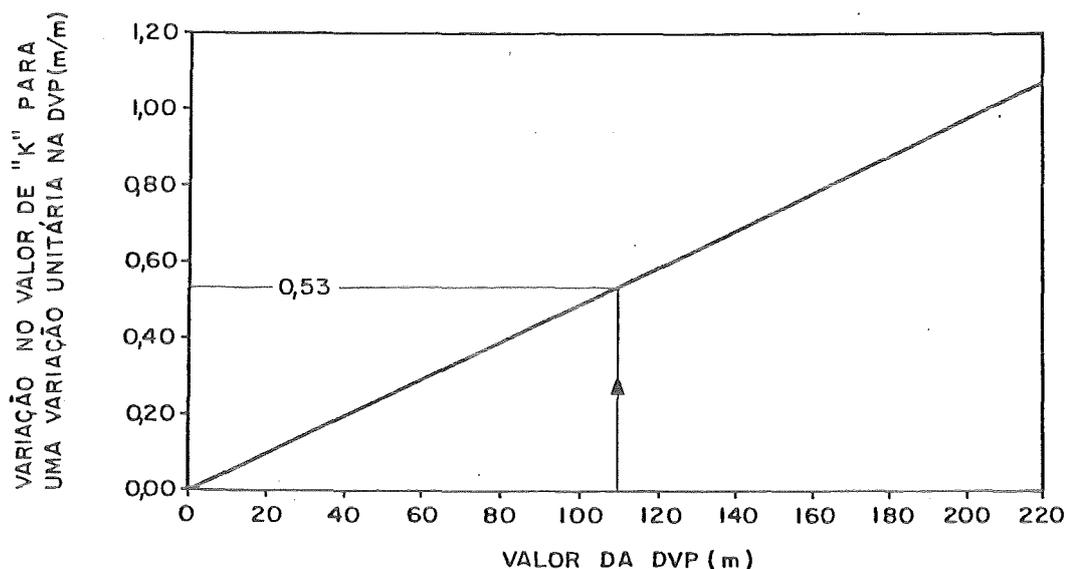


FIGURA 4.4 - SENSIBILIDADE DO VALOR DE "K" A VARIAÇÕES NA DVP

Também é interessante, dentro da presente análise de sensibilidade, fazer-se uma comparação do efeito sobre o comprimento da curva decorrente de variações na DVP com o efeito decorrente de variações na altura dos olhos do motorista ou do obstáculo.

Na Tabela 4.3, adiante apresentada, são indicados os acréscimos necessários aos valores mínimos recomendados de DVP para causar o mesmo efeito sobre o comprimento das curvas verticais convexas causado pela redução da altura dos olhos do motorista ou da altura do obstáculo fixados pelo DNER.

Deve-se ressaltar que os dados da Tabela 4.3 confirmam a insignificante influência de variações da altura dos olhos do motorista sobre os comprimentos das curvas verticais, pois que os acréscimos necessários na DVP para igualar tal influência são, em sua maioria, menores ou equivalentes aos próprios arredondamentos aplicados aos valores de projeto da DVP, para torná-los múltiplos inteiros de 5 ou de 10 unidades.

Tabela 4.3 - ACRÉSCIMOS APLICÁVEIS AOS VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE DVP PARA IGUALAR O EFEITO SOBRE O COMPRIMENTO DAS CURVAS VERTICAIS CONVEXAS CAUSADO PELA REDUÇÃO DA ALTURA DOS OLHOS DO MOTORISTA OU DA ALTURA DO OBSTÁCULO (EM METROS)

VELOCIDADE (km/h)	REDUÇÃO NA ALTURA DOS OLHOS DO MOTORISTA (cm)			REDUÇÃO NA ALTURA DO OBSTÁCULO (cm)		
	5	10	15	5	10	15
40	0,8	1,6	2,5	2,3	5,8	16,6
60	1,3	2,6	4,1	3,9	9,7	27,7
80	1,9	3,9	6,0	5,7	14,2	40,6

4.4 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DO COMPRIMENTO DA CURVA VERTICAL CÔNCAVA EM RELAÇÃO AOS PARÂMETROS QUE AFETAM A SUA DETERMINAÇÃO

4.4.1 Sensibilidade do Comprimento da Curva Vertical Cônica à Variação da Altura dos Faróis

As expressões (6) e (7) são as utilizadas para a determinação do comprimento da curva vertical cônica (L), quando prevalece o critério da distância de visibilidade necessária.

A sensibilidade do comprimento da curva à variação da altura dos faróis (H_f) pode ser avaliada calculando-se valores de " $K = L/A$ " para diferentes valores deste parâmetro, mantendo-se fixo o valor da DVP.

Na Tabela 4.4, adiante apresentada, são indicados valores de " K " para valores de " H_f " iguais a 0,45 m, 0,50 m, 0,55 m e 0,61 m, considerando-se velocidades de projeto iguais a 40, 60 e 80 km/h, às quais estão associados valores mínimos recomendados de DVP iguais respectivamente a 45, 75 e 110 m. Tais valores indicados na Tabela foram calculados utilizando-se a expressão (6), que corresponde à situação mais comum de projeto, ou seja, aquela em que o comprimento da curva é maior que a DVP.

Os elementos da Tabela 4.4 revelam que uma redução de 6 cm no valor de " H_f " fixado pelo DNER (de 0,61 m para 0,55 m) acarreta um acréscimo médio no valor de " K ", e portanto no comprimento da curva vertical convexa, de cerca de 3,2%, para as velocidades consideradas.

Se o decréscimo no valor de " H_f " for de 11 cm (de 0,61 m para 0,50 m), o acréscimo médio no valor de " K " é de cerca de 6,4%, e se for de 16 cm (de 0,61 m para 0,45 m) de cerca de 9,5%.

Tabela 4.4 - PARÂMETROS "K" DE CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS PARA DIFERENTES ALTURAS DE FARÓIS

ALT. DOS FARÓIS (m)	VELOCIDADE (km/h)		
	40 (DVP = 45 m)	60 (DVP = 75 m)	80 (DVP = 110 m)
0,45	8,20	16,0	25,5
0,50	7,88	15,6	25,0
0,55	7,58	15,1	24,5
0,61 (*)	7,26	14,7	23,9

(*) Valor de altura dos faróis fixado pelo DNER para o cálculo de comprimentos mínimos de curvas verticais côncavas.

4.4.2 Sensibilidade do Comprimento da Curva Vertical Côncava à Variação da DVP

A sensibilidade do comprimento de uma curva vertical côncava à variação da DVP pode ser avaliada calculando-se, através da expressão (6), os acréscimos acarretados no valor de "K = L/A" para majorações aplicadas no valor da DVP, mantendo-se fixo o valor de "H_f" estabelecido pelo DNER para tal tipo de cálculo (0,61 m).

Na tabela 4.5, adiante apresentada, são indicados os acréscimos acarretados no valor de "K" para majorações de 5, 10, 15 e 20 m aplicadas ao valor da DVP. Tais acréscimos são apresentados para velocidades de 40, 60 e 80 km/h, às quais correspondem valores de DVP fixados pelo DNER iguais respectivamente a 45, 75 e 110 m e valores de "K" respectivamente a 7,26, 14,66 e 23,91 m (valores não arredondados).

Tabela 4.5 - ACRÉSCIMOS ACARRETADOS NOS VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE "K" PARA DIFERENTES MAJORAÇÕES NO VALOR DA DVP (EM METROS)

VELOCIDADE (km/h)	MAJORAÇÃO NO VALOR DA DVP (m)			
	5	10	15	20
40	1,17	2,37	3,60	4,85
60	1,29	2,59	3,91	5,23
80	1,35	2,71	4,07	5,44

A tabela 4.5 revela que as variações nos valores de "K" são tanto maiores quanto maior for a velocidade considerada e, obviamente, quanto maior for a majoração aplicada no valor da DVP correspondente a essa velocidade.

Assim, por exemplo, no caso da velocidade de 80 km/h, para a qual é fixado o valor mínimo recomendado de DVP igual a 110 m, um acréscimo de 10 m (cerca de 9,1%) nesse valor corresponderá a uma majoração de 2,71 m (cerca de 11,3%) no valor de "K" estabelecido para essa velocidade ($K=23,91$).

Também nesse caso, é interessante fazer-se uma comparação entre o efeito causado ao comprimento da curva côncava pela redução da altura dos faróis e o efeito causado pela majoração da DVP.

Na tabela 4.6, adiante apresentada, são indicados os acréscimos necessários aos valores mínimos recomendados de DVP para causar o mesmo efeito sobre o comprimento das curvas verticais côncavas causado pela redução da altura dos faróis do veículo.

Tabela 4.6 - ACRÉSCIMOS APLICÁVEIS AOS VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE DVP PARA IGUALAR O EFEITO SOBRE O COMPRIMENTO DAS CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS CAUSADA PELA REDUÇÃO DA ALTURA DOS FARÓIS

VELOCIDADE (km/h)	REDUÇÃO NA ALTURA DOS FARÓIS (CM)		
	06	11	16
40	1,4	2,7	4,0
60	1,7	3,7	5,2
80	2,2	4,0	5,9

A análise dos dados constantes da Tabela 4.6 confirma que a influência de variações da altura dos faróis é efetivamente insignificante, já que os acréscimos necessários na DVP para igualar tal influência são, em sua maioria, menores que os próprios arredondamentos aplicados aos valores de projeto da DVP para torná-los múltiplos inteiros de 5 ou de 10 unidades.

4.5 REAVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS QUE AFETAM DIRETAMENTE A FIXAÇÃO DA DVP

4.5.1 Tempo de Percepção, Decisão e Reação do Motorista (t_r)

Conforme já mencionado, o valor total recomendado pela AASHTO para o tempo de percepção, decisão e reação do motorista, e adotado pelo DNER, é de 2,5 segundos, dos quais 1,5 segundos correspondem ao tempo de percepção.

Os fatores que afetam a percepção, a decisão e a reação do motorista são variados, complexos, em geral não facilmente quantificáveis, e talvez, por esta razão, os menos compreendidos dentre os demais que condicionam o comportamento do motorista.

O tempo de reação varia com a distância do objeto, a habilidade visual e o estado de vigiância do motorista, com as condições e o tipo da via, e obviamente com a cor, o tamanho e a forma do objeto.

Para melhor entender o processo de percepção é preciso situá-lo dentro da estrutura total da tarefa de orientação e controle.

O motorista é, sem dúvida, o elemento mais importante do sistema motorista-veículo-via. De suas características físicas e psicológicas - traduzidas na sua habilidade de ação diante das condições dos veículos e da via, bem como das exigências do tráfego - repousam, em última análise, a segurança e a eficiência do tráfego rodoviário.

O estabelecimento de um "motorista médio", dotado de comportamento médio, é tarefa das mais difíceis, diante do grande

número de fatores psicossomáticos, educacionais e ambientais que afetam os motoristas quando envolvidos no tráfego. Entretanto, tal tentativa tem que ser feita, de maneira a permitir que os construtores de veículos e os técnicos rodoviários - encarregados do projeto, construção e operação das vias - possam adequar suas tarefas à capacidade de um motorista de comportamento médio, que teria tempos médios de percepção, julgamento e reação, bem como características relativas a sexo, idade, capacidade de obter informações numéricas e outros atributos, correspondendo às incidências de valor modal.

As reações de um motorista devem ser separadas em dois grupos, a saber: reação física ou condicionada e reação psicológica.

As reações físicas ou condicionadas relacionam-se com os hábitos e reflexos adquiridos pelo motorista que experimenta diversas vezes um mesmo conjunto de situações e condicionantes, como por exemplo o trajeto casa-trabalho-casa.

As reações psicológicas incluem todo um processo intelectualivo que culmina com um juízo ou escolha de ação a adotar. Os estímulos que determinam as reações psicológicas passam por processo de percepção idêntico ao das reações condicionadas; entretanto, o que diferencia os dois tipos de reações é que os estímulos percebidos no caso de reações psicológicas são necessariamente mais complexos e/ou não habituais. Há, então, a necessidade de uma intelecção e um julgamento que precede a ação do motorista.

Como condutor e controlador do veículo, o motorista é quem deve posicioná-lo no tempo e no espaço, ou seja, é ele quem deve continuamente manter o veículo na velocidade relativa correta, e é ele quem deve manobrá-lo para seguir a rota que desejar ou que for necessária para alcançar o seu destino.

Para fazer isto o motorista deve detectar e selecionar in formações do meio-ambiente que o cerca, bem como da geome tria e do tráfego da via; deve ainda processar e analisar essas informações, tomar decisões e traduzir estas deci sões em um conjunto de atos sobre o veículo.

Todo este processo dura um período de tempo tanto maior quanto maior é a complexidade da situação percebida e quanto me nos experiências similares o motorista já tenha enfrentado.

Para se determinar com precisão o tempo total de duração desse processo, necessário seria determinar a duração de cada uma de suas fases, já se sabendo de antemão que os respectivos valores deveriam obviamente variar de um motorista para outro.

Voltando ao valor de 2,5 segundos fixado originalmente pe la AASHTO para o tempo de percepção, decisão e reação do mo torista, cabe ressaltar, conforme já mencionado, que o mes mo baseou-se em estudos desenvolvidos há cerca de 40 anos.

Sem entrar no mérito da validade de tais estudos, à luz dos novos conhecimentos que hoje se dispõe acerca dos fatores hu manos relacionados à atuação do motorista, existe uma razão muito forte para se questionar a utilização do citado valor nos dias de hoje.

Tal razão está relacionada com as significativas alterações ocorridas na composição da população de motoristas ao longo dos últimos 40 anos, não só nos Estados Unidos, onde os estudos foram efetuados, mas também no Brasil e em inúmeros ou tros países.

Apenas para ilustrar a intensidade dessas alterações, podem ser citados alguns dados disponíveis para o caso dos Estados Unidos, levantados por Khasnabis e Tadi (1) para o período de 1960-1980:

- O número total de motoristas licenciados no período cresceu de 87 para 140 milhões;
- A porcentagem de motoristas com mais de 60 anos cresceu de 11,4% para 15,5%, representando um acréscimo de 12 milhões de motoristas idosos no período (entre 1940 e 1980 cresceu de 5% para 15,5%);
- A porcentagem de motoristas com até 20 anos cresceu de 7,2% para 11,3%, representando um acréscimo de mais de 9 milhões de motoristas jovens no período;
- A proporção de motoristas homens para motoristas mulheres alterou-se da relação 70/30 para 54/46, representando um acréscimo de 35 milhões de motoristas mulheres no período.

As implicações dessas alterações podem ser avaliadas pelas conclusões de vários estudos realizados enfocando a relação entre o sexo, a idade e o desempenho do motorista. Alguns desses estudos mostraram que o tempo de reação cresce com a idade do motorista. Outros concluíram que há fortes evidências de que tanto os jovens como os idosos apresentam uma experiência de acidentes altamente desproporcional em relação às demais faixas etárias da população de motoristas.

Assim, com base nas conclusões destes estudos, e considerando as significativas alterações ocorridas na composição da população de motoristas até a data atual (especialmente na porcentagem dos motoristas idosos), o valor de 2,5 segundos fixado pela AASHTO para o tempo de percepção, decisão e reação deveria ser majorado.

Até há pouco tempo atrás, as recomendações de majoração deste parâmetro, efetuadas em vários estudos desenvolvidos para tal finalidade, não estavam devidamente fundamentadas em pesquisas mais aprofundadas acerca da capacidade de percepção, decisão e reação dos motoristas.

Apenas recentemente que um órgão oficial americano, o Federal Highway Administration, patrocinou a elaboração de um estudo específico para melhor avaliar as características dos motoristas e sua influência nos padrões de operação e de projeto já estabelecidos em diferentes situações de vias rurais e urbanas.

O relatório final de tal estudo (Report No. FHWA/RD-83/065), denominado "Highway Design and Operations Standards Affected by Driver Characteristics", ainda não foi publicado. Os seus principais resultados, no entanto, já foram relatados no estudo "Driver Characteristics Impacting Highway Design and Operations" (16), publicado na edição de junho de 1984 do periódico Public Roads (vol. 48, nº 1).

No caso da distância de visibilidade de parada, os tempos parciais de percepção, decisão e reação foram determinados para condutores correspondendo a 50, 75, 85, 90, 95 e 99 percentis da população de motoristas, conforme discriminado na Tabela 4.7 a seguir apresentada.

Conforme pode-se verificar na referida Tabela, o valor de 2,5 s adotado pela AASHTO corresponde a um tempo de percepção, decisão e reação que abrange cerca de apenas 60% da população de motoristas.

No referido estudo é recomendada como mais apropriada, para efeito de cálculo da DVP, a adoção de um tempo total igual a 3,2 s, ou seja, a somatória dos tempos parciais de latência (o tempo entre o surgimento do obstáculo e o início da resposta do motorista), de movimento dos olhos, de fixação e de reconhecimento do objeto, de decisão e finalmente de ação para fazer funcionar os freios do veículo, correspondentes ao 85º percentil da população de motoristas.

Assim, tal valor de 3,2 s pode ser utilizado preferencialmente em relação ao de 2,5 s originalmente fixado pela

AASHTO, já que sua determinação está embasada em estudos recentes que, além de terem sido realizados à luz de um melhor conhecimento que hoje se tem acerca dos fatores humanos relacionados ao comportamento do motorista, consideram a composição atual da população de motoristas e podem melhor refletir, por consequência, as reais características de inter-relacionamento do desempenho do motorista com a sua idade e sexo.

Tabela 4.7 - TEMPOS DE PERCEPÇÃO, DECISÃO E REAÇÃO PARA VÁRIOS PERCENTIS DA POPULAÇÃO DE MOTORISTAS, APLICÁVEIS AO CÁLCULO DA DVP (SEGUNDOS)

ELEMENTO	PERCENTIS DA POPULAÇÃO DE MOTORISTAS					
	50	75	85	90	95	99
- Tempo de Percepção (s)						
. Latência	0,24	0,27	0,31	0,33	0,35	0,45
. Movimento dos Olhos	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
. Fixação	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
. Reconhecimento	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
- Tempo de Decisão (s)	0,50	0,75	0,85	0,90	0,95	1,00
- Tempo de Reação (s)	0,85	1,11	1,24	1,42	1,63	2,16
- Tempo Total (s)	2,3	2,9	3,2	3,5	3,8	4,6

FONTE: (Ref. 16)

4.5.2 Coeficiente de Atrito Entre os Pneus e o Pavimento (f)

Os valores do coeficiente de atrito "f" utilizados na equação de determinação da DVP foram estabelecidos pela AASHTO com base em estudos realizados há mais de 30 anos.

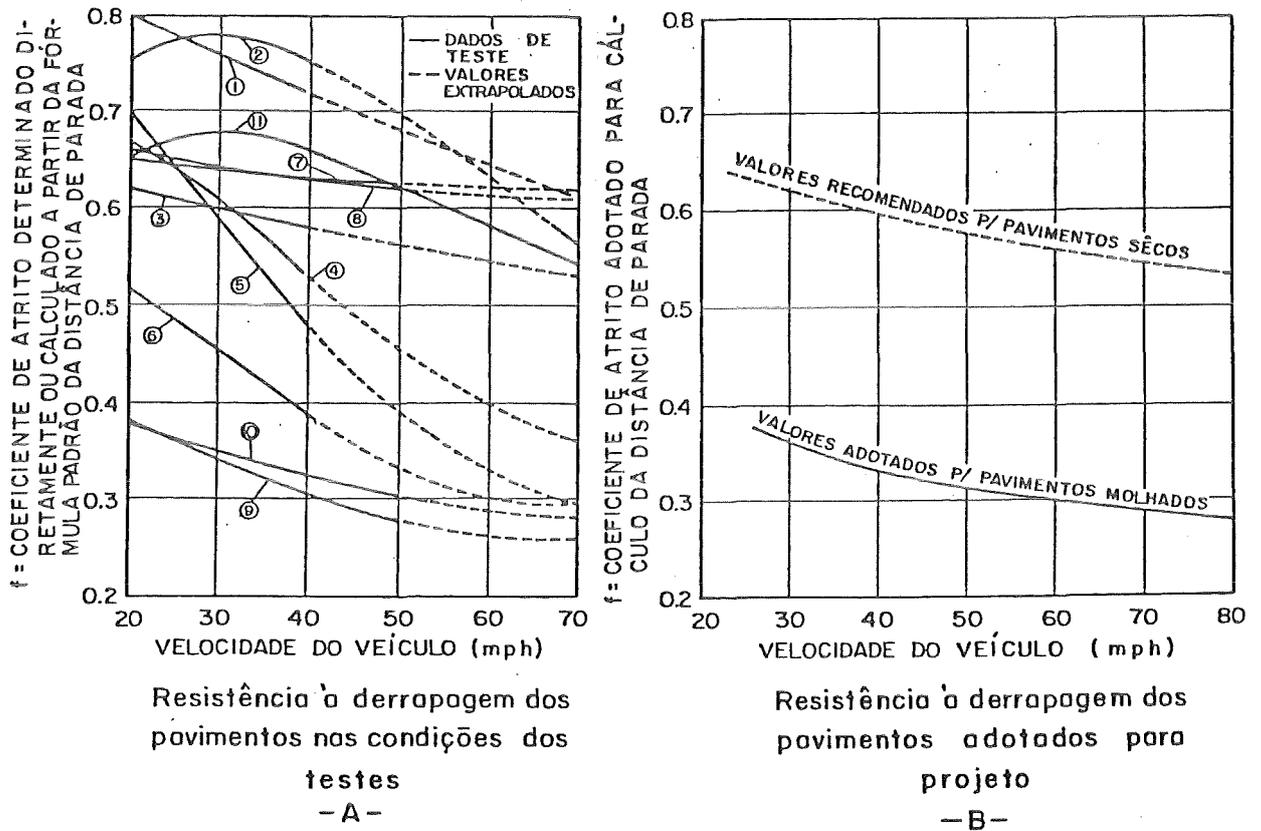
Inúmeras experiências mostram que o valor de "f" é tanto menor quanto maior for a velocidade do veículo no início do processo de frenagem. Tal valor varia ainda significativamente em função de fatores como o tipo e a pressão dos pneus, a quantidade de ranhuras da banda de rodagem do pneu, o tipo e a condição da superfície do pavimento, e a presença de água, lama, etc.

Outro aspecto de grande importância no processo de frenagem diz respeito aos casos em que o veículo encontra-se em alta velocidade, quando a eficiência do sistema de freios chega, às vezes, a ser de maior influência que os fatores retro mencionados. Em freiadas a velocidades de 100 km/h ou mais, experiências indicaram a ocorrência de uma redução temporária da capacidade de frenagem devido ao aquecimento gerado no sistema de freios do veículo.

A AASHTO considera como situação condicionante para a fixação de valores de "f" o pavimento molhado, embora não especialmente lamacento ou em más condições de manutenção.

Os testes de frenagem realizados no início dos anos 50 na Califórnia permitiram a determinação do coeficiente de atrito para diferentes condições de pavimentos e de pneus, sendo que tanto os valores determinados através destes testes como aqueles fixados para uso em projeto encontram-se indicados na Figura 4.5 adiante apresentada.

Conforme pode-se verificar na Figura 4.5A, de todos os tipos de condições testadas, o "pavimento de concreto betuminoso molhado" é o que apresentou os menores valores de "f". Por outro lado, os valores recomendados pela AASHTO para efeito de projeto são maiores que os correspondentes determinados para este citado pavimento, conforme configurado na Tabela 4.8 adiante apresentada.



- ① — PAV. SECO — PNEUS TIPO B — BANDA DE RODAGEM EM BOM ESTADO
- ② — PAV. SECO — PNEUS TIPO A — BANDA DE RODAGEM EM BOM ESTADO
- ③ — PAV. MOLHADO — PNEUS TIPO A — BANDA DE RODAGEM EM BOM ESTADO
- ④ — PAV. MOLHADO — PNEUS TIPO B — BANDA DE RODAGEM EM BOM ESTADO
- ⑤ — PAV. MOLHADO — PNEUS TIPO D — BANDA DE RODAGEM GASTA
- ⑥ — PAV. MOLHADO — PNEUS TIPO C — BANDA DE RODAGEM GASTA
- ⑦ — PAV. SECO — CONCRETO BETUMINOSO
- ⑧ — PAV. SECO — CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND
- ⑨ — PAV. MOLHADO — CONCRETO BETUMINOSO
- ⑩ — PAV. MOLHADO — CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND
- ⑪ — PAV. SECO — VALORES MÉDIOS

FIGURA 4.5- COEFICIENTES DE ATRITO UTILIZADOS PARA CÁLCULO DA DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE

FONTE: AASHTO (Ref.4)

Tabela 4.8 - VALORES DE "f" DETERMINADOS PARA PAVIMENTO DE CONCRETO BETUMINOSO MOLHADO E VALORES DE "f" RECOMENDADOS PARA PROJETO

VALORES DE "f"	VELOCIDADE (mph)				
	30	40	50	60	70
Pavimento de concreto betuminoso molhado	0,34	0,31	0,27	0,26	0,25
Recomendados para projeto	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29

Deve-se notar que a diferença entre os valores de "f" dos dois grupos de dados cresce com o aumento do valor da velocidade.

O ponto essencial na questão de fixação de valores de "f" para efeito de projeto é se os mesmos devem representar as "piores condições" ou "condições médias" do sistema pavimento/pneus.

Segundo a AASHTO, os coeficientes de atrito usados para efeito de projeto deveriam, por um lado, abranger quase todos os tipos significativos de superfície de pavimento e de prováveis condições de campo; deveriam ser suficientemente seguros tanto para pneus gastos como para pneus novos, e para quase todos os tipos de material constituinte e de banda de rodagem; deveriam abranger ainda as diferentes condições de atuação do motorista e de capacidade de frenagem do veículo, para diferentes velocidades de deslocamento.

Por outro lado, os valores não precisariam ser tão baixos para atender a condições relativas a superfícies deterioradas ou com presença de lama, gelo, etc.

Os valores de "f" estabelecidos para projeto, e indicados

na Figura 4.5B, são considerados pela AASHTO de certo modo conservadores, quando comparados com a maioria dos valores indicados nas curvas da Figura 4.5A. O DNER também aceita e utiliza tal recomendação da AASHTO, sendo que, para velocidades dadas em km/h, foram fixados os valores de coeficiente de atrito de frenagem indicados na Tabela 4.9 adiante apresentada.

Tabela 4.9 - VALORES DE COEFICIENTE DE ATRITO DE FRENAGEM EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DO VEÍCULO

V (km) h	30	40	50	60	70	80	90	100
f	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30

FONTE: DNER (Refs. 5, 6)

É de entendimento de alguns pesquisadores, no entanto, como Khasnabis e Tadi (1), que os valores de "f" para uso em projeto poderiam ser aqueles determinados para o "pavimento de concreto betuminoso molhado", tomando por base a premissa de que as distâncias de visibilidade devem ser fixadas para as "piores" condições e não para condições "médias" do sistema pavimento/pneu.

Por outro lado, há técnicos e pesquisadores, dentre os quais se inclui o autor do presente trabalho, que argumentam que os valores estabelecidos pela AASHTO para uso em projeto podem ser adotados com uma certa margem de segurança, tendo em vista que os sistemas de freios dos veículos atuais são bem mais eficientes que os dos veículos de 30 anos atrás. Tal argumento é tanto mais válido quanto mais alta for a velocidade diretriz considerada, uma vez que, conforme já mencionado, as experiências mostraram que, nesses casos, a eficiência dos freios chega a superar a influência dos demais fatores no processo de frenagem do veículo.

Pelo exposto, o autor do presente trabalho entende ser razoável manter-se as recomendações da AASHTO, e por conseguinte do DNER, relativa aos valores de coeficiente de atrito de frenagem a serem utilizados para efeito de projeto.

4.5.3 Velocidade do Veículo (V)

Quando estabeleceu o critério para a fixação de valores mínimos de DVP, a AASHTO considerou originalmente que seria conveniente a utilização de um valor para a velocidade algo inferior à velocidade diretriz da via, na suposição de que, em condições chuvosas, os motoristas tenderiam a dirigir com mais cuidado, sem atingir a máxima velocidade alcançada em condições de tempo bom e com pavimento seco.

As reduções de velocidade adotadas pelo DNER com base nessa suposição variam de 0 a 14%, conforme pode-se verificar na Tabela 2.1 apresentada anteriormente, sendo as mesmas consideradas nos casos de determinação dos "valores mínimos recomendados" de DVP, aos quais estão associadas condições mínimas restritas em termos de segurança.

Experiências realizadas posteriormente comprovaram, no entanto, que grande parte dos motoristas tem a tendência de trafegar o mais rápido possível, mesmo em condições chuvosas, o que levou órgãos rodoviários de diversos países a introduzir uma modificação no critério de determinação da DVP, com a adoção do valor para a velocidade de deslocamento do veículo igual à velocidade diretriz da via.

Nos manuais de projeto do DNER esta hipótese é utilizada no caso de determinação dos "valores mínimos excepcionais", aos quais estão associadas condições mínimas desejáveis em termos de segurança.

No caso específico do Brasil, se se considerarem as estatísticas disponíveis de acidentes ou mesmo meras constatações qualitativas feitas em vias urbanas e rurais do país, pode-se chegar facilmente à conclusão de que é uma realidade a tendência de grande parte dos motoristas dirigir seus veículos o mais rápido possível tanto em pistas secas como molhadas.

Dessa forma, sob o aspecto técnico de operação e de segurança, não há razão plausível para se continuar a considerar a hipótese de redução de velocidade da totalidade dos veículos em condições chuvosas, conforme se procede, aliás, em vários países.

Mesmo que se enfoque o assunto sob o aspecto econômico, há que prevalecer a atual necessidade de se proporcionar aos motoristas melhores condições de segurança e operação, mesmo que isso implique em custos um pouco maiores na implantação da via. Tal argumento é tanto mais válido, se for considerado que os aumentos no comprimento da curva vertical, em decorrência da utilização de valores não reduzidos de velocidade, acarretam um acréscimo no volume de terraplenagem não significativo a ponto de constituir uma majoração apreciável no custo da obra.

4.5.4 Declividade do Greide da Pista (i)

Conforme já exposto no item 2.4 deste trabalho, os valores mínimos fixados pelo DNER para a DVP recomendada e para a DVP excepcional foram calculados através da expressão (1), utilizando-se declividade nula para o greide da pista.

Se consideradas as declividades reais dos trechos em estudo de uma via, a DVP resultaria maior nas rampas descendentes e menor nas ascendentes. No entanto, conforme já citado, é relativamente reduzida a diferença entre o valor da DVP calculado com o greide real e o valor calculado com a declivida

de nula.

Além disso, em razão da citada diferença para greides ascendentes e descendentes, nas vias de dupla mão de direção, que correspondem à maior parte da totalidade da rede viária do Brasil, não se pode obviamente levar em consideração os dois sentidos de tráfego, já que cada um deles exigiria um valor específico de DVP.

Assim, o procedimento de se efetuar o cálculo da DVP utilizando declividade nula para o greide é absolutamente aceitável, já que, além de haver uma compensação natural entre as necessidades de um e de outro sentido de tráfego, e além de ser muito reduzida a diferença para o cálculo com declividade não nula, há que se levar em conta que, como regra geral, a distância de visibilidade disponível nos greides descendentes é maior que nos ascendentes, proporcionando de forma mais ou menos automática as necessárias correções pelo efeito do greide.

Mesmo em curvas verticais convexas que concordam uma rampa ascendente com outra descendente, onde normalmente a situação crítica em termos de efeito conjugado do greide com as restrições de visibilidade ocorre quando o veículo inicia a descida a partir do ápice da curva, a DVP necessária à frente do motorista frequentemente já se estenderá além do término da curva vertical, fato que, por sua vez, acaba atuando o referido efeito.

Os únicos casos que poderiam eventualmente exigir a consideração do efeito do greide seriam os de rodovias de pista dupla, já que para os mesmos as necessidades de cada sentido de tráfego poderiam ser estudadas isoladamente.

Como, no entanto, nesse tipo de rodovia a velocidade diretriz adotada para fins de projeto geralmente é maior que a máxima permitida durante a operação, pode-se assumir que a

influência do greide está sendo considerada indiretamente por conta do referido acréscimo incorporado ao valor do pa râmetro velocidade.

4.6 REAVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS QUE AFETAM DIRETAMENTE A FI XAÇÃO DO COMPRIMENTO DAS CURVAS VERTICAIS CONVEXAS

4.6.1 Altura dos Olhos do Motorista (H_1)

O valor fixado pelo DNER para a altura dos olhos do motorista é igual a 1,10 m, sendo o mesmo oriundo de arredondamento do valor preconizado pela AASHTO para este parâmetro (3,75 pés ou 45 polegadas).

A recomendação da AASHTO baseou-se em medições e observações de campo, realizadas com motoristas dirigindo veículos fabricados até os primeiros anos da década de 60.

O primeiro estudo desenvolvido com a finalidade de proporcionar à indústria automobilística dados padronizados sobre a locação dos olhos do condutor foi realizado pela "Society of Automotive Engineers - SAE", em 1963. Este estudo fundamentou-se em um levantamento fotogramétrico da posição dos olhos de quase 2.500 motoristas americanos, os quais foram colocados no interior de três modelos de automóveis.

A aparente tendência de diminuição da altura dos olhos do motorista, e suas implicações na fixação de parâmetros de projeto, tem sido objeto de frequentes debates e estudos nos meios técnicos rodoviários.

A maior parte destes estudos tem sido realizada nos Estados Unidos, e todos eles evidenciaram que o maior decréscimo na altura dos olhos dos motoristas ocorreu na década de 50; na década de 60 a altura mínima para os carros de passageiros, excluídos aí os modelos esportes e especiais, resultou com o valor de 41 a 42 polegadas (104 a 106,5 cm). Da década de 70 até os dias atuais, tais estudos constataram que não houve declínio apreciável na referida altura, tendo a mesma se mantido praticamente constante durante os últimos 6 a 7 anos.

Tais valores de 41 a 42 polegadas, geralmente recomendados em alguns estudos (1, 3, 17), não podem, no entanto, ser aplicados indiscriminadamente às condições brasileiras, já que tanto as dimensões antropométricas dos condutores como as dimensões predominantes dos modelos de veículos brasileiros diferem das respectivas dimensões americanas.

No Brasil, a ABNT vem desenvolvendo, através do Comitê Brasileiro de Técnica Automobilística, uma série de projetos de normas com o objetivo de fornecer elementos e fixar critérios que permitam a determinação do lugar geométrico dos olhos dos condutores nos veículos nacionais.

Um dos poucos estudos desenvolvidos no Brasil para a determinação da altura dos olhos e de outros parâmetros visuais dos motoristas em veículos de passeio nacionais foi realizado pelo Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico de Transportes da USP, durante a elaboração da pesquisa "Ofuscamento nas Rodovias" (1980/1982), contratada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR do DNER (28).

Para desenvolver o referido estudo, a equipe técnica da pesquisa, que foi integrada pelo autor da presente dissertação, utilizou-se dos conceitos e definições estabelecidos nos projetos de normas e nas normas da ABNT abaixo relacionadas, bem como de dados diversos obtidos junto às principais empresas montadoras de automóveis instaladas no país.

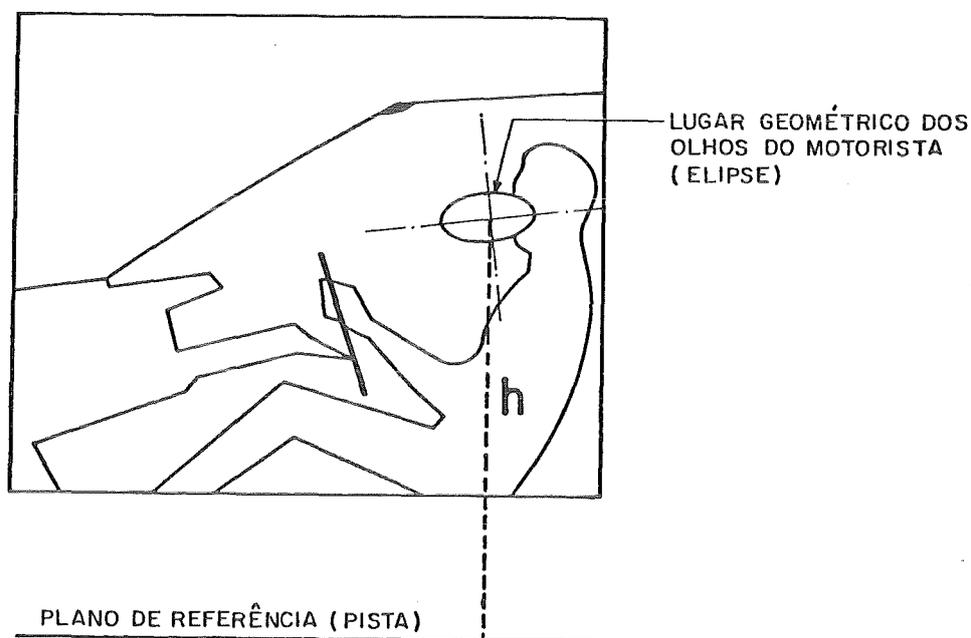
- NBR-6055 - Estabelecimento de planos, linhas e pontos de referência para posicionar o homem em relação ao veículo automotor - Procedimento
- NBR-6056 - Posicionamento do lugar geométrico dos olhos do condutor em relação ao veículo rodoviário - Procedimento
- NBR-6058 - Dispositivos bidimensionais para a definição da acomodação de ocupantes em bancos veicula

res - Padronização

- NBR-6060 - Lugar geométrico dos olhos do condutor em veículos rodoviários - Padronização
- NBR-6068 - Pesos e dimensões de adultos para uso em veículos automotores - Padronização
- NBR-6069 - Sistemas tridimensionais de referência para veículos rodoviários - Padronização.

A altura média dos olhos dos motoristas foi fixada como sendo a distância entre o centróide do lugar geométrico dos olhos dos motoristas (elipse) e o pavimento, conforme ilustra a Figura 4.6 adiante apresentada, considerando-se um posicionamento médio para o banco do motorista, em especial no que diz respeito ao ângulo de inclinação de seu encosto.

FIGURA 4.6 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ALTURA MÉDIA DOS OLHOS DO MOTORISTA



Obtidos os desenhos em escala detalhada dos veículos das marcas Volkswagen e General Motors, abrangendo 73% da produção

nacional de 1976 a 1980, a altura média dos olhos foi determinada, por modelo pesquisado, para a elipse correspondente ao 95º percentil da população de motoristas, ou seja, para o lugar geométrico dos olhos que abrange uma faixa de 95% dos motoristas.

Os valores encontrados através de tal procedimento estão resumidamente indicados na Tabela 4.10 a seguir apresentada.

Tabela 4.10 - ALTURA MÉDIA DOS OLHOS DOS MOTORISTAS PARA VEÍCULOS MARCAS VOLKSWAGEN E GENERAL MOTORS FABRICADOS ENTRE 1976 e 1980

MODELO	ALTURA MÉDIA DOS OLHOS DOS MOTORISTAS (m)
Variant (VW)	1,22
Kombi (VW)	1,58
Gol (VW)	1,16
Brasília (VW)	1,15
1.300/1.500 (VW)	1,25
Passat (VW)	1,13
Chevette (GM)	1,08
Opala 2 p (GM)	1,16
Opala 4 p/b. int. (GM)	1,16
Opala 4 p/b. ind. (GM)	1,16

A análise de tais valores revela que, dos veículos pesquisados, apenas no modelo Chevette a altura dos olhos do motorista correspondente ao 95º percentil resultou ligeiramente inferior ao valor de 1,10 m fixado pelo DNER para tal parâmetro.

Se se considerar que, de 1980 até a presente data, os novos modelos lançados pelas montadoras nacionais não apresentaram tendência de diminuição das dimensões verticais, é razoável su

por-se que ainda são válidos os resultados obtidos na pesquisa desenvolvida pelo N.D.T.T./USP.

Assim sendo, pode-se considerar que, ainda hoje, excluídos os veículos esportes e outros especiais, a menor altura dos olhos do motorista correspondente aos modelos de linha em produção ou produzidos recentemente no Brasil é ligeiramente inferior à altura de 1,10 m, adotada pelo DNER para efeito de fixação dos comprimentos mínimos das curvas verticais.

Se forem incluídos no universo dos veículos pesquisados os modelos esportes e outros especiais, a menor altura dos olhos do motorista encontrada para os modelos de linha das grandes montadoras (1,08 m) poderá ser reduzida de alguns poucos centímetros, chegando talvez a um valor mínimo de 1,05 m.

Tal diferença de cerca de 5 cm de relação ao valor fixado pelo DNER, embora possa melhor refletir as reais características da frota de veículos e da população de motoristas brasileiros, acarreta, conforme já visto, uma influência muito reduzida na distância de visibilidade verificada nas curvas verticais convexas.

De qualquer forma, apesar dessa pouca influência em relação às condições de visibilidade nas curvas verticais, a altura dos olhos do motorista igual a 1,05 m pode ser considerada como a mais abrangente em relação aos modelos que compõem a atual frota de veículos nacionais.

4.6.2 Altura do Objeto (H_2)

De todos os parâmetros que afetam a determinação das distâncias de visibilidade em curvas verticais, a altura do obstáculo é aquele cujo valor fixado para efeito de projeto é considerado o mais arbitrário. Os demais parâmetros tiveram seus valores especificados ou sugeridos com base em estudos teó

ricos e ou empíricos desenvolvidos por diversos órgãos e pesquisadores rodoviários.

A própria AASHTO reconhece que a fixação da altura do objeto é um assunto muito controvertido. Para serem alcançadas condições de segurança completa, a referida altura deveria, a rigor, ser igual a zero, ou seja, a superfície da via a ser percorrida pelo veículo deveria ser visível ao longo de toda uma extensão igual à DVP. Por outro lado, um objeto com altura relativamente grande, como por exemplo a parte superior de um veículo parado (à frente do motorista), não é apropriado porque não representaria objetos pequenos e, se usado como parâmetro de controle da visibilidade, conduziria à fixação de comprimentos de curva vertical perigosamente curtos.

A altura máxima do objeto não poderia, aliás, exceder a altura aproximada da lanterna traseira de um veículo (cerca de 60 cm), a fim de garantir boas condições de segurança na curva vertical durante o período noturno.

O DNER, seguindo recomendação da AASHTO, adota o valor de 0,15 m para este parâmetro. Tendo em vista a significativa influência deste parâmetro em relação ao comprimento da curva vertical, o mesmo foi fixado procurando-se atingir um ponto de equilíbrio entre a necessidade de considerar aspectos relacionados ao custo da obra e a necessidade de proporcionar ao motorista condições ideais de poder visualizar a superfície da via continuamente até o ponto onde se encontra o obstáculo.

Tal valor de 0,15 m pode representar, segundo a AASHTO, com relativa segurança, pequenos animais atravessando a pista, árvores caídas na pista, caixas de mercadorias eventualmente caídas de caminhões, ou mesmo pequenos blocos de rochas caídos de taludes de corte.

Embora existam pesquisadores e técnicos (1, 2) que sejam favoráveis a uma redução do valor fixado pela AASHTO, há outros (3) que argumentam com toda propriedade que o mesmo chega até mesmo a ser conservador.

O argumento apresentado por estes últimos, com o qual o autor do presente trabalho concorda plenamente, é de que, independentemente do fato de um objeto com menos de 15 cm de altura poder ou não se constituir em risco para um veículo, não se pode assegurar que o mesmo será visto pelo motorista à distância de visibilidade fixada em projeto.

Em outras palavras, pode-se afirmar que o fato de um obstáculo de 15 cm estar dentro do campo de visão de um motorista à distância de 150 metros, por exemplo, não significa que ele possa ser visto ou percebido nesta distância por qualquer motorista. Uma dimensão de 15 cm representa tão apenas cerca de 3,4 minutos de arco em uma distância de 150 metros. Um objeto com esta dimensão pode não ser visto tão logo entre no campo de visão do motorista, a não ser que contraste intensamente com a superfície da pista.

Por outro lado, pelo fato da distância de visibilidade em uma curva vertical ser mais sensível a variações da altura do obstáculo de projeto do que da altura dos olhos do motorista fixada para projeto, é evidente que obstáculos maiores que o de projeto poderão ser avistados a uma distância igual à DVP por motoristas cujos olhos estejam situados a uma altura sensivelmente abaixo da altura de projeto.

Por exemplo, em uma curva vertical convexa projetada para a velocidade de 80 km/h com as alturas dos olhos do motorista e do obstáculo fixadas pelo DNER (1,10 m e 0,15 m, respectivamente), um obstáculo de 0,20 m poderá ser avistado, a uma distância igual à DVP, por um motorista cujos olhos estejam à altura de 1,00 m; e um obstáculo com cerca de 40 cm de altura poderá ser avistado a uma distância igual à DVP por

olhos situados apenas 66 cm acima do pavimento.

Em resumo, pode-se afirmar que a altura de 15 cm, fixada pe la AASHTO e pelo DNER para um obstáculo hipotético que re presente um risco à frente do motorista, apresenta-se com uma relativa margem de segurança tendo em vista os aspectos analisados, podendo por conseguinte ser mantida para efeito de reavaliação dos comprimentos adequados de curvas verticais convexas.

4.7 REAVALIAÇÃO DO PARÂMETRO QUE AFETAM DIRETAMENTE A FIXAÇÃO DO COMPRIMENTO DAS CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS

4.7.1 Altura dos Faróis (H_f)

Conforme já citado, o comprimento das curvas verticais c^ôncavas é fixado considerando-se que uma certa distância da via, situada à frente do veículo e no mínimo igual à DVP, deve ser iluminada pelos faróis do mesmo.

O cálculo da distância efetivamente iluminada em uma curva vertical c^ôncava (à frente do veículo), segundo tal método, depende do posicionamento dos faróis em relação à superfície da via, da abertura superior do fecho luminoso dos faróis e, obviamente, da configuração geométrica do greide da via. Não é considerada no método a possibilidade da iluminação poder variar em função de mudança do fecho de "luz alta" para "luz baixa".

A abertura superior do fecho luminoso é fixada pelo método como sendo igual a um valor constante de 1° , sendo que a altura dos faróis em relação ao pavimento, originalmente adotada como igual a 2,5 pés, foi posteriormente alterada para 2 pés (0,61 m).

O ponto básico do questionamento de tal método fixado pela AASHTO e aceito pelo DNER não recai propriamente sobre o valor a ser adotado para a altura dos faróis do veículo, mas sim sobre o fato de não ser definida nenhuma especificação para a intensidade de iluminação requerida ao longo da citada distância de via situada à frente do motorista.

Alguns estudos patrocinados pela própria AASHTO (18) chegaram a recomendar que valores específicos de intensidade de iluminação para distâncias de visibilidade fossem usados em

diferentes tipos de vias não iluminadas. Foi sugerida, neste sentido, a utilização de intensidades de iluminação já especificadas, para várias classes de ruas e rodovias, em publicações como, por exemplo, o "Traffic Engineering Handbook".

Enfim, segundo tais estudos, o uso de valores arbitrários para a altura dos faróis e para o ângulo de divergência superior do fecho luminoso, objetivando o cálculo do comprimento de uma curva vertical côncava, deveria dar lugar à especificação da intensidade de iluminação a ser alcançada ao longo da superfície da via situada à frente do motorista.

Não há a intenção, dentro da presente dissertação, de se realizar algum estudo específico com tal finalidade, porque o assunto, por sua natureza e complexidade, exigiria o desenvolvimento de um amplo trabalho envolvendo a discussão sobre os padrões e características dos faróis fabricados atualmente no Brasil, bem como abordando certos tipos de problema que ainda estão a exigir a realização de pesquisas específicas, como é o caso da ocorrência de ofuscamento verificado no período noturno em pistas simples de dupla mão de direção.

Ademais, há que se considerar que se de alguma forma os faróis atualmente fabricados no Brasil garantem uma intensidade mínima adequada de iluminação à frente do veículo, em uma extensão igual à DVP, o método estabelecido pela AASHTO é aceitável, já que ele procura fixar o comprimento de uma curva vertical côncava, e portanto a sua geometria, de forma que em qualquer ponto da mesma o motorista possa avistar, durante o período noturno, um eventual obstáculo ou perigo situado à sua frente a tempo de poder freiar o veículo sem atingí-lo.

Quanto ao valor específico da altura dos faróis, tendo em vista não só o que já foi exposto, mas principalmente a reduzida influência de sua variação sobre o valor resultante para o comprimento de uma curva vertical côncava, o mesmo será

adotado dentro do presente trabalho como igual àquele preco
nizado pelo DNER e pela AASHTO, ou seja, 0,61 m.

5. PROPOSIÇÃO DE NOVOS VALORES MÍNIMOS PARA
A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA

5. PROPOSIÇÃO DE NOVOS VALORES MÍNIMOS PARA A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA

A partir da análise e da reavaliação dos parâmetros que influenciam a distância de visibilidade de parada (DVP), pode-se partir para a revisão dos valores mínimos de projeto fixados pelo DNER para a mesma, que estão indicados na Tabela 2.3.

Tendo em vista o fato, público e notório, de que no Brasil é uma realidade a tendência de boa parte dos motoristas dirigir seus veículos o mais rapidamente possível, não há razão, conforme já mencionado, para considerar que, em condições chuvosas, a totalidade dos motoristas irá reduzir significativamente a velocidade máxima segundo a qual estão acostumados a dirigir.

Em consequência, não é conveniente, no que diz respeito às condições de segurança da via, considerar-se, para efeito de projeto, dois grupos de valores mínimos de DVP, ou seja, um para condições restritas e outro para condições desejáveis, designados pelo DNER respectivamente de "valores recomendados" e "valores excepcionais".

Dessa forma, propõe-se que seja fixado para a DVP apenas um grupo de valores mínimos de projeto, assumindo-se que, em condições chuvosas (que correspondem à situação condicionante para efeito de cálculo da DVP), boa parte dos veículos deverá alcançar uma velocidade máxima igual à velocidade diretriz estabelecida para a via.

Dentro dessa idéia, pode-se, então, determinar "valores mínimos de projeto" para a DVP, levando-se em conta os resultados da análise e da reavaliação de parâmetros efetuadas no capítulo quarto deste trabalho.

Considerando-se então a análise dos procedimentos e valores recomendados pelo DNER, que concluiu pela alteração tão apenas do tempo de percepção, decisão e reação do motorista (de 2,5 s para 3,2 s), os valores mínimos de DVP podem ser recalculados, levando-se em conta tal alteração e utilizando-se os valores já estabelecidos para os demais parâmetros. Para o coeficiente de atrito pavimento/pneu devem ser utilizados, portanto, os valores constantes da Tabela 4.9.

Na Tabela 5.1, adiante apresentada, são indicados os "valores mínimos de projeto" de DVP, determinados segundo o procedimento retro descrito e através da utilização da expressão (1). Na referida Tabela são apresentados tanto os valores calculados como os correspondentes valores arredondados de DVP, devendo-se tomar como proposição do presente trabalho estes últimos mencionados.

Tabela 5.1 - VALORES MÍNIMOS DE PROJETO PROPOSTOS PARA A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA (DVP)

VELOCIDADE DIRETRIZ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Valores Calculados de DVP (m)	35,5	52,1	71,8	95,0	122,5	152,4	186,3	220,1
Valores Arredondados de DVP (m)	35	50	70	95	120	150	185	220

Deve-se notar que os valores propostos na Tabela 5.1 (arredondados) são todos superiores aos correspondentes valores excepcionais de DVP estabelecidos para condições mínimas desejáveis pelo DNER (indicados na Tabela 2.3), sendo que a diferença absoluta entre os mesmos apresenta tendência de crescimento com o aumento da velocidade e varia de 5 a 15 m; a diferença relativa apresenta tendência decrescente com o aumento da velocidade e varia de 4,8% a 16,7%.

A diferença absoluta dos valores ora propostos em relação aos estabelecidos pelo DNER para condições mínimas restritas (valores recomendados) é crescente com o aumento da velocidade e varia de 5 a 65 m; a diferença relativa apresenta tendência também crescente com o aumento da velocidade e varia de 11,1% a 42,3%.

6. PROPOSIÇÃO DE NOVOS VALORES MÍNIMOS PA
RA OS COMPRIMENTOS DE CURVAS VERTICAIS

6. PROPOSIÇÃO DE NOVOS VALORES MÍNIMOS PARA OS COMPRIMENTOS DE CURVAS VERTICAIS

6.1 CURVAS VERTICAIS CONVEXAS

A partir da análise e da reavaliação dos parâmetros que influenciam diretamente as condições de visibilidade em curvas verticais convexas, bem como dos valores revisados de DVP, determinados no capítulo quinto deste trabalho, pode-se partir para a revisão dos valores mínimos de projeto fixados pelo DNER para os comprimentos das mesmas. Tais valores mínimos são aqueles obtidos através dos ábacos apresentados nas Figuras 3.3 e 3.4.

Assim, tal revisão deve ser feita considerando-se os valores mínimos de DVP indicados na Tabela 5.1, bem como o valor de 1,05 m para a altura dos olhos do motorista. Tomando por base os resultados da referida análise, para a altura do obstáculo situado à frente do motorista deverá ser utilizado o mesmo valor estabelecido pelo DNER, ou seja, 0,15 m.

Na Tabela 6.1, adiante apresentada, são indicados, para diferentes velocidades de projeto, os valores mínimos do parâmetro de curvatura "K", requeridos para garantir disponibilidade de DVP em toda a extensão de curvas verticais convexas, os quais foram determinados através da utilização da expressão (4). Na referida Tabela são apresentados tanto os valores calculados como os correspondentes valores arredondados de "K", devendo-se tomar como proposição do presente trabalho estes últimos citados.

Deve-se observar que os valores propostos na Tabela 6.1 (arredondados) são todos superiores aos correspondentes valores excepcionais de "K" estabelecidos para condições mínimas desejáveis pelo DNER (indicados na Figura 3.4), sendo que, com o aumento da velocidade, a diferença absoluta entre

os mesmos é crescente e a diferença relativa decrescente. No que se refere aos valores recomendados de "K" estabelecidos pelo DNER (indicados na Figura 3.3), a diferença tanto absoluta como relativa dos mesmos para os valores propostos na Tabela 6.1 apresenta tendência de crescimento com o aumento da velocidade de projeto.

Tabela 6.1 - VALORES MÍNIMOS DE PROJETO PROPOSTOS PARA O PARÂMETRO "K" DE CURVAS VERTICAIS CONVEXAS

VELOCIDADE DE PROJETO (km/h)	VALOR MÍNIMO DE DVP CONSIDERADO (m)	K = PARÂMETRO DE CURVATURA (metros por porcentagem de A)	
		CALCULADO	ARREDONDADO
30	35	3,1	3
40	50	6,3	6
50	70	12,3	12
60	95	22,6	23
70	120	36,1	36
80	150	56,4	56
90	185	85,8	86
100	220	121,4	121

A partir dos valores arredondados propostos para o parâmetro "K", os comprimentos mínimos de curvas verticais convexas requeridos para projeto podem, então, ser determinados para diferentes velocidades e para diferentes valores de "A" (diferença algébrica das rampas concordadas pela parábola), através da utilização das expressões (4) e (5), que estão associadas ao "critério da distância de visibilidade necessária", e através da expressão (8), que está associada ao "critério do mínimo valor absoluto" (vide item 3.2 deste trabalho).

Os valores propostos para os comprimentos mínimos de curvas verticais convexas estão representados na Figura 6.1, adian

te apresentada, através de ábaco similar àqueles constantes dos manuais de projeto do DNER (Figuras 3.3 e 3.4).

Deve-se ressaltar, de início, que o comprimento mínimo absoluto, determinado para cada velocidade de projeto a partir da expressão (8), a exemplo do procedimento adotado pelo DNER, foi arredondado para o valor múltiplo de 10 unidades mais próximo do calculado. Por esta razão, os mínimos comprimentos absolutos de curva, correspondentes às velocidades consideradas, são exatamente iguais àqueles estabelecidos nas Figuras 3.3 e 3.4.

Na sequência, deve-se salientar que, nos casos em que o comprimento da curva é menor que a DVP correspondente à velocidade considerada, foi adotado o mesmo procedimento da AASHTO, a favor da segurança e seguido pelo DNER, de manter fixos os valores de "K" determinados para os casos em que o comprimento da curva é maior que a DVP, indicados na Tabela 6.1.

Com o objetivo de mostrar a diferença acarretada por tal simplificação, encontra-se representada na Figura 6.1, para o caso da velocidade de 80 km/h, a linha tracejada que corresponde à aplicação direta da expressão (5), ou seja, aquela válida para as situações em que o comprimento da curva é menor que a DVP.

Conforme pode-se verificar através de tal linha tracejada, a diferença entre o comprimento mínimo teórico da curva e aquele obtido adotando-se o mesmo valor de "K" quando $L \geq DVP$ somente é apreciável para valores pequenos de "A", ou seja, justamente quando o custo adicional devido a um prolongamento da curva é efetivamente desprezível.

Além disso, deve-se ressaltar que este trecho da linha tracejada teórica que implicaria em diferenças apreciáveis está situado, em sua maior parte, à esquerda da linha verti

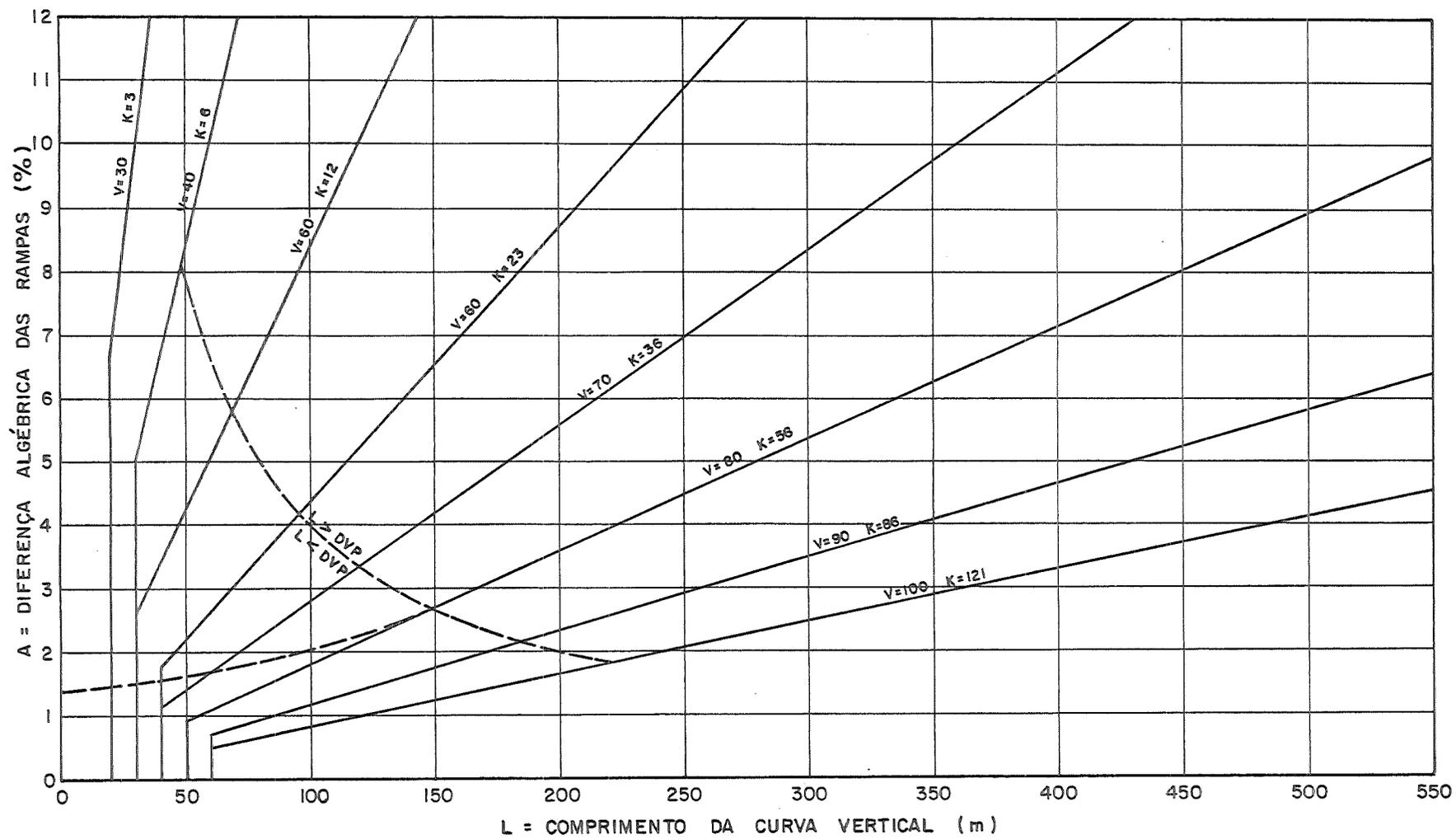


FIGURA 6.1 - COMPRIMENTOS MÍNIMOS PROPOSTOS PARA CURVAS VERTICAIS CONVEXAS .

cal correspondente ao mínimo valor absoluto de comprimento de curva dado pela aplicação da expressão (8).

Assim sendo, para valores compreendidos entre o referido mí nimo comprimento absoluto e o ponto de transição para a si tuação em que $L \geq DVP$, a diferença entre o valor teórico de "K" calculado pela expressão (5) e o calculado pela expres são (4) ou é muito pequena, e isso ocorre para velocidades de até 60 km/h, ou, quando é apreciável, nos casos de velo cidades maiores, não acarreta majoração significativa no vo lume resultante de terraplenagem e, portanto, no custo da obra.

Exemplificando, pode-se citar que, para a velocidade de 40 km/h ($DVP = 50$ m) e para um caso em que "A" é igual a 6%, o comprimento da curva vertical resulta com valor de 37,6 m quando se usa a expressão (4), e de 33,5 m quando se usa a expressão (5), confirmando-se que, para situação de velo cidades pequenas, a diferença em questão é efetivamente desprezível.

No caso em que a velocidade é de 80 km/h ($DVP = 150$ m) e que "A" é igual, por exemplo, a 1,8%, o comprimento da curva resulta com valor de 101,6 m quando se usa a expressão (4), e de 78,5 m quando se usa a expressão (5). Tal diferença, igual a 23,1 m, não implica em variação apreciável na estética da curva quando se adota qualquer um dos comprimentos obtidos, e nem tão pouco apresenta uma influência significativa no volume de terraplenagem resultante para o trecho da curva, pois, como a diferença algébrica das rampas é muito pequena, a altitude do ponto médio da curva varia de tão somente 5 cm de um para outro comprimento utilizado.

Por fim cabe apresentar alguns dados comparativos entre os valores propostos na Figura 6.1 e aqueles estabelecidos pelo DNER nas Figuras 3.3 e 3.4 para condições recomendadas e excepcionais, respectivamente.

Para baixas velocidades, as diferenças entre os valores propostos e os correspondentes às condições excepcionais, embora em termos relativos possam ser consideradas até certo ponto altas (50% para $V = 30$ km/h e 20% para $V = 40$ e 50 km/h), não são grandes em termos absolutos, não representando, por conseguinte, custo adicional significativo na obra.

Por outro lado, para altas velocidades, as diferenças, embora sejam grandes em termos absolutos, diminuem em termos relativos com o aumento da velocidade, até representar a cifra de 13% quando a mesma é de 100 km/h.

Assim, para um caso, por exemplo, de $V = 40$ km/h e $A = 8\%$, o comprimento mínimo estabelecido pelo DNER para condições excepcionais é de 40 m e o proposto na Figura 6.1 é de 48 m. Para um caso em que $V = 80$ km/h e $A = 7\%$, o comprimento mínimo estabelecido para condições excepcionais é de 336 m e o proposto na Figura 6.1 de 392 m. No primeiro caso, a diferença absoluta entre os mencionados valores é de apenas 8 m e a relativa de 20%; já no segundo, a diferença absoluta é de 56 m e a relativa de 17%.

Em relação aos comprimentos mínimos estabelecidos para condições recomendadas, os valores propostos apresentam diferenças que, tanto em termos absolutos como relativos, crescem significativamente com o aumento da velocidade.

Assim, tomando-se os mesmos exemplos citados anteriormente, verifica-se que o comprimento mínimo estabelecido pelo DNER para condições recomendadas é igual a 40 m quando $V = 40$ km/h e $A = 8\%$ e igual a 203 m quando $V = 80$ km/h e $A = 7\%$. Comparando-se tais comprimentos com os valores 48 m e 392 m extraídos da Figura 6.1 para tais situações, conclui-se que, no primeiro caso, as diferenças absoluta e relativa continuam iguais respectivamente a 8 m e 20%, e que, no segundo, tais diferenças sobem respectivamente para 189 m e 93%.

6.2 CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS

A partir da análise e da reavaliação dos parâmetros que influenciam diretamente as condições de visibilidade em curvas verticais côncavas, bem como dos valores revisados de DVP, determinados no capítulo anterior deste trabalho, pode-se partir para a revisão dos valores mínimos de projeto fixados pelo DNER para os comprimentos das mesmas. Tais citados valores mínimos são aqueles obtidos através da utilização dos ábacos apresentados nas Figuras 3.5 e 3.6.

Assim, tal revisão deve ser feita considerando-se os valores mínimos de DVP indicados na Tabela 5.1, e mantendo-se a mesma altura dos faróis do veículo estabelecida pelo DNER (0,61 m), já que, na referida análise, concluiu-se pela não alteração do valor deste parâmetro.

Na Tabela 6.2, adiante apresentada, são indicados, para diferentes velocidades de projeto, os mínimos valores do parâmetro de curvatura "K" requeridos para garantir, à noite, iluminação até uma extensão no mínimo igual à DVP, em qualquer ponto da curva côncava; tais valores foram determinados através da utilização da expressão (6).

Na referida Tabela são apresentados tanto os valores calculados como os correspondentes valores arredondados de "K", devendo-se tomar como proposição do presente trabalho estes últimos mencionados.

Os valores propostos na Tabela 6.2 (arredondados) são todos superiores aos correspondentes valores excepcionais de "K" estabelecidos para condições mínimas desejáveis pelo DNER (indicados na Figura 3.6), sendo que, com o aumento da velocidade, a diferença absoluta entre os mesmos, apesar de pequena, é crescente, e a diferença relativa apresenta tendência de diminuição. Quanto aos valores recomendados de "K"

estabelecidos pelo DNER (indicados na Figura 3.5), a diferença tanto absoluta como relativa dos mesmos para os valores propostos na Tabela 6.2 apresenta tendência de crescimento com o aumento da velocidade de projeto.

Tabela 6.2 - VALORES MÍNIMOS DE PROJETO PROPOSTOS PARA O PARÂMETRO "K" DE CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS

VELOCIDADE DE PROJETO (km/h)	VALOR MÍNIMO DE DVP CONSIDERADO (m)	K = PARÂMETRO DE CURVATURA (metros por porcentagem de A)	
		CALCULADO	ARREDONDADO
30	35	5,0	5
40	50	8,4	8
50	70	13,4	13
60	95	19,9	20
70	120	26,6	27
80	150	34,8	35
90	185	44,6	45
100	220	54,4	54

A partir dos valores arredondados propostos para o parâmetro "K", os comprimentos mínimos de curvas verticais côncavas requeridos para projeto podem, então, ser determinados para diferentes velocidades e para diferentes valores de "A", através da utilização das expressões (6) e (7), que estão associadas ao "critério da distância de visibilidade necessária", e através da expressão (8), que está associada ao "critério do mínimo valor absoluto".

Os valores propostos para os comprimentos mínimos de curvas verticais côncavas estão representados na Figura 6.2, adiante apresentada, através de ábaco similar àqueles constantes dos manuais de projeto do DNER (Figuras 3.5 e 3.6).

Os comprimentos mínimos absolutos, determinados a partir da

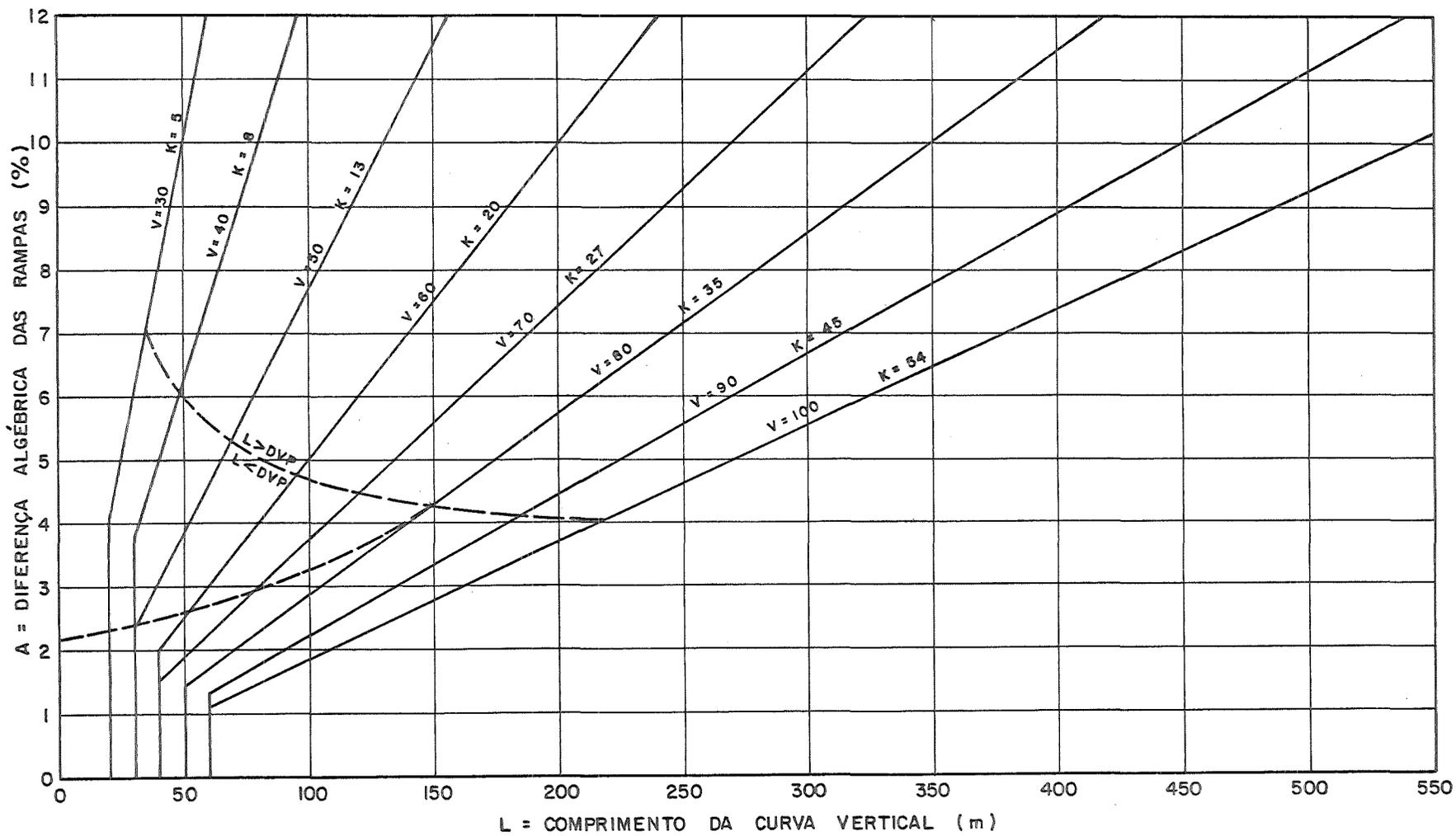


FIGURA 6.2 - COMPRIMENTOS MÍNIMOS PROPOSTOS PARA CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS .

expressão (8), foram arredondados para os valores múltiplos de 10 unidades mais próximos dos calculados. Desta forma, os referidos mínimos comprimentos são exatamente iguais aos estabelecidos pelo DNER nas Figuras 3.5 e 3.6.

Como no caso das curvas verticais convexas, para situações em que o comprimento da curva é menor que a DVP correspondente à velocidade considerada, foi adotado o mesmo procedimento da AASHTO, seguido pelo DNER, de manter fixos os valores de "K" determinados para os casos em que o comprimento é maior que a DVP, indicados na Tabela 6.2.

Para o caso da velocidade de 80 km/h, encontra-se representada na Figura 6.2 a linha tracejada que corresponde à aplicação direta da expressão (7), ou seja, aquela válida para as situações em que o comprimento da curva é menor que a DVP.

Analisando-se a diferença entre o comprimento mínimo teórico da curva, dado pela referida linha tracejada, e aquele obtido adotando-se o mesmo valor de "K" para $L \geq DVP$, verifica-se que a mesma é também apreciável apenas para valores pequenos de "A", ou seja, quando o custo adicional devido a um prolongamento da curva é efetivamente desprezível.

Enfim, considerando que todas as demais implicações decorrentes da referida simplificação são as mesmas já abordadas no caso da Figura 6.1, pode-se concluir que, para valores compreendidos entre o mínimo comprimento absoluto e o ponto de transição para a situação em que $L \geq DVP$, a diferença entre o valor teórico de "K" calculado pela expressão (7) e o calculado pela expressão (6) ou é muito pequena, no caso de velocidades baixas, ou é apreciável, no caso de velocidades altas, sem, no entanto, para esta condição, acarretar maiores alterações significativas no volume resultante de terraplenagem e, portanto, no custo da obra.

Efetuada-se uma comparação entre os valores propostos na Figura 6.2 e aqueles estabelecidos pelo DNER nas Figuras 3.5 e 3.6 para condições recomendadas e excepcionais, pode-se verificar que, em termos absolutos, a diferença entre os mesmos só é apreciável no caso das condições recomendadas, e, ainda assim, para velocidades altas. Isso se explica pelo fato de, no caso das condições excepcionais, as diferenças dos respectivos valores de "K" serem pequenas, e, no caso das condições recomendadas, as diferenças de "K" serem crescentes com o aumento da velocidade e apreciáveis apenas a partir de 60 km/h.

Em termos relativos, se consideradas as condições excepcionais estabelecidas pelo DNER (Figura 3.6), as diferenças para os valores propostos na Figura 6.2 apresentam tendência de diminuição com o aumento da velocidade, variando de um mínimo de 3,9% para $V = 100$ km/h até um máximo de 25% para $V = 30$ km/h. Se consideradas as condições recomendadas do DNER (Figura 3.5), as diferenças relativas para os valores da Figura 6.2 são crescentes com o aumento da velocidade, variando de um mínimo de 14,3% para $V = 40$ km/h até um máximo de 55,2% para $V = 90$ km/h.

Assim, para um caso, por exemplo, de $V = 40$ km/h e $A = 8\%$, verifica-se que o comprimento mínimo da curva estabelecido pelo DNER para condições excepcionais e recomendadas é único e igual a 56 m, enquanto o proposto na Figura 6.2 é de 64 m. Portanto, a diferença absoluta entre os mencionados valores é de apenas 8 m e a relativa de 8,9%.

Para um caso em que $V = 80$ km/h e $A = 7\%$, os comprimentos mínimos estabelecidos pelo DNER para condições excepcionais e recomendadas são respectivamente 224 m e 168 m, enquanto o proposto na Figura 6.2 é de 245 m. Portanto, no caso das condições excepcionais, a diferença absoluta é de 21 m e a relativa de apenas 9,4%; já no caso das condições recomendadas do DNER, a diferença absoluta sobe para 77 m e a relativa

va para 45,8%.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve como finalidade básica analisar a influência e reavaliar os parâmetros que interferem na fixação de valores para a distância de visibilidade de parada (DVP) e para os comprimentos de curvas verticais em projetos de vias rurais e urbanas.

A partir dos resultados obtidos com tal análise e reavaliação de parâmetros, foram propostos novos valores mínimos de projeto para a DVP (Tabela 5.1) e para os comprimentos de curvas verticais convexas e côncavas (Figuras 6.1 e 6.2).

As principais conclusões específicas dos estudos levados a efeito dentro do presente trabalho são as seguintes:

1. Analisada a sensibilidade da DVP em relação à variação de cada um dos parâmetros que afetam a sua determinação, pode-se concluir que:
 - Em termos relativos, a DVP torna-se menos sensível à variação do tempo de percepção, decisão e reação do motorista à medida que cresce a velocidade do veículo;
 - A sensibilidade da DVP à variação do coeficiente de atrito pavimento/pneu cresce com o aumento da velocidade;
 - Em termos comparativos, a DVP é mais sensível a variações do coeficiente de atrito pavimento/pneu do que a variações do tempo de percepção, decisão e reação do motorista;
 - A DVP é bastante sensível a variações do parâmetro velocidade; em termos comparativos, tal sensibilidade também é maior do que a referente a

variações do tempo de percepção, decisão e reação do motorista;

- Na determinação da DVP, o efeito da utilização de declividade nula para o greide, ao invés da declividade real existente em cada ponto específico da via, é relativamente reduzido. Os acréscimos ou decréscimos aplicáveis aos valores de DVP calculados para declividade nula não ultrapassam a porcentagem de 10% para greides variando de + 6% a - 4%.

2. Analisada a sensibilidade do comprimento de uma curva vertical em relação à variação de cada um dos parâmetros que afetam a sua determinação, pode-se concluir:

- O comprimento de uma curva vertical convexa é pouco sensível a variações da altura dos olhos do motorista;
- O comprimento de uma curva vertical convexa é extremamente mais sensível a variações da altura do objeto do que a variações da altura dos olhos do motorista;
- O comprimento de uma curva vertical convexa é mais sensível a variações da DVP à medida que cresce a velocidade de projeto adotada para a via;
- O comprimento de uma curva vertical côncava é pouco sensível a variações da altura dos faróis do veículo;
- O comprimento de uma curva vertical côncava também é mais sensível a variações da DVP à medida

que cresce a velocidade de projeto adotada para a via.

3. O valor de 2,5 s fixado pela AASHTO para o tempo de percepção, decisão e reação do motorista está baseado em estudos desenvolvidos há cerca de 40 anos. Houve marcantes alterações na composição da população de motoristas desde então, destacando-se dentre elas o significativo acréscimo nas percentagens de motoristas jovens, de motoristas do sexo feminino e de motoristas idosos. Recente estudo elaborado sob o patrocínio da Federal Highway Administration dos EUA, que teve a finalidade específica de avaliar as características dos motoristas e sua influência nos padrões de operação e de projeto já estabelecidos, concluiu que o citado valor de 2,5 s é representativo de cerca de apenas 60% da população dos motoristas. Tal estudo recomenda como mais apropriada, para efeito de cálculo da DVP, a adoção do valor de 3,2 s, o qual abrange cerca de 85% da população de motoristas. Foi adotado dentro do presente trabalho o valor de 3,2 s para o tempo de percepção, decisão e reação do motorista, pelo fato de sua determinação estar embasada em estudos recentes que, além de terem sido realizados à luz do melhor conhecimento que hoje se tem acerca do comportamento do motorista, refletem as características da composição atual da população de motoristas.

4. Tendo em vista as estatísticas disponíveis de acidentes no Brasil, ou mesmo meras constatações qualitativas feitas em vias urbanas e rurais do país, pode-se concluir que não é plausível considerar a hipótese de que, em condições chuvosas, a totalidade dos veículos irá trafegar a uma velocidade inferior à velocidade diretriz da via. Assim, não é conveniente, no que diz respeito às condições de seguran

ça da via, considerar-se, para efeito de projeto, dois grupos de valores mínimos de DVP, um para condições restritas e outro para condições desejáveis, designados pelo DNER respectivamente de "valores recomendados" e "valores excepcionais".

5. A partir dos resultados de recente estudo realizado pelo Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico da USP para o IPR, pode-se estabelecer para a altura dos olhos do motorista o valor de 1,05 m, ao invés do valor 1,10 m fixado pelo DNER, por ser o mesmo mais representativo da atual frota de veículos nacionais.
6. A partir dos resultados da análise e da reavaliação dos parâmetros que influenciam a determinação da DVP, efetuou-se a revisão dos seus valores mínimos de projeto fixados pelo DNER. Assumindo-se que, em condições chuvosas, boa parte dos veículos deverá alcançar uma velocidade máxima igual à velocidade diretriz estabelecida para a via, propôs-se, então, a fixação para a DVP de apenas um grupo de valores mínimos de projeto. Tais valores mínimos propostos estão apresentados na Tabela 5.1, sendo que a diferença relativa entre os mesmos e os valores mínimos recomendados do DNER (Tabela 2.3) varia de 11,1% a 42,3%; a diferença relativa entre os mesmos e os valores mínimos excepcionais do DNER varia de 4,8% a 16,7%.
7. A partir da análise e da reavaliação dos parâmetros que influenciam diretamente as condições de visibilidade em curvas verticais convexas, bem como dos valores revisados de DVP (apresentados na Tabela 5.1), efetuou-se a revisão dos valores mínimos de projeto fixados pelo DNER para os seus comprimentos. Os valores propostos para tais comprimentos estão representados na Figura 6.1, através de ábaco

similar àqueles constantes dos manuais de projeto do DNER. As diferenças entre os valores propostos e os estabelecidos pelo DNER para condições excepcionais são relativamente maiores para baixas velocidades, embora nesta situação não representem custo adicional significativo na obra; tais diferenças diminuem significativamente, no entanto, com o aumento da velocidade, até atingir cerca de 13% quando esta é de 100 km/h. Em relação às condições recomendadas do DNER, tais diferenças, tanto em termos absolutos como relativos, crescem significativamente com o aumento da velocidade, variando entre um mínimo de 20% e um máximo de 93%.

8. A partir da análise e da reavaliação dos parâmetros que influenciam as condições de visibilidade em curvas verticais côncavas, bem como dos valores revisados de DVP, efetuou-se a revisão dos valores mínimos de projeto fixados pelo DNER para os seus comprimentos. Os valores propostos para tais comprimentos estão representados no ábaco da Figura 6.2. As diferenças entre os valores propostos e os estabelecidos pelo DNER são apreciáveis apenas para o caso das condições recomendadas e, ainda assim, para velocidades altas. Se consideradas as condições excepcionais do DNER, as diferenças relativas apresentam tendência de diminuição com o aumento da velocidade, variando de um mínimo de 3,9% até um máximo de 25%; em relação às condições recomendadas do DNER, as diferenças relativas são crescentes com o aumento da velocidade, variando de um mínimo de 14,3% até um máximo de 55,2%.

Já foi argumentado no presente trabalho que a reavaliação dos citados elementos de projeto, além de ir de encontro à tendência de se proporcionar nos dias atuais condições de segurança cada vez maiores aos usuários das vias de transport

te, não devem apresentar implicações que acarretam majora
ções apreciáveis no custo total da obra.

É importante salientar, no entanto, que, apesar disso, não há a intenção de que os valores mínimos propostos para a distância de visibilidade de parada (DVP) e para os compr
imentos de curvas verticais sejam considerados como substi
tutos daqueles preconizados nos manuais de projeto geomé
trico.

O autor entende que as proposições efetuadas no presente trabalho devem ser exaustivamente discutidas e analisadas nos meios técnicos rodoviários, para só então, se for o ca
so, virem a ser eventualmente recomendadas para efeito de utilização em projetos viários.

Até que isso ocorra, no entanto, os valores propostos para a DVP e para os comprimentos de curvas verticais podem ser usados como um balizador para o projetista, quando houver possibilidade ou necessidade de serem utilizados valores maiores que os mínimos preconizados atualmente pelas nor
mas do DNER.

Neste sentido, aliás, deve-se lembrar que é uma recomenda
ção expressa tanto da AASHTO como do DNER de que distân
cias de visibilidade maiores e curvas verticais mais lon
gas que as mínimas são desejáveis, sempre que viável. Em outras palavras, pode-se dizer que uma via não deve ser pro
jetada em toda a sua extensão com distâncias mínimas de vi
sibilidade de parada, para evitar o risco de se ter condi
ções extremas de segurança em todas as suas curvas verti
cais, exigindo do motorista uma atenção constante que, bem se sabe, dependendo da duração da viagem, é muito difícil de ser garantida.

Por fim, cabe alertar de que é muito importante a atenção e a sensibilidade do projetista para os casos em que a pa

realização do veículo pode vir a se constituir em uma manobra indesejável e perigosa, ou seja, casos em que o motorista necessita de distâncias de visibilidade maiores que aquela requerida para parar o veículo, as quais possibilitem a realização de outro tipo de manobra mais adequado à sua segurança. Nessas condições, a distância de visibilidade de parada não se constitui em uma base suficiente para condicionar o projeto, visando uma operação normal e segura da via.

Dentre tais casos que requerem especial atenção, pode-se citar as interseções em nível situadas após curvas verticais convexas, as saídas, entradas e outros pontos de conflito das vias, as praças de pedágio, enfim, todo e qualquer local que possa eventualmente exigir do motorista uma manobra mais complexa que a usual.

Existe ainda um caso que requer distância de visibilidade maior que a mínima especificada por norma, não propriamente para permitir um tipo de manobra especial, mas sim para atender a uma circunstância em que a frenagem se processa em uma distância maior que a usual. Tal caso corresponde à situação em que ocorre uma restrição de visibilidade horizontal logo após o fim de rampas descendentes extensas. Nestas condições, os caminhões desenvolvem velocidades nas rampas descendentes que chegam a aproximar-se das velocidades máximas atingidas por veículos leves, necessitando, por esta razão, de distâncias de visibilidade maiores para que seja efetuada a frenagem no caso de ocorrer alguma situação de perigo ao longo da curva horizontal que sucede a rampa.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - KHASNABIS, Snehamay; TADI, Ramakrishna R..A Reevaluation of Crest Vertical Curve Length Requirements. Transportation Quaterly, Westport, Connecticut, 37 (4): 567 - 582, oct., 1983.
- 2 - PFEFER, Ronald C.. New Safety and Service Guides for Sight Distance. Transportation Engineering Journal of ASCE, 102 (TE 4): 683 - 697, nov., 1976
- 3 - FARBER, Eugene I.. Driver Eye Height Trends and Sight Distance on Vertical Curves. Transportation Research Record 855 - Washington D. C. jan., 1982.
- 4 - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. A Policy on Geometric Design of Rural Highways, Washington D. C., 1965.
- 5 - BRASIL - Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Planejamento. Normas para o Projeto Geométrico de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, 1975.
- 6 - _____. Instruções para o Projeto Geométrico de Rodovias Rurais. Rio de Janeiro, 1979.
- 7 - _____. Normas para o Projeto Geométrico de Vias Urbanas. Programa Especial de Vias Expressas. Rio de Janeiro, 1974.
- 8 - ROLDAN, Antonio Valdes G.. Ingenieria de Trafico, Madrid. Editorial Dossat S.A., 1971.
- 9 - HOBBS, F. D.. Traffic Planning and Engineering. 2 ed. London, Pergamon Press, 1979.

- 10 - WRIGHT, Paul H.; PAQUETTE, Radnor J.. Highway Engineering. 4 ed., John Wiley e Sons, Inc.
- 11 - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. A Policy on Design of Urban Highways and Arterial Streets. Washington D. C., 1973.
- 12 - INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. Trabalhos Técnicos do IPR/DNER na Área de Segurança de Tráfego. Rio de Janeiro, 1980 - Publicação 610/80.
- 13 - MATSON, Theodore M.; SMITH, Wieber S.; HURD, Frederick W. Traffic Engineering, McGraw Hill, 1955.
- 14 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Delineamento e Medição do Campo de Visão do Condutor, Projeto de Norma 05.11.07.010, Rio de Janeiro, 1984.
- 15 - IVES, Howard C.; KISSAM, Philip. Highway Curves. 4 ed. New York. John Wiley e Sons, Inc., 1952.
- 16 - GORDON; D.A., McGEE H.W.; HOOPER; K.G. Driver Characteristics Impacting Highway Design and Operations. Public Roads. A Journal of Highway Research and Development, 48 (1): 12 - 16, jun., 1984.
- 17 - CUNAGIN, Wiley.; ABRAHANSON, Tony. Driver Eye Height: A Field Study. Institute of Traffic Engineering Journal, may, 1979.
- 18 - WEINBERG, Morton I.; THARP, Kenneth J. Application of Vehicle Operating Characteristics to Geometric Design and Traffic Conditions. National Cooperative Highway Research Program Report 68., 1969
- 19 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Distância de Visibilidade. Procedimento Projeto 16:02.17-003/1984, Rio de Janeiro, 1984.

- 20 - _____. Determinação da Posição da Cabeça de Ocupantes
Procedimento NBR-6933/1981, Rio de Janeiro, 1981.
- 21 - _____. Posicionamento do Lugar Geométrico dos Olhos
do Condutor em Relação ao Veículo Rodoviário - Procedimen
to NB-647/79, Rio de Janeiro, 1979.
- 22 - _____. Sistemas Tridimensionais de Referência para Veí
culos Rodoviários - Padronização - PB-473/78. Rio de Ja
neiro, 1978.
- 23 - _____. Lugar Geométrico dos Olhos do Condutor em Veí
culos Rodoviários. Padronização PB-743/79. Rio de Janei
ro, 1979.
- 24 - POLUS, Abishai; BOROVSKY, Shmuel; LIVNEH, Moshe. Limited
Sighth Distance Effect on Speed. Transportation Enginee
ring Journal of ASCE, 105 (TE 5): 549 - 560, sep., 1979.
- 25 - COQUAND, Roger. Routes 8 ed. Paris, Éditions Eyrolles,
1979.
- 26 - CANADIAN GOOD ROADS ASSOCIATION. Manual of Geometric De
sign Standards for Canadian Roads and Streets, 1963.
- 27 - BALDIZZONE, Armando Garcia. La Seguridad y el Diseño Geo
métrico del Camino en la Argentina. International Road
Federation 10 th World Meeting. Rio de Janeiro, oct., 1984.
- 28 - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO TEC
NOLÓGICO DE TRANSPORTES. Ofuscamento nas Rodovias - Proje
to 2.074-01.01-2. São Paulo, 1983.