

ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA GEOMÉTRICA DE PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS RURAIS DE PISTA SIMPLES COM O USO DO *SOFTWARE* IHSDM

Manuela Falcão Marques
Cássia Bretas Pinto Coelho
Maria Alice Prudêncio Jacques

Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO

A consistência geométrica de um projeto de rodovia é a combinação equilibrada das características geométricas que compõem este projeto, sendo a velocidade operacional o principal parâmetro de análise. Está, portanto, diretamente ligada à segurança, à eficiência e ao conforto oferecido por uma via aos seus usuários, podendo sua análise ser utilizada tanto na fase de projetos quanto de operação. O presente trabalho visa analisar a consistência do projeto geométrico de dois trechos da rodovia BR-381/MG por meio do *software* IHSDM e, por conseguinte, verificar a sua potencialidade como ferramenta de análise para as rodovias brasileiras. Os resultados obtidos ratificam estudos anteriores realizados em rodovias do Estado do Rio Grande do Sul e de São Paulo.

ABSTRACT

The geometric consistency design of a highway is defined as the balanced combination of the road geometric characteristics. The analysis of the geometric consistency considers the vehicles' estimated operational speed as its main parameter. Therefore, this analysis directly relates to road safety, efficiency and comfort offered to road users. The geometric consistency design may be evaluated during the highway project phase as well as during road operation. This study aims to examine the consistency of the geometric design of two road segments located at BR-381/MG with the aid of the IHSDM software. Its results confirm the program potential use as an analysis tool for Brazilian highways, as previously studies conducted at Rio Grande do Sul and São Paulo States have detected.

1. INTRODUÇÃO

A consistência geométrica de rodovias é caracterizada pela disposição harmoniosa dos seus elementos geométricos (horizontais, verticais e transversais), especialmente quando considerados ao longo de segmentos viários sucessivos. Problemas de consistência geométrica ocorrem, segundo Trentin (2007), quando as características de um determinado trecho de rodovia sofrem alterações significativas em segmentos consecutivos. Esta ausência de homogeneidade proporciona condições inseguras de trafegabilidade aos usuários, uma vez que provoca velocidades operacionais distintas. Isto é, a conformação espacial de uma rodovia pode prevenir ou estimular a ocorrência de acidentes de trânsito (García, 2008).

Dada a importância da harmonia entre as características geométricas de uma via, a *Federal Highway Administration* – FHWA exige, desde o ano 2000, a utilização do *software* IHSDM – *Interactive Highway Safety Desing Model* na análise preliminar de projetos de rodovias rurais nos Estados Unidos. Este programa permite analisar, dentre seus outros recursos, a consistência geométrica de rodovias rurais de pista simples (IHSDM, 2006).

A malha rodoviária brasileira é composta, em sua grande maioria, por rodovias de pista simples construídas nas décadas de 60 e 70. Segundo o IPEA (2006), este tipo de rodovia favorece a ocorrência de acidentes com maior gravidade, como as colisões frontais – principal causa de morte nas rodovias federais (33 vítimas para cada 100 colisões). Essas rodovias apresentam uma geometria restritiva e, em muitos casos, inconsistente, uma vez que a prática adotada na referida época era minimizar custos de implantação, aproveitando o relevo e

caminhos existentes para a definição de traçados (Trentin, 2007). Além do mais, o significativo e notório avanço tecnológico dos inúmeros veículos em circulação atualmente no território brasileiro, aliado ao elevado e crescente volume de tráfego, comprometem ainda mais o nível de segurança oferecido por essas vias aos seus usuários.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar e testar a aplicabilidade do *software* IHSDM às condições das rodovias brasileiras de pista simples, mediante sua aplicação em dois trechos da rodovia BR-381/MG.

2. CONSISTÊNCIA GEOMÉTRICA DE PROJETOS DE RODOVIAS

A avaliação da consistência geométrica de um traçado é de fundamental importância para a verificação da segurança e conforto proporcionados pelas rodovias aos seus usuários. Garcia (2008) define consistência geométrica de um traçado como “a disposição harmônica e equilibrada entre as características geométricas que compõem uma rodovia”. Sua análise pode ser realizada tanto na fase de projetos quanto na fase de operação de rodovias rurais. No primeiro caso tem por objetivo permitir adequações na geometria projetada para prevenir a ocorrência de acidentes e, no segundo, subsidiar ações mitigadoras para a redução dos acidentes de trânsito observados em rodovias em operação.

A velocidade de operação, usualmente definida como a velocidade abaixo da qual 85% dos veículos trafegam (V85) quando em condição de fluxo livre (AASHTO, 2004), é o principal fator considerado em análises de consistência geométrica. É também o melhor indicativo de comportamento estabelecido na relação entre os principais elementos do tráfego rodoviário – condutor, veículo e rodovia. Conforme Trentin (2007), “métodos de análise de consistência, baseados no perfil de velocidades, são utilizados para determinar inconsistências ao longo dos alinhamentos do traçado, onde são estabelecidas as velocidades de operação (V85) para cada elemento geométrico da via, a partir de modelos de previsão de velocidade de operação”.

A inconsistência de projeto geométrico é observada, portanto, quando (i) há variações repentinas e elevadas de velocidades entre elementos geométricos consecutivos, caracterizando problemas de operação, e (ii) existem diferenças significativas entre a velocidade operacional e a velocidade de projeto, refletindo a existência de problemas quando do dimensionamento de elementos do projeto geométrico.

Assim, visando analisar a consistência geométrica de projetos viários, desde meados do século passado, métodos variados, baseados em modelos de estimativa da velocidade operacional praticada em rodovias, têm sido desenvolvidos e utilizados como ferramenta para avaliar problemas de projeto e operação de rodovias existentes ou em fase de planejamento (FHWA, 2000). Apresenta-se, a seguir, breve relato dos métodos propostos por Lamm *et al* (1990, *apud* Garcia, 2008) e Fitzpatrick *et al.* (2000, *apud* Trentin, 2007), por estarem diretamente relacionados com o *software* IHSDM, base do presente trabalho.

2.1. Método dos critérios de segurança desenvolvido por Lamm *et al.*

Na década de 80, após análise de 260 curvas no estado de Nova Iorque, Lamm *et al* (1988, *apud* FHWA, 2000) desenvolveram um modelo para previsão de velocidade operacional a partir (i) dos alinhamentos horizontais e (ii) da taxa de mudança de curvatura - principal variável para a determinação das velocidades operacionais. Visando identificar inconsistências geométricas, Lamm *et al.* (1990, *apud* Garcia, 2008) propuseram o método

conhecido por “Método dos Critérios de Segurança” que define três critérios de classificação para a análise da consistência de projeto de rodovias, a saber:

- **Critério de Segurança I:** a análise é desenvolvida com base na diferença entre a velocidade operacional, estimada por modelos matemáticos, e a velocidade de projeto, resultando numa classificação conforme as três seguintes condições:
 - ✓ projeto bom: o módulo da diferença entre a velocidade operacional e a velocidade de projeto não deve ser superior a 10 km/h. Segmentos de rodovia que se enquadram neste caso são considerados consistentes e não necessitam de correções, representando uma situação ideal entre o projeto e a utilização da via;
 - ✓ projeto regular: o módulo da diferença entre a velocidade operacional e a velocidade de projeto está compreendido entre 10 km/h e 20 km/h. Segmentos de rodovias que se enquadram nesse caso devem sofrer adaptações a fim de restabelecer as condições de segurança;
 - ✓ projeto fraco: o módulo da diferença entre a velocidade operacional e a velocidade de projeto é superior a 20 km/h. Segmentos de rodovias que se enquadram neste caso possuem sérios problemas de dimensionamento, devendo ser reprojitados a fim de se restabelecer condições mínimas de segurança.
- **Critério de Segurança II:** este critério visa analisar a consistência da velocidade operacional por meio da diferença entre as velocidades operacionais de elementos planimétricos sucessivos (curva-curva, tangente-curva) do segmento, podendo ser classificado em três casos distintos:
 - ✓ projeto bom: o módulo da diferença entre as velocidades operacionais de elementos planimétricos sucessivos não deve ser superior a 10 km/h. Segmentos de rodovia que se enquadram nesse caso apresentam consistência no alinhamento horizontal quanto à sucessão de curvas e tangentes, representando uma situação ideal entre o projeto e a utilização da via, não havendo necessidades de correções;
 - ✓ projeto regular: o módulo da diferença entre as velocidades operacionais de elementos planimétricos sucessivos está compreendido entre 10 km/h e 20 km/h. Segmentos de rodovias que se enquadram nesse caso apresentam problemas de inconsistência geométrica e devem sofrer adaptações a fim de restabelecer as condições de segurança;
 - ✓ projeto fraco: o módulo da diferença entre as velocidades operacionais de elementos planimétricos sucessivos é superior a 20 km/h. Segmentos de rodovias que se enquadram neste caso possuem sérios problemas de dimensionamento e os elementos planimétricos devem ser reprojitados a fim de se restabelecer condições mínimas de segurança.
- **Critério de Segurança III:** este critério analisa a diferença entre o coeficiente de atrito de projeto e o coeficiente de atrito efetivo na superelevação, classificando-os segundo três categorias:
 - ✓ projeto bom: a diferença entre o coeficiente de atrito de projeto e o coeficiente de atrito efetivo deve ser superior a +0,02. Este caso representa uma situação ideal entre o projeto e a utilização da via, não havendo necessidade de correções;
 - ✓ projeto regular: a diferença entre o coeficiente de atrito de projeto e o coeficiente de atrito efetivo está compreendido entre +0,02 e -0,02. A superelevação deve ser adaptada para restabelecer as condições de segurança;

- ✓ projeto fraco: a diferença entre o coeficiente de atrito de projeto e o coeficiente de atrito efetivo é inferior a -0,02. Os segmentos devem ser reprojitados.

A análise de cada um desses critérios é feita separadamente. Assim, os referidos autores sugerem uma composição entre critérios, conforme Tabela 2.1, para a classificação do projeto de um segmento de rodovia, segundo sua consistência geométrica.

Tabela 2.1: Classificação segundo a composição dos Critérios I, II e III

| Classificação ponderada | Critério I | Critério II | Critério III |
|-------------------------|------------|-------------|--------------|
| Projeto bom | Bom | Bom | Bom |
| | Bom | Bom | Regular |
| | Bom | Bom | Fraco |
| Projeto regular | Regular | Regular | Regular |
| | Regular | Regular | Bom |
| | Regular | Regular | Fraco |
| | Bom | Regular | Fraco |
| Projeto fraco | Fraco | Fraco | Fraco |
| | Fraco | Fraco | Bom |
| | Fraco | Fraco | Regular |

Fonte: Lamm *et al* (1990), *apud* Trentin (2007).

2.2. Método de Consistência Geométrica desenvolvido por Fitzpatrick *et al*.

Baseado no estudo desenvolvido por Lamm *et al*, o método proposto por Fitzpatrick *et al* (2000, *apud* Trentin, 2007), consiste em um modelo de previsão de velocidade operacional para várias condições de alinhamento horizontal e vertical e, também, em uma classificação para a consistência geométrica segundo: (i) a diferença das velocidades de operação entre as tangentes e a curva sucessiva; e (ii) a diferença das velocidades de operação e de projeto. O método utilizado no IHSDM, no módulo de análise de consistência, é o proposto por Fitzpatrick *et al*. Este método corresponde aos Critérios I e II mostrados na Tabela 2.1.

2.3. IHSDM – *Interactive Highway Safety Design Model*

Formado por ferramentas para análise da segurança e operação de rodovias de pista simples, o IHSDM é um produto da *Federal Highway Administration's Safety Research and Development Program* (IHSDM, 2006) onde a utilização de uma via é simulada com base em dados vinculados às suas características geométricas, o que permite avaliar o projeto geométrico antes de sua efetiva implantação. É possível, ainda, analisar rodovias existentes, identificando pontos críticos e avaliando projetos alternativos.

Baseado no modelo proposto por Fitzpatrick *et al*, o IHSDM é composto, conforme Figura 2.1, por quatro ferramentas de análise de rodovias e uma ferramenta para análise de interseções, a saber:

- CPM – *Crash Prediction Module*: módulo para estimativa dos dados referentes à segurança viária, por meio de informações de frequência e gravidade dos acidentes esperados, podendo ser calibrado conforme as estatísticas de acidente de um determinado país;
- PRM – *Policy Review Module*: módulo de análise dos parâmetros do projeto geométrico segundo normas estabelecidas pela AASHTO (1994), permitindo, entretanto, ser adequado às normas de outros países;

- (iii) TAM – *Traffic Analysis Module*: módulo de análise do nível de serviço oferecido pela rodovia;
- (iv) DCM – *Design Consistency Module*: módulo de análise da consistência geométrica. Tal análise, objeto central do presente estudo, parte da estimativa da velocidade operacional por modelos matemáticos, posteriormente comparada com a velocidade de projeto, no intuito de se verificar a consistência geométrica de uma via, segundo os critérios de segurança I e II, anteriormente descritos.
- (v) IRM – *Intersection Review Module*: módulo de análise dos elementos geométricos de uma interseção, para um esperado nível de operação e segurança.

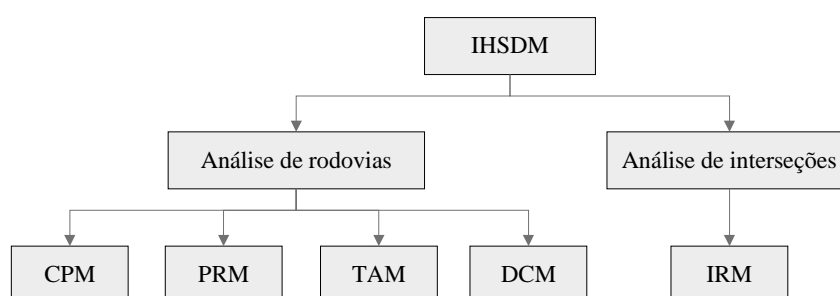


Figura 2.1: Módulos do IHSDM – *Interactive Highway Safety Design Model*
(Fonte: adaptado de Garcia, 2008.)

Embora o *software* tenha sido desenvolvido para aplicação em rodovias segundo normas norte-americanas, sua utilização para as condições de rodovias brasileiras, testadas em rodovias gaúchas e paulistas por García (2008) e Trentin (2007), respectivamente, é dada como promissora.

3. REALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Como objeto do estudo de caso, foi selecionada a rodovia BR-381/MG por apresentar elevado número de acidentes dentro do estado de Minas Gerais. A citada rodovia, cujos pontos inicial e final são, respectivamente, as localidades de Linhares/ES e Santos/SP, possui aproximadamente 1,2 mil quilômetros de extensão, sendo 79% destes (950 quilômetros) no estado de Minas Gerais.

Foram analisados, a partir de dados disponíveis no DNIT (2009), os segmentos da referida rodovia com maior número de acidentes de trânsito, sendo selecionado um segmento crítico, compreendido entre os quilômetros 330 e 365, para a realização do estudo. Neste segmento foram selecionados dois trechos: um com a maior e o outro com a menor ocorrência de acidentes de trânsito na BR-381/MG. O primeiro trecho está compreendido entre os quilômetros 345 e 352, enquanto o segundo está localização entre os quilômetros 355 e 362.

As estatísticas de acidentes de trânsito dos trechos escolhidos constam da Tabela 3.1. A associação destas com o volume de tráfego da rodovia – 6.321 veículos/dia, para o ano 2005 – permitiu a definição das respectivas taxas de severidade (CEFTRU, 2002), cujos valores obtidos foram 39,06 acidentes por milhões de veículos x km, e 20,32 acidentes por milhões de veículos x km para o Trecho 1 e o Trecho 2, respectivamente.

Tabela 3.1: Dados de acidentes de trânsito por km, rodovia BR-381/MG

| Trecho 1 – km 345 ao km 352 | | | | | | Trecho 2 – km 355 ao km 362 | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|------------|----------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------|----------|---------------------------|----------------------------|
| km | Acidentes | | | Número total de acidentes | Número de acidentes em UPS | km | Acidentes | | | Número total de acidentes | Número de acidentes em UPS |
| | Danos materiais | Feridos | Mortos | | | | Danos materiais | Feridos | Mortos | | |
| 345 | 12 | 6 | 5 | 23 | 101 | 355 | 6 | 11 | – | 17 | 50 |
| 346 | 32 | 16 | 1 | 49 | 109 | 356 | 20 | 11 | – | 31 | 64 |
| 347 | 16 | 15 | – | 31 | 76 | 357 | 9 | 5 | – | 14 | 29 |
| 348 | 15 | 7 | – | 22 | 43 | 358 | 6 | 3 | 1 | 10 | 31 |
| 349 | 7 | 13 | – | 20 | 59 | 359 | 10 | 11 | 1 | 22 | 67 |
| 350 | 23 | 18 | – | 41 | 95 | 360 | 12 | 17 | – | 29 | 80 |
| 351 | 43 | 33 | 2 | 78 | 201 | 361 | 5 | 7 | – | 12 | 33 |
| 352 | 9 | 7 | | 16 | 37 | 362 | 4 | 1 | 1 | 6 | 21 |
| Total | 157 | 115 | 8 | 280 | 721 | Total | 72 | 66 | 3 | 141 | 375 |

A aplicação do software IHSDM, módulo DCM, deu-se após a inserção dos dados referentes ao alinhamento horizontal e vertical dos trechos em análise, assim como da velocidade de projeto (80 km/h). Fez-se necessário, ainda, definir a velocidade desejada (*desired speed*) pelos usuários da rodovia, elemento crítico do referido módulo. Embora o IHSDM recomende que, para sua aplicação na avaliação de trechos em operação, sejam desenvolvidos estudos de campo para a determinação da velocidade desejada, tal procedimento de coleta não pode ser realizado. Assim, optou-se por analisar a sensibilidade do módulo à variação de tal velocidade, adotando-se os valores: (i) 100 km/h, (ii) 110 km/h e (iii) 80 km/h.

A análise do IHSDM é apresentada por meio dos perfis de velocidade apresentados no item a seguir. Tais perfis, constantes dos relatórios de saída do *software*, não possibilitam a sua edição. Além do mais, cada cor lá apresentada corresponde a uma condição e/ou variável geométrica, razão pela qual tais figuras foram aqui inseridas com suas cores originais. Tem-se, assim: (i) linha verde pontilhado - velocidade de projeto; (ii) linha marrom claro – velocidade desejada; (iii) linha verde contínuo – projeto bom; (iv) linha amarela contínuo – projeto regular; (v) linha vermelha contínuo – projeto fraco. Além do mais, as cores das “bandeiras”, que representam as respostas das análises quanto ao Critério de Segurança II, têm significados similares ao das cores adotadas para as linhas da classificação associada ao Critério de Segurança I.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Nas Figuras 4.1 a 4.4 são apresentados os resultados gráficos fornecidos pelo IHSDM para os sentidos crescente e decrescente de cada trecho estudado, relacionados aos Critérios de Segurança I e II. Como forma de avaliar se os resultados do IHSDM refletem as condições de segurança dos trechos, neste caso caracterizadas pelos acidentes ocorridos em 2005, procurou-se dispor os dados de acidentes (total e em UPS) em uma tabela posicionada imediatamente abaixo do eixo horizontal dos perfis de velocidade. As células da tabela que contêm os dados de acidentes correspondem, na escala do gráfico, a aproximadamente um quilômetro de extensão.

Inicialmente, ao se comparar as Figuras 4.1 e 4.3 e, também, as Figuras 4.2 e 4.4, pode-se concluir que, para as duas velocidades desejadas testadas, o Trecho 1 apresenta uma

quantidade maior de pontos consecutivos classificados como regular no sentido crescente (sentido do estaqueamento) do que o Trecho 2, e que essa situação se inverte no sentido decrescente (contrário ao sentido do estaqueamento).

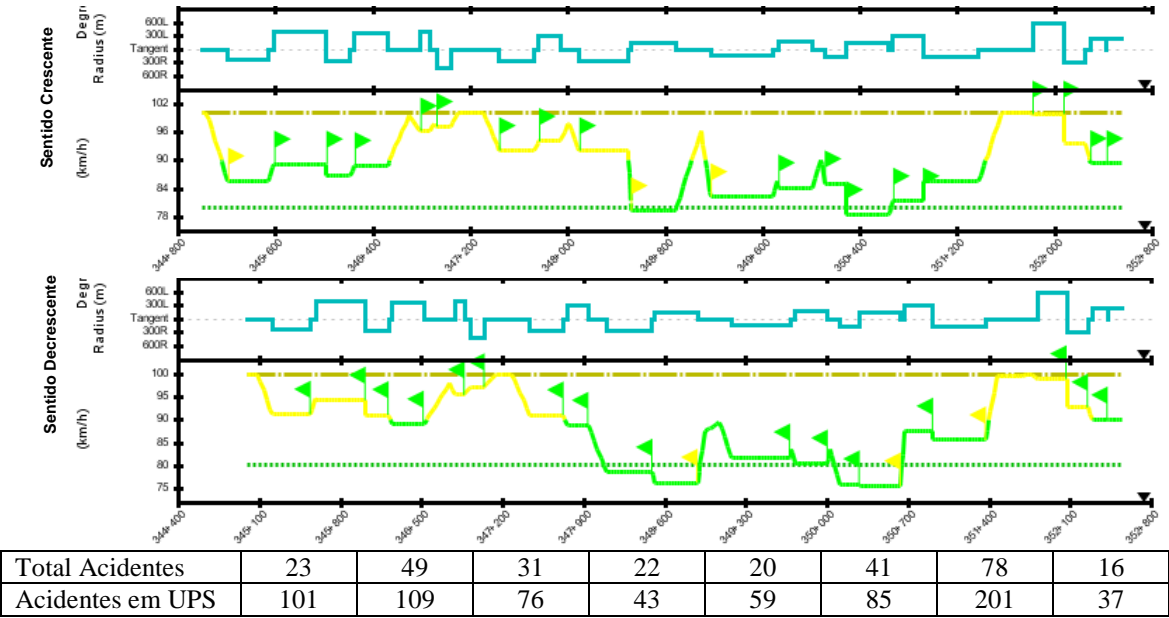


Figura 4.1: Comparativo Critério de Segurança I x Dados de Acidentes (V = 100 km/h, Trecho 1)

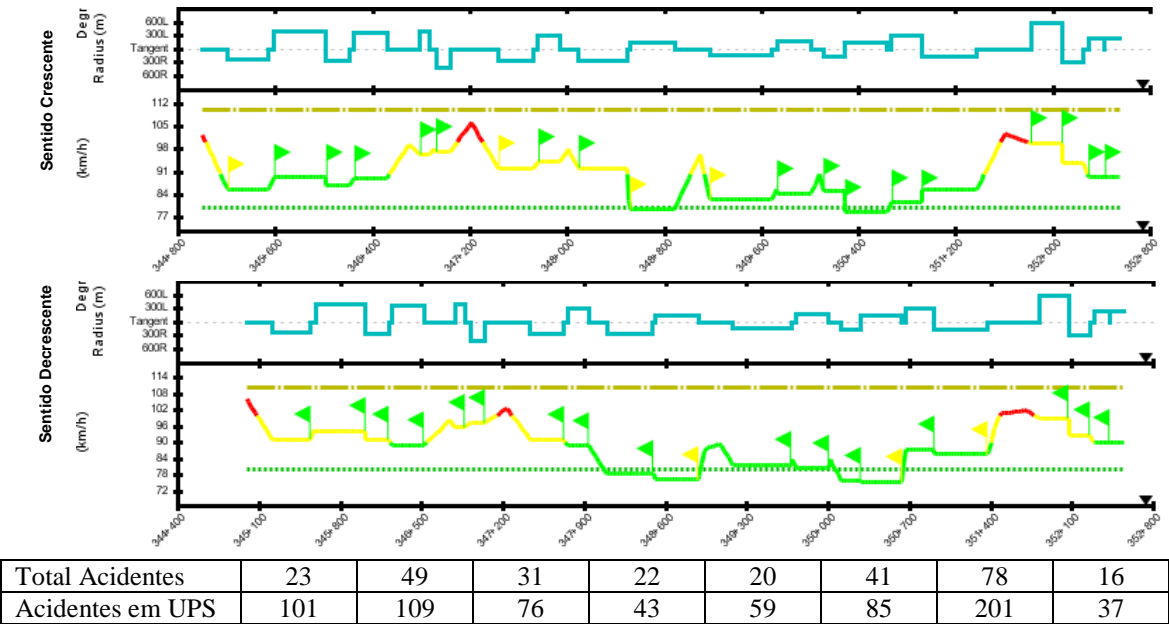


Figura 4.2: Comparativo Critério de Segurança I x Dados de Acidentes (V = 110 km/h, Trecho 1)

No Trecho 1, para velocidade desejada de 100 km/h, pode-se observar que o sentido crescente apresentou situação mais desfavorável da metade do quilômetro 346 até a metade do quilômetro 348 (Figura 4.1). Já no sentido decrescente, o trecho compreendido entre os quilômetros 345 e 347 (inclusive) apresentou-se como a situação mais desfavorável. O

segmento compreendido entre a metade do quilômetro 351 e a metade do quilômetro 352 é uma região que apresenta a condição de “projeto regular” em ambos os sentidos analisados. É, portanto, compatível com a severidade dos acidentes observados (201 UPS). Por fim, observa-se para a velocidade operacional de 100 km/h, tanto no sentido crescente quanto no decrescente, a predominância da condição “bom projeto”.

Quando aumentada a velocidade desejada para 110 km/h (Figura 4.2), novos pontos críticos podem ser observados, causando a ocorrência de segmentos classificados como “projeto fraco” no trecho em análise. Também nesse caso, tem-se em alguns trechos classificações distintas para os dois sentidos (por exemplo, segmento entre os quilômetros 345 e 346). Verifica-se, ainda, que o maior número de acidentes em UPS (201) ocorreu no intervalo correspondente à metade do quilômetro 351 até o início do quilômetro 352, com trechos classificados como “projeto fraco” nos dois sentido (trechos em vermelho).

Por fim, comparando as Figuras 4.1 e 4.2, observa-se a manutenção de praticamente os mesmos segmentos críticos para as duas velocidades desejadas. A magnitude dos problemas detectados difere apenas em virtude da diferença de 10km/h entre as velocidades desejadas assumidas no estudo. Também os trechos onde foram observadas velocidades operacionais inferiores a de projeto são praticamente os mesmos para as duas velocidades desejadas. Pode-se afirmar, portanto, que os resultados oriundos do *software* são coerentes entre si e compatíveis com o número de acidentes observados.

As Figuras 4.3 e 4.4 são referentes ao Trecho 2. Para as velocidades desejadas de 100 km/h e 110 km/h, evidenciam-se quantidades significativas de pontos críticos entre o quilômetro 358 e a metade do quilômetro 360, aproximadamente, nos dois sentidos de análise, diferindo apenas quanto à magnitude de seus problemas. No entanto, no sentido decrescente, pode-se observar que esses pontos encontram-se localizados de forma mais concentrada.

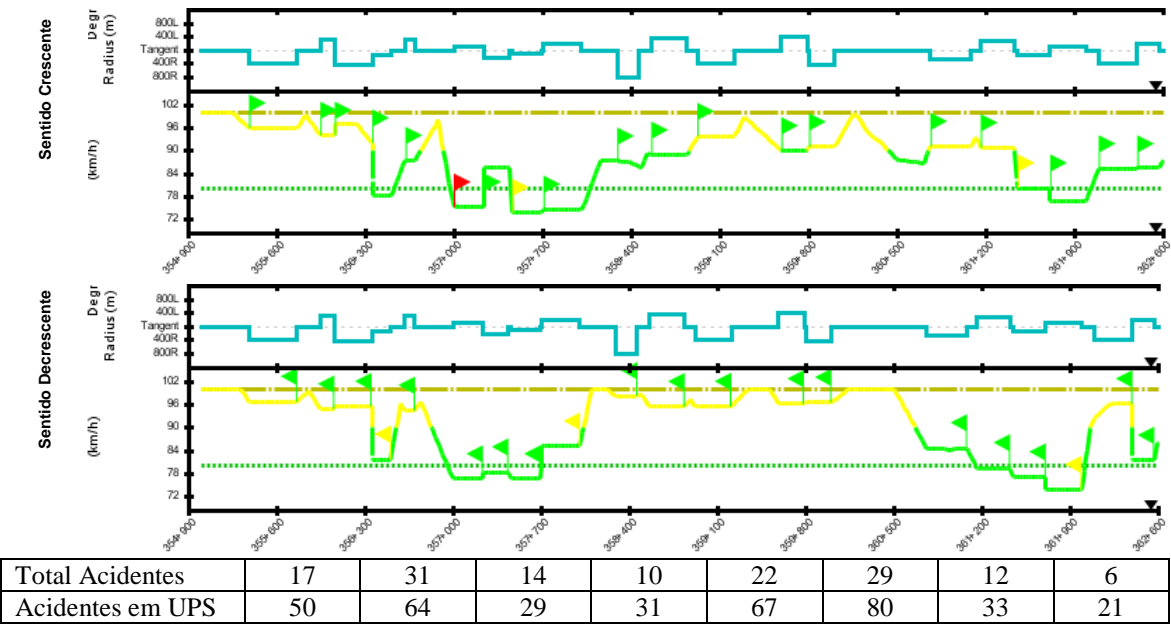


Figura 4.3: Comparativo Critério de Segurança I x Dados de Acidentes (V = 100 km/h, Trecho 2)

Também cabe observar que no segmento anteriormente referido ocorreram 178 acidentes, em UPS, cerca de metade dos acidentes ocorridos em todo o Trecho 2.

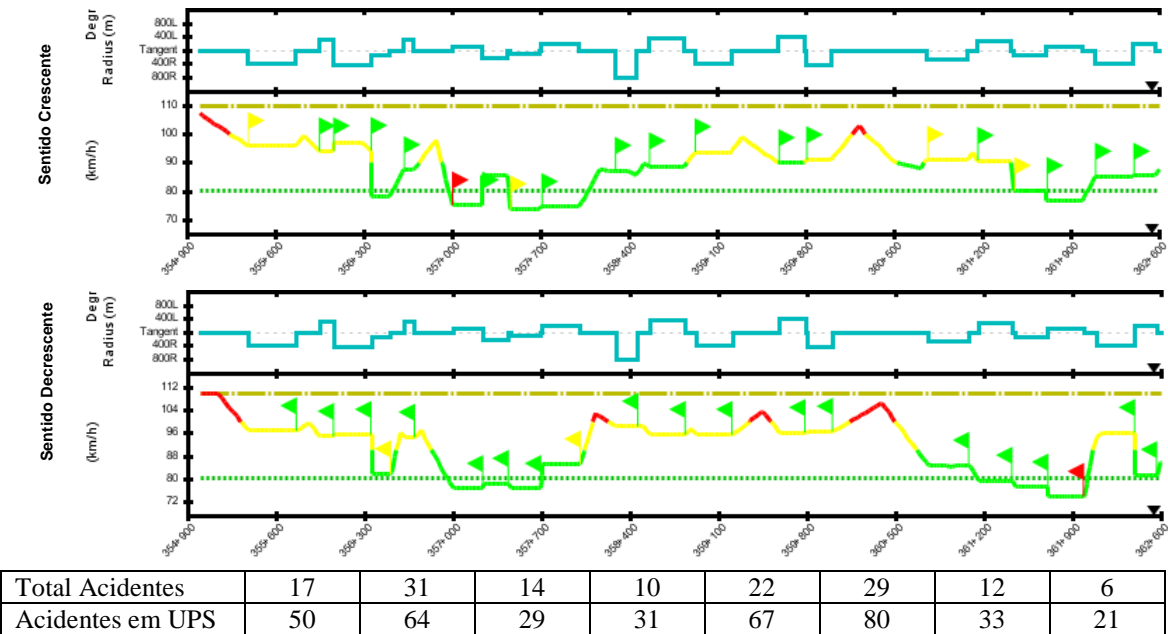


Figura 4.4: Comparativo Critério de Segurança I x Dados de Acidentes (V = 110 km/h, Trecho 2)

Os resultados dos testes com a velocidade desejada igual à velocidade de projeto são apresentados nas Figuras 4.5 e 4.6. O que chama a atenção nessa última aplicação é que os segmentos em que a velocidade operacional é inferior a de projeto para os Trechos 1 e 2, correspondem aos mesmos segmentos em que situação similar foi observada para as velocidades desejadas de 100 km/h e 110 km/h.

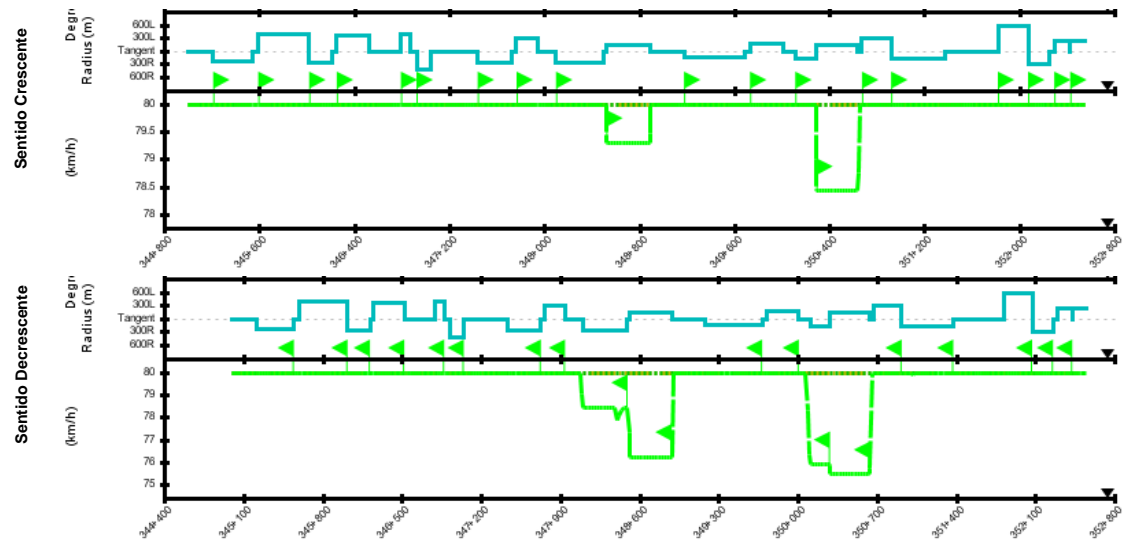


Figura 4.5: Comparativo Critério de Segurança I x Dados de Acidentes (V = 80 km/h, Trecho 1)

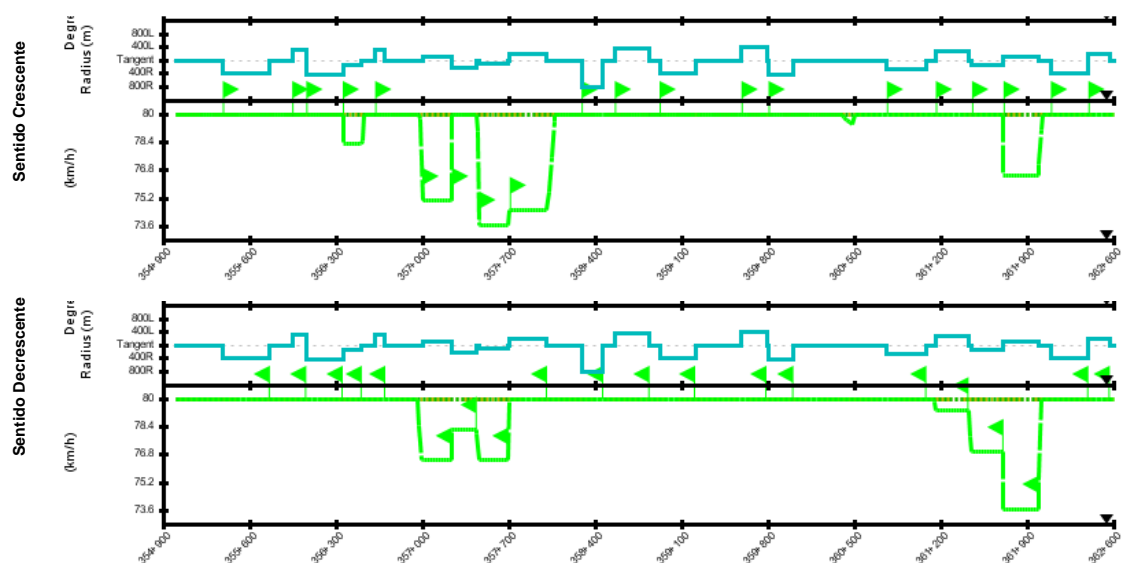


Figura 4.6: Comparativo Critério de Segurança I x Dados de Acidentes (V = 80 km/h, Trecho 2)

Como em todos os casos em que ocorreu diferença negativa entre a velocidade operacional e a de projeto, essa diferença em módulo foi inferior a 10 km/h, o Critério I indicou “projeto bom”. Ou seja, como o programa analisa as diferenças em módulo, nenhuma consideração ou análise complementar é feita no sentido de avaliar o porquê da estimativa da V85 não atingir a velocidade de projeto que, teoricamente, é a velocidade na qual todos os veículos deveriam poder trafegar em segurança.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os resultados quanto ao Critério de Segurança II para os Trecho 1 e Trecho 2, respectivamente.

Tabela 4.1: Critério de Segurança II, Trecho 1

| SENTIDO CRESCENTE | | | | SENTIDO DECRESCENTE | | | |
|------------------------|----------------------------|----|-----|------------------------|----------------------------|----|-----|
| Início da curva (m) | Velocidade Desejada (km/h) | | | Início da curva (m) | Velocidade Desejada (km/h) | | |
| | 100 | 80 | 110 | | 100 | 80 | 110 |
| 345+212.797 | 2 | 1 | 2 | 352+426.520 | 1 | 1 | 1 |
| 345+592.350 | 1 | 1 | 1 | 352+256.920 | 1 | 1 | 1 |
| 346+020.486 | 1 | 1 | 1 | 352+072.840 | 1 | 1 | 1 |
| 346+252.445 | 1 | 1 | 1 | 351+376.436 | 2 | 1 | 2 |
| 346+792.189 | 1 | 1 | 1 | 350+919.053 | 1 | 1 | 1 |
| 346+924.446 | 1 | 1 | 1 | 350+640.873 | 2 | 1 | 2 |
| 347+439.507 | 1 | 1 | 2 | 350+285.827 | 1 | 1 | 1 |
| 347+766.560 | 1 | 1 | 1 | 350+009.939 | 1 | 1 | 1 |
| 348+098.172 | 1 | 1 | 1 | 349+686.402 | 1 | 1 | 1 |
| 348+521.125 | 2 | 1 | 2 | 348+886.944 | 2 | 1 | 2 |
| 349+177.112 | 2 | 1 | 2 | 348+496.581 | 1 | 1 | 1 |
| 349+732.687 | 1 | 1 | 1 | 347+944.680 | 1 | 1 | 1 |
| 350+113.735 | 1 | 1 | 1 | 347+729.783 | 1 | 1 | 1 |
| 350+290.680 | 1 | 1 | 1 | 347+047.857 | 1 | 1 | 1 |
| 350+674.180 | 1 | 1 | 1 | 346+875.623 | 1 | 1 | 1 |
| 350+919.053 | 1 | 1 | 1 | 346+522.937 | 1 | 1 | 1 |
| 351+819.459 | 1 | 1 | 1 | 346+218.980 | 1 | 1 | 1 |
| 352+072.840 | 1 | 1 | 1 | 346+020.486 | 1 | 1 | 1 |
| 352+293.695 | 1 | 1 | 1 | 345+547.650 | 1 | 1 | 1 |
| 352+427.670 | 1 | 1 | 1 | | | | |

Tabela 4.2: Critério de Segurança II, Trecho 2

| SENTIDO CRESCENTE | | | | SENTIDO DECRESCENTE | | | |
|------------------------|----------------------------|----|-----|------------------------|----------------------------|----|-----|
| Início da curva (m) | Velocidade Desejada (km/h) | | | Início da curva (m) | Velocidade Desejada (km/h) | | |
| | 100 | 80 | 110 | | 100 | 80 | 110 |
| 355+383.409 | 1 | 1 | 2 | 362+600.000 | 1 | 1 | 1 |
| 355+945.234 | 1 | 1 | 1 | 362+571.438 | 1 | 1 | 1 |
| 356+059.887 | 1 | 1 | 1 | 362+092.577 | 2 | 1 | 3 |
| 356+356.213 | 1 | 1 | 1 | 361+992.372 | 1 | 1 | 1 |
| 356+617.724 | 1 | 1 | 1 | 361+426.991 | 1 | 1 | 1 |
| 357+000.160 | 3 | 1 | 3 | 361+084.516 | 1 | 1 | 1 |
| 357+239.845 | 1 | 1 | 1 | 360+390.134 | 1 | 1 | 1 |
| 357+461.084 | 2 | 1 | 2 | 359+804.654 | 1 | 1 | 1 |
| 357+707.775 | 1 | 1 | 1 | 359+452.687 | 1 | 1 | 1 |
| 358+289.896 | 1 | 1 | 1 | 358+889.606 | 1 | 1 | 1 |
| 358+559.924 | 1 | 1 | 1 | 358+504.884 | 1 | 1 | 1 |
| 358+922.835 | 1 | 1 | 1 | 358+122.553 | 2 | 1 | 2 |
| 359+585.803 | 1 | 1 | 1 | 357+707.775 | 1 | 1 | 1 |
| 359+805.662 | 1 | 1 | 1 | 357+441.484 | 1 | 1 | 1 |
| 360+763.405 | 1 | 1 | 2 | 357+441.484 | 1 | 1 | 1 |
| 361+161.470 | 1 | 1 | 1 | 356+748.460 | 1 | 1 | 1 |
| 361+453.802 | 2 | 1 | 2 | 356+588.695 | 2 | 1 | 2 |
| 361+710.270 | 1 | 1 | 1 | 356+509.185 | 1 | 1 | 1 |
| 362+092.577 | 1 | 1 | 1 | 356+356.213 | 1 | 1 | 1 |
| 362+397.258 | 1 | 1 | 1 | 355+839.705 | 1 | 1 | 1 |

Nas Tabelas 4.1 e 4.2, o número das estacas onde a condição é avaliada (chamado de início da curva) é estabelecido pelo programa com base nos dados de entrada do alinhamento horizontal.

Embora tenha havido uma pequena variação entre as velocidades desejadas analisadas, especificamente entre 100 km/h e 110 km/h, pode-se observar que a maior parte dos pontos críticos analisados pelo IHSDM, de acordo com o Critério II, para o Trecho 1 apresenta condição coincidente de “projeto bom”. Já para o Trecho 2, embora “projeto bom” seja predominante, há a ocorrência de elementos geométricos cujos projetos são tidos como “projetos fracos”. No que diz respeito à velocidade desejada de 80 km/h, como já era de se esperar, é em sua totalidade um “projeto bom” também com relação ao Critério II.

5. CONCLUSÕES

A consistência geométrica de rodovia de pista simples, particularmente de dois trechos da BR-381/MG, pode ser verificada por meio da aplicação do *software* IHSDM, considerando a velocidade operacional simulada, bem como diferentes velocidades desejadas (100 km/h, 80 km/h e 110 km/h). De forma complementar, os trechos foram ainda analisados quanto à taxa de severidade, e ao número de acidentes na totalidade e em UPS.

Embora o IHSDM tenha sido desenvolvido para as condições de tráfego norte-americanas, por meio do presente trabalho, foi possível verificar resultados compatíveis, embora não exatamente precisos, entre a classificação das condições de segurança dos projetos realizada pelo programa e os níveis de acidentes registrados para os dois trechos estudados.

Isto é, para efeito de uma avaliação preliminar da consistência dos projetos de rodovias nacionais de pista simples, entende-se que o estudo mostrou a possibilidade de utilização do

IHSDM. É preciso registrar, entretanto, que estudos voltados à calibração dos modelos de previsão da V85 para representar efetivamente as condições da operação dos veículos nas rodovias nacionais precisam ser conduzidos. Isto é, sugere-se o desenvolvimento de uma ampla pesquisa de campo, nos moldes da realizada por García (2008) para as rodovias do estado do Rio Grande do Sul, de forma a permitir a calibração dos modelos de previsão da velocidade operacional utilizados pelo IHSDM ou, até mesmo, para a formulação de um novo modelo para as condições nacionais.

Um outro aspecto a destacar é a necessidade de se desenvolver modelos para estimar a velocidade desejada dos motoristas que trafegam nas diferentes rodovias nacionais, que é um dado de entrada importante do IHSDM. Essa velocidade é afetada por aspectos relacionados não só à segurança efetiva oferecida pela via (caracterizada por sua velocidade diretriz). Dentre outros fatores, a velocidade desejada é sensível a: percepção dos motoristas quanto a segurança oferecida pela via; velocidade regulamentada; predisposição dos mesmos em correr riscos ao volante; características de ocupação das áreas lindeiras; e presença de equipamentos para a fiscalização da velocidade.

Por fim, chama a atenção o tratamento dado pelo programa aos trechos onde a velocidade operacional estimada foi inferior à velocidade de projeto. Como o IHSDM analisa o módulo da diferença dessas velocidades, conforme discutido anteriormente, caso a diferença seja inferior a 10 km/h, tem-se “projeto bom”, o que na realidade pode representar problema de projeto. Desta forma, uma análise mais profunda sobre como interpretar tais resultados faz-se necessária em estudos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials* (2004). *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*. Washington D.C.
- CEFTRU – Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (2002): **Procedimentos para o tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito**. Programa PARE. Ministério dos Transportes. Brasília.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (2009). *Dados de acidentes e volumes referentes a 2005*. DNIT: Diretoria de Infraestrutura Rodoviária.
- FHWA – *The U.S. Federal Highway Administration* (2000). *Speed prediction for two-lane rural highways*. Report FHWA-RD-99-171. Washington, D.C.
- GARCÍA, D. S. P. (2008). *Método para análise da consistência geométrica de rodovias brasileiras de pista simples*. 165f. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção.
- IHSDM – *Interactive Highway Safety Design Model* (2006). Versão 3.0. Disponível em: <http://www.mediafire.com/?1qm9dow2dqp>. Acesso em 05/06/2009.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2006). *Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras*. Relatório Executivo. Brasília. Dezembro/2006.
- TRENTIN, L. C. (2007). *Análise crítica de métodos de verificação de consistência de traçado*. 165f. Dissertação (Mestre em Engenharia). Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.