



APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS BIM E SIG PARA IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS DE TRAÇADO RODOVIÁRIO

Alessandra Costa Gosch¹; Cristhyano Cavali da Luz²; Eduardo Ratton³

^{1,2,3} *Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Universidade Federal do Paraná, alecgosch@gmail.com, criscluz@hotmail.com, ratton.eduardo@gmail.com.*

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo da geometria de seções críticas de acidentes em um subtrecho da BR-135/BA entre os municípios de Barreiras e São Desidério na Bahia. Foi utilizado um *software* de Modelagem de Informações da Construção (BIM) que apresenta plataforma conjunta com Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para definir a geometria existente no subtrecho e proceder a comparação com normativas de defeitos de traçado. O modelo gerado no *software* *Infraworks 360* permitiu a identificação dos defeitos de traçado pela visualização de inconsistências tridimensionais, fornecendo informações sobre o traçado existente no subtrecho a partir de bases de dados geográficas parametrizadas para determinação do greide e eixo horizontal. A identificação da tipologia de defeito de traçado permite a determinação das ações corretivas a serem implantadas. Como resultados, verificou-se nos quatro pontos críticos analisados que um necessita ajuste de traçado para concordância de raio de curva horizontal, três apresentam problemas no perfil vertical e dois apresentam falta de concordância entre os alinhamentos vertical e horizontal.

PALAVRAS-CHAVE: Defeitos de traçado rodoviário, Acidentes rodoviários, BIM, SIG.

ABSTRACT

This paper presents a research on a section of BR-135/BA, a federal highway in the state of Bahia, Brazil. The accident hotspots found in the area were studied in terms of geometry. A BIM-GIS integrated technology was used to define the road geometry, via the software Infraworks 360. This allowed the identification of design faults, in comparison with technical regulations. The model generated in Infraworks provided information for the identification of design faults in the accident hotspots studied. Thus, it was possible to identify geometry inconsistencies that may be contributing to the accident zones registered. By identifying the locations and characteristics of these faults, corrections can be made to improve the safety of the road. It was found that, of four accident hotspots analyzed, one could be adjusted in the horizontal geometry regarding curve radius. As for the other hotspots, three presented geometry problems in the vertical profile; and two present a three-dimensional concordance fault.

KEYWORDS: Highway design faults, Highway accidents, BIM, GIS.

1. INTRODUÇÃO

O projeto geométrico influencia diretamente na segurança de tráfego de uma rodovia. Quando acidentes repetidamente ocorrem em um determinado local, uma das possíveis causas é a existência de um defeito de traçado no projeto geométrico da via, tornando-a insegura para a velocidade diretriz implantada. Desse modo, faz-se necessária a identificação

dos defeitos de traçado existentes para possibilitar a retificação da via implantada de modo a melhorar a segurança de tráfego. O processo de identificação inicial de tais defeitos requer a análise do projeto utilizado para implantação da via, para posteriormente se realizarem verificações em campo. Entretanto, não é incomum que rodovias implantadas na época não digital não tenham disponíveis os registros do projeto utilizado para sua construção. Nesses casos, há benefícios na utilização de tecnologia de modelagem paramétrica (BIM) integrada a Sistemas de Informações Geográficas (SIG), pois se torna possível a realização de uma análise prévia a partir de um modelo tridimensional georreferenciado da geometria existente.

O termo BIM se refere a Modelagem de Informações da Construção, ou em inglês *Building Information Modeling*. Trata-se de uma tecnologia baseada em modelos paramétricos integrados a bases de dados de diferentes áreas, com o objetivo de gerar modelos e permitir análises e simulações mais representativas da realidade (LONDON et al., 2008). A característica de parametricidade dos componentes dos modelos significa que parâmetros coordenam as informações integrantes dos modelos, podendo ser catalogados, analisados e alterados pelo estabelecimento de critérios (EASTMAN et al., 2008). Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são plataformas que utilizam informações georreferenciadas para visualização, manipulação e análise de dados. Sistemas BIM que incorporam bases de dados SIG são, portanto, capazes de realizar análises espaciais operando com dados georreferenciados dentro de um modelo tridimensional paramétrico (RAFIEE et al., 2014).

Nesse sentido, este estudo objetivou a verificação da utilidade da aplicação de tecnologia BIM com base de dados SIG na determinação de defeitos de traçado de uma rodovia implantada. Tal identificação visa servir de subsídio à elaboração de projetos de recuperação e melhoramento das vias com trechos críticos de acidentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) possui normativas para elaboração de projetos rodoviários, para garantir o padrão das rodovias a serem implantadas e prevenir projetos geométricos com defeitos de traçados. As instruções de Projeto Básico de Engenharia para Melhoramentos em Rodovias para Adequação da Capacidade e Segurança (EB-106) e de Projeto Executivo de Engenharia para Melhoramentos em Rodovias para Adequação da Capacidade e Segurança (EB-107) focam



no correto posicionamento do alinhamento horizontal, bem como diminuição dos volumes de terraplenagem (DNIT, 2006).

O Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (DNER, 1999) classifica as rodovias em classes, primariamente de acordo com as condições do terrenos e volume de tráfego. Cada classe possui parâmetros de geometria específicos para o atendimento da demanda esperada, bem como uma velocidade diretriz específica. A velocidade diretriz é a máxima velocidade em que se pode trafegar em uma determinada seção da via, respeitando-se as limitações impostas pelas características geométricas empregadas em projeto. A partir da velocidade diretriz se definem os valores mínimos das características físicas a serem utilizadas em projeto, diretamente ligadas à operação e movimentação dos veículos que utilizarão a rodovia (DNER, 1999). No alinhamento horizontal, o raio mínimo de curvas é determinado pela velocidade diretriz. Já a superelevação é a inclinação transversal da pista em uma seção de curva horizontal, que serve para atenuar o efeito da força centrífuga. O raio horizontal mínimo requer a superelevação máxima em um alinhamento. Com relação ao perfil vertical, as rampas influenciam diretamente na capacidade da via, devendo ser coerentes com as demais características técnicas e operacionais do traçado. A delimitação da rampa máxima ocorre pela classe da via e relevo do terreno. O valor k é um parâmetro que mede a curvatura vertical das curvas, representando o comprimento da curva no plano horizontal em metros para cada 1% de variação na inclinação longitudinal (DNER, 1999; LEE, 2013).

No que tange aos alinhamentos vertical e horizontal, a distância de visibilidade é a distância percorrida por um veículo desde a percepção de um obstáculo por seu motorista até a parada total do veículo, considerando a geometria da via. Em relação à concordância tridimensional no alinhamento, a combinação inadequada de elementos geométricos resulta em um projeto que não oferece condições satisfatórias de segurança e conforto para os usuários, desestabilizando a fluidez para o tráfego de veículos (LEE, 2013). Além disso, o efeito tridimensional da combinação de elementos de traçado deve ter como objetivo harmonizar a rodovia com a paisagem e proporcionar condições operacionais e de segurança adequadas, levando em consideração fatores dinâmicos, psicológicos dos motoristas e estéticos, ainda se prezando pela viabilidade econômica do projeto (DER-SP, 2005).

Um regulamento alemão para a concepção de rodovias apresenta um compêndio de defeitos de traçado que exemplifica a fluidez tridimensional da estrada do ponto de vista do motorista, conforme exemplos apresentados na Figura 1 (FGSV, 1995).

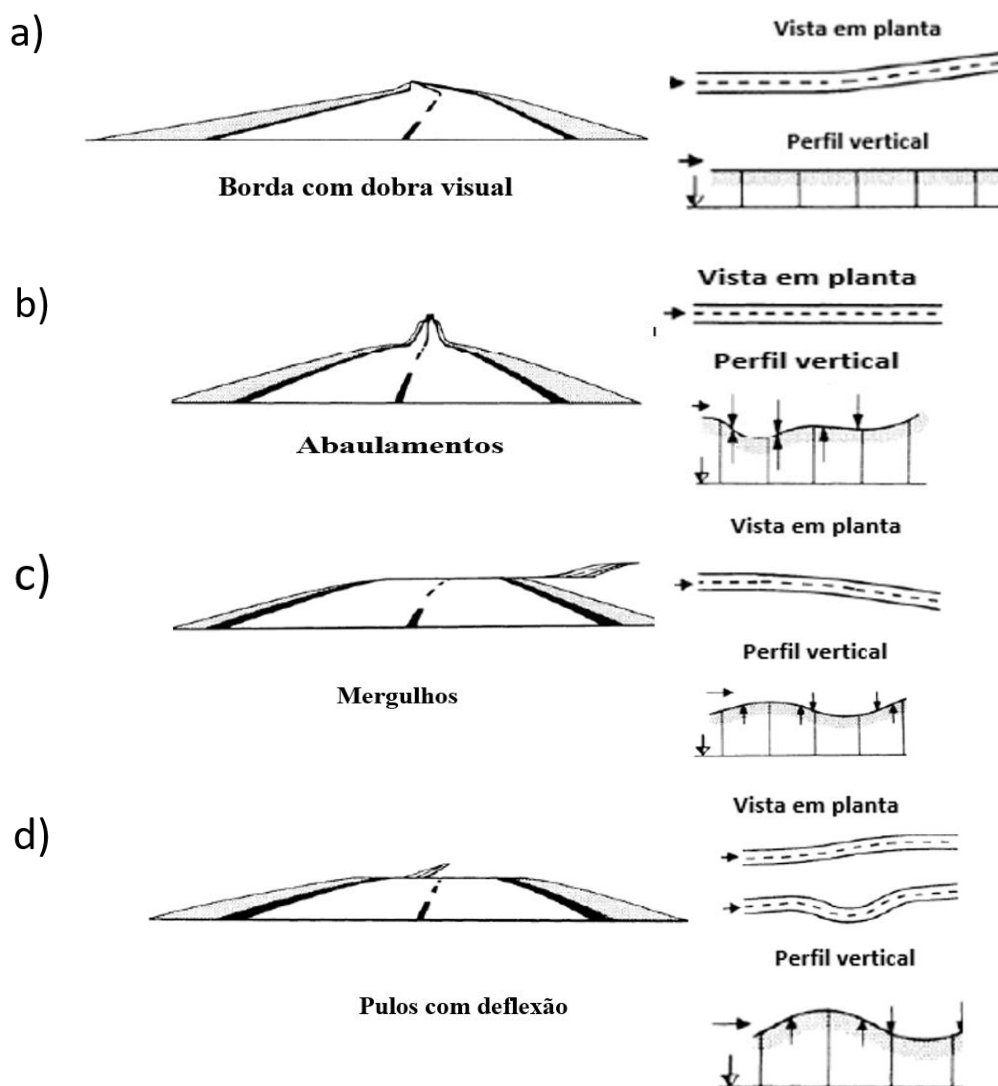


Figura 22 – Exemplos de modelos esquemáticos de defeitos de concordância de alinhamentos

Fonte: Adaptado de FGSV (1995).

A imagem a apresenta um defeito de traçado relativo a falta de visibilidade causada por uma curva de pequeno raio em região de perfil em rampa. A imagem b apresenta defeito de traçado decorrente de sucessivas curvas verticais em região de alinhamento horizontal em tangente. A figura c apresenta defeito de traçado resultante de curvas verticais opostas em

região de curva horizontal. A figura d apresenta condição similar, com curvas verticais e horizontais causando perda de visibilidade e estabilidade.

3. METODOLOGIA

O objeto de estudo empregado foi um subtrecho da rodovia federal BR-135/BA no estado da Bahia, entre os municípios de Barreiras e São Desidério (km 179,9 a 205,8). Inicialmente foram obtidos os dados de pontos críticos de acidentes na região estudada. Em sequência, o alinhamento vertical e perfil vertical da via foram obtidos com o uso do *software* de tecnologias BIM e SIG *Infravorks 360* (Autodesk). Por fim, a geometria e os pontos críticos foram analisados em conjunto para identificação de possíveis defeitos de traçado que pudessem ser resolvidos por meio de um projeto de recuperação e melhoramento.

3.1. Dados de acidentes

A quantidade de ocorrências e a localização precisa dos acidentes registrados no subtrecho estudado foram obtidos pelo banco de dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF). Foram coletados e analisados dados de abril de 2007 a dezembro de 2017, excluindo-se os anos de 2008 e 2009 (devido à ausência de registros). O gráfico da Figura 2 apresenta a quantidade de acidentes registrados por quilômetro na região de estudo.

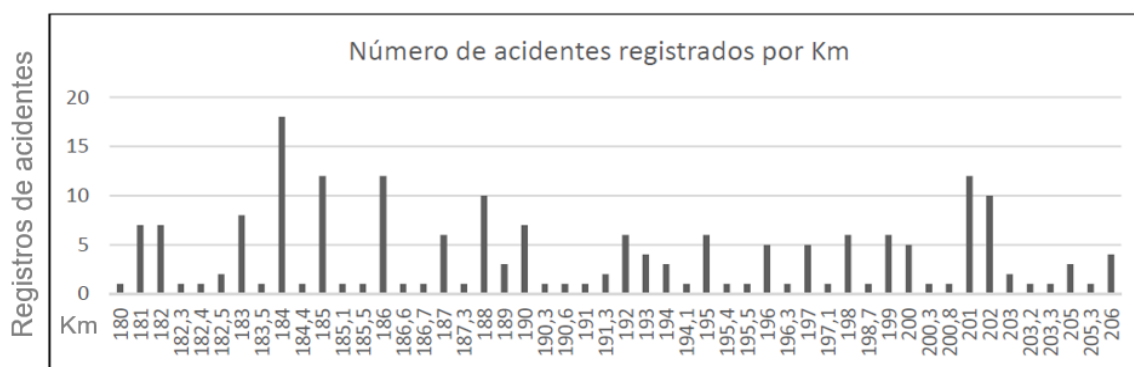


Figura 23 - Acidentes entre os km 179,9 a 205,8 da BR-135/BA

Fonte: Adaptado de PRF (2019).

Em relação aos pontos críticos de ocorrência de acidentes entre os quilômetros analisados, os 4 pontos com maior índice de acidentes foram considerados *hotspots* para esta análise. A Tabela 1 apresenta os pontos escolhidos para verificação da geometria.

Tabela 16 - *Hotspots* de acidentes

<i>Hotspot</i>	Ponto	Quantidade de acidentes	Representatividade	Tipologia de acidente mais recorrente
1	Km 184	18	9,23%	Saída de pista
2	Km 185	12	6,15%	Saída de pista
3	Km 186	12	6,15%	Capotamento
4	Km 201	12	6,15%	Saída de pista
	Total	54	27,69%	-

3.2. Características da via implantada

A rodovia BR-135/BA, na região de estudo, se classifica como Classe IB para atender a demanda de tráfego local. O relevo da área é moderadamente montanhoso, o que para a Classe IB determina a velocidade de projeto em 80km / h. A geometria da rodovia deve obedecer a essa velocidade de projeto, respeitando, entre outros parâmetros, o raio horizontal mínimo de 210 metros, para o qual seria necessária a superelevação máxima para a classe, que é de 8%. Em relação ao perfil vertical, o gradiente vertical máximo para a rodovia é de 4,5%, o valor mínimo de k para curvas de crista é 48 e o valor mínimo de k para curvas de afundamento 32. A distância mínima de visibilidade de parada é de 85 metros (DNIT, 1999).

Em sequência, o *software* de tecnologias BIM e SIG foi utilizado para determinação das características geométricas efetivamente ocorrentes no segmento implantado em estudo. Utilizou-se por base um modelo digital do terreno georreferenciado, em conjunto com informações relativas às características das vias existentes. A versão do *software* utilizada neste estudo foi a 18.1.36.0 (Autodesk Inc., 2018), a qual baseia-se nas normativas da *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*. Assim, quando se gera um modelo é possível a determinação de algumas características como alinhamento, velocidade diretriz e valores estimados para os raios de curvas horizontais e perfil vertical, conforme exemplo apresentado na Figura 3.

Figura 24 - Detalhe de alinhamento e perfil no *software* Infracore

Adicionalmente, se conduziu uma análise de distâncias de visibilidade na totalidade do segmento estudado, para distâncias de parada em ambas as direções da via. Com relação a distâncias de ultrapassagem, uma vez que a colisão frontal não se verificou como um acidente recorrente nos *hotspots* analisados, a mesma não foi simulada nos pontos específicos estudados. Existem dois algoritmos no *software* para a realização da análise de visibilidade: abrangendo toda a seção da estrada ou analisando cada ponto localizado individualmente. Em teoria, se existente, o *software* também mostraria zonas de acidentes em qualquer lugar na seção da estrada selecionada. Inicialmente, todo o segmento foi analisado para distâncias de parada, seguido de uma análise para cada *hotspot* de acidentes.

A concordância tridimensional foi analisada no modelo 3D pela comparação das geometrias horizontal e vertical com os exemplos de defeitos de traçado apresentados na Tabela 1.

4. RESULTADOS

Com relação ao alinhamento horizontal, os raios de curvas foram verificados por meio do alinhamento fornecido pelo *software* a partir do modelo digital do terreno, utilizando as ferramentas de criação de traçado para conferência da geometria. Verificou-se que o primeiro *hotspot* está localizado em uma tangente, assim como o terceiro. O segundo *hotspot*, embora localizado no início de uma curva, possui um raio maior que o mínimo exigido pela classe de projeto. O quarto *hotspot* está localizado no início de curvas conjuntas,



das quais o raio da segunda curva é ligeiramente menor do que o raio mínimo requerido para a classe.

Com relação ao perfil vertical, a partir do alinhamento vertical gerado a partir do modelo foi possível analisar a linha de greide implantada. Verificou-se que os três primeiros *hotspots* estão localizados em um segmento homogêneo, com 7 falhas de projeto relacionadas à linha de greide em perfil vertical, ao longo de 3 quilômetros consecutivos (os elementos específicos são apresentados na Tabela 2). No quarto *hotspot*, no km 201, não se verificaram problemas no perfil vertical, apresentando uma linha de greide com pequena declividade e seguida por uma curva com parâmetro k elevado.

Tabela 17 - Detalhamento de defeitos de traçado no alinhamento horizontal da BR-135/BA

Elemento	Início		Km de inflexão	Final		Ext. (m)	Defeito
	Km	Declividade		Km	Declividade		
Aclive	183,8	4,66%	-	184,22	4,66%	420	Declividade >4,5%
Curva convexa	184,22	4,66%	184,34	184,46	0,54%	240	Valor de k < 48
Curva côncava	184,68	0,54%	184,78	184,88	4,39%	200	Valor de k < 32
Declive	184,88	4,59%	-	185,1	4,59%	220	Declividade >4,5%
Curva convexa	185,1	4,59%	185,34	185,56	-3,99%	460	Valor de k < 48

Elemento	Início		Km de inflexão	Final		Ext. (m)	Defeito
	Km	Declividade		Km	Declividade		
Declive	185,56	-3,99%	-	185,92	-3,99%	360	Declividade >4,5%
Curva côncava	185,92	-3,99%	185,96	186	-3,16%	80	Valor de k < 32

A simulação de distâncias de visibilidade de parada do segmento como um todo resultaram em diversos pontos de falha de visibilidade e zonas de acidentes. Para os *hostspots* de acidentes verificados pela base de dados da PRF, verificou-se que há falha de visibilidade no entorno do primeiro *hotspot*, no km 184. As distâncias de visibilidade para cada *hotspot* estão apresentadas na Tabela 3, para ambos os sentidos de tráfego.

Tabela 18 - Resultados da análise de visibilidade para os Hotspots de acidentes

Hotspot	Sentido Barreiras – São Desidério		Sentido São Desidério - Barreiras	
	Visibilidade	Distância	Visibilidade	Distância
1	Falha de visibilidade	29,6 m	Zona de acidente	30,0 m
2	Visibilidade livre	1790,9 m	Visibilidade livre	1791,6 m
3	Visibilidade livre	205,9 m	Visibilidade livre	202,85 m
4	Visibilidade livre	35,1 m	Visibilidade livre	329,2 m

Em relação à concordância tridimensional, nem o primeiro nem o segundo *hotspots* correspondem aos defeitos de traçado listados na Tabela 1, nem se encontram em região com grande alteração das características do ambiente implantado, apresentando taludes reduzidos. Já o terceiro *hotspot* está localizado em tangente com variações no perfil vertical, defeito de traçado denominado de “Abaulamentos”. A Figura 4 mostra o modelo 3D do local, em comparação com o exemplo de defeito de traçado apresentado pela FGSV.



Figura 25 - Defeito de concordância tridimensional de “Abaulamento” no Km 186

O quarto *hotspot* apresenta curva horizontal iniciando em região elevada, seguida por uma curva horizontal com afundamento vertical, defeito de concordância tridimensional denominado de “Mergulho raso”. A Figura 5 mostra o modelo 3D do ponto, em comparação com o exemplo de defeito de traçado apresentado pela FGSV.



Figura 26 - Defeito de concordância tridimensional de “Mergulho raso” no Km 201



4.1. Discussões

O modelo gerado pelo Infracworks a partir de superfície do terreno apresentou diversas características para o segmento estudado. Inicialmente, o sistema classificou a velocidade diretriz do segmento como 45km/h em função da geometria implantada. Sendo a BR-135/BA no subtrecho estudado uma rodovia de Classe IB, a velocidade compatível com o tráfego de usuários da via deveria ser 80 km/h.. Embora o programa utilize normativas de projeto americanas da AASHTO, as quais diferem das normalizadas pelo DNIT, nota-se uma diferença de quase 50% entre a velocidade diretriz encontrada pelo programa e a esperada para a classificação da via.

No que tange à geometria horizontal, o alinhamento fornecido pelo Infracworks resultou em valores estimados para o raio da curva muito abaixo do raio mínimo exigido para a Classe IB. Em uma análise detalhada do alinhamento, verificou-se que os parâmetros do *software* simplificam o eixo em curvas circulares de pequeno raio, aplicando tangentes entre as curvas de raio maior. Dessa forma, os raios fornecidos pelo *software* não são confiáveis. Tal erro explica o fato de a classificação da velocidade diretriz fornecida pelo *software* apresentar tão significativa diferença da velocidade diretriz esperada, apontando um erro de sensibilidade do *software* ao vetorizar as curvas horizontais. Numa análise visual não paramétrica da imagem de satélite, pôde-se constatar que embora nem todas as curvas estejam acima do raio mínimo para a velocidade diretriz de 80km / h, a maioria se encontra de acordo. Quanto aos *hotspots* analisados, aparentemente o de número quatro, no km 201 pode apresentar um problema com a geometria horizontal, pois sua próxima curva parece ter um raio menor que 210 metros. Entretanto, para confirmação do raio exato se faz necessário medição topográfica.

No que se refere ao perfil vertical, apesar da imprecisão do modelo digital de elevação da base de dados cartográfica, a linha de greide estimada pelo *software* permitiu uma análise razoavelmente detalhada dos parâmetros geométricos da via existente. Os *hotspots* 1, 2 e 3 encontram-se em local onde o perfil vertical não atende à normalização prevista pelo DNIT, em relação à declividade de rampas. No *hotspot* número 4 não foram encontrados defeitos de projeto no perfil vertical apresentado.

Em relação à análise de visibilidade, pode-se perceber que o *hotspot* com maior quantidade de acidentes, o *hotspot* de número 1 no km 184, se encontra em uma região classificada como zona de acidente devido à pequena distância de parada. Nenhum dos

outros *hotspots* retornou problemas de visibilidade na análise. Esse resultado pode significar que o algoritmo não encontrou o problema nesses pontos ou que a falta de visibilidade não é a causa dos acidentes ocorridos nesses pontos.

5. CONCLUSÕES

O modelo gerado no *software* Infraworks forneceu informações suficientes para a identificação de defeitos de traçado nos pontos críticos de acidentes estudados. Foi possível a identificação de inconsistências geométricas que podem estar contribuindo para a recorrência de acidentes nos pontos estudados. No que diz respeito à análise da geometria, as estimativas horizontais para o raio da curva não se mostraram precisas, entretanto verificou-se que as contribuições mais relevantes do Infraworks nesta análise foram a vetorização de alinhamento e o perfil vertical a partir do modelo de terreno e informações paramétricas das vias locais. Embora se reconheça que qualquer *software* de tecnologia SIG poderia fornecer as informações relativas ao terreno, os parâmetros estimados da linha de inclinação do perfil vertical, assim como o alinhamento predefinido editável, demonstraram ser úteis na análise e puderam ser convenientemente obtidos devido ao design paramétrico fornecido pela associação com o BIM. Na análise das distâncias de visibilidade, nota-se que as zonas de acidente obtidas pelo algoritmo do Infraworks não correspondem inteiramente aos pontos de acesso de acidente. Como muitos fatores podem afetar a ocorrência de acidentes, a análise não foi conclusiva, uma vez que a distância de visibilidade pode não ser um fator causador de acidentes nos pontos analisados. Já para a avaliação da concordância, a visualização simultânea dos perfis horizontais e verticais, juntamente com o modelo tridimensional, permitiu um melhor entendimento da geometria, facilitando o processo de identificação de falhas de projeto.

No entanto, deve-se notar que, embora o objeto deste estudo seja uma rodovia brasileira, o *software* utilizado classifica as estradas de acordo com os parâmetros americanos da AASHTO, ao invés das instruções do DNIT. Essa diferença pode ocasionar divergências leves nos resultados, que não foram considerados neste estudo devido às semelhanças nas duas regulamentações. Seria interessante, entretanto, que novos estudos abordassem essa questão.



REFERÊNCIAS

DER-SP, Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. Secretaria de Transporte. **Instrução de Projeto IP-DE-F00 / 001**, São Paulo, 2006.

DNER, Departamento Nacional de Tecnologia Rodoviária. **Manual da Junta de Desenvolvimento de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais, IPR-706**, Rio de Janeiro 1999.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes do Brasil. **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários, Escopo Básico / Instruções de Serviço**. Departamento Nacional de Tecnologia Rodoviária, IPR-726, Rio de Janeiro, 2006.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. e Liston, K., 2008. **Manual BIM: Um guia para modelagem de informações de construção para proprietários, gerentes, designers**. ISBN: 978-0-470-18528-5

FGSV, **Richtlinien für die Anlage von Strassen (RAS), Teil: Linienführung (RAS - L)**, Ausgabe 1995.

Inc., **Autodesk. (2018). Infracore 360**. Software versão 2018.

Lee, Shu Han. **Introdução ao Projeto de Estradas Geométricas**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2013.

Londres, Kerry; Singh, Vishal; Taylor, Claudelle; Gu, Ning; Brankovic, Ljiljana. **Estrutura de suporte à decisão de projeto de modelagem de informações de construção**. Association of Construction Management Researchers (ARCOM), 2008, Cardiff, Reino Unido.

PRF, **Polícia Rodoviária Federal Brasileira**, URL: <<https://www.prf.gov.br/portal/acesso-a-informacao/servico-de-informacao-ao-cidadao-sic>>. Acesso em 15 set 2019

Rafiee, A., Dias, E., Fruijtier, S. e Scholten, H., 2014. **Do BIM à geo-análise: Visualização da cobertura e análise de sombra pela integração BIM / GIS**. Procedia Environmental Sciences, 22, pp.397-402.

Van Deursen W.P.A. 1995. **Sistemas de Informação Geográfica e Modelos Dinâmicos**. Ph.D. tese, Utrecht University, NGS Publication 190, 198 pp.