

SIMULAÇÃO DE ALTERNATIVAS OPERACIONAIS DE UM SEGMENTO ESPECIAL DE AUTOESTRADA ATRAVÉS DO SOFTWARE VISSIM

Felipe Caleffi

Yann Moisan

Helena Beatriz Bettella Cybis

Fernando Dutra Michel

Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Fábio Hirsch

Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S/A - CONCEPA

RESUMO

Este texto apresenta o esforço de simulação e calibração através do software Vissim de um segmento especial de autoestrada com o objetivo de analisar alternativas operacionais. O trecho em estudo possui um segmento que apresenta um aumento no número de faixas devido a uma estrutura de pedágio onde não há paradas e nem obrigatória redução de velocidades. O trecho também possui velocidades e intensidades de fluxo diferentes para cada faixa de tráfego, e um aumento do número de trocas de faixa em virtude do alargamento decorrente da praça de pedágio. A calibração do modelo foi um estágio importante da modelagem, pois este é um segmento com características especiais que não é naturalmente reproduzido pelo simulador. O tempo de *headway* entre os veículos, a agressividade nas trocas de faixa, e nas acelerações e desacelerações, foram os parâmetros com maior influência na modelagem. Dados coletados através de filmagens e de coletores com laços indutivos foram usados para calibrar e validar o modelo de simulação.

ABSTRACT

This paper presents a simulation and calibration effort of the software Vissim for a special segment of freeway with the aim of analyzing operational alternatives. The section under study has a segment which shows an increase in the number of lanes due to a toll structure where there are no stops and no reduction of mandatory speeds. The section also has different flow and velocities for each traffic lane, and an increasing number of lane changes due to an enlargement in the toll plaza. The calibration of the model was an important stage of modeling, because this is a segment with special features that are not naturally reproduced by the simulator. The headway time between vehicles, the aggressiveness in lane changes, and in accelerations and decelerations, are the parameters that influence most the model. Data collected through filming and collectors with inductive loops were used to calibrate and validate the simulation model.

1. INTRODUÇÃO

A micro simulação é uma ferramenta capaz de reproduzir diversos cenários reais de tráfego, e é amplamente usada na elaboração de estudos e desenvolvimento de projetos em engenharia de transportes. Os modelos de simulação são especialmente úteis quando as estratégias em análise exigem novas construções ou investimentos onerosos. No entanto, a chave para

avaliações de sucesso depende da validade do modelo de simulação microscópica (Park e Qi, 2006).

Este artigo apresenta a análise de um segmento especial de autoestrada com uma praça de pedágio, onde não há paradas e nem obrigatória redução de velocidades. Neste segmento existe um aumento do número de faixas, e interferência causada pelo acesso a um posto de conveniência. Devido ao estreitamento das faixas nas cancelas remanescentes da estrutura de cobrança, há uma natural redução de velocidade. Uma discussão sobre este aumento no número de faixas para compensar a redução de velocidades é apresentada, a fim de analisar os impactos causados pela redução do número de faixas ao final do segmento de pedágio. Cenários de simulação com o aumento do número de faixas no segmento de pedágio, e cenários em que não há o aumento do número de faixas são modelados, a fim de analisar os efeitos que a praça de pedágio tem sobre o trecho em estudo.

A porcentagem de ocupação das faixas na praça de pedágio varia de acordo com a intensidade de fluxo. Esta variação gera perturbação no final deste segmento especial, onde a autoestrada volta a ter um número menor de faixas de rolamento. Além da praça de pedágio, existe um segmento normal de autoestrada com três faixas de rolamento, em que as velocidades médias e intensidades de fluxo são diferentes para cada faixa de tráfego. O esforço de modelagem apresentado neste artigo tem como objetivo representar as características de comportamento do trecho em estudo, estudar o comportamento da rodovia nos períodos que antecedem os congestionamentos, e investigar os efeitos da redução do número de faixas ao final da praça de pedágio no comportamento de todo o trecho em estudo.

2. ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso, foi selecionado o segmento correspondente aos quilômetros 09 a 20 da rodovia BR-290. Neste trecho em estudo, há uma praça de pedágio localizada após o km 19 que possui quatro faixas de rolamento, e uma quinta faixa para acesso a um posto de conveniência. O restante do trecho em estudo possui três faixas de rolamento. Cada faixa de rolamento possui largura de 3,75 metros cada. Os limites de velocidade para o trecho em estudo são de 110 km/h para veículos leves e 90 km/h para veículos pesados. A Figura 1 apresenta o segmento de rodovia da praça de pedágio. A primeira faixa da esquerda é chamada de Faixa 1, sucessivamente até a primeira faixa da direita, chamada de Faixa 4.



Figura 1: Segmento de rodovia da praça de pedágio

Visualmente, é possível notar que o comportamento do tráfego na rodovia não é homogêneo. Cada faixa de tráfego possui médias de velocidades, intensidades de fluxo e composições de tráfego diferentes. Os softwares de micro simulação, com seus parâmetros *default*, distribuem de forma uniforme entre as faixas de tráfego as velocidades, intensidades de fluxo e as composições. Com isso, os modelos de simulação não são capazes de reproduzir naturalmente o trecho em estudo, fazendo-se necessário um esforço de calibração para representar de forma satisfatória as características presentes na rodovia.

Na praça de pedágio, existe isenção de pagamento, e com isso não há paradas obrigatórias. Devido ao estreitamento das faixas nas cancelas remanescentes da estrutura de cobrança, há uma natural redução de velocidade. Esta redução das velocidades gera ondas de choque em períodos de grande intensidade de fluxo, e as ondas de choque se propagam a montante causando perturbações em grande extensão da autoestrada. Outro ponto com potencial para gerar congestionamentos é a redução do número de faixas existente após a praça de pedágio, onde a rodovia volta a ter três faixas de tráfego.

2.1 Levantamento de Dados

Os dados foram extraídos de coletas feitas através de laços indutivos e de filmagens, realizadas nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2012. A rodovia recebe elevados fluxos no período do verão e, com isso, acontecem as maiores variabilidades de velocidades e intensidades de fluxo. Esse fluxo elevado é proveniente da rodovia RS030, que tem cruzamento com a BR290 no km 01, e da BR101. Ambas fazem a ligação do litoral a BR290. Foram coletados dados sobre velocidades e fluxos para automóveis, caminhões, ônibus. Dados de coletores com laços indutivos são provenientes do km 09, e os coletados através de filmagens são provenientes de uma câmera instalada na praça de pedágio. A Figura 2 apresenta a relação fluxo velocidade para observações do mês de Fevereiro, coletadas no km 09, onde há três faixas de tráfego. A composição de dados está agrupada em intervalos de 5 minutos.

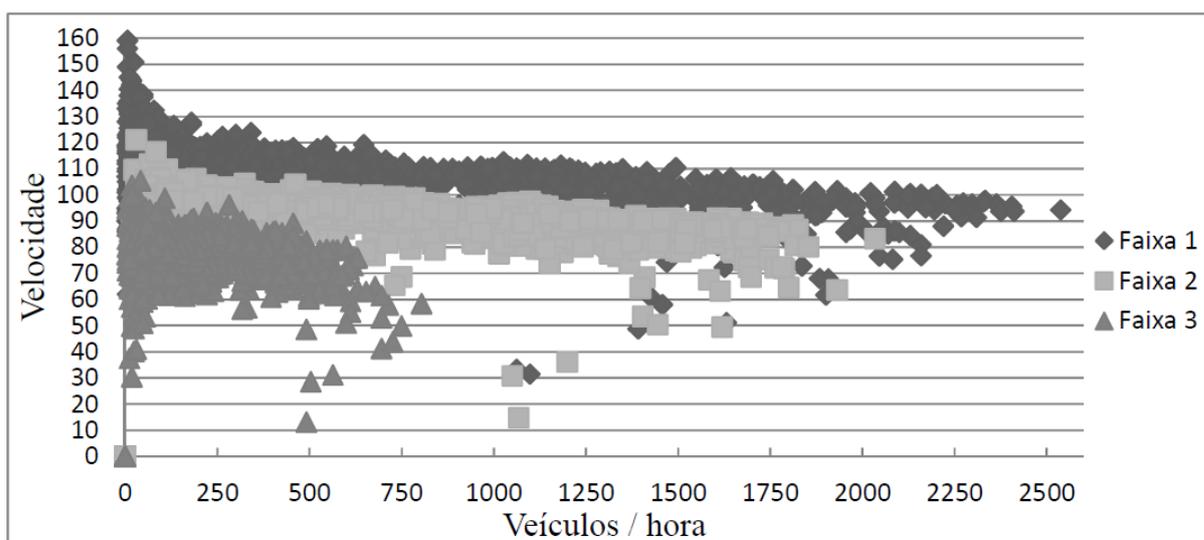


Figura 2: Relação fluxo velocidade para observações do mês de Fevereiro, coletadas no km 09

Existe uma diferença significativa entre as velocidades e intensidades de fluxo das três faixas. A primeira faixa da esquerda – Faixa 1, apresenta as maiores velocidades e volumes, enquanto a Faixa 3 apresenta as menores velocidades e volumes. Um ponto importante é o fato de que a Faixa 3 recebe grande parte do tráfego de caminhões e ônibus, o que influencia na redução da intensidade de fluxo e das velocidades, uma vez que os limites de velocidade são diferentes para veículos leves e pesados. Nesta faixa também predominam o tráfego de veículos leves lentos que trafegam com velocidades muito inferiores às regulamentadas.

A Tabela 1 apresenta as velocidades de fluxo livre dos veículos, a partir dos dados coletados através do km 09. Estas velocidades de fluxo livre são necessárias para calibração do modelo de simulação, a fim de representar as velocidades desejadas dos condutores.

Tabela 1: Velocidades de fluxo livre dos veículos

| | Velocidade Mínima (km/h) | | | Velocidade Média (km/h) | | | Velocidade Máxima (km/h) | | |
|-----------|--------------------------|---------|---------|-------------------------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|
| | Faixa 1 | Faixa 2 | Faixa 3 | Faixa 1 | Faixa 2 | Faixa 3 | Faixa 1 | Faixa 2 | Faixa 3 |
| Automóvel | 80,0 | 61,0 | 58,0 | 111,88 | 96,72 | 84,38 | 160,0 | 144,0 | 144,0 |
| Caminhão | 77,0 | 68,0 | 54,0 | 94,75 | 85,58 | 82,50 | 114,0 | 113,0 | 122,0 |
| Ônibus | - | 82,0 | 77,0 | - | 89,45 | 89,39 | - | 101,0 | 104,0 |

A Tabela 2 apresenta as porcentagens dos fluxos e as velocidades máximas, médias e mínimas dos veículos nas quatro faixas da praça de pedágio, para baixos volumes de tráfego. A porcentagem de veículos que entram no acesso ao posto de conveniência é de 3%. À medida que as intensidades de fluxo aumentam, as porcentagens dos fluxos das Faixas 1 e 2 tendem a ser equivalentes, e cada uma das faixas passam a ter cerca de 30% do fluxo. O mesmo acontece para as Faixas 3 e 4, que passam a ter cerca de 20% do fluxo cada. Isto ocorre devido ao fato de que para baixos volumes, os veículos fazem poucas trocas de faixa, e com isso a Faixa 4 é pouco usada. Com o aumento do volume, os veículos tendem a se distribuir entre todas as faixas, com o objetivo de evitar filas e aumentar sua velocidade.

Tabela 2: Porcentagens dos fluxos e velocidades médias na praça de pedágio, para baixas intensidades de fluxo

| | Veículos/hora (%) | Velocidade Mínima (km/h) | Velocidade Média (km/h) | Velocidade Máxima (km/h) |
|---------|-------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Faixa 1 | 36,65 | 50,0 | 72,45 | 100,0 |
| Faixa 2 | 32,40 | 47,0 | 71,02 | 111,0 |
| Faixa 3 | 18,79 | 43,0 | 60,06 | 95,0 |
| Faixa 4 | 9,16 | 47,0 | 63,94 | 87,0 |

3. PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO NO VISSIM

A calibração é uma etapa fundamental na simulação de tráfego. Na calibração, são definidos os ajustes dos parâmetros do modelo para refletir com precisão as condições prevalentes da rede viária. Os parâmetros de calibração com maior impacto na modelagem são usualmente a agressividade na troca de faixas dos veículos, o comportamento de *car following*, aceitação de brechas, escolha de rotas e, distribuições de velocidade e aceleração dos veículos (Woody, 2006).

Através de uma revisão de trabalhos de modelagem, Gettman e Head (2003) aponta que o Vissim possui um melhor controle de intersecções e de trocas de faixa, além de possuir um maior número de parâmetros de *car following*, se comparado aos softwares Corsim, Simtraffic, Hutsim, Paramics, Integration, Aimsun, Watsim e Texas. Um bom controle de troca de faixas e de *car following* é essencial para a modelagem deste estudo, uma vez que para altas intensidades de fluxo estes parâmetros possuem grande influência no comportamento do trecho em estudo.

O algoritmo de *car following*, desenvolvido por Wiedemann (1974), apresenta características psicofísicas, enquanto as trocas de faixas são determinadas por um algoritmo baseado em regras. O Vissim possui dois algoritmos de *car following*, um para tráfego urbano e um para tráfego rodoviário. O modelo também usa uma função com distribuição estocástica de velocidades desejadas, peso e potência dos veículos completamente editável (PTV, 2010). Estas distribuições de velocidades permitem uma representação mais adequada do comportamento dos veículos, conforme os dados observados.

O Vissim possui um modelo algoritmo de *car following* específico para rodovias representado pelo modelo de Wiedemann-99, versão atualizada do algoritmo de Wiedemann-91, onde a velocidade e a proximidade com que veículos trafegam são variáveis predominantes na determinação de capacidades. Detalhes do modelo são apresentados por Wiedemann e Reiter (1991) e Fellendorf e Vortisch (2001). De acordo com PTV (2010), o modelo de *car following* Wiedemann-99 possui dez parâmetros ajustáveis:

- CC0: Distância de parada, em metros; É a distância desejada entre o veículo líder e veículo seguidor à velocidade de 0 km/h;
- CC1: Tempo de *headway*, em segundos. É o tempo desejado em segundos, entre o veículo líder e veículo seguidor;
- CC2: Variação de *following*, em metros. Restringe a oscilação longitudinal da distância de segurança entre os veículos, sendo um incremento de espaçamento para a distância de segurança desejada;
- CC3: Espaçamento para entrar em *following*, em segundos. É o tempo antes de o veículo iniciar a desaceleração para atingir a distância de segurança;
- CC4 e CC5: Limites de *following* positivo e negativo. Parâmetro adimensional, e influencia a aproximação entre o veículo seguidor e o veículo líder, controlando a diferença de aceleração entre estes dois veículos;
- CC6: Velocidade dependente da oscilação. Representa a influência da distância na oscilação da velocidade dos veículos no processo de *following*;
- CC7: Oscilação da Aceleração. É a aceleração real durante o processo de oscilação;
- CC8: Aceleração quando parado. É a aceleração desejada de um veículo quando este estiver começando a se movimentar;
- CC9: É a aceleração desejada a 80 km/h.

A literatura reporta diversos estudos envolvendo a calibração do modelo Vissim para ambientes rodoviários. Segundo Vallati (2010), os parâmetros de *car following* CC0, CC1, CC2, CC4 e CC5, além do parâmetro “fator de redução de distância segura” contido nos parâmetros de troca de faixas são considerados importantes para modelagem. O “fator de redução de distância segura” reflete na agressividade dos condutores quando estão efetuando troca de faixas. Gomes et. al. (2004) e Lownes e Machemehl (2006), sugerem que os parâmetros de *car following* CC0, CC1, CC4 e CC5, e as “desacelerações máximas” nos parâmetros de trocas de faixas são suficientes para modelar de forma satisfatória os ambientes rodoviários. Manneni et. al. (2008), sugere que os parâmetros de *car following* CC1, CC2, CC3, CC4 e CC5 sejam calibrados.

Em uma revisão da calibração dos parâmetros de *car following* do software Vissim para este mesmo trecho de estudo, Oliveira e Cybis (2008) identificaram como relevantes para calibração os parâmetros CC0, CC1, CC4 e CC5. Este estudo de Oliveira e Cybis (2008) foi conduzido para intensidades de fluxo entre 2312 veic./hora e 2680 veic./hora, e serviram de base para a análise de sensibilidade dos parâmetros de comportamento dos condutores realizada para calibração deste estudo de caso.

4 CALIBRAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Para a calibração do estudo de caso não foram alteradas características *default* dos veículos como tamanho, potência, peso, e perfis de acelerações e desacelerações. Como o trecho em estudo apresentou dois segmentos com comportamentos distintos durante a coleta de dados, o modelo de simulação foi calibrado com duas distribuições de velocidades desejadas. O primeiro segmento, que inicia no km 09 e segue até a praça de pedágio, apresentou distribuições de velocidade cujas velocidades são apresentadas na Tabela 1. O segundo segmento, que representa a praça de pedágio, recebeu as distribuições de velocidade que são apresentadas na Tabela 2.

Os parâmetros de comportamento dos condutores calibrados neste estudo de caso foram àqueles indicados pela bibliografia como importantes para a representação de ambientes rodoviários.

4.1 Análise de Sensibilidade dos Parâmetros de Comportamento dos Condutores

Uma análise de sensibilidade foi conduzida para os parâmetros de comportamento dos condutores, com o objetivo de determinar quais parâmetros têm o maior impacto sobre a modelagem do trecho em estudo. Foram realizadas análises para os parâmetros de troca de faixas e para os parâmetros de *car following*. Esta análise foi feita através de uma combinação dos parâmetros apontados na bibliografia como importantes para a representação de ambientes rodoviários. Simulações com combinações de valores destes parâmetros foram feitas para encontrar os valores que melhor representam o trecho em estudo para altas intensidades de fluxo.

Em virtude da limitação de dados, a análise da adequação dos parâmetros de calibração foi realizada visualmente, através das imagens produzidas pelas filmagens. Os dados coletados

com laços indutivos, utilizados para a validação do segmento básico da rodovia, são provenientes de apenas um ponto do trecho em estudo – km 09.

Através desta análise, foi detectado que os parâmetros de troca de faixas e de *car following* que influenciam na modelagem são: “desacelerações máximas” e o “fator de redução de distância segura” para troca de faixas, e; CC0, CC1, CC4 e CC5 para *car following*.

4.1.1 Troca de Faixas

A análise de sensibilidade conduzida sobre os parâmetros de troca de faixas no Vissim foi realizada para melhor representar o comportamento dos condutores na área de redução de faixas no final da praça de pedágio, e nas trocas de faixas que acontecem principalmente no início da praça de pedágio onde ocorrem as reduções das velocidades. Foram testadas várias taxas de “desaceleração máxima” dos veículos para determinar o efeito destas desacelerações no ponto onde há a redução do número de faixas ao final da praça de pedágio. O parâmetro “fator de redução de distância segura” sofreu modificações com o objetivo de encontrar o valor que melhor representa a agressividade dos condutores durante trocas de faixa. Este parâmetro é fundamental para a modelagem, pois a agressividade dos condutores neste estudo de caso possui uma diferença significativa se comparada ao parâmetro *default* do Vissim. A Tabela 3 apresenta os parâmetros de troca de faixas que foram modificados, bem como seus respectivos valores *default*.

Tabela 3: Parâmetros de troca de faixas modificados

| | Default (m/s ²) | | Modificados (m/s ²) | |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| | Própria | Veículo ao lado/atrás | Própria | Veículo ao lado/atrás |
| Desaceleração Máxima | -4,00 | -3,00 | -5,50 | -4,00 |
| | Default | | Modificado | |
| Fator de Redução de Distância Segura | 0,6 | | 0,2 | |

4.1.2 Car Following

Uma análise de sensibilidade foi conduzida no modelo de *car following* Wiedemann-99 para determinar os parâmetros que influenciam na modelagem e seus valores. Os parâmetros que demonstraram ter influência no desempenho do modelo foram: CC0, CC1, CC4 e CC5. Os parâmetros CC2 e CC3, apontados por Manneni et. al. (2008) e Vallati (2010) como importantes, tiveram seus valores *default* mantidos, pois a análise de sensibilidade não demonstrou influência sobre o desempenho do trecho em estudo. Os parâmetros CC6, CC7, CC8 e CC9 também sofreram variações e não demonstraram ter influência na modelagem e, com isso, foram mantidos seus valores *default*. A análise de sensibilidade realizada neste trabalho adotou os limites utilizados no estudo de Oliveira e Cybis (2008), no qual os valores dos parâmetros CC0 variaram de 1,45 a 1,70; CC1 de 0,80 a 1,40 e; CC4 e CC5 de 0,25 a 2,00.

Os parâmetros CC0 e CC1 foram os que demonstraram ter maior influência na capacidade. Devem-se usar valores menores do que o valor *default* em CC0 para simular cenários de

congestionamento, pois este parâmetro representa a distância em que um condutor deseja manter atrás de um veículo parado. Portanto, em cenários de congestionamento, esta distância de parada é um valor significativo.

Os parâmetros CC4 e CC5 têm influência na agressividade dos condutores em relação à aceleração e desaceleração. Quanto menor for este valor, mais sensível é a reação do condutor às mudanças de velocidade e direção dos veículos ao seu redor. A Tabela 4 apresenta os parâmetros de *car following* que foram modificados, e seus respectivos valores *default*.

Tabela 4: Parâmetros de *car following* que foram modificados

| | Default | Modificados |
|-----|---------------|---------------|
| CC0 | 1,50 metros | 1,70 metros |
| CC1 | 0,90 segundos | 1,10 segundos |
| CC4 | -0,35 | -0,25 |
| CC5 | 0,35 | 0,25 |

4.2 Comentários Gerais Sobre o Processo de Calibração

Cenários de simulação com baixas, médias e altas intensidades de fluxo foram modelados. Para os cenários de simulação com baixas e médias intensidades de fluxo os parâmetros de calibração demonstraram não ter tanta influência na modelagem. Para altos volumes, os parâmetros de calibração possuem influência significativa na modelagem, principalmente na capacidade e na representação das trocas de faixa.

Para baixas e médias intensidades de fluxo os veículos trafegam na maior parte do tempo com bastante liberdade, permitindo aos condutores imprimir velocidades próximas da desejada. Conseqüentemente, as trocas de faixas acontecem com maior facilidade e os parâmetros de *car following* passam a ter menor impacto devido às condições confortáveis de tráfego. O único parâmetro que demonstrou ter influência significativa na modelagem de baixas e médias intensidades de fluxo foi o parâmetro de troca de faixas “fator de redução de distância segura”, pois ele é importante para representar a agressividade dos condutores nas trocas de faixa e ultrapassagens.

Como parte do processo de codificação do modelo, foram definidas as distribuições de velocidades desejadas para as diversas categorias de veículos com base nos dados de velocidade coletados em condição de fluxo livre. Esta codificação das distribuições é fundamental para representar de forma satisfatória o trecho em estudo, uma vez que na maior parte do tempo os veículos trafegam em condições confortáveis de tráfego, e os parâmetros de *car following* e troca de faixas tem menor impacto na modelagem.

5. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

A Figura 3 apresenta a relação fluxo velocidade para o estudo de caso modelado no Vissim, para o trecho correspondente ao km 09, onde há três faixas de tráfego.

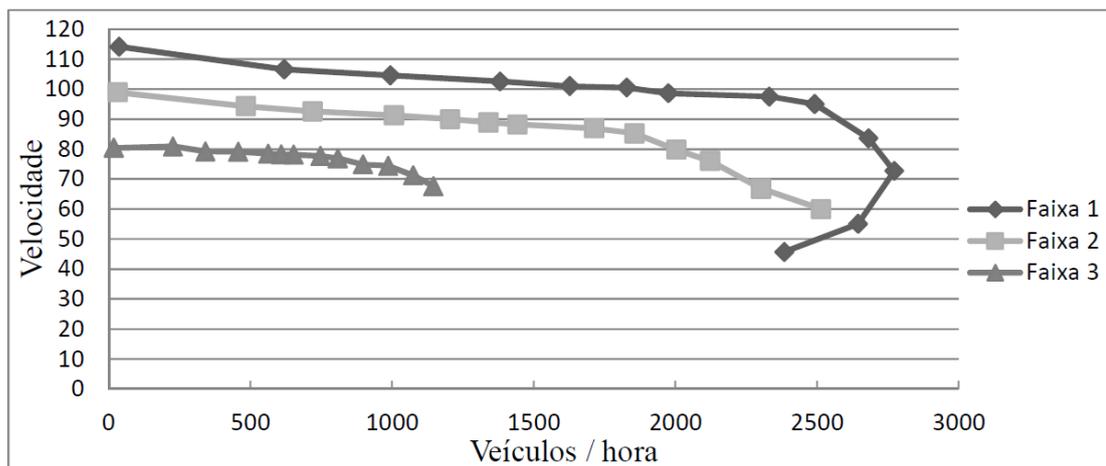


Figura 3: Relação fluxo velocidade para o estudo de caso modelado, correspondentes ao trecho do km 09.

Nota-se que as médias de velocidade para a Faixa 3 possuem pouca variação, independente da intensidade do fluxo. Nas outras faixas, é possível notar que com o aumento do volume, as médias de velocidade reduzem significativamente. A Faixa 3 possui pouca variação porque para baixos volumes as médias de velocidade já são menores, devido ao fato de que predominam nesta faixa veículos pesados, e veículos leves lentos, que trafegam com velocidades bem inferiores às velocidades máximas regulamentadas.

Foram modelados dois cenários de simulação, chamados de “Cenário A” e “Cenário B”. O Cenário A corresponde ao modelo de simulação onde há o aumento do número de faixas no segmento de pedágio, com este trecho possuindo quatro faixas para o tráfego. O Cenário B corresponde ao modelo onde a quarta faixa é fechada para o tráfego, e com isso todo o trecho em estudo passa a ter três faixas de tráfego, não havendo mais a redução do número de faixas no final da praça de pedágio. Estes cenários foram modelados para investigar os efeitos que a praça de pedágio, e o aumento no número de faixas, têm sobre o trecho em estudo. A Figura 4 apresenta a relação fluxo velocidade para o trecho modelado referente às cancelas de pedágio, com três e quatro faixas abertas para o tráfego.

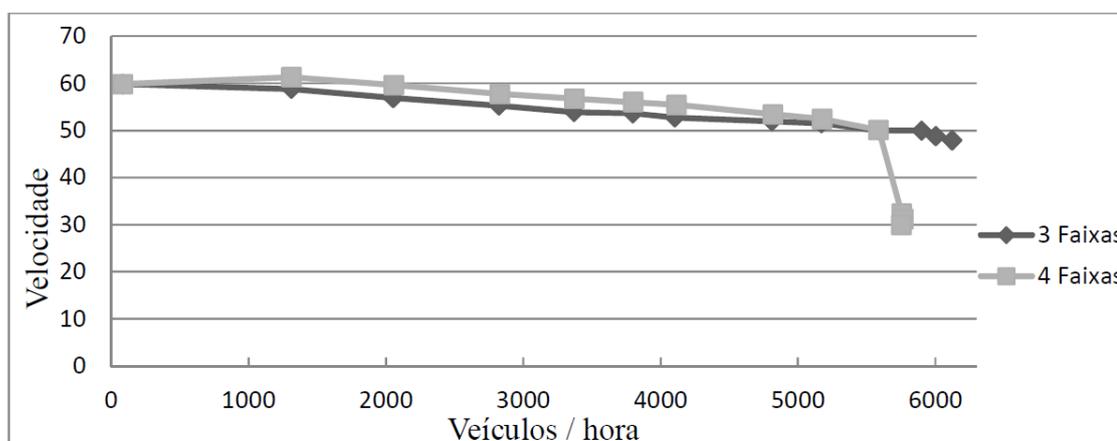


Figura 4: Relação fluxo velocidade para o trecho modelado referente às cancelas de pedágio

Com quatro faixas abertas para o tráfego, há uma redução significativa nas velocidades para altas intensidades de fluxo. Isso ocorre porque para altos volumes a quarta faixa recebe cerca de 20% do volume de tráfego, e com isso aumentam os conflitos no ponto onde há a redução do número de faixas, gerando redução nas velocidades. O mesmo não ocorre quando apenas três faixas estão abertas, pois assim a praça de pedágio passa a ter a mesma quantidade de faixas de tráfego que os outros segmentos. Com apenas três faixas abertas o número de trocas de faixa e a probabilidade de conflitos entre os veículos diminui, e as velocidades para altos volumes são maiores, aumentando a capacidade. A Figura 5 apresenta a relação fluxo velocidade, no ponto onde há redução no número de faixas na praça de pedágio, com três e quatro faixas abertas para o tráfego.

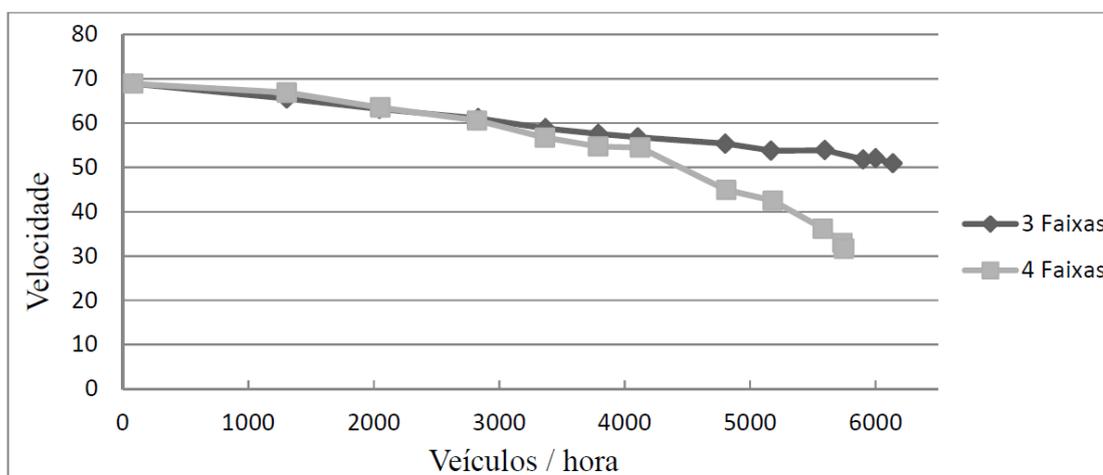


Figura 5: Relação fluxo velocidade no ponto onde há redução no número de faixas na praça de pedágio

O uso da quarta faixa também causa redução nas velocidades para altos volumes. Esta redução é causada através do conflito originado pelos veículos que necessitam fazer a conversão da Faixa 4 para as demais, pois neste ponto a rodovia volta a ter três faixas de tráfego. Como não há conflito no final da praça de pedágio com apenas três faixas abertas, as velocidades para altos volumes é maior, bem como a capacidade, pois neste ponto os conflitos deixam de acontecer e os condutores já estão retomando suas velocidades desejadas.

O uso da quarta faixa no segmento de pedágio tem efeito nas velocidades e na capacidade de todo o trecho em estudo. Com a Faixa 4 aberta, as reduções de velocidade na praça de pedágio e, principalmente os efeitos causados pela redução do número de faixas, aumentam a probabilidade de ocorrer ondas de choque e congestionamentos, reduzindo as velocidades e a capacidade. Para baixas e médias intensidades de fluxo, manter a quarta faixa aberta ou fechada não altera o comportamento do modelo, e as médias de velocidade são semelhantes no trecho em estudo. Porém, para altos volumes, o uso da quarta faixa reduz a capacidade e as médias de velocidade devido aos impactos desta faixa no segmento de pedágio. A Figura 6 apresenta a relação fluxo velocidade modelada para todo o trecho em estudo.

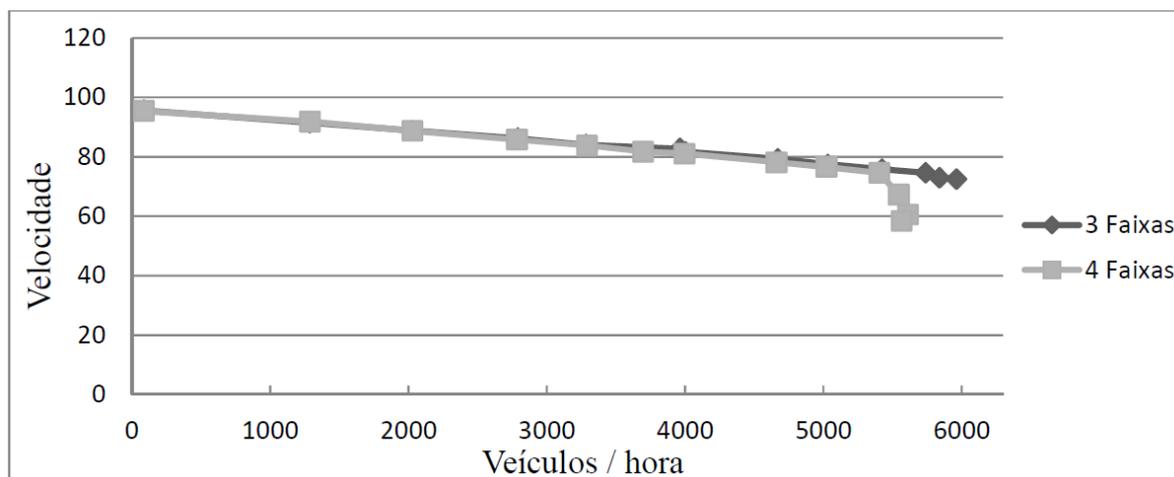


Figura 6: Relação fluxo velocidade modelada para todo o trecho em estudo

Quando a intensidade de fluxo atinge valores acima de 5000 veic./hora, as velocidades começam a reduzir significativamente quando a quarta faixa é usada para tráfego na praça de pedágio. É neste período que ocorrem o início dos congestionamentos, e onde os parâmetros de *car following* e trocas de faixa têm sua maior influência na modelagem.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma revisão sobre a calibração e simulação do software Vissim, analisando o comportamento da modelagem em um estudo de caso de um segmento especial de autoestrada com uma praça de pedágio, onde não há paradas e nem obrigatória redução de velocidades. Este trabalho fornece orientação quanto aos parâmetros de calibração que precisam ser modificados para obter uma modelagem que possa representar de forma fiel ambientes rodoviários com as características deste trecho em estudo. Foram modelados dois cenários de simulação, com aumento no número de faixas no segmento de pedágio – Cenário A, e sem o aumento no número de faixas no segmento de pedágio – Cenário B.

A modelagem de simulação realizada indica que a praça de pedágio tem grande influência no desempenho do trecho em estudo. É através da redução das velocidades originadas pela estrutura de pedágio, e principalmente da redução do número de faixas existente no final deste segmento, que ocorrem as ondas de choque e conseqüentemente os congestionamentos. Ao manter a quarta faixa fechada para tráfego no segmento de pedágio – Cenário B, os conflitos originados por esta redução do número de faixas são eliminados e a probabilidade de congestionamentos diminui, além de aumentar as médias de velocidade e a capacidade de todo o trecho em estudo.

Um fator importante para o bom desempenho do modelo é a calibração das trocas de faixa que acontecem na praça de pedágio. Neste segmento as trocas de faixa se intensificam, devido ao aumento e posterior redução do número de faixas, e à redução das velocidades causadas pelas cancelas. A calibração dos parâmetros de *car following* para altos volumes, assim como a calibração das velocidades desejadas são outros fatores com grande influência no desempenho da modelagem. A validação da calibração do estudo de caso foi conduzida através de comparações dos dados simulados com a análise dos dados de filmagens, e de

dados dos coletores com laços indutivos. Através desta validação, é possível concluir que os cenários de simulação demonstraram bom comportamento, representando de forma satisfatória o trecho em estudo.

Com a crescente introdução da cobrança eletrônica em praças de pedágio, estudos de casos semelhantes podem ser reproduzidos em estruturas de pedágio que passem a realizar uma crescente proporção de cobranças eletrônicas, reduzindo a necessidade da parada de veículos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido em parceria envolvendo a Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S/A – CONCEPA, o Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, através da verba de recursos de desenvolvimento tecnológico. Os autores agradecem, assim, a todos os envolvidos nesta parceria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fellendorf, M. e P. Vortisch (2001) Validation of the Microscopic Traffic Flow Model Vissim in Different Real-World Situations. *80th Annual Meeting, Transportation Research Board*, Washington, D.C., USA.
- Gettman, D. e L. Head (2003) *Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models*. Federal Highways Administration, Publication Number: FHWA-RD-03-050, USA.
- Gomes, G., May, A. e Horowitz, R. (2004) A Microsimulation Model of a Congested Freeway using Vissim. *Transportation Research Record 1876, TRB, National Research Council*, Washington D.C., pp.71-81, USA.
- Lownes, N. e Machemehl R. (2006) Sensitivity of Simulated Capacity to Vissim Driver Behavior Parameter Modification. *Proceedings of the 85th Annual Meeting, TRB*, Washington D.C., USA.
- Manneni, S., Sun, C. e P. Vortisch (2008) An Integrated Microscopic and Macroscopic Calibration for Psycho-Physical Car Following Models. *Proceedings of the 88th Annual Meeting, TRB*, Washington D.C., USA.
- Oliveira, M. L. e H. B. B. Cybis (2008) Revisão da Experiência de Calibração do Software Vissim Aplicado a um Estudo de Caso de Autoestrada Brasileira. *VIII Seprosul – Semana de Engenharia de Produção Sul-Americana*, Bento Gonçalves, Brasil.
- Park, B. and H. Qi (2006) Microscopic Simulation Model Calibration and Validation for Freeway Work Zone Network – A Case Study of Vissim. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, Toronto, Canada.
- PTV (2010) *Vissim User Manual – V.5.30*. Karlsruhe, Alemanha.
- Vallati, M. (2010) *Slip Ramp Spacing Design for Truck Only Lanes Using Microscopic Simulation*. Missouri University of Science and Technology, Tese de Mestrado, USA.
- Wiedemann, R. (1974) *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8, Alemanha.
- Wiedemann R. e U. Reiter (1991) *Microscopic Traffic Simulation: The Simulation System Mission*. PTV America Library, Acesso em 08/06/2012, disponível em:
<http://www.ptvamerica.com/fileadmin/files_ptvamerica.com/library/1970s%20Wiedemann%20VISSIM%20car%20following.pdf>
- Woody, T. (2006) *Calibration Freeway Simulation Models in Vissim*. Final Research Report, University of Washington, Seattle, USA.