

AVALIAÇÃO DO CONTROLE DE ACESSO EM RODOVIAS ATRAVÉS DE MICRO-SIMULADOR DE TRÁFEGO

João Paulo de Sousa

Werner Kraus Junior

Universidade Federal de Santa Catarina
Departamentos de Automação e Sistemas

RESUMO

O fenômeno da restrição temporária da capacidade devido à dinâmica do tráfego em trechos com acessos laterais em rodovias urbanas é um dos causadores de congestionamento nos horários de grande movimento. O controle de acesso (*ramp metering*) é uma proposta que visa a prevenção deste fenômeno. Apresenta-se um estudo por meio de simulações que examinam o controle de acesso. Busca-se, por um lado, determinar em que medida um micro-simulador de tráfego baseado em lei de perseguição é capaz de modelar o efeito da restrição temporária e, por outro, os benefícios advindos do controle de acesso. A estratégia ALINEA de controle é implementada nas simulações. Um trecho de uma rodovia hipotética, onde há a presença de um acesso lateral, foi usado para o estudo, realizado em ambiente de micro-simulação, SITRA-B.

ABSTRACT

The phenomenon of temporary restriction of capacity due to the dynamics of traffic near lateral entrances (ramps) or urban highway is one of the major causes of congestion. Ramp metering is a proposal for the prevention of this phenomenon. It is presented a simulation study that examines such control action. The aim is, on the one hand, to determine the extent by which a micro-simulator tool based on car following rules is able to model temporary restriction and, on the other hand, the benefits of ramp metering. The ALINEA strategy of control is implemented in the simulations. A sector of a hypothetical highway with a lateral access is used for the study, having been implemented in the SITRA-B micro-simulation environment.

1. INTRODUÇÃO

As rodovias próximas aos centros urbanos caracterizam-se por um fluxo intenso de veículos e um número relativamente grande de acessos laterais para a entrada e saída de veículos. Com isso, nos momentos de pico, algumas regiões próximas a estes acessos tornam-se congestionadas, pois o fluxo de veículos suportado pela rodovia é ultrapassado devido a dois motivos:

- restrição física da capacidade da rodovia;
- restrição temporária devido a dinâmica do tráfego.

A solução do problema da restrição física depende da expansão da capacidade física da rodovia e não será tratada neste artigo científico. Já a restrição temporária, devido à dinâmica do tráfego, pode ser atenuada com o uso do controle de acesso (*ramp metering*), que é capaz de estabelecer um regime operacional próximo da capacidade da rodovia (Papageorgiou, 2000).

Para que seja justificado o uso do controle de acesso em rodovias, é necessário identificar-se a dinâmica que provoca a restrição temporária da mesma. Para isso, considere uma rede de tráfego com fluxos de entrada surgindo de vários lugares e com fluxos de saídas para vários destinos (ver figura 1)

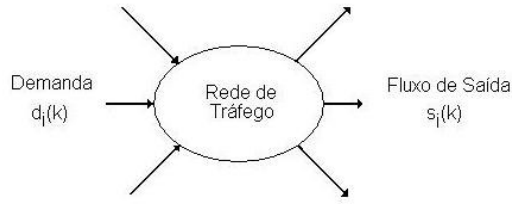


Figura 1: Rede de Tráfego (Papageorgiou, 2000)

Todos os veículos que entram na rede saem da mesma (os veículos não surgem e nem desaparecem dentro da rede). Assume-se também que os volumes de tráfego dentro da rede, suas distribuições temporais e espaciais são independentes de qualquer medida de controle usada nesta mesma rede.

Para medir o desempenho da rede de tráfego, interessa saber o tempo médio necessário para que os motoristas passem por esta rede. É evidente que este tempo médio de percurso (*TMP*) dos motoristas será maior se, por algum motivo, os fluxos de saída estiverem temporariamente menores. Observando novamente a figura 1, vê-se que o fluxo total de veículos que entram na rede (em veic/h) é: $d(k)=d_1(k)+d_2(k)+\dots+d_i(k)$. Assumindo que $d(k)$, $k=0,\dots, k-1$ é independente de qualquer medida de controle usada na rede, definem-se os fluxos de saídas $s_i(k)$, $i=1, 2,\dots$, e o total de fluxos de saídas $s(k)=s_1(k)+s_2(k)+\dots+s_i(k)$. O objetivo é aplicar uma ação de controle para minimizar o TMP da rede em um horizonte k . Este TMP é calculado de acordo com:

$$T_p = T \sum_{k=1}^K N(k), \quad (1)$$

onde $N(k)$ é o número total de veículos da rede em um tempo k . e T é o intervalo de tempo usado na simulação. Então, através da conservação de veículos, tem-se:

$$N(k) = N(0) + \sum_{\kappa=0}^{k-1} [N_{in}(\kappa) - N_{out}(\kappa)], \quad (2)$$

onde:

$N_{in}(\kappa)$ – é a quantidade de veículos que entra na rede no κ -ésimo ciclo, correspondente aos fluxos de entrada $d(k)$;

$N_{out}(\kappa)$ – é a quantidade de veículos que saem da rede κ -ésimo ciclo, correspondente aos fluxos de saída $s(k)$.

Substituindo a eq. (2) na eq. (1) e considerando as condições iniciais nulas, obtém-se:

$$T_p = T \sum_{k=1}^K \left[\sum_{\kappa=0}^{k-1} (N_{in}(\kappa) - N_{out}(\kappa)) \right]. \quad (3)$$

O resultado será o tempo médio gasto por cada veículo para passar pela rede de tráfego estudada. Se por algum motivo os veículos começam a demorar mais para sair da rede, ocorre um acréscimo no valor de T_p , pois a quantidade de veículos que entram na rede é maior do que a que sai. Com isso, o desempenho da rede de tráfego é prejudicado. É necessário salientar que este tempo médio de percurso não leva em consideração o tempo em que os veículos irão ficar parados no acesso.

2. A REDE DE TRÁFEGO ESTUDADA:

No presente estudo, a rede de tráfego é formada por uma seção de rodovia, sendo que nesta seção está contida uma via de acesso à rodovia, conforme ilustra a figura 2. Nesta figura, tem-se:

q_{in} – fluxo que entra na seção através da rodovia;
 d – fluxo de veículos que entra na rodovia através do acesso;
 q_{out} – fluxo que sai da rodovia

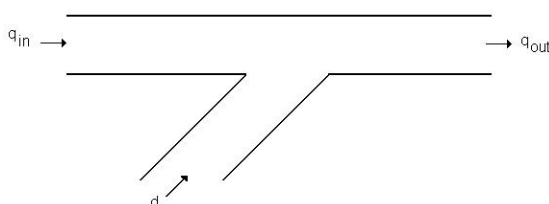


Figura 2: Rede de tráfego estudada.

A restrição temporária ocorre quando o fluxo de veículos que entram na rodovia (q_{in}) fica próximo ao seu valor crítico (q_{cap}). Com isso, a entrada de veículos a partir do acesso provoca uma redução da velocidade dos veículos a montante do acesso. Esta redução forma uma onda de choque que se propaga para trás, criando um congestionamento temporário (trecho sombreado na figura 3). Tal congestionamento acarreta numa perda de capacidade da rodovia, devido a um fenômeno dinâmico do tráfego: o fluxo de dissipação do congestionamento (q_{con}) ocorre a uma capacidade menor em relação ao fluxo de formação deste quando $q_{in} \cong q_{cap}$, onde q_{cap} é o fluxo de saturação da rodovia, ou seja, o fluxo da rodovia quando esta está com sua capacidade máxima.

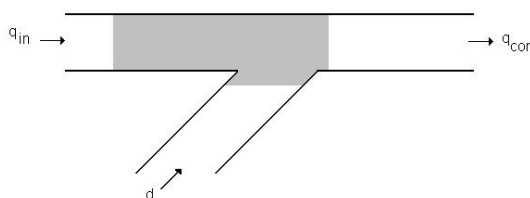


Figura 3: Congestionamento devido a entrada de veículos pelo acesso

Esta perda temporária de capacidade causa uma sub-utilização da rodovia. Por isso, o controle de acesso é usado para ordenar a entrada de veículos na rodovia e evitar a seqüência de eventos que causa o congestionamento e, conseqüentemente, manter a utilização da rodovia próxima de sua capacidade máxima.

3. AÇÕES DE CONTROLE

Uma ação de controle usada para evitar congestionamento em rodovias ou aumentar a eficiência das mesmas é o controle de acesso. Este é implementado através da instalação de semáforos nos acessos à rodovia. Quando tal ação é aplicada, o tráfego passa a ter um fluxo mais constante, devido à ordenação dada no acesso, evitando assim a restrição temporária e mantendo a utilização da rodovia na sua capacidade máxima. A figura 4 mostra o comportamento desejado do tráfego após a implementação da ação de controle.

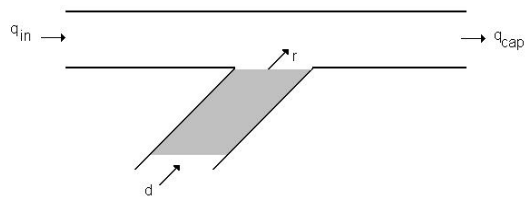


Figura 4: Estado da rodovia com o controle de acesso.

É claro que uma fila (parte destacada da figura 4) é criada no acesso. Porém, o fluxo de saída q_{cap} é maior que q_{con} (ver figura 3) devido à não formação da restrição temporária da capacidade. Isto faz com que o tempo total despendido na seção considerada seja menor do que os valores obtidos na rodovia e no acesso sem a ação de controle.

4. A ESTRATÉGIA DE CONTROLE DE ACESSO ALINEA

ALINEA (Papageorgiou, 1991) é uma estratégia para controle de acesso em rodovias baseada em uma estrutura realimentada derivada do controle clássico. Esta estratégia utiliza a concentração (ou ocupância) da rodovia como dado de entrada. É usado somente um sensor para medir a concentração a cerca de 40 metros depois do acesso. A figura 5 demonstra melhor esta estratégia.

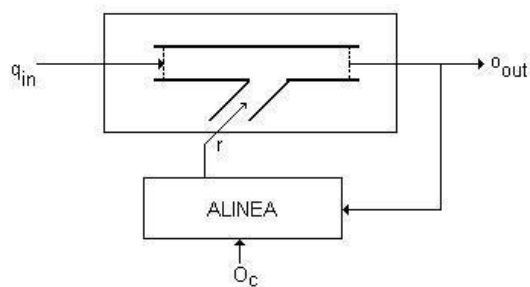


Figura 5: Diagrama da estratégia ALINEA

A equação usada para determinar o volume que será liberado pelo acesso é:

$$r(k) = r(k-1) + K_R [o_c - o_{out}(k)], \quad (4)$$

onde:

$r(k)$ - fluxo de veículos liberado na rampa durante o período de tempo k ;

$r(k-1)$ - fluxo de veículos liberado na rampa durante o período de tempo anterior, $k-1$;

K_R - parâmetro de ajuste (ganho constante);

o_c - concentração desejada na rodovia, geralmente um pouco abaixo da concentração crítica;

$o_{out}(k)$ - concentração medida no período de tempo k .

Pode-se observar que, se o fluxo (q_{in}) que entra no trecho é constante, então, de acordo com a lei de realimentação, o_c será igual a o_{out} ($o_c = o_{out}$) em regime permanente. Em outras palavras, seja qual for o valor de fluxo de entrada (q_{in}) constante, a estratégia fará a concentração de veículos na saída do trecho ser a desejada, desde que a soma dos fluxos q_{in} e r (figura 4) seja suficientemente alta para sustentar uma concentração o_c .

5. AMBIENTE DE MICRO-SIMULAÇÃO SITRA-B

O SITRA-B (Sodit, 2000) é um software de simulação dedicado ao problema do tráfego veicular. A simulação do tráfego é microscópica, ou seja, representa o tráfego considerando os veículos individualmente.

O comportamento dos veículos na rede resulta principalmente da integração, a passo de tempos constante, da equação diferencial - chamada lei de continuação ou lei do acompanhamento - que fornece a aceleração de um veículo a partir do comportamento do veículo precedente. Divide-se a duração de uma simulação em intervalos de tempo, ou passo, que correspondem a uma discretização do tempo.

Os tempos de execução das simulações dependem do número de veículos tratados à cada momento de simulação. Este número depende ao mesmo tempo da dimensão e demanda da rede. Um dos principais interesses do SITRA-B é a sua independência no que diz respeito as estratégias de controle testadas. Ao se testar uma estratégia, não é necessário alterar ou compilar o SITRA-B. Estas estratégias são executadas externamente, mas devem em contrapartida, satisfazer ao protocolo de comunicação imposto pelo SITRA-B: a comunicação faz-se graças a mecanismos de sincronização que asseguram a validade das informações trocadas entre o SITRA-B e as estratégias de controle.

6. O MODELO DE SIMULAÇÃO

A figura 6 representa a rede de tráfego simulada. Ela é a seção de uma rodovia onde há a presença de um acesso lateral de veículos. Nesta rede de tráfego simulada, há todos os quesitos necessários para observar o fenômeno da restrição temporária devido a dinâmica do tráfego e o comportamento do controle do acesso através da estratégia ALINEA.

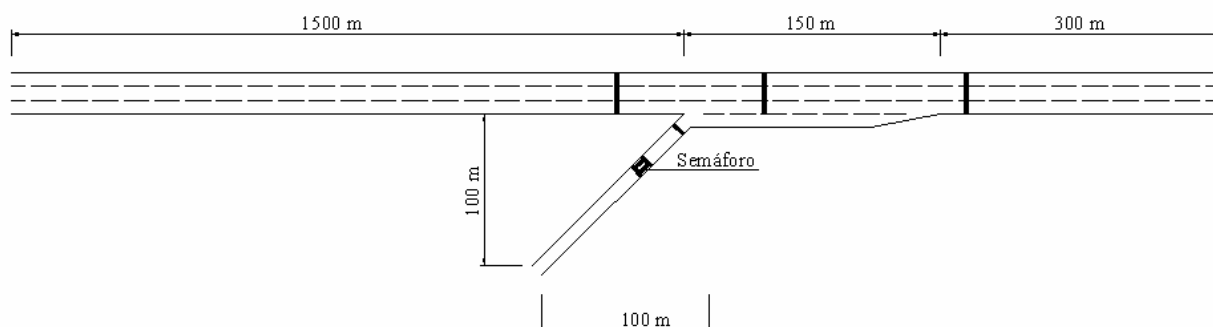


Figura 6: Rede de tráfego simulada

Cada uma das faixas, tanto da rodovia quanto do acesso, possui 5 metros de largura. Portanto, a rodovia possui uma largura total de 15 metros enquanto o acesso possui uma largura total de 5 metros. Estes valores, apesar de não usuais, não interferem na dinâmica aplicada pelo modelo matemático do SITRA-B, a qual baseia-se unicamente no fluxo de saturação definido pelo usuário. A velocidade máxima permitida na rodovia é de 100 Km/h, enquanto no acesso a velocidade máxima permitida é de 80 Km/h. Por isso, logo após o acesso, há a presença de uma pista de aceleração para que os carros que vêm do acesso possam atingir a velocidade máxima da rodovia de forma segura. O fluxo de saturação de cada faixa é de 1800 veic/h. Isto faz com que o fluxo de saturação da rodovia seja igual a 5400 veic/h, e o fluxo de saturação do acesso seja de 1800 veic/h.

Ao todo foram utilizados quatro sensores do tipo laço magnético, possuindo cada um deles uma largura de 1 metro. Três deles (S_M , S_C , S_J) servem para medir o fluxo de veículos que entram e saem da rede de tráfego. O sensor S_A é usado para medir a ocupação da rodovia 40

metros após o início do acesso. Este sensor S_A é utilizado pela estratégia de controle para determinar a ocupação da rodovia e assim determinar o fluxo de veículos liberados do acesso para a rodovia. A figura 7 mostra de forma mais adequada a posição de cada um dos sensores na rede de tráfego.

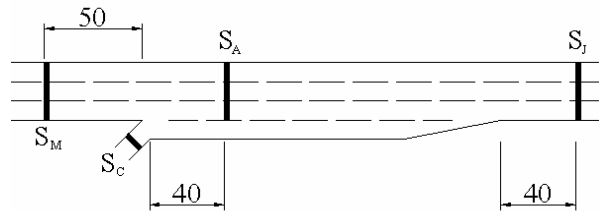


Figura 7: Posição dos sensores na simulação.

O sensor S_M está colocado a 50 metros antes do acesso. Ele mede o fluxo de veículos a montante do acesso. O sensor S_C está colocado no acesso, a 5 metros antes da saída do mesmo. O sensor S_J localizado a 40 metros após a pista de aceleração, mede o fluxo de veículos a jusante da rodovia.

Ao serem determinadas as características físicas da via, obtém-se o diagrama fluxo x ocupação para que seja determinada a ocupação crítica da rodovia e, com isso a ocupação de referência que será utilizada pela estratégia ALINEA. Esta ocupação trata-se da porcentagem de tempo que o sensor permaneceu ocupado no período de um segundo. Para o levantamento da curva fluxo x ocupação, introduzem-se veículos na rodovia e no acesso através de etapas, sendo que em cada etapa o fluxo total de veículos é acrescido de 200 veic/h na entrada da rodovia e em 300 veic/h na entrada do acesso. Antes da mudança do fluxo entre as etapas, mede-se o fluxo e a ocupação dos sensores na rodovia, sendo tais informações guardadas em arquivos para serem posteriormente utilizadas na criação do diagrama. Isso foi realizado até ambos os fluxos (da rodovia e do acesso) atingirem o valor de saturação. Na figura 8 é mostrado o diagrama fluxo x ocupação da rede de tráfego simulada, para a posição do sensor S_M .

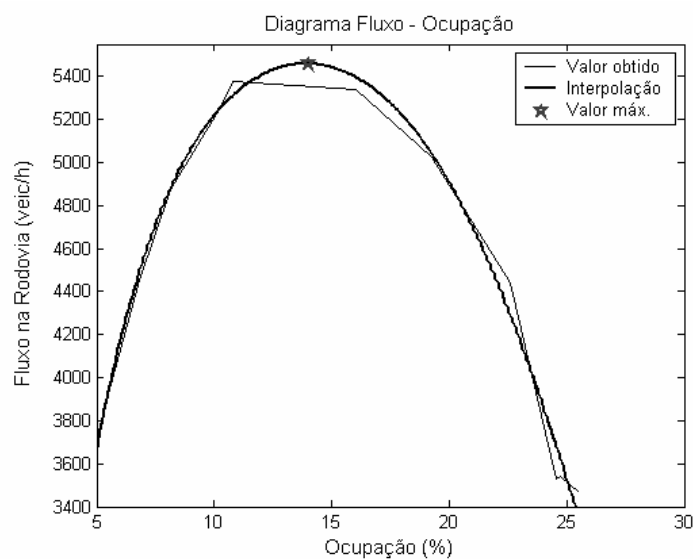


Figura 8: Diagrama fluxo–ocupação da rede de tráfego

Para se determinar com maior precisão o valor da ocupação crítica da rodovia, foi realizada uma interpolação de quinto grau da curva obtida através da ferramenta computacional Matlab (Mathworks, 2004). Foi determinado o valor máximo do fluxo da rodovia, 5520 veic/h, correspondendo à ocupação crítica de 14%. Observe que há uma pequena discrepância entre o fluxo de saturação e o fluxo máximo obtido pela interpolação. Contudo, o principal objetivo deste diagrama é a obtenção da ocupação crítica da rodovia que será utilizada pela estratégia ALINEA.

7. RESULTADOS OBTIDOS

O tempo total de simulação foi de 7200 segundos, o que equivale a duas horas. O fluxo de veículos que entram na rodovia é mantido constante em 5000 veic/h. No acesso, o fluxo inicial é de 1000 veic/h. A cada 15 minutos o fluxo de veículos que entra no acesso é acrescido em 250 veic/h até que se atinja o valor de 1750 veic/h. Após atingir este valor, o fluxo de veículos no acesso permanece flutuando entre 1500 e 1750 veic/h até o fim da simulação.

Os dados são adquiridos constantemente, sendo que no fim de cada ciclo do semáforo (fixado em 50 segundos), é calculado o novo tempo de verde a ser aplicado no acesso através da média aritmética das ocupações medidas no sensor S_A . O tempo de verde é calculado por:

$$g(k) = g(k-1) + K'_R [o_c - o_{out}(k)] \quad (5)$$

onde:

$g(k)$ – é o tempo de verde aplicado na rampa durante o período de tempo k ;

$g(k-1)$ – é o tempo de verde aplicado na rampa durante o período de tempo anterior, $k-1$;

K'_R – é o novo parâmetro de ajuste (ganho constante);

o_c – concentração desejada na rodovia, geralmente um pouco abaixo da concentração crítica;

$o_{out}(k)$ - concentração medida no período de tempo k .

O novo parâmetro de ajuste (K'_R) é calculado por:

$$K'_R = K_R \cdot \frac{c}{r_{sat}}, \quad (6)$$

onde:

K_R – parâmetro de ajuste (ganho constante) do ALINEA;

c – ciclo do semáforo;

r_{sat} – fluxo de saturação da rodovia.

Limites máximos e mínimos de tempo de verde foram aplicados para que a simulação permanecesse de acordo com as boas práticas da engenharia de tráfego. O tempo mínimo de verde é de 12 segundos. Quando o novo valor de verde é menor que 6 s, opta-se por manter o semáforo com indicação vermelha durante todo o ciclo. Quando o valor de verde é maior que 6 s, o semáforo permanece verde durante 12 s no ciclo (valor de verde mínimo). Ou seja,

$$g(k) = \begin{cases} 0 & \text{para } g' \leq 6s \\ 12 & \text{para } g' > 6s \\ g' & \text{para } g' \geq 12s \end{cases} \quad (7)$$

com isso, observando a equação 7, obtemos o novo valor de $g(k)$ sendo que g' é o valor de $g(k)$ calculado pela equação 5.

Duas simulações foram realizadas. Na primeira, a estratégia ALINEA é utilizada e, na segunda, não há a aplicação de ação de controle. Os resultados obtidos após as simulações podem ser observados na tabela 1. É necessário lembrar que o valor da ocupação de referência o_c tem que ser menor que o valor de ocupação crítica da rodovia, ou seja, menor que 14%. Após simulações com vários valores menores que o da ocupação crítica, foi determinado que o melhor valor para o_c é de 13%.

Tabela 1: Resultado das simulações

Ciclo	Posição	Fluxo ALINEA (veic/h)	Fluxo Sem Controle (veic/h)	Dif. entre Fluxos (%)	TMP ALINEA	TMP Sem Controle	Dif. entre TMP (%)
50 s	Montante	4786	4111	14,10%	22,5 seg.	31 seg.	27,42%
	Acesso	761	1360	-44,04%			
	Jusante	5525	5440	1,54%			

Nota-se, na tabela 1, que o tempo médio de percurso de cada veículo que entra na rede de tráfego controlada é 27% menor que o valor do tempo médio de percurso dos veículos da simulação sem controle. Isso demonstra que os veículos da simulação em que o controle de acesso é aplicado trafegam pela rede com velocidade média maior do que os veículos do caso em que não há a ação de controle. Isso é justificado porque, na rede de tráfego controlada, o fenômeno da restrição temporária da capacidade da rodovia é amenizado. Por isso, a quantidade de veículos que percorrem a rede controlada é maior. Nos casos simulados, a diferença a montante (sensor antes do acesso) foi de 675 veic/h, ou 14% maior a favor da estratégia de controle. A diferença a jusante (depois do acesso) foi de 85 veic/h, ou 1,54% a mais. Contudo, percebe-se que os veículos que entraram na rodovia através do acesso são “sacrificados” pois o fluxo do acesso da rede controlada é 44,04% menor do que o caso sem controle.

A ação de controle é observada através dos tempos de verde que são aplicados ao acesso. Na figura 9, tais valores são plotados para cada ciclo. No início da simulação, os valores de verde são altos; contudo, de acordo com o aumento do fluxo de entrada na rede de tráfego (figura 10) estes valores diminuem gradativamente até atingirem a saturação (12s), em alguns casos. Estes valores de saturação foram obtidos devido ao fato do fluxo que era aplicado tanto no acesso quanto na rodovia estarem muito próximos do valor de saturação, ou seja, casos extremos. Na figura 9 podemos perceber que, após atingir o valor de regime (33 minutos após o início da simulação), a ação de controle varia entre 12 e 20 segundos durante toda a simulação. Uma interpolação utilizando-se a ferramenta computacional Matlab é sobreposta para facilitar a observação do comportamento da curva.

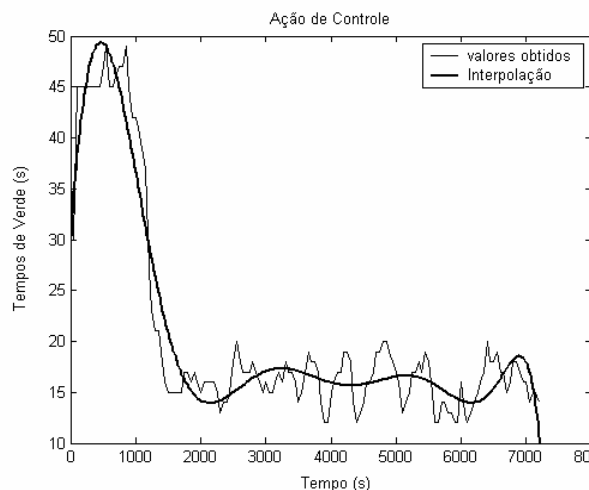


Figura 9: Tempos de verde (ação de controle)

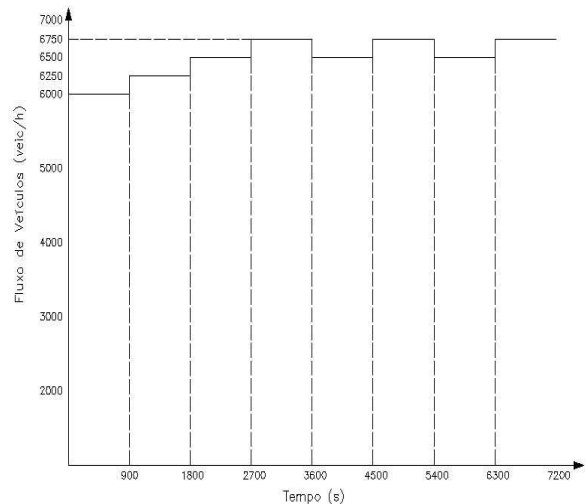


Figura 10: Variação do fluxo de entrada da rodovia

Durante as simulações, surgiram evidências de que o simulador SITRA-B possui um modelo de inserção (*merging*) de fluxos muito tolerante. Ou seja, ao realizar a inserção dos fluxos de veículos que vinham da rodovia e da pista de aceleração, foram detectadas colisões que foram ignoradas pelo simulador. A figura 10 apresenta uma dessas colisões que foram detectadas. Por isso, os resultados obtidos a respeito dos casos estudados podem ser melhores do que os obtidos, caso estes mesmos casos sejam simulados com uma ferramenta computacional que seja mais rígida a respeito das colisões que podem ocorrer no momento da inserção de fluxos. Em particular, o pequeno ganho global observado no fluxo total de veículos, de 1,54% de acordo com a tabela 1, deveria ser muito maior caso o micro-simulador modelasse com precisão o distanciamento entre veículos no trecho da inserção de fluxos. Também, os altos volumes necessários no acesso para provocar o aparecimento de engarrafamento seriam substituídos por fluxos menores.

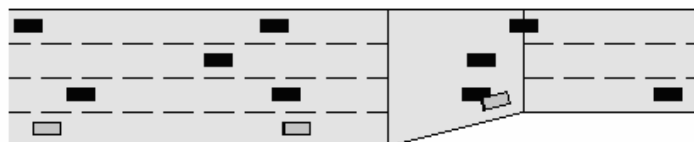


Figura 11: Colisões toleradas pelo SITRA-B

O fato da pouca rigidez na inserção de fluxos levou ao uso de uma avaliação do desempenho mais tolerante, ao se desprezar o tempo perdido no semáforo. Isto, pois, para que o fenômeno possa ser observado no simulador SITRA-B, é necessário fazer com que a rede opere muito próximo da saturação, se não na própria. Isso causa um grande número de veículos parados no acesso por causa do semáforo. E o fenômeno, para ocorrer na realidade, não necessita de valores tão extremos. Ou seja, não é necessário a criação de uma grande fila no acesso para que a restrição temporária da capacidade ocorra na rodovia.

8. CONCLUSÕES

O uso do controle de acesso, através da estratégia de controle ALINEA, para prevenir a restrição temporária da capacidade de uma rodovia é uma ação de controle que permite manter o fluxo de veículos na rodovia próximo da capacidade (q_{cap}). No micro-simulador

utilizado, tal fenômeno é observado somente quando os valores dos fluxos de entrada da rodovia e do acesso estão muito próximos do seu valor de saturação. Tal situação ocorre devido a grande tolerância a colisões que há durante a inserção de fluxos, os resultados demonstraram que o fluxo de saída da rodovia é maior quando o acesso esta sendo controlado, ou seja, q_{con} que é o fluxo de saída da rodovia quando esta está sofrendo a ação da restrição temporária da capacidade é menor que q_{cap} . Já que foi observada uma diferença de 85 veic/h entre os casos, ou seja, uma diferença de apenas 1,54% entre q_{cap} e q_{con} .

A ação de controle (valores dos tempos de verde) tende a estabilizar de acordo com a entrada da rede de tráfego em regime. Conforme é observado na figura 9. Isso mostra que a estratégia do ALINEA sempre tende a compensar o erro de regime entre a ocupação desejada e a ocupação medida no sensor. O que parece muito similar a um controlador PI, que tem esta mesma característica de compensar o erro em regime.

Este estudo verificou que a ferramenta computacional SITRA-B é capaz de criar, de forma muito tolerante, o fenômeno da restrição temporária da capacidade na rodovia e também avaliar o uso do controle de acesso para evitar ou amenizar este fenômeno. Porém, não foi observado em quanto foram os prejuízos acarretados ao acesso. É possível observar que tais prejuízos são grandes já que há uma queda de 44% entre os valores do fluxo com controle e sem controle. Por isso, um estudo futuro deve considerar a questão das filas que são criadas no acesso. Alguns autores propõem o uso de sensores a uma distância tal que quando a ocupação deste sensor atinge um valor, o congestionamento é identificado e o acesso deixa de aplicar a ação de controle e passa a utilizar um tempo fixo constante, ou seja, um fluxo de veículos constante, até que o congestionamento do acesso seja eliminado e o sistema de controle volte a operar. Contudo, as condições nas quais estas mudanças são aplicadas não são detalhadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gerlough D. L. e Matthew J. H. (1975) *Traffic Flow Theory – A Monograph*. TRB, sr 165.
- Mathworks (2004); The Matlab Software Package. Mathworks, Inc., EUA.
- Papageorgiou M. e Kotsialos A. (2002) Freeway Ramp Metering: An Overview. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 3, n. 4, p. 271 – 281
- Papageorgiou M. , Diakaki C. , Dinopoulou V. , Kotsialos A. e Wang Y. (2003) Review of Road Traffic Control Strategies. *Proceedings of the IEEE*, v. 91, n. 12, p. 2043 – 20056
- Papageorgiou M. (1991) Concise Encyclopedia of Traffic & Transportation Systems, Pergamon Press
- Zhang M., Kim T., Nie X., Jin W., Chu L., Recker W. (2001) Evaluation of On-ramp Control. *Final Report for MOU 3013*, Institute of Transportation Studies, California.
- SODIT (2002) *Manuel Utilisateur Logiciel SITRA*. Société pour le Développement de l’Innovation dans les Transports, Toulouse.