

# **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PARTIDA SUSTENTÁVEL EM UMA REDE VIÁRIA DE PORTO ALEGRE POR MEIO DO MODELO SATURN**

**Tsuneyoshi Imasato**  
**Christine Tessele Nodari**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE  
Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN

## **RESUMO**

O presente artigo busca abordar os conceitos de partida sustentável (*idling stop*) de veículos automotores e avaliar seu potencial como uma alternativa de transporte sustentável. A partida sustentável é a ação de desligar o motor em momentos em que o veículo está parado havendo um consumo energético desnecessário como em interseções semaforizadas e congestionamentos. É apresentado um estudo de caso, utilizando o modelo SATURN, na qual estimaram-se a redução de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o consumo de combustível a partir da maior eficiência energética veicular apresentada pela partida sustentável. Os resultados da modelagem indicam que a realização de partida sustentável poderá proporcionar ganhos, tanto energéticos como ambientais, para grandes centros urbanos.

## **ABSTRACT**

The present paper aim to present the concepts of the idling stop of vehicles and to evaluate its potential as an option for sustainable transport. Idling stop consists of turning off the engine while the vehicle is stopped consuming energy unnecessarily, as in signal intersections and traffic congestion. A case study is presented, using the model SATURN, where estimates have been made for the reduction of carbon dioxide emissions (CO<sub>2</sub>) and consumption of fuel from the largest energy efficiency presented by the idling stops. The results of the modelling indicate that the idling stop can provide reductions in energy consumption and emissions for urban centers.

*Palavras-chave:* *idling stop*; aquecimento global; SATURN.

## **1. INTRODUÇÃO**

O aquecimento global é um fenômeno climático que vem se agravando ao longo de décadas. Cada vez mais, os governos e as organizações não governamentais de defesa ambiental estão preocupados com o aumento da temperatura média da superfície da Terra. Dessa forma, têm-se intensificado os estudos e os projetos para redução de emissões de gases que colaboram para o aquecimento global.

Para minimizar esse efeito indesejado firmou-se o Protocolo de Kyoto, um tratado internacional com compromissos rígidos para a redução da emissão dos gases que agravam o efeito estufa, considerados, de acordo com a maioria das pesquisas científicas, como a maior causa do aquecimento global. Nesse tratado, vigorado sem a ratificação dos EUA, nações industrializadas se comprometeram a reduzir suas emissões em 5,2%, em média, em relação aos níveis de 1990. Uma das principais fontes emissoras de poluentes é o setor de transportes, pois é responsável pelo grande consumo energético de um país devido ao seu intenso uso de combustíveis fósseis.

Segundo relatório da EEA (2007), a política européia de transportes se defronta com um aumento maciço de demanda de passageiros no setor de transportes. Entre 1990 e 2003, o volume do

transporte de passageiros nos países da EEA registrou um aumento de 20%. Enquanto que na maioria dos setores de energia, indústria, agricultura, gestão de resíduos, as emissões diminuíram entre 1990 e 2004, no setor de transportes as emissões registraram um crescimento devido a esse aumento da demanda.

De acordo com a EEA (2007), o setor de transportes é responsável por 21% do total das emissões de dióxido de carbono (excluindo o transporte aéreo e marítimo internacional), sendo o transporte rodoviário responsável por 93% do total das emissões do setor de transportes. Diante deste fato, a redução de emissões veiculares é uma forma eficaz de minimizar os gases lançados na atmosfera.

Em pesquisa publicada pela ECCJ (2002) testaram-se veículos automotores com o sistema de “*idling stops*” instalados. *Idling stop*, segundo essa pesquisa, é a ação de desligar o motor em momentos em que o veículo está parado havendo um consumo energético desnecessário. Situações como essa são encontradas em grandes centros urbanos onde ocorrem muitas paradas ociosas geradas por interseções semaforizadas e congestionamento. A pesquisa registrou uma economia de até 13,4% de combustível em seus veículos com o sistema de *idling stops*. Logo, o *idling stop* pode constituir uma oportunidade atraente de economia de combustível aliada à redução de emissões.

O conceito de *idling stop* ainda é recente na literatura acadêmica e carece de tradução para o português. Por não ter sido encontrado nenhum termo equivalente para traduzir “*idling stop*” na língua portuguesa, os autores propõem neste artigo a adoção de “partida sustentável” para representar esse conceito.

São poucos os estudos acadêmicos que contemplam o conceito de partida sustentável de veículos automotores. No Brasil, não foram encontrados estudos acadêmicos relacionados à partida sustentável. Todavia, as montadoras estão lançando novas tecnologias que incorporam o conceito de partida sustentável em seus veículos buscando uma nova visão de mercado.

Este artigo descreve os principais aspectos em relação à partida sustentável visando aprofundar a análise das vantagens e desvantagens de sua realização. É apresentado um estudo de caso, por meio do modelo SATURN, quantificando o impacto da implantação da partida sustentável na redução de emissões de CO<sub>2</sub> e na economia de combustível.

## **2. O CONCEITO DE PARTIDA SUSTENTÁVEL**

A partida sustentável pode ser definida como o ato de manter o motor desligado quando o veículo encontra-se parado, seja por motivo de congestionamento, sinal vermelho ou por estar estacionado. As partidas sustentáveis são eficazes não somente para poupar combustível, mas também para proteger o meio ambiente com custo reduzido e com retorno imediato. Porém, a vantagem da partida sustentável ainda não foi comprovada (Motoda e Taniguchi, 2002).

No Brasil, tanto o conceito de partida sustentável como o seu potencial econômico e ambiental é pouco conhecido. No entanto, já é possível presenciar, em alguns países, medidas contra as emissões de paradas ociosas desnecessárias por meio de campanhas preventivas e leis promulgadas. Nos EUA, aproximadamente 15 estados promulgaram as leis que restringem a

quantidade de tempo que um veículo pode rodar em marcha lenta (EPA, 2006). No Japão, além de leis que impõem um controle mais rígido, há igualmente a preocupação no transporte público de emissões veiculares de paradas ociosas. Em Tóquio, o transporte público contempla um comprometimento com o meio ambiente operando uma frota de ônibus equipada com o sistema de partida sustentável. Nesses países, as campanhas preventivas são realizadas visando minimizar as emissões de paradas ociosas principalmente de ônibus escolares, veículos leves e pesados em centros urbanos.

De forma geral, a parada ociosa pode ser classificada em dois tipos. Segundo Motoda e Taniguchi (2002), são elas:

- Parada ociosa com o veículo estacionado: a parada ociosa não contribui diretamente ao desempenho do veículo. Normalmente, os motoristas mantêm o motor ligado quando o veículo está estacionado a fim de carregar a bateria, manter ligado o ar condicionado, aquecer o motor e para evitar o ligamento e desligamento do motor com frequência.
- Parada ociosa com o veículo em movimento: a parada ociosa acontece quando há a necessidade do veículo parar em interseções semaforizadas e congestionamentos. Tais paradas não contribuem para o desempenho do veículo, mas o motor continua em movimento esperando o próximo acionamento.

Em pesquisa realizada pela OEE (1998) reportaram-se as situações de maior tempo de gasto energético em paradas de motoristas canadenses como: o aquecimento do motor, a espera em fila de *drive-through*, a espera de embarque/desembarque de pessoa ou carga e dirigindo a serviço. As principais razões para tais paradas com motor ligado foram:

- Conforto (manter-se aquecido no inverno);
- Curtas paradas (o tempo de parada não seria o bastante para desligar o motor);
- Segurança (desembaçar o vidro);
- Necessidade de espera em linha (filas de *drive-through* ou lava jato);
- Simplesmente deixou o motor ligado sem pensar no seu desligamento;
- Percepção do motorista de que deixar o motor ligado é benéfico para seu desempenho;
- Estar estacionado temporariamente em local indevido ou ilegal em espera.

## **2.1. Comparação de partida sustentável manual e automatizado**

A realização da partida sustentável pode ser realizada tanto de maneira manual quanto automática. Principalmente em centros urbanos a distinção entre elas pode ocasionar uma diferença significativa na eficiência energética do veículo automotor (Motoda e Taniguchi, 2002).

Na partida sustentável manual, o condutor pode realizá-lo manualmente girando a ignição ou por intermédio de um botão, caso o veículo tenha um sistema de partida sustentável instalado, para realizá-lo com maior comodidade. Todavia, serão necessárias habilidade e sensibilidade do motorista para o desligamento e o religamento do motor, na qual pode ocorrer partida sustentável de curta duração como em paradas originadas pelo semáforo ou congestionamento.

Na partida sustentável automatizada o veículo contém um equipamento que gerencia as condições de uso do carro e desliga automaticamente o motor quando, por longo período, o mesmo está em marcha lenta. O ligamento do motor é reconhecido a partir do acionamento dos pedais. Assim, o condutor não teria a preocupação de ambas as ações, desligamento e religamento do motor, esperando somente o momento de partida do veículo.

É possível presenciar no mercado de veículos automotores um crescente desenvolvimento de veículos com o sistema de partida sustentável. Apesar de seus benefícios econômicos e ambientais o seu custo tecnológico continua sendo um empecilho para sua propagação maciça no sistema viário de centros urbanos.

## **2.2. Aspectos em debate relacionados à partida sustentável**

Um dos principais objetivos do transporte sustentável é tornar o sistema mais eficiente racionalizando o máximo de consumo de energia para minimizar a degradação ambiental (IEA, 2004). Dessa forma, a partida sustentável ostenta um ideal de transporte sustentável, uma vez que o consumo de combustível que seria desperdiçado é diretamente proporcional a emissões de CO<sub>2</sub>. Todavia, é importante salientar que o conceito de partida sustentável é recente. Motoda e Taniguchi (2002) apresentam alguns aspectos sobre a partida sustentável que estão em discussão:

- Economia de combustível: uma quantidade adicional de combustível é necessária para ligar o motor, assim partidas sustentáveis de pouca duração podem aumentar o consumo de combustível. Porém, de acordo com as montadoras de carro, os novos modelos podem poupar combustível mesmo por partidas sustentáveis de curta duração.
- Comportamento no trânsito: a inexperiência do condutor em desligar e religar o motor pode afetar seu comportamento emocional, provocando fadiga e irritação. Este efeito pode ocasionar não somente atrasos na dissipação de filas, mas também aumentar o risco de acidentes. Uma maneira de prevenção seria a adoção do sistema automatizado de partida sustentável que gerencia as condições do veículo desligando e religando o motor sem o auxílio do condutor.
- Durabilidade das peças: freqüentes partidas sustentáveis podem encurtar a durabilidade de peças constituintes do motor. Entretanto, montadoras estão lançando modelos com sistema de partida sustentável tanto para veículos leves como para veículos pesados que visam reduzir esse problema.

Embora os estudos acadêmicos contemplem poucas pesquisas relacionadas ao efeito no motor advindo da realização freqüente de partidas sustentáveis, este artigo está focado em estimar seus benefícios, por meio do modelo SATURN, como uma alternativa de transporte sustentável. A sua adoção em veículos automotores poderá trazer uma eficiência energética significativa diminuindo o consumo de combustível e a emissão de gases na atmosfera.

## **3. O MODELO SATURN**

O SATURN – *Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks* – é um modelo computacional combinado de alocação de tráfego e simulação de estrutura mesoscópica para a análise de esquemas de gerenciamento de tráfego em redes. Ele foi concebido na década de 80 e

desde de então vem sofrendo aperfeiçoamentos em decorrência de diversos trabalhos de pesquisa realizados.

Na fase de alocação, o SATURN desempenha a função de um modelo tradicional de alocação, na qual são escolhidos os caminhos mínimos para se deslocar, em função do custo percebido pelo motorista. O modelo de simulação estima os atrasos nas interseções considerando a negociação de brechas, a programação semaforica – no caso das interseções semaforizadas, e a formação de filas. O modelo de simulação no SATURN incorpora os mesmos princípios de dispersão de pelotões do modelo TRANSYT (Van Vliet, 2007).

O SATURN estima indicadores de desempenho que permitem caracterizar o desempenho operacional do tráfego nos cenários modelados, subsidiando a elaboração e aperfeiçoamento de soluções. Por meio de modelos lineares são estimados indicadores de desempenho tanto de consumo de combustível como de emissões de poluentes. Os modelos lineares são apresentados nas próximas seções.

### 3.1. Consumo de combustível

A estimativa de consumo total de combustível aplicado pelo SATURN é demonstrada na equação 1. As variáveis de comportamento viário são fornecidas pelo modelo. São elas: a distância de viagem, o tempo de atraso, o número de paradas primárias e secundárias. Os parâmetros de consumo de combustível basearam-se em dados *default* do modelo (Van Vliet, 2007).

$$f = FLPK \times d + FLPH \times t_q + FLPPS \times s_1 + FLPSS \times s_2 \quad (1)$$

Em que:

- $f$ : é o consumo total de combustível em litros / período modelado;
- $d$ : é a distância de viagem total em veículo-quilômetros / período modelado;
- $t_q$ : é o tempo total de parada ociosa veículo-horas / período modelado;
- $s_1$ : é o número de paradas primárias por veículo / período modelado;
- $s_2$ : é o número de paradas secundárias por veículo / período modelado;
- $FLPK, FLPH, FLPPS, FLPSS$ : são parâmetros de consumo de combustível.

O elemento de simulação existente no SATURN não representa a progressão exata de cada veículo em movimento. Assim, é estimado o número de vezes em que os veículos executam paradas primárias e secundárias visando representar o movimento de aceleração e desaceleração na rede como um todo. As paradas primárias são paradas obrigatórias originadas pelas regras de controle das interseções (placas de “pare” ou semáforos). As paradas secundárias visam representar o processo de aceleração e desaceleração do veículo em filas.

### 3.2. Emissão de CO<sub>2</sub>

A quantificação da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é semelhante à utilizada na estimativa do consumo de combustível. O modelo linear é função de variáveis comportamentais do sistema viário apresentadas na equação 2. Os parâmetros de emissão de dióxido de carbono basearam-se em dados *default* do modelo (Van Vliet, 2007).

$$E = (a_1 \times d + a_2 \times t_c + a_3 \times t_q + a_4 \times s_1 + a_5 \times s_2) \times V \quad (2)$$

Em que:

- $E$ : é a quantidade do poluente emitido / período modelado;
- $d$ : é a distância do arco;
- $t_c$ : é o tempo médio de viagem em cruzeiro no arco / período modelado;
- $t_q$ : é o tempo de parada ociosa em filas nas interseções / período modelado;
- $s_1$ : é o número de paradas primárias por veículo / período modelado;
- $s_2$ : é o número de paradas secundárias por veículo / período modelado;
- $V$ : é o fluxo de veículos / período modelado;
- $a_1, a_2, \dots$ : são parâmetros de emissão de CO<sub>2</sub>.

A estimativa de paradas primárias e secundárias não é suficiente para representar todos os modos de operação (em cruzeiro, parado, acelerando e desacelerando) dos veículos em qualquer ponto da via. Elas são capazes de contabilizar mudanças nas dinâmicas veiculares apenas em interseções. Isto ocorre porque para cada parada efetuada por um veículo, está associada uma desaceleração e aceleração para a retomada do movimento. Além desta, outras hipóteses são assumidas pelo modelo. Todos os veículos possuem as mesmas taxas de aceleração e desaceleração. Existe apenas uma taxa de emissão para os veículos, independentemente da velocidade, temperatura do motor e tipo de veículo, inclinação do *greide* e tipo de combustível (Jacondino e Cybis, 2002).

#### 4. ESTUDO DE CASO

Este estudo contempla, por meio de modelagem de redes de tráfego, a avaliação da redução de emissão de CO<sub>2</sub> e consumo de combustível a partir da maior eficiência energética veicular apresentada pela partida sustentável. Para tal, lançou-se mão do modelo de tráfego SATURN para reproduzir o comportamento de uma rede viária na cidade de Porto Alegre.

Vários foram os estudos realizados com o SATURN em Porto Alegre. Para este estudo de caso escolheu-se uma rede modelada originalmente concebida para avaliações de diferentes propostas de circulação viária entorno do *Shopping Moinhos*, no bairro Moinhos de Vento (Freitas *et al.*, 2001).

##### 4.1. Metodologia utilizada

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste estudo envolve a comparação de cenários modelados. Foram comparados com o cenário de referência, cinco cenários representativos de diferentes eficiências energéticas veiculares advinda da partida sustentável. O cenário de referência representa o sistema viário atual com a ausência de partida sustentável de veículos. Os cinco cenários propostos apresentam as mesmas características operacionais, porém com alterações no desempenho veicular no consumo de combustível com a adoção de partida sustentável. Devido à possibilidade de partidas sustentáveis serem realizadas tanto de forma manual como automatizada e as montadoras terem diferentes eficiências econômicas de consumo de combustível veicular em partida sustentável foi proposta a construção de cenários que

representam estas situações. A Tabela 1 descreve as características de todos os cenários modelados neste estudo.

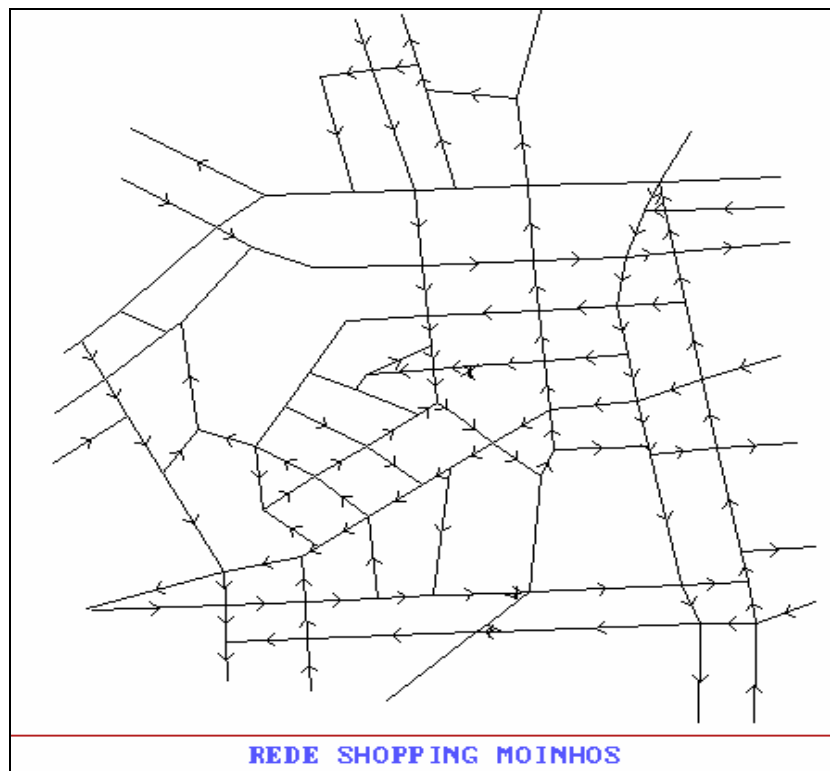
**Tabela 1:** Descrição dos cenários

Cenário	Eficiência Econômica de Partida Sustentável	Características
Referência	0%	O tempo de partida sustentável realizado pelos veículos é zero em paradas ociosas ocasionadas pelas filas nas interseções.
A	20%	O tempo total de partida sustentável realizado pelos veículos é 20% do tempo total de paradas ociosas em filas nas interseções.
B	40%	O tempo total de partida sustentável realizado pelos veículos é 40% do tempo total de paradas ociosas em filas nas interseções.
C	60%	O tempo total de partida sustentável realizado pelos veículos é 60% do tempo total de paradas ociosas em filas nas interseções.
D	80%	O tempo total de partida sustentável realizado pelos veículos é 80% do tempo total de paradas ociosas em filas nas interseções.
E	100%	O tempo total de partida sustentável realizado pelos veículos é 100% do tempo total de paradas ociosas em filas nas interseções.

Os cenários acima são caracterizados pela mudança do tempo total de partida sustentável realizados pelos veículos em paradas ociosas na rede para quantificar o consumo de combustível e emissão de CO<sub>2</sub> por meio do modelo SATURN. Em razão de o SATURN não possuir uma opção de simulação de partida sustentável fez-se, para cada cenário, mudanças no valor de tempo de paradas ociosas ( $t_q$ ) presentes nos modelos lineares de consumo de combustível e emissão de CO<sub>2</sub>. Os modelos lineares são apresentados nas seções 3.1 e 3.2.

#### 4.2. Rede modelada

A rede viária em estudo abrange uma área tipicamente urbana de Porto Alegre cujo período modelado corresponde ao horário de pico na região. Essa área foi considerada adequada por representar um cenário característico de saturação de centros urbanos na qual há a formação de filas em interseções e congestionamento. A extensão da rede é formada por 60 semáforos, 114 arcos e 76 nós que totalizam 16 km de vias. A representação da rede viária modelada pode ser vista na Figura 1.



**Figura 1:** Rede modelada no SATURN

## **5. INDICADORES DE DESEMPENHO UTILIZADOS NA ANÁLISE**

O SATURN contempla uma gama de indicadores de desempenho da rede modelada para a realização de análises comparativas de cenários. Para fins de análise de resultados deste artigo lançou-se mão dos seguintes indicadores:

- Tempo total de viagem (h): somatório dos tempos despendidos pelos veículos tanto em deslocamento como em espera nas interseções viárias;
- Distância total de viagem (km): somatório das distâncias percorridas por todos os veículos na rede modelada;
- Velocidade média geral (km/h): velocidade média dos veículos na rede dada pelo quociente entre a distância total de viagem e o tempo total de viagem;
- Número total de paradas (paradas/h): somatório de paradas primárias e paradas secundárias executadas pelos veículos na rede modelada;
- Emissão total de CO<sub>2</sub> (kg/h): somatório de emissão de dióxido de carbono emitido pelos veículos modelados;
- Indicador de emissão médio (gramas/km): emissão média de CO<sub>2</sub> dos veículos modelados dada pelo quociente entre a emissão total de CO<sub>2</sub> e a distância total de viagem;
- Consumo total de combustível (litros/h): somatório do consumo de combustível dos veículos modelados;
- Indicador de consumo médio (litros/km): consumo médio de combustível dada pelo quociente entre o consumo total de combustível e a distância total de viagem.



## 6. RESULTADOS E ANÁLISE

A partir da rede viária modelada estimaram-se os indicadores de desempenho operacionais apresentadas na Tabela 2. A modelagem corresponde ao horário de pico numa região localizada em um centro urbano em Porto Alegre.

**Tabela 2:** Indicadores de desempenho operacional da rede viária

Indicador de Desempenho	Rede Viária
Tempo total de viagem	1918 h
Distância total de viagem	23531 km
Velocidade média geral	14 km/h
Número total de paradas	77027 paradas/h

Por meio do conjunto de informações acima é possível observar que a região apresenta um trânsito de baixa velocidade média e um número elevado de paradas devido ao fluxo de veículos que trafegam no local. A partir desta rede viária foram concebidos os cenários de análise de partida sustentável em veículos. Os resultados obtidos proveniente do aumento do tempo total de partida sustentável em paradas ociosas podem ser vistas a seguir.

**Tabela 3:** Comparação do cenário de referência com o cenário A

Indicador de Desempenho		Cenário de Referência	Cenário A	Redução Simulada	Percentual Relativo ao Atual	Percentual de Redução
Emissão Total de CO <sub>2</sub>	kg/h	3707,07	3515,03	192,04	94,82%	5,18%
Indicador de Emissão Médio	gramas/km	157,54	149,38	8,16		
Consumo Total de Combustível	litros/h	4014,70	3761,20	253,50	93,69%	6,31%
Indicador de Consumo Médio	litros/km	0,1706	0,1598	0,0108		

**Tabela 4:** Comparação do cenário de referência com o cenário B

Indicador de Desempenho		Cenário de Referência	Cenário B	Redução Simulada	Percentual Relativo ao Atual	Percentual de Redução
Emissão Total de CO <sub>2</sub>	kg/h	3707,07	3323,00	384,07	89,64%	10,36%
Indicador de Emissão Médio	gramas/km	157,54	141,22	16,32		
Consumo Total de Combustível	litros/h	4014,70	3507,70	507,00	87,37%	12,63%
Indicador de Consumo Médio	litros/km	0,1706	0,1491	0,0215		

**Tabela 5:** Comparação do cenário de referência com o cenário C

Indicador de Desempenho		Cenário de Referência	Cenário C	Redução Simulada	Percentual Relativo ao Atual	Percentual de Redução
Emissão Total de CO <sub>2</sub>	kg/h	3707,07	3130,96	576,11	84,46%	15,54%
Indicador de Emissão Médio	gramas/km	157,54	133,06	24,48		
Consumo Total de Combustível	litros/h	4014,70	3254,20	760,50	81,06%	18,94%
Indicador de Consumo Médio	litros/km	0,1706	0,1383	0,0323		

**Tabela 6:** Comparação do cenário de referência com o cenário D

Indicador de Desempenho		Cenário de Referência	Cenário D	Redução Simulada	Percentual Relativo ao Atual	Percentual de Redução
Emissão Total de CO <sub>2</sub>	kg/h	3707,07	2938,93	768,14	79,28%	20,72%
Indicador de Emissão Médio	gramas/km	157,54	124,89	32,64		
Consumo Total de Combustível	litros/h	4014,70	3000,70	1014,00	74,74%	25,26%
Indicador de Consumo Médio	litros/km	0,1706	0,1275	0,0431		

**Tabela 7:** Comparação do cenário de referência com o cenário E

Indicador de Desempenho		Cenário de Referência	Cenário E	Redução Simulada	Percentual Relativo ao Atual	Percentual de Redução
Emissão Total de CO <sub>2</sub>	kg/h	3707,07	2746,89	960,18	74,10%	25,90%
Indicador de Emissão Médio	gramas/km	157,54	116,73	40,80		
Consumo Total de Combustível	litros/h	4014,70	2747,20	1267,50	68,43%	31,57%
Indicador de Consumo Médio	litros/km	0,1706	0,1167	0,0539		

Os resultados demonstrados acima comprovam que as paradas ociosas veiculares são grandes situações de perda energética em centros urbanos. O cenário E destaca o grande potencial de economia de combustível e redução de CO<sub>2</sub> situadas em paradas ociosas.

É importante salientar que os veículos dos países da EEA (2007) registraram uma emissão média de 160 gramas/km em 2004. Enquanto que no cenário de referência apresentou-se uma emissão média de 158 gramas/km. Isto demonstra que a rede modelada está utilizando parâmetros de emissão conservadores uma vez que a região em estudo está localizada em um centro urbano característico de formação de filas em interseções.

A partir dos resultados obtidos na modelagem foi possível quantificar o impacto da realização de partida sustentável ao longo de um ano na área de abrangência do estudo. Essa estimativa baseou-se no volume de tráfego médio diário gerado na localidade correspondente à faixa horária entre as 7:00 e 20:00 horas. A Tabela 8 apresenta a estimativa anual de redução de emissão de CO<sub>2</sub> e a economia de combustível para os cinco cenários propostos neste estudo.

**Tabela 8:** Estimativa de redução anual advinda da partida sustentável na região

Cenário	Eficiência Econômica de Partida Sustentável	Redução de Emissão de CO <sub>2</sub> (toneladas/ano)	Economia de Combustível (litros/ano)
A	20%	771	1.017.803
B	40%	1.542	2.035.605
C	60%	2.313	3.053.408
D	80%	3.084	4.071.210
E	100%	3.855	5.089.013

Para avaliar a dimensão da economia de combustível advinda da partida sustentável realizou-se uma comparação desta com o consumo de combustível da empresa pública de transporte coletivo Carris de Porto Alegre. Atualmente, a Carris detém 26 linhas contemplando uma frota de 335

ônibus na capital gaúcha. No cenário A, na qual considerou-se a menor eficiência do sistema de partida sustentável, a redução de combustível em um ano na rede modelada equivaleu a um mês de consumo de combustível de toda frota da empresa Carris. É importante ressaltar que a rede modelada apresenta uma malha viária correspondente a 0,58% do sistema viário de Porto Alegre. Para o cenário de maior eficiência do sistema de partida sustentável, a economia de combustível obtida representou o equivalente ao consumido em cinco meses de operação da frota da Carris porto-alegrense.

Em relação à redução de emissão de CO<sub>2</sub>, esta foi comparada com a emissão do transporte aéreo. Considerou-se a emissão resultante de um *Boeing 737-400* no trecho entre as cidades de Rio de Janeiro e São Paulo. A estimativa de emissão de CO<sub>2</sub> no transporte aéreo envolveu fatores de emissão a partir do consumo de combustível da aeronave apresentada por Jardine (2005). No cenário A, na qual considerou-se a menor eficiência do sistema de partida sustentável, a redução de emissão de CO<sub>2</sub> em um ano na rede modelada equivaleu ao total de emissão de CO<sub>2</sub> de 60 viagens (ida e volta) entre as cidades. Para o cenário de maior eficiência do sistema de partida sustentável, a economia de combustível obtida representou o equivalente ao total de emissão de CO<sub>2</sub> de 300 viagens (ida e volta) realizadas entre as duas capitais.

Conforme esperado, a estimativa de redução anual proveniente da partida sustentável apresenta valores significativos apesar de o estudo abranger somente uma pequena região de Porto Alegre. Essa análise expõe a influência benéfica, tanto econômica como ambiental, que a partida sustentável pode proporcionar por um longo período advindo de um melhor aproveitamento energético veicular em centros urbanos.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este artigo buscou abordar os conceitos de parada sustentável de veículos automotores e avaliar seu potencial como uma alternativa de transporte sustentável. Apresentou-se um estudo de caso, utilizando o modelo SATURN, na qual estimaram-se a redução de emissão de CO<sub>2</sub> e o consumo de combustível a partir da maior eficiência energética veicular apresentada pela partida sustentável.

O estudo de caso envolveu a comparação de um cenário de referência com cinco cenários propostos para representar as diferentes eficiências energéticas veiculares advinda da partida sustentável. O cenário de referência representou uma pequena malha viária localizada em Porto Alegre com a ausência de partida sustentável de veículos em paradas ociosas. Os cenários propostos apresentavam as mesmas características operacionais, porém com alterações no desempenho veicular no consumo de combustível com a adoção de partida sustentável.

A partir dos resultados obtidos na modelagem, verificou-se que o cenário de referência se apresentou como uma região de baixa velocidade média de deslocamento. Devido a esse fluxo de veículos na localidade o número de paradas ociosas de veículos em interseções foi expressivo. Os cinco cenários propostos, com suas respectivas eficiências econômicas de partida sustentável, apresentaram uma diminuição de consumo de combustível e emissão de CO<sub>2</sub> em comparação ao cenário de referência.

A análise da simulação desenvolvida contemplou um potencial significativo de economia de combustível aliada à diminuição de emissão de CO<sub>2</sub> em paradas ociosas ocorridas principalmente em filas formadas por interseções e congestionamento. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que a realização da partida sustentável se apresenta como uma alternativa eficaz de transporte sustentável, uma vez que possibilita, com retorno imediato, a redução do consumo de combustível e emissão de CO<sub>2</sub>. Essa singela ação poderá diminuir de forma expressiva o impacto de emissões veiculares concentrado em centros urbanos, que são um dos grandes responsáveis pelo agravamento do aquecimento global.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ECCJ (2002) *Analysis of Energy Conservation effects through Smart Driving, Idling-Stop Campaign*, Japan. The Energy Conservation Center, Japan. Disponível em: <<http://www.eccj.or.jp/contents01.html>>
- EEA (2007) *Transport and Environment: on the way to a new common transport policy*, Copenhagen, Denmark. European Environment Agency. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/>>
- EPA (2006) *Compilation of State, County, and Local Anti-Idling Regulations*. Environmental Protection Agency. Disponível em: <<http://www.epa.gov/otaq/>>
- Freitas, S. L. O.; F. Moscarelli; O. C. Branco; H. B. B. Cybis; D. R. C. Araújo e C. T. Nodari (2001) Uso do Modelo SATURN no Estudo de Impacto de um Pólo Gerador de Viagens no Tráfego. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*, ANTP, Porto Alegre.
- Jacondino, G. B.; Cybis, H. B. B. (2002) Avaliação de modelos de emissão de poluentes em simuladores de tráfego. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte*, ANPET, Natal, v. I, p. 211-222.
- Jardine, C. N. (2005) *Part 1: Calculating the Environmental Impact of Aviation Emissions*. Environment Change Institute, University of Oxford, England.
- IEA (2004) *Energy Technologies for a Sustainable Future*. International Energy Agency.
- Motoda, Y.; Taniguchi, M. (2002) *A study on saving fuel by idling stops while driving vehicles*. ECCJ, Japan. Disponível em: <<http://www.eccj.or.jp/contents01.html>>
- OEE (1998) *Report: Driver Behaviour Affecting Fuel Consumption, April 1998*. The Office of Energy Efficiency, Canada. Disponível em: <<http://oee.nrcan.gc.ca/communities-government/idling.cfm?attr=8>>
- Van Vliet, D. (2007) *SATURN Version 10.7: User's Manual*. Institute for Transport Studies, University of Leeds, England.

---

Christine Tessele Nodari (piti@producao.ufrgs.br)

Tsuneyoshi Imasato (tsuneima@gmail.com)

Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar.

Porto Alegre, RS, Brasil.