

NT 236

2014

Os Benefícios da Operação de Semáforos em Tempo Real

Ager Pereira Gomes

INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das grandes cidades, paralelamente à necessidade dos deslocamentos do ser humano, vem se mostrando um grande problema para toda a sociedade, impactando na economia, segurança, saúde pública e na mobilidade das pessoas, uma vez que os sistemas viários disponíveis apresentam limitações de capacidade, trazendo consigo elevados índices de congestionamentos. Os modelos de mobilidade urbana adotados nos municípios brasileiros caminham para a insustentabilidade devido à baixa prioridade ao transporte coletivo e ao elevado índice de utilização dos automóveis (IPEA, 2012).

A busca de aumento do aproveitamento da capacidade nas vias faz com que os técnicos de trânsito trabalhem com o objetivo de obter a máxima fluidez para os veículos monitorando os tempos de percurso, as extensões de lentidões, velocidades e os níveis de serviço para a operação junto aos semáforos, enquanto que o pedestre, o elemento mais fraco deste sistema, aguarda num segundo plano as medidas que possam trazer mais conforto e segurança aos seus deslocamentos. O valor do tempo das viagens deste modo, face à variabilidade e da dificuldade de medição, raramente é considerado nos projetos de melhorias viárias (MONTGOMERY, 2008).

Um exemplo disto, decorrente do desenvolvimento dos recursos de informática nos últimos anos (software e hardware), é a utilização da tecnologia dos semáforos operando em tempo real (semáforos inteligentes) que, como proposta principal, possibilitam um melhor aproveitamento da capacidade do sistema viário disponível provendo maior fluidez, conforto e segurança para os motoristas (VILANOVA, 2005), trazendo, também, como benefício, uma melhor distribuição de tempos para os usuários incluindo, neste caso, os pedestres.

A evolução da legislação nos últimos anos, principalmente a Lei n. 12.587 de 2012 que institui as diretrizes da política nacional de mobilidade urbana, mostra outra realidade voltada à capacitação de técnicos e adequação dos municípios para a melhoria da acessibilidade dos

usuários com mobilidade reduzida, programas de segurança para os pedestres, a obrigatoriedade das empresas manterem em seus quadros funcionários com diversos tipos de deficiência (VITAL, 2006) e o foco nos modos de transporte não motorizado, medidas estas ainda incipientes quando se observa a real necessidade das populações.

Este trabalho busca quantificar uma estimativa a melhoria na fluidez, na segurança e a redução nas emissões veiculares decorrentes da utilização desta tecnologia, utilizando dados históricos dos congestionamentos na Cidade de São Paulo, os custos estimados destes congestionamentos e os benefícios esperados pela operação em tempo real de semáforos.

O TRÂNSITO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Segundo pesquisa efetuada pelo IBOPE (2014), a qual mostra os índices de referência do bem estar no Município de São Paulo, as áreas de maior insatisfação da população do Município de São Paulo estão relacionadas às instituições governamentais que atuam com a infância e adolescência, assistência social, transporte e trânsito, segurança, acessibilidade para pessoas com deficiência, desigualdade social, transparência e participação política.

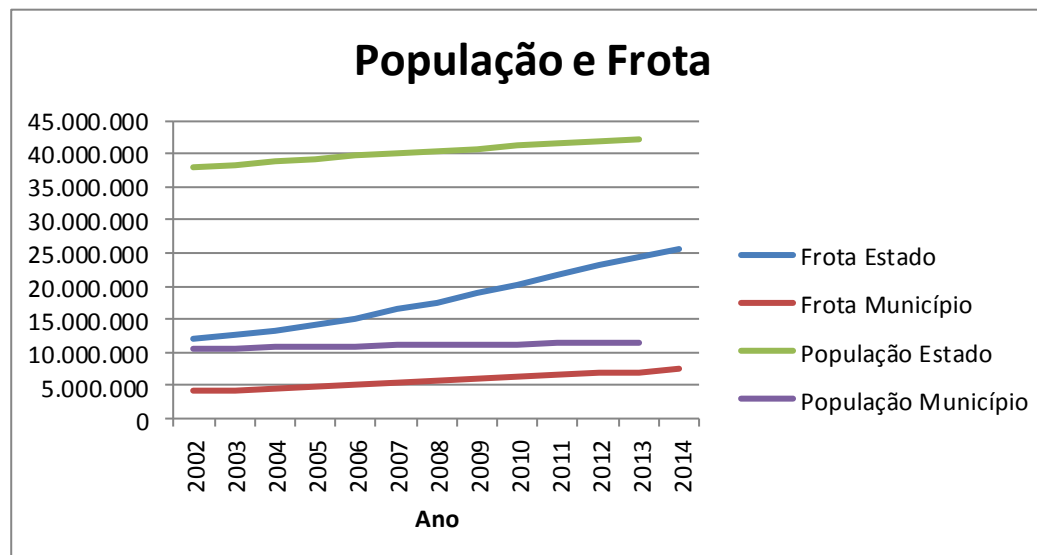
No que se refere especificamente ao trânsito, verifica-se, pela pesquisa, baixa avaliação nos tópicos relativos à busca de soluções para diminuir sua intensidade, elevados tempos de deslocamento, baixo respeito ao pedestre e a insegurança. Tudo isto num contexto de maior consumo de combustíveis, maior poluição ambiental, maior risco de assaltos e maior custo da movimentação de cargas, apresentando valores com perdas que atingem em torno de R\$ 33,5 bilhões anuais, ou seja, 9,94% do produto interno bruto de São Paulo (CINTRA, 2014).

A principal causa disto é o elevado crescimento da frota de veículos num sistema viário com uma malha total de 18.000 km de ruas e avenidas (TOLEDO, 2011), cuja oferta é inelástica, ou seja, não cresce proporcionalmente ao crescimento da demanda (CINTRA, 2014) impactando diretamente a mobilidade urbana (VASCONCELOS, 2014).

A partir de levantamento efetuado no site do IBGE e do DETRAN do Estado de São Paulo verifica-se que, no período entre 2002 e 2014, no Município de São Paulo a população cresceu a uma taxa anual média de 0,68% (atualmente em torno de 11,5 milhões), enquanto que a frota de automóveis cresceu a 4,61%, conforme mostrado no Gráfico 1. Assim, 7,01 milhões de

veículos (dos quais cerca de 4,5 milhões circulam diariamente) disputam espaço num limitado sistema viário de 18.000 km de vias.

Gráfico 1: População e Frota no Município de São Paulo (2005-2012)



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do SEAD, 2014

Na mesma escala de crescimento estão as viagens no Município de São Paulo. Os dados levantados pela pesquisa Origem Destino do Metrô nos anos de 1997, 2007 e a estimativa para o ano de 2012 são apresentados na Tabela 1 e no Gráfico 2.

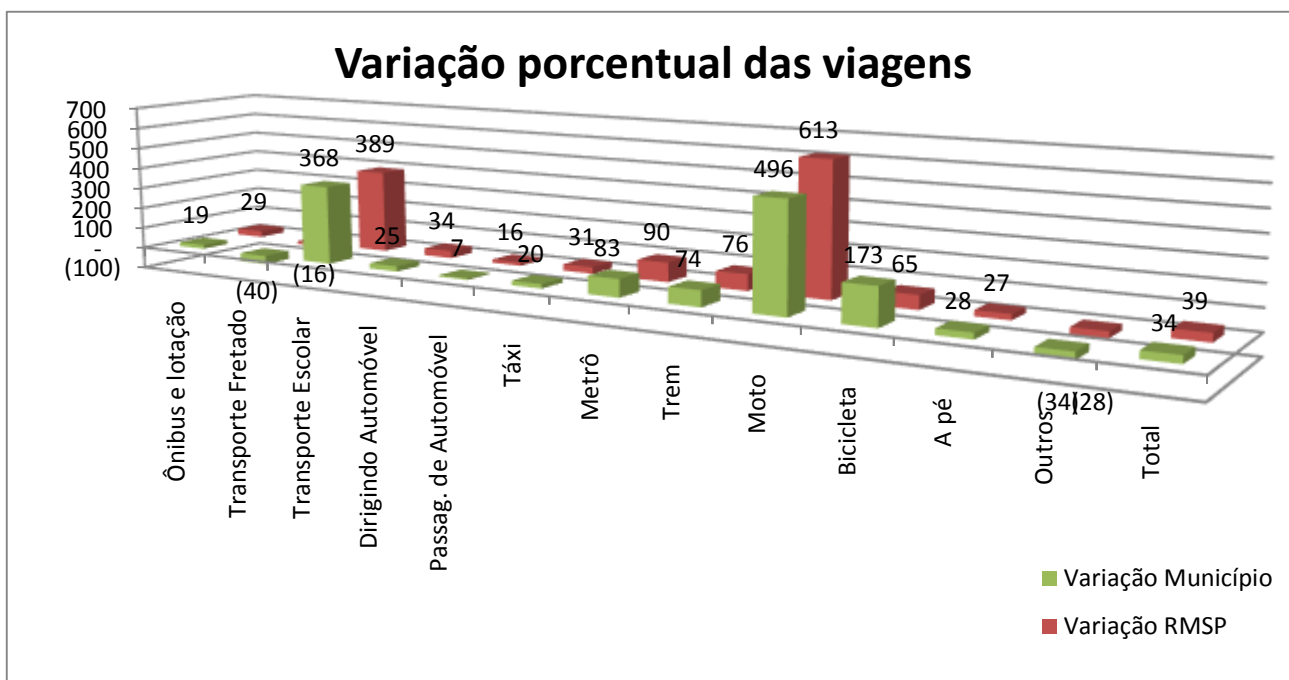
Tabela 1: Viagens por modo no Município e na Região Metropolitana de São Paulo

Ano	1997		2007		2012		Alteração nos 15 anos (%)	
Modo	Município SP	RMSP	Município SP	RMSP	Município SP	RMSP	Município SP	RMSP
Ônibus (*)	4.794.255	7.256.066	5.728.566	9.034.074	5.710.030	9.383.283	19	29
Transporte Fretado	165.337	461.729	167.377	513.591	99.412	389.427	-40	-16
Transporte Escolar	249.980	411.324	760.627	1.326.602	1.171.054	2.011.132	368	389
Dirigindo Automóvel	4.161.188	6.428.643	4.692.235	7.276.263	5.192.581	8.644.290	25	34
Passageiro de Automóvel	1.999.909	3.207.692	1.895.544	3.105.088	2.135.593	3.706.649	7	16
Táxi	90.569	103.397	78.357	90.686	108.937	135.156	20	31
Metrô	1.533.375	1.697.245	1.944.172	2.223.397	2.807.499	3.218.989	83	90
Trem	322.098	648.502	435.271	815.177	561.613	1.141.140	74	76
Moto	99.861	145.651	393.645	721.156	595.247	1.038.960	496	613
Bicicleta	57.500	162.461	147.107	303.828	157.096	267.788	173	65
A pé	6.237.725	10.812.241	7.244.307	12.623.047	7.983.429	13.708.189	28	27
Outros	46.646	97.255	32.462	61.475	30.957	70.463	-34	-28
Total	19.758.444	31.432.205	23.519.669	38.094.385	26.553.443	43.715.466	34	39

(*) Inclui lotação.

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados da Pesquisa Origem / Destino - Metrô 1997, 2007 e pesquisa de mobilidade 2012.

Gráfico 2: Variação percentual na quantidade de viagens no Município e na Região Metropolitana de São Paulo (1997-2012)

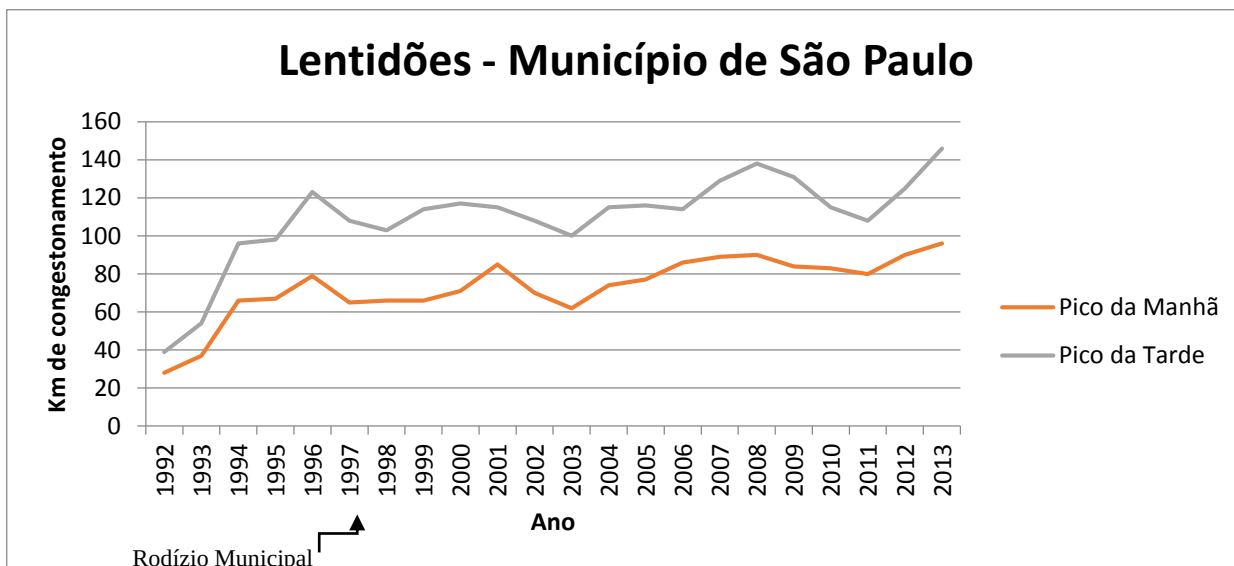


Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados da Pesquisa Origem / Destino - Metrô 1997, 2007 e pesquisa de mobilidade 2012.

VASCONCELOS (2014) apresenta a ideia de uma concentração de veículos em uma via na qual a velocidade do trânsito fica reduzida, levando a excessivos tempos de percurso quando comparados com os tempos considerados normais pelos usuários individualmente. Em termos econômicos, numa via com uma determinada quantidade de veículos trafegando (dispostos a pagar um custo por estar ali, o denominado “custo interno”), o acréscimo de mais um veículo gera atrasos (custos adicionais) àqueles que já se encontravam naquela via, o chamado “custo externo”, o que será visto no capítulo 3 deste trabalho.

Os dados históricos dos congestionamentos na Cidade de São Paulo disponibilizados pela Companhia de Engenharia de Tráfego no período de 2000 até 2013 e pelo Observatório Nossa São Paulo no período anterior a 2000, permitem elaborar o gráfico 3 que mostra uma estimativa da média anual de lentidões nos dias úteis indicando o início do rodízio municipal de veículos no ano de 1997.

Gráfico 3: Lentidões no tráfego de veículos no Município de São Paulo nos dias úteis.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CET e do Observatório Nossa São Paulo, 2013

Outros fatores que, também, estão relacionados à mobilidade são a poluição sonora e atmosférica, os acidentes de trânsito e a expansão urbana descontrolada, os quais, juntos, podem influenciar a produtividade do trabalhador (ANTP, 1999) e na qualidade de vida da população.

O CUSTO DOS CONGESTIONAMENTOS NA CIDADE DE SÃO PAULO

Com relação aos custos decorrentes dos congestionamentos, diversos estudos e metodologias indicam que alguns fatores diretos e outros indiretos podem ser medidos e/ou estimados para, numa etapa seguinte, serem posteriormente monetarizados. Tais fatores estão relacionados basicamente ao aumento no consumo dos combustíveis, à maior poluição gerada, ao tempo perdido pelo usuário do sistema de transportes, ao custo adicional para transporte de cargas, ao custo de oportunidade (CINTRA, 2014), este relacionado ao uso alternativo do tempo gasto pela população nos congestionamentos e ao custo do uso do espaço público (IPEA/ANTP 1998). A apresentação sucinta destes estudos está nos itens subsequentes deste trabalho.

TRABALHO DESENVOLVIDO PELO IPEA (1997)

O IPEA/ANTP efetuou um estudo nos anos de 1997 e 1998 sobre o congestionamento urbano no Brasil levando em conta o tempo de percurso dos ônibus e autos, o consumo de combustíveis, a emissão de poluentes e o consumo do espaço viário em função dos níveis de congestionamentos, ou seja, a relação entre o volume veicular e a capacidade viária disponível. Os principais resultados estão resumidos na tabela 2.

Tabela 2: Custos dos congestionamentos (em milhões por ano R\$)

Custos (em bilhões de reais)	Ano 2008	Atualização para o ano de 2012	%
Tempo perdido	125,60	270,38	36,30
Combustíveis	115,00	247,56	33,24
Poluição	28,80	62,00	8,32
Uso do espaço viário	76,60	164,90	22,14
Total	346,00	744,83	100,00

Fonte: IPEA, 1997

TRABALHO DESENVOLVIDO POR ADRIANO BRANCO (1999)

Este trabalho, coordenado por Adriano Murgel Branco, em 1999, analisa os custos decorrentes do impacto dos veículos sobre a velocidade dos ônibus, da redução no consumo de combustíveis em função da implantação do rodízio de veículos, da emissão de poluentes, dos tempos de percurso e, por último, da perda de produtividade das pessoas decorrente do estresse causado pelos congestionamentos na Região Metropolitana de São Paulo.

Os principais resultados obtidos no ano de 1999 e projetados para o ano de 2012 estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3: Perdas de congestionamentos na RMSP, 1999 (em bilhões por ano R\$)

Custo	Ano 2008	Atualização para o ano de 2012	%
Operação dos ônibus	0,7	1,41	3,9%
Combustível	2,6	5,24	14,4%
Poluição	1,0	2,01	5,5%
Tempo de Percurso	1,25	2,55	6,9%
Produtividade	12,5	25,22	69,3%
Total (Bilhões por ano R\$)	18,05	36,41	100%

Fonte: Branco, 1999

TRABALHO DESENVOLVIDO POR MARCOS CINTRA (2014)

Segundo CINTRA (2014), o custo dos congestionamentos na Cidade de São Paulo é composto pelo custo de oportunidade, ou seja, do tempo perdido pelas pessoas paradas no trânsito e que poderia ser utilizado em outras tarefas; pelos custos adicionais decorrentes do aumento do consumo dos combustíveis; pelos custos adicionais sobre o transporte de mercadorias e por aquele decorrente da emissão de poluentes. Este estudo, segundo CINTRA (2014), não considera o desgaste de materiais, acidentes, manutenção viária e outros. Os principais resultados deste trabalho estão resumidos na tabela 4.

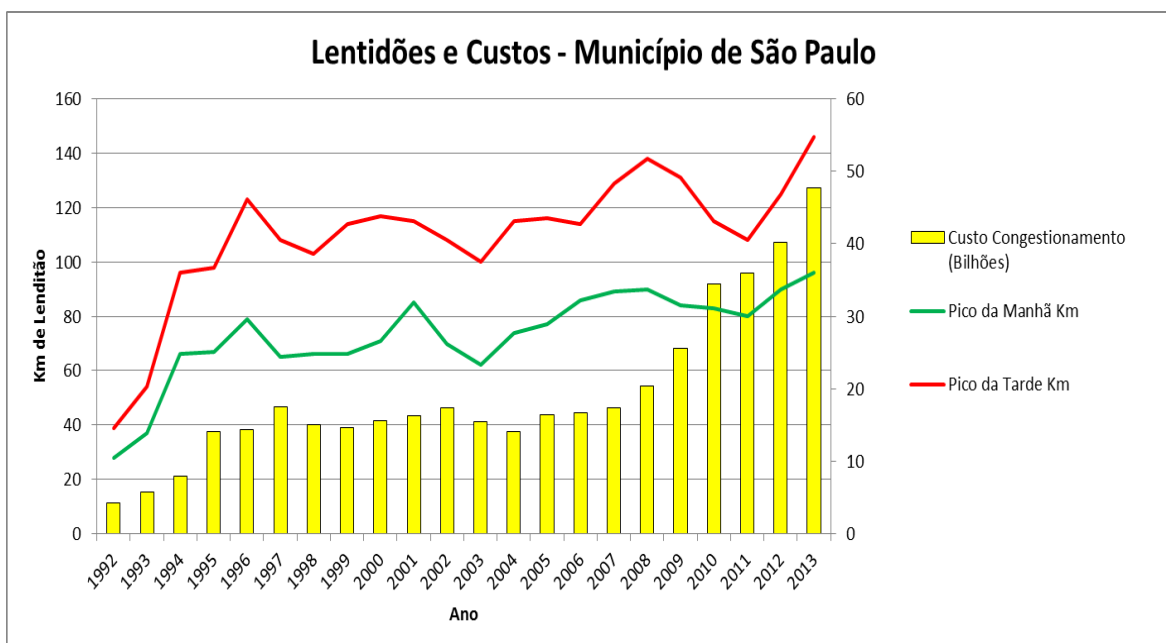
Tabela 4: Estimativa dos custos anuais adicionais de oportunidade decorrentes dos congestionamentos (em bilhões por ano R\$)

Ano	2002	2004	2006	2008	2010	2012	%
Custo de Oportunidade	10,34	13,13	17,19	24,28	27,11	30,18	70,35
Custo combustíveis (automóveis+ônibus)	3,62	4,01	4,08	4,99	4,53	5,18	15,21
Custo da poluição (automóveis+ônibus)	0,50	0,55	0,56	0,68	0,62	0,71	2,08
Custo adicional para o transporte de carga	2,87	2,74	3,70	4,43	3,65	4,10	12,37
Custo total (Bilhões por ano R\$)	17,33	20,43	25,53	34,39	35,92	40,16	100,00

Fonte: Cintra, 2014

O gráfico 4 foi elaborado a partir dos índices de lentidão verificados no tráfego da Cidade de São Paulo e da estimativa dos custos das lentidões a partir da metodologia utilizada por CINTRA (2014) e projetada pelo autor no período de 1992 a 2014.

Gráfico 4: Lentidões no tráfego de veículos no Município de São Paulo nos dias úteis e o custo estimado.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CET, do Observatório Nossa São Paulo, 2013 e Cintra, 2014.

TRABALHO DESENVOLVIDO POR EDUARDO VASCONCELOS (2014)

VASCONCELOS (2014) fez uma análise crítica sobre a metodologia utilizada nos estudos apresentados anteriormente, sugerindo ajustes tanto na forma de medição como nos valores apresentados pelos autores dos demais trabalhos. O resumo do trabalho é apresentado na tabela 5.

Tabela 5: Comparação entre os custos dos congestionamentos nos três estudos anteriores e a estimativa apresentada por VASCONCELOS, 2014 (em bilhões por ano R\$)

Ano	Valor original	Estimativa Vasconcelos, 2014	Atualização para o ano de 2012
Marcos Cintra (2014)	32,3	4,5	5,39
Adriano Branco (1999)	18,1	5,3	10,69
ANTP (1998)	0,43	0,56	1,20

Fonte: VASCONCELOS, 2014

FORMAS DE MELHORIA DA FLUIDEZ VEICULAR

A evolução tecnológica, principalmente a eletrônica e a computação a partir dos anos 1990, permitiu maiores e melhores formas de coleta, gerenciamento e utilização de dados de tráfego nos sistemas inteligentes de transporte (Intelligent Transportation Systems – ITS). Tais sistemas são formados por um conjunto de tecnologias aplicadas ao gerenciamento das redes de transportes melhorando a eficiência e a segurança viária trazendo como benefícios o aumento da capacidade viária (por meio da otimização da utilização da capacidade viária), melhoria na qualidade do ar, maior segurança viária e melhoria da fluidez, entre outros (MEINECKE, 2010).

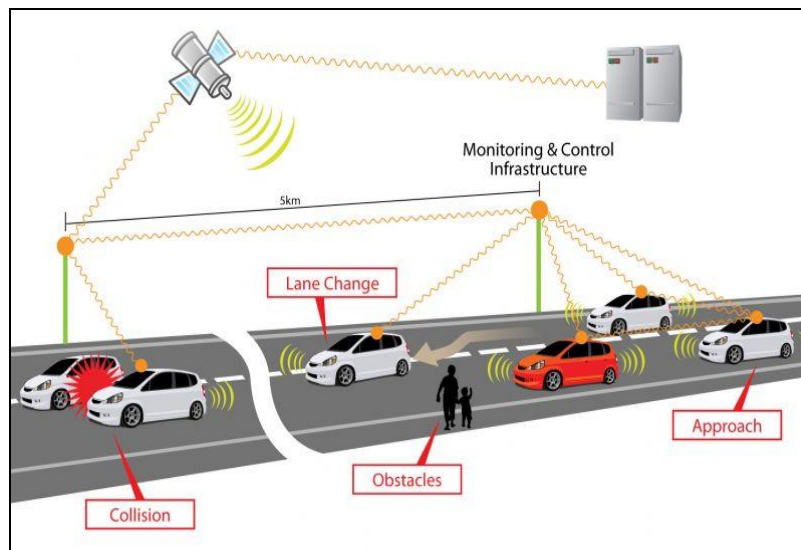
As novas tecnologias disponíveis permitem a comunicação e interação entre os elementos presentes no sistema viário de forma a permitir que estes objetivos de melhoria de segurança e qualidade de vida sejam atingidos utilizando a comunicação entre o veículo e a infraestrutura (V2I) incluindo os elementos da via (por exemplo, a velocidade regulamentada, condições geométricas e os semáforos) conforme figura 1, veículo e veículo (V2V) da figura 2 e veículo e os pedestres (V2P) da figura 3 num sistema de troca de informações de velocidade, posicionamento (como o caso dos GPS), condições de funcionamento e eventual ocorrência de acidentes provendo aos usuários do sistema (incluindo aqueles do transporte individual, coletivo e os pedestres) a escolha de caminhos com menor impedância ao seu deslocamento e com maior segurança e conforto.

Figura 1: sistema de comunicação entre o veículo e à infraestrutura (semáforos)



Fonte: <http://www.virtualtrafficlights.com/>

Figura 2: sistema de comunicação entre os veículos e a infraestrutura (V2V e V2I)



Fonte: <http://ericpetersautos.com/2014/01/07/car-doesnt-talk/v2v-2/>

Figura 3: sistema de detecção de pedestres (V2P)



Fonte: <http://www.farmel.si/avtooprema/mobil-eye>

A OPERAÇÃO DOS SEMÁFOROS EM TEMPO REAL EM SÃO PAULO

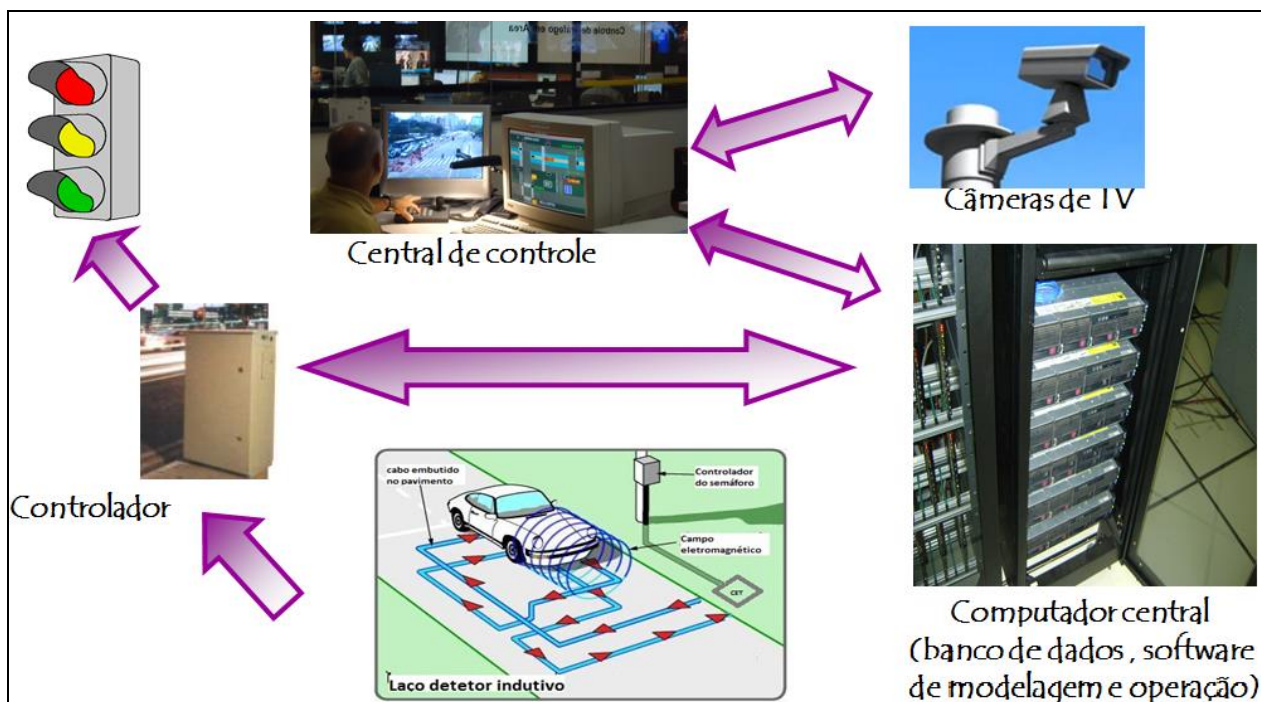
Os sistemas de controle de semáforo também vêm sendo beneficiados com os avanços da tecnologia, oferecendo modos de operação que minimizam os atrasos globais. Isto reduz, em parte, a necessidade de investimentos nas caras obras de ampliação dos sistemas viários das Cidades com seus escassos recursos de espaço e financeiros.

Na Cidade de São Paulo, o início dos sistemas de controle de tráfego por computador teve sua implantação no ano de 1982 com o Sistema SEMCO (semáforos coordenados por computador) com cerca de 470 cruzamentos interligados a uma única central de controle de tráfego.

A evolução deste sistema ocorreu a partir de 1997 com a implantação do projeto CTA (Centrais de Tráfego em Área) por meio do qual foram estruturadas cinco centrais de controle, geograficamente distribuídas de forma a atender às regiões da Cidade de São Paulo, num total de 1002 cruzamentos operando em tempo real com o apoio de câmeras de monitoramento de tráfego.

A estrutura básica de um sistema de controle de tráfego em tempo real é composta por um banco de dados contendo os desenhos físicos e de lógica das redes de semáforos, uma rede de comunicação entre os equipamentos, sistemas de leitura de fluxo e ocupação veiculares, um software de modelagem e operação dos semáforos conforme Figura 4.

Figura 4: Esquema de um sistema de controle de semáforos em tempo real



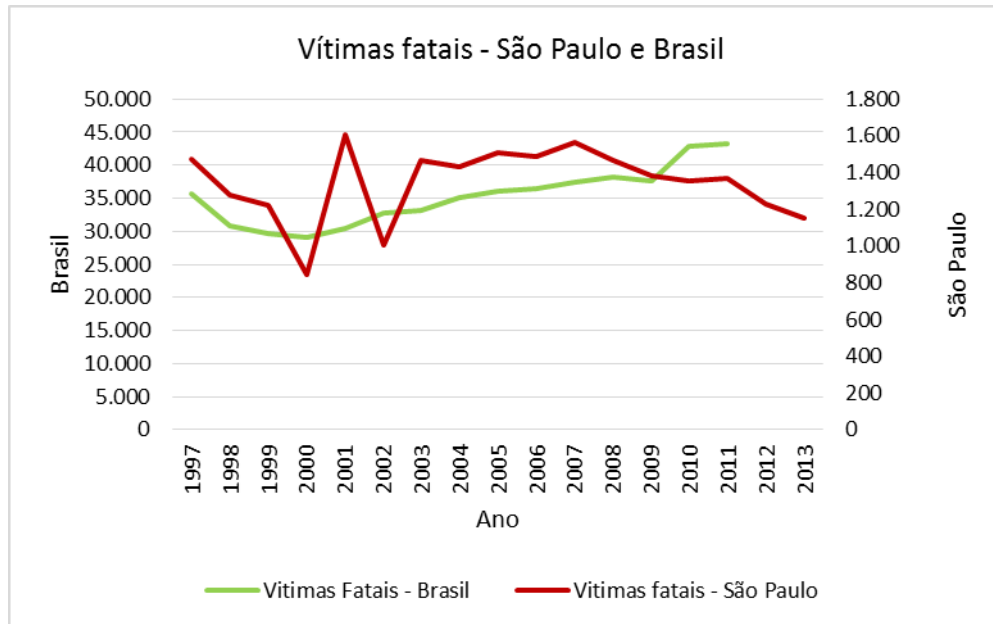
Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto à medição dos benefícios da operação em tempo real, estas podem ocorrer por meio de ferramentas de micro simulação que permitem a comparação deste modo com a operação em tempos fixos ou mesmo a partir de levantamentos de dados de semáforos já operando em tempo real (a partir da leitura dos laços detetores) e comparando-se com a situação anterior (em tempos fixos). As medições em campo têm demonstrado melhorias médias no tempo de percurso em cerca de 10% (KOTWAL, 2012 e MARTIN, 2013) e redução no consumo de combustíveis de até 6 % (Fox, 1998).

A SEGURANÇA NO TRÂNSITO

O gerenciamento moderno de tráfego coloca a segurança no topo da lista das prioridades. No Brasil, os acidentes de trânsito matam em torno de 46 mil pessoas anualmente (CET, 2013) das quais, 1152 pessoas no Município de São Paulo. O gráfico 5 mostra o histórico da ocorrência de acidentes fatais no Brasil e no Município de São Paulo no período de 1997 a 2013.

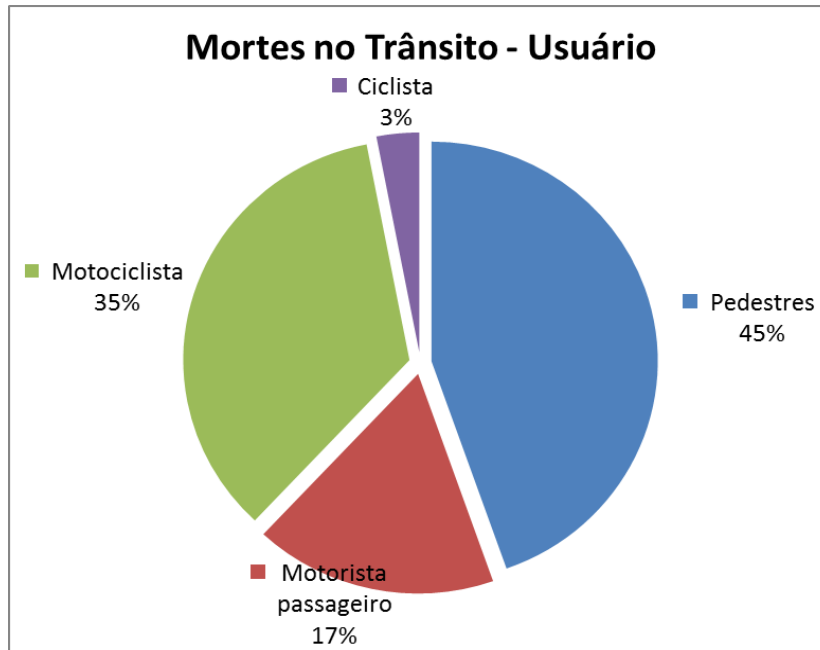
Gráfico 5: Vítimas fatais de acidentes de trânsito no Município de São Paulo e no Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do DENATRAN e do site Vias Seguras.

Deste total de mortos na Cidade de São Paulo, a maior porcentagem está concentrada no elemento mais frágil do sistema que é o pedestre com 44,6% dos casos seguido pelos motociclistas, com 35% das mortes, e os motoristas / passageiros com 17% o que pode ser visto no gráfico 6.

Gráfico 6: Mortes no trânsito por tipo de usuário em São Paulo



Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados de Paula, 2014

O impacto dos acidentes de trânsito não se dá somente nas questões relativas à dor, sofrimento e a qualidade de vida imputados às vítimas, seus familiares e à sociedade mas, também, naquelas econômicas.

Nas questões econômicas, os custos decorrentes dos acidentes de trânsito são formados, basicamente, por dois componentes: os danos à propriedade e a perda da produção, esta trazendo embutida as despesas médico hospitalares, os serviços de atendimento de emergência e com funerais entre outras.

A ANTP (2006) apresenta a seguinte função global para estimar o custo dos acidentes de trânsito:

$$C_{\text{acidente}} = C_{\text{pessoas}} + C_{\text{veículos}} + C_{\text{via/ambiente}} + C_{\text{institucionais}}$$

Sendo (para todas, C_n = Custo),

$$C_{\text{pessoas}} = C_{\text{cuidados em saúde}} (C_{\text{pré-hospitalar}} + C_{\text{hospitalar}} + C_{\text{pós-hospitalar}}) + C_{\text{perda de produção}} + C_{\text{remoção/traslado}};$$

$$C_{\text{veículos}} = C_{\text{danos materiais ao veículo}} + C_{\text{perda de carga}} + C_{\text{remoção/quincho ou pátio}} + C_{\text{reposição}};$$

$$C_{\text{via/ambiente}} = C_{\text{danos à propriedade pública}} + C_{\text{danos à propriedade privada}};$$

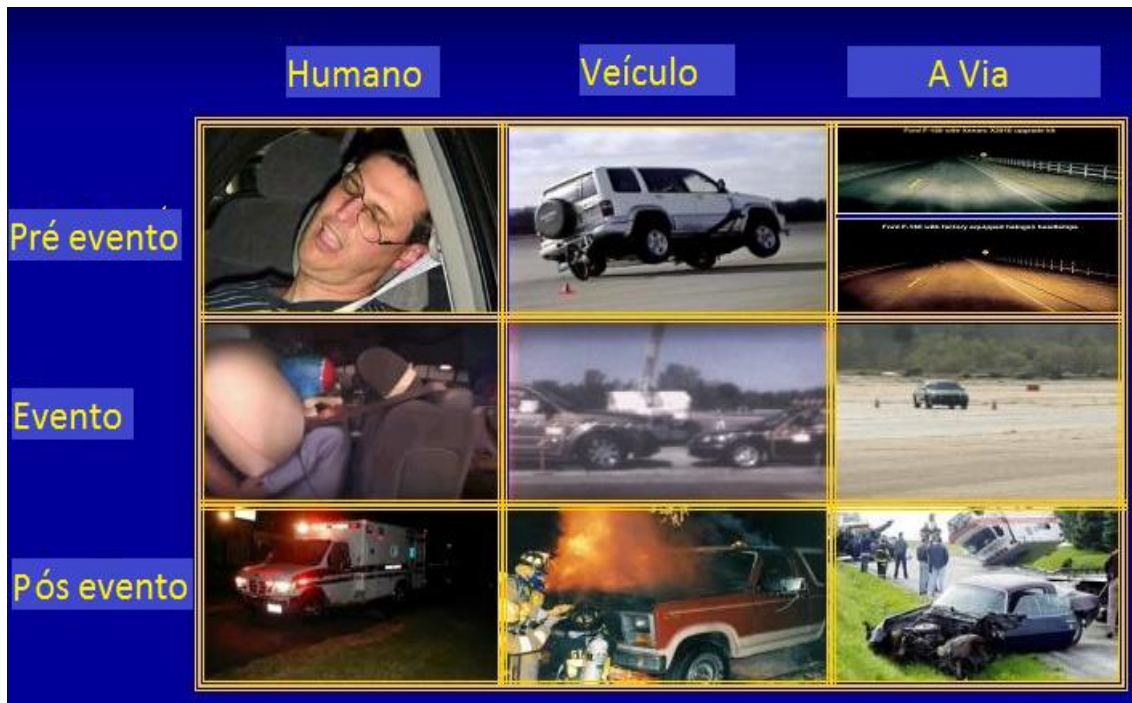
$$C_{\text{institucionais}} = C_{\text{judiciais}} + C_{\text{atendimento}}.$$

As demais questões também são apresentadas, ou seja, os custos “não valorados” que decorrem das perdas de vida ou lesões permanentes que impedem uma vida normal, incidindo tanto sobre os envolvidos nos acidentes quanto sobre as pessoas de suas relações.

No Brasil estima-se um custo anual dos acidentes de trânsito de aproximadamente R\$ 42 bilhões. Segundo TORRES (2012), em 2005, nos aglomerados urbanos, o custo médio de um único acidente sem vítima é de 16.840,00. Para os acidentes com vítimas, R\$ 86.032,00 e para aqueles com vítimas fatais, R\$ 418.341,00.

No que se refere ao sistema e à dinâmica da segurança viária, segundo OGDEM, (1994), temos três componentes principais: o humano, o veículo e a via. Os acidentes ocorrem quando existe uma quebra nesse sistema e que, da mesma forma, tem três componentes: a pré-colisão, a colisão e o período pós-colisão conforme figura 5.

Figura 5: O sistema de segurança viária



Fonte: Site do NHTSA

Desta forma, os acidentes podem ser causados pelos fatores humanos, por aqueles referentes aos veículos e, pelas características da infraestrutura viária (OGDEN, 1994).

Este último, a infraestrutura viária, tem os seguintes fatores que influenciam na segurança:

- o projeto viário incluindo a largura da via, alinhamentos verticais e horizontais, a existência de barreiras de segurança, existência de faixas de ultrapassagem, etc;
- o gerenciamento do tráfego: a sinalização das interseções, as características do tráfego, a característica do sistema semafórico, existência de rotatórias, facilidades para os pedestres e ciclistas, entre outros;
- a engenharia de tráfego: o alinhamento das faixas, sinalização refletiva, painéis de mensagens variáveis, iluminação viária, placas de orientação e de advertência;
- a construção e a manutenção do sistema viário: condições do pavimento, sinalização de áreas em obras;
- controle da velocidade: todos os temas relacionados ao estabelecimento de velocidades máximas, monitoramento da velocidade de percurso, etc;
- o entorno da via: eliminação de obstáculos ou a proteção dos mesmos.

Para mitigar a ocorrência destes acidentes, especificamente na questão referente ao gerenciamento de tráfego, temos a possibilidade da utilização de recursos tecnológicos, como as tecnologias de controle de semáforos, as quais podem, amplamente, melhorar tais condições de segurança.

A análise do efeito da coordenação dos semáforos tem trazido diversos resultados (OGDEN, 1994). MOORE and LOWRIE (1976) apud KENNEDY - HODGE DALEY and NGUEYEN, ELVIKANDVAA (2004), KENNEDY (2009) na Austrália, elaboraram um estudo que mostra uma redução em 20% no total de colisões quando se utiliza tal forma de operação. HODGE, DALEY and NGUYEN (1986) apud OGDEN (1994), num estudo em Melbourne, encontrou 6% de redução enquanto que ELVIK AND VAA (2004) apud KENNEDY (2009), indicavam um total de 19% na redução de colisões.

HUNT (1990) apresenta que, apesar da dificuldade na coleta e tratamento dos dados de acidentes, identifica-se que um controle de tráfego mais claro e efetivo pode reduzir a frequência de acidentes. Os dados obtidos com trabalhos em Maidstone e Southhampton nos períodos entre 1979 e 1987, mostram redução nos acidentes de 22 a 30%.

Na Cidade de São Paulo, o estudo efetuado por VILANOVA (2005), mostra a comparação entre a ocorrência de acidentes de trânsito antes e depois da implantação da tecnologia da operação em tempo real em 133 interseções semaforizadas, com resultados de redução de 19% nas colisões com vítimas e 44% nos atropelamentos, melhorias estas, segundo VILANOVA (2005), decorrentes de uma programação mais acurada dos semáforos, ou seja, menor ociosidade e, conseqüentemente, menores esperas para os usuários.

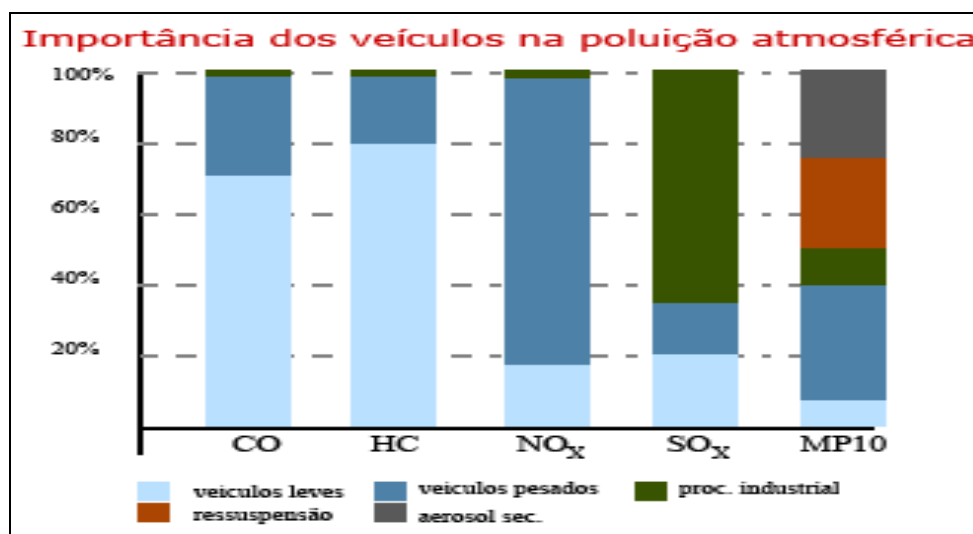
A EMISSÃO DE POLUENTES

Segundo a CETESB, considera-se poluente qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora ou ser prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade. A mesma fonte classifica os poluentes em dois grandes grupos separando aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão (poluentes primários) e aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera (poluentes secundários).

Quimicamente, os principais poluentes atmosféricos são os compostos de enxofre (SO_2 , SO_3 , H_2S), de nitrogênio (NO , NO_2 , NH_3 , HNO_3), orgânicos (hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas), o monóxido de carbono (CO), os compostos halogenados (HCl , HF , cloretos, fluoretos), os metais pesados (Pb , Cd , As , Ni), material particulado (compostos no estado sólido ou líquido) e oxidantes fotoquímicos (O_3 , formaldeídos, acroleínas).

Nas áreas urbanas, uma das fontes mais importantes de poluição ambiental é originária da emissão dos elevados fluxos veiculares (LIN, 2010) e depende da condição dos veículos (tipo do motor, idade e manutenção), do tipo do combustível (ANTP, 1991), de fatores operacionais (velocidade, aceleração e a carga do veículo), do clima (quente, frio, úmido, seco, vento), de geografia (plano, aplainado, declive) e das características físicas do meio urbano do local estudado (Zito, 2008). Os elementos mais importantes destas emissões veiculares são o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), o monóxido e dióxido de nitrogênio (NO e NO_2), o dióxido de enxofre (SO_2), o material particulado (MP) e o ozônio (O_3) que se forma através das reações químicas de outros poluentes (FASSA, 2007). Isto pode ser visto no gráfico 8 o qual mostra a porcentagem relativa dos poluentes por tipo de fontes:

Gráfico 8: Emissões relativas de poluentes por tipo de fontes - base 2006



Fonte: CETESB – Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 2013

A tabela 6 apresenta um resumo dos principais poluentes, suas características, fontes de geração e efeitos gerais ao meio ambiente.

Tabela 6: Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensos no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensos no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol, marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: CETESB - Plano de Controle Veicular do Estado de São Paulo

A poluição do ar é a primeira causa ambiental de morte e adoecimento no mundo (VORMITTAG, 2014). O impacto desta poluição agrava os problemas de saúde da população o que pode ser visto pelo aumento de admissões hospitalares e da mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares não somente em crianças, idosos e indivíduos fisicamente debilitados mas, também, nos demais elementos da população, estimando-se que os níveis atuais da poluição em São Paulo reduzam a expectativa de vida em um ano e meio devido à ocorrência de câncer de pulmão (80% motivados por poluentes) e vias aéreas superiores, infarto agudo do miocárdio e arritmias além da bronquite crônica e asma o que leva ao aumento, somente na Cidade de São Paulo, de cerca de 4 mil mortos por ano com essas doenças, por causa da poluição (SALDIVA, 2011).

No Estado de São Paulo, o controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição são efetuados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Os dados obtidos nas suas estações de medição de poluição, em cada região, são divulgados por índices numéricos e de qualidade que são representados através de cores que refletem o pior caso entre os poluentes medidos. A relação entre índice, qualidade do ar e efeitos à saúde é apresentada na tabela 7.

Tabela 7: Índice de qualidade do ar

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m³)	O ₃ (µg/m³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)	Significado
Boa	0-50	0-50	0-80	0 - 4,5	0-100	0-80	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51-100	>50-150	>80-160	>4,5 - 9	>100 - 320	>80- 365	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101-199	>150 e <250	>160 e <200	>9 e <15	>320 e <1130	>365 e <800	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200-299	≥250 e <420	≥200 e <800	≥15 e <30	≥1130 e <2260	≥800 e <1600	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares).
Péssima	≥ 300	≥420	≥800	≥30	≥2260	≥1600	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB - Plano de Controle Veicular do Estado de São Paulo – 2012

No que se refere às quantidades de poluentes emitidas pelos veículos no Estado de São Paulo, temos a tabela 8 que mostra a categoria do veículo e as emissões, em toneladas, durante o período de um ano.

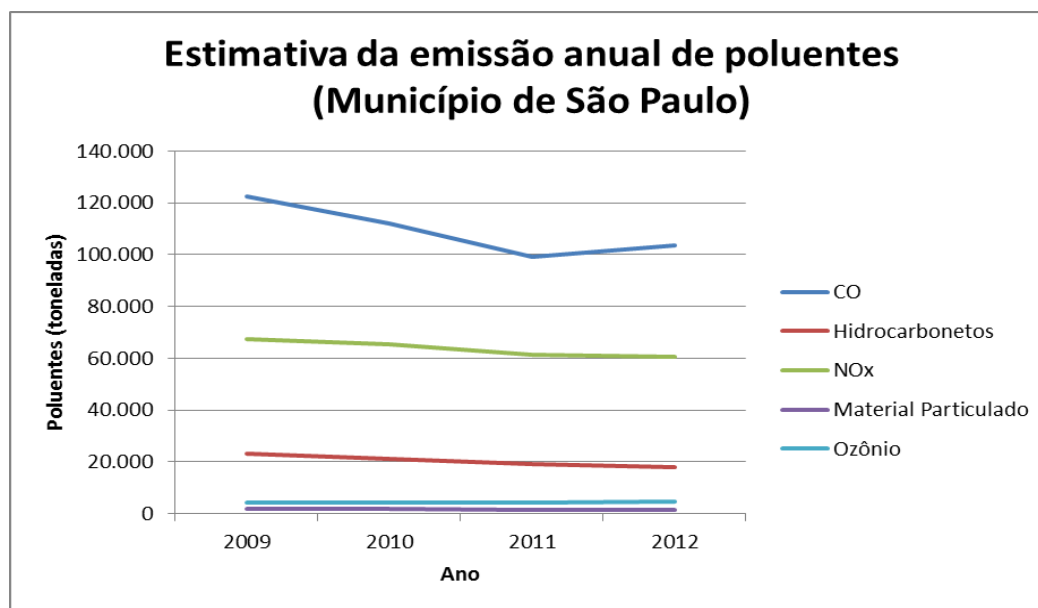
Tabela 8: Estimativa de emissões de poluentes no Estado de São Paulo

Categoria		Combustível	CO (t)	NMHC (t) ¹	NOx (t)	MP (t) ²	SO ₂ (t) ³	RCHO (t)
Automóveis		Gasolina C	126.998	20.230	17.189	73	2.682	510
		Etanol Hidratado	20.249	3.886	1.739	nd	nd	168
		Flex-gasolina C	22.409	5.590	2.356	41	1.646	94
		Flex-etanol hidratado	25.793	5.872	2.298	nd	nd	480
Comerciais Leves		Gasolina C	15.737	2.544	2.060	13	543	65
		Etanol Hidratado	2.060	392	188	nd	nd	17
		Flex-gasolina C	2.756	710	320	6	243	13
		Flex-etanol hidratado	2.371	511	174	nd	nd	43
Caminhões		Diesel	1.334	334	7.219	188	193	nd
	Semi-Leves		212	65	1.217	48	74	nd
	Leves		683	199	3.864	144	258	nd
	Médios		1.269	390	7.159	285	419	nd
	Semi-Pesados		8.975	2.163	50.890	1.249	4.074	nd
Ônibus	Pesados		8.787	2.059	50.360	1.223	4.011	nd
	Urbanos		6.737	1.718	38.042	1.121	152	nd
	Rodoviários		1.539	417	8.906	260	211	nd
Motocicletas		Gasolina C	88.058	10.960	2.677	165	298	nd
		Flex	1.293	190	95	5	17	nd
Total			337.261	58.230	196.753	4.819	14.821	1.392

Fonte: CETESB - Plano de Controle de Emissão Veicular do Estado de São Paulo – 2012.

Projetando-se, num modelo simplificado linear em função da frota circulante, a emissão de poluentes do Estado de São Paulo para o Município de São Paulo, temos o gráfico 9 que mostra a distribuição dos principais poluentes, por tipo no período de um ano.

Gráfico 9: Estimativa da emissão de poluentes no Município de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CETESB - Plano de Controle de Emissão Veicular do Estado de São Paulo - 2012.

MITIGAÇÃO DO IMPACTO DOS POLUENTES

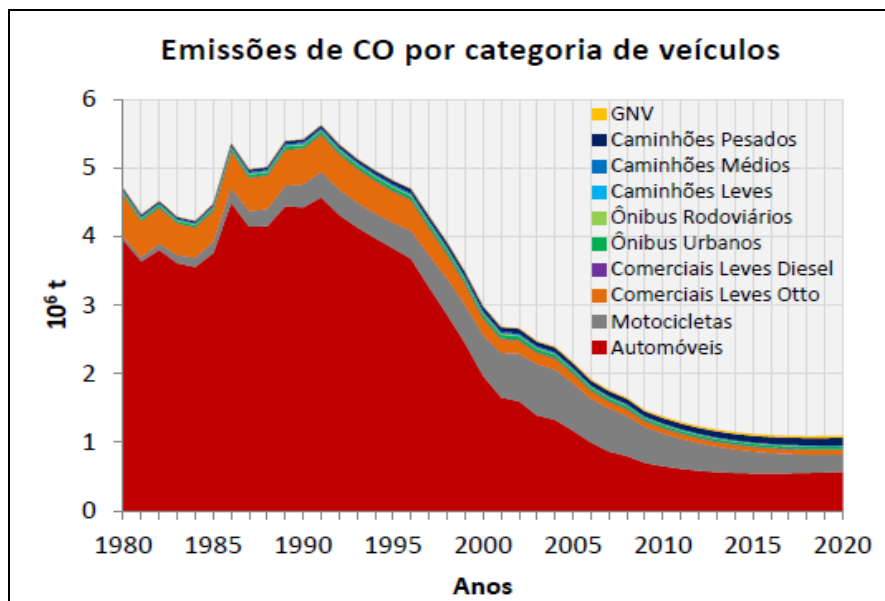
A necessidade de reduzir e gerenciar uma das maiores fontes de emissão de poluentes, os sistemas de transporte, tem se tornado altamente importante uma vez que tal poluição afeta seriamente a saúde da população que vive nas áreas urbanas num ambiente no qual os modos motorizados de transporte, principal fonte de poluição do ar, despejam anualmente 1.7 milhões de toneladas de substâncias nocivas. (BRETHERTON, 2003)

Para a redução da poluição do ar, diversas medidas podem ser utilizadas partindo-se da utilização de energia limpa no transporte, redução na frota de carros, ciclovias, faixas de ônibus e o monitoramento da poluição emitida pelos veículos (VORMITAGG, 2014).

Neste sentido, nas últimas décadas, os níveis de poluentes têm apresentado reduções efetivas e com projeções futuras de queda devido aos benefícios decorrentes de controles tecnológicos mais eficazes além dos controles mais restritos das emissões (NEWDORF, 2013) como aqueles expostos nas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2014).

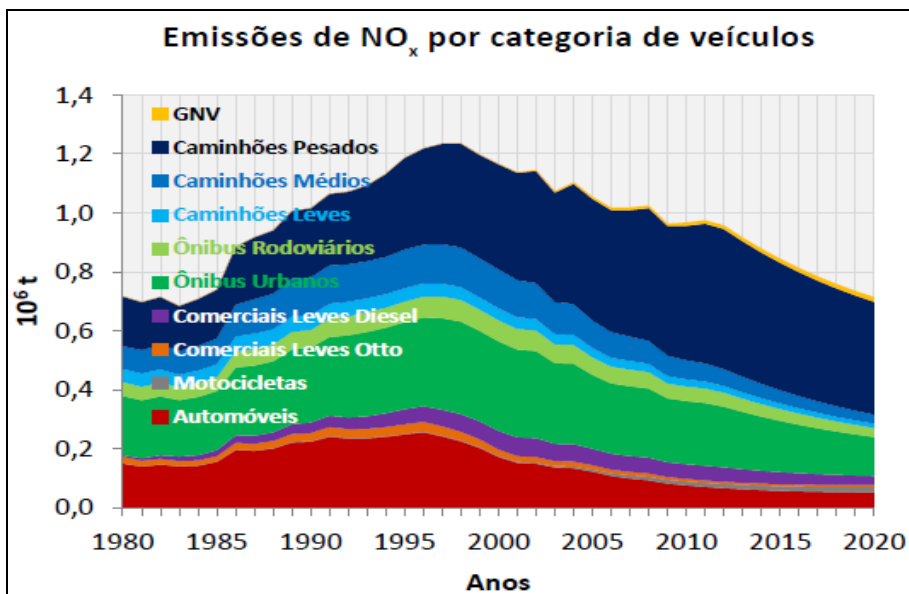
Os resultados do Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (Ministério do Meio Ambiente, 2011) reforçam esta afirmação através de dados históricos (entre 1980 e 2011) e a projeção (para 2020) nos gráficos 10, 11 e 12 reproduzidos a seguir.

Gráfico 10: Estimativa das emissões de monóxido de carbono (CO) por tipo de veículo.



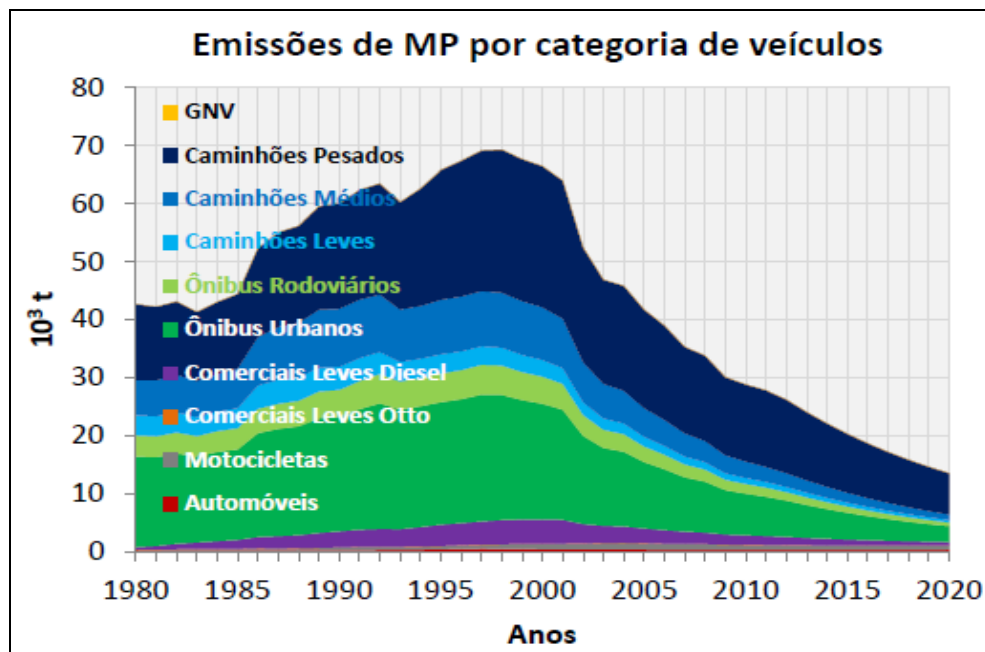
Fonte: Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2011.

Gráfico 11: Estimativa das emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) por tipo de veículo.



Fonte: Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2011

Gráfico 12: Estimativa das emissões de material particulado (MP) por tipo de veículo.



Fonte: Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2011.

Outras formas de mitigação da emissão de poluentes podem ser obtidas através da utilização de controles de tráfegos mais eficazes reduzindo os atrasos para os veículos e consequentemente a emissão cujas aplicações em campo demonstram reduções de até 12% nos tempos de percurso e economia de combustíveis de 6% quando é comparada a operação em tempo real com aquela em tempos fixos (Fox, 1998). Outro estudo de BRETHERTON (2003), comparando-se a operação em tempo real (no modo SCOOT) com o controle isolado, atuado por veículos, tem como resultados na redução de emissões, o que é apresentado na tabela 9.

Tabela 9: Estimativa da redução nas emissões utilizando-se a operação dos semáforos em tempo real

	Redução no monóxido de carbono CO (%)	Redução nos óxidos de nitrogênio NOx (%)	Redução no Material particulado MP (%)	Redução nos compostos orgânicos voláteis VOC (%)
Estimativa teórica	20	7	10	16
Victória (Londres)**	7	9	6	-
Tavistock Place (Londres)**	8	7	3	-

Fonte: * Bretherton (TRL). ** Jackman, Gavin (TRL).

O controle integrado de controle de tráfego apresentado por LIN (2010) mostra a redução nos atrasos das viagens e na redução das emissões através da predição do comportamento futuro do tráfego a partir de análises pontuais (micro) e da região como um todo (macro) estimando-se, na tabela 10, os benefícios com a utilização destes modelos:

Tabela 10: Comparação utilizando controles em tempos fixos e o modelo baseado na predição com foco nos atrasos e as emissões

Desempenho	Sem o modelo	Com o modelo de Predição			
	Tempos fixos	Função Atraso		Função Emissão	
Tempo perdido (veic.hora)	1405	1244	-11,46 %	1245	-11,39 %
CO (Kg)	35,80	22,91	-36,00 %	22,84	-36,20 %
CO2 (Kg)	1.1186,1	9.283,2	-17,01 %	9.240,4	-17,39 %
NOx (Kg)	4,32	3,45	-20,14 %	3,40	-21,29 %
HC (Kg)	3,55	2,96	-16,62 %	2,83	-20,28 %

(Fonte: Lin - 2010)

ESTIMATIVA DOS BENEFÍCIOS

A partir da fundamentação teórica apresentada anteriormente e de dados de pesquisa efetuados por outros autores, buscamos apresentar uma estimativa dos benefícios obtidos com a utilização da tecnologia de semáforos em tempo real no Município de São Paulo que estarão sustentadas na redução estimada dos congestionamentos, da poluição e dos acidentes.

Com relação à redução dos congestionamentos, uma extensa pesquisa de MARTIN (2003) mostra que o desempenho operacional dos sistemas de controle de tráfego apresenta benefícios superiores à operação dos semáforos em tempos fixos mesmo daqueles frequentemente atualizados estimando-se benefícios médios nos tempos de percurso em cerca de 10% e nos atrasos de cerca de 20%, conforme tabela 11.

Tabela 11: Melhorias obtidas com a operação em tempo real dos semáforos

LOCAL	Controle anterior	Redução no tempo de percurso (%)	Redução no atraso (%)	Redução nas paradas (%)
São Paulo	Tempos fixos	-	0-40	-
Londres (Inglaterra)	Tempos fixos	8 (carros), 6 (ônibus)	19	5
Toronto (Canada)	Tempos fixos	8	17	22
Beijin (China)	Tempos fixos	2-16	15-41	33
Worcester (EUA)	Tempos fixos	11	20	-
Southampton (Inglaterra)	Isolados	18-26	39-48	-
Conventry (Inglaterra)	Tempos fixos	4-8	22-33	-
Nijmegen (Holanda)	Tempos fixos	11	25	
Glasgow (Escocia)	Tempos fixos	-	14	-
Broward County, Florida (EUA)	Tempos fixos	20%	42%	
Oakland County, Michigan (EUA)	Tempos fixos		6,6 a 32%	
Los Angeles, California (EUA)	Tempos fixos	13%	44%	
Newark, Delaware	Tempos fixos	Até 25%	-	-
Estimativa média	Tempos fixos e isolados	10%	20%	-

Fonte: estimativas do autor a partir de Martin, 2003 e Kotwal, 2012

No que se refere à poluição emitida, sabendo-se que quase a totalidade decorre dos modos de transporte motorizados (90%), podemos apontar uma estimativa de redução média de 8% na emissão de monóxido de nitrogênio (NO), 5% na emissão de material particulado (MP) e 7% no monóxido de carbono (CO), conforme pode ser visto na tabela 12.

Tabela 12: Redução da poluição com a operação em tempo real dos semáforos

	Redução no NO (monóxido de nitrogênio) (%)	Redução de MP (material particulado) (%)	Redução no CO (monóxido de carbono) (%)
Estimativa teórica *	7	10	20
Victoria (Londres)**	9	6	7
Tavistock Place (Londres) **	7	3	8
Toronto (Canada)	3 a 6% menos emissões ***		
Colorado	Até 17% menos emissões ***		
Estimativa média	8	5	7

Fontes: estimativas do autor a partir de * Bretherton (TRL). ** Jackman, Gavin (TRL). *** Newdorff

A redução dos acidentes é um dos fatores de maior importância quando se lida com a Engenharia de Tráfego. Os trabalhos efetuados por VILANOVA (2005), OGDEN (1994) e HUNT(1990), mostram uma média de redução na ocorrência de acidentes de cerca de 19 %. Destaca-se aqui o caso da Cidade de São Paulo na qual a redução dos atropelamentos chegou a 44%.

Tabela 13: Redução dos acidentes com a operação em tempo real dos semáforos

	Modo de operação	Colisões com vítimas	Atropelamentos
São Paulo	Tempo real	19%	44%
Maidstone	Tempo real	22%	-
Southampton	Tempo real	30%	-
Melbourne	Coordenação semafórica	6º	-
Sydney	Coordenação semafórica	20%	-
Estimativa média		19%	-

Fonte: Vilanova, 2005; Hunt, 1990 e Ogden, 1994

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhoria da mobilidade urbana na Cidade São Paulo passa por um processo multidisciplinar envolvendo questões de transporte, políticas, sociais, econômicas de forma a prover a população de meios de circulação sustentável o que significa mobilidade não só para as gerações atuais, mas também para aquelas futuras.

Fatores referentes à utilização de combustíveis renováveis e à poluição ambiental são de fundamental importância quando estudamos a mobilidade urbana e devem ser considerados na definição de políticas públicas.

Os investimentos em sistemas de transporte, as políticas de criação de empregos e de moradia devem estar integrados num processo de inclusão social passando pelo conceito de acesso universal garantindo a todos o direito de ir e vir com segurança, conforto, com preços módicos e com períodos de tempo razoáveis dando poder de decisão à população quando realizar ou não uma viagem, ao contrário do que ocorre hoje quando muitas viagens deixam de ser efetuadas por falta de recursos financeiros, de tempo ou por inacessibilidade às mesmas.

A tecnologia deve ser utilizada em benefício da sociedade, no caso específico da operação dos semáforos em tempo real, para a redução dos congestionamentos, da poluição e, principalmente, dos acidentes.

Desta forma, as políticas públicas devem ser estruturadas num tripé de capacidade técnica para desenvolvimento de soluções apropriadas, disponibilidade de recursos humanos, governabilidade sobre os projetos num ambiente de continuidade de ações voltadas à melhoria das condições de mobilidade da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTP. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras** - Relatório Executivo - Brasília : IPEA/DENATRAN/ANTP, 2006.

ANTP. **Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público.** Revista dos Transportes Públicos - ANTP - Associação Nacional dos Transportes Públicos. Ano 21. 1999.

BRANCO, ADRIANO MURGEL. **Os custos sociais do transporte urbano brasileiro.** Revista dos Transportes Públicos. ANTP, nº 82, 1999.

BRASIL. **Lei n. 12.587, de 3 de janeiro de 2012.** Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Disponível em:

http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei%2012.587-2012?OpenDocument . Acessado em 25/06/2012.

BRETHERTON, GARETH BOWEN AND WOOD KEITH. **Effective Urban Traffic Management and Control** - Scoot version 4.4. Transport Research Laboratory, UK 2002

CET: Acidentes de Trânsito - **Relatório Anual. 2014.** Companhia de Engenharia de Tráfego. São Paulo. 2014.

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Plano de Controle Veicular do Estado de São Paulo 2011-2013.**

CETESB (São Paulo): **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2013.**

Disponível <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>.

CINTRA, MARCOS. **Os custos dos congestionamentos na Cidade de São Paulo. Série: Textos para Discussão da Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas nº 356.** Fundação Getúlio Vargas. São Paulo. 2014.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções.** Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3>

DE PAULA, MAX ERNANI BORGES. **Evolução do número de mortes no trânsito em São Paulo. Nota técnica 232.** Companhia de Engenharia de Tráfego. São Paulo, 2014.

DENATRAN. **Anuário Estatístico de Acidentes 2006.** Disponível em http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais/estatisticas_do_denatran/anuario_s_estatisticos_do_denatran/anuario_do_denatran_acidentes_2006

DETRAN. **Frota na Cidade de São Paulo.** Disponível em: www.detran.sp.gov.br. Acessado em 20/05/12

FASSA, DANIEL. **O Preço da Poluição.** Artigo para a Revista Espaço Aberto. Universidade de São Paulo. 2007.

FOX, KEN; CLARK, STEPHEN; BODDY, RAHCEL; MONTGOMERY, FRANK AND MARGARET BELL. **Some benefits of a SCOOT UTC system: an independent assessment by micro-simulation.** Institute for Transport Studies. University of Leeds. Leeds. 1998.

GOMIDE, ALEXANDRE DE ÁVILA. **Instrumentos de Desestímulo ao Uso do Transporte Individual Motorizado: Lições e Recomendações.** Série temas em debates. Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2011.

HUNT, J.G. **An evaluation on the effects of SCOOT on road safety.** Transport and road research laboratory - TRRL. Berkshire, UK. 1990.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Séries Estatísticas & Séries Históricas.** Disponível em: <http://serieestatisticas.ibge.gov.br> . Acessado em 29/06/2012

IBOPE. **Indicadores de Referência de Bem Estar no Município - IRBEM.** Rede Nossa São Paulo. Grupo Ibope Inteligência. 2014.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas.** Síntese da Pesquisa. Brasília: Atlas, 2003

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. A nova lei de diretrizes da política nacional de mobilidade urbana. Comunicado nº 128: IPEA, 2012

JACKMAN, GAVIN. TRL Software. Disponível em: trlsoftware.co.uk.tfl.gov.uk/scoot-utc.com

KENNEDY, J and SEXTON, B. Literature review of road safety at traffic signals and signalized crossings. Transport Research Laboratory – TRL. Londres, 2009.

KOTWAL, ASHLEY RUSSEL. Traffic Signal Systems: A Review of Current Technology in the United States. Scientific & Academic Publishing. 2012.

Disponível em: <http://article.sapub.org/10.5923.j.scit.20130301.04.html> . Acessado em 18/10/2014.

MARTIN, PETER D. Adaptive Signal Control II. Department of Civil and Environmental Engineering University of Utah Traffic Lab 122 S. Central Campus Dr. Salt Lake City. 2003

MEINECKE, CARLA; FEDER, MARCOS E PACHECO, LYSIANE MENEZES. Gestão da Mobilidade Urbana em eventos programados: o caso da seleção brasileira em Porto Alegre. Revista dos Transportes Públicos – ANTP. Ano 32. 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. 2011.

NEWDORFF, LOUIS G. Sustainable Transportation. Principal Technologist – ITS, CH2M HILL, Virginia Beach, VA, USA. 2013.

NHTSA: National highway traffic safety administration. Website. United States of America. Disponível em <http://www.nhtsa.gov/> . Acessado em 18/10/2014.

OBSERVATÓRIO CIDADÃO NOSSA SÃO PAULO. Indicador - Congestionamentos

<http://www.nossasaopaulo.org.br/observatorio/regioes.php?regiao=33&distrito=0&tema=13>

OGDEN, K. W. Traffic Engineering Road Safety: A practitioner's guide. Department of Civil Engineering. Monash University. Australia. 1994.

S. LIN, B. DE SCHUTTER, S.K. ZEGEYE, H. HELLENDORRN, AND Y. XI. Integrated Urban Traffic Control for the reduction of travel delays and emissions. Proceedings of the 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2010), Ilha da Madeira, Portugal. 2010.

SALDIVA, PAULO. Quatro mil paulistanos morrem por ano por causa da poluição. Artigo para o Boletim Informativo do VIGIAR.. V 6 | n.31. Rio Grande do Sul. 2011.

TORRES, CARLOS EDUARDO DA GAMA. Planejamento do transporte rodoviário em Minas Gerais: uma análise de equilíbrio geral computável incorporando o custo dos acidentes para as rodovias br-381, br-262 e br-116. Publicações PPP - Planejamento e políticas públicas n. 42. IPEA. 2013.

VASCONCELOS, EDUARDO ALCANTARA E IEDA MARIA DE OLIVEIRA LIMA. Quantificação das Deseconomias do Transporte Urbano: Uma Resenha das Experiências Internacionais. Iêda Maria de Oliveira Lima. IPEA. Brasília. 1998.

VASCONCELOS, EDUARDO ALCANTARA. Transporte urbano, espaço e equidade: análise de políticas públicas. 2ª Ed. São Paulo: NetPress, 1988. 174 p.

WEBSITE: VIAS SEGURAS. Website. Disponível em:

http://www.vias-seguras.com/layout/set/print/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais

Acessado em 10/10/14.

VILANOVA, LUIS MOLIST. O controle de semáforos em tempo real: a experiência de São Paulo. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego, 2005. 70 p. Boletim técnico da CET 38.

VORMITAGG, EVANGELINA. Poluição do ar: Paris e Londres reagem - e São Paulo? ... o que faz? Artigo escrito para o site ECODEBADE. Disponível em: ecodebate.com.br. Acessado em 18/10/14.

ZITO, P. CHEN, H. B. and BELL, M.C. Predicting real-time roadside CO and NO2 concentrations using neural networks. White Rose Research Online. University of Leeds. UK. 2008. Disponível em <http://eprints.whiterose.ac.uk/4723/> . Acessado em 29/05/2014.