



Avaliação do potencial da integração de condicionantes de mobilidade urbana no planejamento energético de áreas urbanas

Karin Regina de Casas Castro Marins

Professora da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, anteriormente pesquisadora de doutorado na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

E-mail: karin.marins@poli.usp.br

Marcelo de Andrade Roméro

Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

E-mail: maromero@usp.br

Transportes e edificações são, em conjunto com as indústrias, os setores de maior destaque no consumo energético no Brasil. E as cidades concentram a maior parte da massa edificada e populacional, representando, portanto, centros consumidores de energia. Os transportes urbanos de passageiros no Brasil são responsáveis atualmente pelo consumo de 12,27 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo) por ano (ANTP, 2010), o qual corresponde a aproximadamente 5,5% da energia total consumida no país, incluindo todos os sistemas em operação e uso (petróleo e derivados, biocombustíveis, energia elétrica). Trata-se de elevado consumo energético, considerando a restrição de escopo - transporte de pessoas em áreas urbanas -, sendo esse consumo fortemente relacionado ao planejamento urbano e ao decorrente impacto na quantidade e extensão das viagens, assim como nos modos de transporte utilizados.

Por outro lado, os modelos de transporte e circulação atuais de grande parte dos aglomerados urbanos têm gerado fortes prejuízos para a qualidade de vida nessas áreas: “O transporte corresponde a uma das maiores causas dos problemas ambientais das cidades; além de ser fonte de intenso consumo de energia, o transporte causa poluição do ar, ruído e congestionamento do tráfego” (Santamouris, 2006). Dada a tendência ainda existente de crescimento e/ou adensamento das aglomerações urbanas, o forte apelo à aquisição e ao uso do trans-

porte individual e o agravamento, portanto, das condições de circulação urbana, é fato que tanto o consumo total de energia no setor, quanto o consumo específico (por usuário por viagem) tende a aumentar, caso as áreas urbanas e as redes de transporte não venham a ser reestruturadas para melhoria de seu desempenho global. Adicionalmente à promoção da eficiência energética, estratégias para melhoria das condições de mobilidade urbana impactariam fortemente na melhoria da qualidade do ar e na redução de congestionamentos, com benefícios diretos em termos de saúde pública e redução dos custos associados.

O objetivo deste trabalho é apresentar e discutir o potencial de integração entre planejamento energético urbano e planejamento de transportes no que tange à eficiência energética e à emissão de poluentes. A abordagem é baseada em pesquisa científica que incluiu a análise de condicionantes energéticos, urbanos e ambientais e o desenvolvimento de uma metodologia para planejamento energético de áreas urbanas e sua aferição no caso da operação urbana Água Branca, em São Paulo. A metodologia trata, de forma sistêmica e integrada, os condicionantes de morfologia e mobilidade urbanas, edificações, geração de energia e meio ambiente. Em linhas gerais, estratégias e soluções são comparadas e integradas em uma abordagem quantitativa, definindo as principais características urbanísticas, das edificações e do sistema de circulação e transporte da área urbana em estudo e calculando os respectivos níveis de consumo energético em transportes urbanos e edificações, além das emissões de poluentes e gases de efeito estufa associados e outros indicadores gerais e específicos.

CONDICIONANTES DA DEMANDA DE ENERGIA EM TRANSPORTES URBANOS

“As cidades existem para a interação. Elas dependem dos sistemas de circulação – vias, passeios, rotas de transporte público, serviços de utilidade (água, gás, eletricidade etc.) –, os quais viabilizam a vida urbana. Essas conexões permitem às cidades funcionarem e estarem em contato com o mundo de forma mais ampla” (Walton et al., 2007, tradução nossa). Assim sendo, o sistema de mobilidade urbana, formado por infraestrutura, tecnologias, veículos e processos operacionais necessários para o provimento de transporte e circulação nas cidades é, em conjunto com a morfologia urbana (resultante do uso e ocupação do solo e das imposições da climatologia), componente fundamental na definição da dinâmica urbana e social, do consumo de materiais, insumos e energia, e da geração de poluentes. Nas áreas em que o sistema de mobilidade urbana funciona adequada-



www.antp.org.br

mente, a população usuária circula com maior facilidade e mais rapidamente, racionalizando recursos.

A demanda de energia¹ em transporte urbano, assim como nas edificações, está fortemente condicionada por aspectos funcionais e formais das cidades e, por isso, a integração com condicionantes de morfologia urbana torna-se fundamental. Por outro lado, a consideração de alternativas de geração energética em nível urbano proporciona, por um lado, identificar oportunidades de aproveitamento de recursos energéticos locais, inclusive renováveis e residuais, bem como de aproximar a oferta da demanda de energia. A promoção da eficiência energética em transporte urbano de passageiros prescinde, portanto, de iniciativas cujo desafio e complexidade estão justamente na coordenação de ações entre diversos setores (planejamento urbano, de transportes e ambiental), atores (agentes públicos e privados, sociedade civil, usuários de transporte), tanto no planejamento estratégico das áreas urbanas e mesmo da mobilidade regional, quanto em rotinas operacionais diárias.

Diversos estudos foram desenvolvidos para aprofundar as análises referentes às relações e interdependências entre uso do solo e transporte público, dentre as quais parece claro que “o transporte público encontra melhores condições de desenvolvimento nas áreas urbanas com maior densidade residencial e ocupacional” (NTU, 2004). O transporte público e a estrutura urbana estão relacionados da seguinte forma: o uso e a ocupação do solo condicionam, por meio da densidade populacional e da atração de viagens, o volume de passageiros do sistema de transporte público; por outro lado, a configuração da rede de transporte influi na forma e no tipo de uso do solo em áreas de expansão urbana, ao determinar diferentes níveis de acessibilidade a cada local, para faixas específicas da população. A expansão urbana baseada no transporte por automóvel contribui, por sua vez, para redução da densidade devido à maior área necessária para circulação e estacionamento, dificultando a instalação de padrões adensados de uso e ocupação do solo, básicos para a viabilização dos modos de transporte público.

Owens² (1986 apud Santamouris, 2006, p. 9, tradução nossa) foca na inter-relação espacial urbana do consumo energético e do transporte nas cidades, destacando a importância do uso e ocupação do solo: “é provável que as necessidades de transporte e o correspondente consumo de energia sejam menos dependentes especificamente da forma urbana no que tange à rede de transporte resultante, do que da organização interna da área e da separa-

1. Demanda de energia é entendida, neste trabalho, como a solicitação energética de uma dada área urbana, por se tratar de um termo técnico amplamente utilizado no setor elétrico.

2. OWENS, S. *Energy, planning and urban form*. Londres: Pion Limited, 1986.



www.antp.org.br

ção física de atividades, as quais são determinadas pela densidade urbana e pela distribuição de atividades”. Nesse sentido, Owens recomenda certo nível de descentralização (uso misto) das diferentes atividades urbanas para uma integração mais intensa e efetiva de usos em menor escala.

Newman e Kenworthy desenvolveram estudos proeminentes relacionando densidade urbana, sistemas de transporte urbanos e consumo de energia, quando ficou comprovado que a densidade urbana seria inversamente proporcional ao consumo energético em transportes (Newman; Kenworthy, 1999). O trabalho abarcou extenso levantamento de informações em cidades da América do Norte, Europa, Ásia e Austrália, quando foi verificada a forte relação entre a ocupação urbana e a densidade populacional, fruto de diferentes padrões de uso e ocupação do solo e o grande impacto em termos do consumo energético em sistemas de transporte.

A ocupação dispersa dificulta, portanto, o provimento de infraestrutura de transporte de massa e incentiva o transporte individual, enquanto zonas monofuncionais, sem rápido acesso a necessidades de uso e consumo cotidianos, desencadeiam a necessidade de maior número de viagens diárias. Segundo Goldemberg (2000), um melhor equilíbrio entre as condições de mobilidade e acessibilidade em áreas urbanas, poderia resultar em uma estratégia de transporte urbano mais eficiente do ponto de vista energético, baseada em gerenciamento da demanda. Assim sendo, a regulamentação adequada do uso e ocupação do solo associada ao acesso a serviços de transporte público poderia mediar a demanda por sistemas de transporte mais intensivos do ponto de vista energético.

A energia necessária para transportar uma pessoa por quilômetro é denominada consumo específico de energia, sendo expressa em MJ por passageiro-km ou kWh por passageiro-km e fornecendo um parâmetro de eficiência energética em transportes urbanos de passageiros. O consumo de energia resultante é produto da multiplicação do consumo específico de energia pelo total de passageiros transportados e a extensão do deslocamento médio, em cada modo de transporte. Considera-se, portanto, tanto o rendimento veicular e de tráfego quanto a eficiência na ocupação veicular. Segundo Vasconcellos (2006), de modo geral, automóveis usam 2,3 a 2,6 MJ/ passageiro-km, trens usam 0,6 a 1,5 MJ/ passageiro-km e ônibus, 0,6 a 0,8 MJ/ passageiro-km. O consumo específico depende, no entanto, das condições de carregamento de cada sistema de transporte.

Dessa forma, além de políticas de integração entre transporte e uso e ocupação do solo, aproximando pontos de origem e destino das via-

gens, é fundamental disponibilizar infraestrutura e condições operacionais adequadas à distribuição equilibrada dos meios de transporte em face da demanda. A distribuição das necessidades de transporte e circulação entre os diversos modos de transporte e a definição da forma e do nível de integração entre eles correspondem a uma estratégia para promover, simultaneamente, a melhoria da mobilidade urbana, a eficiência energética do sistema de transporte como um todo e a redução dos impactos ambientais associados.

Primeiramente, coloca-se como fundamental o provimento da infraestrutura e configurações urbanas adequadas à caminhada e à circulação e estacionamento de bicicletas, disponibilizando uma alternativa para deslocamentos de até 1 e 5 km, respectivamente, pelo menos para parcela da população apta aos esforços físicos necessários (Watches et al., 2000). Segundo Walton et al. (2007), um ambiente público seguro, atrativo e adequado motiva pessoas a caminhar. De acordo com Cerreño (2006), as principais iniciativas e políticas relacionadas a bicicletas devem focar em alternativas para motivar o seu uso, por exemplo, por meio da oferta de infraestrutura adequada e contínua conectada à rede de transporte público e da maior percepção de segurança e da acessibilidade direta aos destinos finais.

O planejamento de sistemas motorizados, por sua vez, deve prescindir da definição de premissas e condicionantes para que o transporte individual tenha sua participação controlada e, se possível, reduzida, em grande parte pela atratividade de soluções de transporte não-motorizado e transporte público com desempenho e qualidade adequados à demanda. Isso porque, considerando a eficiência do sistema de transporte urbano motorizado, no que tange ao uso de espaço, consumo de combustível e energia, bem como emissões totais de poluentes, os modos de transporte coletivo público apresentam os melhores resultados.

A relação entre a participação do transporte individual na matriz de transporte urbano e o consumo energético em transporte per capita é indicada por Ohta (2005), que apresenta valores para diversas cidades no mundo. Nesse estudo, cidades norte-americanas, com 86,4% de participação do transporte individual, consomem 74.294 MJ per capita por ano, enquanto cidades europeias, com 57,2% de participação do transporte individual, consomem 17.294 MJ per capita por ano. As cidades norte-americanas, associadas em grande parte à urbanização dispersa, demandam extensos deslocamentos diários por modos individuais. No caso de cidades asiáticas, o mesmo consumo é quase nove vezes inferior (8.257 MJ/per capita por ano), sendo o transporte individual minimizado a 35,9% de participação na matriz de modos de transporte (Ohta, 2005).



www.antp.org.br

METODOLOGIA APLICADA À ÁREA DA OPERAÇÃO URBANA ÁGUA BRANCA, EM SÃO PAULO

A análise dos condicionantes de morfologia e mobilidade urbanas, edifícios, meio ambiente e energia e a identificação do potencial de integração de estratégias para eficiência energética, com base no planejamento sistêmico de uma dada área urbana, foi a base para desenvolvimento de uma pesquisa científica que resultou no desenvolvimento de uma metodologia para aplicação nas fases preliminares de planejamento e tomada de decisão em áreas urbanas, e abrangeu o seguinte escopo principal:

- morfologia urbana, com foco no uso e ocupação do solo, densidade populacional, densidade construída e clima urbano;
- mobilidade urbana, abrangendo transporte urbano de passageiros e sistema de circulação urbana;
- edificações, no que tange a soluções em macroescala, em termos de volumetria e tratamento de superfícies externas, bem como estratégias passivas em conforto ambiental e substituição tecnológica de equipamentos;
- oferta de energia: incluindo sistemas distritais e locais de eletricidade, aquecimento e resfriamento, bem como sistema regional de referência;
- recursos energéticos: abrangendo recursos renováveis (luz, radiação solar, ventos, biocombustíveis), recursos fósseis (gás natural, gasolina C, diesel) e subprodutos urbanos (resíduos sólidos, esgoto e gases resultantes);
- emissão de poluentes locais e gases de efeito estufa relacionados a geração de energia e transportes urbanos.

Em linhas gerais, a aplicação metodológica parte da definição das características dos lotes, quadras, densidade populacional e do tecido urbano, para uma dada área urbana selecionada, atentando-se para aspectos funcionais e de clima urbano. Essas características são compatibilizadas com os pré-requisitos de demanda de sistema de transporte e de circulação, bem como com as premissas para eficiência energética de edifícios, sobretudo no que tange ao dimensionamento adequado da seção viária, para viabilizar a iluminação natural para as edificações. Da definição das características da área urbana resulta o consumo de energia em edificações e transportes, utilizado para estimar a capacidade instalada de geração de energia e, finalmente, as emissões associadas de poluentes locais e de gases de efeito estufa.

A metodologia abrange um amplo espectro de variáveis, parâmetros e etapas de procedimento para definição e simulação das potencialidades urbanas em termos de integração de estratégias e soluções,

possibilitando a construção e comparação de diferentes situações urbanas e sistemas de mobilidade urbana. Demanda por transporte, divisão de modos em acordo com características de seção viária e limites de capacidade dos diferentes sistemas, consumo de energia, consumo de combustíveis, oferta de energia necessária e emissão de poluentes associados, entre outros, são alguns dos principais resultados gerados no que toca à mobilidade urbana.

Especificamente com relação aos condicionantes de mobilidade urbana, as seguintes estratégias estão previstas na metodologia em questão:

- adequação entre uso do solo, densidade populacional, densidade construída e capacidade de transporte;
- divisão de modos de transporte, privilegiando modos não motorizados (caminhada e bicicleta), atentando para distâncias percorridas e condições de infraestrutura, assim como modos coletivos de transporte, e restringindo, dessa forma, o uso de transporte individual;
- adequação entre seção viária e cânion urbano, que condiciona, do ponto de vista climatológico, o acesso de luz solar aos edifícios;
- fontes de energia e combustíveis para uso em transporte urbano, associando passageiros transportados, consumo de energia e emissão de poluentes.

A metodologia foi aferida no estudo de caso da atual operação urbana Água Branca, em São Paulo. Trata-se de uma área de desenvolvimento urbano localizada em uma região de urbanização consolidada, próxima a vias importantes de circulação e a sistemas de transportes públicos de alta capacidade, e ao centro da cidade. Abrange 5,40 km², está incluída no Plano Diretor de São Paulo e detalhada na Lei Municipal nº 11.774/95 (PMSP, 1995) como uma área de “operação urbana” o que significa que permite condições especiais de desenvolvimento urbano, incluindo mudanças no parcelamento e uso e ocupação do solo.

Para o caso da operação urbana Água Branca e no que tange à mobilidade urbana, foram configurados diversos cenários associados a diferentes condições de adensamento populacional e construído, condições viárias e fontes de energia. A seguir, são apresentadas e discutidas quatro situações urbanas alternativas configuradas por meio da aplicação metodológica, além da situação de referência, e que correspondem a “recortes” de configurações urbanas mais completas,³ disponíveis na íntegra em Marins (2010). A tabela 1 reúne as

3. As situações 1 e 2 referem-se, naquele trabalho, ao tecido urbano opção D e as situações 3 e 4, ao tecido urbano opção B. Além disso, pelo tipo de combustível utilizado, as situações 1 e 3 se referem ao cenário 1 de transporte, que inclui transporte público com combustíveis fósseis, e as situações 2 e 4 se referem ao cenário 2 de transporte, baseado em biocombustíveis em transportes públicos.



www.antp.org.br

características gerais dos condicionantes de mobilidade urbana para as situações urbanas selecionadas.

Tabela 1
Configuração geral das características de situações urbanas selecionadas, segundo condicionantes de mobilidade urbana, com base em Marins (2010)

Situações urbanas	Situação de referência	Situação 1	Situação 2	Situação 3	Situação 4
IM (viagens/hab. dia)	1,96	2,88	2,88	2,88	2,88
Passageiros totais transportados por dia	766.412	894.646	894.646	846.073	846.073
TNM (%)	36,06	15	15	15	15
TPBC (%)	26,56	9,31	9,31	10,31	10,31
TPMC (%)	0,00	37,24	37,24	41,24	41,24
TPAC (%)	8,44	8,44	8,44	8,44	8,44
TI (%)	28,94	30,00	30,00	25,00	25,00
Densidade viária (%)	10	38	38	37	37
Combustível em transporte individual	25% veículos a gasolina (22% álcool anidro e 78% gasolina) e 75% veículos flexfuel (25% gasolina e 75% etanol)				
Combustível em transporte público	diesel	etanol	diesel	diesel	etanol

IM: Índice de Mobilidade. TNM - Transporte não-motorizado (a pé ou bicicleta); TPBC - Transporte público de baixa capacidade; TPMC - Transporte público de média capacidade - BRT ou VLT; TPAC - Transporte público de alta capacidade; TI - Transporte individual - automóvel.

A situação de referência abrange as atuais condições de transporte da Região Metropolitana de São Paulo. No que tange a divisão de modos de transporte e índice de mobilidade foram adotados dados apresentados pela pesquisa origem-destino 2007 (CMSP, 2008). Quanto à densidade populacional, base para previsão da demanda por transporte, foram adotados os valores previstos no plano urbanístico da operação urbana Água Branca, vigente à época de desenvolvimento do trabalho de pesquisa (Emurb, 2009). A proporção de combustíveis em veículos individuais foi mantida igual na situação de referência e nas situações urbanas alternativas. Os parâmetros urbanísticos adotados seguem a atual lei de zoneamento do município (PMSP, 2004).

Conforme indicado na tabela 1, no que tange à divisão dos modos de transporte, nas situações urbanas 1 a 4 os sistemas não motorizados (caminhada e bicicleta) tiveram sua parcela reduzida em 58% com relação à situação de referência, para que viagens a pé com percurso

médio superior a 1 km sejam feitas por modos motorizados coletivos. A participação do sistema de baixa capacidade foi reduzida em 63%, enquanto foram previstos sistemas de média capacidade atendendo de 37% a 41% das viagens, dependendo da situação urbana configurada.

A demanda por transporte inclui modos motorizados ou não-motorizados, para viagens de curta ou longa distância, sendo estimada como a somatória da população residente e empregada na área, da população flutuante (número médio de pessoas que não habitam, não trabalham e não estudam na área em questão, mas que a ela se dirigem frequentemente para consumo de mercadorias, bens e serviços) e da população de passagem na área. As viagens internas à área estudada, ou dessa área para outras localidades, relacionadas à população residente, são estimadas de acordo com o motivo, com base na análise das viagens de distritos urbanos, disponíveis na pesquisa origem-destino de 2007 na Região Metropolitana de São Paulo (CMSP, 2008). No caso da população flutuante, foi considerado um fator sobre a população empregada, também possível de ser estimado com base na pesquisa origem-destino.

Com relação ao consumo específico de energia e fatores de emissão de poluentes relacionados aos sistemas de transporte urbano foram utilizados, respectivamente, os parâmetros relacionados nas tabelas 2 e 3 a seguir.

Tabela 2
Consumo de energia em transportes urbanos

Tecnologia veicular	Consumo específico de energia (MJ/ passageiro-km)	Referência utilizada
Ônibus a diesel	0,48	CMSP ¹ (1998 apud Vasconcellos, 2006, p. 192)
Ônibus a etanol (Euro V)	0,86	Calculado com base na proporção entre consumo energético e de combustível para ônibus a diesel
Automóvel a gasolina (75% gasolina; 25% etanol)	3,21	CMSP ¹ (1998 apud Vasconcellos, 2006, p. 192)
Automóvel – Flexfuel (100% etanol)	4,49	Calculado com base na proporção entre consumo energético e consumo de combustível para automóvel a gasolina C
Metrô	0,68	CMSP (1998 apud Vasconcellos, 2006, p. 192)

1. CMSP – Companhia do Metropolitano de São Paulo. Pesquisa Origem-Destino 1987. São Paulo, 1988.



www.antp.org.br

Tabela 3
Fatores de emissão dos sistemas de transporte urbano de passageiros

Tecnologias	Unidade	Fatores de emissão de poluentes em sistemas de transporte de passageiros						Fonte
		SO ₂	NO _x	COV	CO	MP	GEE	
Autos gasolina	g/km	0,0700	0,7400	1,1600	11,2000	0,0800	331,0000	1
Autos "flex fuel" etanol	g/km	0,0000	0,0800	0,1100	0,6000	0,0000	0,0000	2
Ônibus diesel	g/km	0,1300	10,0000	2,1100	13,7000	0,4900	244,0000	1
Ônibus etanol	g/kWh	0,0000	1,6000	0,0500	0,0000	0,0010	0,0000	3

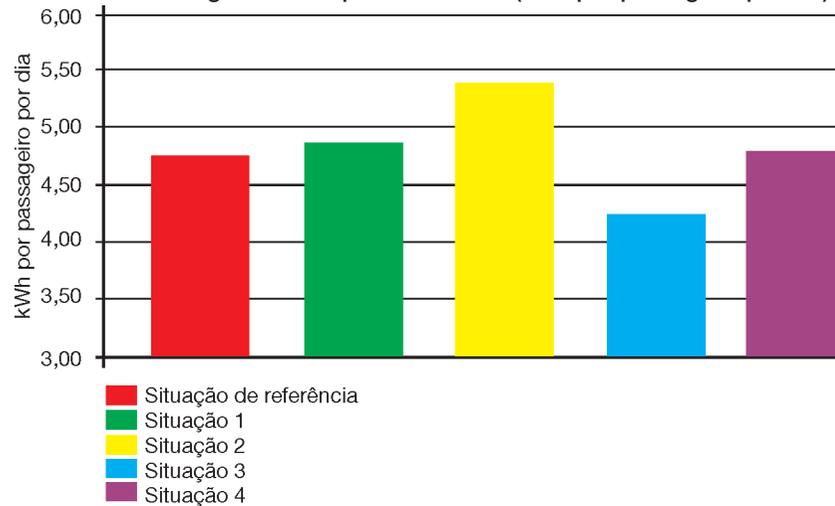
Fontes:

1. Cetesb (2009) - (poluentes: CO, HC, NO_x, SO₂ e MP); Vasconcellos (2006) - Gases de Efeito Estufa. 2 - Cetesb (2009). Com relação às emissões de GEE, as mesmas foram assumidas com nulas, considerando o plantio sustentável da cana-de-açúcar. 3 - Moreira et al. (2008). 4 - Assumido que sistemas de geração elétrica de base totalmente renovável não geram emissões, tais como sistemas hidrelétricos, eólicos e fotovoltaicos. 5 - Previsão de utilização de energia elétrica fornecida por sistemas regionais atuais (padrão do SIN).
SO₂ - Dióxido de enxofre; NO_x: Óxidos de nitrogênio, COV: Compostos orgânicos voláteis; CO: Monóxido de carbono; MP: Material particulado; GEE - Gases de efeito estufa.

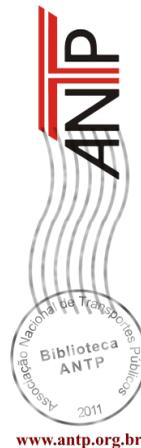
A figura 1 reúne os resultados globais de energia consumida por passageiro por dia em transportes urbanos. Comparando-se os resultados verifica-se:

- leve incremento na situação 1 em relação à situação de referência, devido ao aumento do índice de mobilidade e à redução do número de viagens não motorizadas, apesar da maior participação dos modos de transporte público de média capacidade;
- a situação 2 apresenta a mesma divisão de modos de transporte que a situação 1, mas o uso do etanol incrementa o consumo energético em 14%, quando comparado à situação 1;
- A situação 3 traz a passagem de 5% da participação do transporte individual para o transporte público, quando comparado à divisão de modos nas situações 1 e 2, além da redução da demanda total por transporte, fruto das soluções de densidade urbana adotadas no planejamento global da área. Nesse caso, foi verificada a redução de 11% no consumo energético por passageiro por dia em relação à situação de referência, mesmo com maior índice de mobilidade e maior demanda total por transporte;
- A situação 4, por fim, traz a divisão de modos de transporte da situação 3 associada ao uso do etanol no transporte público, o que aumenta consumo de energia por passageiro transportado em 2% em relação à situação de referência.

Figura 1
Consumo de energia em transportes urbanos (kWh por passageiro por dia)



As figuras 2 a 5 incluem indicadores referentes às emissões de SO₂, MP, CO, COV, NO_x e GEE, para sistemas de transporte (lado direito do gráfico, com sufixo “T”) e geração de energia (lado esquerdo do gráfico, com sufixo “G”), estimadas para a área urbana em questão. Os gráficos se referem às situações urbanas 1 a 4, sendo a situação de referência marcada em pontilhado em cada um deles. Do lado esquerdo dos referidos gráficos, verifica-se a semelhança das áreas formadas nos gráficos da situação de referência e das situações 1 a 4, resultantes da adoção da mesa matriz de fornecimento elétrico, nesse caso o sistema interligado nacional – SIN para esses cenários. Nesse caso, as emissões relativamente à geração de energia são baixas para maior parte dos poluentes, devido à matriz predominantemente hidrelétrica. Exceções abrangem emissões de GEE e NO_x, relativas à parcela de geração termelétrica a gás natural da matriz. No que tange às emissões de poluentes pelo sistema de transportes, as situações urbanas 1 e 3 superam a situação de referência em virtude da modificação na divisão dos modos de transporte anteriormente abordada. Reduções são verificadas na situação 3 em relação à situação 1 devido à maior participação dos modos coletivos sobre o individual. Reduções ainda mais significativas são visualizadas ao se utilizar etanol no transporte público (situações 2 e 4). Na situação 4 se verifica a redução mais significativa nas emissões de poluentes, à qual estratégias em maximização de transporte público e energias limpas são associadas.



www.antp.org.br

Figura 2
Emissões de poluentes e gases de efeito estufa em transporte e geração de energia – Situação 1

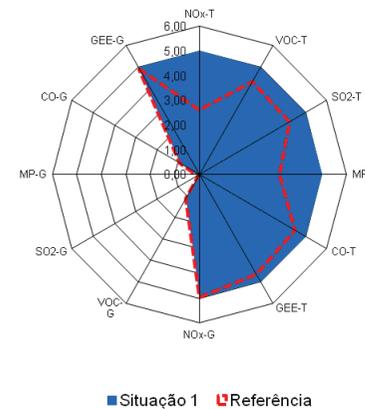


Figura 3
Emissões de poluentes e gases de efeito estufa em transporte e geração de energia – Situação 2

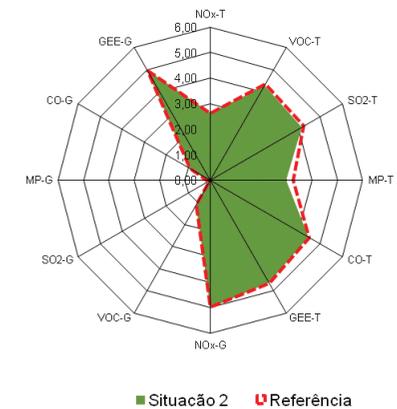


Figura 4
Emissões de poluentes e gases de efeito estufa em transporte e geração de energia – Situação 3

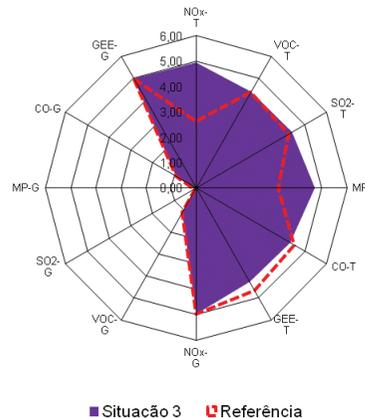
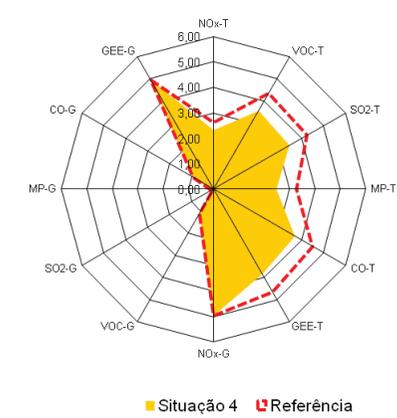


Figura 5
Emissões de poluentes e gases de efeito estufa em transporte e geração de energia – Situação 4



Os gráficos das figuras 6 a 9 a seguir mostram quantitativos finais da demanda de passageiros em modos motorizados, conforme divisão de modos de transporte apresentada na tabela 1, assim como resultados totais relativos a consumo de energia em transportes urbanos e emissão de poluentes e gases de efeito estufa.

Analisando os gráficos das figuras 6 e 7, verifica-se que nas situações urbanas o incremento do número de passageiros transportados por dia é, em média, 50% superior à situação de referência, enquanto o consumo energético total é acrescido de 4% (situação 3) a 26% (situação 2), dependendo da divisão dos modos de transporte e do combustível utilizado, demonstrando o impacto positivo proporcionado pelo transporte público coletivo sobre o individual, em macroescala de planejamento urbano.

Figura 6
Passageiros transportados por dia em sistemas de transporte motorizados nas situações previstas para o caso da operação urbana Água Branca, em São Paulo, com base em Marins (2010)

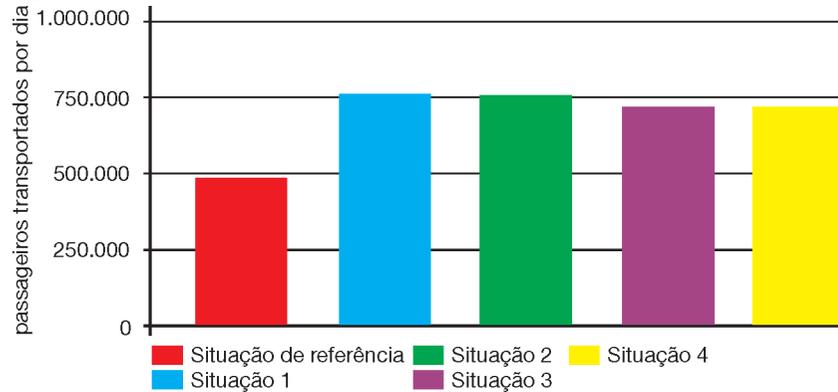
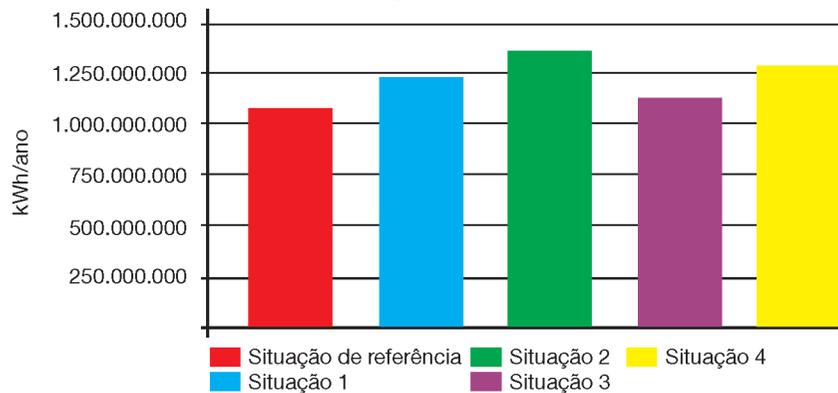


Figura 7
Consumo total de energia em transportes urbanos nas situações previstas para o caso da operação urbana Água Branca, em São Paulo (Marins, 2010)



Em seguida, comparando-se os gráficos anteriores com os gráficos das figuras 8 e 9, também é possível identificar aumento na emissão de



poluentes locais e gases de efeito estufa nas situações 1 a 3. O aumento da emissão de poluentes locais é mais significativo que dos gases de efeito estufa: na situação 1, que recebeu os maiores incrementos, a emissão de poluentes e GEE aumentaram, respectivamente, 29% e 10% com relação à situação de referência, o que ainda assim é abaixo da taxa de incremento do número de passageiros transportados. Consta-se ainda que a adoção de combustíveis mais limpos demonstra ser a estratégia mais eficiente, dentre as situações analisadas, para redução das emissões de poluentes. Comparando-se as situações 1 e 2, a troca isolada de diesel por etanol no transporte público promove a redução dos incrementos de emissões de poluentes e GEE sobre a situação de referência para 8,5% e -3,1%, respectivamente, contra 29% e 10% anteriormente mencionados para a situação 1.

Figura 8
Emissões de poluentes locais totais por transportes urbanos nas situações previstas para o caso da operação urbana Água Branca, em São Paulo

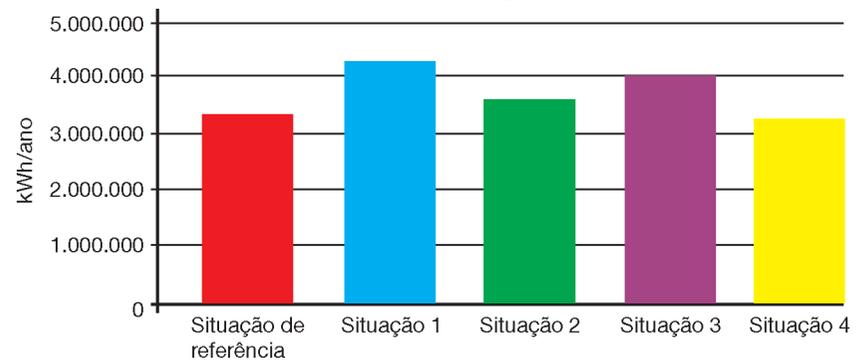
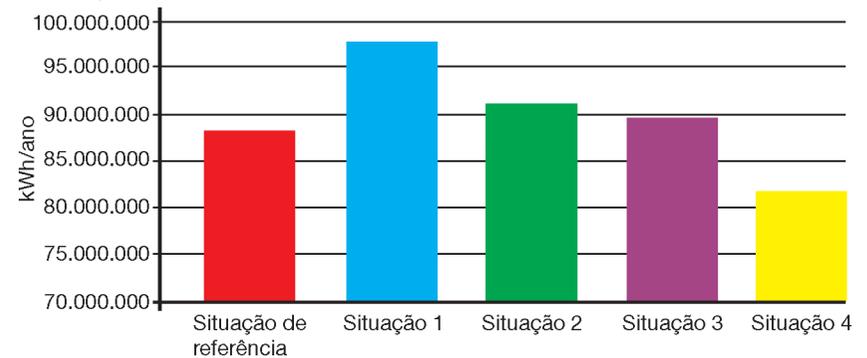


Figura 9
Emissões de poluentes locais de gases de efeito estufa por transportes urbanos nas situações previstas para o caso da operação urbana Água Branca, em São Paulo

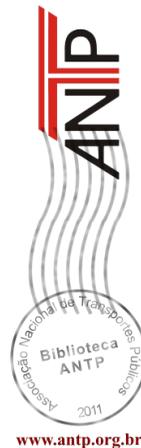


CONCLUSÕES

O planejamento de transportes urbanos, integrado a condicionantes de morfologia urbana, consumo e oferta de energia e controle de impactos ambientais, é fundamental tanto para a eficiência operacional dos diferentes meios de transporte, quanto para eficiência no uso de insumos, sobretudo do espaço urbano e de recursos energéticos. Foi desenvolvida e aplicada uma metodologia que foca na integração de estratégias para efficientização e suporte à execução desse planejamento urbano integrado, permitindo a simulação integrada de soluções em transporte urbano, urbanismo, meio ambiente e energia para áreas em desenvolvimento urbano. A área da operação urbana Água Branca foi utilizada como estudo de caso para aferição metodológica, ficando demonstrado, dentre outros, o potencial de soluções urbanas integradas para a melhoria da oferta sistemas de transporte urbano estruturados e associados à redução do consumo de energia e emissões de poluentes. Dentre as situações urbanas relacionadas no presente artigo, a situação 4 apresentou melhor desempenho, proporcionando incremento de 46% no número de passageiros transportados, aumento de 19% no consumo total de energia, mas com redução de 4% na emissão de poluentes locais e de 7,5% nos gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana – Relatório Geral 2009*. São Paulo: ANTP, 2010. Disponível em: <http://portal1.antp.net/site/simob/Downloads/Relat%C3%B3rio%20Geral%202009.pdf>. Acesso em 06/06/2011.
- CERREÑO, A.; SANDER, E. *Pedestrian and bicyclist standards and innovations in large central cities*. Nova York: Rudin Center for Transportation Policy & Management, janeiro de 2006. Disponível em: <http://wagner.nyu.edu/rudincenter/files/bikeped.pdf>. Acesso em 30 set 2008.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2008*. São Paulo: Cetesb, 2009. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>. Acesso em 10 ago 2011.
- CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. *Pesquisa Origem – Destino 2007*: Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: Companhia do Metropolitan de São Paulo, 2008.
- EMURB - EMPRESA MUNICIPAL DE URBANIZAÇÃO. *Operação Urbana Água Branca: Parâmetros de Revisão out/09*. São Paulo: Emurb, 2009. Disponível em http://www.slideshare.net/chicomacena/operacao-gua-branca-parametros-de-revisao-out09?from=share_email. Acesso em 13 dez 2009.
- GOLDEMBERG, J. et al. *Energy and the challenge of sustainability – World Energy Assessment*. Nova York: United Nations Development Programme, 2000.



www.antp.org.br

- MARINS, K. R. de C. C. *Proposta metodológica para planejamento energético no desenvolvimento de áreas urbanas*. O potencial de integração de estratégias e soluções em morfologia e mobilidade urbanas, edificações, meio ambiente e energia. O caso da operação urbana Água Branca, em São Paulo. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-09062010-155906/pt-br.php>.
- MOREIRA, J. R. et al. Best project – Contribution of ethanol usage in public urban transport. In: XVI Simea 2008 – Simpósio internacional de engenharia automotiva - O aquecimento global e a mobilidade no século XXI/ Tecnologias para obtenção do desenvolvimento sustentável. *Anais*. São Paulo: AEA, 2008.
- NEWMAN, P.; KENWORTHY, J. *An international sourcebook of automobile dependence in cities, 1960-1990*. Niwot, Boulder: University Press of Colorado, 1999.
- NTU - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE EMPRESAS DE TRANSPORTES E TRÂNSITO. *Sistema Redes: Construindo redes de transporte público de qualidade*. Brasília: NTU, 2004.
- OHTA, K. et al. *Transport policy in perspective 2005*. Tóquio: Japan Research Center for Transport Policy, 2006.
- PMSP - PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Lei nº 11.774/95, de 18 de maio de 1995. Operação Urbana Água Branca. Estabelece diretrizes e mecanismos para a implantação da Operação Urbana Água Branca. São Paulo: PMSP, 1995. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento_urbano/sp_urbanismo/operacoes_urbanas/agua_branca/index.php?p=19593. Acesso em 10 ago 2011.
- PMSP - PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Lei nº 13.885/04, de 25 de agosto de 2004. Zoneamento do Município de São Paulo. Estabelece normas complementares ao Plano Diretor Estratégico, institui os Planos Regionais Estratégicos das Subprefeituras, dispõe sobre o parcelamento, disciplina e ordena o uso e ocupação do solo do Município de São Paulo. São Paulo: PMSP, 2004.
- SANTAMOURIS, M. et al. *Environmental design of urban buildings: An integrated approach*. Londres: Earthscan/James & James, 2006.
- VASCONCELLOS, E. A. *Transporte e meio ambiente: Conceitos e informações para análise de impactos*. São Paulo: Editora do Autor, 2006.
- WALTON, D. et al. *Urban design compendium*. Reino Unido: English Partnerships e The Housing Corporation, 2007.
- WATCHS, M. et al. *Highway Capacity Manual 2000 - HCM 2000*. United States of America: National Academy of Sciences, 2000.