

Integração de condicionantes de morfologia urbana no desenvolvimento de metodologia para planejamento energético urbano

Integration of urban morphology constraints in the development of a methodology for urban energy planning

Karin Regina de Casas Castro Marins
Marcelo de Andrade Roméro

Resumo

O objetivo desse artigo é apresentar as características gerais de uma nova metodologia para planejamento energético urbano, detalhando os procedimentos para integração de condicionantes de morfologia urbana, que constitui a primeira etapa de aplicação metodológica. Esta abordagem é inovadora e focada na integração de estratégias e soluções em morfologia e mobilidade urbanas, edifícios, energia e meio ambiente para planejamento de áreas em desenvolvimento urbano, novas ou a serem requalificadas, na escala de distritos, bairros e unidades de vizinhança. A análise dos resultados da aplicação metodológica no caso da operação urbana Água Branca indicou que a ocupação urbana por edificações e as densidades construída e populacional necessitavam ser compatibilizadas com a área livre requerida ao adequado dimensionamento da seção viária, no que tange a aspectos de climatologia e de provimento de infraestrutura e demanda para mobilidade urbana. Esta era uma premissa para o aproveitamento da luz e da energia solar em edificações e para que o sistema de transporte urbano fosse mais funcional e energeticamente mais eficiente.

Palavras-chave: Planejamento urbano. Eficiência energética. Morfologia urbana. Mobilidade urbana. Edifícios.

Abstract

The aim of this paper is to present the general characteristics of a new methodology for urban energy planning, detailing the procedures for integrating the constraints of urban morphology, which is the first stage of the methodological application. This approach is innovative and focused on the integration of strategies and solutions in urban morphology and mobility, buildings, energy and environment for the planning of urban development areas, either new or to be reclassified, at the district and neighborhood scales. The results of the application of this methodology in the case of Agua Branca urban operation indicated that the occupied area and the built environment and population densities needed to be harmonized with the free area required for the appropriate sizing of the road section, with respect to both the urban climatology parameters, and the provision of infrastructure and demand for urban mobility. That was a premise for the use of sunlight and solar energy in buildings as well as for having more functional and more energy efficient urban transport system.

Keywords: Urban planning. Energy efficiency. Urban morphology. Urban mobility. Buildings.

Karin Regina de Casas Castro Marins
Departamento de Engenharia de
Construção Civil, Escola Politécnica
Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, n.
83
São Paulo - SP - Brasil
CEP 05508-900
Tel.: (11) 3091-5107
E-mail: karin.marins@poli.usp.br

Marcelo de Andrade Roméro
Departamento de Tecnologia da
Arquitetura, Faculdade de Arquitetura
e Urbanismo
Universidade de São Paulo
Rua do Lago, 876
São Paulo - SP - Brasil
CEP 05508-080
Tel.: (11) 3091-4538
E-mail: maromero@usp.br

Recebido em 26/08/11
Aceito em 26/11/12

Introdução

As áreas urbanas podem ser consideradas sistemas físicos, funcionais e também energéticos, nos quais seus componentes apresentam interdependências que condicionam seu metabolismo. Considerando o processo de urbanização uma tendência progressiva no mundo e no Brasil (BURDETT; SUDJIC, 2008; INSTITUTO..., 2011), assim como a concentração do consumo de recursos, o planejamento do desenvolvimento urbano coloca-se como uma oportunidade de promover melhores níveis de integração das funções, fluxos e infraestrutura da cidade, envolvendo o meio ambiente natural e o construído, com uso eficiente de recursos, sobretudo energéticos, necessários à promoção da qualidade de vida e à conservação do meio ambiente.

A morfologia urbana, frequentemente referida como estrutura ou malha urbana, é resultado da combinação de diversos elementos que formam as áreas ocupadas, livres, com vegetação ou pavimentação, com volumetrias, materiais e cores diversas. Em uma abordagem sistêmica, a morfologia urbana influi diretamente nos sistemas de transporte e circulação, ou seja, na mobilidade urbana, e também no projeto de edifícios. No primeiro caso, a demanda de passageiros transportados, bem como o espaço físico necessário para implantação de infraestrutura de circulação e transporte, fazem com que a mobilidade urbana esteja condicionada em grande parte pelas características de uso e ocupação do solo. Ao mesmo tempo, em que as condições de acessibilidade também condicionam os padrões de ocupação. No que tange às edificações, as características de cânion urbano e a orientação e o dimensionamento dos lotes e quadras podem afetar a disponibilidade de luz e ventilação natural no interior dos edifícios.

O objetivo desse artigo é apresentar as características gerais de uma nova metodologia para planejamento energético urbano, detalhando os procedimentos para integração de condicionantes de morfologia urbana, que constitui a primeira etapa de aplicação metodológica. Além disso, são analisados alguns dos resultados de sua aplicação no caso da operação urbana Água Branca, em São Paulo. A abordagem é inovadora e focada na integração de estratégias e soluções em morfologia e mobilidade urbanas, edifícios, energia e meio ambiente para planejamento de áreas de desenvolvimento urbano, novas ou a serem requalificadas, na escala de distritos, bairros e unidades de vizinhança.

Metodologia para planejamento energético urbano e a integração de soluções em morfologia urbana

A metodologia é focada em uma abordagem sistêmica de condicionantes do planejamento urbano, planejamento ambiental, planejamento energético e de sistemas de transporte urbano. Foi concebida para aplicação no planejamento de áreas de desenvolvimento urbano, na escala de distritos, bairros ou unidades de vizinhança, ainda desocupados, nos quais ainda haja possibilidade de parcelamento do solo, assim como em estudos para requalificação de áreas urbanas já ocupadas, nas quais seja possível ou não modificações estruturais em termos de quadras, sistema viário e lotes.

O desenvolvimento da metodologia foi baseado na identificação e correlação de um conjunto de elementos ou fatores estruturais da organização física e funcionamento das áreas urbanas, no que tange a macro definições de espaços públicos e privados, ambientes internos e externos, usos residenciais e comerciais, sistemas de transporte e de fornecimento de energia, e que impactam na forma e na quantidade de energia consumida nas cidades e na emissão de poluentes associados. Para isso, foi realizada revisão bibliográfica e análise dos seguintes temas principais, no que tange ao estudo da morfologia urbana e sua inter-relação com os demais condicionantes considerados, conforme sumarizado a seguir:

- (a) morfologia urbana e clima urbano, no que tange aos impactos que as características de cânion urbano e as propriedades térmicas dos materiais externos geram na formação de ilhas-de-calor, na temperatura superficial externa e na temperatura no interior das edificações, afetando condições de conforto térmico e o consumo de energia com condicionamento artificial, conforme Lombardo (1985), Oke *et al.* (1991¹) *apud* Santamouris (2006), Golany (1995), Givoni (1998), Duarte (2000), Assis (2000), Santamouris *et al.* (2001) e ABNT (2005);
- (b) morfologia urbana, densidade populacional e densidade construída, abrangendo identificação e análise de áreas e número de pessoas por unidades habitacionais e comerciais, impactos em termos da área construída e área ocupada por edificações nos empreendimentos, assim como a análise de

¹ OKE, T. R. *et al.* Simulation of Surface Urban Heat Island Under "Ideal" Conditions at Night: part 2: diagnosis and causation. *Boundary Layer Technology*, Netherlands, v. 56, p. 339-358, 1991.

densidades populacionais em áreas urbanas de referência no Brasil e exterior, conforme PMSP (PREFEITURA..., 2004a; 2004b), Walton *et al.* (2007), Burdett e Sudjic (2008) e Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (2008), para constituição de situações de referência;

(c) morfologia urbana, densidade populacional e mobilidade urbana, no que tange às interdependências entre densidade populacional, demanda e oferta de sistemas de transporte urbano, assim como dimensões viárias necessárias ao fluxo de veículos, pessoas e bicicletas, com base em Watchs *et al.* (2000), Newman e Kenworthy (1999); Ohta *et al.* (2006), *Institute for Transportation and Development Policy et al.* (2008), Associação Nacional de Empresas de Transportes e Trânsito (2004), Associação Nacional de Transportes Públicos (2009); Companhia do Metropolitano de São Paulo (2008), Cerreño e Sander (2006); e

(d) morfologia urbana, edificações e consumo de energia, no que diz respeito aos impactos no consumo de energia resultantes da adequação da orientação e volumetria dos edifícios com relação sol e ventos predominantes, consideração de coberturas claras, proteções solares e prateleiras de luz, e sistemas de iluminação artificial e equipamentos mais eficientes energeticamente. Para isso, foram considerados parâmetros de Carpenter (1995), Roméro, Gonçalves e Dilonardo (1999), Baker e Steemers (2000), *Building Research Energy Conservation Support Unit* (2000), Vianna e Gonçalves (2001), Jochem (2004), Eletrobrás (2007) e Almeida, Schaeffer e La Rovere (2001).

Trata-se de uma metodologia quantitativa, do tipo *bottom-up* e multicriterial, que utiliza dados desagregados (variáveis e parâmetros), para

constituir procedimentos de cálculo, aplicáveis a macroescala de masterplanning de áreas urbanas, estimando resultados de desempenho. Na presente metodologia, variáveis são dados de entrada que necessitam de configuração em cada estudo de caso, relacionadas diretamente ao tipo de área. Em geral, a definição dos valores das variáveis é livre, embora seja importante para essa definição a consideração de referências aplicáveis a cada caso. Parâmetros, por sua vez, correspondem a valores ou intervalos de valores referenciais recomendados, inclusive por outras metodologias teóricas e/ou experimentais complementares. Também estão enquadradas como parâmetros algumas definições básicas utilizadas na estruturação da metodologia, tais como tipologias de quadras e vias.

Estrutura geral

A metodologia está estruturada em dois módulos principais, representados no fluxograma da Figura 1 e abrangendo: Módulo 1 - Gerenciamento da Demanda de Energia, envolvendo aspectos relacionados à Morfologia Urbana, Mobilidade Urbana e Edificações. A demanda de energia é entendida nesse trabalho como a solicitação energética de uma dada área urbana, por se tratar de um termo técnico amplamente utilizado no setor elétrico; Módulo 2 - Gerenciamento da Oferta de Energia, incluindo geração e distribuição de energia elétrica e térmica, em escala urbana.

Inicialmente, é definida uma Situação de Referência, referente ao padrão corrente de uso e ocupação do solo, transportes urbanos e de uso e geração de energia em edificações, podendo abranger tanto uma situação existente quanto a um padrão especificado por meio da legislação ou de normas técnicas.

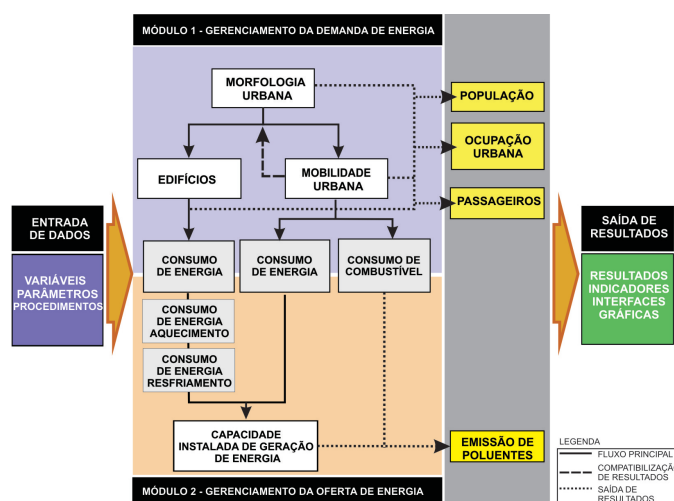


Figura 1 - Fluxograma Geral da metodologia desenvolvida para planejamento urbano

Da integração dos Módulos 1 e 2 são geradas Situações Urbanas Alternativas, mediante os seguintes resultados e indicadores principais: população residente, empregada, flutuante e de passagem, e respectivas densidades populacionais; áreas ocupada, livre, viária, verde e construída; número de edificações, lotes e quadras, por tipo e uso; seção e composição viária – passeio público, ciclovia, faixas exclusivas, entre outros; consumo total de energia em edificações e transporte urbano de passageiros; consumo energético específico por habitante, área e passageiro transportado (kWh/habitante por ano, kWh/m² ano e kWh/passageiro por dia); capacidade instalada de geração de energia, para atendimento às demandas de eletricidade, aquecimento e resfriamento, para as diversas escalas e tecnologias de sistemas de geração e distribuição energética, considerando os níveis de eficiência energética em edifícios e sistemas de transporte adotados; emissões de poluentes locais (SO₂: dióxido de enxofre; NO_x: óxidos de nitrogênio, COV: compostos orgânicos voláteis; CO: monóxido de carbono; MP: material particulado) e gases de Efeito Estufa - GEE resultantes das emissões em geração de energia e operação de sistemas de transporte.

As principais etapas do Módulo 1 estão detalhadas no fluxograma da Figura 2. Em linhas gerais, parte-se de um macrozoneamento da área de estudo, para então definir as características de

densidade populacional, volumetria das edificações, características dos lotes e quadras, que por sua vez formarão diferentes soluções em morfologia urbana. Segundo a presente abordagem, as soluções em morfologia urbana, compatibilizada com a mobilidade urbana e com as características das edificações, configuram o ponto de partida para a definição de estratégias em eficiência energética em áreas urbanas.

A seguir serão detalhadas as etapas para configuração da morfologia urbana, referente à Parte 1 da metodologia desenvolvida, destacada na Figura 2 com uma linha tracejada.

Parte 1: definição e integração de condicionantes de morfologia urbana

Distribuição das áreas de projeto

O planejamento da morfologia urbana, mediante aplicação da metodologia em questão, prescinde do planejamento inicial de distribuição geral de áreas, identificando e quantificando áreas a serem reservadas para usos institucionais e áreas verdes, bem como para outros usos pré-definidos, sendo o resultado principal referente à área disponível para planejamento do uso e ocupação residencial e comercial e do sistema de mobilidade, conforme sumarizado na Quadro 1.

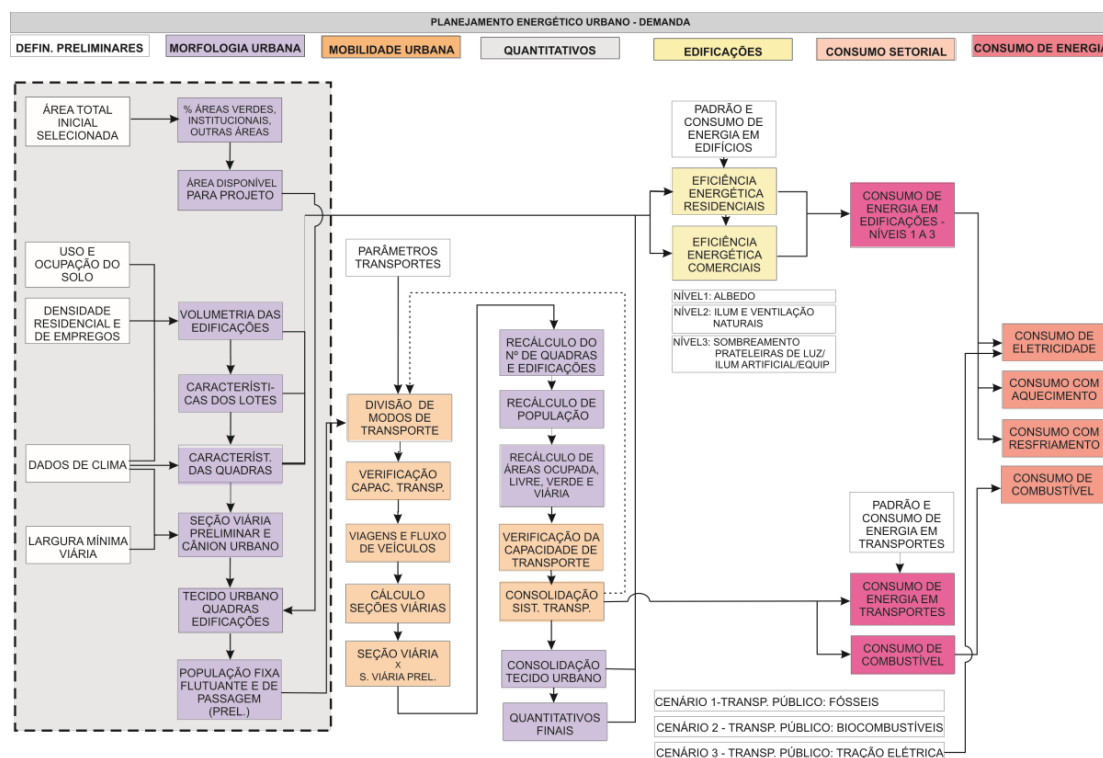


Figura 2 - Fluxograma detalhado do Módulo 1 - Gerenciamento da Demanda de Energia

A_{estudo}	Área disponível para o estudo de caso ou projeto	$A_{estudo} = A_{tot} - A_{outrasref}$	km ²
$A_{verde-pub}$	Área verde pública do projeto	$A_{verde-pub} = A_{estudo} * FAV$	km ²
A_{inst}	Área institucional do projeto	$A_{inst} = A_{estudo} * FAI$	km ²
$A_{tec-urb}$	Área disponível para aplicação metodológica	$A_{tec-urb} = A_{verdepub} - A_{inst}$	km ²

Quadro 1 - Distribuição geral das áreas de projeto

Nota: Variáveis:

A_{tot} : área total inicial para desenvolvimento urbano (km²);

$A_{outrasref}$: outras áreas urbanas a serem descon-sideradas, como faixas férreas, exceto áreas verdes ou institucionais (km²);

A_{estudo} : área total disponível para o estudo de caso (km²);

FAI: Fator de participação de áreas institucionais [-]; e

FAV: Fator de participação de áreas verdes [-].

Fonte: adaptado de Marins (2010).

Volumetria das edificações e características dos lotes

Nesta etapa, parte-se da definição dos componentes básicos do tecido urbano - a edificação e o lote -, bem como da dinâmica urbana e social – densidade populacional e uso do solo, utilizando variáveis e o parâmetro FFO – Fator de forma das edificações e lotes, correspondente à proporção geral inicial entre a largura e o comprimento total da edificação, que é ponto de partida para que possam ser calculadas as dimensões dos lotes e, então, posicioná-los nas quadras. São, portanto, adotados os procedimentos expressos na Quadro 2.

A princípio, a metodologia permite definir até três tipologias principais de edificações, classificadas como de alta, média e baixa densidades populacionais, com base na área das unidades e no número de habitantes por residência ou de empregados por metro quadrado, bem como em taxas de ocupação e coeficientes de aproveitamento específicos. Dependendo de cada projeto, a diversidade de tipologias pode ser utilizada como estratégia para melhoria das condições de insolação e ventilação em áreas urbanas, como em locais de clima quente e úmido, tal como a região de São Paulo, dependendo da angulação solar e da direção dos ventos dominantes. Por outro lado, a oferta de diferentes padrões residenciais e comerciais, seja em gabarito ou em área, pode também enriquecer a dinâmica urbana local, melhor atendendo à multiplicidade de interesses sociais e econômicos.

Tipologias de quadra

Nessa etapa são definidas as opções de forma, orientação e densidade das quadras urbanas para a área em questão. Como no caso das edificações, é possível definir até três opções de geometria de quadra (Quadra Tipo 1, Quadra Tipo 2 e Quadra

Tipo 3), relacionadas a diferentes proporções entre seus lados, utilizando para isso o Fator de Forma das Quadras (FFQ). Além da geometria, também há possibilidade de variação das quadras quanto ao uso do solo, densidade e gabarito de altura, por meio da combinação de lotes com edificações de baixa, média e alta densidades e usos residenciais e comerciais. Nesse caso, é utilizado o FDQ (Fator de Densidade das Quadras), que exprime uma participação percentual de cada densidade de lote na composição das três opções de quadra – Quadra *Layout 1*, Quadra *Layout 2* e Quadra *Layout 3*.

Já a distribuição de lotes por face de quadra, segundo as tipologias apresentadas, considera as seguintes definições: Lado 1 da Quadra: Face com orientação Norte (comprimento de quadra); Lado 2 da Quadra: Face com orientação Leste (largura de quadra); Lado 3 da Quadra: Face com orientação Sul (comprimento de quadra); Lado 4 da Quadra: Face com orientação Oeste (largura de quadra).

Essas definições são importantes para fins de orientação geográfica, em adequação com as características geográficas de cada localidade. No caso das médias e altas latitudes situadas no hemisfério sul, o Lado 1 da Quadra (Norte) oferece maior disponibilidade de luz solar ao longo do dia e do ano, caso o cânion urbano seja adequadamente dimensionado, tornando-se, teoricamente, a face de quadra com maior potencial para orientação de edificações no que tange à iluminação natural. Por outro lado, é importante que, para cada localidade, seja também identificada a direção dos ventos predominantes, de modo a associá-la a um dos lados da quadra e assim considerar conjuntamente as potencialidades em termos de iluminação e ventilação naturais. Além disso, na distribuição de lotes e edificações nas quadras, em climas quentes e úmidos, recomenda-se, em geral, a diferenciação de gabaritos de altura e formas das edificações, para facilitar a ventilação urbana (GIVONI, 1998).

Segundo o autor, há ainda possibilidade de desvio da orientação de aberturas das edificações em até 30° em relação à direção predominante de ventos, para que os mesmos possam ser aproveitados para conforto térmico passivo.

Dessa forma, calcula-se o total de lotes por tipo de quadra, tendo por base o FDQ – Fator de densidade das quadras (participação percentual de cada densidade de lote na composição das três opções de quadra – Quadra Layout 1, Quadra Layout 2 e Quadra Layout 3) e o FFQ – Fator de forma das quadras (proporção entre comprimento e

largura, formando as opções em geometria e orientação geográfica – Quadra Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3), além de um valor inicial para a área das quadras (AQ), conforme expressões relacionadas no Quadro 3.

Com base nas dimensões iniciais das tipologias de quadras, devem ser elaboradas alternativas de composição interna de quadras mediante método gráfico e de forma complementar à metodologia proposta, esquematizando-se um layout para cada tipologia de quadra, conforme exemplificado a seguir (Figura 3).

A_{pav}	Área do pavimento	$Apav = AU * NUPav * (1 + FAcirc)$	m ²
A_{proj}	Área de projeção da edificação	$Aproj = Apav$	m ²
C_{edif}	Comprimento das edificações	$Cedif = \sqrt{Apav * FFO}$	m
L_{edif}	Largura das edificações	$Ledif = Apav / Cedif$	m
A_{lote}	Área do lote	$Alote = Cedif * Ledif / TO$	m ²
C_{lote}	Comprimento dos lotes	$Clote = \sqrt{Alote * FFO}$	m
L_{lote}	Largura dos lotes	$Llote = Alote / Clote$	m
No_{pav}	Número de pavimentos	$Nopav = Alote / Apav$	[-]
Gab	Gabarito de altura total	$Gab = Nopav * PD$	m
$NoUnid_{edif}$	Número de unidades por edificação	$NoUnid_{edif} = Nopav * NUPav$	[-]
$PopEdif_{res}$	População por edificação residencial	$PopEdif_{res} = NoUnid_{edif} * DR$	hab/edif
$PopEdif_{com}$	População por edificação comercial	$PopEdif_{com} = Apav * Nopav * DC$	empregados/edif

Quadro 2 - Volumetria das edificações, características dos lotes e população

Fonte: adaptado de Marins (2010).

Nota: Variáveis:

- AU: Área das unidades habitacionais e comerciais (m²);
- NU_{pav}: Número de unidades por pavimento [-];
- PD: Pé-direito médio (m);
- FA_{circ}: Fator de área destinada à circulação e instalações prediais (%);
- DR: Densidade populacional por unidade residencial (hab/unid);
- DC: Densidade populacional em edifícios comerciais (func./ m²);
- TO: Taxa de ocupação (%); e
- CA: Coeficiente de aproveitamento [-].

Parâmetro: FFO: fator de forma inicial das dos lotes e edificações [-].

$NoLot_{quad}$	Número de lotes por quadra, para cada densidade de edificação	$NoLot_{quad} = ARRED(AQi * FDQ / 100 * Alote)$	[-]
Ci_{quad}	Comprimento inicial das quadras	$Ci_{quad} = \sqrt{AQi * FFQ}$	m
Li_{quad}	Largura inicial das quadras	$Li_{quad} = AQi / Ci_{quad}$	m
AP_{quad}	Área preliminar da Quadra	$AP_{quad} = Ci_{quad} * Li_{quad}$	m ²

Quadro 3 - Dimensionamento inicial das quadras

Fonte: adaptado de Marins (2010).

Nota: "ARRED" significa que o resultado da equação deve ser arredondado para valor inteiro.

Variáveis:

- Alote: Área dos lotes (m²);
- Nopav: Número de pavimentos [-];
- Gab: Gabarito de altura total (m);
- AQi: Área inicial das Quadras (m²);

Parâmetros:

- FDQ: Fator de participação de edifícios, para cada faixa de densidade (%); e
- FFQ: Fator de forma das quadras: [-].

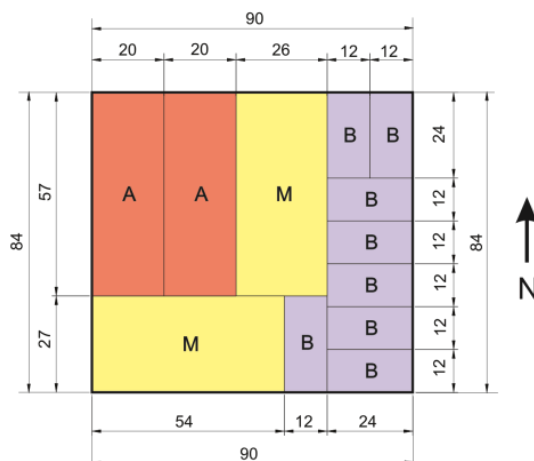


Figura 3 - Exemplo de configuração de tipologia de quadra quanto à forma e à densidade

Nota: Legenda:

- A: Lote com edifício de alta densidade;
- M: Lote com edifício de média densidade; e
- B: Lote com edifício de baixa densidade.

Na orientação geográfica dos lotes, devem ser consideradas as características climáticas e a latitude de cada local para identificação das faces mais favoráveis para a insolação e controle da radiação solar. O posicionamento do lado maior (largura) da edificação para a via contribui para ampliar a área da edificação atendida por iluminação natural. Após definição gráfica da distribuição dos lotes nas quadras, são cadastrados:

- (a) o número de edifícios com comprimento voltado para as faces norte, sul, leste e oeste da quadra, por tipologia de edificação; e
- (b) o número de edifícios localizados nos vértices/esquinas das quadras, por face de quadra, para quantificação de número de edifícios por orientação geográfica principal.

São então calculados o número de edificações e as áreas das fachadas, por tipologia e densidade, com comprimento e largura voltados para cada uma das faces de quadra e por orientação geográfica, conforme procedimentos relacionados na Quadro 4, válidos para os quatro lados das quadras – L1, L2, L3 e L4, e para lotes com as três densidades de edificação – alta, média e baixa.

Seção viária preliminar

Na definição da seção viária preliminar são consideradas a limitação imposta pelo ângulo de obstrução do cânion urbano, para que sejam providas condições adequadas de iluminação natural, bem como as premissas de largura viária mínima, referentes a passeios públicos, canteiros, mobiliário urbano, impedâncias em geral e leito

carroçável. Sendo assim, nesse estágio é realizada uma primeira compatibilização entre necessidades microclimáticas e de circulação urbana. A partir dos valores preliminares calculados nessa etapa serão estimadas as áreas totais das quadras e do sistema viário, a população e a demanda por transporte. Na Parte 2 da metodologia, relativa à definição do sistema de mobilidade urbana, a área preliminar reservada para sistema viário é verificada segundo as necessidades das diversas alternativas de sistema de mobilidade.

O ângulo de obstrução é resultado da relação do gabarito de altura das edificações opostas e da largura viária, sendo calculado por meio de Carta Solar (Figura 4) específica para cada latitude com o apoio de um transferidor, considerando a curva referente ao Solstício de Inverno (22/06). Conforme exemplificado a seguir, para o Município de São Paulo, o ângulo de obstrução é aproximadamente igual a 50°, conforme indicado na linha tracejada no gráfico.

No que tange às premissas de climatologia urbana, na metodologia é adotado, a princípio, o maior gabarito de altura identificado entre as edificações adjacentes à via como referência para cálculo do ângulo de obstrução, tendo em vista prover condições adequadas de insolação para edificações com todos os gabaritos de altura voltados para cada face de quadra. Mas esta premissa deve ser balanceada com as necessidades de circulação e parâmetros de desenho urbano, de modo que as vias se constituam espaços funcionais e fisicamente harmonizados com a escala humana e das quadras.

NoLot -L	Número de lotes, por densidade de edificação e lado de quadra	$NoLot - L = \sum NoLot - L_{comp} + NoLot - Ll_{arg}$	[-]
QED-N _{comp}	Número de edifícios com Fator de Forma = 0,5 e Orientação N - S (Norte para via), por densidade	$QED - N_{comp} = NoLot - Ll_{comp} - E - NoLot - Ll_{comp}$	[-]
QED-NS _{comp}	Número de edifícios com Fator de Forma = 0,5 e Orientação N - S (Norte para centro de quadra), por densidade	$QED - NS_{comp} = NoLot - L3_{comp} - E - NoLot - L3_{comp}$	[-]
QED-LO _{comp}	Número de edifícios com Fator de Forma = 0,5 e Orientação L - O, por densidade	$QED - LO_{comp} = NoLot - L2_{comp} + NoLot - L4_{comp} - (E - NoLot - L2_{comp} + E - NoLot - L4_{comp})$	[-]
QED-N _{larg}	Número de edifícios com Fator de Forma = 2,0 e Orientação N - S (Norte para via), por densidade	$QED - Nl_{arg} = NoLot - Ll_{arg} - E - NoLot - Ll_{arg}$	[-]
QED-NS _{larg}	Número de edifícios com Fator de Forma = 2,0 e Orientação N - S (Norte para centro de quadra), por densidade	$QED - NSl_{arg} = NoLot - L3l_{arg} - E - Lot - L3l_{arg}$	[-]
QED-LO _{larg}	Número de edifícios com Fator de Forma = 2,0 e Orientação L - O, por densidade	$QEDA - LOl_{arg} = NoLot - L2l_{arg} + NoLot - L4l_{arg} - (E - NoLot - L2l_{arg} + E - NoLot - L4l_{arg})$	[-]
AEdif -L	Área da fachada das edificações, por lado de quadra	$AEdif - L = NoLotA - L_{comp} * CedifA * GabA + NoLotA - Ll_{arg} * LedifA * GabA + NoLotM - L_{comp} * CedifM * GabM + NoLotM - Ll_{arg} * LedifM * GabM + NoLotB - L_{comp} * CedifB * GabB + NoLotB - Ll_{arg} * LedifB * GabB$	m ²
Cf _{quad}	Comprimento final das quadras (Média de L1 e L3)	$Cf_{quad} = (NoLotA - Ll_{arg} * LLoTA + NoLotA - L3l_{arg} * LLoTA + NoLotM - Ll_{arg} * LLoTM + NoLotM - L3l_{arg} * LLoTM + NoLotB - Ll_{arg} * LLoTB + NoLotB - L3l_{arg} * LLoTB + NoLotA - Ll_{comp} * CLoTA + NoLotA - L3_{comp} * CLoTA + NoLotM - Ll_{comp} * CLoTM + NoLotM - L3_{comp} * CLoTM + NoLotB - Ll_{comp} * CLoTB + NoLotB - L3_{comp} * CLoTB) / 2$	
Lf _{quad}	Largura final das quadras (Média de L2 e L4)	$Lf_{quad} = (NoLotA - L2l_{arg} * LLoTA + NoLotA - L4l_{arg} * LLoTA + NoLotM - L2l_{arg} * LLoTM + NoLotM - L4l_{arg} * LLoTM + NoLotB - L2l_{arg} * LLoTB + NoLotB - L4l_{arg} * LLoTB + NoLotA - L2_{comp} * CLoTA + NoLotA - L4_{comp} * CLoTA + NoLotM - L2_{comp} * CLoTM + NoLotM - L4_{comp} * CLoTM + NoLotB - L2_{comp} * CLoTB + NoLotB - L4_{comp} * CLoTB) / 2$	m
Af _{quad}	Área final das quadras	$Af_{quad} = Cf_{quad} * Lf_{quad}$	m ²
Gab-L _{med}	Gabarito médio de altura, por lado de quadra	$Gab - L_{med} = (Gab - A * NoLotA - L + Gab - M * NoLotM - L + Gab - B * NoLotB - L) / (NoLotA - L + NoLotM - L + NoLotB - L)$	m
Gab-L _{max}	Maior gabarito de altura, por lado de quadra*	$Gab - L_{max} = Se(NoLotA - L > 0; GabA; Se(NoLotM - L > 0; GabM; Se(NoLotB - L > 0; GabB; 0)))$	m
AO _{edif}	Área ocupada por edificações	$AO_{edif} = NoLotA * AprojA + NoLotM * AprojM + NoLotB * AprojB$	m ²
AC-A _{quad}	Área construída por quadra, por densidade de edificação	$AC - quad = NoLotx * Aprojx * Gabx$	m ²

Quadro 4 - Distribuição dos lotes por face de quadra e orientação geográfica

Fonte: adaptado de Marins (2010).

Nota: Os tipos de edificação referem-se a edificações de baixa, média e alta densidades, identificadas pelas iniciais B, M e A, respectivamente, acrescentados aos nomes das variáveis nas equações para cálculo de subtotaís e totais. Da mesma forma, nas equações do Quadro 5 e na discriminação das variáveis a seguir, "x" se refere a A, para edificações de alta densidade, "M", para edificações de média densidade e "B" para edificações de baixa densidade. De forma similar, "y", se refere aos números 1, 2, 3 e 4, que correspondem aos quatro lados de cada quadra.

*Gab-L1max, Gab-L2max, Gab-L3max, Gab-L4max se referem aos maiores gabaritos de altura por face de quadra. As equações indicam uma função utilizada em Microsoft Excel para identificar esses valores.

Variáveis a serem definidas com base em esquema gráfico: NoLot-Lcomp; Número de Lotes sequenciais com fachada principal (comprimento) voltada para cada lado da quadra, para cada tipo de edificação [-]; NoLot-Llarg; Número de Lotes sequenciais com fachada lateral (largura) voltada para cada lado da quadra, para cada tipo de edificação [-]; E-Lot-Lcomp; Número de Lotes a excluir com comprimento voltado para cada lado da quadra (L1, L2, L3, L4), por densidade [-]; E-NoLot-Llarg; Número de Lotes a excluir com largura voltada para cada lado da quadra (L1, L2, L3, L4), por densidade [-]; Outras variáveis: Cedif: Comprimento das edificações (m); Ledif: Largura das edificações (m); GabA: Gabarito de altura total - Edifícios de Alta Densidade (m); GabM: Gabarito de altura total - Edifícios de Média Densidade (m); Lot x -Lcomp: Quantidade de Lotes com fachada principal (comprimento) voltada para cada lado da Quadra [-]; NoLot x -Llarg: Quantidade de Lotes com fachada lateral (largura) voltada para cada lado da Quadra [-]; Gabx; Gabarito de altura total (m); Aprojx: Área de projeção (m)²; NoLotxquad: Quantidade de lotes por quadra [-].

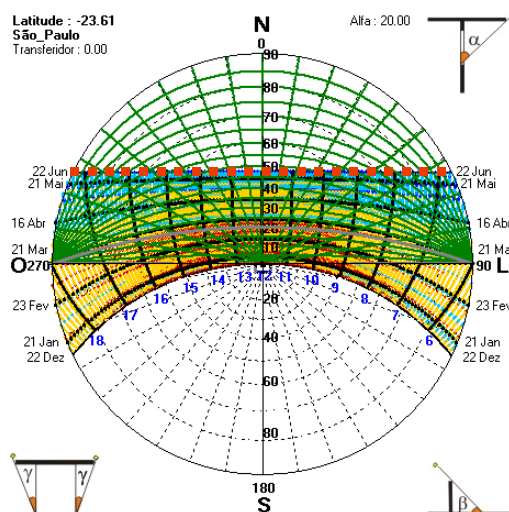


Figura 4 - Exemplo de Carta Solar com o ângulo complementar ao ângulo de obstrução

Fonte: LabEEE (UNIVERSIDADE..., 2012).

Cada quadra está associada a quatro ângulos de obstrução, um ângulo para cada lado da mesma. Para fins de simplificação, foi considerado o menor valor de ângulo de obstrução entre lados paralelos (um ângulo de obstrução válido para L1 e L3, e outro válido L2 e L4), sendo o mesmo valor aplicado para os lados paralelos.

Do ponto de vista da circulação e do transporte urbano, a seção viária (SV) é formada pela composição de diversos elementos, considerando diretrizes específicas de cada projeto e em consonância com os modos de transporte, podendo incluir os seguintes elementos:

(a) passeio público: faixa livre de circulação de pedestres, faixa geral reservada para instalação de mobiliário urbano (bancos, lixeiras), redes (telefone público, postes, poços de visita) e vegetação, além de impedâncias ou obstruções à circulação (afastamento das fachadas, de muros e do meio-fio);

(b) ciclovia: leito viário exclusivo para o transporte cicloviário; Faixas viárias - inclui faixas para circulação de veículos em geral, faixas exclusivas para tráfego de transporte público e faixas dedicadas a estacionamento; e

(c) outros: estações de embarque e desembarque, baias e canteiros centrais.

Assim, além da referência de largura mínima da seção viária, estabelecida pela legislação urbanística de cada local e para cada tipo de via, é definida uma configuração inicial para três tipos viários principais com base na associação dos elementos viários mencionados, conforme descrito a seguir e exemplificado nas equações subsequentes:

(a) vias locais:

- passeio público em ambos os lados da via, compostos por faixa mínima de circulação de pedestres, faixa para impedâncias e para instalação de mobiliário e redes urbanas;
- duas faixas para circulação compartilhada; e
- uma faixa extra reversível para tráfego, estacionamento ou outros usos.

(b) vias estruturais:

- passeio público em ambos os lados da via, compostos por faixa mínima de circulação de pedestres, faixa para impedâncias e instalação de mobiliário e redes urbanas;
- uma faixa para ciclovia bidirecional;
- quatro faixas para circulação compartilhada e duas faixas para circulação exclusiva (sistema de transporte de média capacidade);
- duas faixas para instalação de pontos de parada ou estações de embarque e desembarque do sistema de média ou de baixa capacidades nos passeios públicos ou junto ao canteiro central; e
- canteiro central.

(c) vias arteriais:

- passeio público em ambos os lados da via, compostos por faixa mínima de circulação de pedestres, faixa para impedâncias e instalação de mobiliário e redes urbanas;
- uma faixa para ciclovia bidirecional;
- seis faixas para circulação compartilhada e duas faixas para circulação exclusiva (sistema de transporte de média capacidade);
- canteiro central.

Com base na conceituação apresentada e nos procedimentos de cálculo constantes do Quadro 5, definem-se, inicialmente, os ângulos de obstrução recomendados para o sistema viário com eixo Norte-Sul e Leste-Oeste. A largura viária relativa ao cânion urbano é calculada com base no ângulo de obstrução e no gabarito de altura máxima da edificação localizada na face viária oposta.

Compara-se o valor da largura viária relativa ao cânion urbano com parâmetros mínimos de largura das vias locais, estruturais e arteriais, sendo o resultado final correspondente ao maior valor entre as dimensões mínimas relativas a cada tipo de via e ao requerido pelo respectivo cânion urbano, para todas as tipologias de quadra consideradas.

Seção viária – Premissa da seção das vias quanto ao Cânion urbano ¹			
SV-CU-L1-L3	Seção viária L1-L3 – cânion urbano	$SV - CU - L1 - L3 = (\text{MAXIMO}(\text{Gab} - L1_{\text{max}}; \text{Gab} - L3_{\text{max}}) - 1) / \tan(\text{radianos}(90 - AO - L1 - L3))$	m
SV-CU-L2-L4	Seção viária L2-L4 – cânion urbano	$SV - CU - L2 - L4 = (\text{MAXIMO}(\text{Gab} - L2_{\text{max}}; \text{Gab} - L4_{\text{max}}) - 1) / \tan(\text{radianos}(90 - AO - L2 - L4))$	m
Seção viária – Premissas da seção das vias quanto à circulação ²			
LPA	Largura do passeio público – vias arteriais	$LPA = \text{MAXIMO}(\text{FCP} + \text{IMP} + \text{FMU}; LPA_{\text{min}})$	m
LPE	Largura do passeio público – vias estruturais	$LPE = \text{MAXIMO}(\text{FCP} + \text{IMP} + \text{FMU}; LPE_{\text{min}})$	m
LPL	Largura do passeio público – vias locais	$LPL = \text{MAXIMO}(\text{FCP} + \text{IMP} + \text{FMU}; LPL_{\text{min}})$	m
SVL	Seção viária local	$SVL = \text{MAXIMO}(2 * LPL + 2 * \text{FTC} + \text{FVE}; LVL_{\text{min}})$	m
SVE	Seção viária estrutural	$SVE = \text{MAXIMO}(2 * LPE + 2 * \text{FPP} + \text{LFB} - 1 + 4 * \text{FTC} + \text{FBO} + 2 * \text{FTE} + \text{FCC}; LVE_{\text{min}})$	m
SVA	Seção viária arterial	$SVA = \text{MAXIMO}(2 * LPA + 6 * \text{FTC} + \text{LFB} - 1 + 2 * \text{FTE} + \text{FCC}; LVA_{\text{min}})$	m
Seção viária compatibilizada – seção viária (circulação) e cânion urbano ³			
SVL-L1-L3	Seção viária - L1-L3 - local	$SVL - L1 - L3 = SE(SVL > SV - CU - L1 - L3; SVL; SV - CU - L1 - L3)$	m
SVL-L2-L4	Seção viária - L2-L4 - local	$SVL - L2 - L4 = SE(SVL > SV - CU - L2 - L4; SVL; SV - CU - L2 - L4)$	m
AV _{quad}	Área do sistema viário, por tipo de quadra e viário	$AVL_{\text{quad}} = SVL - L1 - L3 / 2 + Lf_{\text{quad}} + SVL - L1 - L3 / 2 + SVL - L2 - L4 / 2 + Cf_{\text{quad}} + SVL - L2 - L4 / 2 - Af_{\text{quad}}$	m ²
AVQ	Área da quadra com viário, por tipo de quadra e viário	$AVQ - L = AVL_{\text{quad}} + Af_{\text{quad}}$	m ²

Quadro 5 - Seção viária preliminar

Fonte: adaptado de Marins (2010).

Notas:¹ Nas equações do Quadro 5, “90 graus” refere-se ao ângulo de inclinação das fachadas dos edifícios com relação ao solo. ² A função “Máximo” é adotada no aplicativo Microsoft Excel para calcular o valor máximo entre lados de quadra opostos e também para identificar o máximo valor entre a seção viária requerida pelo cânion urbano e a seção viária mínima para sistema de circulação e transporte. ³ Adotou-se a função condicional do Microsoft Excel para identificar o maior valor entre as seções viárias calculadas com base no cânion urbano e nos elementos de circulação e transporte.

Variáveis: Cf_{quad}: Comprimento final das quadras (m); Lf_{quad}: Largura final das quadras (m); Af_{quad}: Área final das quadras (m²); AO_{edir}: Área ocupada por edificações (m²); Gab-L1_{med}: L1, Gab-L2_{med}; Gab-L3_{med}: L3; Gab-L4_{med}: L4: Gabaritos de altura médio, por lado de quadra - L1, L2, L3 e L4 (m); Gab-L1_{max}, Gab-L2_{max}, Gab-L3_{max}, Gab-L4_{max}: Maiores gabaritos de altura, por lado de quadra - L1, L2, L3 e L4 (m); LPx_{min}: Largura mínima do passeio público, por tipo de via, A - Arterial, E - estrutural, L - local (m); LVx_{min}: Largura mínima viária, por tipo de via, A - Arterial, E - estrutural, L - local (m); Af_{quad}: Área final das quadras (m²).

Parâmetros: AO-L1-L3; Ângulo de obstrução - L1-L3 [-]; AO-L2-L4; Ângulo de obstrução - L2-L4 [-]; FCP; Faixa livre para circulação de pedestres (m); IMP: Impedâncias no passeio público (m); FMU: Faixa para instalação de mobiliário urbano, redes de utilidades e vegetação (m); FPP: Faixa para instalação de ponto de parada (m); LPA_{min}: Largura mínima do passeio público - vias arteriais (m); LFB-1: Largura das ciclovias bidirecionais com fluxo de até 1000 bicicletas por hora (m); FTC: Faixa de tráfego compartilhado (m); FTE: Faixa de tráfego exclusivo (m); FBO: Baía de ônibus - embarque e desembarque (m); FCC: Faixa para instalação de canteiro central com vegetação (m); FVE: Faixa viária extra - estacionamento, circulação, embarque e desembarque (m).

Opções de tecido urbano e quantitativo preliminar de quadras

Para definição das opções preliminares de tecido urbano e quantificação de quadras, as seguintes variáveis e parâmetros deverão ser utilizados, além dos elementos anteriormente definidos, relativos à volumetria das edificações, tipologias de quadra e seção viária:

- (a) fatores de participação de cada tipologia de quadra no conjunto do tecido urbano em estudo (FPQ);
- (b) taxa de ocupação de área verde nos lotes (TOVL), referente à participação das áreas verdes particulares nas áreas livres dos lotes; e
- (c) fator de participação dos tipos de vias locais (FTVL), estruturais (FTVE) e arteriais (FTVA) no sistema viário da área em questão.

Os procedimentos de cálculo encontram-se relacionados no Quadro 6 e devem ser aplicados a todas as tipologias de quadra. A configuração preliminar das Opções de Tecido Urbano servirá de base para a quantificação inicial da demanda de transporte e para pré-dimensionamento dos sistemas viário e de transporte.

Quantitativo preliminar de população, número de edificações e áreas urbanas

Com base nas opções de tecido urbano, definidas na etapa anterior, nos quantitativos preliminares de edificações e unidades habitacionais e comerciais, bem como nas definições de população por unidade, estabelecidas na etapa de definição das “volumetria das edificações e características dos lotes”, são calculadas em caráter preliminar: População Residente (PR), população domiciliada no conjunto de unidades habitacionais previstas

para a área em estudo e População empregada e/ou estudante (PE): total de pessoas que trabalham ou estudam nos edifícios comerciais. Ambas resultam das densidades por unidade residencial ou área comercial; População Fixa (PF) refere-se à população permanente da área, sendo composta pela somatória dos habitantes residentes (PR) e dos que trabalham e/ou estudam no local (PE), incluindo tanto os que desenvolvem todas essas atividades dentro da área em estudo, quanto aqueles que realizam pelo menos uma dessas funções no local; População Flutuante (PFL) abrange 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. É estimada por meio de um percentual adicional relativo à população empregada da área (Fator de População Flutuante - FPF), estabelecendo, dessa forma, uma relação baseada na atratividade das atividades econômicas locais; População Total (PT) refere-se à soma das populações fixa (PF) e flutuante (PFL); População residente que estuda ou é empregada na área (PRE): população que desenvolve as atividades de trabalho e estudo na área em questão, além de habitá-la. É estimada por meio da pré-definição de um percentual de participação da população que desenvolve as atividades de trabalho e estudo na área em questão, além de habitá-la (Fator de População Residente e Empregada no local - FPPE); População de Passagem (PP): pessoas com origem e destino em regiões distintas da área de estudo, mas que necessitam passar pela área em questão devido à configuração da rede de transporte. É estimada com base na definição de um percentual relativo à população total fixa local, denominado Fator de População de Passagem (FPP).

NQL _{prel}	Número preliminar de quadras em sistema viário local, por tipo de quadra	$NQL_{prel} = A_{tec-urb} * 1000000 * FPQ / 100 * FTVL / AVQ - L$	[-]
NQE _{prel}	Número preliminar de quadras em sistema viário estrutural, por tipo de quadra	$NQE_{prel} = A_{tec-urb} * 1000000 * FPQ / 100 * FTVE / AVQ - E$	[-]
NQA _{prel}	Número preliminar de quadras em sistema viário arterial, por tipo de quadra	$NQA_{prel} = A_{tec-urb} * 1000000 * FPQ / 100 * FTVA / AVQ - A$	[-]
NQ _{prel}	Número preliminar de quadras – total por tipo de quadra	$NQ_{prel} = NQL_{prel} + NQE_{prel} + NQA_{prel}$	[-]
NQ-Tot _{prel}	Número total de quadras do tecido urbano	$NQ - Tot_{prel} = NQ - Tp1 - Layout1_{prel} + NQ - Tp1 - Layout2_{prel} + NQ - Tp1 - Layout3_{prel} + NQ - Tp2 - Layout1_{prel} + NQ - Tp2 - Layout2_{prel} + NQ - Tp2 - Layout3_{prel} + NQ - Tp3 - Layout1_{prel} + NQ - Tp3 - Layout2_{prel} + NQ - Tp3 - Layout3_{prel}$	[-]

Quadro 6 - Tecido urbano e quantitativo preliminar de quadras

Fonte: adaptado de Marins (2010).

Nota: Variáveis: $A_{tec-urb}$: Área do tecido urbano (km²); AVQ-x: Área da quadra com viário, por tipo de quadra e tipo de viário (L: Local; E: Estrutural; A: Arterial). **Parâmetros:** FPQ: Fatores de participação das tipologias de quadra no conjunto do tecido urbano em estudo (%); FTVL: Fator de participação das vias locais [-]; FTVE: Fator de participação das vias estruturais, [-]; FTVA: Fator de participação das vias arteriais [-].

População por quadra (Quadra Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3, Layout 1, Layout 2 e Layout 3)			
PR _{quad}	População residencial por quadra ¹	$PR_{quad} = (PopEdifres - A * NoLotAquad + PopEdifres - M * NoLotMquad + PopEdifres - B * NoLotBquad) * CUM - R / 100$	[-]
PE _{quad}	População empregada por quadra ¹	$PE_{quad} = (PopEdifcom - A * NoLotAquad + PopEdifcom - M * NoLotMquad + PopEdifcom - B * NoLotBquad) * CUM - E / 100$	[-]
População total por tipo de quadra (Quadra Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3, com Layout 1, Layout 2 e Layout 3)			
PR-T _{quad}	População residencial total por tipo de quadra	$PR - T_{quad} = PR_{quad} * NQ_{prel}$	[-]
PE-T _{quad}	População empregada total por tipo de quadra	$PE - T_{quad} = PE_{quad} * NQ_{prel}$	[-]
PF-T _{quad}	População fixa total por tipo de quadra	$PF - T_{quad} = PR - T_{quad} - PR - T_{quad} * FP_{RE} / 100 + PE - T_{quad}$	[-]
PP-T _{quad}	População de passagem total por tipo de quadra	$PP - T_{quad} = (PR - T_{quad} + PE - T_{quad}) * FPP / 100$	[-]
PFL-T _{quad}	População flutuante total por tipo de quadra	$PFL - T_{quad} = PE - T_{quad} * FPF / 100$	[-]
PT-T _{quad}	População total por tipo de quadra (fixa + flutuante)	$PT - T_{quad} = PFT_{quad} + PFL_{quad}$	[-]
DT-T _{quad}	Demanda para transporte total por tipo de quadra (população fixa + passagem + flutuante)	$DT - T_{quad} = PFT_{quad} + PP - T_{quad} + PFL_{quad}$	[-]
PT _{quad}	População total por quadra (fixa + flutuante)	$PT_{quad} = PT - T_{quad} / NQ_{prel}$	[-]
População total por tipo de quadra (Quadra Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3)			
PR-T _{tip-quad}	População residencial total por tipo de quadra (Total Tipo 1, 2 e 3)	$PR - T_{tip-quad} = PR - T_{quad} - Layout1 + PR - T_{quad} - Layout2 + PR - T_{quad} - Layout3$	[-]
PE-T _{tip-quad}	População empregada total por tipo de quadra (Total Tipo 1, 2 e 3)	$PE - T_{tip-quad} = PE - T_{quad} - Layout1 + PE - T_{quad} - Layout2 + PE - T_{quad} - Layout3$	[-]
PF-T _{tip-quad}	População fixa (Total Tipo 1, 2 e 3)	$PF - T_{tip-quad} = PF - T_{quad} - Layout1 + PF - T_{quad} - Layout2 + PF - T_{quad} - Layout3$	[-]
PP-T _{tip-quad}	População de passagem (Total Tipo 1, 2 e 3)	$PP - T_{tip-quad} = PP - T_{quad} - Layout1 + PP - T_{quad} - Layout2 + PP - T_{quad} - Layout3$	[-]
PFL-T _{tip-quad}	População flutuante (Total Tipo 1, 2 e 3)	$PFL - T_{tip-quad} = PFL - T_{quad} - Layout1 + PFL - T_{quad} - Layout2 + PFL - T_{quad} - Layout3$	[-]
PT-T _{tip-quad}	População total fixa e flutuante (Total Tipo 1, 2 e 3)	$PT - T_{tip-quad} = PT - T_{quad} - Layout1 + PT - T_{quad} - Layout2 + PT - T_{quad} - Layout3$	[-]
DT-T _{tip-quad}	Demanda para transporte (Total Tipo 1, 2 e 3) (população fixa + passagem + flutuante)	$DT - T_{tip-quad} = DT - T_{quad} - Layout1 + DT - T_{quad} - Layout2 + DT - T_{quad} - Layout3$	[-]
População total (todas as tipologias de quadra)			
PR-T	População residencial total ²	$PR - T = PR - T_{tip-quad} - 01 + PR - T_{tip-quad} - 02 + PR - T_{tip-quad} - 03$	[-]
PE-T	População empregada total ²	$PE - T = PE - T_{tip-quad} - 01 + PE - T_{tip-quad} - 02 + PE - T_{tip-quad} - 03$	[-]
PF-T	População fixa total ²	$PF - T = PF - T_{tip-quad} - 01 + PF - T_{tip-quad} - 02 + PF - T_{tip-quad} - 03$	[-]
PP-T	População de passagem total ²	$PP - T = PP - T_{tip-quad} - 01 + PP - T_{tip-quad} - 02 + PP - T_{tip-quad} - 03$	[-]
PFL-T	População flutuante total ²	$PFL - T = PFL - T_{tip-quad} - 01 + PFL - T_{tip-quad} - 02 + PFL - T_{tip-quad} - 03$	[-]
PT-T	População total (fixa + flutuante)	$PT - T = PR - T_{tip-quad} - 01 + PT - T_{tip-quad} - 02 + PT - T_{tip-quad} - 03$	[-]
DT-T	Demanda total para transporte (população fixa + passagem + flutuante)	$DT - T = PR - T_{tip-quad} - 01 + DT - T_{tip-quad} - 02 + DT - T_{tip-quad} - 03$	[-]

Quadro 7 - Quantitativo preliminar de população

Fonte: adaptado de Marins (2010).

Nota: ¹Os sufixos A, M e D referem-se, respectivamente, à lotes de alta, média e baixa densidades.²Os sufixos -01, -02, -03 adicionados a PR-T_{tip-quad}, PE-T_{tip-quad}, PF-T_{tip-quad}, PP-T_{tip-quad}, PFL-T_{tip-quad} nas equações referem-se aos totais por tipos de quadra 1, 2 e 3.Variáveis: PopEdif_{res}: População por edificação residencial (hab/ edif); PopEdif_{com}: População por edificação comercial (func./edif); CUM-R: Coeficiente de Uso Misto Residencial (%); CUM-C: Coeficiente de Uso Misto Comercial (%); NoLot_{Aquad}, NoLot_{Mquad}, NoLot_{Bquad}: Número total de edificações, respectivamente de Alta, Média e Baixa densidades [-]; NQ_{prel}: Quantidade preliminar de quadras - total por tipo de quadra [-]; Parâmetros: FPP: Fator de População de Passagem (%); FP_{RE}: Fator de População Residente e Empregada no local (%); FPF: Fator de População Flutuante (%).

As variáveis e as expressões utilizadas no cálculo dos resultados de população são relacionadas no Quadro 7.

Observação: O cálculo do número de edificações é feito com a definição do tecido urbano final, após a Parte 2 – Mobilidade Urbana. No entanto, os procedimentos adotados são semelhantes aos procedimentos de cálculo de população, iniciando pelos subtotais por tipo de edificação e quadra e posteriormente adicionando-os ao total final.

As áreas totais são calculadas em função do número e dimensionamento final das quadras e do sistema viário, os quais são verificados na Parte 2 – Mobilidade Urbana – da metodologia em questão, com a compatibilização de resultados de população, demanda por transporte, requisitos de cânion urbano, capacidades de transporte e fluxos de tráfego. As equações e variáveis a serem

utilizadas nessa etapa são reunidas no Quadro 8 a seguir.

Etapas subsequentes

A demanda por transporte é utilizada no cálculo do total de viagens diárias, viagens horárias e viagens hora-pico por passageiro, que são distribuídas entre os diversos modos de transporte considerados, observados os limites de capacidade máxima e mínima por modo. Também são calculados os fluxos de pedestres, bicicletas e veículos, por tipo de via, para estimativa das faixas de circulação necessárias e cálculo das seções viárias totais. Estes resultados são comparados com as seções viárias iniciais, para definição das seções viárias finais, sendo considerado o maior valor entre eles para atender simultaneamente à demanda de transporte e circulação e à demanda para insolação das edificações, relativamente ao cânion urbano.

Área construída			
A_{constr}	Área construída por edificação, por densidade	$A_{constr} = A_{proj} * Gab$	m ²
$A_{constr-tot}$	Área construída total, por densidade	$A_{constr-tot} = A_{constr} * NoLot-tot$	m ²
$A_{constr-tot}$	Área construída total	$A_{constr-tot} = A_{constr-tot} - A + A_{constr-tot} - M + A_{constr-tot} - B$	m ²
$A_{constr-tot-AR}$	Área construída total por densidade e uso	$A_{constr-tot-AR} = A_{constr-tot} * CUM - x/100$	m ²
Área de Projeção/ ocupação com edificações			
$A_{proj-tot}$	Área de projeção total, por densidade	$A_{proj-tot} = A_{proj} * NoLot-tot$	m ²
$A_{proj-tot}$	Área de projeção total	$A_{proj-tot} = A_{proj-tot} - A + A_{proj-tot} - M + A_{proj-tot} - B$	m ²
$A_{proj-tot-AR}$	Área de projeção total, por densidade e uso	$A_{proj-tot-AR} = A_{proj-tot} * CUM - x/100$	m ²
Áreas livres			
$A_{livre-tot}$	Área livre total, por densidade	$A_{livre-tot} = (A_{lote} - A_{proj}) * NoLot-tot$	m ²
$A_{livre-tot-Lotes}$	Área livre total dos lotes	$A_{livre-tot-Lotes} = A_{livre-tot} - A + A_{livre-tot-Lotes} - M + A_{livre-tot-Lotes} - B$	m ²
Áreas verdes			
$A_{verde-tot}$	Área verde total dos lotes, por densidade	$A_{verde-tot} = A_{livre-tot} * TOVL$	m ²
$A_{verde-tot-Lotes}$	Área verde total dos lotes	$A_{verde-tot-Lotes} = A_{verde-tot} - A + A_{verde-tot-Lotes} - M + A_{verde-tot-Lotes} - B$	m ²
Áreas totais			
$A_{quad-tot}$	Área total das quadras	$A_{quad-tot} = \sum A_{quad-Tipx-Layouty} * NQ - Tipx - Layouty$	m ²
$A_{tot-quad+viario}$	Área total – quadras + sistema viário	$A_{tot-quad+viario} = \sum AVQz - Tipx - Layouty * NQz - Tipx - Layouty$	m ²
$A_{verde-tot}$	Área verde total	$A_{verde-tot} = A_{verde-pub} + A_{verde-tot-lotes}$	m ²
$A_{livre-tot}$	Área– livre total	$A_{livre-tot} = A_{verde-pub} + A_{tot-quad-viario} - A_{proj-tot}$	m ²
$A_{viaria-tot}$	Área– viária total	$A_{viaria-tot} = A_{tot-quad-viario} - A_{quad-tot}$	m ²

Quadro 8 - Quantitativo de áreas

Fonte: adaptado de Marins (2010).

Variáveis: A_{proj} : Área de projeção da edificação no lote (m²); A_{lote} : Área do lote (m²); $NoLot_{tot}$: Número total de lotes/ edificações e lotes comerciais e residenciais; Gab : Gabarito de altura total (m); $CUM-x$: Coeficiente de Uso Misto, sendo x igual a “R”, para uso residencial e x igual a “C”, para uso comercial (%); $A_{quad-Tipx-Layouty}$: Área final das quadras (m²) e $NQz-Tipx-Layouty$: Número de quadras, sendo “z” igual a “L” para viário local, “E” para viário estrutural e “A” para viário arterial; “z” igual a Quadra Tipo “1”, “2” e “3” e “z” igual a Quadra Layout “1”, “2” e “3”; $AVQz$: Área da quadra com viário local, sendo “z” igual a “L” para viário local, “E” para viário estrutural e “A” para viário arterial (m²); $A_{verde-pub}$: Área verde pública (km²); $TOVL$: Taxa de ocupação de área verde nos lotes [-].

Com base na configuração da área urbana, por opção de tecido urbano, incluindo população e demanda por transporte, são então selecionados as tecnologias veiculares, fontes de energia e combustíveis a serem utilizados nos sistemas de transporte, tendo em vista obter o consumo de energia resultante. Como unidade principal é utilizado o consumo específico de energia, expresso em MJ/passageiro-km, referente à energia necessária para transportar uma pessoa por quilômetro. O consumo de energia resultante é produto da multiplicação do consumo específico de energia pelo total de passageiros transportados e da extensão do deslocamento médio, em cada modo de transporte e período de tempo.

No que tange ao consumo total de energia de edificações são considerados níveis de eficiência energética associados a estratégias passivas para conforto ambiental e uso de equipamentos elétricos mais eficientes. O consumo resultante, em kWh/m² ano, é multiplicado pela área construída e útil total das edificações, conforme tipologias, usos e densidades construídas em questão.

Finalmente, os resultados da estimativa de consumo de energia em edificações são então adicionados às estimativas de consumo do sistema de transportes urbanos de passageiros, estratificados em eletricidade, aquecimento e resfriamento, além do consumo direto de combustíveis em sistemas de transporte. No Módulo 2 da metodologia em questão, esses resultados são utilizados na estimativa das capacidades instaladas de sistemas de geração e

fornecimento energético, assim como poluentes atmosféricos associados a esses processos.

Aplicação da metodologia no caso da operação urbana Água Branca

A área da operação urbana Água Branca, selecionada como estudo de caso para aplicação metodológica, está prevista no Plano Diretor do Município de São Paulo e detalhada na lei municipal Nº 11.774/95 (PREFEITURA..., 1995) Localiza-se em uma região de urbanização consolidada do município de São Paulo, próxima a importantes eixos viários (Av. Marginal do rio Tietê, Av. Pacaembu, Elevado Costa e Silva), de transporte público de alta capacidade (linhas de trem e metrô) e também está próxima do centro da cidade, conforme indicado na Figura 5.

A operação urbana Água Branca é atualmente objeto de planos, projetos e intervenções visando à requalificação urbana, coordenados pela Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo – EMURB até 2010 e, partir de então, pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo – SMDU e pela São Paulo Urbanismo. A área tem 5,40 km², sendo grande parte desse solo ainda passível de parcelamento e ocupação. Desse total, 2,64 km² foram considerados adequados para aplicação metodológica, baseada na integração de estratégias e soluções para desenvolvimento urbano.

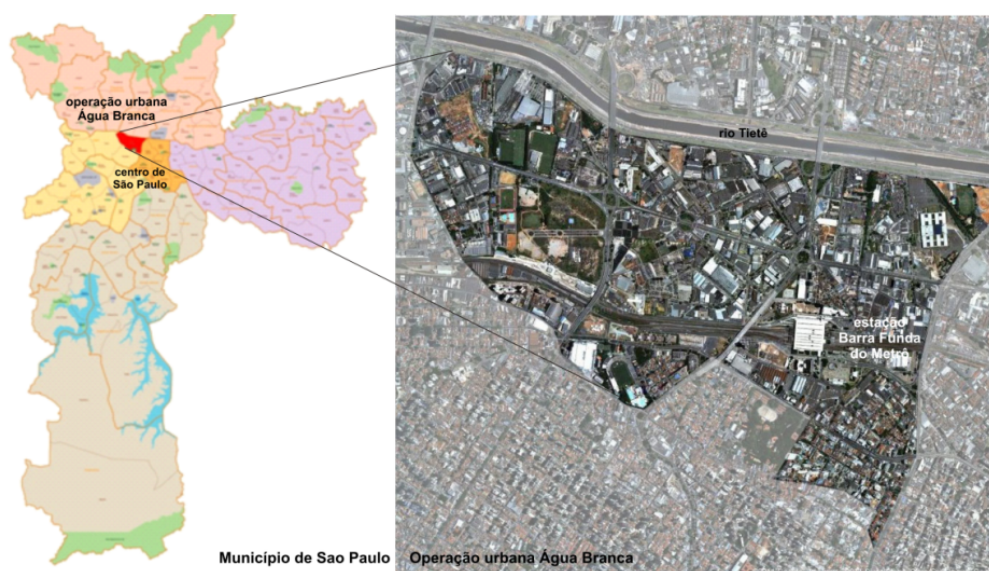


Figura 5 - Localização da operação urbana Água Branca no município de São Paulo (PREFEITURA..., 2002) e vista aérea da área (baseado em Google, ©2011)

Para definição da Situação de Referência foi assumida a proposta do plano urbanístico da operação urbana Água Branca (EMPRESA..., 2009), o Plano Diretor (PREFEITURA..., 2004a) e o Zoneamento do Município de São Paulo (PREFEITURA..., 2004b) para cálculo da densidade demográfica de 18.571 habitantes por km² (população residente). A média de 3,20 habitantes por unidade habitacional (FUNDAÇÃO..., 2008) foi adotada na Situação de Referência assim como nas Situações Urbanas Alternativas, assim como os fatores relativos à população empregada, de passagem e população flutuante. Os parâmetros de consumo de energia em edificações comerciais adotados para a Situação de Referência foram baseados em Roméro, Gonçalves e Dilonardo (1999).

Nas Situações Urbanas Alternativas, foram previstos nove tipos de quadras, conforme indicados nos arranjos de quadra nas Figuras 7 a 15, considerando a seguinte legenda para a densidade dos lotes:

- (a) A: alta densidade (20 pavimentos; 60% uso residencial; 40% uso comercial);
- (b) M: média densidade (10 pavimentos; 60% uso residencial; 40% uso comercial); e
- (c) B: baixa densidade (2 pavimentos; 80% uso residencial/ 20% uso comercial).

Foram configuradas quatro Opções de Tecido Urbano, uma para cada Situação Urbana Alternativa, conforme indicado nas composições de quadras apresentadas na Quadro 9 e utilizando os arranjos de quadra das Figuras 6 a 14, sendo:

- (a) Opção A: composta pela participação de todos os tipos de quadra em igual proporção;
- (b) Opção B: formada somente por Quadras Tipo 1 (retangulares com faces leste-oeste predominantes);
- (c) Opção C: formada somente por Quadras Tipo 2 (quadradas com faces leste-oeste predominantes); e
- (d) Opção D: composta por Quadras Tipo 3 (retangulares com faces norte-sul predominantes).

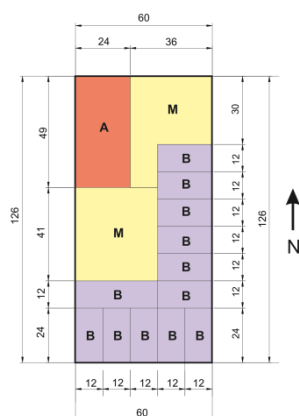


Figura 6 - Quadra Tipo 1 - Layout 1

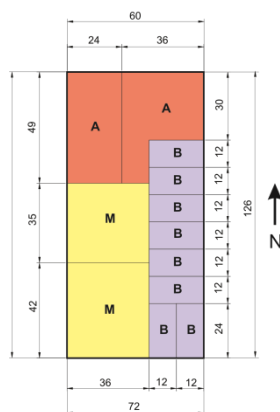


Figura 7 - Quadra Tipo 1 - Layout 2

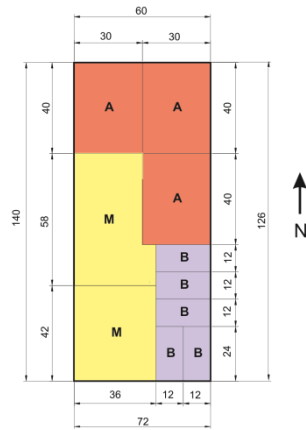


Figura 8 - Quadra Tipo 1 - Layout 3

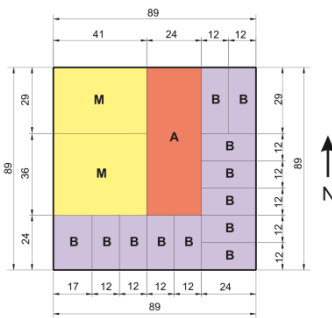


Figura 9 - Quadra Tipo 2 - Layout 1

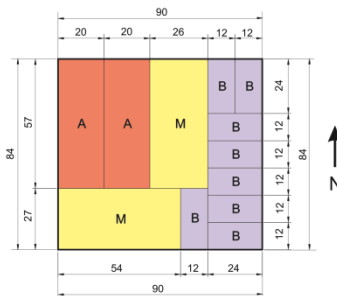


Figura 10 - Quadra Tipo 2 - Layout 2

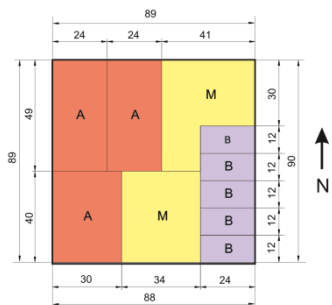


Figura 11 - Quadra Tipo 2 - Layout 3

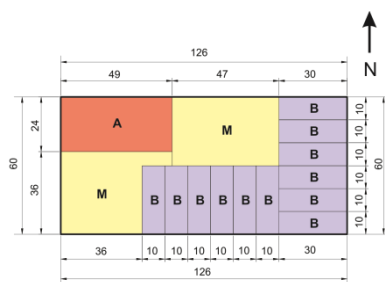


Figura 12 - Quadra Tipo 3 - Layout 1

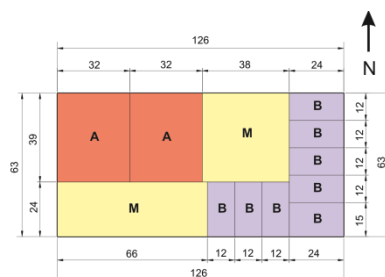


Figura 13 - Quadra Tipo 3 - Layout 2

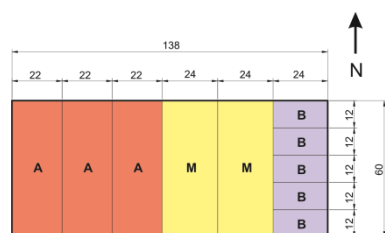


Figura 14 - Quadra Tipo 3 - Layout 3

As Opções de Tecido Urbano A, B, C e D foram caracterizadas considerando estratégias de desenho urbano associadas à climatologia, integradas à estimativa de área construída com base em densidade populacional e tipologias de edificações para uso residencial e comercial. Para isso, foram adotadas morfologias urbanas variadas quanto à geometria e orientação geográfica, com vistas a verificar os impactos dessas estruturas na definição de seções viárias adequadas do ponto de vista do cânion urbano e as possibilidades da formação de áreas passivas em edificações, para posterior quantificação de potenciais de eficiência energética. Como também mostra a Tabela 1, a variação em densidade populacional e construída entre as Opções de Tecido Urbano é pequena devido à fixação uniforme da participação das quadras Layout 1, 2 e 3, que representam variações entre si quanto à densidade.

Nas Opções de Tecido Urbano, as áreas ocupadas, construídas, viárias e o número de edificações e unidades residenciais resultantes, relacionadas na Quadro 9, são resultado da compatibilização do gabarito de altura máximo dentre as edificações

lindeiras e da largura viária, atentando para as premissas preliminares de circulação e transporte. A densidade demográfica, por sua vez, possibilita a formação de demanda mínima para viabilização de sistemas de transporte de massa, pelo menos de sistemas de média capacidade, nas quatro Opções de Tecido Urbano, uma estratégia fundamental para eficiência energética em transportes urbanos.

Os resultados obtidos indicam valores referenciais de densidade populacional, densidade de ocupação do solo e densidade construída, para esse estudo de caso em específico, segundo os quais seria possível estruturar a área urbana em questão respeitando os limites de cânion urbano para iluminação e ventilação naturais, e ao mesmo tempo prover área viária adequada e demanda suficiente para o transporte público coletivo. Trata-se da primeira etapa metodológica de compatibilização entre morfologia, mobilidade e edificações. A identificação desses limites mostra que as densidades populacional, construída e ocupada, constantes da Situação de Referência, por excederem esses referenciais, talvez possam trazer

limitações quanto ao dimensionamento adequado do cânion urbano e às áreas livres para circulação e transporte, portanto, podendo prejudicar soluções de eficiência energética em edificações e também no transporte urbano.

Os arranjos de quadra são utilizados, em etapa subsequente da aplicação metodológica, para definição das zonas passivas nas edificações, que correspondem àquelas que podem ser atendidas preferencialmente por iluminação e ventilação naturais ao invés de sistemas artificiais. No presente estudo de caso, o tecido Opção B foi identificado como o mais eficiente quanto ao consumo de energia em edificações comerciais com relação às ações em morfologia urbana associadas à adoção de estratégias de conforto ambiental passivo (Figura 15, Nível 2 de

eficiência), com consumo até 6% inferior às demais opções. Isso ocorreu pois, na Opção B, as soluções de quadra adotadas propiciaram a implantação de maior número de edifícios com plantas “curtas” (largura voltada para a via), permitindo ampliar a área atendida por iluminação e ventilação naturais (na Opção B, 18% da área interna seriam atendidos por sistemas passivos, e nas demais opções esse percentual foi da ordem de 15 a 17%, de acordo com a Tabela 1). Com relação à Situação de Referência, a redução no consumo de energia decorrente das ações em morfologia urbana é da ordem de 17% em média para edifícios comerciais na área em questão, indicando o potencial de ações de eficiência energética em termos de desenho urbano.

Tabela 1 - Morfologia urbana resultante da aplicação metodológica no caso da operação urbana Água Branca

Resultados de morfologia urbana	Unidade	Situação de Referência	Opções de Tecido Urbano			
			Opção A	Opção B	Opção C	Opção D
Composição de quadras						
Quadra Tipo 1 – Layout 1	%	-	11,1	33,3	-	-
Quadra Tipo 1 – Layout 2	%	-	11,1	33,3	-	-
Quadra Tipo 1 – Layout 3	%	-	11,1	33,3	-	-
Quadra Tipo 2 – Layout 1	%	-	11,1	-	33,3	-
Quadra Tipo 2 – Layout 2	%	-	11,1	-	33,3	-
Quadra Tipo 2 – Layout 3	%	-	11,1	-	33,3	-
Quadra Tipo 3 – Layout 1	%	-	11,1	-	-	33,3
Quadra Tipo 3 – Layout 2	%	-	11,1	-	-	33,3
Quadra Tipo 3 – Layout 3	%	-	11,1	-	-	33,3
População						
Número de Edificações - Densidade Alta	[-]	-	276	275	277	262
Número de Edificações - Densidade Média	[-]	-	286	280	286	275
Número de Edificações - Densidade Baixa	[-]	-	1.225	1.185	1.224	1.188
Unidades residenciais	unid/acre	36,76	32,37	32,01	32,41	30,82
Edifícios						
Densidade populacional (total)	peças/km ²	41.921	30.272	30.501	30.681	29.118
Densidade residencial	hab/km ²	18.571	14.109	14.178	14.297	13.603
Densidade de empregos	emp/km ²	23.350	18.984	19.159	19.243	18.236
Áreas totais						
Área construída	m ²	3.375.555	2.931.103	2.887.192	2.933.181	2.799.471
Área ocupada	m ²	1.230.000	223.802	218.227	223.759	215.573
Área livre	m ²	2.360.000	3.292.107	3.217.229	3.240.393	3.259.703
Área viária	m ²	540.000	1.577.602	1.519.475	1.528.828	1.579.235
Área verde	m ²	590.000	820.000	820.000	820.000	820.000
Total	m ²	4.120.000	4.175.909	4.095.456	4.124.152	4.135.275
Área passiva em relação à área total – Ed. comerciais	%	-	17	18	15	16

A quantificação de áreas urbanas também propicia integrar à metodologia resultados de estudos de climatologia urbana relacionadas ao albedo das superfícies, na etapa de detalhamento de estratégias para eficiência energética em edifícios, subsequente à definição da morfologia urbana. No nível 1 de eficiência energética, indicado na Figura 15, foram aplicados fatores de redução no consumo de energia com condicionamento artificial devido ao uso de cores claras. Conforme Parker (2004), foi considerado 5% de redução no consumo de energia para resfriamento no último pavimento de todos os edifícios comerciais da área considerada, devido ao efeito das cores claras no edifício. Foi também adotado 10% de redução adicional no mesmo consumo, devido ao efeito da mesma estratégia na redução da temperatura exterior, conforme Akbahi, Rosenfeld e Taha (1989¹) *apud* Santamouris (2001). Com taxa de ocupação inferior a 50% e verticalização representativa, a redução no consumo de energia mostrou-se pouco significativa no conjunto urbano como um todo, cerca de 0,3% do total de edifícios comerciais. No entanto, a metodologia permite que outros valores de referência sejam adotados e inclusive aplicados em outras superfícies urbanas além da cobertura das edificações, como em vias ou passeios públicos, para quantificação de seu

impacto energético associado a diferentes projetos urbanos.

Conclusões

A análise dos resultados da aplicação metodológica no caso da operação urbana Água Branca indicou que a ocupação urbana por edificações e as densidades construída e populacional necessitam estar compatibilizadas com a área livre requerida ao adequado dimensionamento da seção viária, no que tange a aspectos de climatologia (cânion urbano) e de provimento de infraestrutura (área e zoneamento) e demanda para mobilidade urbana. Trata-se de uma premissa para que estratégias para aproveitamento da luz e da energia solar em edificações e para que o sistema de transporte urbano seja mais funcional e energeticamente mais eficiente.

A metodologia desenvolvida, atualmente já sistematizada em planilhas eletrônicas, é aplicável ao planejamento integrado de outras áreas urbanas, no Brasil ou no exterior, similares ou não ao caso estudado, auxiliando na identificação e seleção de estratégias e soluções sistêmicas envolvendo morfologia e mobilidade urbanas, edificações, energia e meio ambiente, desde que variáveis e parâmetros sejam adaptados a cada situação.

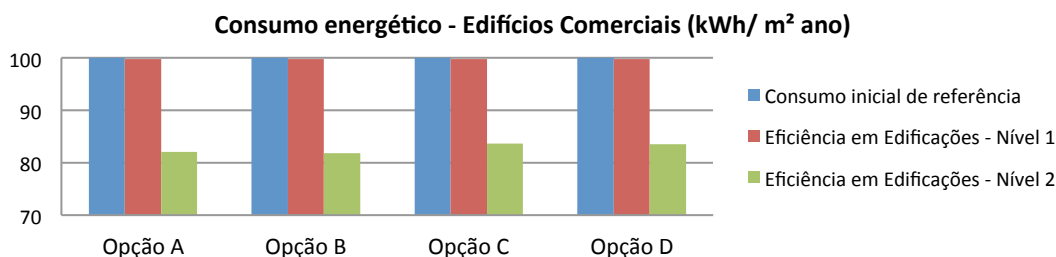


Figura 15 - Operação urbana Água Branca - Consumo de energia em edifícios comerciais

² AKBARI, H.; ROSENFELD, A.; TAHA, H. Recent Developments in Heat island Studies: technical and Policy. In: WORKSHOP ON SAVING ENERGY AND REDUCING ATMOSPHERIC POLLUTION BY CONTROLLING SUMMER HEAT ISLANDS, Berkeley, CA, 1989. *Proceedings...* Berkeley, 1989. p. 14-20.

Referências

- ALMEIDA, M. A.; SCHAEFFER, R.; LA ROVERE, E. L. The Potential for Electricity Conservation and Peak Load Reduction in the Residential Sector of Brazil. **Energy**, v. 26, n. 4, p. 413-429, 2001.
- ASSIS, A. S. **Impactos da Forma Urbana na Mudança Climática**: método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220-3**: zoneamento bioclimático brasileiro. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE EMPRESAS DE TRANSPORTES E TRÂNSITO. **Sistema Redes**: construindo redes de transporte público de qualidade. Brasília: NTU, 2004.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana**: relatório geral 2008. São Paulo: ANTP, 2009.
- BAKER N.; STEEMERS, K. **Energy and Environment in Architecture: a technical design guide**. Londron: E&FN Spon, 2000.
- BUILDING RESEARCH ENERGY CONSERVATION SUPPORT UNIT. **Energy Use in Offices**: energy consumption guide 19. Garston, UK: Energy Efficiency Best Practice Programme, 2000. v. 19.
- BURDETT, R.; SUDJIC, D. (Eds.). **The Endless City**: the Urban Age project by the London School of Economics and Deutsche Bank's Alfred Herrhausen Society. London, UK: Phaidon, 2008.
- CARPENTER, S. **Learning From Experience With Advanced Houses of the World**. Sittard, Netherlands: Centre for the analysis and dissemination of demonstrated energy technologies, 1995.
- CERREÑO, A.; SANDER, E. **Pedestrian and Bicyclist Standards and Innovations in Large Central Cities**. New York: Rudin Center for Transportation Policy & Management, 2006.
- COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Pesquisa Origem-Destino 2007**: região metropolitana de São Paulo. São Paulo: CMSP, 2008. – 05508-080 –
- DUARTE, D. H. S. **Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental**. São Paulo. 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ELETROBRÁS. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil**: Pesquisa de Posse de Equipamento e Hábitos de Uso: classe residencial: relatório Brasil. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2007.
- EMPRESA MUNICIPAL DE URBANIZAÇÃO. **Operação Urbana Água Branca**: parâmetros de revisão Out09. São Paulo: EMURB, 2009.
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Dados Estatísticos Sobre a RMSP**: 2007. São Paulo: SEADE, 2008.
- GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: Wiley, John & Sons, 1998.
- GOLANY, G. **Ethics and Urban Design**: Culture, Form and Environment. New York, Wiley, 1995.
- GOOGLE. Google Imagery 2011 DigitalGlobe, Ones/Spot Image, GeoEye – Google Maps. Mapa da área da operação urbana Água Branca, em São Paulo. 2011.
- INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY *et al.* **Manual de BRT – Bus Rapid Transit**: guia de planejamento. Brasília: Ministério das Cidades, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico de 2010**. 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2012.
- JOCHEM, E. **Steps Towards a Sustainable Development**: a white book for R&D of energy efficient technologies. Dübendorf, Suíça: Novatlantis, 2004.
- LOMBARDO, M. A. **Ilhas de Calor nas Metrôpoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: HUCITEC, 1985.

- MARINS, K. R. de C. C. **Proposta Metodológica para Planejamento Energético no Desenvolvimento de Áreas Urbanas**: o potencial da integração de estratégias e soluções em morfologia e mobilidade urbanas, edifícios, energia e meio ambiente aplicado na área da Operação Urbana Água Branca, no Município de São Paulo. 798 f. São Paulo, 2010. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- NEWMAN, P.; KENWORTHY, J. **An International Sourcebook of Automobile Dependence in Cities: 1960-1990**. Niwot, Boulder: University Press of Colorado, 1999.
- OHTA, K. *et al.* **Transport Policy in Perspective 2005**. Tokyo: Japan Research Center for Transport Policy, 2006.
- PARKER, D. **How Much Cooling Energy Can Be Avoided by Envelope Measures?** In: COOLING BUILDINGS IN A WARMING CLIMATE, Sophia Antipolis, França, 2004. Sophia Antipolis: International Energy Agency, 2004.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Lei N° 11.774**, de 18 de maio de 1995. Operação Urbana Água Branca. São Paulo: PMSP, 1995.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Lei N° 13.885**, de 25 de agosto de 2004. Zoneamento do Município de São Paulo. São Paulo: PMSP, 2004b.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Mapa Político-Administrativo de São Paulo**. São Paulo: PMSP, 2002.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo**. São Paulo: PMSP, 2004a.
- ROMÉRO, M. A.; GONÇALVES, J. C.; DILONARDO, L. F. P. A Evolução da Arquitetura e dos Aspectos Energéticos dos Edifícios de Escritórios nos Últimos 30 Anos na Cidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., Fortaleza, 1999. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.
- SANTAMOURIS, M. *et al.* **Energy and Climate in the Urban Built Environment**. London: Earthscan/James & James, 2001.
- SANTAMOURIS, M. *et al.* **Environmental Design of Urban Buildings: An Integrated Approach**. London: Earthscan/James & James, London, 2006.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL. LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Analysis Sol-Sr**. Versão 6.2. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2012.
- VIANNA N.; GONÇALVES, J. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Universidade do Grande ABC, 2001.
- WALTON, D. *et al.* **Urban Design Compendium**. Reino Unido: English Partnerships; The Housing Corporation, 2007.
- WATCHS, M. *et al.* **Highway Capacity Manual 2000**: HCM 2000. United States of America: National Academy of Sciences, 2000.

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br