



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

VII ELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

ADENSAMENTO URBANO E DESEMPENHO AMBIENTAL NO CENTRO DA CIDADE DE SÃO PAULO

Joana C. S. Gonçalves (1); Roberta K. Mulfarth (2); Leonardo M. Monteiro (3); Norberto C. Moura (4); Alessandra R. Prata (5); Anna C. Mianna (6), Rodrigo Cavalcante (7)

(1) Professora Dra., Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética; Professora Orientadora do Programa de Pós-Graduação Environment and Energy, Architectural Association Graduate School, Londres, *jocarch@usp.br*; (2) Professora Dra., Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, *rkronka@usp.br*; (3) Arquiteto Pós-doc, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, *leo4mm@gmail.com*; (4) Professor Dr., Departamento de Tecnologia da Arquitetura, *betomoura@usp.br*; (5) Arquiteta Pós-doc, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, *arprata@terra.com.br*; (6) Arquiteta Dra., Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, *annamiana@uol.com.br*; (7) Arquiteto Mestre, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, *rodrigo_cdc@yahoo.com.br*
Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia da Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo, 05508-080, Tel.: (11) 3091-4538

RESUMO

Este trabalho trata do adensamento urbano, sob a perspectiva do desempenho ambiental da forma urbana. Uma área de aproximadamente 27 hectares na região da Luz, no centro da cidade de São Paulo é tomada como base para a formulação de duas propostas hipotéticas de ocupação, com o objetivo de responder para a meta de 2.500 pessoas por hectare. Uma das propostas traz quadras urbanas fechadas por edifícios novos justapostos ao existentes, ao redor do perímetro, enquanto a outra é definida por quadras mais abertas, com edifícios altos descolados uns dos outros e afastados do limite das calçadas. Avaliações de desempenho ambiental incluíram questões de qualidade do ar considerando o efeito da ventilação urbana na dispersão de poluentes, ruído urbano, conforto do pedestre e geração de energia limpa por meio de captação da radiação solar. Em geral, as análises técnicas provaram a compatibilidade das duas propostas de ocupação e forma urbana com os critérios de desempenho ambiental, no contexto climático de São Paulo, com a necessidade de medidas corretivas em casos específicos. Em suma, esse artigo apresenta as etapas de formulação e avaliação de um projeto piloto de aplicação de métodos de desempenho ambiental para propostas de ocupação urbana, visando o adensamento e a qualidade ambiental do ambiente construído.

Palavras-chave: adensamento, forma-urbana, desempenho-ambiental.

ABSTRACT

This paper approaches the topic of densification and environmental performance of the urban space, with reference to the city centre of Sao Paulo. Two hypothetical design proposals were developed for an area of 27 hectares in the Luz neighborhood, aiming to respond to the same density target of 2,500 people per hectare. One proposal was defined by perimeter blocks with new bigger buildings attached to existing ones, and another one of more open blocks with new taller buildings detached from each other and distanced from the perimeter of the block. Technical assessments of environmental performance included the topics of air quality (pollution dispersion through air flow around buildings), urban noise, thermal comfort of the pedestrians and potential of energy generation. The assessments proved the compatibility of the proposals for urban density with environmental criteria within the urban and climatic context of Sao Paulo, with the need of corrective measures in specific situations. In summary, this article presents the phases of a pilot project aiming to apply methods of environmental assessment in proposals of urban occupation for urban density and environmental quality in the built environment.

Keywords: density, urban form, environmental performance.

1. INTRODUÇÃO

A cidade de São Paulo vive um paradoxo entre a densidade construída nos bairros centrais, onde se encontra a melhor oferta de infraestrutura, e a densidade populacional, que há décadas vem se expandindo para o setor sudoeste (BONDUKI 2003). Segundo dados do IBGE (2000), na década de 1940 o Centro abrigava 33,4% da população da cidade, número este que caiu para 3,96% em 2000, refletindo em cerca de 40.000 edifícios abandonados em toda a região central (CUSINATO, 2004). Segundo Bonduke (2003). Apenas entre 1991 e 1996, o bairro do Pari perdeu aproximadamente 25% da sua população, enquanto o Bom Retiro 20%, o bairro da Sé 18% e o do Bras 17%. Paradoxalmente, a cidade de São Paulo sofre o maior déficit habitacional desde a década de 80, sendo 50% das habitações construídas nos últimos 20 anos do tipo informal ou ilegal¹.

A desvalorização dos bairros centrais e esvaziamento da população está fortemente ligado ao espalhamento da malha urbana e ao inchaço da periferia mal servida de infraestrutura, com graves impactos sociais e ambientais. Um dos mais notórios reflexos do desequilíbrio da distribuição da densidade populacional de São Paulo são os problemas associados à mobilidade urbana, incluindo viagens longas da moradia ao trabalho (podendo durar três horas ou mais) congestionamentos e poluição do ar.

Como área de interesse, foi selecionado um conjunto de 25 quadras da região da Luz, no bairro de Santa Ifigênia (com aproximadamente 300 mil metros quadrados), anteriormente conhecido como “Perímetro de Reabilitação Integrada do Habitat da Luz” (PRIH-LUZ), que faz parte do programa de recuperação urbana Nova Luz, implantado em 2005, e coincide com o atual Perímetro de Incentivo Fiscal (com a exceção de duas quadras que não aparecem na segunda classificação), (PMSP, 2010). Atualmente, segundo à legislação urbanística vigente, o conjunto de quadras encontra-se no perímetro de Área de Intervenção Urbana (AIU), denominada AIU 03 Santa Ifigênia- Requalificação Urbana. Um dos objetivos da AIU 03 é a reurbanização, com preservação e reabilitação de alguns imóveis, além de ampliar o uso residencial e estimular a diversidade funcional (PMSP, 2004).

Os temas de desempenho ambiental a serem abordados foram selecionados e priorizados com base nos problemas e realidade do contexto. Assim, qualidade do ar e conforto acústico, tanto no que se refere aos espaços abertos como a exposição dos edifícios ao ruído urbano, foram elencados como temas centrais, seguidos pelo conforto térmico nos espaços abertos e o potencial de aproveitamento de radiação solar para geração de energia nos edifícios.

Esse trabalho foi desenvolvido para a conferência internacional Urban Age 2008, em São Paulo, que teve como objetivo o debate sobre a relação entre forma urbana e questões críticas do universo sócio-econômico das cidades, tomando São Paulo como referência. Na condição de um projeto de pesquisa piloto, esse trabalho vem contribuir para o tema do adensamento urbano com qualidade ambiental e suas questões metodológicas, incluindo a formulação de hipóteses de forma urbana com a consideração de questões ambientais, cujo desempenho é verificado por meio de procedimentos analíticos e avaliado qualitativamente, de uma maneira mais ampla, no contexto do ambiente urbano. Paralelamente, apresenta-se como resultado respostas específicas para a área específica de estudo, no centro da cidade de São Paulo.

2. OBJETIVO

Esse trabalho aborda o tema do desempenho ambiental da forma urbana, contemplando as possibilidades de adensamento populacional e construído nos bairros centrais da cidade de São Paulo, com o objetivo de contribuir para a oferta de habitação (social e de médio padrão) na área central da cidade com qualidade ambiental, inserindo-se na discussão de requalificação urbana. O enfoque no desempenho ambiental levou a consideração de um conjunto de variáveis ambientais, sendo essas: qualidade do ar, acústica urbana, conforto térmico do pedestre e geração de energia limpa. Dada a natureza propositiva do trabalho, o desempenho do conjunto de variáveis tem uma importância maior do que o desempenho individual de cada tópico.

Metodologicamente, o peso real de cada variável só é estabelecido quando confrontado aos resultados de cada uma das variáveis ambientais, vistos em conjunto, uma vez que um desempenho quantitativo ligeiramente superior de uma ou mais variáveis não leva necessariamente a um melhor desempenho ambiental de uma referente tipologia de forma urbana. O contrário também é válido, ou seja, se o conjunto de variáveis ambientais apresenta um desempenho geral semelhante para duas ou mais diferentes tipologias de forma urbana, o fato de uma ou mais variáveis apresentarem resultados quantitativos superiores em um dos casos não garante melhor desempenho para este, uma vez que a outra tipologia pode apresentar resultado satisfatório do ponto de vista qualitativo, ainda que numericamente inferior. Por isso, o peso de cada uma das

¹ Em 1991 a população que morava em favela era de 891.679 cerca de 9,24% da população total (9.646.185) e em 2000 esta população cresceu para 1.160.590 cerca de 11,12% da população total (10.434.252) (PMSP, 2008).

variáveis acaba por se estabelecer em cada caso particular, sendo o seu peso final verdadeiramente identificado com o reconhecimento do desempenho ambiental geral das diferentes tipologias, conseqüentemente, a melhor solução do ponto de vista ambiental é aquela que apresenta o melhor resultado qualitativo geral.

3. CONTEXTO

3.1. Clima e ambiente

A cidade de São Paulo está localizada na latitude 23°24'sul, sob condições de clima tropical de altitude de característica amena por aproximadamente 70% do ano (ASHRAE, 2009). O clima oferece dias ensolarados no inverno, quando a radiação solar direta é fundamental para o conforto térmico nos espaços abertos, e dias de céu parcialmente nublado no verão, quando a estratégia principal para o conforto térmico é a proteção contra a radiação, combinada com o aproveitamento dos ventos. Com isso, conforto térmico nos ambientes externos pode ser explorado praticamente por todo ano, criando possibilidades para espaços abertos, públicos e privados, de qualidade ambiental. Por outro lado, a cidade apresenta uma grande variedade de microclimas urbanos marcados por problemas de qualidade do ar, aquecimento do ambiente construído, ventilação urbana insuficiente e ruído urbano (PMSP, 2002), que afetam tanto a qualidade do ambiente urbano como as condições ambientais nos edifícios. Problemas esses que estão diretamente associados aos aspectos da forma urbana, concentração das atividades antropogênicas e a falta de vegetação.

3.2. Área de interesse

A área de interesse, com 25 quadras de tamanho e formas variados, totalizando aproximadamente 27 hectares de área líquida, apresenta uma forma urbana de edifícios de uma notória variação de tamanhos e alturas, seguindo o padrão de grande parte dos bairros centrais da cidade de São Paulo (atualmente, muitos desses edifícios são encontrados em estado de degradação física, ao lado de lotes vazios, muitos resultantes de demolições recentes e galpões destinados a estacionamentos). Como resultado, identifica-se uma forma urbana compacta, em que a taxa de ocupação é de aproximadamente 80% e o verde é praticamente inexistente, implicando em um solo urbano impermeável às águas de chuva (ver figuras 1 e 2).

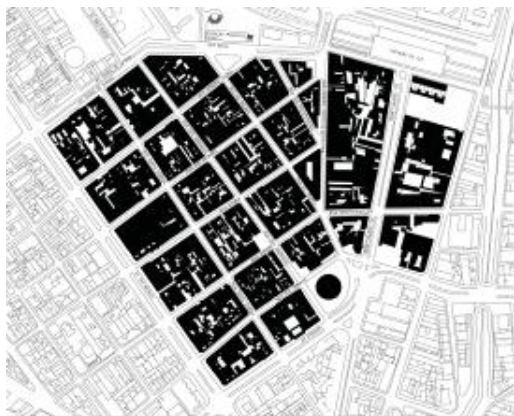


Figura 1 – Mapa de ocupação do solo, PRIH-LUZ. Fonte: Autor, com base no mapa da EMURB (2008).



Figura 2 - Vista aérea do interior de uma das quadras da área, mostrando a escassez de espaços abertos e áreas verdes.

Com respeito ao acesso ao sol, a orientação nordeste-sudoeste das malha quadricular de quadras urbanas oferece condições favoráveis de acesso ao sol ao longo do ano, nas quatro fachadas da quadra, para as unidades residenciais. Ainda em termos ambientais, teoricamente, a forma urbana compacta do conjunto de quadras prejudica a ventilação urbana e concentra o calor proveniente da radiação solar (somado aquele gerado pelas atividades urbanas) que, associada à falta de vegetação, cria um microclima urbano mais quente e desconfortável do que o natural da região. O impacto negativo da forma construída na ventilação urbana, prejudica também a dispersão de poluentes e, conseqüentemente, compromete a qualidade do ar, tanto no nível do pedestre, como nas alturas dos pavimentos dos edifícios altos. Soma-se a essas condições ambientais o ruído urbano gerado pelo tráfego de veículos e o comércio da região no período diurno, sendo a área é classificada como mista, incluindo os usos comercial e residencial. De acordo com a Lei 13.885 (PMSP, 2004), o nível máximo de ruído permitido para o período diurno é de 65 dB(A) e 55 dB(A) para o período noturno.

3.3. Proposta de ocupação e forma urbana

A densidade de 2.500 pessoas por hectare supera em mais de 13 vezes os 180 habitantes por hectare existentes no bairro da Santa Ifigênia (IBGE, 2004). Partindo-se de metas do poder público, nesse cenário hipotético, 40% da nova população faz parte do programa de financiamento HIS (Habitação de Interesse Social), para o qual foi estabelecida, nesse trabalho, a unidade residencial padrão de 50 m² para famílias de quatro integrantes, enquanto os 60% remanescentes fazem parte do programa HMP (Habitação de Médio Padrão), para o qual foi estabelecido tamanho padrão de 70 m² para famílias de quatro integrantes.

O alcance da meta de densidade veio a requerer a inserção de edifícios maiores do que os existentes, o que levou a uma proposta criteriosa de demolição de parte do estoque existente. A abertura de espaço livre teve o propósito de criar espaço para os novos edifícios e também para a ampliação do espaço público, tendo em vista a elevada taxa de ocupação da área. Arquitetonicamente, as propostas de ocupação foram formuladas com a inserção de edifícios tipo- lâmina e edifícios altos tipo torres, compondo duas propostas distintas de ocupação urbana. A primeira delas é composta de quadras perimetrais, com pátios internos, em que os edifícios novos são justapostos aos existentes, enquanto na segunda proposta, as quadras são abertas para o espaço das calçadas e ruas, com edifícios recuados dos limites da quadra e distanciados dos existentes. Ambos os arranjos urbanos consideram e estabelecem relações de gabarito com os edifícios existentes de alturas variadas. Na opção de quadras perimetrais os novos edifícios variam de 3 a 30 pavimentos, enquanto na opção das quadras abertas, os novos edifícios variam de 12 a 45 pavimentos (ver figuras 3, 4 e 5, 6).



Figura 3 – Proposta 1, quadras perimetrais – projeção horizontal dos novos edifícios junto aos existentes.



Figura 4 – Proposta 1, quadras perimetrais – perspectiva da área com os novos edifícios junto aos existentes.



Figura 5 – Proposta 2, quadras abertas com edifícios mais altos - projeção horizontal dos novos edifícios afastados dos existentes e do limite das calçadas.



Figura 6 – Proposta 2, quadras abertas com edifícios mais altos - perspectiva com novos edifícios afastados dos existentes e do limite das calçadas.

A forma urbana híbrida, com edifícios de diferentes alturas, característica da paisagem urbana dos bairros centrais de São Paulo foi mantida com a permanência de edifícios existentes em todas as quadras e a diferença de altura entre os edifícios novos, e desses com os existentes. Os edifícios mais altos foram concentrados ao norte da área de interesse, onde já estão localizados os edifícios existentes mais altos da área, e o conjunto de quadras é interrompido pela avenida Duque de Caxias. Apesar do aumento da densidade construída, com a inserção de edifícios significativamente mais altos do que os existentes, nas duas propostas a área livre é maior do que na situação existente, tendo em vista as menores taxas de ocupação, chegando a 40% na primeira proposta (meta da taxa de ocupação existente) e 48% na segunda.

4. DESEMPENHO AMBIENTAL

4.1. Qualidade do ar

A análise da qualidade do ar foi feita tomando uma quadra urbana de referência, sendo essa a mesma nas duas propostas de ocupação, olhando os resultados no ambiente das ruas e calçadas e também no interior da quadra (ver figura 7). Essa avaliação exige a simulação dos fluxos de ar no meio urbano, tomando o conjunto de quadras como um todo. No entanto, nesse contexto cada quadra é distinta, logo não é possível extrapolar os resultados. Três variáveis foram consideradas para a avaliação da qualidade do ar: o agente poluente, sendo esse a quantidade de veículos por hora, a largura da via e a velocidade do vento, com base no método proposto por Road World Association (SILVA 2001, PIARC 2001). O método considera um caudal de emissão de poluentes (fluxo de ar poluído) e propõe um caudal de ar fresco de diluição, que faça com que o nível de poluente se encontre abaixo de um dado valor. O indicador adotado de nível de toxicidade foi o monóxido de carbono (CO), pois embora existam outras fontes tóxicas nas emissões dos veículos, o CO atinge valores proibitivos em menor tempo. O critério de CO admissível foi extraído dos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (CETEB, 2008), que define 3 padrões de qualidade do ar: Padrão, Atenção e Alerta. O caudal da renovação do ar para cada veículo, é calculado por:

$$Q_{af} \left[m^3 / s \right] = \frac{q_{CO}^0 * f_{vel} * f_{ram} * f_{alt} * \frac{1 \times 10^6}{CO_{lim}}}{3600} \quad (eq.01)$$

CO_{lim} - nível de CO admissível (CETESB, 2008)

A velocidade do vento no nível do usuário é obtida pelo cálculo do caudal multiplicado pelo número de veículos (2 ou 4), sobre a área da seção da rua (A) considerando a altura da seção de 1.50m e larguras variadas dada pela tipologia em análise. Assim, a verificação da vazão de diluição dos poluentes foi calculada com o auxílio de simulações computacionais de ventilação ao redor dos edifícios, a rigor, sendo necessária a análise para todos os regimes de vento identificados ao longo do ano típico, dada a variação da intensidade dos fluxos de ar. Contudo, neste trabalho a dispersão de poluentes é ilustrada com estudos para os regimes de verão e inverno, que são os mais característicos e mais frequentes do clima local.

Para os dias mais quentes do ano, considerou-se a direção de vento quando as temperaturas estão acima de 25°C (quando a ventilação é importante para o conforto térmico). Para os dias mais frios do ano, considerou-se a direção de vento quando as temperaturas ficam abaixo de 20°C (quando aumentam os riscos de ocorrência do fenômeno de inversão térmica, que concentra a poluição no nível do pedestre). Para tanto, foram adotadas duas direções para a simulação: NNW (vento em períodos quentes) e SSE (vento em períodos frios) e, sendo a velocidade média para estas direções, a altura de 10 metros, de 3,5 m/s.



Figura 7 - simulações de ventilação urbana ao redor e no interior da quadra de referência, dia a situação de verão, no nível do pedestre (1,5 metros), nas duas opções de ocupação: quadra perimetral (à esquerda) e quadra aberta (à direita).

A figura 8 mostra o padrão da qualidade do ar nos dois cenários de ocupação, com base nas exigências e resultados das simulações de ventilação. A hibridade da morfologia urbana local, com edifícios vizinhos de alturas variadas, é certamente favorável a ventilação urbana. No entanto, a proximidade entre os edifícios e o aumento do tamanho dos mesmos mostrou deficiências significativas na ventilação urbana, principalmente no nível da rua. Essa situação é mais grave no caso da formação de quadras perimetrais, ou seja, com edifícios fechando as quatro orientações da quadra, do que na opção de quadras abertas, em que os edifícios novos estão distanciados dos existentes. Como regra geral, os blocos perimetrais tiveram um desempenho mais desfavorável de início, do que o visto no caso das quadras abertas, com edifícios altos tipo

“torre” e lâmina. No entanto, a permeabilidade dos primeiros pavimentos, com as aberturas para passagens de pedestres e mesmo o afastamento entre edifícios (no caso das quadras abertas) apresentou um efeito determinante no padrão da ventilação nesse nível, alcançando resultados corretivos.

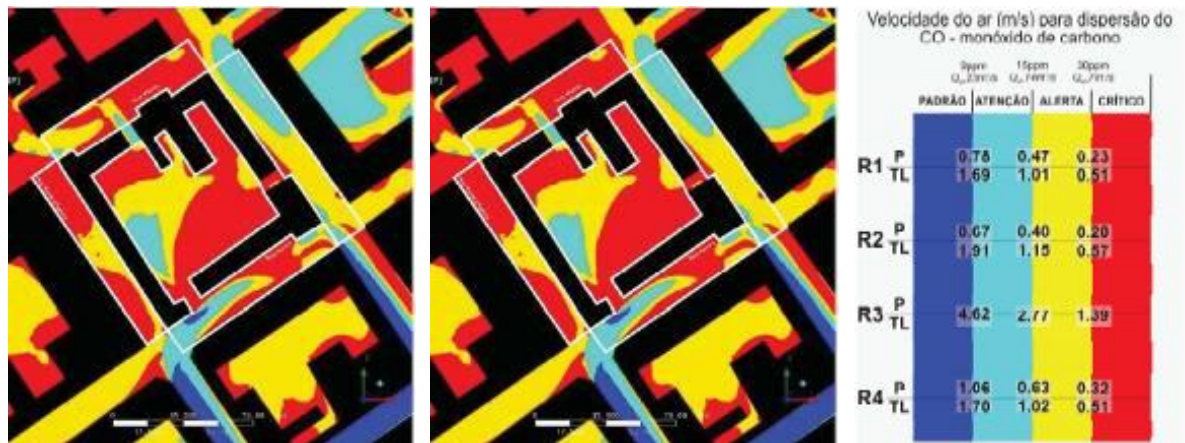


Figura 8 - desempenho da qualidade do ar na quadra de referência, no nível do pedestre (1,5 metros), nas duas opções de ocupação: quadra perimetral (a esquerda) e quadra aberta (a direita).

4.2. Conforto acústico

A avaliação de desempenho acústico consistiu na análise da propagação sonora ao ar livre. Os critérios de avaliação foram os níveis de intensidade sonora nos centros das quadras e próximo às vias, em função do nível de potência sonora de fonte. Para estimativa dos níveis de ruído, adotou-se o modelo de transmissão de sons aéreos para fontes pontuais (BISTAFA, 2006).

$$L_p(r, \theta) = L_w - 20 \log_{10} r + DI_\theta - 10 \log_{10} \frac{\Omega}{4\pi} - A - 11 \text{ dB} \quad (\text{eq.02})$$

Para estimativa do nível de potência sonora da fonte (L_w), adotou-se nível de pressão sonora de 71dB(A) para veículo de passeio a 7 metros do eixo do mesmo e a 1,2 m de altura, com velocidade moderada (entre 40 e 50 km/h) (JOSSE *apud* STEPHENSON, VULKAN, 1967). Considerou-se via com uma única faixa com fluxo de 500 veículos por hora por faixa (valor limite para boa condições acústicas aceitáveis). Pela primeira equação, o nível de potência sonora da fonte é de aproximadamente 96dB(A). Omite-se DI_θ devido às reflexões provocadas por obstáculos próximos, à turbulência atmosférica e ao fato de haver múltiplas fontes, e adota-se 2π para ângulo sólido (campo livre). Uma vez que a fonte sonora, no caso a rua, comporta-se como várias fontes sonoras pontuais, os valores obtidos foram corrigidos para o modelo de fontes lineares, com ondas sonoras cilíndricas progressivas.

Para composição da atenuação sonora entre a fonte e o receptor (A), utilizou-se a contribuição da difração sonora provocada pelos edifícios, que funcionam como barreiras acústicas, considerando a transmissão pelos flancos e a amplificação sonora devida a múltiplas reflexões entre os mesmos. Com relação às duas propostas de ocupação para o adensamento populacional, a verificação das condições de ruído urbano considerou tanto o impacto nos espaços abertos, como a exposição das fachadas dos edifícios ao mesmo (ver figuras 9 e 10). Vale lembrar que uma importante premissa de projeto foi o não aumento do número de veículos na área foco de intervenção.

Com resultado, no modelo de quadras perimetrais, a propagação de som das vias adjacentes ao conjunto mais ruidosas foi atenuada pela forma urbana. Somado a isso, o fato dos edifícios das laterais das quadras apresentarem alturas diferentes e o térreo ser, em boa parte do conjunto, recuado do alinhamento dos edifícios acima, contribui para a diminuição das múltiplas reflexões entre os edifícios, o que poderia elevar o nível sonoro em até 4 dB(A), como verificado em estudos paramétricos preliminares, de formas simplificadas. Quanto à proposta de quadras abertas com edifícios tipo lâminas e torres, tem-se a vantagem dos últimos pavimentos estarem menos expostos ao ruído das ruas. O problema de múltiplas reflexões entre as formas arquitetônicas (considerando como referência o centro da quadra), foi resolvido com maiores distâncias entre os edifícios e a ausência do efeito de barreira dos mesmos, sendo esse efeito mitigado com a consideração de superfícies absorventes no térreo e a presença de vegetação arbórea para difusão sonora.

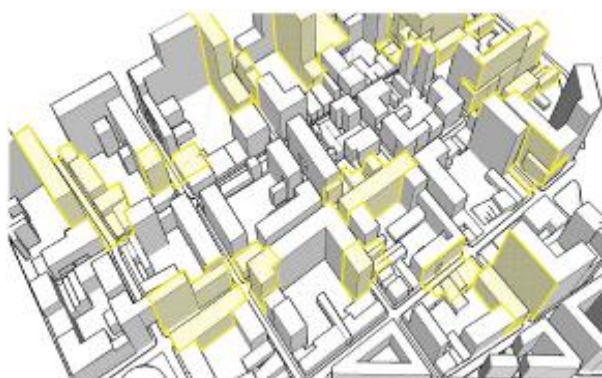


Figura 1 – Na solução de quadras perimetrais as áreas de fachada expostas a condições de ruído desfavoráveis ao conforto acústico nos edifícios.



Figura 10 – Na solução de quadras abertas, as áreas livres expostas a condições de ruído desfavoráveis ao conforto acústico.

4.3. Conforto térmico do pedestre

A avaliação das condições térmicas nos espaços abertos das duas propostas de ocupação foi feita com base no índice de Monteiro (2008), reunindo variáveis climáticas, incluindo: temperatura do ar (tar) e umidade relativa (ur) (do banco climático), velocidade do ar (v) (corrigida conforme os resultados das simulações de dinâmica de fluidos), radiação solar incidente (I_g) (corrigida conforme as simulações de insolação, fator de visão de céu e proposição do verde), temperatura média mensal (tm) (do mês de janeiro, sendo esse o mais quente do ano do banco de dados), atividades previstas para o uso dos espaços (M) (taxa metabólica) e o padrão de vestimenta das pessoas (I_{cl}) (resistência térmica das roupas, verificado por meio dos levantamentos empíricos):

$$TEP = -29,877 + 0,4828 \cdot TAR + 0,5172 \cdot TRM + 0,0802 \cdot UR - 2,322 \cdot VAR - 0,1742 \cdot TM + 5,118 \cdot M + 38,023 \cdot ICL \text{ (eq.03)}$$

Para efeito de cálculo, foi considerada uma malha de pontos em cada uma das duas soluções de ocupação, destacando três configurações urbanas características do espaço aberto local: calçadas, centros das quadras e das esquinas, com atenção para os caminhos criados para os pedestres. Para a determinação dos fatores de visão de céu dos pontos avaliados, foi considerada ainda a vegetação proposta para cada uma dos locais. O mapeamento das condições de conforto para as duas opções de ocupação mostra as áreas em que se encontram as zonas de neutralidade, pouco calor, calor e muito calor. Ainda que cada uma das opções tenha apresentado resultados ligeiramente mais significativos em um tipo de uso específico (em áreas de permanência para a tipologia das quadras perimetrais e em áreas de passagem para a tipologia das quadras abertas com torres e lâminas), pode-se considerar que ambas soluções são satisfatórias, tendo em vista as condições impostas pelo clima local e o ambiente construído (ver figuras 11 e 12).



Figura 11 – Desempenho do conforto térmico nos espaços abertos da solução de quadras perimetrais.

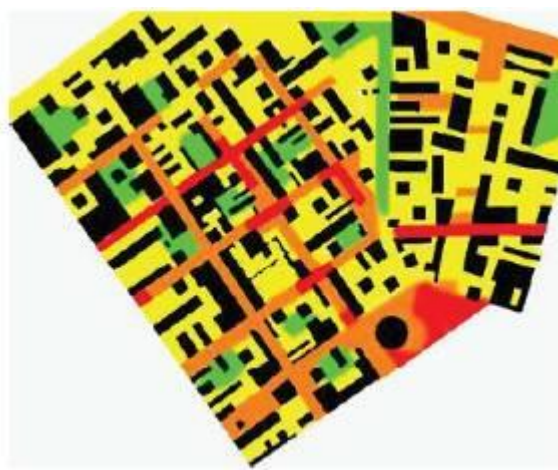


Figura 12 – Desempenho do conforto térmico nos espaços abertos da solução de quadras abertas.

Por um lado, a situação perímetro apresenta maiores sombreamentos (devido tanto a forma quanto a proposição de áreas verdes), mas condições de ventilação mais prejudicada. Por outro lado, a situação de quadras abertas, com edificios distanciados, apresenta menos áreas sombreadas, porém com ventilação mais

significativa. Ambas soluções apresentam situações de calor ou muito calor para as áreas de passagem (devido principalmente ao fato das pessoas estarem em maior atividade física) e situações de neutralidade ou pouco calor para as áreas de permanência (devido principalmente à proposição de áreas verdes para sombreamento). Ressalta-se que a situação de cânion urbano, avaliada anteriormente de forma empírica, apresentava situação de calor no período da tarde e que a avaliação das tipologias se realizou para as 15h. Portanto, ambas intervenções proporcionam ambientes com resultados mais significativos do que os verificados empiricamente. Concluindo, pode-se afirmar, ainda, que adensamento construtivo, bem dimensionado, pode levar a condições de conforto térmico próximas a de situações densamente sombreadas, como no parque, mais adequadas do que em situações a céu aberto.

4.4. Geração de energia

O foco da redução do consumo de energia elétrica das unidades residenciais foi estimado com base nas possibilidades de captação da energia solar para dois propósitos, sendo o primeiro, e mais importante, o aquecimento de água (visando a substituição dos chuveiros elétricos), por meio de painéis de aquecimento solar, e o segundo, o fornecimento de energia elétrica para a iluminação artificial, por meio de células fotovoltaicas. Com respeito aos painéis de aquecimento solar, a avaliação de desempenho seguiu as diretrizes de cálculo do Decreto Municipal 49.148 de São Paulo (PMSP, 2008), que parte do cálculo da demanda mensal de energia para o aquecimento da água, seguida pelo cálculo da área de coletores solares. Para estimar a demanda de energia mensal e a área de coletores, consideraram-se 100 litros de água quente a 42° por pessoa, para banho diário. Cálculo da área de coletores:

$$AC = \frac{F_{cd} \times C_s \times E}{PMME_{(SP)}} \quad [m^2] \quad (\text{eq.04})$$

- AC Área de coletores solares
 F_{cd} Fator de correção para desvio do Norte Verdadeiro (ver tabela 3)
 C_s Contribuição Solar (Fração Solar) - OBS: deve ser maior que 40%
 E Demanda de energia mensal
 PMME Produção Média Mensal de Energia por metro quadrado para o Município de São Paulo

O Decreto estabelece que áreas sombreadas por mais de 60%, no dia 6 de abril às 9h; 12h e 15h, não são favoráveis adoção do sistema de aquecimento solar (ver figuras 14 e 15). Uma vez que o decreto não estipula um fator de sombreamento no cálculo, adotou-se a média nesses horários. A inclinação das placas adotada foi de 33,5°, correspondente à Latitude + 10°, para favorecer o desempenho no período de inverno. A inviabilidade econômica do sistema é admitida quando não se atinge 40% da demanda anual ou quando o sombreamento for maior que 60% da área disponível às 9:00; 12:00 e 15:00h do dia 6 de abril.



Figura 14 – Efeito do sombreamento da forma urbana no plano das coberturas, na opção de quadras perimetrais.



Figura 15 – Efeito do sombreamento da forma urbana no plano das coberturas, na opção de quadras abertas (com edifícios mais altos).

O procedimento de verificação da eficiência das células fotovoltaicas foi similar ao referente aos painéis de aquecimento solar. A estimativa do consumo diário de energia elétrica baseou-se no Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007), adotando-se como base o consumo residencial per capita de 1,26 kWh/dia/habitante, de 2005. Quando projetado para 2030, o consumo de 2005 pode chegar a 3,30

kWh/habitante, sendo esse ainda um valor bastante inferior aos parâmetros internacionais (MME, 2007).

Como esperado, a ocupação urbana da tipologia de quadras perimetrais teve um desempenho superior ao da solução de quadras abertas, com edifícios altos, do tipo “torre” e laminas. No entanto, em ambos os casos o sistema de aquecimento solar provou ser viável economicamente, segundo os critérios estabelecidos no Decreto 49.148. O pior caso, de quadras abertas com os edifícios mais altos, mostrou responder para aproximadamente 70% da demanda por água quente. Já no caso dos painéis fotovoltaicos, a pior opção chega a pouco mais de 12% da demanda, contra pouco mais de 20% comparada a solução de perímetro, sendo esses valores baixos para justificar o sistema economicamente (ver tabela 1).

Tabela 1: Potencial de aquecimento de água por meio de painéis solares e geração de energia elétrica por meio de células fotovoltaicas, expressado em número de habitantes servidos.

Opções de ocupação/ total hab = 65.000	Aquecimento de Água		Energia Elétrica (células fotovoltaicas)/ demanda = 1,26 kWh/dia/hab		Energia Elétrica (células fotovoltaicas)/ demanda = 3,30 kWh/dia/hab	
	No.hab atendidos	%hab atendidos	No.hab atendidos	%hab atendidos	No.hab atendidos	% hab atendidos
Quadras Perimetrais	65.483	100	34.479	53,04	13.165	20,25
Quadras Abertas	65.350	100	21.579	33,20	8.239	12,68

O aproveitamento da energia solar no aquecimento de água para banho, supriu a demanda em ambas as tipologias de ocupação urbana analisadas, indo ao encontro das ações propostas no Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (MME, 2006), que prioriza as iniciativas de substituição dos chuveiros elétricos, tendo em vista o seu impacto no consumo de energia do setor residencial, que chega a 26% na região Sudeste (Guisi, Gosch, Lamberts 2007).

4.5. Avaliação geral

A tabela 2 traz a avaliação qualitativa do desempenho ambiental das duas soluções de ocupação urbana para o adensamento da área de intervenção, com quadras perimetrais e quadras abertas.

Tabela 2 - Avaliação qualitativa do desempenho ambiental das soluções de ocupação urbana.

Soluções de ocupação urbana	Critérios de desempenho ambiental			
	Qual. ar	ruido urbano	Conforto térmico	geração de energia
Quadras perimetrais	√	√√	√	√√√
Quadras abertas	√√	√	√√	√√

√ - resultado não satisfatório (ou satisfatório em áreas restritas da proposta), porém com potencial de melhora a ser explorado e expectativas de conformidade com o critério em grande parte da área de projeto.

√√ - resultado satisfatório, porém com potencial de melhora de forma a responder aproximadamente 100% para o critério de desempenho em toda a área de projeto.

√√√ - resultado praticamente 100% satisfatório, sem a necessidade de correções ou alterações na proposta de ocupação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação de desempenho ambiental das propostas de ocupação e forma urbana na área da Luz, no centro da cidade de São Paulo, demonstrou que formas urbanas associadas a altas densidades populacionais (tomando o limite de 2.500 pessoas por hectare como referência) não implicam necessariamente em baixa qualidade ambiental do espaço urbano. Entretanto, as vantagens e desvantagens ambientais das duas abordagens de ocupação urbana, uma de quadras urbanas conformadas por edifícios justapostos nas quatro orientações e outra de quadras mais abertas, com edifícios mais altos e distanciados dos existentes e dos limites das calçadas, são distintas e marcadas por qualidades urbanas também diferenciadas. Urbanisticamente, a proposta de quadras urbanas com fechamento perimetral tem o potencial de acomodar altas densidades com a oferta de espaços abertos mais protegidos do ambiente da rua.

A avaliação geral mostrou que a proposta de quadras abertas tem um desempenho inicial superior ao da proposta de quadras fechadas de forma perimetral, no contexto ambiental do centro de São Paulo. A quadra aberta superou a quadra perimetral nos itens de ventilação urbana, dissipação de poluentes e conforto do pedestre, enquanto a quadra perimetral foi melhor no que tange ao ruído urbano e a geração de energia.

É importante destacar que o desempenho da forma urbana, caracterizado pelo sombreamento e a

ventilação urbana, provocados pelas alturas e proximidades entre os edifícios e as irregularidades da forma, é compatível e desejável para as condições particulares do clima tropical de altitude da cidade de São Paulo. Dessa maneira, o clima tem um papel fundamental no potencial da forma urbana para qualidade ambiental do espaço. Paralelamente, a verificação do desempenho da forma urbana ainda nas etapas de projeto do desenho urbano permite que características como afastamentos e gabaritos dos edifícios, aberturas no pavimento térreo e até a escolha das tipologias arquitetônicas, possam ser ajustadas com medidas corretivas para melhor responder as exigências de desempenho. Tais medidas são identificadas, por exemplo, no caso da ventilação da quadra perimetral, em que mais aberturas no nível térreo e em diferentes alturas da forma urbana guardam o potencial de incrementar a vazão de ar e a conseqüente dissipação dos poluentes.

Em 2009 a Prefeitura de São Paulo oficializou as intenções públicas de requalificação da área da Luz com a abertura de uma concorrência pública para escolha da equipe que assumiria a tarefa de elaboração do projeto de requalificação. O edital do projeto contemplou questões urbanas, socio-econômicas e ambientais, em que o escopo ambiental incluiu as variáveis contempladas nesse trabalho, no nível de requisito, ainda sem a definição de critérios. Em suma, a introdução de critérios de desempenho ambiental não restringe soluções de desenho urbano, nem tampouco aponta uma solução ideal para as questões ambientais, mas sim valoriza o processo de projeto por agregar mecanismos de verificação da qualidade do ambiente urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151/87, Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade – Procedimento**. ABNT, 2000.
- ASHRAE- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Climate Design Data**, ASHRAE Handbook, ASHRAE, Atlanta, GA, 2009.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**, São Paulo: Blucher, 2006.
- BONDUKI, Nabil. Fórum de debates. In: **5ª Bienal Internacional de Arquitetura e Design de São Paulo Metrópole**. São Paulo, 13-20 de setembro de 2003.
- CETEB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90**. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padroes.asp. Acesso em novembro de 2008.
- DOMINGUES, Juliano. **Déficit habitacional na cidade de São Paulo ultrapassa um milhão de moradias**. Brasil de Fato.com.br, 7 de agosto de 2008. Disponível em: <http://www.brasildefato.com.br/v01/agencia/nacional/deficit-habitacional-na-cidade-de-sao-paulo-ultrapassa-um-milhao-de-moradias/>. Acessado em: 14 de agosto de 2009.
- GUIZI, E., GOSCH, S., LAMBERTS, R. **Electricity end-uses in the residential sector in Brazil**. Energy Policy 35. Elsevier, 2007.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sumário de Dados 2004. IBGE, 2004.
- JOSSE *apud* STEPHENSON e VULKAN. **Urban planning against noise**. Official Architecture Planning, 1967.
- METRÔ. **Indicadores**. 2008. Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br/empresa/numeros/indicadores/indicadores03.shtml>.
- MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Planejamento Energético. Brasília, 2007. Disponível em: www.epe.gov.br/PNE/20070626_2.pdf. Acessado em: 15/06/2008.
- MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (PDE 2007/2016)**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2006. Disponível em: www.labeee.ufsc.br/arquivos/.../PDEE-2006-2015_apresentacao.pdf. Acessado em: 15/06/2008.
- MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos**. 378p. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- PIARC – WORLD ROAD ASSOCIATION. **Congres Mondial de la Route**. Publication 2001.
- PMSP - PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Nova Luz**. Disponível em: http://centrosp.prefeitura.sp.gov.br/projetos/novaluz_area.php. Acessado em 12/05/2010.
- _____- **Estimativas de População e Domicílios em Favelas**. Disponível em: <http://sempla.prefeitura.sp.gov.br/infocidade/Habitacao>. Acessado em: 30 de junho de 2010.
- _____- **Decreto Estadual Nº. 49.148, De 21.01.2008**: Instalações Prediais do Anexo I da Lei nº. 11.228, de 25.06.1992 (Código de Obras e Edificações), 2007.
- _____- **Áreas de Intervenção Urbana – AIU. Plano Regional Estratégico 2004**. Disponível em: ww2.prefeitura.sp.gov.br/. Acessado em: 12/05/2010.
- _____- **Legislação que dispõe sobre controle e fiscalização das atividades que gerem poluição sonora, especificamente a Lei 13.885, de 25.08.2004**, 2004.
- SILVA, M. T. R. M. **A Influência da densificação urbana na ventilação das cidades**. Projecto de Termodinâmica Aplicada. Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2001.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos pesquisadores da FAUUSP que e membros do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia que, juntamente com os autores, participaram da pesquisa de desenho urbano ambiental que deu origem a esse trabalho: Alex Uzueli, José Ramos, Kátia Moreira, Luciana Schwandner, Marianne Klettenhofer, Patrícia Sanches, Paula Shinzato, Rafael Brandão e Sabrina Harris. Igualmente, agradecimentos aos Professores da FAUUSP Maria Ruth Amaral de Sampaio e Marcelo Giacaglia, pelo apoio metodológico.