



## ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DE INSOLAÇÃO NO SETOR ESTRUTURAL DE CURITIBA ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO DA OCUPAÇÃO COM O AFASTAMENTO DE H/6

Rudnei F. Campos (1); Sergio Scheer (2)

(1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Paraná, Brasil – e-mail: rudnei@arquit.ufpr.br

(2) CESEC – Universidade Federal do Paraná, Brasil – e-mail: scheer@ufpr.br

### RESUMO

**Proposta:** Análise da incidência de insolação no inverno, através de uma simulação computacional da ocupação com os parâmetros do afastamento de H/6, em comparação com os parâmetros da legislação anterior. **Método de pesquisa/Abordagens:** Estudo de caso, localizado em uma quadra consolidada e verticalizada do Setor Estrutural de Curitiba, no bairro do Batel. A partir do levantamento das edificações existentes foram criados dois modelos em computação gráfica: um com a ocupação existente e o outro com uma ocupação hipotética baseada nos parâmetros do afastamento de H/6. O comportamento da insolação na ocupação existente foi comparado com a mesma incidência na simulação com o afastamento de H/6. Foram realizadas, através do programa Ecotect v.5.2, algumas análises comparativas de incidência de insolação e projeção de sombras, destacando-se a visualização da insolação incidente, as cartas solares com máscaras de sombras, o cálculo das porcentagens de sombreamento e da radiação solar acumulada no anteparo. **Resultados:** Através dessas análises, ficou evidente a melhoria nas condições de insolação dos pavimentos mais baixos, propiciada pela adoção do afastamento de H/6, comprovando os benefícios de se valorizar o acesso à insolação através de instrumentos da legislação urbanística. **Contribuições/Originalidade:** Uso de ferramentas de análise da insolação para comparar a ocupação existente com uma ocupação hipotética, simulada a partir de novos parâmetros urbanísticos.

Palavras-chave: simulação da insolação; afastamento H/6; Setor Estrutural de Curitiba.

### ABSTRACT

**Propose:** An analysis regarding winter sun exposure was carried out, employing a computer-aided simulation of a hypothetical occupation, using the parameters of H/6 clearance, compared to present occupation, formed by buildings erected under parameters of previous legislation. **Methods:** A case study performed in a single construction block located at a Structural Sector area in Curitiba. Two computer generated 3D models were constructed: one with the present occupation based on the former legislation and the other of a hypothetical occupation, using the parameters of H/6 clearance. The insolation behavior has been compared between both models, using the software Ecotect v.5.2. **Findings:** This analysis have demonstrated that the parameters of H/6 clearance can improve the insolation conditions at the lower stores, proving the benefits of the solar envelope use to provide access rights through the urban legislation instruments. **Originality/value:** Use of insolation analysis tools to compare the present occupation with a hypothetical occupation, simulated from new urban parameters.

Keywords: solar radiation simulation; solar envelope; Curitiba Structural Sector.

## 1 INTRODUÇÃO

“Todo mundo deve ter um lugar ao Sol”. Este ditado é uma forma de dizer que cada pessoa tem os mesmos direitos da outra. A importância do Sol na vida das pessoas é demonstrada em poemas, em músicas, em ditados populares. O Sol auxilia o crescimento, melhora o humor e a disposição, tem efeito bactericida e anti-séptico (TAYLOR, 1976).

Com o uso dos princípios da arquitetura bioclimática, as condições climáticas da edificação podem ser controladas, através de soluções construtivas definidas pelo projeto arquitetônico. A escolha da orientação mais adequada para determinado uso permite que a radiação solar seja aproveitada no inverno e evitada no verão, a ventilação pode ser utilizada para combater a umidade e para extrair o ar quente, o isolamento dos ambientes pode reduzir as trocas térmicas com o exterior, especialmente as perdas de calor em épocas frias (BUSTOS ROMERO, 2001).

Porém, quando a edificação está inserida no contexto urbano, a escolha da orientação mais adequada não garante, necessariamente, as melhores condições de insolação, pois o desempenho térmico da edificação durante o inverno, não depende apenas de uma boa solução de projeto arquitetônico, mas também do entorno em que futuramente estará inserido.

Na cidade de Curitiba esse fato se torna evidente, em especial na ocupação adensada e verticalizada dos Setores Estruturais. Ao longo de três décadas, essa ocupação foi estimulada por uma série de incentivos e concessões, como por exemplo a adoção de coeficientes de aproveitamento de seis vezes a área do terreno e a possibilidade de implantação de edificações sem qualquer afastamento das divisas laterais, entre outros.

Após uma década de sua ocupação, começaram a surgir os primeiros estudos do impacto causado por esse modelo de adensamento: Lobo, Scheer e Campos (1988) alertavam, através da visualização da morfologia urbana futura de uma região do bairro do Portão, no Setor Estrutural Sul que, caso fossem mantidos os potenciais construtivos, haveria o comprometimento futuro da área em termos de insolação, ventilação, circulação, escala e paisagem.

Logo depois, em 1990, os coeficientes de aproveitamento para o Setor Estrutural foram reduzidos. Em seu preâmbulo, o Decreto nº 579/90 justificava tal medida, ao reconhecer que “os parâmetros em vigor resultam em uma densidade de ocupação excessivamente alta, ocasionando a deterioração da qualidade ambiental urbana desse setor, em especial quanto à aeração e insolação das edificações” (IPPUC, 1998).

Em 2000 foi realizada a revisão do Plano Diretor e de sua legislação, através da Lei nº 9.800/00, que estabelece que, nas novas obras implantadas nos Setores Estruturais, deve ser respeitado o afastamento das edificações determinado pela altura da construção dividida por seis (H/6). Schmid (2001) destaca que essa nova proposta representa um conceito simplificado de envelope solar.

O envelope solar é uma maneira de possibilitar o acesso à insolação, evitando o sombreamento indesejado do entorno durante determinado período do dia. Quanto maior o período de insolação desejado, mais restritivo será o volume do envelope solar (KNOWLES, 2003).

O uso do afastamento de H/6 restringirá o volume disponível para uma edificação, de acordo com a sua altura. Segundo Schmid (2001), a utilização da proporção, ao invés de dimensões absolutas, deverá definir uma paisagem urbana mais adequada às questões ambientais.

Neste trabalho foi feita uma análise da incidência de insolação no inverno, através de uma simulação computacional da ocupação com os parâmetros do afastamento H/6, em comparação com os parâmetros da legislação anterior.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é comparar uma ocupação hipotética – com os parâmetros do afastamento de H/6 – com a ocupação existente, ocorrida com os parâmetros da legislação anterior. A hipótese a ser verificada é a de que a ocupação hipotética com o afastamento de H/6 é capaz de melhorar as condições de insolação da face Norte (voltada para os fundos) das edificações implantadas em lotes com testada para o Sul, em relação à ocupação existente, sem o uso de afastamentos laterais.

## 3 METODOLOGIA

Para a análise das alterações ocorridas com a adoção do afastamento de H/6, em termos de incidência de insolação e consequente sombreamento do ambiente construído, foi utilizado um método similar aos empregados por Lobo, Scheer e Campos (1988), Pereira, Nome Silva e Turkievicz (2001) e Marques e Araújo (2004), através da criação em computação gráfica de dois cenários distintos:

- Cenário Existente, com a representação da ocupação atual;
- Cenário H/6, contendo a simulação de uma ocupação hipotética.

No Cenário Existente foi analisada a situação de uma área já consolidada, contendo edificações de grande porte, construídas sob os parâmetros da legislação anterior. No Cenário H/6, esta mesma área recebeu uma ocupação hipotética, com o uso do afastamento de H/6. Desta forma, foi possível comparar a ocupação existente com uma ocupação hipotética, caso o afastamento de H/6 tivesse sido utilizado desde a implantação do Setor Estrutural.

Como suporte para os dois cenários, foi escolhida uma quadra que possuísse a maior parte de seus lotes já consolidados. Foi selecionada uma quadra localizada no bairro do Batel, delimitada pelas avenidas Visconde de Guarapuava e Sete de Setembro e as ruas Bruno Filgueira e Francisco Rocha. Uma vista da face Norte desta quadra, com edificações existentes implantadas junto às divisas laterais, com base nos parâmetros da legislação anterior, é mostrada na Figura 1a.

Visando reduzir e controlar as variáveis, a comparação foi limitada à análise do acesso à insolação na fachada Norte das edificações implantadas em lotes com testada para o Sul, ou seja, nas fachadas orientadas para os fundos desses lotes. Em ambos os cenários, os lotes face Sul, tiveram suas edificações existentes substituídas por um anteparo. Este anteparo representa a área máxima de fachada capaz de receber a insolação da orientação Norte.

O anteparo foi posicionado com um recuo de 5 m do alinhamento predial nos lotes de esquina e com um afastamento de 10 m dos lotes de maior profundidade, equivalente ao afastamento dos fundos do terreno utilizado pelas edificações existentes. Foram representadas cinco divisões horizontais no anteparo, correspondendo a intervalos de 6 pavimentos (18 m de altura), visando facilitar a visualização do sombreamento de acordo com a altura do pavimento, que também mostra o Cenário Existente, com as edificações implantadas nos lotes com testada para o Norte (Figura 1b).

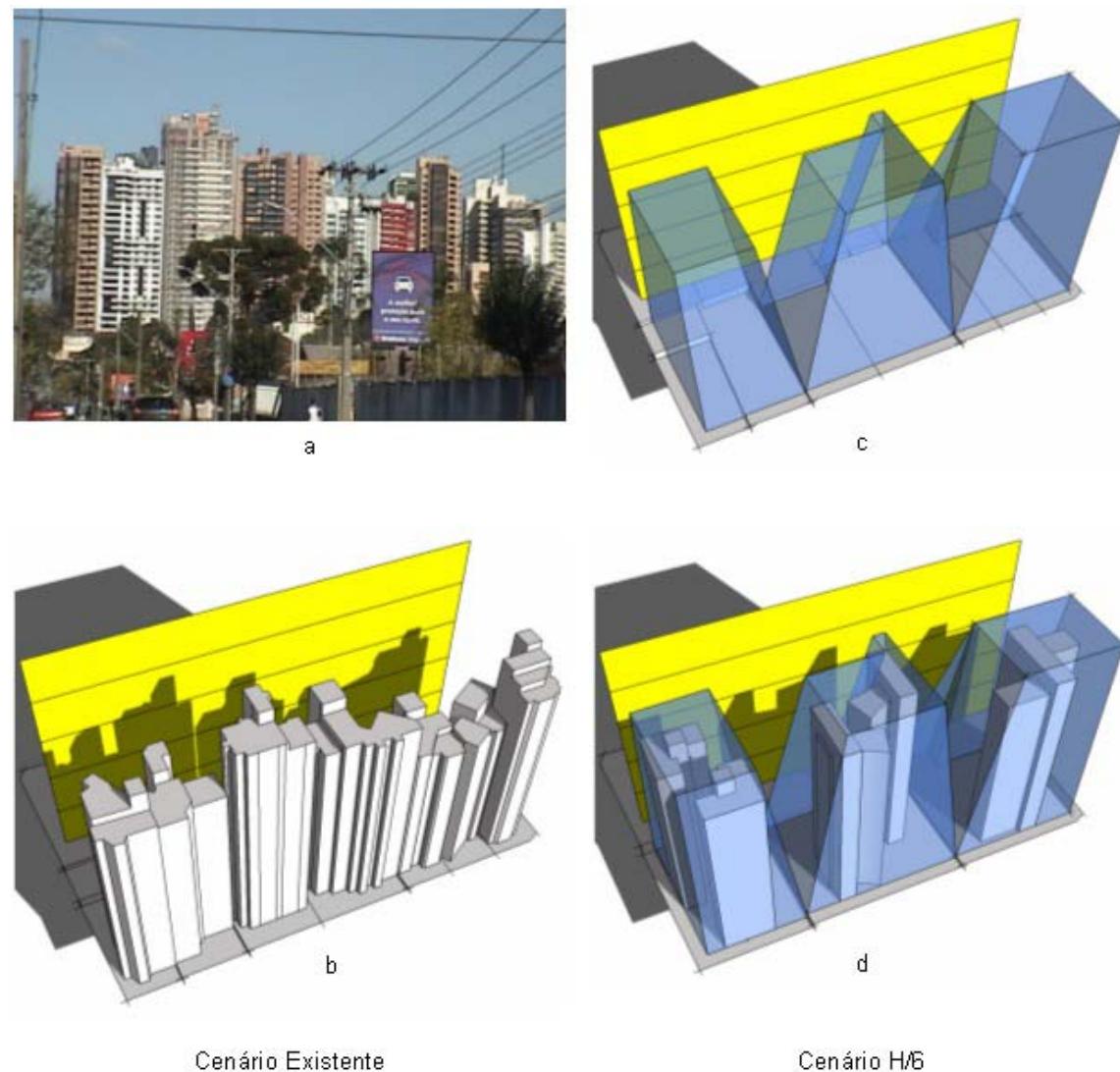
Para o Cenário H/6, primeiramente foi modelado o volume do envelope H/6, isto é o volume máximo que uma edificação poderia possuir, assumindo-se uma altura de 30 pavimentos (90 m), com a ampliação do afastamento das divisas laterais, à medida que altura é aumentada, até chegar ao valor de 15 m (90/6).

Mantendo-se a estrutura fundiária atual, o uso do afastamento de H/6 inviabilizaria a construção de edificações com as mesmas características das existentes, pois a área destinada à implantação da edificação se tornaria muito estreita. Em razão disso, foi feita a unificação de alguns lotes, resultando em uma nova estrutura fundiária capaz de acomodar esses afastamentos, bem como de possibilitar uma área mais adequada para a implantação da edificação. Com esses procedimentos, o volume do envelope H/6 resultou em um prisma, similar a um tronco de pirâmide (Figura 1c).

Em seguida, as edificações hipotéticas foram modeladas – com base nos parâmetros da Lei n.º 9.800/00 e decretos complementares – e delimitadas por cada volume do envelope H/6. Essas edificações deveriam seguir o mesmo padrão das edificações existentes, ou seja, com uma área de pavimento tipo em torno entre 250 e 350 m<sup>2</sup> e um porte de 25 a 30 pavimentos.

A unificação dos lotes reduziu a quantidade de terrenos e, consequentemente, o número de edificações. Porém, a área total a ser edificada permaneceu a mesma, determinada pelo coeficiente de aproveitamento de quatro vezes a área do terreno.

Para que todo o potencial construtivo pudesse ser utilizado, ao mesmo tempo em que a altura da edificação ficasse entre 25 a 30 pavimentos – resultando em afastamentos adequados (até 15 m) – os lotes unificados deveriam conter edificações com dois ou mais blocos, resultando nas três edificações de dois blocos, implantadas nos três lotes unificados. Os contornos de cada edificação, delimitados pelo volume do envelope de H/6, foram definidos de maneira a manter uma insolação adequada de suas fachadas orientadas para o Norte. O modelo 3D resultante pode ser verificado na Figura 1d.

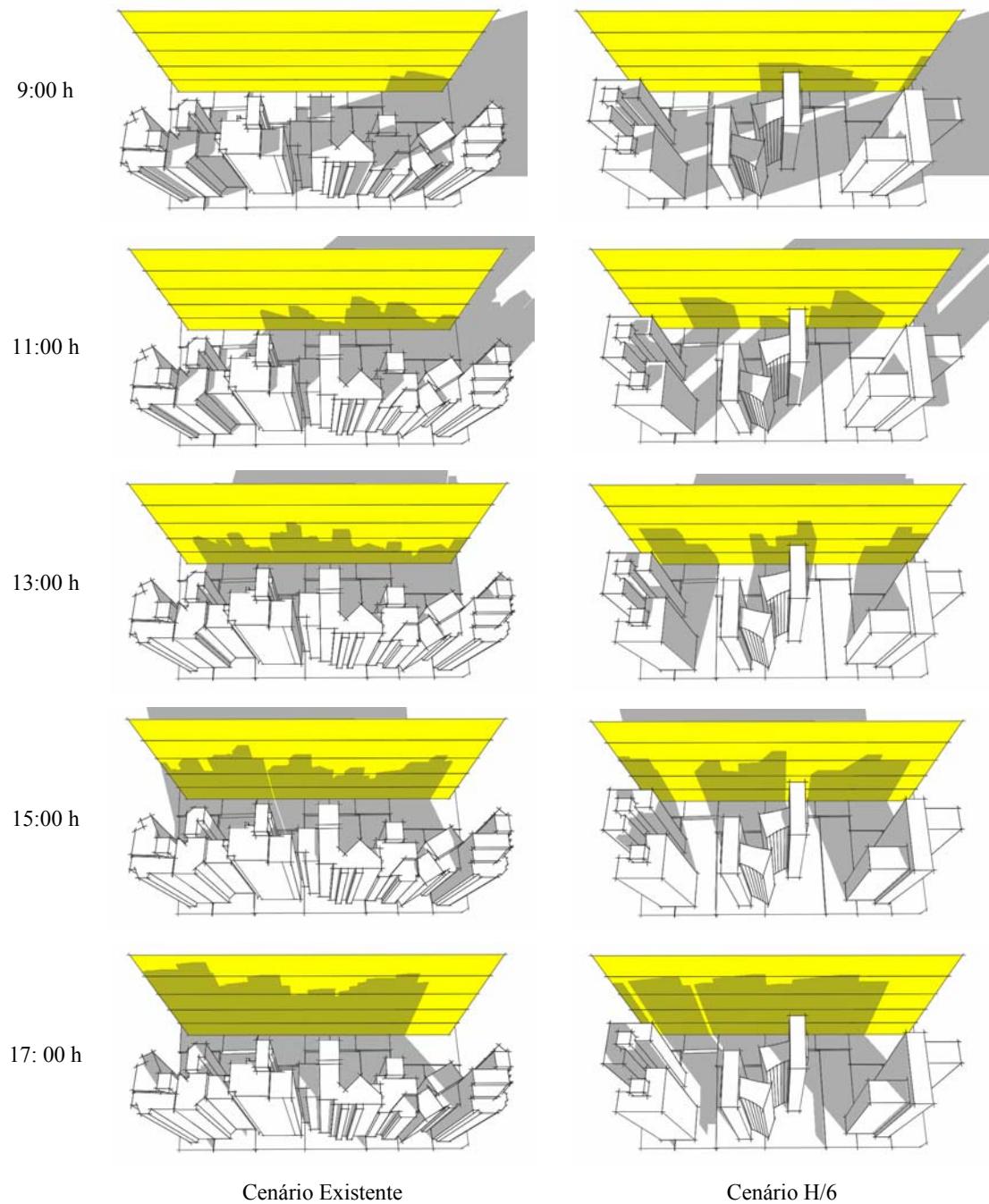


**Figura 1 – Vista da face Norte da quadra de estudo (a); Cenário Existente com anteparo na face Norte dos lotes com testada para o Sul (b); Volume gerado pelo envelope H/6 (c) e Cenário H/6 (d)**

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Assim como no estudo realizado por Schimid (2001), o comportamento da insolação foi simulado no dia 1º de julho, para a latitude de Curitiba. Todas as análises comparativas de incidência de insolação e projeção de sombras foram realizadas através do programa Ecotect v.5.20. Foram gerados, para cada cenário, a visualização da insolação incidente no anteparo, as cartas solares com máscaras de sombras, o cálculo das porcentagens de sombreamento e o cálculo da radiação solar acumulada no anteparo.

### 4.1 Análise da insolação incidente no anteparo



**Figura 2 – Incidência de insolação no Cenário Existente e no Cenário H/6**

Para visualizar a incidência de insolação e consequente sombreamento em cada intervalo de seis pavimentos, demarcados no anteparo, foram geradas cinco imagens, em diferentes horários – 9:00h, 11:00h, 13:00h, 15:00h e 17:00h – para cada cenário (Figura 2). Com essas imagens, foi possível comparar o comportamento da insolação em cada cenário durante esses horários, bem como as alterações no sombreamento do anteparo entre ambos os cenários em cada horário.

Às 9:00 h, o sombreamento do anteparo, causado pelas edificações do cenário Existente é menor que o do cenário H/6. Isto ocorre porque as edificações deste cenário estão mais recuadas que as daquele, ficando mais próximas do anteparo.

Às 11:00 h, 13:00 h e 15:00 h, já é possível perceber os rasgos de insolação causados pelo afastamento de H/6. Nestas três imagens, fica claro que, no cenário Existente, os pavimentos mais baixos (de 1 a 6) são sombreados durante esses horários, enquanto que, no cenário H/6, os rasgos permitem a incidência de insolação em determinados intervalos.

Por fim, às 17:00 h ambos os cenários se tornam semelhantes. O Sol está se pondo no Oeste, e o sombreamento causado pelo porte das edificações ocupa quase toda a superfície do anteparo.

#### 4.2 Análise das cartas solares com máscaras de sombras

O sombreamento causado no anteparo também pode ser analisado através de duas cartas solares em projeção estereográfica, sobrepostas à respectiva máscara de sombras de cada cenário. O diagrama estereográfico gerado se refere aos 6 pavimentos inferiores do anteparo. Desta forma, foi definido um ponto de teste, posicionado na altura do 3º pavimento, no centro do primeiro intervalo de pavimentos do anteparo.

A Figura 3a mostra a carta solar com a projeção estereográfica do cenário Existente. Percebe-se que o sombreamento no ponto de teste, que se inicia às 10:00 h, permanece por todo o dia. Na Figura 3b, a carta solar foi aplicada à projeção estereográfica do cenário H/6. Nesta carta, verificou-se que o sombreamento no ponto de teste é interrompido em alguns períodos durante o dia, possibilitando a incidência de insolação em alguns horários no período da tarde.

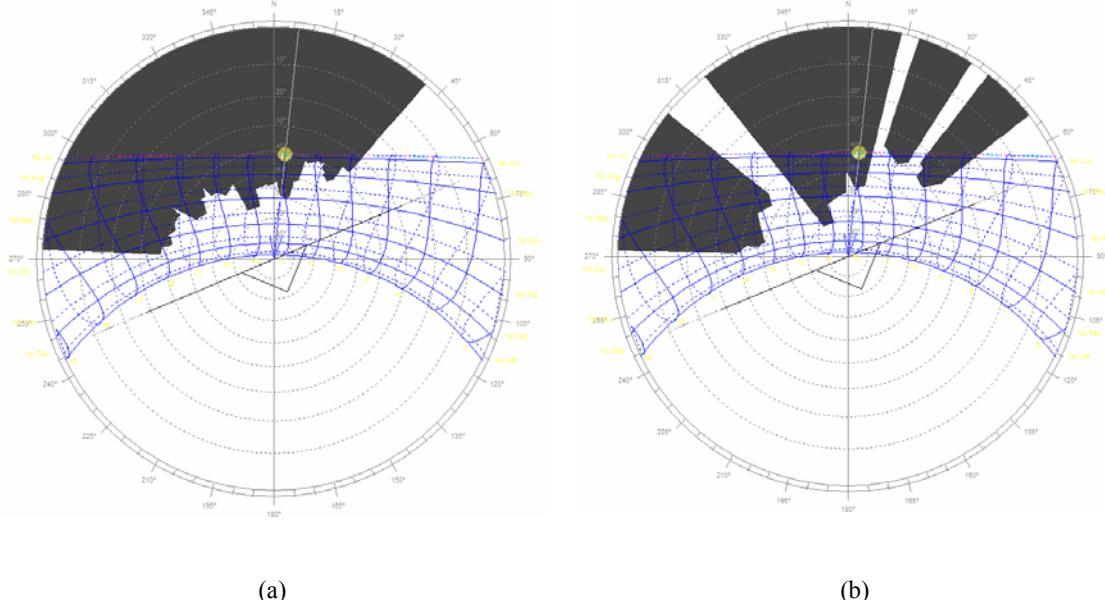


Figura 3 – Carta solar com máscara de sombras para o Cenário Existente (a) e para o Cenário H/6 (b)

#### 4.3 Cálculo das porcentagens de sombreamento

Em seguida foram calculadas as porcentagens de sombreamento no dia 1º de julho, em intervalos de 30 minutos. Os cálculos foram realizados para o mesmo ponto de teste. Os valores obtidos foram colocados em uma planilha e estão representados no Gráfico 1, onde fica demonstrado que o sombreamento no anteparo, causado pelas edificações do cenário H/6 é maior nos primeiros horários da manhã que o do cenário Existente. Porém, a partir das 10:30 h os valores da porcentagem de sombreamento são reduzidos para o cenário H/6.

As principais constatações retiradas dessas porcentagens são as seguintes para cenário Existente:

- Até às 8:30 h o sombreamento é nulo;
- A partir das 10:30 h o valor do sombreamento ficou sempre maior que 60%;
- O valor máximo foi de 98%, às 14:00 h;
- Das 14:00 h até o por do Sol, o sombreamento teve valores maiores que a média de 79%.

Para o cenário H/6, ficou constatado que:

- Até às 12:00 h o valor do sombreamento foi sempre menor que 60%;
- O valor máximo foi de 80%, às 16:30 h;
- O sombreamento médio é de 60%, contra 79% do Cenário Existente.

A partir desse cálculo das porcentagens de sombreamento, foram geradas outras duas cartas solares para cada cenário, onde foram calculadas. A porcentagem de sombreamento foi mostrada nas cartas através da projeção de uma grade de análise sobre a máscara de sombras.

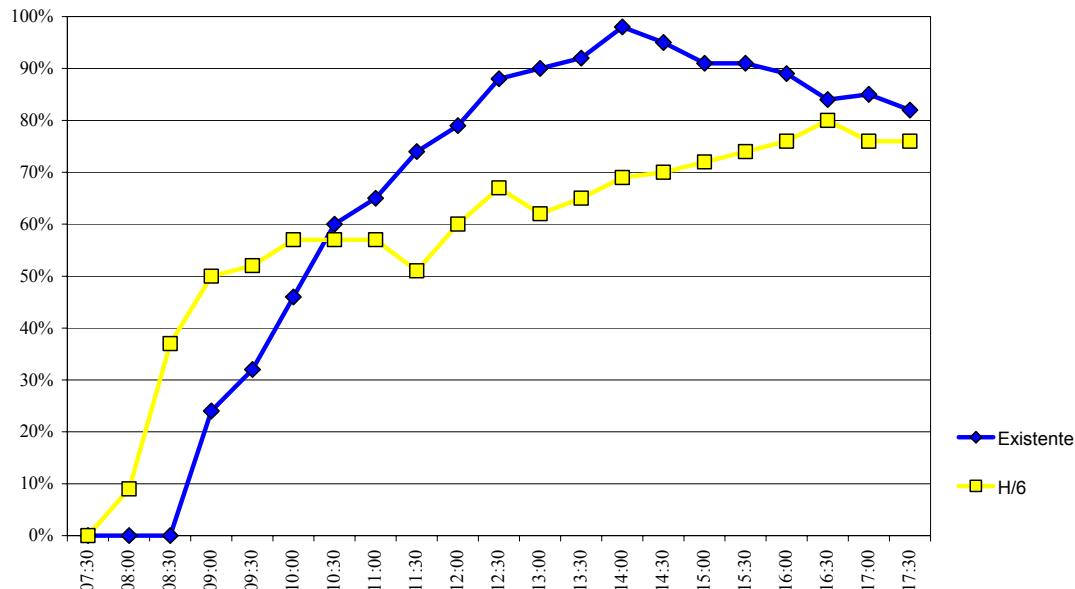


Gráfico 1 – Comparação das porcentagens de sombreamento entre o Cenário Existente e o Cenário H/6

#### 4.4 Cálculo da radiação solar direta acumulada no anteparo

A Figura 4 demonstra quantitativamente a incidência de insolação no anteparo, através do cálculo da radiação direta acumulada para o dia 1º de julho. O anteparo recebeu uma Grade de Análise, subdividida em 30 linhas, representando cada pavimento. Para facilitar a visualização, os intervalos de 6 pavimentos estão realçados e as edificações foram escondidas, permanecendo apenas o anteparo contendo a Grade de Análise.

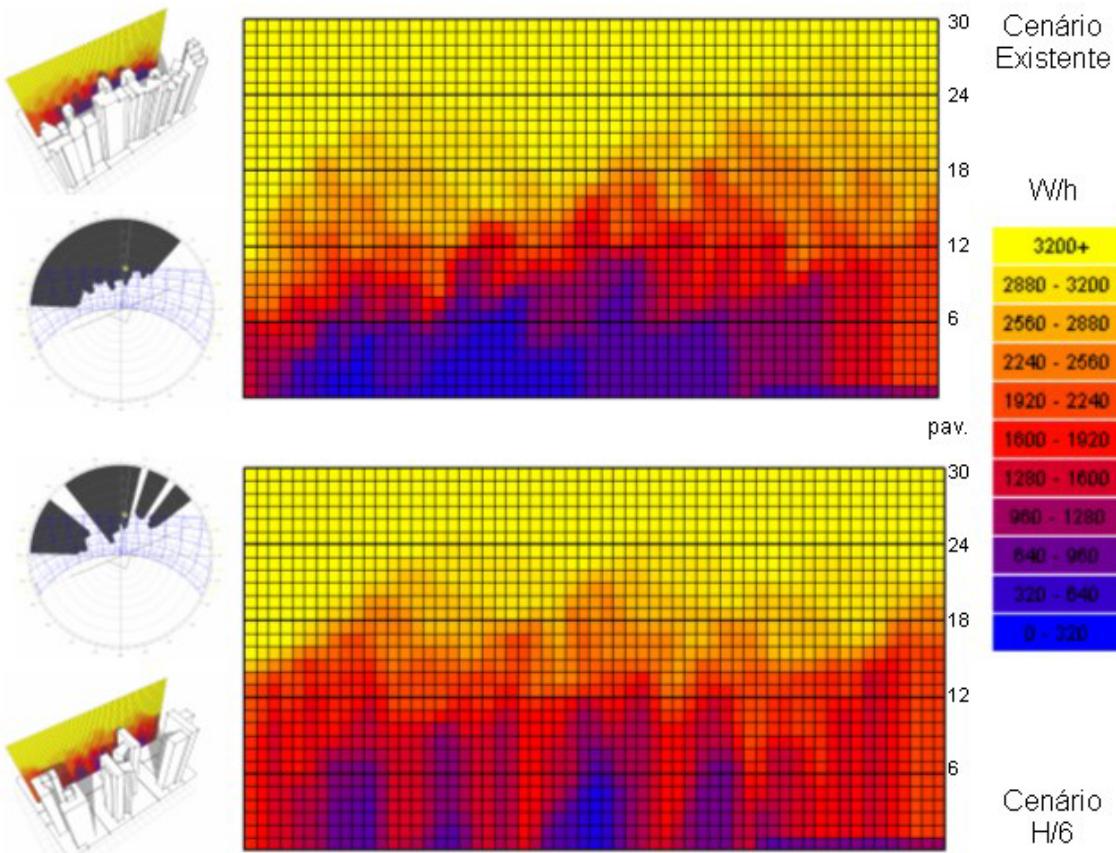


Figura 4 – Média da radiação diária direta em 01/jul para o cenário Existente e o cenário H/6

No gráfico superior, representando a Grade de Análise aplicada ao antepavimento do cenário Existente, podem ser percebidas as consequências do sombreamento nos 6 pavimentos inferiores, onde a radiação direta acumulada tem o menor valor médio – 706,05 W/h, enquanto que o valor médio para toda a superfície do antepavimento (30 pavimentos) é de 2048,66 W/h.

Por outro lado, no gráfico inferior, os rasgos proporcionados pelo afastamento presente no cenário H/6 melhoraram as condições de insolação nos pavimentos 1 a 6. Nesta faixa, a radiação acumulada tem um valor médio de 1088,48 W/h, um ganho de 35,13% em relação ao cenário Existente. Nos 30 pavimentos da superfície do antepavimento, o valor médio da radiação direta acumulada é de 2106,41 W/h, apenas 2,58% a mais que no outro cenário.

As análises apresentadas acima indicam uma melhor distribuição da insolação da fachada Norte das edificações implantadas em lotes face Sul, com a adoção dos afastamentos de H/6. Os índices encontrados na comparação entre uma ocupação existente e uma ocupação hipotética, simulada em uma estrutura fundiária real, são similares aos encontrados no estudo realizado por Schmid (2001) onde, para cada modelo simulado, foi utilizada uma ocupação e uma estrutura fundiária hipotéticas.

## 5 CONCLUSÃO

Através dessas análises, ficaram evidentes as melhorias nas condições de insolação propiciadas pela adoção do afastamento de H/6, comprovando os benefícios de se valorizar o acesso à insolação através de instrumentos da legislação urbanística.

A Lei n.º 9.800/00 deverá melhorar as condições de insolação nos pavimentos mais baixos das edificações. Mesmo mantendo-se as altas densidades do Setor Estrutural, o uso do afastamento de H/6 é capaz de reduzir o sombreamento dos pavimentos inferiores das edificações implantadas em lotes com testada para o Sul.

E, embora grande parte dos lotes com testada para o Norte já esteja consolidada com edificações de grande porte, ainda existem lotes não consolidados que, através do afastamento de H/6, poderão garantir melhores condições de insolação do entorno.

Um ambiente onde haja incidência de insolação se torna mais salubre devido aos efeitos anti-sépticos da radiação solar. Em consequência, seus moradores têm uma resistência maior às enfermidades, têm mais disposição para o trabalho e devem permanecer bem-humorados por mais tempo.

Afinal, como já dizia o ditado, “todo mundo deve ter um lugar ao Sol”.

## 6 REFERÊNCIAS

BUSTOS ROMERO, M. A. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: UNB, 2001. 226p.

IPPUC. **Legislação de uso do solo**: Lei n.º 5.234 e decretos complementares. Curitiba, 1998.

KNOWLES, R L. The solar envelope: its meaning for energy and buildings. In: **Energy and Buildings**, Elsevier v.35, p.15-25, 2003.

LOBO, M. L. C.; SCHEER, S.; CAMPOS, R. F. **Sub-centro do Portão: estudo de caso com computação gráfica**. Curitiba: UFPR, 1988. Relatório de pesquisa.

MARQUES, R. S.; ARAÚJO, V. M. D. **A influência das prescrições urbanísticas na ventilação urbana: o caso da orla da Praia do Meio em Natal/RN**. Construcción Sostenible, 2004. v. 0. p. 1-12.

PEREIRA, F. O. R; NOME SILVA, C. A; TURKIEVCZ, B. A methodology for sunlight urban planning: a computer-based solar and sky vault obstruction analysis In: **Solar Energy Journal**, Pergamon Press, v.70, nº.3, pp. 217-226, 2001.

SCHMID, A. L. Daylighting and insolation in high density urban zones: how simulation supported a new law in Curitiba. In: BUILDING SIMULATION, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2001. p. 1093-1099.

TAYLOR, C. W. Designing for sunshine. In: SOLAR RADIATION CONSIDERATIONS IN BUILDING PLANNING AND DESIGN, Washington, D.C, 1976. **Proceedings...** Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1976. p.21-29.