



ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM EIXOS DO SETOR ESTRUTURAL DE CURITIBA

Mauro Suga (1); Eduardo L. Krüger (2)

(1) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE)
Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR
e-mail: smaurogen@hotmail.com

(2) Eng. Civil, Dr.-Ing., Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Depto de Construção Civil - Centro
Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR - Av. Sete de Setembro, 3165
CEP 80230-901 Curitiba - PR.
e-mail:krueger@ppgte.cefetpr.br

RESUMO

O presente trabalho visa averiguar as condições de iluminação natural nos cânions urbanos contidos em zoneamento de Setor Estrutural da cidade de Curitiba, cuja lei de uso do solo não impõe limites de altura. As diferentes orientações podem influir substancialmente nas condições de iluminação para prédios contidos nestes eixos. O objetivo deste artigo é investigar as relações de altura (H) e largura (W) em ambientes no primeiro pavimento que possam auferir iluminação direta no solstício de inverno para cada tipo de orientação de cânion.

ABSTRACT

The present paper aims to verify daylighting conditions in urban canyons of the structural sector (Setor Estrutural) of the city of Curitiba, where land use regulations do not establish height limit. The different axial orientations can essentially influence daylight conditions for buildings within these axes. The main goal of this paper is to evaluate the relations of height (H) and width (W) for places on the first pavement so that these can obtain direct sunlight on winter solstice for each kind of urban canyon orientation.

1. INTRODUÇÃO: HISTÓRICO DOS EIXOS ESTRUTURAIS

Curitiba é uma cidade com 1.587.315 de habitantes (COMEC, 2004) com grande destaque na área de planejamento urbano e qualidade de vida. Embora uma cidade sempre esteja em constantes transformações dinâmicas, é inegável que ainda hoje as diretrizes urbanísticas do plano diretor engendrado na década de 70 pela equipe do arquiteto-urbanista Jorge Wilhelm exerça grande influência na constituição da morfologia urbana.

Um dos pontos de maior evidência foi indubitavelmente a identificação de eixos potenciais de indução para o crescimento a partir da implementação do mencionado plano diretor. Como resultado, foram idealizados dois eixos que tangenciam o centro da cidade, o leste-oeste e o nordeste-sudoeste, que é mais longo. Contudo, a relevância destes eixos, chamados de estruturais, consiste em amalgamar três funções, as quais seriam primordiais para o crescimento da cidade: o sistema viário, o transporte de massa e o uso do solo (SOUZA, 2001).

No que concerne à legislação de uso do solo, as quadras adjacentes aos eixos estabelecidos pertencem ao zoneamento dos setores estruturais, nas quais não há limitação para a altura da edificação, sendo o potencial construtivo definido por uma legislação do tipo *floor ratio area*. Os eixos estruturais lineares têm como particularidade a largura de caixa de rua estabelecida em 30m e, haja visto a inexistência de

uma restrição no limite de altura das edificações, há o surgimento do fenômeno cânions urbanos. Tal fato é reforçado por outro lado, pela lei de incentivo de preservação do distrito histórico, sendo possível transferir o potencial construtivo de construções históricas para compensar em novos investimentos, aumentando o limite de altura de um prédio (RABINOVITCH & LEITMAN, 1996).

Contudo, a legislação de uso do solo, através do Plano Massa, estabelece que o térreo deve apresentar recuo de alinhamento predial de 4m em relação a caixa de rua, podendo o segundo pavimento ser usado na totalidade de sua projeção, sendo estes destinados a serviços. Após esses pavimentos de serviços, a 10m do solo, surge o bloco residencial que deve estar recuado em 5m do alinhamento da caixa de rua. Tal situação gera uma distância entre torres residenciais de 40m, sendo que o ambiente de estudo consistirá de um apartamento hipotético situado no nível a 10m acima da rua.

Com a legislação do tipo *floor ratio area* e especialmente devido à inexistência de limitação de altura, peculiaridades como orientação axial e latitude são desconsideradas, sendo bastante prejudicadas as condições de iluminação e incidência solar em situações críticas como solstício de inverno em ambientes de primeiro pavimento. Este fato poderia ser amenizado caso houvesse uma legislação de uso do solo com limitação de alturas e dispositivos que garantissem o acesso ao Sol e à luz, o que em tese favoreceria um melhor uso da energia solar na forma de calor e iluminação (ASSIS, 2002). Neste contexto, o escopo deste trabalho é verificar as condições de iluminação natural em ambientes de primeiro pavimento de diferentes eixos estruturais existentes na cidade de Curitiba.

2. METODOLOGIA

Os instrumentos utilizados, numa primeira etapa, foram os seguintes: AutoCad 2002, Corel Draw 11 e o software Luz do Sol versão 1.1, desenvolvido por Roriz em 1994 (RORIZ, 1995).

A cidade de Curitiba tem latitude de 25° 25' 50'' Sul (COMEC, 2004), sendo considerado como dado de entrada para o software Luz do Sol o valor da latitude em 25,50 graus. Com o AutoCad, foi possível identificar através de arquivos digitalizados os eixos estruturais da cidade e medir os respectivos ângulos com o norte verdadeiro. Os eixos e os ângulos identificados para estudo neste trabalho são os seguintes (Figura 01):

- Eixo estrutural da Avenida República Argentina: 190° (análise entre Av. Getúlio Vargas e Av. Iguazu)
- Eixo estrutural da Rua Padre Anchieta: 247°
- Eixo estrutural da Avenida João Gualberto e Avenida Paraná: 221°



Fig. 01 – Localização do zoneamento do setor estrutural na cidade de Curitiba e as estruturais analisadas no artigo em destaque

A Avenida João Gualberto e a Rua Padre Anchieta são lineares, assim permitindo a utilização de uma medida para o norte verdadeiro, enquanto a Av. República Argentina tem desenho irregular sendo necessário delimitar um pequeno trecho para análise, sendo este escolhido entre a Avenida Iguaçú e Av. Getúlio Vargas.

De posse destes dados, foram estabelecidas 4 situações de altura, o que levou a 4 situações de relação H/W, situação análoga a pesquisa elaborada por David Pearlmutter em Israel acerca de cânions urbanos (PEARLMUTTER et al., 2003): $H/W = 0,33$; $H/W = 0,66$; $H/W = 1$; e $H/W = 2$.

Após verificar os dados climáticos para Curitiba, considerou-se dia típico de inverno de nível 10% e dia típico de verão de nível 10% (GOULART et al., 1998). A nebulosidade média apresenta pequenas variações horárias conforme a Tabela 01.

Tabela 01 - Valores de nebulosidade média em um dia típico de inverno de nível 10% e um dia típico de verão de nível 10% em função do horário

| Horário | Nebulosidade média no inverno | Nebulosidade média no verão |
|---------|-------------------------------|-----------------------------|
| 6 | 38% | 67% |
| 7 | 43% | 66% |
| 8 | 41% | 61% |
| 9 | 41% | 59% |
| 10 | 47% | 57% |
| 11 | 40% | 56% |
| 12 | 38% | 56% |
| 13 | 35% | 58% |
| 14 | 36% | 57% |
| 15 | 36% | 55% |
| 16 | 35% | 54% |
| 17 | 36% | 53% |
| 18 | 35% | 54% |

Considerou-se como objeto de estudo uma sala com dimensões de 2,80m de largura por 5m de profundidade e pé-direito (altura útil) de 2,60m. Em relação à abertura da janela, considerou-se uma largura de 2,40m, peitoril de 1m e altura de abertura de 1,20m. A área de superfície da abertura corresponde a razão de 39,56% da área de superfície do objeto em contato com o exterior. A sala de estudo foi considerada como sendo de uma torre residencial.

O objeto de estudo foi considerado na posição mais crítica do cânion em hipotéticos blocos residenciais, considerando obstáculos com altura (H) de 13,33; 26,67; 40 e 80m e distância fixa (W) entre prédios de 40m. Para a condição crítica do solstício de inverno, procurou-se a situação limite em que o primeiro pavimento possa receber uma hora de iluminação natural direta. Não obstante os dados auferidos sobre os eixos, é relevante enfatizar que os prédios adjacentes em cada cânion têm orientações de fachada distintas tendo diferentes períodos de incidência solar. Posteriormente, estas diferentes orientações em um mesmo cânion foram evidenciadas graficamente, conforme figuras abaixo (Figuras 02 a 04).



Fig. 02 – Cânion urbano da Avenida República Argentina e as orientações das fachadas estudadas



Fig. 03 – Cânion urbano da Rua Padre Anchieta e as orientações das fachadas estudadas



Fig. 04 – Cânion urbano da Avenida João Gualberto/ Paraná e as orientações das fachadas estudadas

Com os dados dos eixos, as orientações de fachadas distintas de cada cânion foram especificadas para posterior análise com o uso do software Luz do Sol. Por exemplo, o trecho da Avenida República Argentina tem 190° de orientação, contudo, sabe-se que os prédios à direita do eixo, destacados em azul, recebem insolação no período da tarde. A orientação dos prédios ao lado direito será de $190^\circ + 90^\circ = 280^\circ$. Em relação aos prédios à esquerda do eixo, também perpendiculares a este, estão orientados para o leste e o dado de entrada para o Luz do Sol será: 190° (ângulo do eixo medido em AutoCad) - $90^\circ = 100^\circ$, recebendo insolação no período da manhã.

E em função dos dados de orientação de fachada, foram simuladas as condições de iluminação natural para solstício de inverno, equinócios e solstício de verão. A tabela apresentada a seguir (Tabela 02) é um exemplo da saída de dados obtidas pelo software Luz do Sol, para uma orientação de fachada de 280° no cânion da Avenida República Argentina.

Tabela 02 - Relação de altura solar, azimute e disponibilidade de incidência solar direta no primeiro pavimento para cânions com relação H/W 0,33; 0,66; 1 e 2, para solstício de inverno, com orientação de 280°

| CONDIÇÕES SIMULADAS PARA SOLSTÍCIO DE INVERNO: ORIENTAÇÃO DE 280° | | | | | | | | | | |
|---|--------------|---------|---|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hora | Altura solar | Azimute | Insolação disponível em função da relação H/W | | | | | | | |
| | | | 0,33 | | 0,66 | | 1 | | 2 | |
| | | | H = 13,33 | W = 40 | H = 26,67 | W = 40 | H = 40 | W = 40 | H = 80 | W = 40 |
| 12:00 | 41,2 | 000 | SIM | | SIM | | NÃO | | NÃO | |
| 13:00 | 39,0 | 342,2 | SIM | | SIM | | NÃO | | NÃO | |
| 14:00 | 33,2 | 326 | SIM | | SIM | | NÃO | | NÃO | |
| 15:00 | 24,5 | 314,5 | SIM | | NÃO | | NÃO | | NÃO | |

Em etapa posterior, adotou-se os softwares DLN, desenvolvido por Paulo Sérgio Scarazzato, USP, e ECOTECH, desenvolvido por Andrew Marsh, *Welsh School of Architecture at Cardiff University*, que serviu para a montagem das maquetes eletrônicas e subsequente análise com o RADIANCE, desenvolvido pelo Laboratório Nacional Lawrence Berkley, sob a égide de Greg Ward, para analisar valores de iluminância interna nesses mesmos ambientes.

O DLN tem em sua base de dados os valores de iluminância do céu para diversas localidades no país, inclusive Curitiba, sendo então possível verificar os valores em kLux para a condição de céu encoberto. Além disso, o banco de dados dispõe de valores de iluminância do céu para os dias típicos de inverno, outono, primavera e verão. Foram adotados os valores de dia típico para as condições de solstícios e equinócio de primavera, haja visto a similaridade de valores com o equinócio de outono. E, através do uso do ECOTECH, foram simuladas as condições da sala especificada para céu encoberto.

Com estes valores, foi montada uma maquete eletrônica com o ECOTECH e simulou-se as condições de iluminação média interna para cânions com as proporções especificadas para subsequente renderização com o RADIANCE. O cálculo foi feito com precisão “muito alta” e o fator de vidro foi considerado como médio (existente no software). O plano de trabalho foi considerado a 70 centímetros do piso, as paredes internas de cor clara e refletância interna média de 90%, enquanto os prédios foram considerados como de extensão infinita e alturas variáveis em relação ao cânion, com refletância de 20%.

3. AVALIAÇÃO DE HORAS DE INCIDÊNCIA SOLAR NO AMBIENTE

Com os resultados do Luz do Sol para cada situação, foram elaborados gráficos compilando a relação H/W e as horas de incidência solar disponível para cada orientação de fachada (Figuras 5, 6 e 7). De acordo com as condições de cânion simuladas, variando a altura H dos prédios, obtém-se as horas de incidência solar, havendo uma tabela com cores correspondentes às horas abaixo do gráfico com orientação de eixos dos cânions. Os quadrados referentes ao apartamento analisado correspondem à orientação de fachada em relação ao percurso do Sol. Assim, a sala térrea voltada para o Noroeste situada na Av. Rep. Argentina apresentará 4 horas de Sol para uma relação H/W = 0,33.

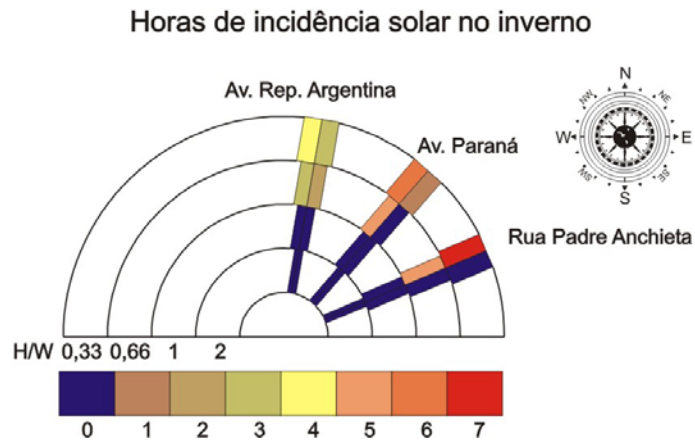


Fig. 05 – Horas de incidência solar no solstício de inverno nas diferentes orientações de apartamentos dos cânions analisados

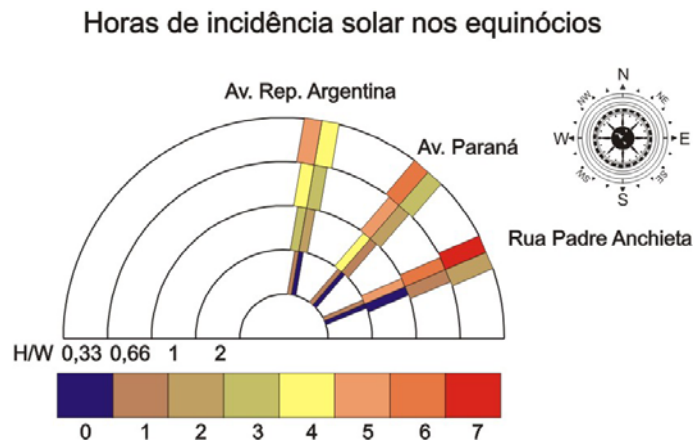


Fig. 06 – Horas de incidência solar nos equinócios nas diferentes orientações de apartamentos dos cânions analisados

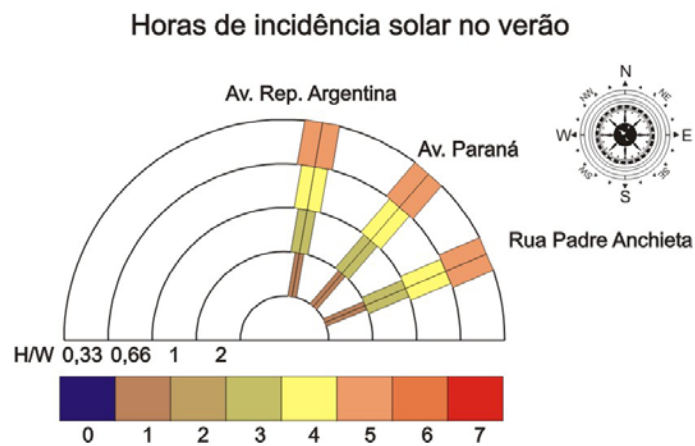


Fig. 07 – Horas de incidência solar no solstício de verão nas diferentes orientações de apartamentos dos cânions analisados

Em relação à incidência solar no inverno, constatou-se que um eixo com orientação de 0° permite uma melhor distribuição de luz interna no cânion, e que, quanto mais o eixo tender a assumir características de orientação axial leste-oeste pura ou 90° , mais haverá a propensão de privilegiar a fachada com orientação direcionada ao norte. Estas diferenças podem ser verificadas ao analisar os 3 cânions na condição de solstício de inverno. Um outro aspecto relevante a ser ressaltado é concernente à altura das obstruções. Pode-se notar que para obstruções de 13,33m, $H/W = 0,33$, na Rua Padre Anchieta, um apartamento no primeiro pavimento auferiria sete horas de incidência solar, e um obstáculo de 26,67m, $H/W = 0,66$, reduziria esse tempo para cinco horas. Não obstante, haja visto a baixa altura solar no inverno, para um obstáculo de 40m, $H/W = 1$, não haveria incidência solar. Aliás, a relação $H/W = 1$ é um limite para a situação simulada, pois a baixa altura solar no inverno impede a incidência do Sol nos apartamentos de primeiro pavimento com obstáculos de 40m nos cânions analisados.

A maior altura solar nos equinócios em relação ao inverno e o aumento do percurso aparente do Sol proporciona um substancial aumento de horas de incidência solar para relações acima de $H/W = 1$, e em algumas orientações, mesmo com obstáculos de 80m, o que corresponde a $H/W = 2$. Novamente, para apartamentos em ambos os lados do cânion da Avenida República Argentina há uma distribuição de incidência solar mais uniforme, enquanto no caso da Rua Padre Anchieta os apartamentos de primeiro pavimento com orientação de 337° dispõem de grande período de incidência solar, que diminui substancialmente para relação $H/W = 2$, enquanto apartamentos de primeiro pavimento com orientação de fachada de 157° apresentam 2 horas de incidência solar com obstáculos de 26,67m ($H/W = 0,66$). É evidente também que o cânion da Avenida Paraná, em situação intermediária em relação ao cânion da Rua Padre Anchieta e Avenida República Argentina, tem os apartamentos com orientação de fachada de 131° com mais horas de incidência solar que os apartamentos de orientação de fachada de 157° .

A maior altura solar no verão proporciona um fenômeno interessante: todas as orientações de fachadas pesquisadas dos cânions urbanos dispõem da mesma quantidade de horas de incidência solar, variando conforme a relação H/W do cânion. É importante ressaltar que a orientação de fachada que mais recebe incidência solar de todos os cânions analisados, sita na Rua Padre Anchieta com 337° , tem no verão uma diminuição em comparação com as situações de equinócio e solstício de inverno. Mesmo para a crítica condição de $H/W = 2$ é possível auferir uma hora de incidência solar.

4. AVALIAÇÃO DE ILUMINÂNCIA NA SALA

Inicialmente, com os valores de iluminância para céu encoberto determinados pelo DLN, foram simuladas as condições de iluminação interna dos ambientes com o auxílio do software ECOTECT. Com o céu totalmente encoberto, a orientação de fachada perde sua relevância, embora as obstruções verticais assumam influência nas condições de iluminação natural no ambiente. A norma NB-57 de 1991 prescreve uma recomendação de iluminância de 500 a 1000 Lux para tarefas com requisitos visuais normais em escritórios. Vianna et al. (2001) sugerem o valor de 500 Lux para bancos (atendimento ao público), salas de leitura de biblioteca e escritórios em geral.

Se para a condição de $H/W = 0,33$ a iluminância média ficaria acima de 500 Lux durante 3 horas do dia, para a relação $H/W = 2$ a iluminância média auferiria 142,6 Lux em seu ápice, evidenciando o problema da falta de limitação de altura, cuja verticalização decorrente provoca perdas nos acesso de insolação e iluminação natural (ASSIS et al., 1995). Nos equinócios, um cânion com relação $H/W = 0,66$ teria pouco mais de 3 horas com iluminância média no ambiente acima de 500 Lux, enquanto um cânion com relação $H/W = 1$ iria beirar a linha dos 400 Lux. E no verão, o que é digno de registro é o fato do cânion $H/W = 2$ ter sérias dificuldades de ultrapassar o limiar dos 200 Lux, sendo plausível que a iluminação artificial se tornasse sempre necessária.

As figuras 08 e 09 mostram os resultados do software RADIANCE, obtidos para a situação de inverno, eixo leste-oeste e sala com orientação de fachada zero grau, em dia de céu claro e especificação de curvas isolux com valores de 0 a 5000 Lux (Figuras 8, 9, 10 e 11). Estas figuras foram obtidas a partir da fixação, no software ECOTECT, do ponto de observação como sendo a janela, e posteriormente com sua renderização no RADIANCE. As figuras 8 e 9 evidenciam que relações de $H/W = 0,33$ e $0,66$ permitem uma farta iluminação no ambiente, sendo possível prescindir da iluminação artificial por algumas horas

mesmo na condição do solstício de inverno. A partir da relação $H/W = 1$, no solstício de inverno, não há uma incidência direta do sol e as figuras 10 e especialmente a 11, correspondente a $H/W = 2$, resultam em ambientes com grandes áreas de penumbra, e, por conseguinte a iluminação artificial torna-se imprescindível.

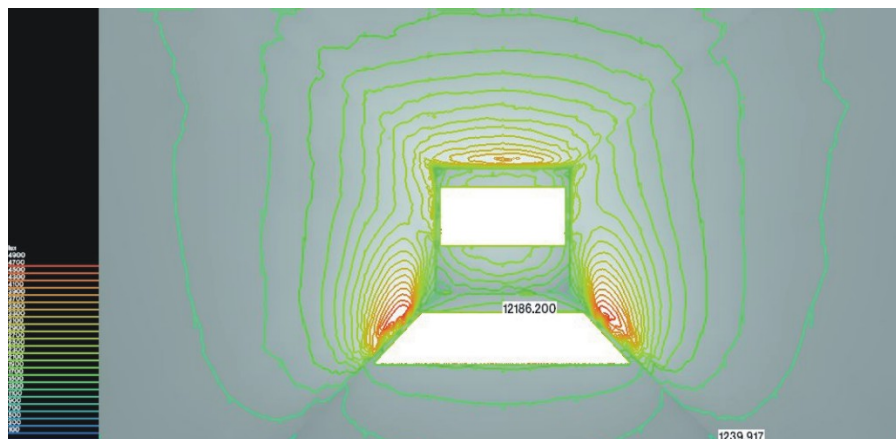


Fig. 08 – Iluminâncias obtidas na sala (condição de inverno $H/W=0,33$)

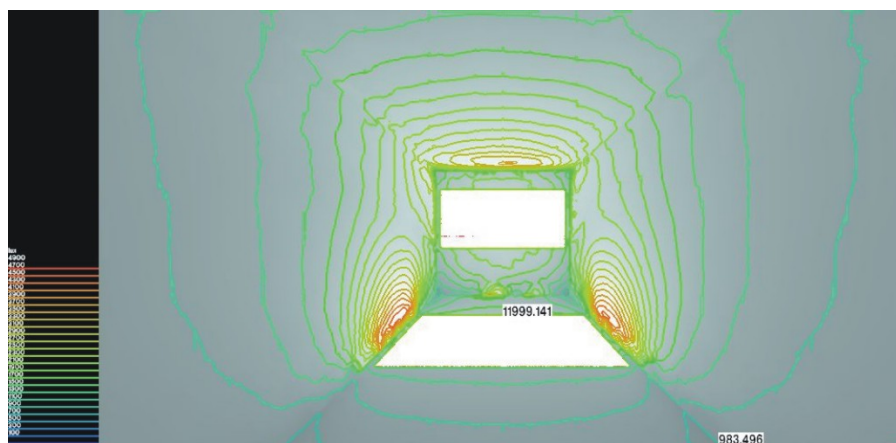


Fig. 09 – Iluminâncias obtidas na sala (condição de inverno $H/W=0,66$)



Fig. 10 – Iluminâncias obtidas na sala (condição de inverno $H/W=1$)

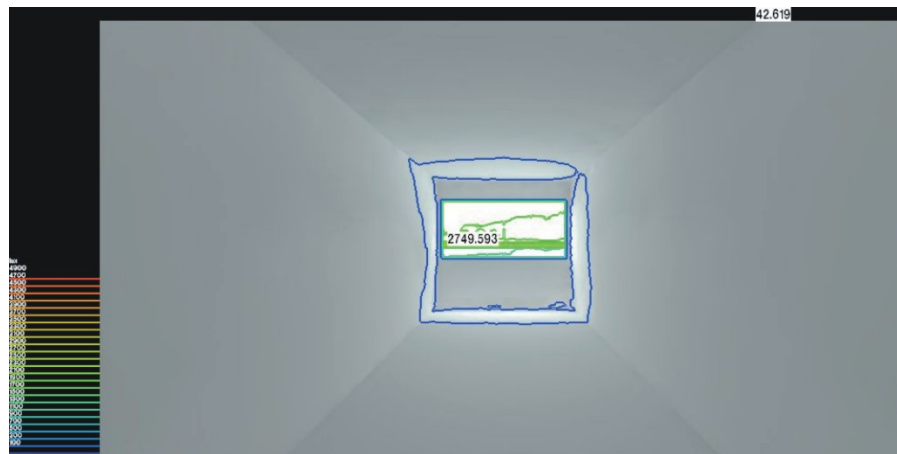


Fig. 11 – Iluminâncias obtidas na sala (condição de inverno H/W=2)

5. CONCLUSÕES

É notório que uma legislação de uso do solo que não restrinja a altura das edificações propicie situações reais de parca iluminação, especialmente em ambientes críticos como ambientes no térreo e primeiro pavimento residencial, para qual foram simuladas as situações.

A observação dos horários de incidência solar, considerando a crítica condição do térreo, exige que haja diferenças contundentes segundo a orientação de fachada nos cânions analisados. Um cânion com orientação sul-norte pura, ou quanto mais tender a isto, tem melhor distribuição de luz em ambas as fachadas, admitindo em tese maior verticalização do que um eixo leste-oeste ou tendendo a tal configuração, pois somente uma das orientações consegue auferir mais iluminação. A possibilidade de maior verticalização no cânion de orientação sul-norte comparativamente com um cânion com propensão a orientação leste-oeste fica mais evidente quando da análise do gráfico de equinócio, no qual se nota que os apartamentos com orientação de 157° auferem menos horas de incidência solar que os apartamentos orientados a 100° ou 280° internos ao cânion da Av. Rep. Argentina. Tal constatação é consoante à maior possibilidade de adensamento sugerida por Frota e Schiffer (2003), admitindo-se que, nos cânions norte-sul, o Sol, do nascer até o meio-dia, atingirá as construções voltadas para um lado da rua, enquanto de tarde os raios solares atingirão o lado oposto. No tocante aos eixos mais inclinados com relação aos pontos cardeais, a altura admissível de modo a garantir o acesso a incidência solar seria menor do que nos eixos cardeais ou mais próximos deste alinhamento (KNOWLES, 2003).

Um outro aspecto pertinente é que a atual legislação de uso do solo propicia situações críticas no inverno quando o Sol é mais baixo, em virtude da altura livre. Com cânions com relação $H/W = 1$ ou 2 no inverno, a iluminação no primeiro pavimento, dependerá enormemente das multireflexões internas da luz no cânion, enquanto os cânions de $H/W = 0,33$ e $0,66$ obterão incidência solar direta, e conforme sua orientação terão diferentes intervalos de incidência solar direta.

O problema da inexistência de limitação de altura pode ser verificado sob a análise de iluminação natural com céu claro no inverno, quando da análise de um apartamento com orientação de zero grau em um hipotético eixo leste-oeste. Enquanto os cânions de $H/W = 0,33$ e $0,66$ obtiveram valores mínimos de iluminação natural superiores a 983 Lux no inverno, ao 12:00, para os cânions com relação $H/W = 1$ e $H/W = 2$, indubitavelmente, o acionamento de iluminação artificial se tornará imprescindível e constante, especialmente para áreas mais afastadas da janela, sendo o caso mais grave a condição de $H/W = 2$.

Um outro aspecto a ser considerado, embora não tenha sido analisado neste estudo, está relacionado à carga solar nos pavimentos inferiores, sombreados no período do inverno. Neste sentido, considerando o clima de Curitiba, com situações de desconforto térmico por frio no período de inverno, uma legislação

que propicie melhores condições de iluminação também poderá contribuir para a redução de desconforto térmico em situações de cânions urbanos.

Por fim, as leis de uso do solo locais carecem de um maior conhecimento do percurso solar em função da latitude local, o que seria extremamente útil para delimitar limites de altura para construções e garantir o acesso à insolação e, por conseguinte, ajudar a diminuir a tendência da demanda elétrica por eletricidade em função de trechos com cânions urbanos.

REFERÊNCIAS

ASSIS, E. S.; VALADARES, V. M. & SOUZA, R. V. G. (1995) Bases para a determinação dos recuos e volumetria dos edifícios considerando a insolação e iluminação natural, na revisão da lei de uso e ocupação do solo de Belo Horizonte, MG. In: **ENCAC 1995**. p. 511-516.

ASSIS, E. S. (2002). Critérios de acessibilidade ao Sol e à luz natural para conservação de energia em escala urbana. In: **ENTAC 2002** – IV encontro nacional de tecnologia no ambiente construído, Foz do Iguaçu. P. 991-1000.

COMEC (2004). **Situação geográfica**. Disponível em <http://www.pr.gov.br/comec/ormc.html> Acessado em 20 de dez. de 2004.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R. & FIRMINO S. (1998) **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC.

FROTA, A. & SCHIFFER, S. R. (2003) **Manual de Conforto Térmico**. 6 ed. São Paulo, Studio Nobel.

KNOWLES, R (2003). The Solar Envelope: its meanings for energy and buildings. **Energy and Buildings**, 35: 15-25.

PEARLMUTTER, D.; BERLINER, P. & SHAVIV E. (2003) Canyon geometry with an open-air scale model. In: **PLEA 2003** - The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Santiago – Chile.

RABINOVITCH, J. & LEITMAN, J (1996). Urban Planning in Curitiba. **Scientific American**. Nova York, v. 274, n.3, pp 26-33.

RORIZ, M. (1995) **Luz do Sol** – Calor e iluminação natural nas edificações. In: Encontro Nacional de Modelos de Simulação de Ambientes, São Paulo.

SOUZA, N. R. (2001) Planejamento Urbano Em Curitiba: Saber Técnico, Classificação dos Cidadinos e Partilha da Cidade. **Revista de sociologia e política** nº 16: 107-122.

VIANNA, N. S. & GONÇALVES, J. C. S (2001). **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo, Virtus.