

# **181 - Conforto Luminoso no Edifício da FAUUSP, Cidade Universitária, São Paulo: Uma Avaliação de Desempenho por Meio de Medições e Simulações Computacionais**

## ***Lighting Comfort in the FAUUSP Building, University City, Sao Paulo: a Performance Evaluation by Means of Measurements and Computer Analysis***

**PINHO, Johnny Klemke C. (1), GONÇALVES, Joana Carla (1), MOURA, Norberto (1) e LUZ, Bruna (1)**

(1)Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Departamento de Tecnologia da Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, CEP: 05508-060, São Paulo-SP, Brasil.

johnnyklemke@yahoo.com.br; jocarch@usp.br, norbertomoura@terra.com.br

### **Resumo**

Esse artigo sintetiza os principais aspectos de uma pesquisa de iniciação científica, realizada no Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, do Departamento de Tecnologia da Arquitetura da FAUUSP, no período de agosto de 2006 a setembro de 2007, sendo o terceiro de uma série de três trabalhos, em que foram caracterizadas as condições de conforto térmico, conforto acústico e conforto luminoso do edifício. É apresentada uma avaliação criteriosa de desempenho luminoso do edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, FAUUSP, na Cidade Universitária, São Paulo. Dois ambientes foram o foco dessa avaliação, o Estúdio 2 e o Salão Caramelo, ambos com iluminação zenital translúcida. Os estúdios são o principal espaço das atividades práticas de projeto, enquanto o Salão Caramelo (um átrio de quinze metros de altura), representa um espaço referencial da arquitetura do projeto. Foram realizadas medições *in loco* e simulações computacionais, cujos resultados constituíram a base de dados para uma análise comparativa, ampliando as conclusões da avaliação de desempenho. Tanto as medições como as simulações mostraram uma distribuição uniforme da iluminação natural nos dois espaços. No Estúdio os valores mais baixos das medições ficaram ao redor dos 2000 lux. No Salão Caramelo são cumpridas as exigências da norma brasileira em 80% do ano.

**Palavras chave:** desempenho luminoso, arquitetura, medições, simulações computacionais

### **Abstract**

*The content of this paper is based on the work developed in an undergraduate research project from the Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, of the Departamento de Tecnologia da Arquitetura of FAUUSP. This specific research was the third of a series of three in which the thermal, acoustics and daylighting conditions of the building were characterised. The research paper brings a critical analysis of the daylighting performance of the building of the Faculdade de Arquitetura e Urbanismo of the Universidade of São Paulo, FAUUSP, in Cidade Universitária, São Paulo. Two different environments were the focus of this assessment, Estúdio 2 and Salão Caramelo. The studios are the place for the design exercises and activities alike, whilst Salão Caramelo (a fifteen-meter-high atrium covered with translucent domus) is a referential space for the architectural concept. Such assessment was carried out by means of measurements in loco and advanced computer simulations, from which the results were used for a*

*comparative analysis between the methods. The results from the measurements and the simulations revealed a fair uniformity of the daylight in both spaces. In the Studio, the minimum values were around 2000 lux, whilst in Salão Caramelo, no artificial light is needed for 80% of the year. Keywords: daylighting performance, building design, measurements, computational simulations*

**Keywords:** Daylighting Performance; Building Design; Measurements; Computer Simulations

## **Introdução: o Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP e a Luz Natural**

Localizado na Cidade Universitária de São Paulo, o edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, FAUUSP, é um dos ícones da chamada Escola Paulista de Arquitetura, corrente do movimento moderno brasileiro e do qual o arquiteto Vila Nova Artigas, autor do projeto, foi uma importante referência (figura 1). O edifício apresenta-se na paisagem como uma caixa de concreto 66 m de comprimento e 110 m de largura, com uma área de 18600m<sup>2</sup>. As atividades complementares para as quais o edifício se destina são realizadas ao redor de um grande átrio central de 15 metros de altura, 66 m de largura e 110 m de comprimento no centro do edifício, conhecido como Salão Caramelo, com níveis intercalados que se comunicam por meio de rampas e escadas (figura 2). O edifício apresenta uma clara divisão vertical das funções que definem a sua espacialidade. Na parte inferior, de maior acesso do público visitante, o restaurante, o museu, a biblioteca e o auditório. Já a parte superior onde estão localizados os departamentos, os estúdios e as salas de aula, é reservada às atividades dos alunos e professores (figura 3).

No edifício de base retangular e orientação NE-SO, as salas de aula e os estúdios estão localizados nos dois últimos níveis, estando as salas de aula (último nível) dispostas ao longo da fachada nordeste e os estúdios (um nível abaixo) ao longo da extensão sudoeste, com prolongamentos para as orientações noroeste e sudeste, configurando uma forma em U (figura 4). No entanto, nos estúdios e nas salas de aula, a iluminação natural é obtida exclusivamente por meio das aberturas zenitais, que efetivamente cobrem todo o espaço interno do edifício. Todos os ambientes internos são beneficiados pela entrada de luz natural no átrio, que distribui essa luz para os ambientes ao seu redor, incluindo a biblioteca (com iluminação lateral na fachada externa e não tem elementos zenitais), largos espaços de circulação, bar, áreas de exposição e mesmo os estúdios.

Na concepção arquitetônica, a ausência de janelas nos ambientes superiores foi uma resposta à busca pela concentração e pelo isolamento do mundo exterior, com um impacto significativo na expressão formal e nas condições ambientais internas. Já nos primeiros níveis, onde estão o bar e o espaço do museu (área livre para exposições temporárias) voltados a nordeste, a biblioteca voltada a sudoeste, e grande parte do serviço administrativo voltado a sudeste, o edifício abre-se para o exterior com amplos painéis envidraçados laterais, voltados para a vegetação do campus universitário. A caixa retangular formada pelas empenas de concreto dos níveis superiores se projetam a uma distância de 2 metros além do perímetro dos níveis inferiores, formando uma espécie de grande brise horizontal ao redor de toda a base do edifício.

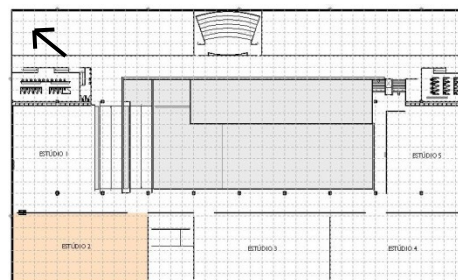
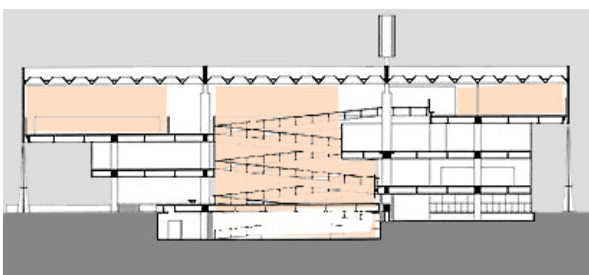
O projeto tem um conceito estrutural claro, racional e determinante da forma, com soluções que por vezes confrontam as diversas áreas do conforto ambiental, a citar: conforto luminoso x conforto térmico;

ventilação x acústica. Nesse sentido, a cobertura de domus é uma solução de síntese entre estrutura, iluminação natural e ventilação natural, cuja a entrada de luz natural pelos fechamentos translúcidos implica em uma grande exposição a radiação solar direta, enquanto as aberturas dos domus para a ventilação por efeito chaminé provaram não ser suficientes para retirada do calor, nos dias de verão [2]. Entretanto, com foco nos aspectos do desempenho ambiental, tendo em vista as condições de clima tropical de altitude da região de São Paulo (latitude 24°S), a extensa área translúcida horizontal da cobertura de domus, que recai sobre todo o interior do edifício sem qualquer recurso de sombreamento, inevitavelmente traz riscos de um aquecimento indesejado e ainda ofuscamento por excesso de luminosidade. Paralelamente, a falta de aberturas laterais nos ambientes de estudo levanta uma série de questões sobre o conforto térmico (pelos efeitos da ventilação e a satisfação (impacto psicológico) dos usuários, em função da falta de comunicação com o exterior [3].

Nesse contexto, o objetivo da pesquisa foi avaliar o desempenho luminoso do edifício da FAUUSP, por meio de medições e simulações computacionais, tomando como referência dois ambientes representativos do edifício: um estúdio de atividades práticas de projeto e o Salão Caramelo, um espaço primordialmente de circulação, eventos e permanências de curta duração. As salas de aula não foram cogitadas para esses estudos pelo fato de receberem iluminação natural insignificante, uma vez que os domus se tornaram opacos por efeito de uma pintura aplicada nos últimos anos, visando a possibilidade de projeções em sala de aula e a redução da carga térmica, nesses ambientes de 4 metros de pé-direito, aberturas zenitais e sem aberturas laterais.



Figuras 1 e 2: Vista externa do edifício da FAUUSP e o atrio central: Salao Caramelo.



Figuras 3 e 4: Corte transversal do edifício com a indicação dos espaços do Estúdio, do Salão Caramelo e da Sala de aula e planta dos níveis superiores: sala de aula e estúdios.

## Avaliação de desempenho por meio de medições *in Loco*

### Procedimentos gerais

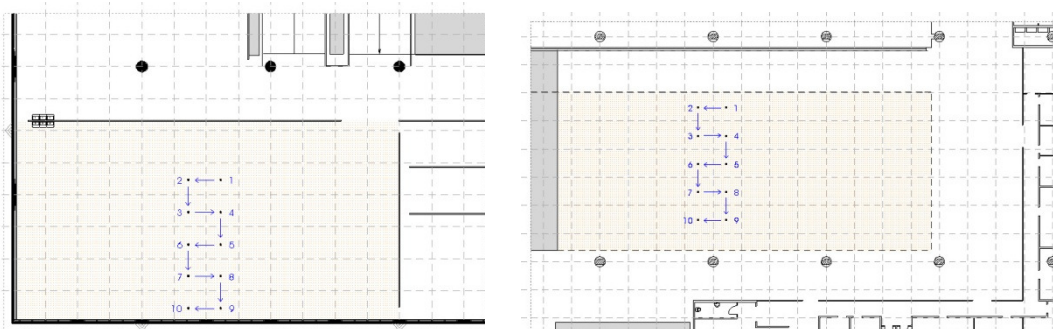
Características dos ambientes: Estúdio 2: nível 8,5m, 32m de comprimento, 17m de largura, 5m de altura e 72 domos (originais, de 2,75m x 2,75m) (figura 5). Salão Caramelo: 36m de comprimento, 19m de largura e 84 domos (figura 6). Importante observar a condição de conservação dos domos para verificar dos efeitos dos mesmos nos resultados medidos.



Figuras 5 e 6: Estúdio 2 e Salão Caramelo.

Os procedimentos gerais seguiram as recomendações da norma brasileira NBR 15215 [4]. Níveis de iluminância foram registrados na altura do plano de trabalho (80cm). No caso das medições feitas sob céu encoberto, iluminâncias externas foram medidas concomitantemente com as medições internas, para fins de cálculo do FLD (Fator de Luz Diurna) [5] que, por sua vez, foram relacionados com a frequência de ocorrência de iluminâncias no plano horizontal desobstruído do céu de São Paulo [6].

Segundo os procedimentos de medição de iluminação natural da norma brasileira NBR15215-4 [4], o ambiente deve ser dividido em áreas iguais, com formato próximo ou igual a um quadrado. No entanto, devido às restrições da pesquisa, envolvendo quantidade de equipamentos, tamanho do ambiente, e consequente dificuldade de leitura dos luxímetros simultaneamente (ou em um intervalo curto de tempo), as medições das iluminâncias internas foram feitas em em duas filas paralelas de 10 pontos por ambiente, cada um embaixo de um domus, distantes uns dos outros aproximadamente 2,80m (figuras 7 e 8).



Figuras 7 e 8: Localização dos pontos medidos no estúdio 2 e no Salão Caramelo, respectivamente.

As iluminâncias externas foram medidas na área entre o Edifício Anexo e o Canteiro Experimental, que fazem parte do complexo de edifícios da FAUUSP, onde o entorno é suficientemente desobstruído. Os equipamentos de medição foram: fotocélulas conectadas a um *data logger* e a um computador portátil e fotocélulas niveladas; luxímetros (dados internos); e um anel de obstrução.

Tendo em vista as variações do céu de São Paulo, as medições foram feitas na ocorrência de dois tipos de céu: encoberto ou claro (descartando-se o céu parcialmente encoberto devido à complexidade de interpretação dos dados). Assim, as medições no Estúdio 2 foram feitas sob a condição de céu claro, enquanto no Salão Caramelo, as medições foram feitas sob a condição encoberto. As medições ocorreram em meio período do dia, já que o sistema de captacao de luz natural tanto no Estúdio como no Salão Caramelo é exclusivamente zenital, sendo assim, pode-se admitir que as quantidades de luz incidente no período da manhã e da tarde são simétricos.

### Medição no Estúdio 2

As medições no Estúdio 2 ocorreram no dia 15 de agosto de 2008, sob condições de céu claro, no período das 11:30h as 15:00h. Revelou-se uma uniformidade (49%) na distribuição da luz, com uma diminuição das iluminâncias após as 13:00hs, em decorrência da mudança da posição do sol no céu claro (figura 9). O FLD não foi calculado neste caso, por não ser aplicável uma vez que as medidas internas consideraram a contribuição direta do Sol.

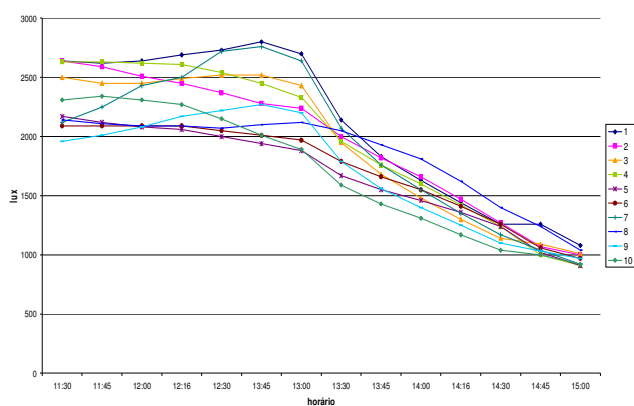


Figura 9: Iluminâncias (lux) medidas no estúdio e imagens do céu claro as 12h e as 14h do dia de medição.

### Medição no Salão Caramelo

As medições no Salão Caramelo ocorreram no dia 28 de agosto de 2008, sob condições de céu encoberto, no período das 13:00h até as 16:00hs (figura 10). Sob a condição de céu encoberto ao longo de todo o período de medição, os dados medidos resultaram em valores de FLD dentro da faixa de 0,6 a 1,8 % e uma taxa de uniformidade de 30% (figura 11).

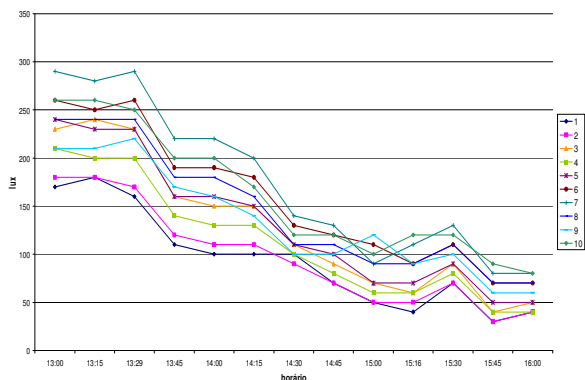


Figura 10: Iluminâncias (lux) medidas no Salão Caramelo e imagem do céu encoberto do dia de medição.

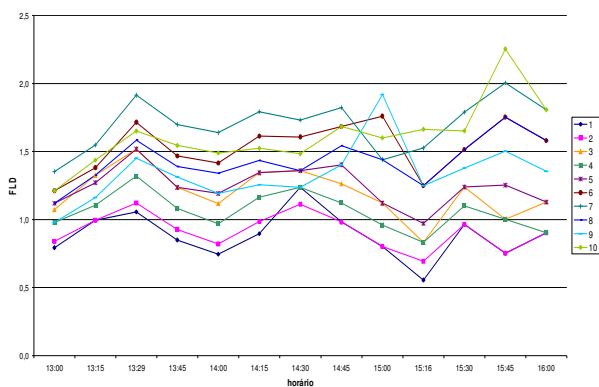


Figura 11: Valores de FLD (%) para o Salão Caramelo.

### Análise dos resultados

De fato, as medições no Estúdio 2 constataram que o uso de iluminação artificial neste ambiente é desnecessário sob condições de céu claro e, possivelmente, também de céu encoberto, durante o período diurno de ocupação (os menores valores medidos ficaram ao redor da faixa de 2000 lux). Apesar da boa distribuição da luz no Estúdio 2 ser um indicador de qualidade do desempenho luminoso, deve-se ressaltar que os elevados níveis de iluminância, encontrados sob a condição de céu claro, podem oferecer riscos de ofuscamento por excessiva quantidade de luz. No processo de transmissão luminosa, os domos se transformam em fontes secundárias de luz, com elevada capacidade difusora e, assim, com brilho intenso da sua superfície e conseqüente ofuscamento. Porém, como todo o ambiente tem um nível de iluminação elevado, há uma compensação equilibrando o alto brilho dos domos, além disso, a grelha de concreto e o pé direito alto afastam esta superfície do campo visual central dos usuários, protegendo-os contra o ofuscamento (Nesse caso, se faz necessária uma análise criteriosa sobre ofuscamento para um diagnóstico preciso).

Já no Salão Caramelo, sob condições de céu encoberto, não foram encontrados níveis de iluminância altos como no Estúdio, possivelmente pela grande distância entre a cobertura e a altura do plano medido (80cm). No horário de maiores iluminâncias medidas (13:00hs), o menor valor registrado foi de 160 lux, enquanto o maior foi de 290 lux, próximo ao acesso do edifício). Entretanto, até as 15:00hs, aproximadamente, na grande maioria dos pontos, os valores de iluminância estão dentro do recomendado pela norma brasileira NBR-5314 [4] para locais de passagem, que aponta o valor médio de 100 lux. Com isso, o acendimento da iluminação artificial se faz necessário em praticamente todo o ambiente a partir das 16:00hs. A verificação dos valores de FLD em relação às freqüências de ocorrência de iluminâncias do céu de São Paulo mostraram que o Salão Caramelo cumpre com a exigência da norma brasileira em 80% das horas de luz natural do ano (tomando-se como referência os dados de disponibilidade de luz natural obtidos no software climaticus [6]). Complementando, o risco de ofuscamento identificado no ambiente do Estúdio não aparecem no Salão Caramelo, tendo em vista os valores de iluminância significativamente mais baixos e a distância dos usuários do plano da cobertura.

## Avaliação de Desempenho por Meio de Simulações Computacionais

### Procedimentos gerais

As simulações computacionais foram realizadas com o auxílio dos softwares *Ecotect* e *Radiance*, através da técnica de migração que aplica o algoritmo do *Radiance* dentro da plataforma *Ecotect*. Para uma análise



qualitativa, foram elaborados diagramas das curvas *isolux* para a grade de pontos do Estúdio 2 e do Salão Caramelo. A distribuição dos pontos nos modelos dos dois ambientes seguiu o mesmo arranjo feito para as medições. No Estúdio 2, a grade de pontos simulada foi de 72 pontos e a do Salão Caramelo, de 60 pontos (figuras 7 e 8).

### Simulação do Estúdio 2

As simulações computacionais para o Estúdio 2 partiram de uma malha de pontos composta por 12 colunas e 6 linhas, com o centro de cada quadrado da malha sob o centro geométrico de um domos. Assim como nas medições, as simulações contemplaram o dia 15 de agosto de 2007 do ano de referência, incluindo os mesmos horários das medições, e condição de céu claro. Encontrou-se uniformidade na distribuição da iluminação natural (46%), devido às características do sistema zenital e ao elevado pé-direito de 5 metros. Mesmo assim, os pontos próximos das paredes do Estúdio 2 mostraram valores mais baixos, por serem pontos “sombreados” pelos planos das paredes (figura 12). Dentro dos propósitos da pesquisa, não foram calculados os valores de FLD, já que a simulação considerou céu claro (para manter a equivalência do céu na realização das medições).

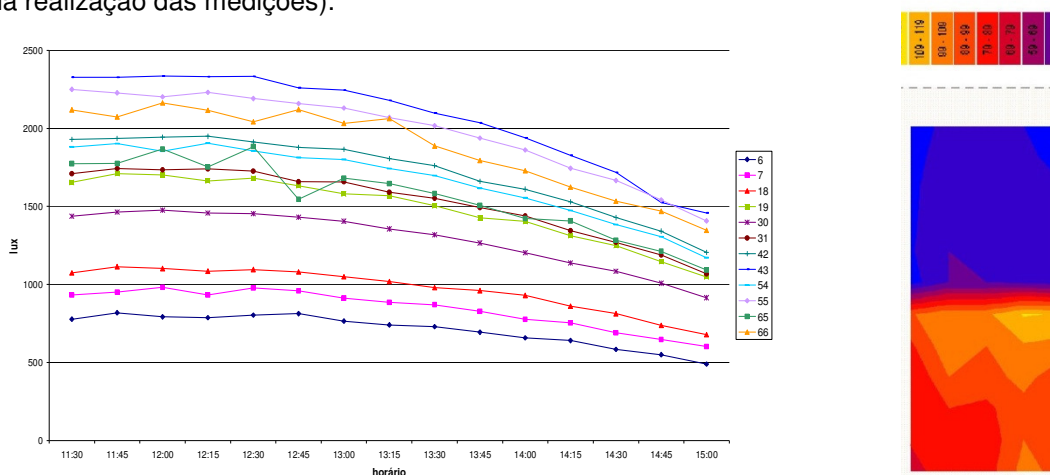


Figura 12: Simulações no Estúdio 2, gráfico de iluminâncias nos pontos internos e curvas *isolux* as 13hs.

### Simulações para o Salão Caramelo

As simulações computacionais para o Salão Caramelo partiram de uma malha de pontos composta de 12 colunas e 5 linhas, sob a malha dos domos. Assim como nas medições, as simulações contemplaram o dia 28 de agosto de 2007 do ano de referência, incluindo os mesmos horários das medições, e condição de céu encoberto. Nesse caso, foram calculados os valores de FLD, já que a simulação considerou uma condição de céu encoberto (para manter a equivalência do céu na realização das medições), sendo então inserido nas simulações um ponto externo desobstruído. Vale notar que as iluminâncias externas para o céu encoberto desobstruído se mostraram próximas do céu real visto nas medições. O FLD é constante ao longo do período simulado, variando entre 0,65% e 0,90%, resultando em uma taxa de uniformidade de 55% (figura 13). Tal uniformidade na distribuição da luz é resultado do efeito combinado do pé-direito de 15 metros (3 vezes o pé-direito do estudio) e da distribuição homogênea dos domus sobre o plano de estudo. Observou-se, ainda, que o ambiente apresenta duas grandes áreas bem delimitadas pela luz natural, constatando a influência das aberturas do Salão Caramelo para o noroeste e sudoeste.

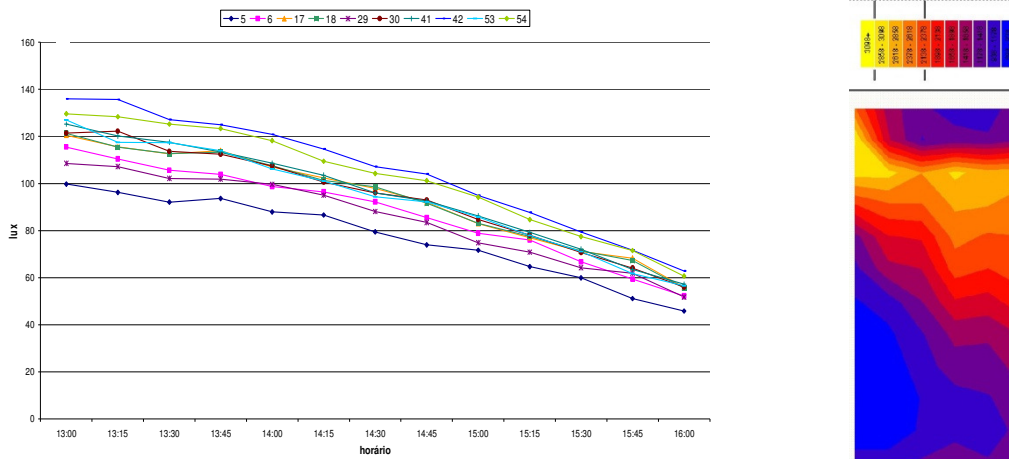


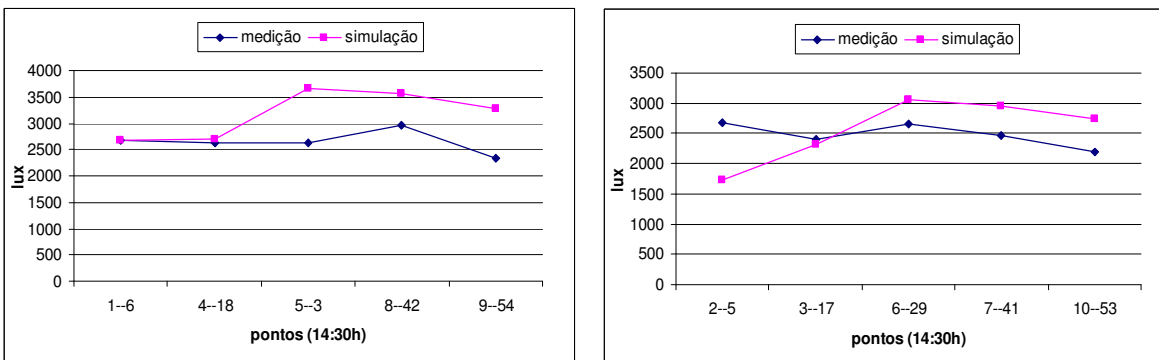
Figura 13: Simulações para o Salão Caramelo, gráfico de FLD e curvas *isolux* para as 14hs.

### Análise Comparativa entre as Avaliações

Os resultados das medições e das simulações nos ambientes selecionados foram confrontados em uma análise comparativa, a fim de se estabelecer semelhanças e diferenças entre eles. Para essa análise, os valores de iluminação medidos no interior dos ambientes foram ajustados de acordo com a norma brasileira [4], para a realização da análise comparativa entre os dois procedimentos - medição e simulação.

Tanto as medições como as simulações mostraram uma distribuição uniforme da iluminação natural na altura do plano de trabalho (figuras 14 e 15). Este resultado se deve ao pé-direito de 5 metros e aos efeitos e as características dos sistemas zenitais de captação de luz natural. Como sabido, a distribuição por igual dos domus ao longo do plano da cobertura também tem um papel determinante na uniformidade da iluminação.

Os elevados níveis encontrados nas medições e nas simulações apontam para a possibilidade da não necessidade da iluminação artificial mesmo sobre condição de céu encoberto. Nesse contexto, o menor valor medido no periodo é superior a 2000 lux e o menor valor resultante das simulações é ainda superior a 1500 lux. Deve-se atentar para o fato que a avaliação contemplou atividades de atelier (como desenhos e execução de maquetes), e não o uso do computador, que tem sido uma prática cada vez mais frequente nos ambientes de Estúdio do edificio nos últimos anos e cujas exigências de ambiente luminoso são de valores significativamente mais baixos do que os encontrados.

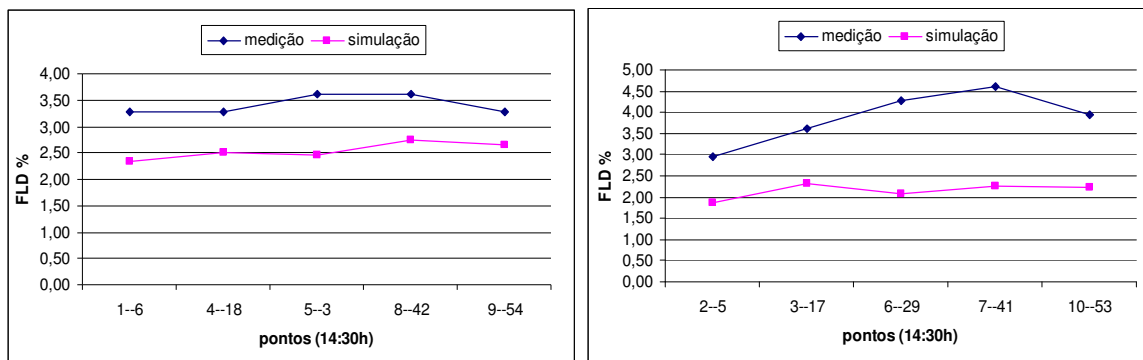


Figuras 14 e 15: Gráficos comparativos entre resultados de medições e simulações para o Estúdio 2.

A análise comparativa para o Salão Caramelo também mostrou padrões de curvas semelhantes, porém com valores distintos, variando de 1% a 2% para um mesmo ponto (figuras 16 e 17). É possível dizer que



existem fatores de influência no desempenho luminoso do Salão Caramelo que não são bem representados pela simulação computacional, como por exemplo a entrada de luz lateral pelas aberturas sudoeste e noroeste, onde está localizado o acesso principal do edifício. Da mesma forma, a iluminação artificial proveniente da biblioteca (que permanece ligada por praticamente todo o dia) e mesmo de outros ambientes do edifício voltados para o grande salão, podem exercer impacto sobre as condições de iluminação do mesmo, sem terem sido consideradas nas simulações.



Figuras 16 e 17: Gráficos comparativos: resultados medições e simulações para o Salão Caramelo.

## Considerações Finais

Tanto para o Estúdio 2, como para o Salão Caramelo, os resultados confirmam que os ambientes não precisa da iluminação artificial para grande parte do período de ocupação. A respeito dos elevados níveis de iluminação no Estúdio, foi mencionado na análise dos resultados o risco da ocorrência de ofuscamento no plano de trabalho. Entretanto, deve ser dito que o principal problema nos estúdios para o conforto ambiental, ligado à transparência dos domus, não está nas características da iluminação, mas sim na carga térmica incidente, combinada à ventilação natural insuficiente para os dias de verão. Certamente, em um espaço para tal finalidade o controle da iluminação ao longo do dia e ao longo do ano é fundamental para o desempenho satisfatório da iluminação natural. A pintura dos domus das salas de aula explicita os problemas ambientais e a dificuldade do uso do espaço pela falta desse controle, que também se aplica ao Estúdio, cuja gravidade da questão térmica e dos riscos de ofuscamento é amenizada pelo pé-direito do espaço.

O Salão Caramelo, que significa mais do que um espaço de passagem, e sim um espaço multi-uso, se beneficia da comunicação visual em todas as direções do ambiente interno, fazendo do mesmo também um espaço de distribuição da luz natural. Entretanto, com base nos valores medidos, atividades além da circulação que exijam a iluminação natural necessitam de uma complementação de luz artificial.

As divergências encontradas entre os resultados das medições e das simulações já eram esperadas, devido às simplificações dos fenômenos luminosos. Apesar disso, a metodologia utilizada para as simulações apresentou resultados coerentes com as medições, justificando a sua aplicação.

## Agradecimentos

Agradecimentos à FAPESP, pelo apoio concedido a pesquisa de iniciação científica que deu origem a esse artigo. Agradecimentos também a arquiteta Bruna Luz e ao Professor Dr. da FAUUSP Norberto Moura, pelo apoio técnico e didático.

## Referências

- [1] ARTIGAS, João Batista. *Vilanova. Caderno de riscos originais*. São Paulo, FAUUSP, 1998.
- [2] RUSSO, Filomena. *Climatic Responsive Design in Brazilian Modern Architecture*. MPhil Dissertation, Cambridge, Martin Centre for Architectural e Urban Studies, Cambridge University, 2004.
- [3] CAVALCANTE, Rodrigo de Castro Dantas. *Avaliação do conforto térmico no edifício da FAUUSP na Cidade Universitária: ênfase na Simulação Computacional*. Bolsa PIBIC, Cnpq, 2004/2005.
- [4] \_\_\_\_\_. NBR 15215: Iluminação Natural
- [5] ROBBINS, C. L. *Daylighting: Design and Analysis*. New York: V. N. Reinhold, 1986.
- [6] ALUCCI, Marcia Peinado. *Software Climaticus*. FAUUSP: 2003.