

HARMONIZANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO: DOIS ESTUDOS DE CASO

Aloísio Leoni Schmid (1); Cécile Bonnet (2) Elisabeth Endres (3) George Stanescu (4) Gerhard Hausladen (5) Marina Millani Oba (6); Silvio Parucker (7) Timm Rössel (8) , Tobias Wagner (9)

(1) Eng. Mecânico, Doutor Professor associado, PPGCECC, aloisio.schmid@gmail.com, UFPR-DAU, C.P. 19011, 81531-980 Curitiba, PR, tel. (41) 3361 3084

(2) Dipl.-Ing., Universidade Técnica de Munique, Alemanha

(3) Dipl.-Ing., Universidade Técnica de Munique, Alemanha

(4) Eng. Mecânico, Doutor, Professor associado, PPGCECC, stanescu@ufpr.br, tel. (41) 3361 3406

(5) Prof. Dr.-Ing., Dr. H.c., Universidade Técnica de Munique, Alemanha

(6) Arquiteta, Mestre em Engenharia da Construção Civil pela UFPR, Professora no curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Positivo; marina.oba@gmail.com; Rua Visconde do Rio Branco, 1630, cj. 2206 – Curitiba; (41) 9184 0222 .

(7) Arquiteto, Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPR, paruckersilvio@gmail.com

(8) Engenheiro mecânico, Drees & Sommer Advanced Building Technologies am Standort Köln / Düsseldorf, Alemanha, tim.roessel@dreso.com

(9) Arquiteto, Membro do Conselho Acadêmico, Cátedra “Tecnologia de edifícios e construção coerente com o clima”, Universidade Técnica de Munique, Alemanha, tobias.wagner@lrz.tu-muenchen.de

RESUMO

A harmonização de eficiência energética e preservação do patrimônio arquitetônico é um desafio que, no Brasil, com sua arquitetura pública predominantemente erigida nos anos 60 e 70, sob forte influência do Movimento Moderno, adquire contornos bem específicos. Este artigo, resultado do projeto “Eficiência energética no edifício público brasileiro”, no âmbito do programa CAPES-DAAD “Novas Parcerias”, resulta de uma cooperação Brasil-Alemanha. Foram abordados dois edifícios em estudos de caso: Centro Politécnico, em Curitiba – PR, e Bloco “C” da Esplanada dos Ministérios, em Brasília. De acordo com o caso, foram elencadas prioridades para a abordagem. No Centro Politécnico, foram tratadas as questões térmica e lumínica. No Bloco C, procedeu-se a um estudo do desempenho térmico associado a ventilação e iluminação elétrica. Conclui-se que, a despeito das restrições dadas pela preservação do patrimônio, existe, sim, possibilidade de eficiência, em parte se forem recuperadas características originais dos projetos quanto a tecnologia e uso; e complementarmente, se forem adicionadas novas tecnologias referentes a iluminação e climatização dos ambientes.

Palavras-chave: eficiência energética, patrimônio arquitetônico, movimento Moderno

ABSTRACT

The harmonization of energy efficiency and the preservation of the Architectural heritage is a challenge that, in Brazil, takes on characteristic features, as the country has a public architecture built mainly in the 1960s and 1970s, and under a strong influence of the Modern Movement. This article is a result from the project “Energy efficiency in public buildings in Brazil” within the CAPES-DAAD “New Partnerships” program, result of a Brazil-Germany cooperation. Two buildings were adopted as case studies: the Polytechnic Center in Curitiba, State of Paraná, and the “Bloco C” of the Ministries Lane, in Brasília, Federal District. For each case, priority approaches were set. At the Polytechnic, both the thermal and daylighting aspects were treated. At the “Bloco C”, the thermal performance, as associated with the ventilation and electric lighting issues was treated. As a conclusion, despite restrictions set by the need to preserve the heritage, there is a real possibility of making the buildings efficient, and part of it would result from an effort to recover the original design, both considering materials and use of the buildings. Other efficiency gains are expected from new technology applied to the thermal conditioning and lighting of the spaces.

Keywords: energy efficiency; architectural heritage; Modern movement

1. INTRODUÇÃO

Ao se procurar reduzir o consumo energético em edifícios existentes, com medidas diversas, dentre as quais se destaca o aumento da resistência térmica do envelope, surgem limites dados pela necessidade de sua preservação enquanto patrimônio. O impasse é conhecido em países onde se passou de intervenções pontuais para políticas públicas. Nas regiões mais frias da Europa, a tecnologia permite estender o ciclo de vida de edifícios velhos, e oferecer condições de habitabilidade mais próximas dos padrões contemporâneos, através de medidas mais ou menos agressivas (GRAF e MARINO, 2011). Há casos em que as melhorias incluem a substituição de elementos originais de fenestração, acabamento, isolamento térmico, sistemas de climatização. Questões de iluminação e ventilação também afetam instalações e a própria aparência dos edifícios.

No Brasil, o desafio de eficiência com preservação surgiu mais recentemente e assumiu, na maior parte dos casos, características peculiares:

- responde mais comumente ao clima tropical, por abranger maior parte das áreas urbanizadas do país (principalmente região sudeste e centro-oeste);
- está relacionado a edifícios públicos, pelo Estado ser responsável por mais de 40% do total das construções executadas (IBGE, 2010) e pelos recentes incentivos oferecidos em troca da eficiência (BRASIL, 2011);
- e está relacionado a edifícios Modernos; por compor a grande parte do estoque construído no país.

Este trabalho de pesquisa surgiu da cooperação entre a UFPR, a UFRJ e a TUM (Universidade Técnica de Munique, Alemanha) no âmbito do programa CAPES-DAAD “Novas Parcerias”, nos anos de 2012 e 2013. Para levá-lo a cabo, foram combinadas equipes de trabalho de Arquitetura e de Engenharia Mecânica dos dois países. Aproveitou-se a existência, do lado brasileiro, do estoque de edifícios públicos de reconhecida qualidade arquitetônica e, ao mesmo tempo, alto potencial de eficiência; e do lado alemão, de considerável experiência na eficiência de edifícios, tendo em vista o progressivo recrudescimento da legislação de eficiência energética desde 1970.

No Brasil, o movimento Moderno aparece com algumas adaptações - o desafio mais frequente foi o controle da incidência direta de luz e radiação solar. Na maior parte das grandes cidades (São Paulo, Rio de Janeiro, Recife e Salvador) o clima quente e úmido ainda aponta a ventilação cruzada como estratégia básica de resfriamento. Já em Brasília, com o clima tropical mais seco, a ventilação não é tão recomendada, mas a umidificação e a inércia térmica. Por fim, em Curitiba, com clima temperado, combinam-se características de clima quente durante o verão e de clima frio durante o inverno, às quais um mesmo edifício deve responder adequadamente. Por isso, a sobreposição ou redundância de sistemas é frequente.

As décadas de 1960 e 1970 combinaram enorme crescimento das cidades brasileiras com uma política econômica fortemente desenvolvimentista, o Estado como seu grande agente promotor. Passados 50 anos, verifica-se as marcas do tempo; falhas de manutenção; acúmulo de alterações diante do crescimento ou mudança de demandas; e, não menos importante, uma conjuntura bastante distinta no que diz respeito ao custo da energia, à preocupação com a sustentabilidade ambiental, e às finanças públicas.

Considerando essa situação, este trabalho apresenta dois estudos de caso. Um deles realizado no Bloco C (Ministério do Planejamento), representando o enorme conjunto dos 17 blocos-padrão originais da Esplanada dos Ministérios, em Brasília, datando de 1960. Outro, um bloco didático do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba: inaugurado em 1961, e ainda em uso sem grandes alterações.

Como pergunta tem-se: como implementar a melhoria da performance térmica e de iluminação natural de um edifício Moderno existente a) no clima tropical, seco, e b) no clima temperado, tendo em mente as respectivas bases conceituais? Para isso, como esse edifício responde ao clima e que estratégias são adequadas para sua eficiência?

2. OBJETIVO

A pesquisa desenvolvida teve como um dos objetivos explorar o desempenho térmico e lumínico de edifícios públicos no Brasil a fim de subsidiar medidas de eficiência considerando a importância de restrição de se tratar de dois casos de preservação do patrimônio do Movimento Moderno no Brasil.

3. MATERIAIS E MÉTODO

O problema em pauta, da eficiência energética de edifícios de interesse do patrimônio arquitetônico, adquire no Brasil uma feição própria: trata-se de edifícios predominantemente em clima tropical, mas também com casos em clima temperado; e são edifícios públicos do Movimento Moderno, que refletem materiais e técnicas, assim como toda uma ideologia de projeto característicos.

Na falta de um corpo de conhecimento que constitua uma teoria a respeito, é necessária uma abordagem exploratória, para que se conheça melhor o problema em seu contexto presente, com suas variáveis e parâmetros, atores envolvidos, contornos de variada natureza, e se encontre diretrizes para a solução. A estratégia de pesquisa mais usada em tais situações é o estudo de caso, que promove um aprofundamento em uma ou mais realidades com a observação de múltiplas fontes de evidência.

Foram eleitos como estudos de caso dois edifícios públicos brasileiros em diferentes zonas térmicas:

- A. Bloco didático do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Politécnico da UFPR;
- B. Bloco “C” da Esplanada dos Ministérios em Brasília.

Ambos os estudos de caso seguiram as mesmas etapas de trabalho: levantamento dos conceitos originais de projeto; avaliação do desempenho atual da edificação; e sugestão de medidas de eficiência térmica e lumínica. O problema em pauta é o da harmonização entre desempenho e patrimônio, não o desempenho individual. A comparação entre os casos de um estudo de casos múltiplo não é aconselhável devido à postura prioritariamente qualitativa e à limitada validade externa da estratégia de pesquisa. Assim, também por se tratar de edifícios diferentes, com diferentes demandas, a análise de cada um foi conduzida de modo independente, diferentes aspectos de desempenho e técnicas de análise foram eleitas para cada caso.

4. ESTUDO DE CASO A : BLOCO DIDÁTICO DO CENTRO POLITÉCNICO

Devido a sua altitude de 908 metros acima do nível do mar, Curitiba é a mais fria de todas as capitais brasileiras, com média de temperatura mínima mensal no inverno de 7°C. No verão, as temperaturas médias permanecem próximas a 20°C. As médias não representam muito as dinâmicas térmicas já que há grande amplitude térmica durante todo o ano, característica típica do clima subtropical. Em relação à radiação solar, o potencial da energia solar é bastante elevado, cerca de 45% maior que na Europa Central.

Nesse contexto está inserido o edifício batizado de Flávio Suplicy de Lacerda. Projeto de Rubens Meister, no campus Centro Politécnico da UFPR, é composto por um conjunto de blocos de dois pavimentos, separados por pátios abertos e conectados por passarelas envidraçadas, conforme mostra Figura 1. Durante os trabalhos do NoPa, foi analisado o desempenho térmico e lumínico de um dos blocos didáticos desse edifício (bloco 2). Resultados desse trabalho, com maior profundidade, aparecem em Oba e Schmid (2015).



Figura 1 Foto aérea mostrando a organização do complexo. Nos números 1 e 2, os blocos de Arquitetura e Urbanismo.

4.1 Análise do desempenho térmico

A implantação do conjunto é acertada, voltando as atividades para a face nordeste e as áreas de circulação para a face sudoeste. Mesmo assim, nos dias de inverno nublados, verifica-se temperaturas internas ficam apenas alguns graus mais elevadas que a externa. Verifica-se a combinação de temperatura do ar interno abaixo de 12°C, temperatura média radiante igual ou próxima, velocidade na ventilação inferior a 0,1m/s e umidade do ar ao redor de 50%; e uma atividade sedentária (taxa metabólica de 60 kcal/h m²). Mesmo com padrão de isolamento térmico da roupa de 1,5 clo, a sensação PMV seria de -1,09, ou seja, sensação de frio, de acordo com Fanger (1982) ou ISO 7730 (2005). As grandes áreas em vidro com pouca

manutenção favorecem a perda de calor desses ambientes e a alta taxa de infiltração de ar externo, o que reforça a necessidade de sistemas de aquecimento. Também no verão esses espaços oferecem problemas de desempenho já que os sistemas passivos de ventilação encontram-se desativados por falta de manutenção. A falta de manutenção também dos *brises-soleil* externos (ausentes em alguns módulos) e da cobertura (escurecida pela sujeira) compromete ainda mais o desempenho térmico do ambiente.

Para verificar a viabilidade da instalação de um sistema de aquecimento, simulou-se o desempenho de parte do bloco didático de Arquitetura, limitada em uma extremidade pela parede externa existente ao fim de todos os blocos; e na outra por uma parede adiabática. Esses ambientes, destacados na Figura 2, foram modelados no Sistema Mestre de Simulação de Desempenho (SCHMID e GRAF, 2011). Trata-se de um software que aplica a lógica de massas concentradas (elementos sólidos ou zonas térmicas) para resolver o balanço térmico de diferentes zonas, que são associadas em um sistema de dezenas de equações lineares. Técnicas de *raytracing* auxiliam no cômputo de ganhos solares. A análise acontece ao longo do tempo, ou seja, em regime transitório, a partir de um arquivo de dados climáticos a respeito de temperaturas do ar, do solo e valores de radiação solar global, associados com o modelo geométrico do edifício e parâmetros de operação (taxas de geração interna de calor e taxas de ventilação).

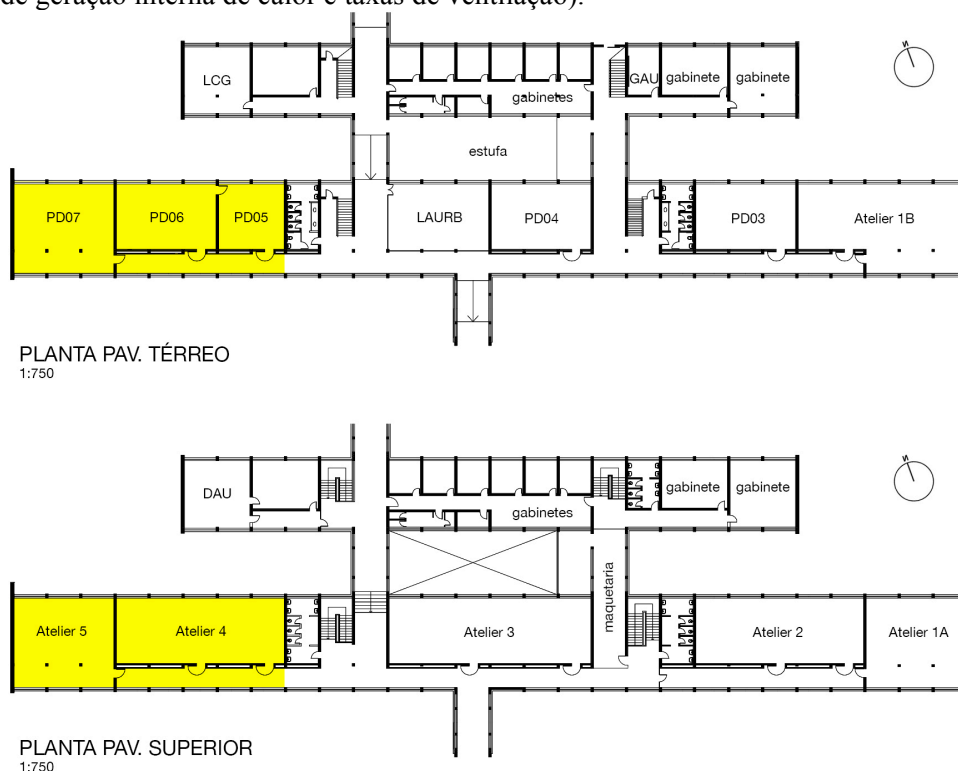


Figura 2 - Plantas do conjunto de blocos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPR. Fonte: Autores (2014)

A análise realizada concluiu que nas condições atuais o edifício não oferece condições de trabalho que atendam aos padrões de conforto térmico, conforme análise pelo PMV mencionada. Assim, foram estimados os valores de consumo relativos a sistemas de climatização: sistema de aquecimento simples; sistema combinado com vidros duplos, e sistema combinado com vidros duplos e recuperação de calor. Por meio dessas simulações, conclui-se que a instalação do aquecimento é pouco eficiente se comparada às alternativas combinadas; tanto em relação ao desempenho térmico porque a origem do desconforto está não apenas na geração de calor, mas também na perda pelos vidros e pela ventilação; quanto ao energético, já que se reduz consideravelmente o consumo de energia, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1- Consumos diários em quilowatts-hora (kWh) para climatização.

	PD05	PD06	PD07	atelier 4	atelier 5	total
climatização apenas	41,51	46,70	75,40	67,62	68,19	299,43
climatização + vidro duplo	38,78	42,90	64,74	51,2	49,45	247,12
climatização + vidro duplo +	19,43	23,89	46,51	29,8	28,20	147,79

Fonte: Autores (2014).

4.2 Análise do aproveitamento da luz natural

Para se analisar o desempenho lumínico relacionado à luz natural, foi escolhida a sala térrea PD07, destacada na Figura 3, a mesma cujos dados de desempenho térmico foram comparados anteriormente. No bloco estudado, trata-se do espaço que sofreu maiores modificações em relação a acabamentos. Utilizou-se do módulo de análise de luz natural do Sistema Mestre (SCHMID, 2004), que combina técnicas de raytracing e radiossidade para encontrar os níveis de iluminância em planos determinados.

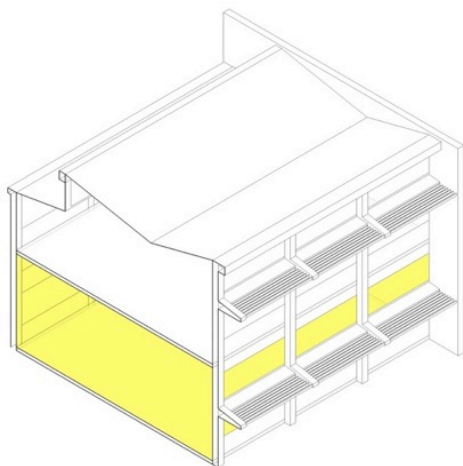


Figura 3 - Isométrica da fachada noroeste. Em amarelo, a sala de aula PD07, objeto de estudo. Fonte: Autores, 2014.

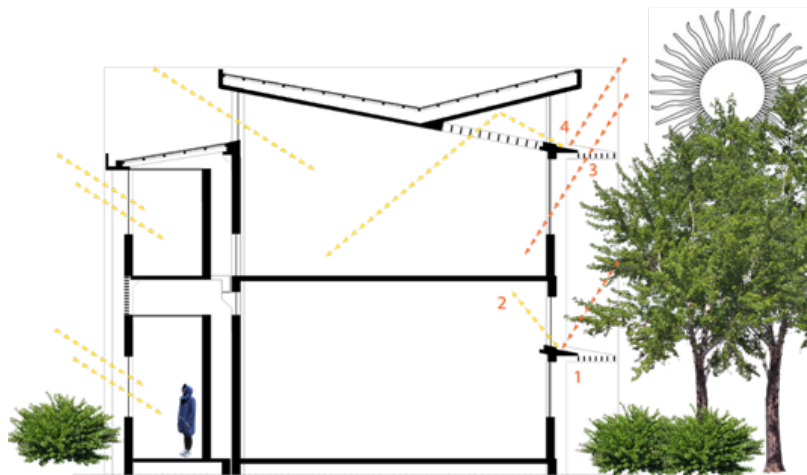


Figura 4 - Corte esquemático mostrando como a iluminação natural da sala funciona após 50 anos da sua construção. Fonte: Autores, 2014

A primeira simulação considera o estado atual (em 2014) da sala: piso em madeira escura (original) e forro em lambris de madeira de coloração meio escura (modificação do projeto original). Externamente, as prateleiras de luz e os *brises-soleil* em alumínio foram considerados escuros, já que encontram-se sujos e pouco refletivos. Para esse modelo, foi simulada a condição de céu limpo, no solstício de inverno (21 de junho), às 8h da manhã. As medições são referentes ao plano de trabalho dos alunos, a 75cm do piso.

Comparando o estado atual da com uma situação com a prateleira de luz pintada e os brises limpos, tem-se um aumento superior a 21% na média de iluminância da sala. O aumento torna-se ainda mais relevante com a troca do forro por outro de cor clara (conforme projeto original): 46% maior que a implementação sem a troca de forro; e 83% maior que o estado atual.

Os resultados das simulações indicam que a manutenção dos sistemas de iluminação natural seria suficiente para garantir um bom desempenho lumínico para atividades de estudos, sem o risco de comprometer a sua integridade arquitetônica.

No entanto, o que se observa é que o nível de iluminância alcançado não é adequado, sendo necessário complementá-lo com iluminação artificial. Assim, há mais um fator a ser avaliado no estado atual além do forro em madeira; da pouca refletividade dos *brises-soleil* externos; e do escurecimento e da prateleira de luz (respectivamente indicações 2, 3 e 4 da Figura 4). Trata-se do crescimento da vegetação dos pátios externos (indicação 1). Após 50 anos essa vegetação já atingiu o porte adulto, sombreando as salas inferiores.

5. ESTUDO DE CASO B : BLOCO C DA ESPLANADA DOS MINISTÉRIOS

5.1. Conceitos originais de projeto

Os blocos-padrão de ministérios possuem 10 andares e área construída total de 17551 m² cada um. Correspondem, no conjunto, a 300 mil m² de área construída. Outros ministérios da época da construção de Brasília se situam em edifícios distintos, como é o caso do Ministério da Justiça e do MRE.

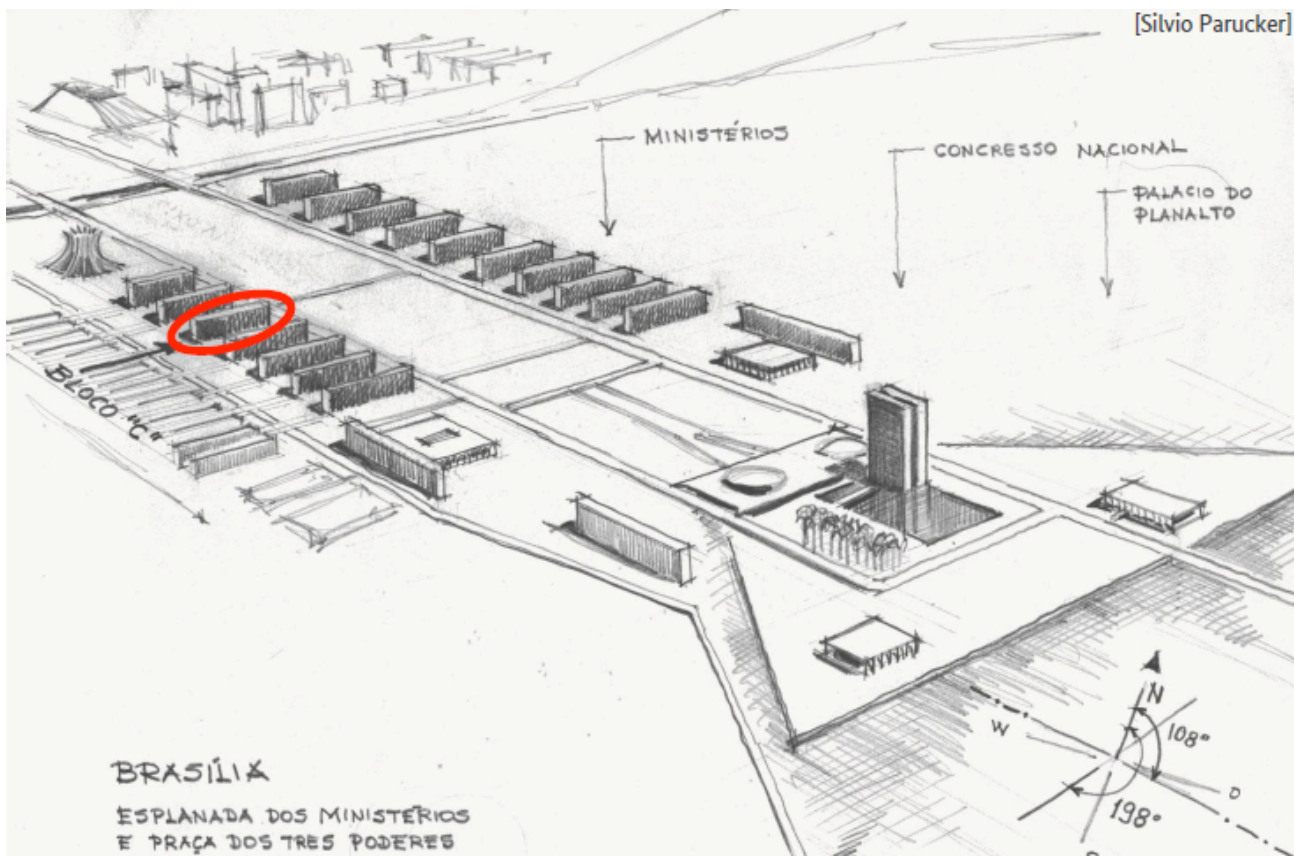


Figura 5 - Esplanada dos Ministérios. Autoria: Silvio Parucker

No olhar sobre a história do edifício, entende-se a aplicação incorreta e aleatória dos conceitos fundamentais do *International Style* a partir da Segunda Guerra Mundial, que, acompanhada pela crença de que a tecnologia de sistemas prediais oferecia meios para o controle total das condições ambientais de qualquer edifício, levou à repetição das caixas de vidro e ao inerente exacerbado consumo de energia nas décadas seguintes, espalhando-se por cidades de todo o mundo (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Os blocos-padrão da esplanada dos ministérios que atualmente totalizam dezessete unidades, foram posicionados no atendimento ao conceito de implantação do eixo monumental, o de localizarem as suas fachadas principais e mais alongadas no sentido da Praça dos Três Poderes e do Congresso Nacional. O Plano Piloto foi concebido para que, no dia 21/11, o sol possa ser visto nascendo por entre as torres dos anexos do Congresso Nacional. Isto corresponde a uma direção de azimute aproximadamente 108° para o Eixo Monumental. Consequentemente na esplanada, os blocos-padrão dos ministérios, de forma laminar, comprimento 103m e largura $17,5\text{ m}^2$, apresentam orientação alongada no eixo Norte-Sul, aproximadamente.

As faces leste, onde estão as portas de entrada, apresentam-se sem qualquer proteção solar. As faces oeste apresentam *brises-soleil* verticais. Os vidros utilizados, azul de proteção solar, não constavam no projeto original. Tampouco os *brises-soleil* de cor verde clara. Imperfeições de funcionamento são notáveis: as janelas da face oeste não podem ser operadas pela presença dos *brises-soleil*.

O Bloco C, como os demais blocos-padrão dos edifícios de ministérios foi concebido para utilizar planta livre. No entanto, a totalidade dos ministérios optou, em algum momento, por compartimentar seus espaços, comumente utilizando corredor central (consta que somente o Ministério da Cultura, na Administração entre 2002-2006, optou por um arranjo físico em planta livre, novamente). Ganhou-se privacidade; no entanto, tal medida provocou razoável prejuízo da qualidade dos espaços, em especial da ventilação natural e da iluminação natural.

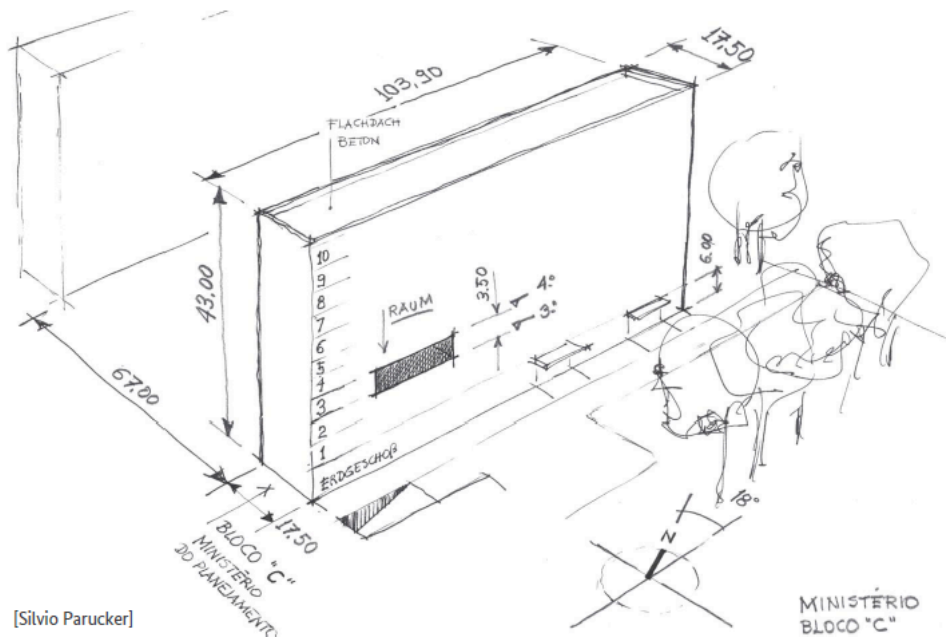


Figura 6 - Dimensões do Bloco "C" (Silvio Parucker)

A execução dos blocos-padrão da esplanada, durante a construção da cidade de Brasília entre 1956 e 1960, foram todos montados em estrutura metálica ajustada aos padrões tecnológicos da época, quando parte do material foi fabricado no Brasil e outra parte nos Estados Unidos. A ausência de um maior rigor técnico na compatibilidade e união de materiais como o aço da estrutura principal (pilares e vigas conectados por rebites), das lajes de concreto pré-fabricadas (pisos e fechamentos verticais das fachadas norte e sul) e das envoltórias em esquadrias de aço galvanizado, resultaram num conjunto edificado com elevado potencial de absorção de energia solar em todas as suas faces.

Alguns blocos-padrão construídos nas décadas seguintes foram montados em estrutura de concreto armado, sem acrescentar técnica adequada na resolução das questões de conforto térmico. O maior desafio destes conjuntos edificados é o de adequar um conjunto de soluções na arquitetura já existente, sem descaracterizar o conceito do projeto original do Arquiteto Oscar Niemeyer, e do Plano Piloto, Patrimônio da Humanidade pela UNESCO, de autoria do Arquiteto Lucio Costa. Por outro lado, torna-se necessário implantar recursos técnicos para minimizar estes problemas citados, dentre os quais, o mais expressivo, o das pontes térmicas existentes entre materiais, estruturas e a envoltória.

Complementam a seqüência de alterações no plano original as instalações de ar condicionado centralizados, aparelhos de ar condicionado individuais nas fachadas, condensadores de pequenos sistemas de ar condicionado também montados na fachada, ficando expostos os mais diversos modelos e formatos, juntamente com os seus cabos, bases de apoio e conexões, os sistemas de iluminação elétrica, reformas hidrossanitárias e as redes de lógica.

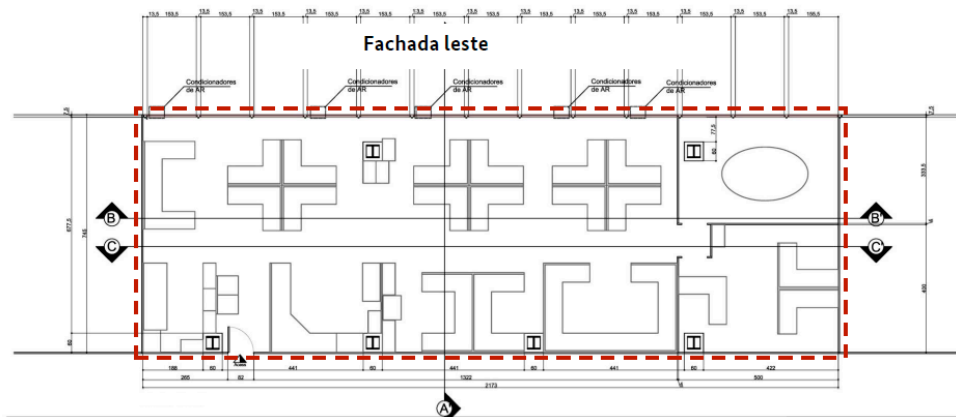


Figura 7 - Pavimento tipo do Bloco "C". Levantamento pelos autores e equipe da TUM.

5.2. Desempenho atual da edificação

Neste estudo de caso, será reportada a análise do aspecto térmico – embora a iluminação também tenha sido tratada. O desempenho térmico do bloco C foi estudado com base no software IDA – Indoor Climate and Energy 4, Versão 4.22 (EQUA, 2012).

Uma avaliação do clima de Brasília, realizada pela equipe do projeto, resultou num gráfico que demonstra a inadequação de um edifício sem estratégias de projeto adequadas frente às condições climáticas. A zona de conforto, na faixa laranja, se mostra pouco povoada pelos pontos que representam cada hora do ano típico. A energia de refrigeração é requerida durante todo o ano e corresponde a um padrão de consumo por área pouco eficiente.

Na figura 8 a zona de conforto, na faixa laranja, ilustra isto.

Conforto térmico sem ar condicionado

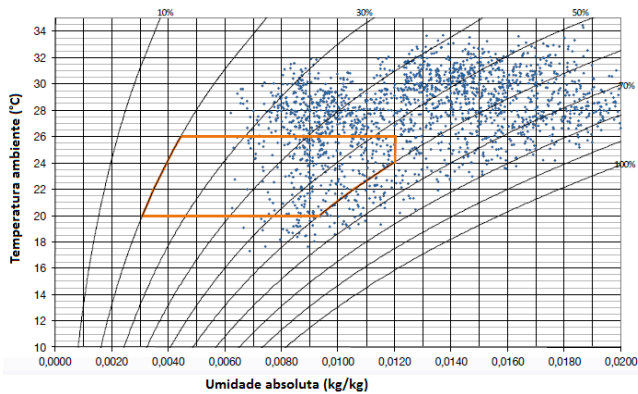


Figura 8 - ano típico de Brasília (DF). Fonte: TUM

Resfriamento (atual)

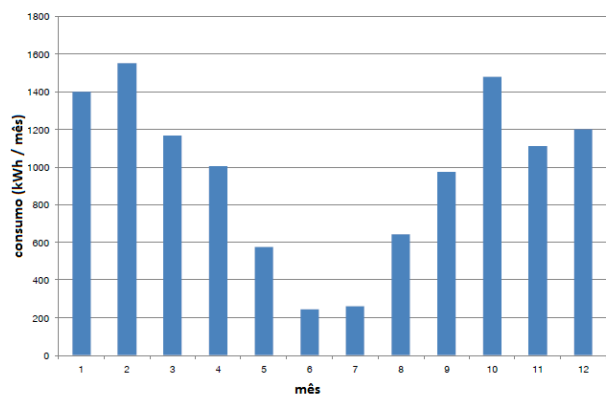


Figura 9 - Condições atuais: energia de refrigeração

5.3. Medidas de eficiência

Foram estudadas algumas medidas simples. A primeira delas foi a de aproveitar a ventilação durante a noite como maneira de refrigerar o edifício, extraíndo calor de suas lajes (fig. 10).

Resfriamento

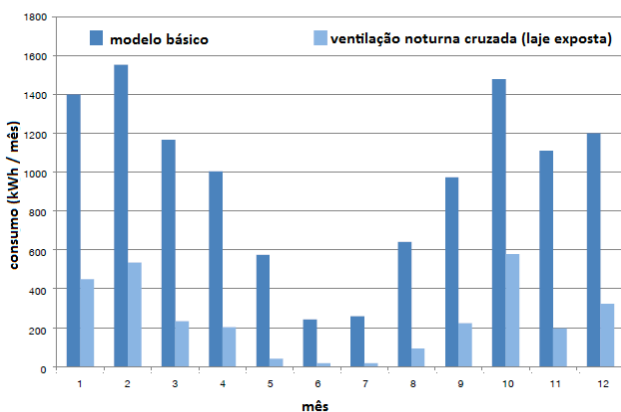


Figura 10 – cenário de ventilação noturna cruzada, laje exposta

Resfriamento

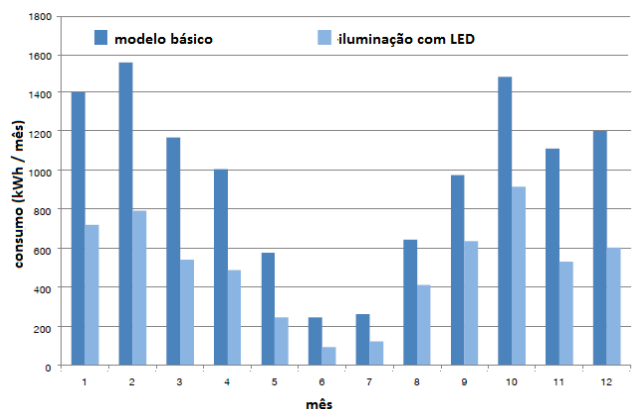


Figura 11 – cenário de iluminação com LED

A segunda procurou aumentar tal efeito mediante a remoção de materiais como carpete e forros das lajes, permitindo uma melhor troca de calor entre os elementos (fig. 11).

Ainda procurou-se aumentar tal efeito, tornando a ventilação cruzada – fato que requer rearranjo interno das divisórias que, como afirmado, não correspondem ao projeto original (fig. 12).

Resfriamento

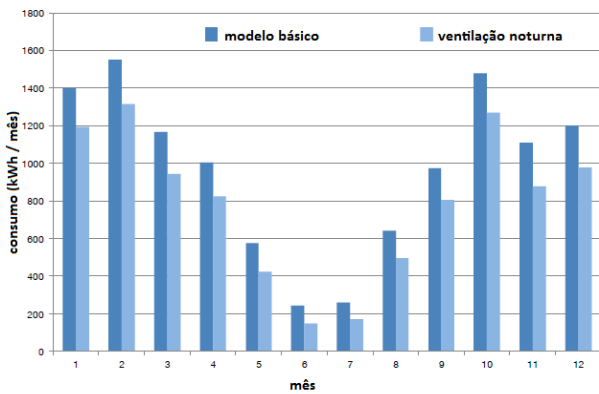


Figura 12 – cenário com refrigeração por ventilação noturna

Resfriamento

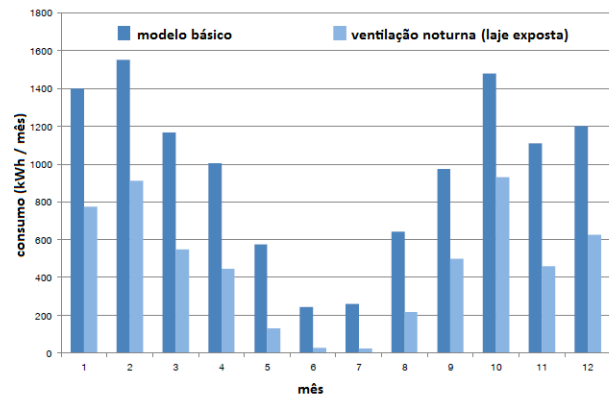


Figura 13 – cenário com ventilação noturna, e a laje exposta

A última adequação proposta corresponde à substituição da iluminação atual por LED. O que o gráfico mostra é o impacto sobre a energia de refrigeração (não o consumo das lâmpadas em si). Está ilustrada na figura 13.

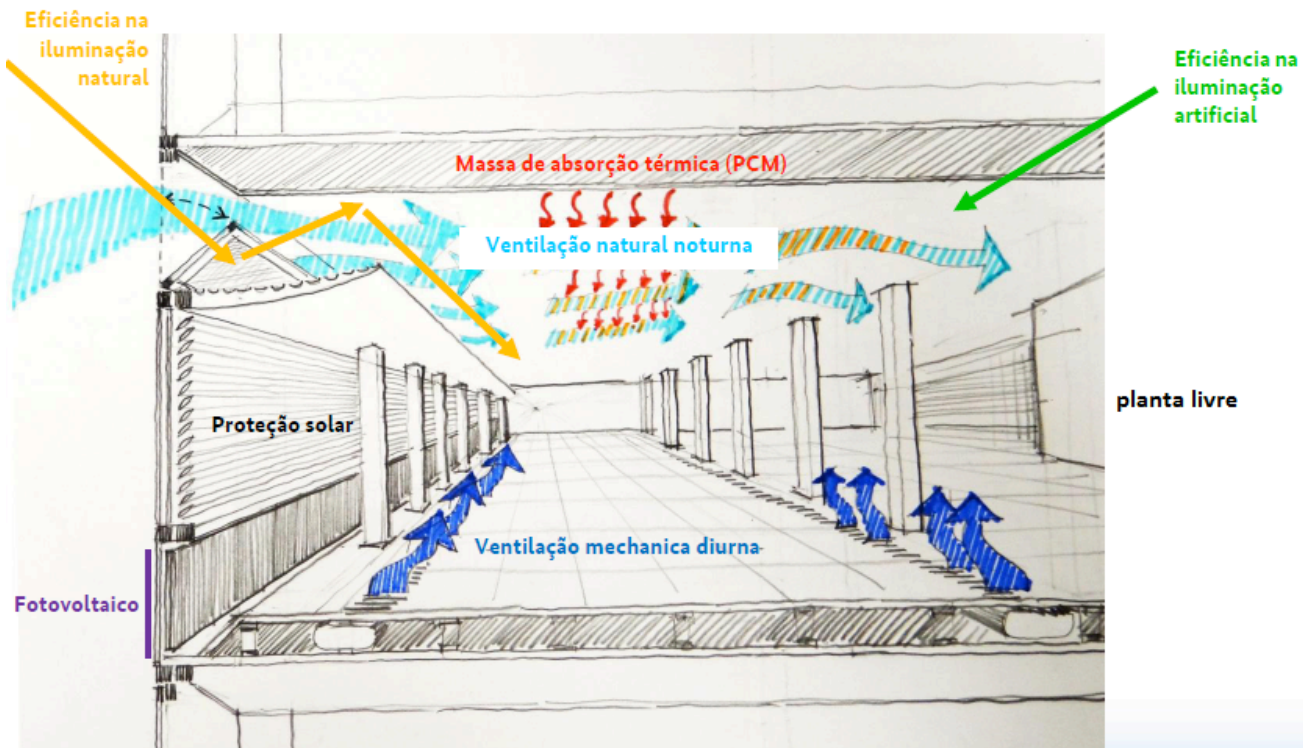


Figura 14 - conjunto de intervenções (Silvio Parucker)

Cogita-se, ainda, o uso de tecnologias de armazenamento térmico que utilizam materiais que mudam de fase (PCMs – *Phase Change Material*) ou também massa de absorção térmica, são uma alternativa adequada para edifícios de serviços de baixa inércia térmica e que não sejam utilizados no período noturno. O dimensionamento dos sistemas de resfriamento de teto, por intermédio do uso dos PCMs ainda contribui para o aumento da eficiência dos sistemas de climatização (aquecimento, ventilação e ar condicionado).

Juntamente com o uso dos PCMs torna-se necessário atender à reforma da arquitetura passiva, possibilitando inserir mesas de luz no intervalo das esquadrias, aplicação de painéis fotovoltaicos na superfície externa dos vidros, instalação de vidros duplos (isolamento térmico e acústico), aberturas para ventilação cruzada e instalação de ventilação mecânica diurna com insuflamento sob o piso elevado.

6. CONCLUSÕES

Tanto o estudo realizado no Bloco didático do Centro Politécnico, em Curitiba (clima temperado) como o estudo realizado no Bloco C, em Brasília (clima tropical seco) demonstram que:

- projetos arquitetônicos originais apresentavam alguns mecanismos passivos que foram perdidos;
- usos foram se somando e comprometendo a qualidade dos espaços;
- a degradação inevitável agrava o problema.

Os três fatores acima aparecem concomitantemente, levando não frequentemente a uma avaliação negativa da Arquitetura, não fazendo justiça à realidade, ao contexto e às intenções dos autores.

Por outro lado, deficiências tecnológicas na época da construção, como se nota particularmente bem nas esquadrias encontradas na época (em especial, com pobre desempenho acústico) e nas instalações elétricas sugerem a necessidade de renovação. Não existia a demanda pelos numerosos pontos de eletricidade como se vê hoje. Não existiam computadores pessoais nem redes de lógica.

Já a eficiência, uma demanda do imperativo de se tornar a economia como um todo mais racional, requer, sim, uma visão renovada dos conceitos arquitetônicos, de modo a viabilizar intervenções que causem o mínimo impacto visual. Sistemas de ventilação e de iluminação baseados em tecnologias atuais como microprocessadores, LED e materiais de mudança de fase perfazem esse conjunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Eletrobrás: PROCEL EPP, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Eficiência Energética nos Prédios Públicos. **Manual de Instruções para Projetos de Eficiência Energética nos Prédios Públicos-Utilização dos Recursos da Reserva Global de Reversão – RGR**. Rio de Janeiro: PROCEL-EPP, 2011a. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID=%7B60F8B9E9-77F5-4C5B-9E94-B1CC0CEF1EAB%7D>> . Acesso em: 02.05.2012.

EQUA Solutions AG: IDA Indoor Climate and Energy 4 Expert Edition Version 4.22, 2012

FANGER, P.O. Thermal Comfort – Analysis and Application in Environmental Engineering. Malabar: Robert E. Krieger (1982).

GONÇALVES, J. C. S; DUARTE, D. H. S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. *Ambiente Construído*, v. 6, n. 4, p. 51-81, out./dez. Porto Alegre, 2006.

GOOGLE EARTH. Imagem referente às coordenadas 25°27'02"S; 49°13'57"O. 2012.

GRAF, F.; MARINO, G.. Modern and Green: Heritage, Energy, Economy. **Docomomo journal**, nº 44, p. 33-39. Barcelona: Fundació Mies Van der Rohe, 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: SINAPI, Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção: ano base 2009**. IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/paic/2009/comentario.pdf>>. Acesso em 26.04.2012.

ISO, International Organization for Standard. **ISO 7730**: moderate thermal environments: determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the conditions of Thermal Comfort. Geneva, 2005.

OBA, M. M. ; SCHMID, A.L. Leoni . Harmonizando patrimônio moderno e eficiência: Estudo de caso sobre a influência de medidas de readequação no desempenho térmico e de iluminação natural no Centro Politécnico da UFPR. *Cadernos do PROARQ (UFRJ)*, v. 1, p. 45-72, 2015.

SCHMID, A. L.. Simulação da luz natural: combinação dos algoritmos de raytracing e radiossidade e suas aplicações na Arquitetura. **Ambiente Construído** 4, nº 2: 51-59, 2004.

_____; GRAF, H. F.. Validation of MESTRE Building Simulation System according to Best-Test Multi-Zone, Non-Airflow, In-Depth Diagnostic Cases. In **Proceedings of Building Simulation 2011**, 12th Conference of the International Building Performance Simulation Association, 14-16. Sydney, 2011.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao DAAD pelo financiamento do projeto no âmbito do Programa Novas Parcerias.