



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

INVESTIGAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE PROJETO: PROPOSTA DE RETROFIT DO EDIFÍCIO PAULO DE TARSO MONTENEGRO, NA CIDADE DE SÃO PAULO.

**Clarissa Sartori Ziebell (1); Anna Maria Hennes (2);
Fernando Ernesto Pasquali (3); Paulo Otto Beyer (4);**

- (1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura da UFRGS, ca_sziebell@yahoo.com.br
- (2) Arquiteta e professora, Mestra em Economia e Habitabilidade da Construção pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura-FAU/UFRGS, diretora da H&S Arquitetos Associados Ltda, hsconsultores@cpovo.net.
- (3) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRGS, fepasquali@gmail.com
- (4) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS, paulo.beyer@ufrgs.br

RESUMO

Para os projetistas, a escolha de estratégias de projeto que visem diminuir o consumo energético de um edifício é sempre uma tarefa árdua, pois envolve a incerteza de quais delas serão as mais eficientes. Essa incerteza pode ser amenizada através do uso de uma ferramenta de simulação. Este trabalho tem como objetivo desenvolver a estratégia de *retrofit* de um edifício existente na cidade de São Paulo, englobando os elementos envoltória, iluminação artificial e ar condicionado. A variável investigada é o desempenho energético do edifício. A eficiência das estratégias utilizadas foi verificada através de simulação computacional. O estudo foi realizado com o edifício Paulo de Tarso Montenegro, localizado na cidade de São Paulo, que hoje abriga a sede do IBOPE. O método utilizado para testar as soluções levantadas para melhorar o desempenho energético do edifício foi a simulação através dos softwares *EnergyPlus*, *Dialux* e *Autodesk Ecotect Analysis* (versão educacional). O resultado foi bastante satisfatório, já que o modelo final economiza aproximadamente 49% da energia consumida pelo prédio atual nos seis meses simulados.

Palavras-chave: estratégias de projeto, simulação computacional, *EnergyPlus*, eficiência energética, estratégia de retrofitting.

ABSTRACT

For the designers, the selection of design strategies that aims to reduce the energy consumption of a building is always an arduous task, since it involves uncertainty about which of them would be the most effective. This uncertainty can be reduced through the use of a simulation tool. This work aims to develop a strategy to retrofit an existing building in Sao Paulo, encompassing the elements envelop, artificial lighting and air conditioning. The variable investigated is the energy performance of the building. The strategies efficient used were verified by computer simulation. The study was performed with the building Paulo de Tarso Montenegro, located in Sao Paulo, which today houses the headquarters of IBOPE. The method used to test the solutions put forward to improve the energy performance of the building was through the simulation softwares *EnergyPlus*, *DIALux* and *Autodesk Ecotect Analysis* (educational version). The result was very satisfactory, since the final model saves around 49% of energy consumed by the current building in the period of six months simulated.

Keywords: design strategies, computer simulation, *EnergyPlus*, energy efficiency, retrofitting strategies.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a partir da década de 80 começaram a ser projetados prédios com fachadas inteiramente transparentes, as chamadas cortinas de vidro seladas, importadas de modelos norte-americanos (Sayegh, 2009). O modelo das cortinas de vidro, que foi muito utilizado por Mies Van der Rohe, “criou um verdadeiro ícone de edifícios de escritórios” (Lamberts, 2004). Essa tipologia acaba gerando um efeito semelhante ao de uma estufa, sendo necessário o uso de aparelhos de ar condicionado. De acordo com Lamberts, “do total da produção nacional de energia elétrica, 19% são usados em edifícios comerciais e públicos”. Diz ainda que “iluminação e ar condicionado são os grandes usos finais da energia nesse setor” (Lamberts, 2004).

Entretanto, com a preocupação mundial em reduzir as emissões de gases de efeito estufa e de conservar as energias não renováveis do planeta, iniciou-se uma nova corrente no mercado imobiliário que exige edificações consideradas sustentáveis. Assim, são exigidas edificações que consumam menos energia, sem prejudicar o conforto dos usuários. A iluminação artificial deve ser um complemento da iluminação natural. O consumo energético do edifício dependerá muito desse desempenho térmico e lumínico.

Entretanto, nem sempre é fácil tomar decisões de projeto que sejam as mais adequadas para um edifício sob o ponto de vista de sua eficiência energética. Com tantas tecnologias novas que permitem a simulação do desempenho de um edifício inserido em seu contexto real torna-se importante que o projetista faça uso deste tipo de ferramenta na hora de decidir pela melhor estratégia.

O objeto de estudo para essa pesquisa é o edifício Paulo de Tarso Montenegro, atual sede do Ibope, localizado na Alameda Santos, na cidade de São Paulo (Figura 1). O trabalho surgiu a partir do “Concurso OTEC - Eficiência Energética para Edifícios Existentes – Edição Ibope 2010”, que tinha o objetivo de selecionar um projeto para o *retrofit* deste edifício. A exigência do concurso era a de que o projeto deveria contemplar soluções que aumentem a eficiência energética do edifício e resgatem o histórico da obra. Toda a documentação do edifício (como plantas e cortes), bem como o modelo do *EnergyPlus*, foi oferecida pelos organizadores do concurso.

São Paulo (23°32'52" S, 46°38'09"O) é uma cidade de clima subtropical com temperatura média anual de 19,25°, com invernos brandos e verões com temperaturas moderadamente altas. A alta densidade de edifícios e a poluição contribuem para o aumento da temperatura (Wikipédia). Por essa razão era importante que o projeto para *retrofit* do edifício contemplasse estratégias, que combinadas, conseguissem reduzir a carga térmica do edifício mas sem deixar de aproveitar a luz natural nos ambientes interno, o que economiza energia para iluminação artificial.

O edifício em estudo tem as quatro fachadas orientadas para 45°, 135°, 225° e 315°. O projeto original, do arquiteto Rino Levi, tinha as suas fachadas protegidas por elementos cerâmicos vazados. Com o passar do tempo estes foram substituídos por brises horizontais que não cumprem de forma eficiente a sua função. Como os brises existentes não protegem adequadamente a fachada da radiação solar excessiva, os usuários acabam fechando as cortinas e acionando o sistema de iluminação artificial (Figura 2). Além disso, há diversos tipos de sistema de ar condicionado, que contribuem para tornar o sistema ainda mais ineficiente.



Figura 1 – Fachada noroeste do edifício.
Fonte: Foto de Fernando Pasquali

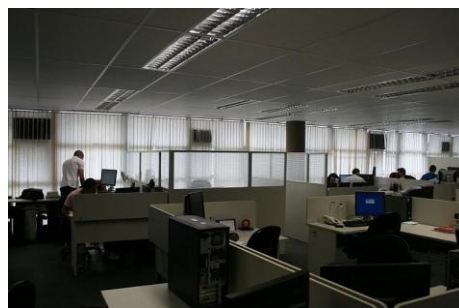


Figura 2 – Imagem de uma das áreas de trabalho do edifício.
Fonte: Foto de Fernando Pasquali

As simulações das estratégias de projeto foram realizadas no *software EnergyPlus*, versão 6.0. Trata-se de um programa de simulação energética e térmica desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. O *software* permite calcular o gasto de energia ao longo do período determinado pelo usuário. Atualmente, o *EnergyPlus* funciona como um plug-in (OpenStudio Plug-in) dentro do programa *Google SketchUp*, facilitando a modelagem dos edifícios em estudo (U.S. Department of Energy).

Neste trabalho, conforme exigência do Concurso OTEC, as simulações foram realizadas para os três meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e para os três meses de inverno (junho, julho e agosto). Cada estratégia levantada foi investigada através do *EnergyPlus*. Assim, foi possível avaliar a eficácia e a contribuição de cada estratégia para a eficiência energética do edifício. Contudo, como este software não permite um cálculo mais aprofundado do sistema de iluminação artificial, utilizou-se o *software Dialux*. Desta forma, os resultados obtidos de potência instalada por metro quadrado foram introduzidos no *software EnergyPlus*.

O *software Dialux* é uma ferramenta computacional desenvolvida para *Windows XP* e *Vista*, pela *DIAL GmbH* da Alemanha. Permite simular a iluminação dentro e fora dos ambientes, calcular e verificar de maneira profissional todos os parâmetros para instalações de iluminação de interiores e exteriores, estradas e túneis, fornecendo resultados claros e precisos segundo as últimas normas do setor para a arquitetura de interiores. Outro software que serviu de ferramenta durante a investigação foi o *Autodesk Ecotect Analysis*, que auxiliou na determinação da posição e dos tipos de elementos de sombreamento das fachadas. Este software é uma ferramenta de análise de projetos sustentáveis, fornecendo uma ampla gama de simulações (*Autodesk Education Community*). Neste estudo, o software foi utilizado para visualizar de que forma os raios de luz do sol atingem o edifício em diversos períodos do verão e do inverno. Nele é possível indicar a posição geográfica do edifício, o período do ano (mês, dia e hora), e a orientação solar.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver a estratégia de *retrofit* de um edifício existente na cidade de São Paulo, englobando os elementos envoltória, iluminação artificial e ar condicionado. A variável investigada é o desempenho energético do edifício. A eficiência das estratégias utilizadas foi verificada através de simulação computacional.

3. MÉTODO

O método utilizado para testar as soluções levantadas para melhorar o desempenho energético do edifício foi a simulação através dos softwares *EnergyPlus*, *Dialux* e *Autodesk Ecotect Analysis* (versão educacional). A estratégia de projeto principal é o *retrofit* do edifício existente, englobando os elementos envoltória, iluminação artificial e ar condicionado. As estratégias foram testadas individualmente e em conjunto quanto ao seu desempenho através de simulação computacional do consumo energético total da edificação nos meses de estudo determinados. A fim de complementar o sistema, foi estudada ainda a geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos. Segue abaixo uma breve apresentação do modelo base (situação atual do edifício). Em seguida, serão descritos os três itens investigados.

3.1. Modelo Base:

O modelo base teve suas zonas térmicas divididas em função do perfil de ocupação (permanente ou transitório) e do tipo de atividade – como escritório e sala de reunião - (OTEC). Com exceção das zonas térmicas de circulação vertical, do limite das paredes externas e dos prédios do entorno, todas as demais zonas poderiam ser modificadas. Sendo assim, os pavimentos do modelo proposto foram divididos em zonas periféricas e zonas centrais. Essas por sua vez foram divididas em zonas de comportamento térmico semelhante (Figura 3). Essa divisão ocorreu porque as zonas periféricas sofrem grande influência do clima externo e da insolação, necessitando de sistemas de climatização que atendam somente estas zonas, sem misturar com outras zonas. As zonas centrais apresentam comportamento bem mais neutro, pois não têm influência direta do clima externo, e devem ter condicionadores específicos.

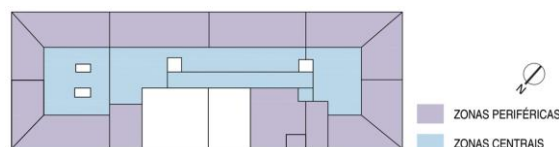


Figura 3 - Zoneamento Típico da Climatização dos Pavimentos

Os materiais do modelo base, excetuando-se as paredes externas e as lajes, também poderiam ser alterados. Na tabela 1 é possível visualizar a constituição dos elementos de construção do projeto. O arquivo climático utilizado nas simulações está disponível no banco de dados do *EnergyPlus* (www.energyplus.gov).

De acordo com as regras do concurso, as cargas térmicas e a ocupação do edifício não poderiam ser alteradas pelos competidores. O padrão de ocupação, de iluminação e de equipamentos utilizados foi típico para uma sala de escritórios com alta densidade. Foi estabelecido através de um *schedule* (fornecido junto com o modelo) onde as taxas de ocupação, iluminação e equipamentos são determinadas de acordo com um fator que varia de 0 a 1.

Tabela 1: Descrição dos materiais utilizados no modelo base. Fonte: Anexo A (www.concursootec.com.br)

Tipo de construção	Descrição	U-Value
Paredes	Bloco de concreto com argamassa de revestimento	2,29
Lajes	Carpete + base madeira + ar + laje de concreto + ar + forro	1,08
Cobertura	Piso de concreto + ar + laje de concreto + ar + forro	1,44
Divisórias internas	Divisórias leves	2,41
		SHGC
Vidros	Simplex 6mm	0,86

3.2. Envoltória:

A fim de estudar onde os elementos de controle da radiação solar devem ser posicionados, foi realizado um estudo da incidência do sol nas quatro fachadas ao longo de um dia, em quatro meses do ano (janeiro, abril, julho e outubro) a partir do software *Autodesk Ecotect Analysis* (versão educacional). O modelo computacional utilizado para este estudo estava sem os brises existentes, possibilitando a análise da incidência solar direta nos planos verticais transparentes e a definição das áreas a serem protegidas por brises.

Após a conclusão dessa etapa, foi utilizado o software *EnergyPlus* para avaliar qual é a melhor orientação dos brises para cada fachada (horizontal ou vertical). Os brises tiveram seus ângulos de acionamento regulados para fecharem-se o mínimo necessário a fim de barrar a incidência solar direta, sem obstruir demasiadamente a iluminação natural e a vista para o exterior. Após termos a orientação definida, foi importante verificar qual era o *setpoint* mais eficiente para acioná-los. O acionamento teve que ser regulado por sensores a cada módulo da fachada, permitindo uma resposta mais precisa ao sombreamento das elevações pelas edificações do entorno.

Em relação à cobertura, foi estudada uma forma de aproveitá-la para a colocação de painéis fotovoltaicos sobre uma estrutura pergolada. Testes de insolação foram realizados a partir do software *Autodesk Ecotect Analysis* (versão educacional) para a definição dos setores mais propícios à instalação dos painéis. Dessa forma, esperava-se que não só o gasto energético do edifício fosse reduzido, mas parte deste gasto fosse compensado pela produção local de energia fotovoltaica. Assim como os brises, as placas fotovoltaicas também foram incluídas no modelo simulado no *EnergyPlus*. Os locais onde há períodos mais longos de sombra foram reservados para vegetação do tipo trepadeira, que envolverá a estrutura pergolada.

3.3. Iluminação:

Buscou-se soluções para tornar o projeto luminotécnico eficiente levando-se em consideração os aspectos relativos ao conforto térmico e visual e a agradabilidade dos ambientes. Além disso, utilizou-se ao máximo a iluminação natural, o que reduziu o consumo energético com iluminação. Ou seja, o projeto de iluminação artificial serviu como complemento à luz natural. Tal estratégia foi alcançada a partir do uso dos brises que se posicionam de acordo com a incidência da radiação solar. Assim, apenas quando a radiação chega ao *setpoint* determinado pelo usuário os brises irão se movimentar, reduzindo a área exposta das janelas. Isso permite ter as janelas abertas ao máximo durante todo o tempo em que a radiação do sol não esteja elevando demasiadamente a carga térmica no interior dos ambientes. Evitar a radiação solar direta não só é importante para o conforto térmico do ambiente, mas também para evitar criar condições visuais desconfortáveis, tais como excessiva iluminância, ofuscamento desabilitador, reflexões indesejáveis e aumento da carga térmica no verão. Os brises, mencionados no item anterior, serviram como elemento de controle dessa radiação.

Para contemplar este conceito foi proposta a aplicação do sistema DALI/OSRAM (*Digital Addressable Lighting Interface*), juntamente com software especializado para controle da iluminação interna, o que proporcionou maior conforto visual e eficiência energética. Este sistema utiliza a tecnologia digital sem fio, havendo a gestão automatizada de luz mediante a integração de sensores analógicos e digitais de movimento de luz natural e programas temporizados, que permitem o controle dos vários ambientes do edifício. Os controles realizam a comunicação por radiofrequência, tornando possível o acionamento de múltiplas funções, desde um simples ligar e desligar de luminárias e sua dimerização, até o controle de cenas e de dispositivos de proteção externos, bem como do sistema de iluminação de emergência. Não há necessidade de divisão de circuitos, já que cada reator DALI é endereçado individualmente, pois possuem microprocessadores embutidos, com inteligência e capacidade de armazenamento de informações.

Sendo assim, a pesquisa se concentrou primeiramente em estabelecer quais eram os níveis de iluminância necessária para cada zona. Para os diversos tipos de tarefas visuais foram considerados os níveis de iluminância estabelecidos na NBR 5413 - Iluminância de Interiores da ABNT. Contudo, para um maior conforto visual e satisfação dos usuários, levou-se em consideração pesquisas desenvolvidas para o setor pelo Light Right Consortium (2007, apud TECHNICAL DEPARTMENT OF ZUMTOBEL, 2007, p.14) que revelam uma baixa aceitação de um sistema somente direto de iluminação pelos usuários. Neste sentido, optou-se por um redesenho do sistema de iluminação artificial, adotando-se um sistema direto/difuso nos planos de trabalho por possibilitar uma melhor distribuição da luz no ambiente, evitando-se os efeitos de “dark cave” (forro e paredes com pouca iluminação) ocasionado quando o sistema geral de iluminação é apenas direto e com *louvres* anti-ofuscamento.

Com uma altura de pé-direito relativamente baixa (2,40m) entendeu-se que a contribuição de um forro iluminado, possibilitaria também a sensação de maior altura do pé-direito. Contudo, luminárias pendentes não são aconselháveis para forros com altura inferior a 2,60m.

A decisão a respeito da escolha das luminárias foi realizada a partir da análise da curva fotométrica e de seu desempenho nos resultados que foram obtidos em diversas simulações computacionais com software específico de iluminação (*Dialux*), para as densidades de potência de iluminação Relativa - W/m²/100 lux (Nível A) segundo índice específico para cada ambiente (K) e a uniformidade. Os resultados simulados foram comparados ao resultado de cálculo pelo método da densidade de potência de iluminação estabelecido no manual para uso do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – PROCEL/Eletróbrás.

3.4. Ar Condicionado:

Em um edifício as áreas mais próximas às aberturas sofrem muito mais incidência da radiação solar do que as áreas centrais. Por essa razão a primeira medida realizada a fim de obter um sistema de ar condicionado eficiente foi a divisão do edifício em zonas centrais e periféricas. Esse zoneamento também é muito adequado para a definição do sistema de iluminação artificial, já que as zonas periféricas poderão se beneficiar da luz natural. Já nas zonas centrais essa iluminação é muito escassa.

Vários sistemas de ar condicionado foram simulados a fim de definir o sistema a ser utilizado. Durante os estudos, houve a tentativa de utilizar um ciclo economizador de ar com captação de ar exterior (sistema *economizer*) nos momentos em que ele fosse conveniente. O uso deste sistema é alcançado através da locação de máquinas de ar externas na fachada e curtos dutos que trazem ar fresco para o interior da edificação. Entretanto, este sistema não proporcionou uma grande economia de energia elétrica para o edifício. Vale frisar que a ventilação natural não foi utilizada como complemento ao sistema artificial de condicionamento natural porque para isso seria necessário definir um *schedule* de manipulação das esquadrias, o que tornaria a simulação muito imprecisa.

Em seguida foi comparado o desempenho do sistema *split* VRF com um mínimo de renovação de ar para propósitos de higiene e o uso do *economizer*. O sistema VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) – foi o que se mostrou mais eficiente. Ele utiliza unidades externas onde uma unidade pode ser interligada a várias unidades internas. Isto é possível porque a unidade externa tem rotação variável dos compressores, variando o fluxo do fluido refrigerante na instalação de forma a se ajustar ao número de unidades internas ligadas e/ou as cargas térmicas que estas unidades estejam atendendo. Este procedimento permite alta eficiência energética do sistema. O sistema de ar condicionado foi deixado em *autosize*, com fator de dimensionamento de 1,15. Significa que as máquinas instaladas têm potência maior do que este fator em relação à maior potência calculada pelos dias de projeto do *EnergyPlus*. As máquinas foram simuladas com equações ajustadas de desempenho para VRF na velocidade nominal do compressor de 100%.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

As diversas simulações com o software *EnergyPlus* e com o *Autodesk Ecotect Analysis* (versão educacional) mostraram caminhos que provavelmente não seriam seguidos. Em relação à envoltória, inicialmente foi levantada a hipótese de que poderia haver áreas onde não fosse necessário colocar brises, já que há dois edifícios muito próximos ao edifício em estudo que poderiam causar sombra. Entretanto, o estudo de insolação nas quatro fachadas mostrou que sempre haverá um momento em que haverá radiação solar incidindo sobre elas (Figura 4). Além disso, imaginava-se que a melhor solução para proteger as fachadas seria o uso de brises verticais, já que o edifício possui pequenas passarelas que poderiam proteger a fachada do sol, como proteção horizontal, nos momentos em que ele está mais alto. Entretanto, a solução que se mostrou mais eficiente foi o uso de brises horizontais de alumínio nas fachadas sudeste e sudoeste e brises verticais de alumínio nas fachadas noroeste e nordeste (Figuras 5 e 6).

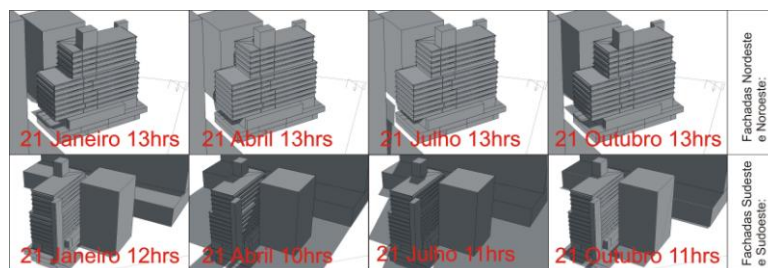


Figura 4 – Estudo da incidência solar no edifício realizado com o *software Ecotect* (versão educacional). Note que todas as fachadas necessitam de algum tipo de controle sobre a radiação solar.

Com vistas a maximizar o rendimento dos brises mantendo a iluminação natural, optou-se por empregar brises motorizados, acionados automaticamente quando a incidência solar em cada módulo da fachada atingir determinada intensidade. Após diversas simulações, encontrou-se o valor de $100\text{W}/\text{m}^2$ como o *setpoint* ideal para acionamento dos brises, garantindo a maior redução no consumo energético global na edificação.

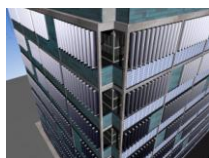


Figura 5 – Trecho da fachada noroeste (com brises verticais e painéis fotovoltaicos) e da fachada nordeste

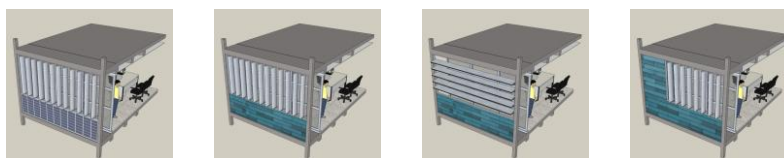


Figura 6 – Diferentes módulos implantados no edifício.

A simulação da incidência do sol na cobertura realizada com o *Autodesk Ecotect Analysis* (versão educacional) permitiu o posicionamento dos painéis fotovoltaicos conforme mostrado nas figuras 7 e 8. Entretanto, as simulações no *EnergyPlus* com os painéis fotovoltaicos mostraram que seria necessária uma área maior do que a cobertura a fim de que o sistema se tornasse eficiente. Por essa razão a fachada noroeste (que neste caso recebe maior quantidade de radiação, já que a fachada nordeste, é em alguns momentos sombreada pelo prédio vizinho) recebeu placas fotovoltaicas na face vertical dos peitoris de todos os módulos. Como resultado desta estratégia, a simulação demonstrou que a produção de energia por este sistema no período de seis meses simulado é de $31866,78\text{kWh}$, ou $9,39\%$ do total de energia consumida pela edificação no período.



Figura 7 – Simulação da incidência do sol na cobertura realizada no *Ecotect* (versão educacional). Essa imagem serviu para decidir onde seriam colocados os painéis fotovoltaicos.

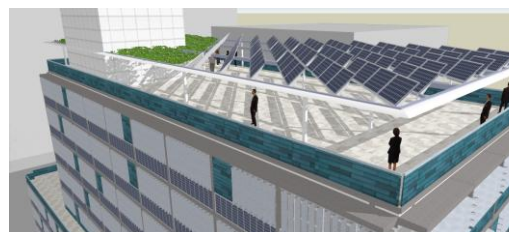


Figura 8 – Solução final para a cobertura.

Em relação ao sistema de iluminação artificial, as estratégias adotadas sempre levaram em consideração o tipo de atividade desenvolvida na zona em questão. A alternativa encontrada recaiu nas chamadas “*Celling Brightness Impression*”. O modelo escolhido foi a luminária embutida – *Mellow Light V*, da *Zumtobel* (com lâmpadas fluorescentes tubulares T5 2x28W (TC 4.000K) e reatores dimerizáveis DALI). Obteve-se para as áreas de escritório (500 lux) com planta livre uma potência de $8,75\text{W}/\text{m}^2$ e Densidade de Potência de Iluminação Relativa de $1,07\text{W}/\text{m}^2/100\text{lux}$. A distribuição das isolinhas no plano de trabalho para esses ambientes podem ser observadas nas figuras 9, 10 e 11.

Para as áreas comuns, adotou-se soluções de baixo consumo de energia com luminárias embutidas de *leds* e fluorescentes compactas de 18W , modelos *Panos* da *Zumtobel* e lâmpadas com aparência de cor morna. Obteve-se para as áreas de circulação uma potência de $1,51\text{W}/\text{m}^2$ e uma Densidade de Potência de Iluminação Relativa de $3,06\text{W}/\text{m}^2/100\text{lux}$ com iluminâncias médias (Emed) de 101lux .

Nas salas de reunião, onde é possível uma altura de suspensão maior para as luminárias na zona central da mesa, foram adotadas luminárias modelo Claris II com lâmpadas fluorescentes tubulares T5 2x28W (TC 4.000K) e reatores dimerizáveis DALI. Obteve-se uma potência de 5,40W/m² e Densidade de Potência de Iluminação Relativa de 1,64W/m²/100lux com Emed de 330lux.

No lobby do pavimento térreo, com altura de pé-direito de aproximadamente 4m, foram utilizadas luminárias Panos, curva fotométrica fechada, dotadas de lâmpadas multivapores metálicos 50W e temperatura de cor de 3.000K. Obteve-se uma potência de 8,48W/m² e Densidade de Potência de Iluminação Relativa de 3,95W/m²/100lux com Emed de 215lux.

Nos subsolos foram adotadas luminárias modelo Itaim, modelo 4.013/2x28W (com temperatura de cor de 4.000K e reator eletrônico). Obteve-se uma potência de 2,15W/m² e Densidade de Potência de Iluminação Relativa de 2,55W/m²/100lux com Emed de 84lux.

A iluminação nas fachadas não foi considerada para cálculos, pois no modelo original não havia este consumo. Contudo, a solução que seria adotada recairia na utilização de projetores com alto rendimento e eficiência energética com a tecnologia LED (*Light-Emitting Diodes* / Diodos Emissores de Luz), criando efeitos luminosos, de forma a marcar a presença do prédio no entorno urbano.

Os resultados finais obtidos, comparado com o modelo original, onde havia um consumo de 174.576,97 kWh, apresentaram uma redução significativa de 64,99% (61.120,35 kWh) em consequência das estratégias e equipamentos de alto desempenho adotados.



Figura 9 – Solução adotada para as áreas de escritório com planta livre.

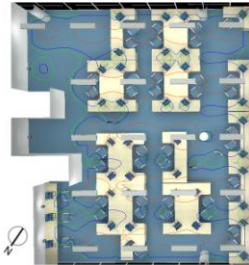


Figura 10 – Planta Baixa com as isolinhas da solução adotada para as áreas de escritório com planta livre.

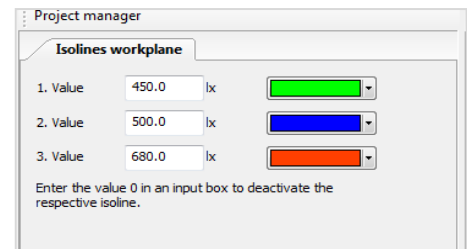


Figura 11 – Definição dos valores das isolinhas no plano de trabalho.

No sistema de ar condicionado, também foram adotadas estratégias diferentes do que era imaginado no início do desenvolvimento do projeto. Inicialmente pensava-se em utilizar o *economizer*, ou seja, o aproveitamento do ar externo para condicionamento da edificação nos períodos em que as condições climáticas externas fossem favoráveis. Entretanto, esse não se mostrou como o sistema mais eficiente.

O sistema de ar condicionado proposto utiliza *splits* do tipo *VRF*. Nas zonas periféricas foram instalados *splits* fixados no teto dos ambientes, junto às janelas externas, com tomada de ar exterior na fachada. Nas zonas centrais, foram instalados condicionadores do tipo “cassete” no forro, com tomada de ar exterior por dutos no forro e ventiladores de insuflamento para dutos. Estes condicionadores “cassete” permitem atender salas próximas com pequenos dutos e grelhas.

As máquinas externas têm compressores com rotação variável, de forma a atenderem a carga térmica instantânea da instalação. Foram instaladas nos próprios pavimentos que condicionam, para diminuir o comprimento das linhas de interligação, diminuindo o consumo energético de bombeamento e a carga de fluido refrigerante colocada no sistema (Figuras 12 e 13). As salas pequenas foram condicionadas por condicionadores *splits* de parede.

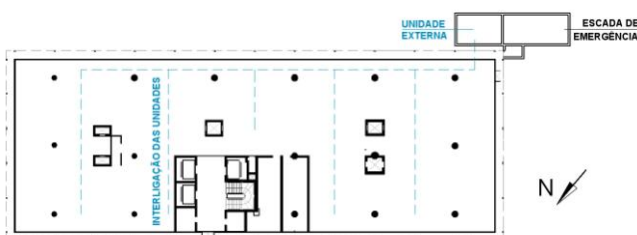


Figura 12 – Planta baixa esquemático do Sistema de Ar Condicionado.

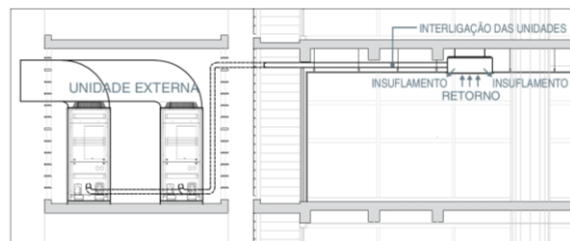


Figura 13 – Corte esquemático do Sistema de Ar Condicionado.

A figura 14 resume todas as estratégias de projeto adotadas. Note que uma estratégia complementa a outra. Os brises permitem a entrada de luz natural até o limite de 100W/m². Quando esse limite é atingido, os brises são automaticamente posicionados no ângulo ideal para sombreamento. A iluminação que ficará faltando será complementada pela iluminação artificial. Como a incidência solar estará controlada, será exigido menos energia para que o ar condicionado mantenha o ambiente com uma temperatura adequada.

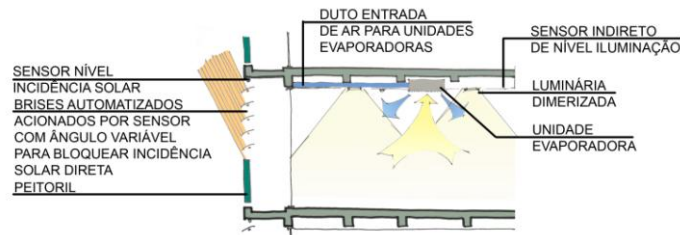


Figura 14 – Resumo das estratégias adotadas.

A fim de comparar quais foram as melhorias obtidas através dessas novas estratégias de projeto, segue abaixo um gráfico que demonstra o consumo mensal por uso final do prédio atual (Figura 15). No verão é a refrigeração que consome mais, enquanto que no inverno são os equipamentos internos (computadores). O pico de consumo com a refrigeração ocorre no mês de janeiro, quando é atingido um consumo de 45.000kWh. Mesmo no inverno há consumo de energia para a refrigeração do ambiente. O mês em que é consumido mais energia para essa função no inverno é Agosto, quando é consumido aproximadamente 24.000kWh. Como é possível perceber, não há aquecimento no edifício.

A figura 16 mostra os consumos totais por uso final da energia para os seis meses simulados. Pode ser visto que as lâmpadas/reatores, computadores e refrigeração têm consumos semelhantes. Os ventiladores apresentam baixo consumo e o aquecimento não tem consumo.

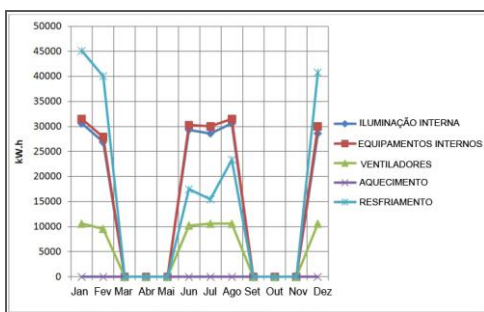


Figura 15 – Consumo Mensal por Uso Final do Prédio Atual.

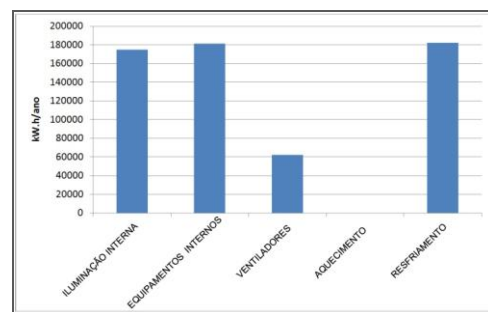


Figura 16 – Consumo por Uso Final do Prédio Atual para os Seis Meses Simulados.

A seguir, temos um gráfico que mostra o consumo mensal por uso final do prédio proposto (Figura 17). Tomando o consumo dos equipamentos como referência (constante para os dois prédios) e comparando com a figura 15, pode ser visto que todos os outros consumos diminuíram significativamente. O pico de consumo com resfriamento passou para aproximadamente 18.000kWh, e o maior consumo no inverno para essa função é de aproximadamente 5.000kWh (em Agosto).

Outra comparação pode ser realizada com a figura 17 e a figura 18, que mostra os consumos finais do prédio proposto para os seis meses simulados. Novamente tomando os equipamentos como referência, pode ser vista a grande diminuição do consumo de energia por lâmpadas/reatores, refrigeração e ventiladores, fruto das estratégias adotadas.

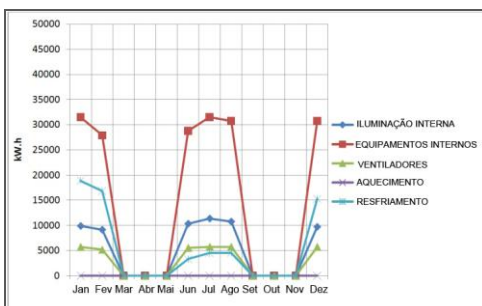


Figura 17 – Consumo Mensal por Uso Final do Prédio Proposto

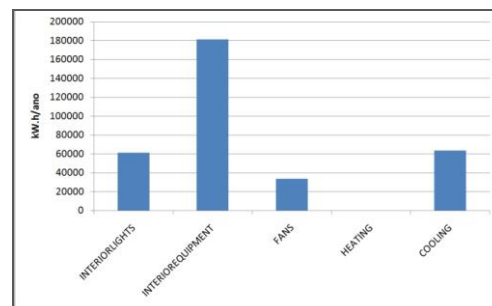


Figura 18 – Consumo por Uso Final do Prédio Proposto

Em seguida, duas outras comparações serão demonstradas (Figuras 19 e 20). A primeira mostra o consumo mensal total comparativo dos dois prédios, com uma constante economia energética do prédio proposto com suas estratégias. Já a segunda, mostra uma comparação entre os consumos finais dos dois prédios. Pode ser visto que os equipamentos não têm diferença, e que o prédio proposto com as novas estratégias apresenta grande economia energética na iluminação, refrigeração e ventiladores.

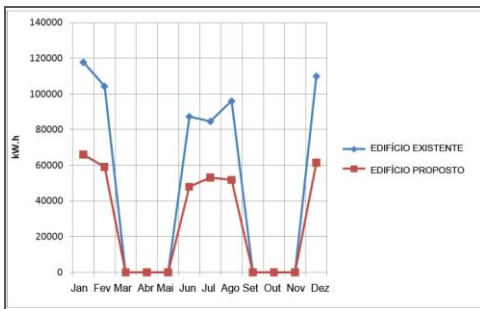


Figura 19 – Consumo Mensal Total dos Prédios

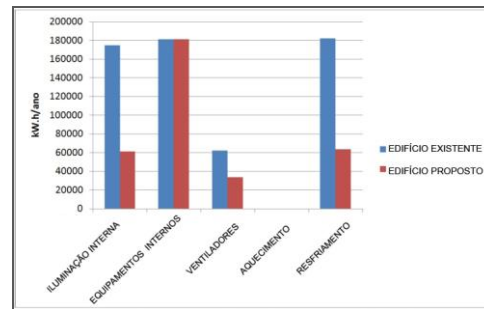


Figura 20 – Comparação dos Consumos Finais dos Prédios

A tabela 2 mostra o consumo total final do prédio atual, de 600270 kW.h para os seis meses simulados, que significa uma taxa de 50,58 kW.h/m² de piso total do prédio.

Tabela 2 – Consumo Energético do Prédio Atual.

	Energia Total [kWh]	Energia por área total do edifício [kWh/m ²]	Energia por área condicionada do edifício [kWh/m ²]
Total Site Energy	600269.87	50.58	84.11
Net Site Energy	600269.87	50.58	84.11

Em seguida, segue uma comparação dos resultados anteriores com os resultados finais do prédio proposto para os seis meses simulados, com um consumo de 339462 kW.h, que descontando-se a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos fica em 307592 kW.h (Tabela 3). Em termos de taxa o valor final fica em 25,91 kW.h/m² de piso total da edificação.

Tabela 3 – Consumo Energético do Prédio Proposto.

	Energia Total [kWh]	Energia por área total do edifício [kWh/m ²]	Energia por área condicionada do edifício [kWh/m ²]
Total Site Energy	339462.01	28.59	47.54
Net Site Energy	307595.23	25.91	43.08

A economia energética das estratégias propostas é calculada por Porcentagem de Redução do Consumo de Energia = $(1 - 25,91/50,58) \times 100 = 48,8 \%$ ou seja, as soluções propostas economizam em torno de 49 % da energia gasta pelo prédio atual nos seis meses simulados. Esta economia de energia pode ser vista na figura 21, onde a energia gasta pelo prédio proposto é de 51,2 % da energia gasta pelo prédio atual nos seis meses simulados.

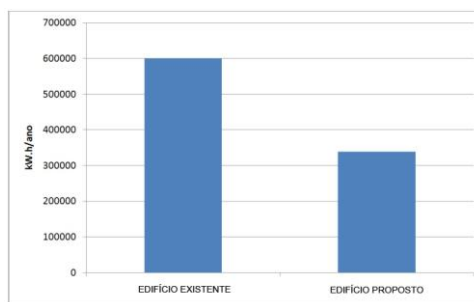


Figura 21 – Consumo Anual Total dos Prédios.

5. CONCLUSÕES

As análises obtidas com as simulações mostraram que o objetivo do estudo foi alcançado. Caso essas estratégias fossem realmente implantadas, o edifício melhoraria muito o seu desempenho energético. As ferramentas escolhidas para realizar as simulações mostraram-se eficientes para avaliar as diversas estratégias de forma combinada, já que cada alteração no projeto pode afetar o desempenho de outra decisão tomada anteriormente.

As modificações nas fachadas influenciaram tanto os sistemas de iluminação natural e artificial como o de ar condicionado. Como os brises são acionados somente quando a radiação chega a 100 W/m², a iluminação natural pôde ser aproveitada ao máximo. Além disso, o tratamento dado à fachada reduziu a carga térmica do edifício, o que diminuiu os gastos com o ar condicionado.

Outra estratégia definitiva para o sucesso do projeto foi o novo zoneamento do modelo, que o dividiu em zonas periféricas e centrais. Essa solução foi muito importante tanto para a iluminação quanto para o ar condicionado. Em relação à distribuição das luminárias, a estratégia de dimensionar as iluminâncias de acordo com as necessidades visuais dos usuários nos ambientes, e a escolha da luminária com melhor desempenho (conforto visual x eficiência energética) para cada caso, também foi determinante para minimizar o consumo do edifício.

Por último, a colocação de painéis fotovoltaicos contribuiu na geração de energia. Atualmente, estratégias desse tipo se tornaram muito relevantes. A legislação que hoje o Brasil possui na tentativa de incentivar a construção de edifícios com maior desempenho energético (Programa de Etiquetagem de Edificações da PROCEL) incluiu na equação que indica o nível de eficiência energética do edifício uma variável referente à pontuação para àqueles projetos que possuem iniciativas como essa.

A proposta de *retrofit* do edifício foi bem sucedida com o apoio dos *softwares Dialux e Autodesk Ecotect Analysis* (versão educacional), já que muitas estratégias que surgiram no início do projeto puderam ser reavaliadas, à medida que não se mostraram tão eficientes quanto era imaginado. Isto demonstra a importância de uma ferramenta computacional eficiente para a simulação do projeto de uma edificação.

Cada vez mais os projetos deverão contemplar estratégias que reduzam o consumo de energia. A metodologia utilizada nesse trabalho, se aplicada a novos projetos, certamente irá facilitar o projetista a ter um bom desempenho na busca de edifícios mais eficientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5413 - Iluminância de Interiores**. Abril de 1992.
- Autodesk. Autodesk Education Community. Disponível em: < http://students.autodesk.com/?nd=download_center&c_key=31305F5F416D657269636173&>. Acesso em: mai. 2011.
- LAMBERTS, Roberto. Dutra, Luciano. Fernando Oscar Ruttkey Pereira. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2a edição, revisada. São Paulo: ProLivros, 2004.
- Light Right Consortium. **Ergonomic Lighting**, Nova Iorque, 2007.
- Ministério de Minas e Energia. **2 – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. 2009.
- Ministério de Minas e Energia. **4 – Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C**. 2009.
- OSRAM, LuxCONTROL. **Lighting Control System, Dali Manual**. Application Engineering, January, 2009. 75p.
- OTEC – Otimização Energética para Construção. Narrativa de Construção do Modelo de Simulação Baseado na Situação Real. Disponível em: <<http://www.concursootec.com.br/index2.html>>. Acesso em: jan. 2011.
- OTEC - Otimização Energética para Construção. **Concurso OTEC: Eficiência Energética para Edifícios Existentes – Edição Ibope 2010**. Disponível em: <<http://www.concursootec.com.br/index2.html>>. Acesso em: jan. 2011.
- SAYEGH, Simone. **Alto desempenho, baixo impacto**. Revista Técnica. Novembro de 2009. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/133/artigo77952-1.asp>>. Acesso em 12 dez. 2009.
- U.S.DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus Energy Simulation Software**. Disponível em: < <http://www.energyplus.gov>>. Acesso em: mai. 2011.
- WIKIPÉDIA. **São Paulo (cidade)**. Disponível em: < [http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Paulo_\(cidade\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Paulo_(cidade))>. Acesso em: mai. 2011.