

# REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE CONCEITOS *GREEN BUILDING*

Maria Fernanda Martinez <sup>1</sup>, Marta Baltar Alves <sup>2</sup>, Luís Alberto Pereira <sup>3</sup> e Paulo Otto Beyer <sup>4</sup>

(1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. CEP: 90.050-170 - Porto Alegre, RS – Brasil, e-mail: fernanda@eficientysul.com.br

(2) EficientySul - Projetos de Eficiência Energética Ltda. CEP 90.440-150 - Porto Alegre, RS – Brasil, e-mail: marta@eficientysul.com.br

(3) Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. CEP 90.619-900 - Porto Alegre, RS – Brasil, e-mail: lpereira@pucrs.br

(4) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS. CEP: 90.050-170 - Porto Alegre, RS - Brasil, e-mail: paulo.beyer@ufrgs.br

**Resumo** - Nos últimos anos, as alterações na estrutura do setor elétrico e o aumento do valor das tarifas fez com que fossem desenvolvidos programas e projetos visando a estabelecer uma nova conscientização para o uso eficiente da energia elétrica. Programas com estas características também estão sendo implantados na construção civil visando reduzir o consumo de energia, como é o caso das construções verdes e sustentáveis, conhecidas por sua denominação em língua inglesa *Green Building*. Para avaliar se estas construções foram construídas e funcionam de modo ambientalmente correto, foi criado pelo Conselho Norte-Americano de Construção Verde o selo *LEED* (*Leadership in Energy and Environmental Design*). Este artigo tem como objetivo mostrar meios de redução do consumo de energia elétrica com o sistema de condicionamento ambiental e ao mesmo tempo garantir níveis adequados de conforto térmico aos usuários dos edifícios que buscam obter a certificação *LEED*. As análises de desempenho energético foram realizadas através de simulações computacionais, feitas com o auxílio do programa EnergyPlus, por meio do qual foi possível verificar que alterando alguns dos parâmetros construtivos, como a utilização de brises, uso de vidros laminados, e tela externa de proteção, o consumo energético do edifício pode ser reduzido significativamente. Para o caso apresentado neste artigo esta redução chegou a 58%.

**Palavras-Chave** – conforto térmico, consumo de energia elétrica, edificações, edifício verde, energyplus, simulações.

## ELECTRIC ENERGY EFFICIENCY AND THE APPLICATION OF GREEN BUILDING CONCEPTS

**Abstract** – In recent years changes in the structure of the Brazilian electric sector and the increasing price of the electric tariffs motivated programs and projects aiming to develop and to implement new concepts for the efficient use of the electric energy. Programs with these

characteristics are also being implemented for planning new buildings which can have an improved consumption of electric energy. This kind of buildings is known by their denomination in the English language as green building. To evaluate whether these constructions were built and work in accordance to green concepts, the North American Council of Green Construction created a certification called LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). This paper has the objective of showing means to reduce the electric power consumption associated to the ambient conditioning apparatus and at the same time to assure appropriate levels of thermal comfort to users. It is shown that by choosing appropriated materials it becomes possible to achieve the energy consumption levels required to obtain the LEED certification. A typical case is analyzed through computer simulations performed with the program EnergyPlus. It was possible to verify that changing some constructive parameters, as the use of brises, laminated glasses, and external protection net, the energy consumption of the building could be reduced about 58%.

**Keywords** - thermal comfort, electric power consumption, building, green building, computer simulation, EnergyPlus.

## I. INTRODUÇÃO

A preocupação com a redução do consumo e uso racional da energia elétrica tem aumentado nos últimos anos devido principalmente a dois fatores: as mudanças na estrutura do setor elétrico brasileiro e a preocupação em reduzir os impactos ambientais com a construção de novas fontes de energia. A estrutura do setor elétrico brasileiro nas últimas décadas foi marcada por uma forte influência governamental e pela aplicação de tarifas reduzidas em relação ao mercado internacional. Como consequência, havia pouco interesse em medidas de redução de consumo ou no aumento da eficiência de processos, uma vez que o custo da energia não trazia grande impacto no valor de produtos e processos.

Devido às alterações na estrutura do setor elétrico e o aumento do valor das tarifas, atualmente é crescente o número de programas e projetos implantados visando estabelecer uma nova conscientização para o uso eficiente da energia elétrica. Programas com estes objetivos também

Artigo submetido em 15 de maio de 2008; primeira revisão em 26 de agosto de 2008; segunda revisão em 06 de março de 2009.  
Recomendado para publicação pelos Editores da Seção Especial, João Carlos dos Santos Fagundes e Felix Alberto Farret.

estão sendo implantados na construção civil visando reduzir o consumo de energia, como é o caso das construções verdes e sustentáveis, conhecidas por sua denominação em língua inglesa como *green building*. Edifícios ou construções verdes são concebidos dentro do conceito de que as edificações agridam o mínimo possível o meio ambiente. Este conceito envolve desde a escolha dos materiais utilizados durante a construção até os custos ambientais de manutenção do edifício. Para avaliar se a edificação foi construída e funciona de modo ambientalmente correto, existe uma certificação criada pelo Conselho Norte-Americano de Construção Verde (United States Green Building Council), o selo LEED, que faz parte do U.S. Green Building Council (USGBC), conselho americano de construção sustentável. Para que empreendimentos sejam certificados com o selo LEED, deve ser avaliado o desempenho dos mesmos em seis áreas: local sustentável; economia de água; energia e atmosfera; seleção de materiais e recursos; qualidade ambiental interna; e inovação dos projetos.

Este artigo aborda o tema da eficiência energética sob o ponto de vista do item *energia e atmosfera* citado anteriormente. O objetivo é mostrar meios de redução do consumo de energia elétrica com o sistema de condicionamento ambiental (HVAC) e ao mesmo tempo garantir níveis adequados de conforto térmico aos usuários dos edifícios que buscam obter a certificação LEED.

O artigo divide-se em oito seções, na primeira seção são apresentados os aspectos fundamentais relacionados ao conforto térmico bem como a sua relação com a matriz energética brasileira. A segunda seção apresenta aspectos sobre o consumo de energia em edificações. A terceira aborda o conforto térmico em relação à eficiência energética. A quarta seção apresenta medidas para a redução do consumo de energia nas edificações visando o conforto térmico. A quinta seção é referente ao conceito de edifício verde (*green building*). A sexta seção mostra os requisitos necessários a serem atendidos por edificações a fim de receber a certificação LEED. A sétima refere-se a um estudo de caso e a oitava apresenta a conclusão.

## II. CONSUMO DE ENERGIA E CONFORTO TÉRMICO

A importância do consumo de energia elétrica relacionado ao conforto térmico pode ser avaliada analisando-se a distribuição do consumo de energia e a matriz energética brasileira, a qual revela que nos últimos anos o consumo relacionado aos setores residencial, comercial e público aumentou. No setor de edificações residencial, comercial e público, a energia elétrica é utilizada desde o processo de fabricação dos materiais até a fase final de construção. O consumo de energia também é importante em função da ocupação e operação das edificações. Relacionado com as operações pode-se citar os elevadores, as bombas, os equipamentos de automação, e de forma mais intensiva em sistemas de iluminação e condicionamento térmico [1].

Segundo [2], as edificações dos setores residenciais, público e comercial, consomem 44% do total de energia elétrica gerada no Brasil, sendo o condicionador de ar responsável por 19,9% do consumo de energia elétrica no

setor residencial, 47% no setor público e 48 % no setor comercial. Nas Figuras 1, 2 e 3 está ilustrada a distribuição dos usos finais para os setores residencial, comercial e público, respectivamente.

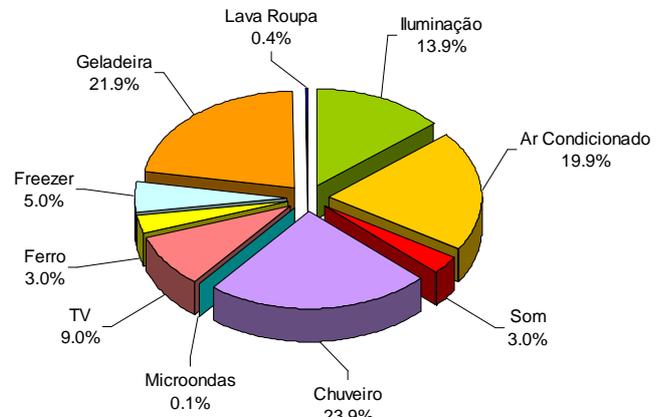


Fig. 1. Usos finais no setor residencial [2].

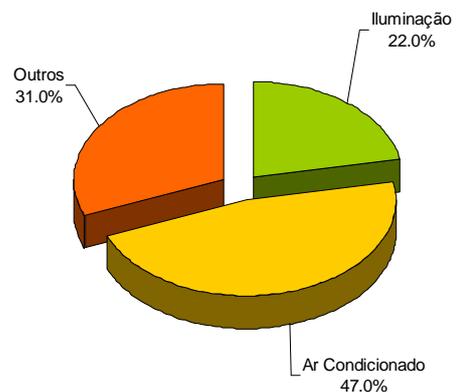


Fig. 2. Usos finais no setor comercial [2].

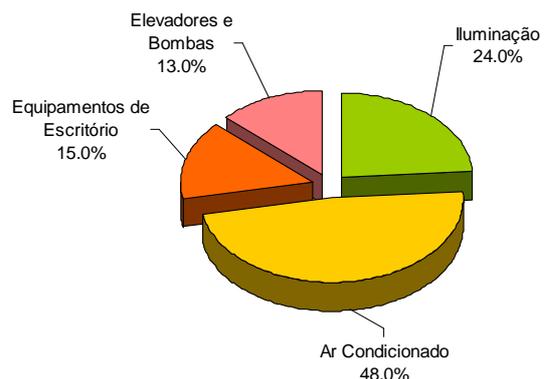


Fig. 3. Usos finais no setor público [3].

O potencial de redução do consumo em edificações pode ser resumido da seguinte forma [4]:

- 20% a 30% da energia elétrica consumida seriam suficientes para o funcionamento das edificações;
- 30% a 50% da energia elétrica consumida são desperdiçados devido a fatores tais como: falta de controles

adequados das instalações, falta de manutenção e também devido ao mau uso;

- 25% a 45% da energia elétrica são consumidos indevidamente devido à má orientação solar da edificação e principalmente pelo projeto arquitetônico inadequado de suas fachadas.

Desta forma, pelo que foi exposto, verifica-se que existe um grande potencial de economia de energia relacionado com o seu uso final utilizado para proporcionar conforto térmico.

### III. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

A conservação de energia e o uso responsável das fontes energéticas foram alternativas encontradas por muitos países para vencer a crise do petróleo na década de 70. Como consequência, o uso racional de energia passou a ser uma opção vantajosa, devido ao fato de que a partir da redução do consumo de energia elétrica seria possível adiar ou mesmo evitar a implantação de novas fontes de energia [5]. O avanço tecnológico passou a oferecer equipamentos mais eficientes e o conceito de eficiência energética passou a vigorar no cotidiano das pessoas. De acordo com [6], o conceito de eficiência energética está estritamente vinculado ao serviço energético disponibilizado e se refere à cadeia energética como um todo, isto é, desde a extração (por exemplo, extração de petróleo) ou transformação (por exemplo, geração hídrica) até o uso final (por exemplo, condicionador de ar).

Em edificações, o consumo de energia elétrica é necessário para atender aos requisitos de conforto dos usuários, tanto térmico quanto luminoso, e também em equipamentos de circulação (por exemplo, em elevadores e escadas rolantes), comunicação, entre outros. Com um bom planejamento, é possível construir um edifício que demande 45% menos energia comparativamente a outro com características equivalentes. Para tanto, é necessário adequar os recintos habitáveis às condições climáticas locais, usando materiais e técnicas apropriadas, tendo em vista o uso racional de energia [7]. Existem também estudos aplicados à demanda final de energia por setor econômico, os quais se baseiam na maior eficiência energética de equipamentos mais modernos para reduzir o consumo de energia elétrica. Para o setor comercial, estes estudos mostram que é possível diminuir a demanda de energia em até 50%, com projetos de edifícios energeticamente mais eficientes [8].

### IV. CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética do sistema de condicionamento térmico encontra-se diretamente relacionada às características das edificações, clima, uso e tipo de condicionador de ar. Através da interação destas características é possível determinar o desempenho energético e o conforto térmico das edificações [1]. O desempenho energético está ligado às trocas de calor da edificação com o meio ambiente, que variam de acordo com a temperatura ambiente, velocidade dos ventos, radiação solar e umidade relativa do local, além das condições de ocupação e de operação da edificação. Além disto, a

eficiência energética está diretamente relacionada com as questões ambientais, tendo em vista que a energia é obtida a partir do meio-ambiente e, após ser transformada e utilizada, é rejeitada em sua totalidade de volta ao meio ambiente sob diferentes formas de rejeitos [5].

Atualmente, devido à globalização da economia, o gerenciamento energético tem recebido atenção principalmente nos requisitos de eficiência e competitividade. Assim, faz-se necessário a adoção de medidas que proporcionem a racionalização no uso de energia, eliminando desperdícios. A racionalização energética nas edificações passou a ser prioritária, exigindo uma revisão dos padrões vigentes, sobretudo nos grandes centros urbanos, onde a concentração de edificações resulta numa demanda de energia bastante elevada. Neste contexto, observa-se que um dos maiores responsáveis pelo consumo elevado de energia elétrica é o sistema de condicionamento ambiental. A fim de tornar os sistemas de condicionamento de ar mais eficientes, os projetos arquitetônicos devem englobar, desde as etapas iniciais, considerações sobre o processo de aquecimento e resfriamento ambiental em particular, o qual tem como finalidade atender o conforto humano nos ambientes habitados.

O aquecimento ambiental pode ser realizado utilizando-se duas alternativas básicas: o aquecimento por meios artificiais e o aquecimento por meios naturais. Na primeira alternativa, o aquecimento é baseado na energia elétrica ou em combustíveis fósseis através do uso de equipamentos e instalações específicas (por exemplo, aquecedores, condicionadores de ar, caldeiras, entre outros). Na segunda alternativa, o aquecimento é fornecido através do calor gerado pelo sol, podendo ser utilizado como forma de melhorar as condições de conforto quando a temperatura de um determinado ambiente estiver entre 10,5°C e 20°C. Quando a temperatura ficar entre 14°C e 20°C o aquecimento pode ser obtido através do aquecimento solar passivo com isolamento térmico, que ocorre quando se utilizam os ganhos de calor interno (proveniente pessoas, aparelhos elétricos, entre outros) evitando a perda de calor da edificação para o exterior, através de isolamento térmico ou pelo uso de massa térmica com aquecimento solar passivo. Neste caso, o calor solar fica armazenado nas paredes das edificações e é devolvido para o interior do ambiente nas horas mais frias, quase sempre no período noturno. Quando a temperatura ficar entre 10,5°C e 14°C o uso do aquecimento solar passivo é indicado, porém o isolamento deve ser mais intenso, pois quanto mais baixas as temperaturas, maiores serão as perdas de calor [9].

### V. O CONCEITO *GREEN BUILDING*

Edifícios possuem em geral uma vida útil bastante longa. Desta forma, as decisões tomadas durante o seu projeto têm grande influência e implicações tanto para o futuro dos seus ocupantes como para a sociedade como um todo. Itens como o desempenho inicial e a habilidade de melhorar o desempenho ao longo do tempo assumem considerável importância.

O *Green Guide* (Guia Verde) da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) define como *green building* (edifício verde)

aquele cuja concepção é realizada tendo em vista a preservação da natureza e a ordem natural das coisas, sendo o seu projeto concebido sob a ótica de reduzir o impacto negativo humano sobre o meio natural ao seu redor, no que concerne a materiais, recursos e outros processos existentes na natureza [10].

A U.S. Green Building Council (USGBC) considera que as construções que reduzem o consumo de recursos tais como energia, materiais, água e terra, são denominados *green building* [11]. De acordo com a USGBC, as construções devem também reduzir a carga ecológica como emissão de gases de efeito estufa, substâncias de destruição da camada de ozônio, e rejeitos líquidos e sólidos, melhorando também o conforto interno do ambiente, seja térmico, lumínico ou acústico.

Edifícios representam um significativo investimento financeiro. Neste investimento devem ser observados aspectos ecológicos relacionados com cada material adquirido. O valor dos edifícios é normalmente avaliado de forma limitada e baseado em aspectos tais como: localização, qualidade, função e estética. O conceito de *green building* adiciona ainda uma série de outros aspectos a serem avaliados, gerando benefícios diretos e indiretos, tais como operar de forma passiva, serem mais eficientes no uso da energia e da água, necessidade de menores casas de máquinas e de equipamentos de infra-estrutura, consumir menos recursos para a sua construção, e apresentar tendência de ser mais simples na sua operação assegurando uma vida mais longa.

Um edifício com conceito *green building* segundo [12] pode apresentar uma economia de 30% no consumo de energia, 35% de redução de emissão de gás carbono, 30% a 50% de redução de consumo de água e 50% a 90% em relação ao descarte de resíduos. Apresentam ainda como benefícios uma redução de custos operacionais, maior avaliação do imóvel e acréscimos de valores, atendendo principalmente aos interesses emergentes das organizações no que se refere à melhoria e manutenção da qualidade de vida, no resultado do trabalho e nas relações com os consumidores.

Edifícios construídos dentro destes princípios oferecem inúmeros benefícios para a comunidade, tais como apoiar a economia local através da demanda de materiais de construção produzidos atendendo às especificações e mão de obra do local, bem como proteger os recursos naturais como água e ar.

## VI. CERTIFICAÇÃO LEED

Para conceder a certificação *green building*, entidades não governamentais como a USGBC desenvolveram um sistema de classificação chamado LEED que é mundialmente aceito e reconhecido. Para obter a certificação LEED de uma edificação, primeiramente, o projeto deve ser registrado junto ao USGBC que avaliará a edificação de acordo com os pré-requisitos exigidos para a concessão da certificação. Também será atribuída uma pontuação para cada um dos requisitos. A certificação só será efetivada após a construção do edifício e a confirmação de que os pré-requisitos foram atendidos. De acordo com o número de pontos obtidos por uma determinada edificação, esta poderá ser certificada em uma

das seguintes classificações: *platinum* (platina), *gold* (ouro) ou *silver* (prata) [11].

As pontuações do LEED são divididas nos seguintes grupos:

- *Sustainable Sites* – sustentabilidade da localização;
- *Water Efficiency* – eficiência no uso da água;
- *Energy & Atmosphere* – eficiência energética e os cuidados com as emissões para a atmosfera;
- *Materials & Resources* – otimização dos materiais e recursos naturais a serem utilizados na construção e operação da edificação;
- *Indoor Environmental Quality* – qualidade dos ambientes internos da edificação;
- *Innovation & Design Process* – inovações empregadas no projeto da edificação.

Este artigo aborda o aspecto *Energy & Atmosphere* e o edifício a ser estudado visa certificação do tipo *Core and Shell*. Nesta categoria, a certificação é realizada para o terreno e para as áreas comuns da edificação, sendo que o empreendedor não tem responsabilidade sobre o projeto das áreas internas de cada unidade.

As pontuações e pré-requisitos da categoria *Energy & Atmosphere* do *Core and Shell* devem atender a Tabela I, a qual estabelece que a edificação que visa certificação LEED deve possuir pré-requisitos mínimos, que somam um total de 4 pontos, e os créditos os quais podem chegar a um total de 17 pontos [11].

**TABELA I**  
**Energy & Atmosphere - Core and Shell**

		ITENS		PONTOS	
Obrigatório 1	Comissionamento dos Sistemas de Energia do Prédio			Pré - requisito	
Obrigatório 2	Desempenho Mínimo no uso da Energia			Pré - requisito	
Obrigatório 3	Não Uso de CFC'S			Pré - requisito	
Obrigatório 4	Otimização do Desempenho no uso de Energia	Prédios Novos	Prédios Reformados	Pré - requisito	
		14%	7%		
		17,50%	10,50%		3
		21%	14%		4
Crédito 1	Otimização do Desempenho no uso de Energia	24,50%	17,50%	5	
		28%	21%	6	
		31,50%	24,50%	7	
		35%	28%	8	
		38,50%	31,50%	9	
		42%	35%	10	
Crédito 2	Geração de Energia Renovável	Energia Renovável			
		2,50%		1	
		7,50%		2	
		12,50%		3	
Crédito 3	Melhoria no Comissionamento			1	
Crédito 4	Melhoria no Uso de Gases Refrigerantes			1	
Crédito 5	Medições e Verificações			1	
Crédito 6	Energia Verde			1	

## VII. ANÁLISE TERMO-ENERGÉTICA

A análise termo-energética das construções que visam obter a certificação LEED é realizada levando em consideração um nível mínimo de energia para o valor de referência do edifício e seus sistemas, sendo este um dos objetivos do LEED. Para tal, é necessário reduzir o consumo de energia para as cargas regulares do projeto existente, denominado edifício real, quando comparado com o projeto adaptado para atender às normas ASHRAE 90.1-2004 (edifício base). Para a realização desta comparação entre o consumo energético dos dois edifícios, o programa computacional recomendado é o *EnergyPlus*, programa oficial de simulação termo-energética de edificações do Departamento de Energia dos EUA.

Através de simulações computacionais é possível simular e avaliar diferentes parâmetros construtivos que minimizem a demanda de energia elétrica para fins de condicionamento térmico e atender ao requisito do LEED, o qual exige que o edifício real seja 14% mais eficiente do que o edifício base (conforme a norma ASHRAE 90.1-2004).

As questões relacionadas ao desempenho térmico das edificações e ao conceito *green building* são de grande importância na atualidade, sendo destacada neste artigo a eficiência energética do sistema de condicionamento térmico de edifícios residenciais que pretendem obter a certificação LEED.

O projeto deve garantir um ambiente termicamente confortável para assegurar a produtividade, saúde e o bem-estar dos ocupantes dos edifícios, atendendo às normas da ANVISA, da ABNT ou da ASHRAE 55-1992.

Os componentes controlados e analisados quanto ao consumo de energia que serão considerados na análise incluem o aquecimento e o resfriamento dos ambientes internos e equipamentos auxiliares como ventiladores e bombas.

## VIII. ESTUDO DE CASO

A fim de ilustrar os conceitos relacionados com os padrões de edifício verde, é apresentado a seguir um estudo de caso. O estudo foi realizado em um edifício residencial localizado no município de Porto Alegre, RS, Brasil. Para a avaliação energética do edifício foram realizadas simulações com o programa *EnergyPlus* utilizando diversos parâmetros construtivos. Estas simulações foram denominadas de edifício ideal, sendo que os resultados foram confrontados com o edifício real (edifício igual ao projeto arquitetônico existente, sem alteração nos parâmetros construtivos) e com edifício base no qual atende às exigências da norma ASHRAE 90.1-2004. As comparações entre os edifícios foram realizadas com base no consumo de energia elétrica para cada um deles. Assim, é avaliado o consumo anual através do somatório do consumo mensal da edificação, estes relacionados aos sistemas de *HVAC*, iluminação e equipamentos elétricos. Para estabelecer o consumo energético através do *EnergyPlus*, foi utilizado o arquivo climático com as médias anuais de Porto Alegre, o qual, foi desenvolvido e obtido pelo Laboratório de Vapor e Refrigeração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

(Lafriq/UFRGS). Este arquivo climático apresenta dados horários para as 8.760 horas de um ano típico.

O edifício residencial simulado possui 15 andares e 5 tipologias de apartamento. Para as simulações realizadas no *EnergyPlus* cada tipologia foi definida como uma zona térmica. Estas zonas são definidas como um volume de ar a uma temperatura uniforme [12]. Desta forma, cada zona térmica define um sistema independente de controle térmico. A divisão da edificação em zonas térmicas possibilitou analisar separadamente a resposta termo-energética das diferentes tipologias. Desta forma, foi possível analisar apenas uma tipologia, sendo esta a que apresentou a pior situação, isto é, maior consumo energético anual, uma vez que possui vasta área envidraçada orientada para o lado oeste.

De acordo com a metodologia utilizada para avaliar o consumo de energia da tipologia analisada, foi primeiramente realizado um estudo detalhado do projeto arquitetônico existente, descrevendo as zonas térmicas a serem simuladas e as fontes de calor da edificação, provenientes da ocupação, taxa metabólica, resistência térmica das vestimentas, equipamentos elétricos, iluminação, sistema de condicionamento de ar (*HVAC*) e das propriedades térmicas dos materiais construtivos. Posteriormente, os efeitos de alterações nos parâmetros construtivos (tipos de vidros e elementos externo para fachada) foram simulados e avaliados.

**TABELA II**  
**Dados da tipologia analisada para o caso real**

ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS
Paredes Externas	pastilha porcelanizada – 0,02 m argamassa – 0,1 m bloco cerâmico furado – 0,19 rebocada na cor branca - 0,02 m OBS: na cozinha e área de serviço na parte interna da parede é composta por azulejo branco
Paredes Internas Hall, Sacada e Dormitório	rebocada na cor branca – 0,02 m tijolo furado – 0,14 m rebocada na cor branca – 0,02 m
Paredes Internas Cozinha, Área de Serviço e Banheiro	azulejo na cor branca – 0,02 m argamassa – 0,01 m tijolo furado – 0,14 m argamassa – 0,1 m azulejo na cor branca – 0,02 m
Piso/Forro	porcelanato na cor creme (sala e varanda) – 0,02 m laminado de madeira (quartos) – 0,07 m cerâmica creme (cozinha/área de serviço) – 0,02 m argamassa – 0,01 m laje nervurada de concreto -0,05 m argamassa – 0,01 m forro de gesso na cor branca – 0,01 m
Janela	Vidro simples incolor - 3 mm câmara de ar - 10 mm vidro simples incolor - 3 mm OBS: nos quartos as janelas possuem veneziana
Nº de Pessoas	2
Funcionamento Ar- Condicionado	24 horas
Iluminação	potência total (364 W)
Equipamentos Elétricos	televisão geladeira

A primeira simulação realizada foi a do caso real, onde foi analisado o consumo energético anual do edifício desenvolvido inicialmente, para o qual não havia interesse de obter a certificação LEED. Na tabela II estão descritas as características da tipologia analisada para o caso real.

Na Figura 4 é mostrado o consumo mensal durante o período de um ano para a tipologia que está sendo avaliada. Para esta tipologia o consumo anual para o caso real é de 6650,75 kWh.



Fig. 4. Consumo mensal de energia elétrica (caso real).

O segundo caso constou na simulação do edifício base, no qual foram adaptados os parâmetros construtivos do edifício real com base na norma ASHRAE 90.1-2004. Para atender à norma foram realizadas as seguintes alterações no projeto real: nas paredes externas foi acrescentado um isolante de poliestireno expandido de 0,02 m de espessura entre o bloco e a pintura interna; nas esquadrias, os vidros foram alterados de 3 mm para 6 mm de espessura; foram colocadas cortinas internas e redução do tamanho das áreas envidraças para no máximo de 50% da área em cada parede. Outra exigência para calcular o valor do consumo energético anual final do edifício base é que seja realizada uma média do consumo anual do edifício orientado para o norte, sul, leste e oeste. Nesta análise verificou-se que o valor final do caso base (Norma ASHRAE 90.1-2004) consome 51 % a menos de energia elétrica do que o caso real (Figura 5), passando o seu consumo anual ser 3.236,75 kWh.

Na terceira etapa foram realizadas simulações que tiveram como base o edifício real, sendo utilizadas sempre as mesmas características térmicas e físicas dos materiais construtivos (Tabela II), havendo, no entanto, modificações nos vidros utilizados nas janelas. Foram simuladas 12 configurações de vidros sendo que os resultados estão descritos na Tabela III. Os dados estão apresentados em ordem crescente do

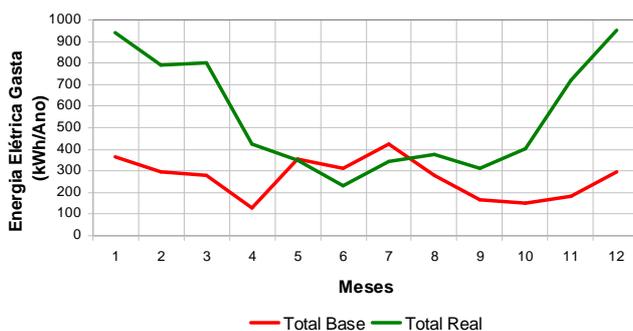


Fig. 5. Consumo mensal de energia (caso real x caso base).

desempenho de cada configuração das vidraças e expressos através da porcentagem de redução do consumo energético de edifício ideal em relação ao edifício base. Todos os vidros apresentados na Tabela III são laminados de 8 mm (o laminado de 8 mm é composto de vidro de 4 mm com uma película PVB - película de polivinil butiral - mais outro vidro de 4 mm) tendo sido utilizados como vidros externos na esquadria composta de vidros duplos e câmara de ar de 10 mm. O vidro interno utilizado em todas as simulações foi o incolor de 3 mm de espessura.

TABELA III  
Tipos de vidros simulados

Nome do laminado	Descrição	Resultado R1 (%)
L1	Eco Lite Verde 4 mm laminado c/ PVB incolor e vidro verde 4 mm	30,29%
L2	Eco Lite Verde 4 mm aplicado em face 3 laminado c/ PVB incolor e vidro verde 4 mm	29,40%
L3	Eco Lite Verde 4 mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4 mm	21,91%
L4	Reflectaflo Verde 4 mm laminado c/ PVB incolor e vidro verde 4 mm	36,67%
L5	Reflectaflo Verde 4 mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4 mm	33,16%
L6	Cool lite Prata Neutro 4 mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4 mm	40,03%
L7	Cool lite Azul Intenso 4 mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4 mm	38,20%
L8	Cool lite Prata 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4 mm	39,53%
L9	Cool lite Cinza 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4 mm	32,75%
L10	Cool lite Verde Intenso 4 mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4 mm	31,79%
L11	SKN 4 mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	29,27%
L12	KNT 4 mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	30,05%

TABELA IV  
Características físicas e óticas dos vidros utilizados

Característica Laminado (L)	L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6
Transmitância Visível (%)	51	51	58	26	26	13
Refletância Visível (Externa) (%)	12	10	13	40	37	28
Refletância Visível (Interna) (%)	10	12	12	43	53	38
Transmitância Solar (%)	20	20	37	17	22	11
Refletância Solar (Externa) (%)	8	6	7	22	20	24
Refletância Solar (Interna) (%)	6	8	10	24	37	31
Emissividade (Front Side) (%)	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Emissividade (Back Side) (%)	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Condutividade (w/mK)	1	1	1	1	1	1

**TABELA V**  
**Características físicas e óticas dos vidros utilizados**

Característica Laminado (L)	L 7	L 8	L 9	L 10	L 11	L 12
Transmitância Visível (%)	13	18	26	30	48	42
Refletância Visível (Externa) (%)	22	26	18	32	17	14
Refletância Visível (Interna) (%)	36	34	31	22	10	10
Transmitância Solar (%)	11	13	21	27	33	23
Refletância Solar (Externa) (%)	19	25	16	20	20,5	11
Refletância Solar (Interna) (%)	32	32	26	21	20.1	20
Emissividade (Front Side) (%)	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Emissividade (Back Side) (%)	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Condutividade (w/mK)	1	1	1	1	1	1

Os resultados apresentados na última coluna da Tabela III referem-se à redução do consumo de energia elétrica do edifício real (R1), alterando as características das esquadrias, isto é, substituindo os vidros incolores externos por vidros laminados. As Tabelas IV e V apresentam as características físicas e óticas dos vidros laminados (8 mm) utilizados nas simulações [13].

Com base nas análises dos principais vidros laminados existentes no mercado, estabeleceu-se como objetivo fazer com que o edifício atenda aos pré-requisitos da categoria *Energy & Atmosphere* do *Core and Shell*, a qual estabelece que o edifício real deva consumir no mínimo 14% menos de energia elétrica em relação ao edifício base. Desta forma, foram realizadas novas simulações que tiveram como base o edifício real, sendo utilizadas sempre as mesmas características termofísicas dos materiais construtivos (Tabela II), sendo acrescentados alguns materiais aplicados na fachada externa da edificação. As alternativas que apresentaram os melhores resultados foram:

- alternativa 01 – esquadria com vidros duplos (L 1 - Eco Lite Verde 4 mm laminado com PVB incolor e vidro verde 4 mm + 10 mm de câmara de ar + incolor de 3 mm) e tela externa motorizada nas áreas envidraçadas.

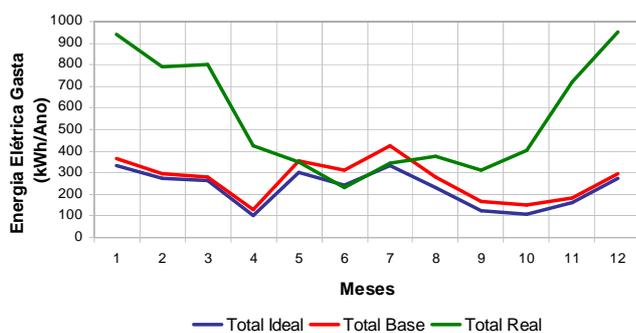


Fig. 6. Consumo mensal de energia elétrica (caso real x caso base x caso ideal).

- alternativa 02 - esquadria com vidros duplos (L 1 - Eco Lite Verde 4 mm laminado com PVB incolor e vidro verde 4 mm + 10 mm de câmara de ar + incolor de 3 mm) com *brises* horizontais nas áreas envidraçadas.

O consumo de energia elétrica da Alternativa 01 (Figura 6), referente ao sistema de condicionamento de ar, apresenta 2.749,72 kWh/ano, sendo 1.129,58 kWh/ano para aquecimento, 1.325,55 kWh/ano para refrigeração e 294,57 kWh/ano para ventilação. O consumo anual desta alternativa reduziu em 15% quando comparada ao caso base passando de 3.236,75 kWh para 2.749,72 kWh. O mês de janeiro foi o de maior consumo, 334,52 kWh e o mês de abril o de menor consumo, 103,13 kWh.

A Alternativa 02 consome 15,4 kWh a menos do que o caso base. O consumo de energia elétrica (Figura 7), referente ao sistema de condicionamento de ar apresenta 2.737,58 kWh/ano, sendo para aquecimento 1.378,10 kWh/ano, para refrigeração 1.102,69 kWh/ano e para ventilação 256,79 kWh/ano. O mês de maio foi o de maior consumo, 341,23 kWh e o de abril o de menor consumo, 88,70 kWh.

Para as duas alternativas apresentadas o consumo energético do edifício real reduziu mais de 14% quando comparado com o consumo do edifício base. Esta redução atendeu a obtenção dos pré-requisitos necessários da categoria *Energy & Atmosphere* da certificação LEED.

Com o objetivo de estimar os custos com a tecnologia de vidros utilizadas nas simulações, na Tabela VI estão apresentados também os custos por metro quadrado de todos os vidros utilizados nas análises.

Com base nas análises apresentadas, verifica-se que com uma técnica construtiva simples é possível diminuir as trocas térmicas do interior com o exterior, mantendo o calor interno e conseqüentemente utilizando menos energia no uso do condicionador de ar.

## IX. CONCLUSÃO

As soluções construtivas e os materiais utilizados nas edificações são requisitos responsáveis pelo consumo de energia das edificações. Considerando o custo da energia elétrica e a sua importância estratégica, todos os setores que utilizam energia de forma excessiva deveriam adotar medidas para seu uso racional. A correta utilização de materiais construtivos possibilita o uso de recursos naturais que minimizam os gastos energéticos nos sistemas de

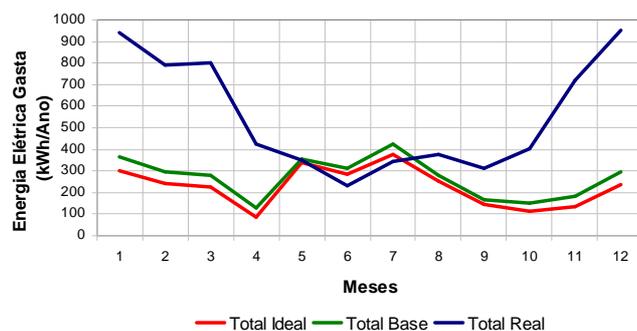


Fig. 7. Consumo mensal de energia elétrica (caso real x caso base x caso ideal).

**TABELA VI**  
**Custos dos vidros e laminados R\$/m<sup>2</sup>**

Nome do vidro e laminado (L)	Descrição	R\$/m <sup>2</sup>
Vidro Simples	Vidros simples incolor de 3mm	R\$ 25,00
Laminado 1	Eco Lite Verde 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro verde 4mm	R\$ 189,00
Laminado 2	Eco Lite Verde 4mm aplicado em face 3 laminado c/ PVB incolor e vidro verde 4mm	R\$ 189,00
Laminado 3	Eco Lite Verde 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	R\$ 189,00
Laminado 4	Reflectaflo Verde 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro verde 4mm	R\$ 185,00
Laminado 5	Reflectaflo Verde 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	R\$ 185,00
Laminado 6	Cool lite Prata Neutro 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	R\$ 175,00
Laminado 7	Cool lite Azul Intenso 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	R\$ 180,00
Laminado 8	Cool lite Prata 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	R\$ 185,00
Laminado 9	Cool lite Cinza 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	R\$ 187,00
Laminado 10	Cool lite Verde Intenso 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	R\$ 195,00
Laminado 11	SKN 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	R\$ 480,00
Laminado 12	KNT 4mm laminado c/ PVB incolor e vidro incolor 4mm	R\$ 495,00

climatização, conforme apresentado neste artigo. Analisando os gráficos do consumo energético anual observou-se que o edifício base tem um consumo energético 51,3 % menor em relação ao edifício real. Esta redução foi obtida a partir da utilização de materiais de alto rendimento baseados na norma ASHRAE 90.1-2004. Verificou-se também que alterando alguns parâmetros construtivos, como utilização de brises, vidros laminados, e tela externa de proteção, pode-se reduzir o consumo energético do edifício real em até 15,4% em relação ao edifício base. Esta redução permitiria a obtenção dos pré-requisitos necessários da categoria *Energy & Atmosphere* da certificação LEED, uma vez que a exigência é que o edifício real consuma 14% a menos de energia elétrica do que o edifício base.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. G. Baltar, *Redução da Demanda de Energia Elétrica Utilizando Parâmetros Construtivos Visando ao Conforto Térmico*, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- [2] R. Lamberts, *Eficiência Energética e Mudanças Climáticas*, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- [3] Ministério de Minas e Energia (MME), *Eficiência Energética nas Instituições Públicas de Ensino*. EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2007.
- [4] J. L. Mascaró, L. E. R. Mascaró, *Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios*, 2ª edição, Sagra-DC Luzzatto, Porto Alegre, 1992.

- [5] J. A. P. Balestiere, *Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor*, Editora da UFSC, Florianópolis, 2002.
- [6] J. W. M. Kaehler, *Un outil d'Aide à la Décision et de Gestion des Actions pour la Maîtrise de la Demande d'Énergie - de la Conception au Développement*, Tese de Doutorado, Ecole Nationale Supérieure des Mines, Paris, 1993.
- [7] PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia, *Manual de Conservação de Energia Elétrica – Edifícios Públicos e Comerciais*, Eletrobrás, 1994.
- [8] João Antônio Moreira Patusco, *Balanço Energético Nacional*, Ministério das Minas e Energia, Brasília, 2003.
- [9] R. Lamberts, L. Dutra, F. O. R. Pereira, *Eficiência Energética na Arquitetura*, PW Editores, São Paulo, 1997.
- [10] ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *ASHRAE Green Guide*. Atlanta, 2003.
- [11] USGBC - U.S. Green Building Council, *LEED for New Construction (LEED-NC) Version 2.2*, Washington, 2007.
- [12] U. S. Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy, *EnergyPlus Manual, Version 1.2.3*, Estados Unidos, 2005.
- [13] CEBRACE - Companhia Brasileira de Cristal, *Dados Fornecidos pelo Fabricante*. São Paulo, 2008.

#### DADOS BIOGRÁFICOS

**Maria Fernanda Martinez:** nascida em 06/08/80 em São Paulo/SP é arquiteta e urbanista (2003), especialista em arquitetura sustentável e construção verde (2007) e mestranda de engenharia mecânica da UFRGS. Atualmente é sócia-diretora da empresa EficientySul, responsável por análises de arquitetura com foco na sustentabilidade, eficiência energética e conforto ambiental.

**Marta Baltar Alves:** nascida em 25/02/79 em Pelotas/RS é arquiteta e urbanista (2003) e mestre de engenharia elétrica pela PUCRS. Atualmente é sócia-diretora da empresa EficientySul, responsável por análises térmicas e energéticas de edificações por meio de simulação computacional.

**Luís Alberto Pereira:** nascido em 17/12/1963 em Santa Rosa/RS é engenheiro eletricitista (1986), mestre em engenharia elétrica pela UFSC (1992) e doutor pela Universidade de Kaiserslautern (1997). Desde 1998 atua como professor no departamento de engenharia elétrica e no Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUCRS.

**Paulo Otto Beyer:** nascido em 25/11/52 em Cruz Alta/RS é engenheiro mecânico (1976), mestre (1988) e doutor em engenharia mecânica pela UFRGS (1998). Atualmente é professor adjunto da UFRGS e diretor de ensino e treinamento da ASBRAV e conselheiro - Serviço Nacional da Indústria.