

Simulação e Análise de Métodos para o Aumento da Eficiência Termoenergética de uma Edificação

João Vicente Akwa

Universidade Federal do ABC, Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas. Santo André, SP, Brasil.

E-mail: joao.akwa@ufabc.edu.br

Gabriel de Oliveira e Souza Petraglia

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Novo Hamburgo. Novo Hamburgo, RS, Brasil.

Henrique de Araujo Lauffer

E-mails: gabriel-petraglia@uergs.edu.br,

Raiana Schirmer Soares

*henrique-lauffer@uergs.edu.br,
raiana-soares@uergs.edu.br*

Recebido em: 18 jun. 2016. Aceito: 09 mar. 2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.31.171-193>

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo sobre algumas alternativas de redução de custos energéticos em edificações. Foi utilizado para as simulações parte da estrutura do prédio da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, localizado no município de Novo Hamburgo, RS, Brasil. A estrutura analisada consiste em uma construção de alvenaria e possui dois andares, apresentando área total de 1919,14 m². Nela, situam-se salas de aula e laboratórios utilizados pela Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha e pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS). A simulação foi realizada no software de simulação dinâmica

de edificações EnergyPlus, criado pelo Departamento de Energia (DOE) e gerenciado pelo NREL (National Renewable Energy Laboratory), ambos situados nos EUA. Foram estabelecidas como propostas de redução de custos a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas de LED compatíveis, a troca dos vidros comuns por vidros com menor transmitância e maior refletância, a implementação de um telhado verde e a implementação de um controle de temperatura anual. Levando-se em conta o consumo real de energia elétrica do prédio, através da simulação, foram avaliados os impactos causados por tais alternativas no consumo de energia elétrica do prédio. Os resultados obtidos através das simulações demonstram o significativo impacto causado pela troca das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, bem como pelo controle do termostato. O telhado verde e a troca dos vidros, por sua vez, não implicaram em grandes reduções de consumo.

Palavras-chave: Edificação. Simulação. Eficiência energética.

Abstract

Simulation and Analysis of Methods for Increasing the Thermoenergetic Efficiency of a Building

This paper presents a study regarding a few alternatives for the reduction of energy costs in buildings. The place assessed to develop the simulations was part of the structure of the Technical School Liberato Salzano Foundation building, located in Novo Hamburgo, RS, Brazil. The analyzed brick construction building includes two floors and presents a total area of 1919.14 m², which consists of classrooms and laboratories used by Technical School Liberato Salzano Foundation and the State University of Rio Grande do Sul

(UERGS). The simulations were performed within the dynamic simulation software for buildings called EnergyPlus, created by the Department of Energy (DOE) of the United States and managed by NREL (National Renewable Energy Laboratory). The alternatives studied in this paper for the reduction of electricity costs were (1) the replacement of tubular fluorescent lamps for compatible LED lamps; (2) the changing of window's simple glasses for glasses with less transmittance and greater reflectance; (3) the implementation of a green roof and (4) the implementation of an annual temperature control system. Taking into account the real electric energy consumption of the building, the impacts induced by these alternatives in the building were evaluated through the simulations. The results obtained from the performed simulations demonstrated a considerable effect caused by the replacement of tubular fluorescent lamps for LED lamps as well as by the implementation of an annual temperature control system. The changing of window's simple glasses and the implementation of a green roof, by their turn, did not result in major reductions.

Keywords: Buildings. Simulation. Energy Efficiency.

Introdução

No que se refere à avaliação de sua matriz elétrica, o Brasil se destaca mundialmente por apresentar alta dependência de recursos renováveis, especialmente de recursos hídricos, que representaram uma parcela de 59,8% de toda a oferta interna de energia elétrica em 2014 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015). No entanto, um estudo divulgado pelo Instituto Nacional de Eficiência

Energética aponta que, de toda a energia útil gerada no Brasil, cerca de um terço é desperdiçada em perdas (HOLLANDA; ERBER, 2009).

O consumo de energia nas edificações corresponde a cerca de 50% da energia elétrica nacional consumida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA, 2015). Segundo uma pesquisa realizada Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), práticas de eficiência energética praticadas durante uma reforma predial podem reduzir o consumo energético em até 30%; quando praticadas durante a construção do prédio, esta redução pode chegar até 50%. Tais indicadores ilustram a magnitude do impacto que a eficiência energética implica em um cenário nacional, pois, de acordo com estes índices, a redução máxima de consumo de energia elétrica para edificações que venham a ser modificadas, implicaria em uma redução de 15% da demanda nacional de energia elétrica (PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, c2006).

Ações que buscam o uso eficiente da eletricidade resultam não somente em uma menor demanda energética nacional – o que implica na redução dos impactos ambientais relacionados à geração de energia elétrica – mas também em grandes reduções da tarifa elétrica do consumidor, que implica impactos socioeconômicos positivos no desenvolvimento do país. Em edifícios comerciais e públicos, cerca de 64% do consumo de energia elétrica corresponde a usos de condicionamento e iluminação (GELLER, 1994). Em função disso, o presente estudo teve como objetivo fornecer uma análise quantitativa e qualitativa da redução do consumo de energia elétrica a partir da aplicação de alternativas que visem a diminuir os gastos referentes à climatização e iluminação do prédio da Fundação Esco-

la Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, localizada no município de Novo Hamburgo.

Materiais e Métodos

A área da edificação em estudo é de 1919,14 m² sendo em uma construção de alvenaria dividida em dois pavimentos. A partir da coleta dos dados dimensionais do prédio e com o auxílio do software SketchUp, foi elaborada a maquete da estrutura, ilustrada na Figura 1 com diferentes perspectivas.



Figura 1 - Representação - maquete - do prédio elaborada a partir da coleta de dados estruturais do prédio.

A análise foi feita através do emprego de diferentes alternativas relacionadas ao ganho e à perda de calor pelo prédio (que afetam o comportamento termoenergético da edificação), que resultam em variações no projeto de implementação de condicionadores de ar, bem como no conforto térmico em geral. Modificações de parâmetros que afetam o consumo de energia e o comportamento termoenergético do prédio foram propostas e testadas. Tais modificações foram avaliadas através do software de uso livre Energyplus.

Este software é utilizado como software oficial do governo dos EUA para simulações termoenergéticas em edificações. O Energyplus obtém dados de consumo energético de uma edificação através da aplicação das equações de conservação de energia para todas as partes da edificação, considerando para os cálculos, também, a localização geográfica e os dados climáticos.

O desenvolvimento do estudo se deu em duas etapas:

- a) desenho e caracterização estrutural da edificação no software Sket-chup em conjunto com o plugin Openstudio;
- b) modelagem e simulação através da utilização do software Ener-gyPlus, onde foram ajustados os parâmetros que viriam a propiciar a análise da eficiência energética do local.

Para a elaboração do desenho tridimensional, inicialmente, foram obtidos os dados dimensionais do prédio e das salas em estudo. No programa Sketchup, além do desenho da estrutura, foram traçadas as zonas de sombreamento, visto que elas implicam em importantes mudanças no que diz respeito à climatização e iluminação do local em que estão dispostas. Ademais, todas as aberturas do prédio foram cautelosamente desenhadas, implicando em uma análise final mais segura.

Após essa etapa, através da utilização do EnergyPlus, analisou-se os resultados finais do estudo de consumo energético para o sistema tal qual ele se encontra no momento. Para tanto, foram coletadas informações acerca dos equipamentos elétricos disponíveis

em cada sala prevista no estudo, afim de que se pudesse calcular a potência instalada em cada uma.

A partir de uma análise dos resultados da situação atual da edificação, foram propostas mudanças que impliquem na redução de consumo energético do prédio, alguns parâmetros e modelos foram estudados e propostas simulações, descritos nos itens 2.1 ao 2.4. Cada uma das propostas foi realizada e comparada com a simulação inicial. Tais simulações não foram cumulativas, isto é, analisou-se individualmente cada projeção para que, no fim, fosse possível que se elaborasse uma comparação geral.

Alteração das lâmpadas fluorescentes tubulares para lâmpadas LED

Utilizou-se como parâmetro de análise as potências equivalentes entre as lâmpadas fluorescente tubular LUMILUX T8 e a lâmpada LED tubular SubstiTUBE Basic, ambas da marca Osram. Com base no manual das lâmpadas escolhidas para comparação, observou-se que, apesar de ambas as lâmpadas apresentarem potências de 18 W, a lâmpada de LED proporciona uma redução de 40% de consumo para o mesmo fluxo luminoso que a lâmpada fluorescente tubular.

Controle do Termostato

Afim de que não houvessem grandes picos de consumo e para que a temperatura fosse ajustada para as temperaturas de inverno e verão, o controle do termostato foi mantido em 20°C que é, conforme a Norma Regulamentadora 17 do Ministério do Trabalho e

Emprego (BRASIL, 1978), a temperatura mínima para conforto térmico em ambiente de trabalho no inverno.

Troca de vidros das janelas

Substituiu-se os vidros de 3 mm de espessura por vidros com espessura de 0,5 mm, que alteraram a transmitância de 0,837 para 0,656 e a refletância de 0,075 para 0,249, afim de que se diminuíssem gastos com a climatização sem que isso implicasse em maiores demandas de iluminação artificial, pois tal modificação não compromete o aproveitamento de luz natural.

Implementação do telhado-verde

Simulou-se a implementação de uma camada vegetal sobre o telhado do prédio, afim de que essa auxiliasse na redução de consumo com a climatização, uma vez que as plantas absorveriam parte da irradiação sobre a estrutura. A área do telhado considerado foi de 894,44 m².

Análise tarifária da instalação

Finalmente, com base nas Tarifas e Taxas e conforme Tabela 1 disponíveis no site da AES Sul (AES SUL, 2015), elaborou-se um estudo financeiro com o objetivo de ilustrar as possíveis diminuições de custos geradas com o incremento de eficiência energética na edificação.

Tabela 1 - Tarifas e Taxas de acordo com AES Sul (2015).

Tensão	Alta 23kV
Tarifa	HV Dem. Classes (13,8 – 23 kV)
Valor Tarifa Energia	0,2888
PIS	0,9187%
CONFINS	4,2314%
ICMS	Isento

Resultados e Discussão

A partir da coleta de dados acerca dos equipamentos elétricos, elaborou-se a Tabela 2. Com o auxílio de informações da AES Sul, foram calculadas as potências totais por sala (AES Sul, 2015).

Inicialmente, simulou-se o consumo do prédio sem as adaptações, levando em consideração todos os equipamentos e seus consumos, bem como suas características dimensionais e variações de demanda anual. A partir dos dados obtidos, foram elaboradas as Figuras de 2 a 10.

Tabela 2 - Equipamentos Elétricos por sala

	Lâmpadas (40W)	AR COND (18BTU)	AR COND (12BTU)	Ventilador	Geladeira	Computador	Cadeira/Chaleira	Bebedouro	Micro-ondas	Demais (100W)
SALA 203	8	-	1	-	-	2	1	-	1	1
SALA PROFESSORES	8	-	1	-	-	2	1	-	1	-
SALA 204	8	-	1	-	-	2	1	-	1	-
LABORATÓRIO BIOTECNOLOGIA	20	-	1	5	-	-	-	-	-	3
DESENHO TÉCNICO	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SALA 206	20	-	-	2	-	-	-	-	-	-
LABORATÓRIO PNEMATICA	20	-	-	-	-	-	-	-	-	3
LABORATÓRIO 4	22	-	-	2	-	-	-	-	-	5
LABORATÓRIO INFORMÁTICA	20	-	-	2	-	-	-	-	-	2
SALA 208	20	-	-	2	-	-	-	-	-	-
SALA 216	6	-	-	1	-	-	-	-	-	-
LABORATÓRIO CRIATIVIDADE	20	-	-	2	-	-	-	-	-	2
SALA 207	20	-	-	2	-	-	-	-	-	-
AUDITÓRIO	36	4	-	-	-	-	-	-	-	5
SALA ARTÍSTICA	20	-	-	2	-	-	-	-	-	-
CORREDOR 2	28	-	-	-	2	-	-	1	-	-
SANITÁRIO 4	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SANITÁRIO 2	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SALA 209	18	-	-	2	-	-	-	-	-	-
CORREDOR 1	28	-	-	-	2	-	-	1	-	-
SALA 205	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SANITARIO 3	6	-	-	2	-	-	-	-	-	-
SANITARIO 1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Observa-se a partir da Figura 2 que iluminação representa ser a demanda de eletricidade mais importante da instalação com uma parcela de 44% do total da instalação. O consumo total de energia elétrica foi de 101.245,54 kWh para a simulação descrita.

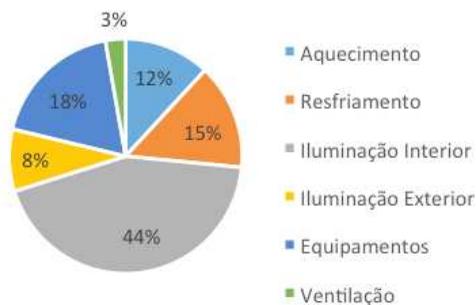


Figura 2 - Demanda de Eletricidade por Uso

A Figura 3 ilustra que, apesar da sala 203 ser consideravelmente menor que as demais, consome mais energia por m² que salas maiores como o auditório porque apresenta mais equipamentos elétricos.



Figura 3 - Ambientes de acordo com o consumo em W/m^2

A Figura 4, por sua vez, ilustra o consumo atual de energia elétrica por mês na área delimitada de análise no prédio e o seu pico entre os meses de Julho e Agosto.

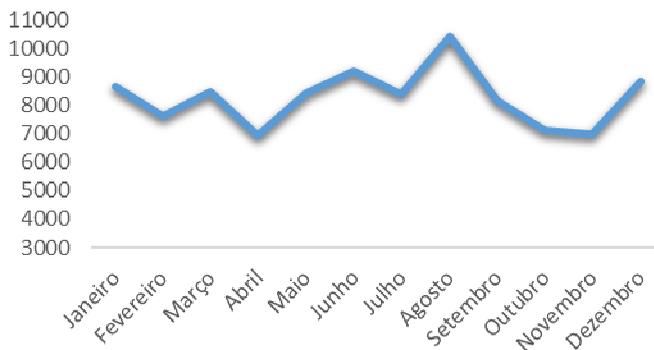
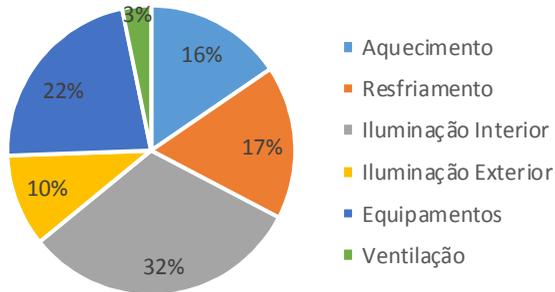


Figura 4 - Consumo total mensal de energia elétrica (kWh) por mês.

Alteração das lâmpadas fluorescentes tubulares para lâmpadas LED

A Figura 5 ilustra a redução de consumo de energia elétrica a partir da troca das lâmpadas do interior do prédio de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de LED. O consumo total foi de 83.884,64 kWh, que equivale a uma redução de 17,15% em relação a situação atual. Tal redução deve-se tanto ao fato da iluminação representar uma grande fatia do consumo total de energia elétrica quanto ao fato das lâmpadas LED apresentarem uma redução de 40% de consumo quando comparadas as fluorescentes utilizadas. A iluminação no interior do prédio que antes era responsável por 44% do consumo total de energia elétrica, passou a ser responsável por 32% da demanda.

Figura 5 - Demanda de eletricidade (kWh) por uso após a troca de lâmpadas.



Controle do termostato

Depreende-se da Figura 6 o impacto no sistema de aquecimento do prédio que passou de 12% para 5%, enquanto o sistema de resfriamento aumentou apenas 1%. Segundo o website da cidade de Novo Hamburgo, a cidade pode atingir mínimas de temperatura de 1°C e máximas de 40°C (NOVO HAMBURGO, 2015). Tal variação implica em um sistema de climatização preocupado com o conforto tanto no inverno quanto no verão e, por essa razão, escolher uma temperatura ideal para ambas estações resultou em uma mudança significativa em um cenário anual. Esta alteração equivale a uma redução de energia elétrica de 9,82% em relação a situação atual.

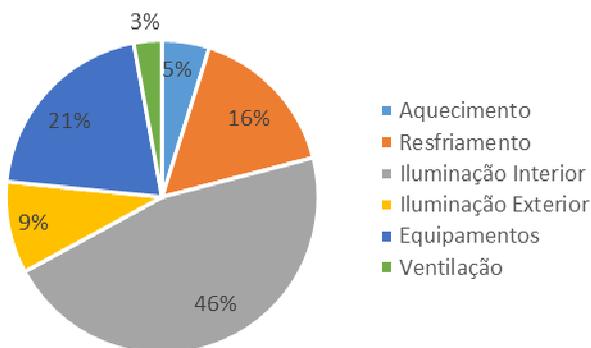


Figura 6 - Demanda de eletricidade por uso (kWh) com controle de termostato

Telhado verde e troca de vidro

As alterações, troca de vidros e implementação do telhado-verde, não apresentaram uma redução significativa em relação à situação inicial de consumo de energia elétrica da instalação. A implementação de um telhado verde na edificação, representa uma redução de 3,59% do consumo anual, e a troca dos vidros representa uma redução de 2,9% em relação à situação atual. A razão pela qual o telhado verde e a troca dos vidros não apresentaram grande efeito sob o consumo é porque o prédio não apresenta muitos ambientes climatizados com condicionadores de ar e, portanto, não é perceptível a função de inércia térmica proporcionada pelo telhado verde no verão em relação ao consumo de energia elétrica, bem como a proporcionada pelos vidros no inverno.

Situação final

A partir da implementação de todas as modificações, a Figura 7 ilustra o considerável aumento da participação dos equipamentos elétricos na demanda do edifício, bem como a redução da participação da iluminação, quando comparados à Figura 2. Ademais, a Figura 8 ilustra uma representativa mudança no consumo mensal de energia elétrica que, na Figura 4 apresentava um pico isolado no inverno e, agora, apresenta dois picos menores e próximos de maior consumo no verão e inverno.

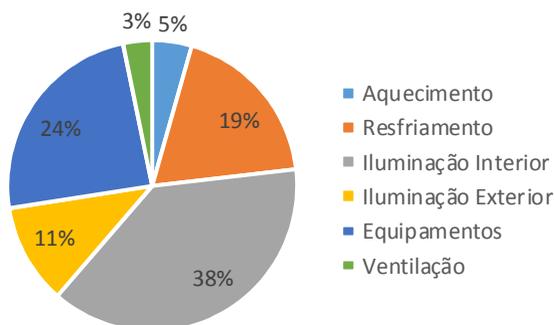


Figura 7 - Demanda de eletricidade por uso (kWh) após os ajustes propostos.

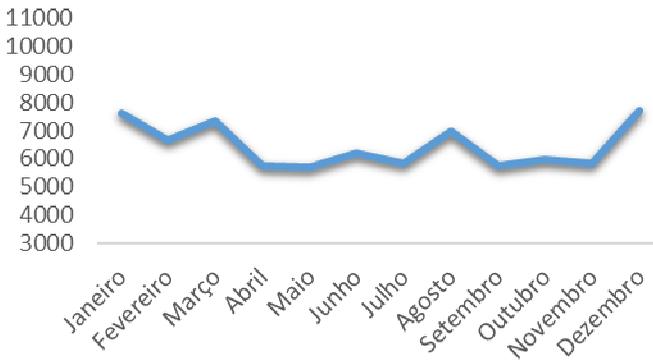


Figura 8 - Consumo por mês com todos os ajustes propostos

Comparação das simulações realizadas

A Figura 9 ilustra o relevante impacto da implementação do controle do termostato sobre o equilíbrio de consumo mensal de energia elétrica do edifício ao longo do ano. Comparando a Figura 4 com as Figuras 8 e 9, é visível a redução do pico de consumo que, no primeiro, correspondia ao aquecimento do prédio no período de inverno e que gerava grande impacto no consumo anual de energia elétrica.

A Tabela 3 e a Figura 10, por sua vez, demonstram a participação de cada modificação na redução dos 26,53% de consumo de energia elétrica total obtido, onde a iluminação se destaca como principal agente de redução, seguida pelo controle de termostato que corroboraram, juntamente com a implementação do telhado-verde e a substituição dos vidros, embora com menor significância, para o consumo final de 74.387,1 kWh.

Tabela 3 - Reduções de consumo de eletricidade após mudanças propostas.

Simulação	Total (kWh)	Redução consumo eletricidade
Base	101.246,00	-
Vidro	98.307,04	2,90%
Telhado Verde	97.606,56	3,59%
Ajuste Termostato	91.306,43	9,82%
Iluminação LED	83.884,64	17,15%
Todas as Alterações	74.387,10	26,53%

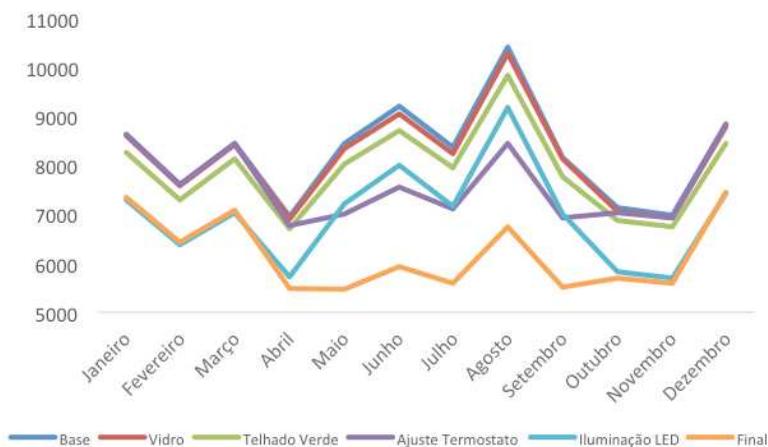


Figura 9 - Comparação das simulações em relação ao consumo mensal

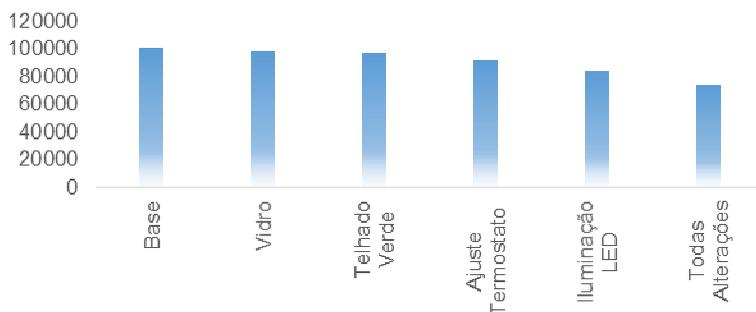


Figura 10 - Consumo total de eletricidade por simulação

Análise Financeira

Com base na composição da tarifa do mês de novembro de 2015 retirada do website da concessionária de energia AES Sul conforme Tabela 1, elaborou-se um comparativo da variação econômica gerada com as modificações propostas. A Tabela 4 ilustra a redução anual de 26,5% da conta de energia elétrica quando comparada com a atual, demonstrando o significativo impacto positivo das mudanças propostas

Tabela 4 - Análise Financeira

	Simulação Base	Simulação Final	Redução
Energia (kWh)	101.245,54	74.387,10	26.858,44
Custo (R\$)	21.148,17	15.537,98	5.610,19
PIS (R\$)	930,14	683,39	246,75
CONFINS (R\$)	4.284,10	3.147,62	1.136,49
ICMS (R\$)	ISENTO	ISENTO	ISENTO
Total (R\$)	26.362,41	19.368,99	6.993,43

Conclusões

Através deste estudo, observou-se a influência que uma análise prévia do perfil de consumo energético em uma edificação pode causar sob a demanda total de energia elétrica e, logo, nos seus custos com eletricidade.

A iluminação mostrou-se o principal responsável pelo consumo de energia elétrica da Fundação Liberato e, por essa razão, em contrapartida, apresentou maior potencial de causar impactos positivos na redução final através da troca das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED.

Ademais, o simples controle de termostato se mostrou consideravelmente mais efetivo na redução do consumo que a construção de um telhado-verde. Provando que menores investimentos podem causar impactos tão relevantes quanto altos investimentos.

Além disso, ainda em relação ao controle da climatização através de um controle de termostato, observou-se que o equilíbrio térmico ao longo do ano obtido através de uma temperatura ideal de conforto térmico constante apresenta ser uma alternativa simples e efetiva no aumento da eficiência energética de uma edificação.

Observou-se também a importância do estudo do local, equipamentos e demanda por tipo de uso, para que a correta escolha de alternativa que cause mais impacto na busca de maior eficiência energética. Na presente análise, o telhado verde não apresentou um resultado satisfatório pois a fração de uso de refrigeração é baixa e, logo, o impacto dessa alteração é pequena, não justificando a implantação desta alternativa.

Finalmente, observou-se que tais modificações geraram um impacto positivo nos custos, demonstrando que a eficiência energética pode ser importante ferramenta na redução das despesas das edificações.

Referências

AES SUL. **Tarifas e Taxas**. Disponível em:
<https://www.aessul.com.br/grandesclientes/site/content/informacoes/tarifas_e_taxas.aspx> Acesso em: 04 dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **O Consumo de Energia Elétrica nas Edificações no Brasil**. 2015. Disponível em:
<<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/o-consumo-de-energia-eletrica-nas-edificacoes-no-brasil/>> Acesso 04. dez. 2015

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 17 - Ergonomia**. Brasília: MTE, 1978. Disponível em:
<http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEFBAD7064803/nr_17.pdf> Acesso em: 02 dez. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2015**: Ano Base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em:
<http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEFBAD7064803/nr_17.pdf> Acesso em: 02 dez. 2015.

GELLER, H. S. **O uso eficiente da eletricidade**: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro: INEE, 1994.

HOLLANDA, J.; ERBER P. Energy Efficiency in Brazil. **Trade and Environment Review**, Nova Iorque, p. 68-77, 2010. Disponível em:
<http://www.inee.org.br/downloads/eficiencia/Artigo_INEE_UNCTAD.pdf> Acesso em: 02 dez. 2015.

NOVO HAMBURGO. **[Website do município]**. 2015. Disponível em:<www.novohamburgo.org> Acesso em: 02 dez. 2015.

PÓVOA, M. C. B. L. **Fatores que Influenciam na Eficiência Energética**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

PROGRAMA NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Procel Edifica**. c2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>> Acesso em: 02 dez. 2015.

RIBEIRO, A. C. C. O emprego da tecnologia LED na iluminação pública. **Exacta**, v. 5, n. 1, p. 111-132, dez. 2012. Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/viewFile/725/450>> Acesso em: 02 dez. 2015.