IMPACTO DE MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA APLICADAS EM UM EDIFÍCIO PÚBLICO DE ENSINO SUPERIOR[1]

BABUGIA, F. P., Universidade Estadual de Londrina, e-mail: felipebabugia@gmail.com;
PICCHI, J. C., Universidade Estadual de Londrina, e-mail: jessicapicchi.arq@hotmail.com;
GIGLIO, T. G. F., Universidade Estadual de Londrina, e-mail: thalita@uel.br

ABSTRACT

The high-energy consumption of public buildings has mobilized the government to require, through normative instructions, the incorporation of efficiency energy criteria. This paper analyzes the impact of energy efficiency strategies at energy consumption, demand, and annual costs at a public higher education building. Based on energy audit, it was possible to understand the energy consumption by end-use. After that, whole-building energy simulations were performed with Energy Plus software. Through 36 energy efficiency strategies simulated, a possible set of strategies was chosen, considering its application in an existing building. These solutions resulted in a reduction of 58.2% in the annual electricity consumption. The annual demand was reduced by 50.9%, resulting in R$ 34,428.00 of annual energy cost savings. Some action was concentrated in lighting system, responsible for 75% of the building energy consumption. Measures related to the envelope were adopted in order to reduce the high demand of the air conditioning system and to improve user thermal comfort. The incorporation of radiant barrier and high solar reflectance (SR) paints presented little impact on energy consumption (kWh), but significantly impact on energy demand (kW), thus demonstrate the importance of this parameter in building energy efficiency researches.

Keywords: *Energy Efficiency. Energy analysis. Energy consumption. Electricity Demand. Whole-building energy simulation.*

1 INTRODUÇÃO

As edificações são responsáveis por grande parte do consumo energético do país (BRASIL, 2016). Todavia, a eletricidade consumida pelas edificações públicas é custeada pela população, a qual apresenta forte interesse na utilização eficiente dos recursos públicos.

Diante deste contexto, tem-se as edificações educacionais, com grande demanda energética para iluminação artificial e condicionamento de ar, e expressiva representatividade dentre as edificações públicas. De acordo com um levantamento realizado por Oliveira (2013), no Brasil existem 508.519 edificações públicas, e destas, 52.8% são instituições de ensino. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), os gastos com energia elétrica representam um dos principais itens de custeio de uma instituição pública de ensino superior. Os sistemas de iluminação e ar condicionado representam três quartos deste consumo de energia (ELETROBRAS, 2007). Desta forma, a implementação de ações de eficiência energética em universidades permite reduzir parte das despesas, revertendo-as em investimentos com ensino, pesquisa e extensão.

Neste cenário, tem-se uma instituição pública estadual de ensino superior,

[1] BABUGIA, F. P.; PICCHI, J. C; GIGLIO, T. G. F. Impacto de medidas de conservação de energia aplicadas em um edifício público de ensino superior. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

localizada no norte do Estado do Paraná, e utilizada por cerca de 20.000 usuários. A fatura de energia elétrica mensal do campus universitário é de cerca de R$ 320.000,00, com um consumo anual de aproximadamente 8,7 GWh (IPARDES, 2010). Entretanto, não é conhecido o consumo de energia elétrica de cada edifício do campus, tampouco o consumo por uso final. Portanto, faz-se necessário um diagnóstico do consumo de energia elétrica dos edifícios que compõem o campus universitário, e, a análise do impacto de medidas de eficiência energética.

Desta forma, o presente estudo tem como objetivo analisar o impacto de medidas de conservação de energia no consumo e demanda por eletricidade em um edifício de ensino superior de uma instituição pública do Paraná.

2 METODOLOGIA

2.1 Caso base

O objeto de estudo está localizado no campus da Universidade Estadual de Londrina, Paraná. Nomeado como Centro de Tecnologia e Urbanismo, abriga os cursos de Engenharia Civil, Engenharia Elétrica e Arquitetura e Urbanismo. Possui três pavimentos, com total de 5.846,59 m² de área construída. Na Figura 1 é possível visualizar a implantação do edifício.

Figura 1 – Implantação do edifício



Fonte: Google Earth, 2018

Nas Figuras 2 e 3 estão expostas as fachadas Norte e Sul da edificação.

Figura 2 – Fachada norte do edifício



Fonte: Google Earth, 2018

Figura 3 – Fachada sul do edifício

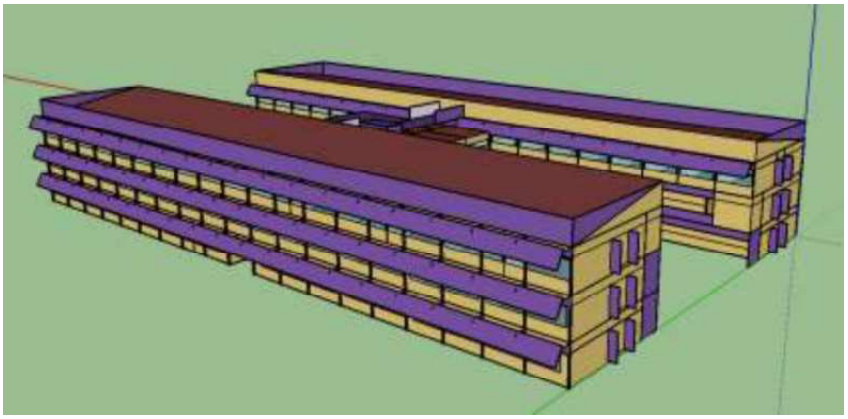


Fonte: O próprio autor

2.2 Simulação do caso base

As características geométricas do edifício real foram modeladas com o uso do programa SketchUp e sua respectiva extensão Euclid (Figura 4). As simulações termoenergéticas foram realizadas com o uso do programa EnergyPlus versão 8.6.0.

Figura 4 - Imagem do modelo geométrico tridimensional

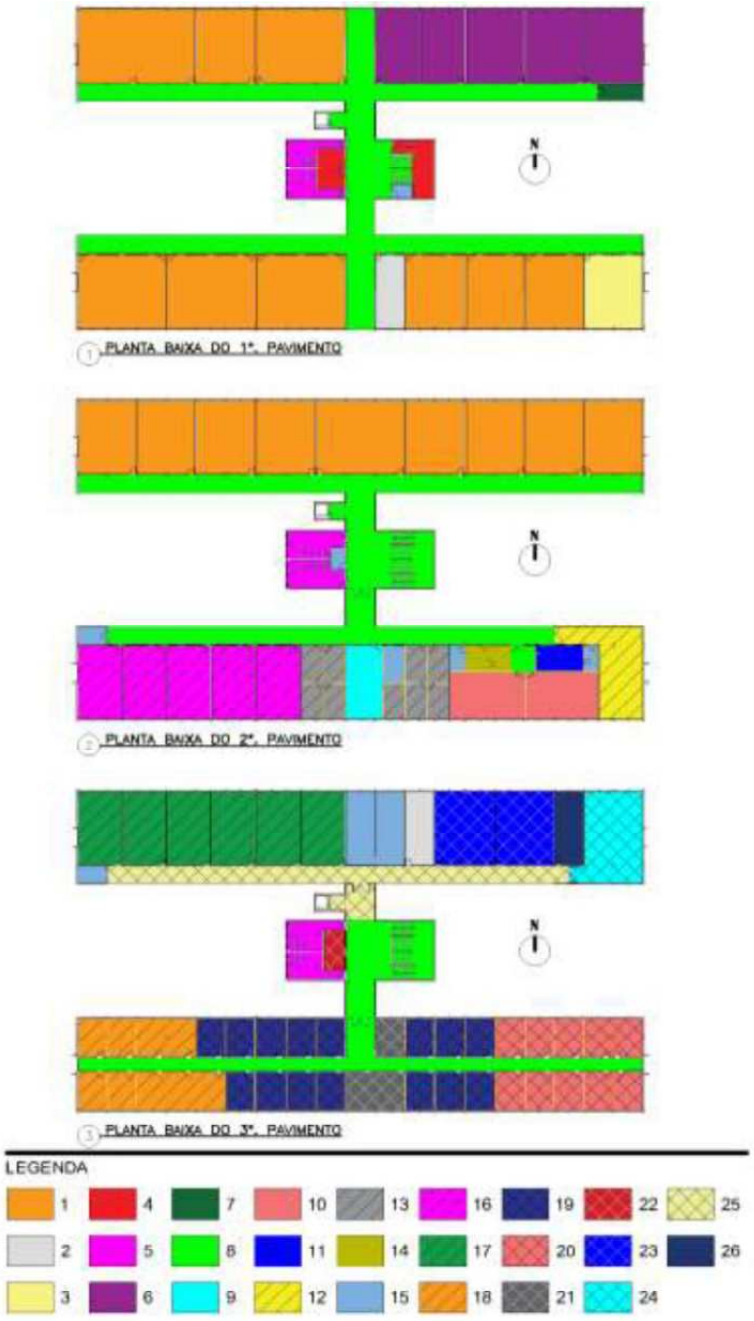


Fonte: O próprio autor

A determinação dos padrões de uso dos espaços foi realizada com base na coleta de dados in-loco, registros de reserva de salas e pesquisas com os

usuários. Foram determinadas duas programações horárias: uma da ocupação dos ambientes e do uso dos equipamentos elétricos, e outra do uso do sistema de iluminação. As programações horárias de cada ambiente foram agrupadas de acordo com caracaterísticas de uso e ocupação, subdividido o edifício em 26 grupos homogêneos conforme Figura 5. A Tabela 1 apresenta a definição desses grupos.

Figura 5 - Planta com grupos de uso e ocupação do edifício



Fonte: adaptado do acervo da instituição (2017)

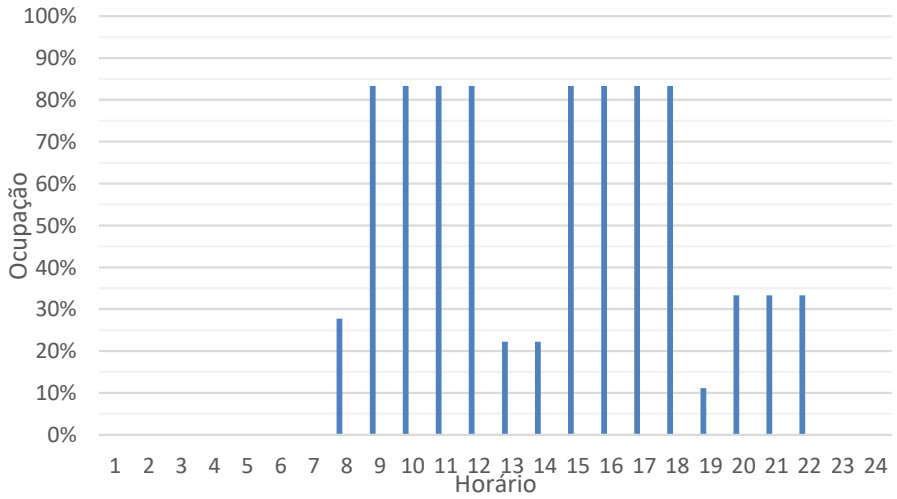
Tabela 1- Definição dos ambientes dos grupos homogêneos

Grupo	Definição
1	Salas de Aula
2	Laboratório de Conforto Ambiental LACO
3	Sala dos Estudantes
4	Copa dos Servidores (1º. Pavto.)
5	Banheiros dos Estudantes
6	Laboratórios de Engenharia Elétrica
7	Almoxarifado dos Laboratórios de Engenharia Elétrica
8	Corredores
9	Secretaria Geral
10	Laboratórios de Informática
11	Administração dos Laboratórios de Informática
12	Biblioteca de Arquitetura
13	Secretaria de Cursos
14	Secretaria de Colegiados
15	Depósitos
16	Salas de Aula Multimeios (2º. Pavto.)
17	Salas de Aula Multimeios (3º. Pavto.)
18	Salas dos Docentes de Engenharia Elétrica
19	Salas dos Docentes de Engenharia Civil
20	Salas dos Docentes de Arquitetura e Urbanismo
21	Salas de Reuniões
22	Copa dos Servidores (3º. Pavto.)
23	Salas de Permanência e Teleconferência
24	NEPEA
25	Circulação corredor norte do 3º. Pavto.
26	Laboratório Labdoc

Fonte: O próprio autor

Na Figura 6 é possível visualizar graficamente a programação de uso das salas de aula (grupo 1), para dias de semana.

Figura 6 - Esquema de Uso das Salas de Aula durante os dias de semana



Fonte: O próprio Autor.

Foram levantadas as potências dos equipamentos elétricos, do sistema de iluminação, bem como as características do sistema de condicionamento de ar. Para o levantamento das cargas instaladas dos equipamentos foram realizadas medições in-loco com um medidor de consumo de energia elétrica, modelo Powerball T8. Foram calculadas as potências médias de equipamentos para cada grupo de uso, com base nas potências medidas, quantidade de equipamentos e respectivos percentuais de uso, conforme Tabela 2, para salas de aula.

Tabela 2 - Potência média dos equipamentos das salas de aula

Equipamento	Pot. (W)	Qtde.	% Uso Anual	Pot. Média Equip. (W)
Datashow	246.7	1	90%	222.0
Ventilador de Parede	116.0	2	30%	69.6
Notebook	18.2	1	100%	18.2
Total				**309.8**

Fonte: O próprio Autor

Para caracterização do sistema de HVAC, os principais dados de entrada foram o Coeficiente de Performance (COP), a potência nominal e o modo de operação do compressor. Os equipamentos de condicionamento de ar foram inseridos com COP e capacidade nominal obtidos nos catálogos dos fabricantes. O termostato foi programado com temperaturas de *setpoint* de refrigeração e aquecimento constantes iguais a 25 e 18°C, respectivamente.

A ventilação natural foi inserida através do módulo *AirflowNetwork*, onde foi estabelecido que as aberturas poderiam permanecer abertas apenas nos horários em que os ambientes estivessem ocupados, e desde que a temperatura do ar externo estivesse superior a 20°C e inferior à temperatura interna.

Os componentes heterogêneos da envoltória foram inseridos no software conforme Weber *et al.* (2017). A cobertura do setor Norte é composta por laje nervurada, com poliestireno expandido (EPS), capa de concreto, telhas de fibrocimento novas (cor cinza claro), e câmara de ar não ventilada. A cobertura do setor Sul e núcleo central é composta por laje nervurada com lajotas cerâmicas e concreto, câmara de ar não ventilada e telha de fibrocimento velha (cor cinza escuro). As vedações verticais externas são compostas por blocos cerâmicos de 6 furos, argamassa (interna e externa) de 2,5 centímetros de espessura. Suas superfícies externas são de dois tipos: pintura cor branca e revestimento cerâmico de lajota na cor terracota. As propriedades térmicas dos materiais opacos da envoltória encontram-seno Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades térmicas dos componentes opacos da envoltória

Componente	Material	LxAxP (cm)	Descrição	Transmitância térmica (W/m²K)	Absortância Solar
Parede	Cerâmica + Arg.	Bloco 6 furos 9x14x24	Argamassa interna e externa (2,5 cm) Bloco 6 furos	2.51	20%
Parede com Pastilha Terracota	Cerâmica + Arg.+ Pastilha (1 lado)	Bloco 6 furos 9x14x24	Bloco (9,0 cm) Argamassa interna e externa (2,5 cm) Pastilha (0,5cm)	2.47	75%
Viga Aparente	Concreto	e=15cm	Concreto (15,0 cm)	4.25	70%
Cobertura de Laje c/ Lajota Cerâmica e Telha de Fibrocimento Antiga e Escura	Concreto + Lajota Cerâmica	Lajota 24x7x20 Laje e=12cm	Concreto (4,0 cm) Lajota (7 cm) Argamassa (1 cm) Câmara de Ar Fibrocimento Antiga	2.99	80%
Cobertura de Laje c/ EPS e Telha de Fibrocimento Nova e Clara	Concreto + EPS	EPS 30x7x125 Laje e=12cm	Concreto (4,0 cm) EPS (7 cm) Argamassa (1 cm) Câmara de Ar Fibrocimento Antiga	1.79	60%

Fonte: O próprio Autor

Os vidros das esquadrias são incolores de 3 milímetros de espessura, com fator solar de 87%, transmissão de luz visível de 89,8% e transmitância de 5,89 W/m²K. Há brises horizontais inclinados voltados para o Norte, compostos por placas cimentícias.

2.3 Diagnóstico energético do caso base

As variáveis de saída da simulação foram utilizadas para realizar um diagnóstico energético do edifício base. Foram conhecidos: o perfil de uso do edifício; consumo energético anual; demanda energética anual; demanda horária do dia de pico; gasto anual com tarifação; e o número de horas em que o sistema de HVAC não foi capaz de manter a temperatura interna dos ambientes dentro da faixa de *setpoint* previamente definida.

2.4 Simulação e análise das medidas de conservação de energia

Foram realizadas 36 simulações do caso base com incorporação de estratégias de conservação de energia, conforme exposto no Quadro 2.

Quadro 2 - Resumo das medidas de eficiência energética simuladas

	Versão	Descrição
BASE (1)	**R1**	Caso base
ILUM. (2)	R2A	R1 + iluminação interna reduzida para nível A nos ambientes que ultrapassavam
	R2B	R2A + iluminação externa reduzida para nível A nos ambientes que ultrapassavam
	R2C	R1 + iluminação interna reduzida para 6W/m² nos ambientes internos que ultrapassavam e 5W/m² nos externos
	R2D	R2C + dimerização da iluminação interna nos ambientes de permanência prolongada
COB. (3)	R3A	R2D + Lavagem da superfície externa das telhas
	R3B	R2D + Pintura da superfície externa de todas as telhas de branco
	R3C	R2D + Pintura da superfície externa de todas as telhas de tinta branca com micro esferas cerâmicas
	R3D	R2D + Adição de manta aluminizada sob as telhas
	R3E	R3C + Adição de manta aluminizada sob as telhas
	R3F	R3C + Inserção de isolante resistivo (lã de pet 5cm) sob as telhas
	R3G	R2D + Troca da telha de fibrocimento por telha de alumínio
	R3H	R2D + Troca da telha de fibrocimento por telha sanduiche
	R3i	R2D + Laje sem telha de fibrocimento (apenas laje de concreto)
	R3J	R2D + Laje sem telha de fibrocimento (apenas laje de concreto) com pintura branca
	R3K	R2D + Laje sem telha de fibrocimento (apenas laje de concreto) com argila expandida
	R3L	R2D + Laje vegetada
PAR. (4)	R4A	R3E + Troca das paredes por sistema leve de alta transmitância
	R4B	R3E + Troca das paredes por sistema leve de menor transmitância
	R4C	R3E + Troca das paredes por blocos de concreto celular autoclavado
	R4D	R3E + Troca das paredes por tijolos cerâmicos
	R4E	R3E + Pintura das vigas de branco
	R4F	R3E + Pintura das vigas e pastilhas de branco
JAN. (5)	R5A	R4F + Película nos vidros voltados para a face sul
	R5B	R4F + Película em todos os vidros
	R5C	R4F + Vidros duplos em todas as janelas
	R5D	R4F + Vidros duplos em todas as janelas, de baixo FS nos vidros voltados para a face sul
	R5E	R4F + Vidros duplos de baixo FS em todas as janelas
	R5F	R4F + Retirada dos brises
	R5G	R5F + Vidros de controle solar nas janelas da face norte e oeste
	R5H	R5F + Vidros de controle solar em todas as janelas
	R5i	R5F + Troca de esquadrias: Vidros duplos em todas as janelas, de baixo FS nas janelas das faces norte, leste e oeste
	R5J	R5F + Troca de esquadrias: Vidros duplos em todas as janelas, de baixo FS em todas as janelas
HVAC (6)	R6A	R4F + Redimensionamento (mantendo COP)
	R6B	R4F + Split redimensionado com COP=3.23
	R6C	R4F + Troca dos equipamentos com COP menor que 3.23 por Split Inverter redimensionado
	R6D	R4F + Troca de todos os equipamentos por Split Inverter redimensionado

Fonte: O próprio autor

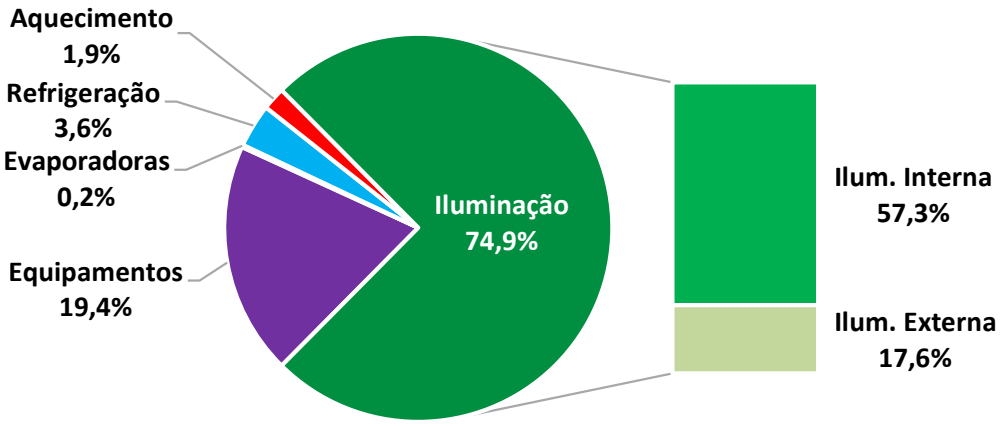
Dentre todas as estratégias adotou as que apresentaram resultados satisfatórios quanto à redução do gasto com energia (destacadas no Quadro 2), tendo também como critério, de modo empírico, a aplicabilidade ao edifício, pois é um edifício existente. Como não foram realizados levantamentos de custo, não efetuou análises financeiras para auxiliar nas decisões.

3 RESULTADOS

3.1 Diagnóstico energético

Com base no diagnóstico energético realizado, exposto na Figura 7, obteve-se que o sistema de iluminação do edifício é o principal consumidor, responsável por aproximadamente 74,9% do consumo energético total. Esta expressiva contribuição decorre da alta densidade de potência instalada, bem como da presença de equipamentos de HVAC em apenas 20% dos ambientes internos do edifício. Diversas salas de aula possuem densidades de potência superiores a 18 W/m². O edifício como um todo apresentou uma densidade de potência instalada média igual a 11,83 W/m². Já o consumo de energia elétrica para climatização foi responsável por apenas 5,5% do consumo energético.

Figura 7 - Perfil de Consumo de Energia Elétrica do Edifício



Fonte: O próprio autor

Outros dados importantes obtidos com a realização do diagnóstico energético referem-se ao montante anual de consumo e demanda, informação desconhecida pela administração do campus universitário. Através da simulação obteve-se um consumo energético anual de 124,76 MWh, e demanda máxima do mês de pico de 85,4 kW.

O tipo de tarifação adotado seguiu o realizado pela concessionária ao campus, sendo considerados separadamente o consumo nos horários de ponta[2], com tarifa igual a 1,21 R$/kWh, e nos horários fora de ponta, com tarifa igual a 0,30 R$/kWh. Obteve-se um gasto anual com tarifação igual a R$ 65.523,00, sendo R$ 48.116,00 (73.4%) referente ao consumo de energia, e R$ 17.407,00 (26.6%) referente à demanda energética.

[2] O horário de ponta pode ser definido como o período compreendido entre as 18h e 21h no horário padrão, e das 19h às 22h no horário de verão. São exceções sábados, domingos e feriados nacionais.

3.2 Analise das medidas de conservação de energia

O conjunto das seis medidas selecionadas (Tabela 3) foram avaliadas considerando as sinergias entre elas. As propostas R2C e R2D foram relativas ao sistema de iluminação, sendo a proposta R2C referente a redução da densidade de potência instalada para 6W/m² nos ambientes internos, e 5W/m² nos ambientes externos, possível de ser obtido com uso de lâmpadas LED e projeto luminotécnico adequado. Na proposta R2D foi incorporada à proposta anterior a dimerização das luminárias dos ambientes de permanência prolongada. A proposta R3C, que incorporou a proposta R2D, consistiu na pintura da superfície externa das telhas com tinta branca com absortância à radiação solar de 13%. A utilização de cores externas de baixa absortância é uma estratégia para reduzir cargas de resfriamento (CHEN e GIVONI, 2005). Aliado a esta proposta, foi adicionada uma barreira radiante sob a cobertura (proposta R3E), reduzindo a emissividade da superfície interna da câmara de ar. A proposta R4F, que manteve as medidas relacionadas à iluminação e cobertura, consistiu na pintura das vigas e pastilhas externas com cor branca, de absortância solar de 13%. Por fim, a proposta R6C representa o acumulado das propostas mencionadas, com incorporação de estratégias ligadas à troca dos equipamentos de climatização com COP inferior a 3,23 por equipamentos do tipo *Split Inverter*.

Tabela 3 - Resumo das medidas de eficiência energética escolhidas

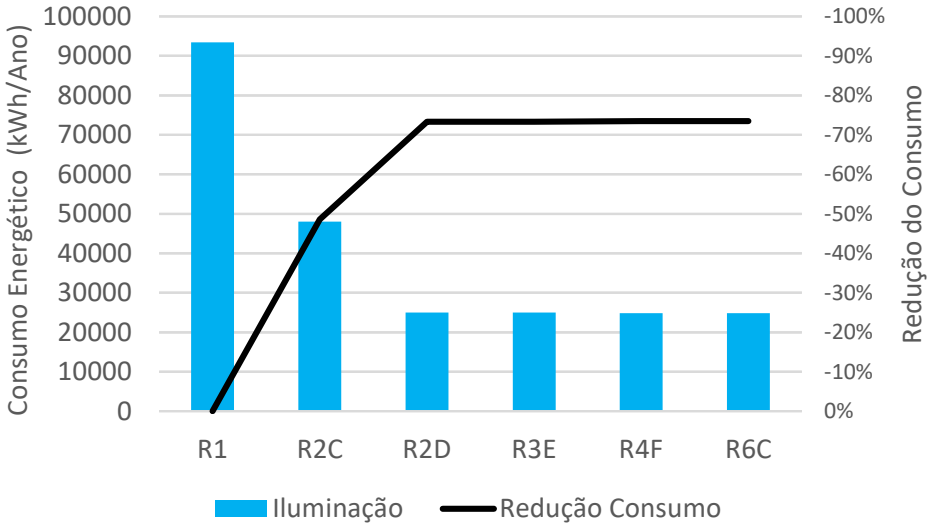
Proposta	Descrição
R1	Caso base
R2C	R1 + iluminação interna reduzida para 6W/m² nos ambientes internos que ultrapassavam e 5W/m² nos externos
R2D	R2C + dimerização da iluminação interna nos ambientes de permanência prolongada
R3C	R2D + Pintura da superfície externa de todas as telhas de tinta branca com micro esferas cerâmicas
R3E	R3C + Adição de manta aluminizada sob as telhas
R4F	R3E + Pintura das vigas e pastilhas de branco
R6C	R4F + Troca dos equipamentos com COP menor que 3.23 por Split Inverter redimensionado

Fonte: O próprio autor

A Figura 8 ilustra a variação do consumo energético anual com iluminação. A proposta R2D apresentou o melhor resultado: 73,3% de redução do consumo com iluminação. As demais propostas não afetaram o consumo com iluminação.

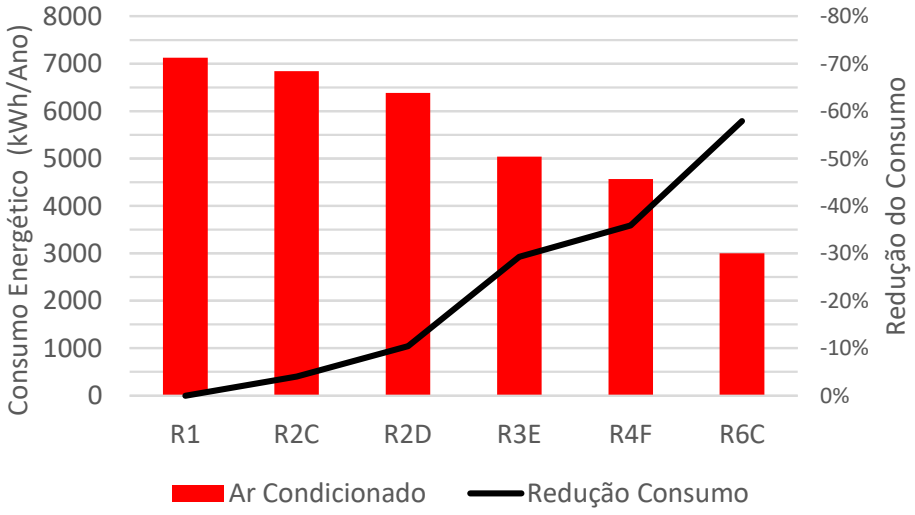
Na Figura 9 tem-se a variação do consumo energético anual com HVAC. A proposta R6C apresentou 57,9% de redução do consumo com condicionamento de ar. Ressalta-se que, apenas com a mudança do sistema de iluminação houve economia anual de 10,5%, devido à redução do calor dissipado pelas lâmpadas.

Figura 8 - Consumo de Iluminação por Proposta



Fonte: O próprio autor

Figura 9 - Consumo de HVAC por Proposta



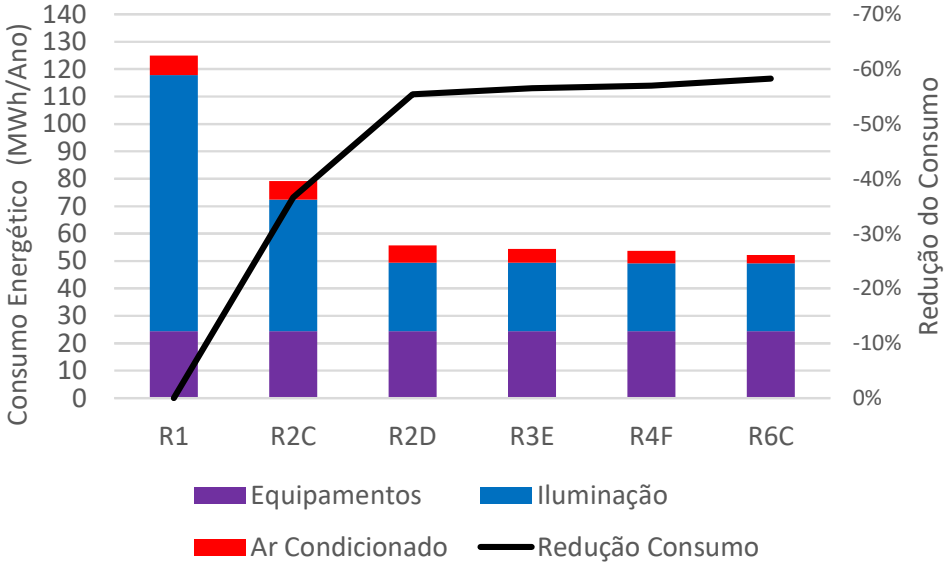
Fonte: O próprio autor

A Figura 10 ilustra a variação do consumo energético anual do edifício por uso final para cada proposta. As elevadas reduções do consumo por iluminação resultaram em expressivas reduções do consumo do edifício todo, chegando a 55,4% de redução do consumo total apenas com propostas relacionadas ao sistema de iluminação.

Na Figura 11 nota-se que em todas as propostas a demanda não se manteve constante e continuou a diminuir. Na Figura 10 verifica-se que com a aplicação das estratégias relacionadas ao ar condicionado, o consumo energético sofreu pouca variação. O mesmo não ocorreu com a demanda, que sofreu grandes variações nas medidas relacionadas à envoltória e ao ar condicionado. Assim, observou-se que as estratégias relacionadas ao sistema de ar condicionado e envoltória reduzem a carga térmica do edifício e

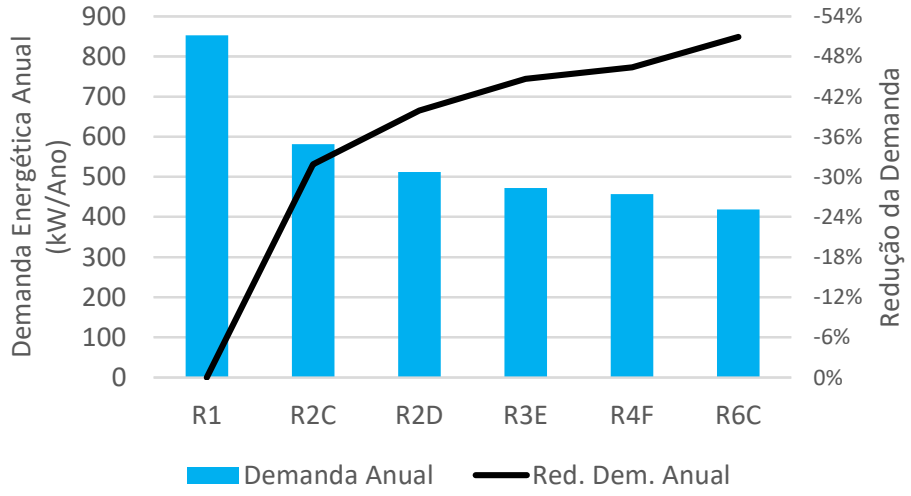
apresentam maior influência sobre a demanda do que sobre o consumo energético.

Figura 10 - Consumo Energético do Edifício por Uso Final por Proposta



Fonte: O próprio autor

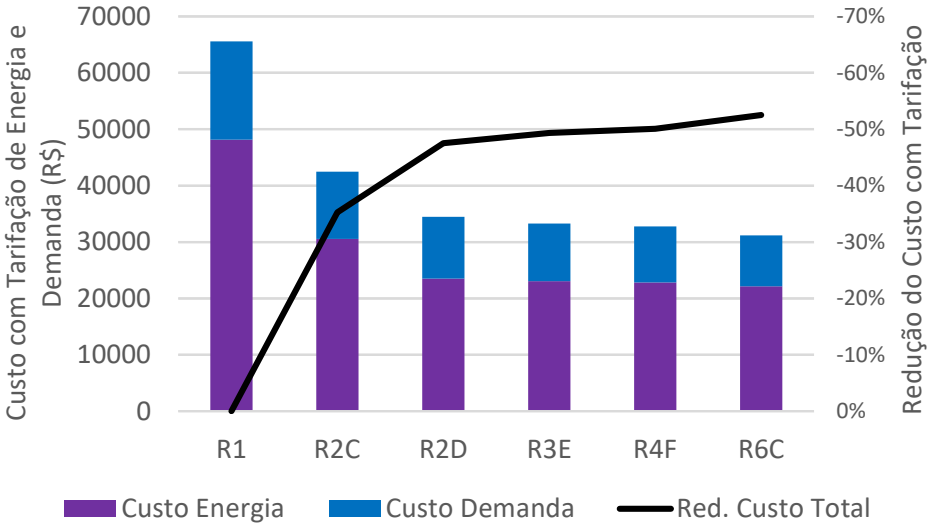
Figura 11 - Demanda Energética Anual por Proposta



Fonte: O próprio autor

Na Figura 12 é possível visualizar a variação do gasto anual com energia e demanda para as propostas. O conjunto de propostas proporcionou a redução de 52,5% no gasto anual com tarifação e uma economia equivalente a R$ 34.428,00/ano.

Figura 12 - Gasto Anual com Tarifação por Uso Final por Proposta



Fonte: O próprio autor

5 CONCLUSÃO

O presente estudo analisou o impacto no consumo, na demanda e no gasto anual de energia elétrica de estratégias de eficiência energética aplicadas em um edifício público educacional.

Neste estudo, o consumo anual com energia elétrica foi reduzido em 58,2%, a demanda anual em 50,9% e o gasto anual com tarifação em 52,5%. As estratégias proporcionaram uma economia anual de R$ 34.428,00. Desta forma, a implementação de ações de eficiência energética pode reduzir parte das despesas de edifícios de ensino superior, e reverter as economias em investimentos com ensino, pesquisa e extensão.

Ademais, constatou-se que as estratégias podem impactar de maneira diferente no consumo e na demanda energética. O sistema de HVAC apresentou maior influência na demanda do que no consumo, e o sistema de iluminação, apresentou maior influência no consumo do que na demanda. Dessa forma, conclui-se que sempre que possível deve-se analisar a demanda em conjunto com o consumo de energia, sendo o gasto com tarifação um bom indicador, uma vez que leva ambos em consideração.

Ressalta-se que não foram realizadas análises financeiras referentes a implantação das medidas de conservação de energia, e, portanto, são desconhecidos parâmetros relacionados a viabilidade econômica, como taxa interna de retorno e período de *payback*.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Eficiência Energética: **Alteração chamada P&D sobre minigeração em instituições públicas de ensino superior**. 2017. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/web/guest/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVlZ6/content/id/15182775.

BABUGIA, Felipe Pereira. **Análise do impacto de medidas de conservação de energia aplicadas em um edifício público educacional de Londrina - PR.** 2018. 136p. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015.** 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 28 maio 2017.

CHENG, V.; GIVONI, B. **Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate**. In: Solar Energy, v. 78, p. 528 - 534, 2005.

ELETROBRAS. **Relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Sumário Executivo ano base 2005.** 77 p. Rio de Janeiro, 2007.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná.** Curitiba, 2010.

OLIVEIRA, L. S. **Gestão energética de edificações públicas no Brasil.** 249 p. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília,2013.

WEBER, F. et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avalição de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. UFSC, 2017.