

# Estudo da Eficiência Energética no Núcleo de Laboratórios de Engenharia da UFSCar

Agnaldo O. do Carmo<sup>1</sup>, Luís Alberto Mijam Barêa<sup>2</sup>, Anderson A. U. de Moraes<sup>3</sup>

Departamento de Engenharia Elétrica<sup>1,2</sup>, Departamento de Engenharia Mecânica<sup>3</sup>

Universidade Federal de São Carlos

São Carlos, São Paulo, Brasil

agnaldooliveira@estudante.ufscar.br

**Resumo**—A eficiência energética vem se tornando um fator relevante em estudos e análises de ações visando economia de energia elétrica em edificações. Diante deste cenário, o trabalho tem como propósito realizar um estudo de caso no núcleo de laboratórios de engenharia da Universidade Federal de São Carlos. Para isso, foram analisadas as características construtivas de elementos da fachada, cargas elétricas e o perfil dos usuários, através da simulação de um modelo representativo do edifício, e sugeridas ações visando reduzir o consumo de energia. Como resultado, observou-se que uma simples mudança de cores nas fachadas das paredes e no telhado conseguiu reduzir a energia necessária para resfriamento e aquecimento do prédio em 23,3%. Por outro lado, o acréscimo de revestimento de gesso interno e câmara de ar nas paredes laterais orientadas a leste e oeste trouxe uma redução de apenas 0,49%, sendo a medida com o menor impacto observado. Portanto, o estudo mostra que é possível obter reduções no consumo de energia através de ações em eficiência energética, e que simples medidas já conseguem trazer resultados positivos.

**Palavras-chave**— Eficiência energética; edificações; simulação; estudo de caso.

## I. INTRODUÇÃO

Produzir e consumir a energia de forma sustentável e economicamente viável é uma das grandes preocupações da sociedade moderna. Dentro deste contexto, a inserção do termo eficiência energética visa realizar um mesmo tipo de trabalho utilizando-se de um menor consumo de energia [1]. É um fator relevante por ser um recurso amplamente disponível e por beneficiar a sociedade nos aspectos relacionados ao meio ambiente devido ao seu aproveitamento gerar menos impactos, como a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera, e na economia, através da geração de empregos e inovação aliados às novas tecnologias [2].

No ano de 2020, o setor de edificações foi responsável pelo consumo de 51,2% da energia gerada no país somando-se as edificações residenciais, públicas e comerciais [3]. Há uma perspectiva de crescimento do consumo energético, e a eficiência energética pode contribuir de forma direta na redução deste aumento através de suas ações que visam um menor consumo de energia elétrica [2].

Essa crescente na demanda de energia reforça a necessidade de se buscar soluções voltadas a conservação do meio ambiente, tanto em ações para diminuir os impactos com a exploração de fontes de energia quanto aos efeitos negativos relacionados aos gases poluentes emitidos [2]. Logo,

a utilização de fontes alternativas de geração de energia, a conscientização dos consumidores e utilização da tecnologia a favor do meio ambiente tornam-se essenciais nessa busca. Projeto e uso de edificações que não se preocupam com a eficiência energética dos seus equipamentos tais como no condicionamento e iluminação artificiais ou naturais, tendem a elevar o seu consumo de energia e, conseqüentemente, num aumento desproporcional da demanda por energia elétrica [4].

No Brasil, programas e ações de incentivo à eficiência energética vêm sendo implementados ao longo dos anos. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), por exemplo, tem o intuito de contribuir para aumento de bens e serviços, desenvolver hábitos e conhecimento sobre consumo eficiente de energia elétrica e retardar investimentos a curto prazo, tudo isso através da promoção de uso eficiente da energia elétrica e combate ao desperdício [5].

A literatura apresenta estudos que visam a implementação de ações em eficiência energética com o intuito de melhorar a performance de edificações em relação ao consumo de energia elétrica. Um trabalho realizado por Melo [6] na cidade de Recife buscou analisar, via simulação em *software*, o comportamento térmico e o consumo elétrico anual de uma edificação local através da utilização de oito tipos de materiais construtivos nas fachadas. Foi verificada a influência das escolhas desses materiais, cuja composição das paredes de contêiner marítimo composta por aço corten, lâmina de alumínio, lã de rocha e gesso acartonado trouxe uma redução de 30% no consumo de energia anual.

Carvalho, Galafassi e Tallman [7], por outro lado, analisaram a influência da geometria arquitetônica no ganho térmico e consumo energético de edificações através de sete modelos geométricos. Foi verificado que o modelo de edifício em formato circular trouxe um menor consumo de energia por área, com uma diferença de 6,29% em relação ao modelo com maior consumo em formato L. Já Quito [8] fez um estudo da eficiência energética do Centro Cultural da Universidade Federal de São Carlos inserindo sistemas de geração de energia solar. O sistema foi capaz de gerar 563mWh de energia anual e, assim, atender 4% de toda a demanda de energia do campus, resultando em uma menor necessidade da energia elétrica oriunda da rede de energia da concessionária local.

Diante disso, este trabalho trata de um estudo de caso de uma edificação pública, no caso um núcleo de labo-

ratórios de engenharia, através do levantamento das principais características construtivas, geométricas e de perfil de uso para criação de um modelo matemático representativo para cálculo da sua demanda energética anual. Posteriormente, foram analisadas propostas de melhorias bioclimáticas tais como mudanças nos seus elementos construtivos, tonalidade das cores das fachadas e na substituição dos equipamentos elétricos por outros de maior eficiência.

Algumas das ações implementadas foram relacionadas a alterações nas propriedades termo-físicas de telhados e paredes, com a modificação de elementos construtivos, cores da envoltória e inserção de brises, além de uma alteração na análise do sistema de iluminação, substituindo a potência real por densidade de potência por  $m^2$  para edifícios nível A [9].

Espera-se que o trabalho contribua com novos estudos e pesquisas sobre ações que visam a eficiência energética de edificações, além de reforçar a importância da escolha dos elementos da envoltória e de outros aspectos que influenciam no consumo energético dos edifícios.

## II. METODOLOGIA

### A. Caracterização e dados gerais do edifício

O prédio de estudo é denominado de Núcleo de Laboratórios de Ensino de Engenharia (NuLEEn), pertencente à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) no campus de São Carlos. Ele é composto por salas de ensino do tipo laboratório para os cursos de engenharia, além de abrigar parte dos laboratórios didáticos, salas de professores e técnicos dos cursos de Engenharias Elétrica e Mecânica. O edifício possui cerca de 2.420  $m^2$  de construção, dividido em 16 laboratórios e 43 salas de professores e técnicos, almoxarifados e depósito separados em 2 pavimentos. A Figura 1 proporciona uma vista panorâmica da Universidade Federal de São Carlos, que está localizado na região nordeste da cidade de São Carlos-SP, e da posição do edifício NuLEEn dentro do campus. O edifício possui disposição retangular de 37,9m de comprimento, 23,0m de largura e com aproximadamente 8,5m de altura. As maiores fachadas estão dispostas na direção norte e sul e com a presença de janelas. As Figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, as fachadas frontais direta e esquerda do NuLEEn.

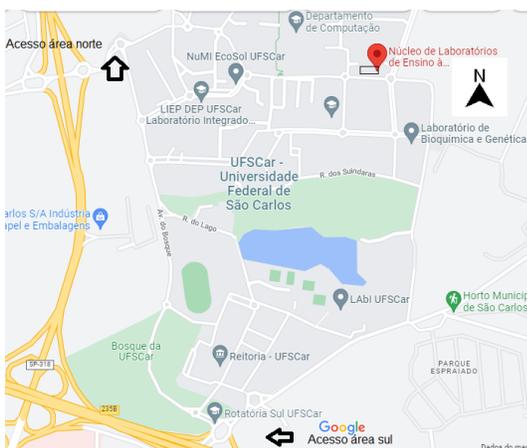


Figura 1. Planta de localização do edifício.



Figura 2. Fachada frontal - lado direito.



Figura 3. Fachada frontal - lado esquerdo.

São Carlos está localizada na zona bioclimática 4 [10]. Para esta zona são recomendadas aberturas médias e sombreadas, paredes externas pesadas e cobertura leve isolada, sendo aconselhado como técnicas passivas de climatização o uso de ventilação seletiva e sombreamento durante o verão [11].

### B. Definição das zonas térmicas e da envoltória

As Figuras 4 e 5 mostram a disposição dos ambientes do prédio em 2D, com as nomenclaturas atuais de cada um deles.

Com a coleta dos dados do edifício obtidos no levantamento de campo e junto à Prefeitura Universitária do campus, pode-se organizar os principais elementos da envoltória e suas características termofísicas, como a transmitância térmica (transmissão de calor por área unitária de um elemento ou componente construtivo), capacidade térmica (quantidade de calor necessária para alterar em uma unidade a temperatura do sistema) [9] e atraso térmico (tempo entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente submetido a um período de transmissão de calor) [12].

A Tabela I mostra cada elemento da envoltória e os materiais envolvidos. As propriedades físicas como condutividade

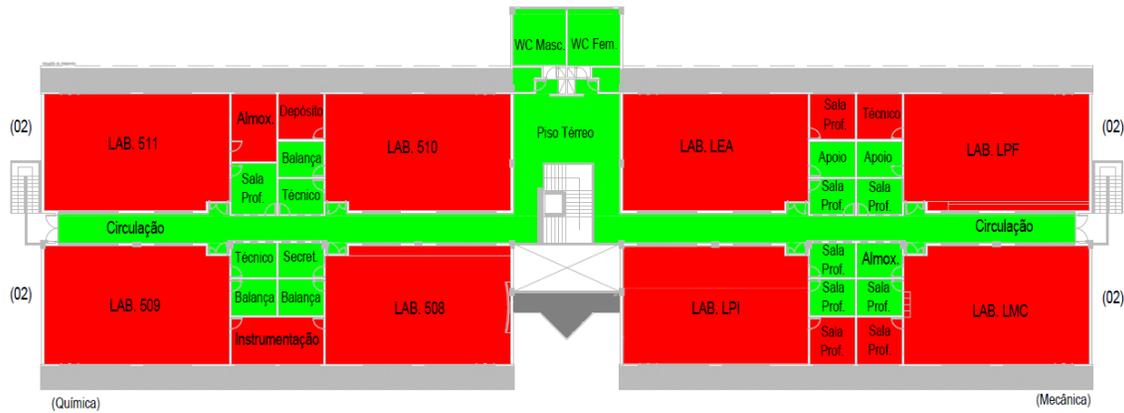


Figura 4. Disposição Salas Térreo.

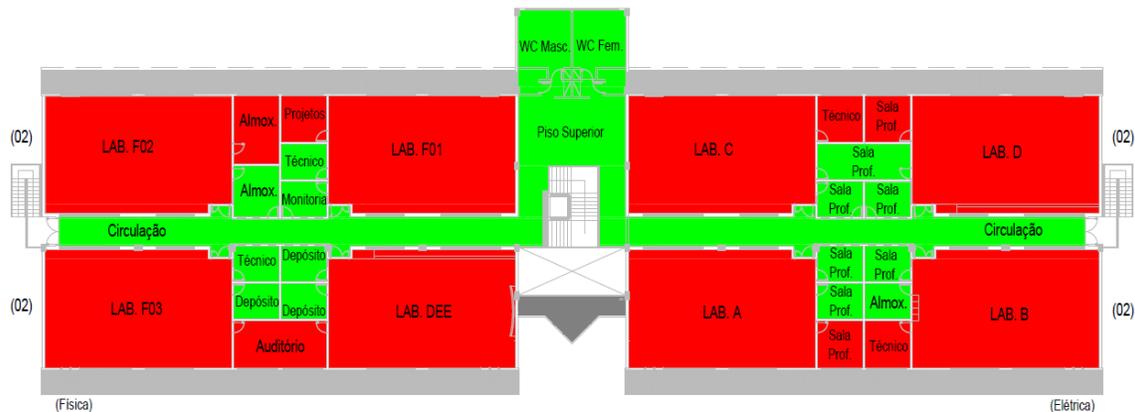


Figura 5. Disposição Salas Piso Superior.

térmica, densidade e calor específico foram retiradas da ABNT [13] e INMETRO [14].

Além disso, os cálculos referentes à transmitância, atraso e capacidade térmica das paredes e telhado, tanto no modelo real quanto nas proposições de melhorias, foram realizados de forma aproximada através do programa de simulação *ProjetEEE* [15], onde foram inseridas todas as camadas de materiais e obtido o valor final aproximado. Ressalta-se que estes valores podem ser obtidos de forma mais próxima do real através de cálculos conforme ABNT [13]. A Tabela II mostra os resultados aproximados das propriedades utilizados como referência de comparação entre as ações propostas.

As paredes de tijolo maciço foram localizadas nas Figuras 4 e 5 através do índice (2). As outras paredes do prédio, de forma geral, foram compostas por bloco de concreto, e em todo o telhado foi utilizado o mesmo material na simulação do modelo atual. Por simplificação, o revestimento em ladrilho das fachadas externas não foi considerado nas simulações. Porém, devido a diferença nas cores e, conseqüentemente, da absorvância desses elementos, trata-se de uma modificação que pode influenciar nos ganhos de calor através das fachadas e na energia consumida pelo sistema de climatização.

### C. Definição das cargas térmicas internas

Os dados necessários para a realização do trabalho foram coletados diretamente em cada um dos setores do prédio. Em um primeiro momento, foram levantadas todas as cargas elétricas existentes em cada uma das salas e laboratórios, sendo estas cargas equipamentos elétricos como monitores, ventiladores, fontes de tensão, geradores de sinais, máquinas mecânicas, luminárias e lâmpadas, dentre outros. A Tabela III mostra a soma das potências das cargas elétricas por conjunto de salas e laboratórios de cada curso.

Em relação ao número de pessoas por ambiente, foram padronizadas por laboratórios 37 pessoas, sala de professores e almoxarifados com 01 pessoa, salas de técnicos e de projetos com 02 e depósitos sem ocupação. Alguns laboratórios do edifício possuem uma ocupação menor em relação ao valor adotado na simulação. Com isso, há uma maior contribuição de ganho de calor interno nesses ambientes devido a maior taxa de calor emitida pelas pessoas. Adotou-se o valor de 115W como sendo a taxa de liberação de calor por pessoa, considerando-se um trabalho leve e sentado [16].

Foram definidos os padrões de utilização das zonas térmicas, assim como de equipamentos, iluminação, infiltração e condicionamento artificial do ar [17], mostrados pela Tabela IV. Como a rede elétrica do prédio é conectada a outros edifícios e não foi possível obter a demanda real em relação

Tabela I  
ELEMENTOS DA ENVOLTÓRIA E PROPRIEDADES

Estrutura	Materiais	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m.K)	Cp (J/kg.K)	e (m)	$\alpha$	R (m <sup>2</sup> .K/W)	FS
(1) Paredes bloco de concreto 14x19x39cm	Argamassa	2000	1,15	1000	0,025	0,158	0,564	
	Concreto	2400	1,75	1000	0,07			
	Câmara de ar					0,646		
	Concreto	2400	1,75	1000	0,07			
(2) Paredes tijolo maciço 20x15x5cm	Argamassa	2000	1,15	1000	0,025			
	Tijolo maciço	1600	0,9	920	0,15			
	Argamassa	2000	1,15	1000	0,025			
(3) Laje protendida alveolar e piso	Concreto laje	2200	1,15	1000	0,1		0,18	
	Câmara de ar							
	Concreto laje	2200	1,15	1000	0,1			
(4) Janelas internas	Vidro simples				0,006			0,85
(5) Janelas externas	Vidro laminado				0,008			0,43
(6) Portas internas	Madeira	600	0,14	1600	0,0254			
(7) Portas externas	Metal (alumínio)	2700	230	880	0,04	0,971		
(8) Telhado metálico	Metal (aço zipado)	7800	55	460	0,000325	0,25	0,21	
	Câmara de ar				> 0,05			

Tabela II  
PROPRIEDADES DAS ESTRUTURAS.

Estrutura	U (W/m <sup>2</sup> .K)	$\varphi$ (horas)	CT (kJ/m <sup>2</sup> .K)
(1)	2,2	6,9	436,0
(2)	3,1	4,3	257,6
(8)	1,7	5	160,7

Tabela III  
LEVANTAMENTO DAS CARGAS ELÉTRICAS.

Curso	Iluminação (kW)	Equip. (kW)	Total (kW)
Química	3,43	17,61	21,04
Mecânica	5,95	118,92	124,87
Física	3,81	17,83	21,64
Elétrica	3,84	21,4	25,24

aos equipamentos, foi utilizada apenas 20% da capacidade total para minimizar o consumo final de energia elétrica com equipamentos elétricos [18].

#### D. Sistema de climatização artificial, natural e trocas de ar

Para verificar a quantidade de energia necessária para manter as zonas térmicas em conforto, foram inseridos sistemas de climatização artificial em alguns ambientes. Os espaços onde estes sistemas não foram inseridos possuem apenas trocas de ar. Nas Figuras 4 e 5, em vermelho, foram destacadas as zonas térmicas climatizadas artificialmente, enquanto em verde as que possuem apenas trocas de ar. A Tabela V mostra os valores definidos para as trocas de ar no telhado e nos ambientes, além

das temperaturas de setpoint para aquecimento e resfriamento da climatização artificial [17].

Para as análises dos gastos energéticos do sistema de climatização, foram utilizados o coeficiente de desempenho (COP) e o índice de eficiência energética (EER) para a obtenção dos valores em kWh de energia para resfriamento e aquecimento, respectivamente. O valor utilizado para o COP foi de 3, e o EER de 2,8 [17].

#### E. Casos simulados

Para a construção do modelo 3D do edifício, foi utilizado o *software* SketchUp 2017, juntamente com o *software* EnergyPlus V9.2.0 para as simulações termoenergéticas e o plugin OpenStudio para realizar a comunicação entre eles. Os dados do clima do local utilizados na simulação foram retirados dos arquivos climáticos do INMET 2016, em formato EPW [19].

Para as simulações, foram analisados os gastos energéticos mensais das zonas térmicas. Como hipótese, os dias considerados nas análises foram apenas de segunda à sexta-feira [17], com exceção da iluminação externa. Ou seja, durante os finais de semana, não foram considerados consumos consideráveis de energia no NuLEEn.

Em um primeiro momento, foi feita a simulação do consumo de energia dos sistemas de climatização, iluminação e equipamentos do modelo atual do edifício. O sistema de climatização artificial foi analisado através da variável de saída "Ideal Loads Systems" do EnergyPlus, que propicia aos

Tabela IV  
PADRÃO DE UTILIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

Horários	Ocupação(%)	Equipam.(%)	Ilum. Interna(%)	Ilum. Externa(%)	Cond. de Ar(%)	Infiltração(%)
08h-12h	100	20	100	0	100	100
12h-14h	0	0	10	0	0	100
14h-18h	100	20	100	0	100	100
18h-00h	0	0	0	100	0	100
00h-06h	0	0	0	100	0	100
06h-08h	0	0	0	0	0	100

Tabela V  
TROCAS DE AR E TEMPERATURAS DE CLIMATIZAÇÃO.

Trocas de Ar Telhado	8 trocas de ar/hora
Trocas de Ar Ambientes	1 troca de ar/hora
Temperatura para aquecimento	18°C
Temperatura para resfriamento	25°C

ambientes as quantidades de ar necessárias para resfriamento e aquecimento das cargas internas existentes [20].

O consumo de energia foi obtido através das variáveis de saída "Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy" e "Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy", que trazem valores de energia térmica, ambas em Joule. Por isso, houve-se a necessidade de transformação dos dados para Watt e divisão pelo COP e EER para a obtenção dos valores em kWh.

Em seguida, para analisar a influência de ações em eficiência energética visando a redução do consumo de energia elétrica do edifício, foram implementadas alterações nas propriedades do telhado e paredes laterais leste e oeste conforme ANDRADE [17], elementos de sombreamento nas janelas e portas externas, cores brancas na envoltória e alteração na análise da iluminação, passando a utilizar densidade de potência por m<sup>2</sup> nos ambientes [9] ao invés de utilizar as potências reais das luminárias. Por fim, fez-se uma junção de todas essas ações para verificar os resultados. A Tabela VI resume as alterações de cada medida e algumas de suas propriedades, e a Tabela VII mostra as alterações propostas e as propriedades termofísicas obtidas aproximadamente através do ProjetEEE [15].

A Tabela VIII mostra a densidade de potência de iluminação utilizada para os ambientes [9]. O valor de "Escritório" foi utilizado para as salas de professores, técnicos, projetos e outras similares.

### III. RESULTADOS

#### A. Modelo real

Primeiramente, foi realizada a construção do modelo atual do prédio via *software*. A Figura 6 mostra a vista superior para telhado e elementos de sombreamento do edifício, enquanto a Figura 7 mostra a vista frontal do modelo do NuLEEn.

Em seguida, foi realizada a simulação do consumo energético do edifício em kWh, em relação aos equipamentos, iluminação, sistemas de resfriamento e aquecimento. A Figura 8 mostra a comparação entre os ambientes analisados em relação ao consumo de energia elétrica para resfriamento. Para o modelo real, o consumo total anual para resfriamento foi de 37.998,84kWh. O ambiente com maior consumo foi

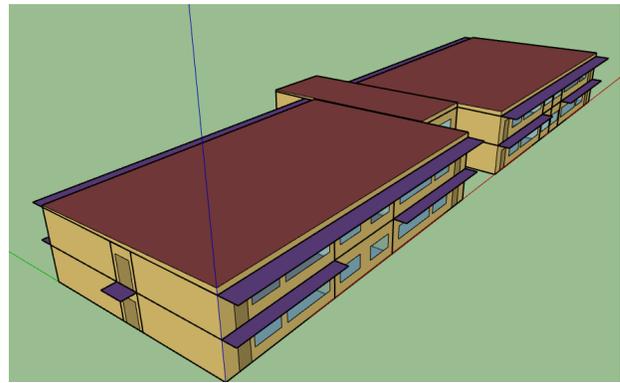


Figura 6. Modelo do edifício - vista superior.

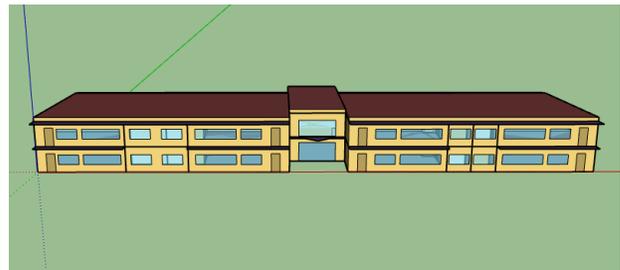


Figura 7. Modelo do edifício - vista frontal.

o LAB LPF, com 15.020,12kWh, enquanto o menor foi o Almojarifado do setor de química, com 36,1kWh.

Em relação à energia consumida nos sistemas de iluminação e equipamentos, obteve-se 39.367,4kWh e 78.113,15kWh, respectivamente.

Em relação ao consumo para aquecimento, houve uma influência menor em relação ao consumo de energia. Para o modelo real, o consumo total foi de 12,73kWh anuais para aquecimento. O ambiente de maior consumo foi o LAB A da engenharia elétrica, com 2,26 kWh. Já o menor caso foi observado na Sala de Professores da engenharia mecânica com a janela voltada para o norte, com 0,000052kWh.

#### B. Modelo com ações implementadas

1) *Caso 1: alterações no telhado:* Primeiramente, foi feita a alteração no telhado do edifício, com a inserção da camada de poliestireno expandido (EPS) de 2cm. Além disso, a laje pretendida alveolar foi substituída por laje de concreto 20cm. A Figura 9 mostra a comparação entre os ambientes em relação ao consumo de energia para resfriamento. A zona térmica com o consumo mais elevado para resfriamento foi o LAB LPF,

Tabela VI  
PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS: ELEMENTOS ACRESCIDOS

Estrutura	Acréscimos	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m.K)	Cp (J/kg.K)	e (m)	L (m)	$\alpha$	R (m <sup>2</sup> .K/W)
Paredes tijolo maciço	Gesso interno Câmara de ar	900	0,35	870	0,02 > 0,05		0,2	0,14
Brises	Elemento de sombreamento					1,5		
Cor branca							0,158	
Telhado	Poliestireno (EPS)	25	0,04	1420	0,02		0,5	

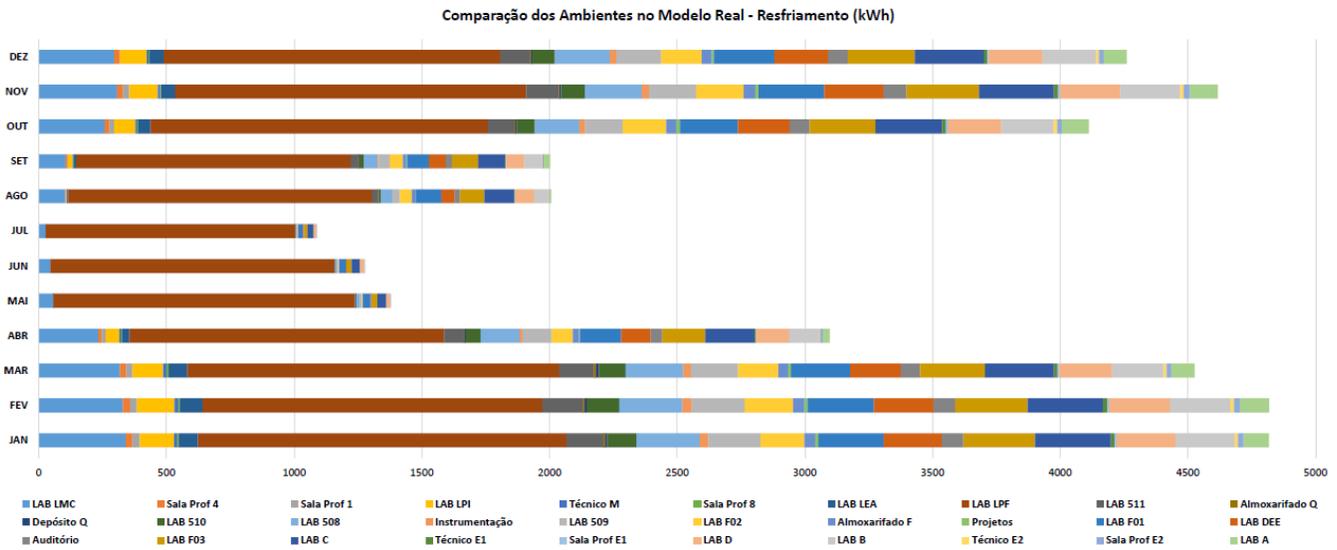


Figura 8. Modelo real: consumo para resfriamento.

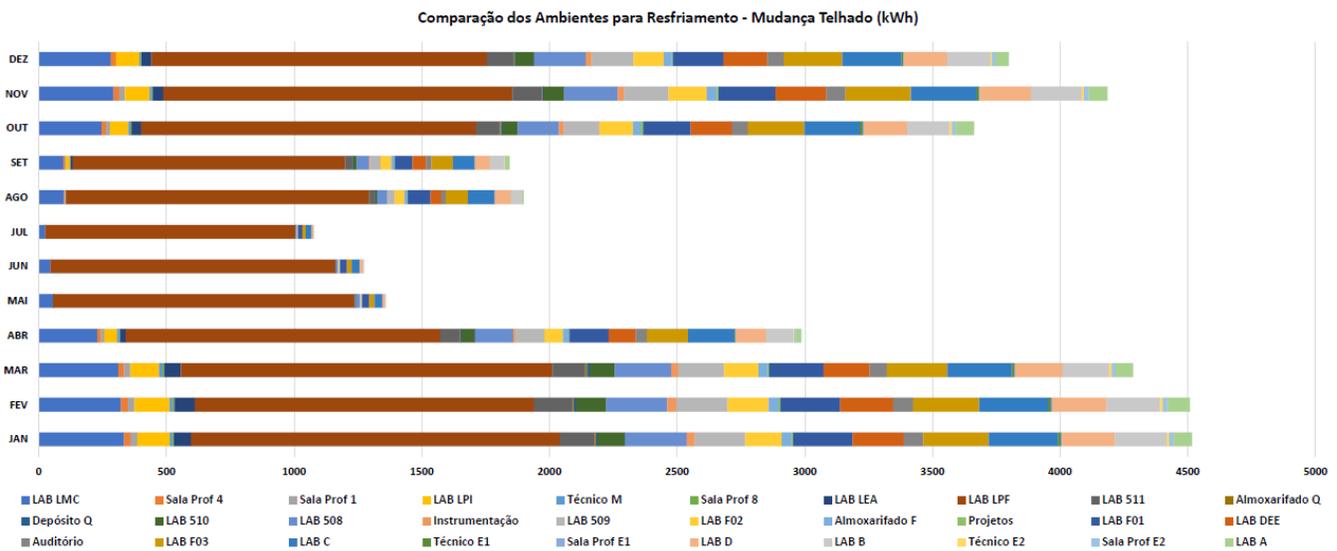


Figura 9. Mudança no telhado: comparação para resfriamento.

com 14.983,7kWh. Já o menor valor foi obtido na Sala de Professores da elétrica.

Nota-se uma redução de 2.606,14kWh com a mudança analisada. Logo, a inserção da camada de poliestireno combinada a mudança na laje superior do edifício resultando em uma estrutura de menor transmitância térmica mostraram-se capazes de auxiliar a redução de consumo, uma vez que a absorção do calor externo devido às radiações solares diretas são menores. Já em relação a energia para aquecimento, houve

Tabela VII  
PROPRIEDADES COM ALTERAÇÕES PROPOSTAS.

Estrutura	$U(W/m^2.K)$	$\varphi$ (hrs)	CT(kJ/m <sup>2</sup> K)
Parede tij. maciço	1,9	5,8	273,3
Telhado	1,0	13,1	484,6

Tabela VIII  
DENSIDADE DE POTÊNCIA ILUMINAÇÃO.

Ambiente/atividade	DPI Nível A (W/m <sup>2</sup> )
Escritório	11,9
Laboratórios	10,2
Banheiros	5
Circulação	7,1
Depósito/almojarifado	5
Auditório	8,5
Hall de Entrada	8

uma redução de 5kWh.

2) *Caso 2: acréscimo de brises*: algumas zonas do modelo construído não possuíam nenhum elemento de sombreamento, como as salas do térreo entre os laboratórios, janela superior do hall de entrada, janelas dos banheiros de ambos os pisos e nas portas dos corredores. Foram, então, acres-

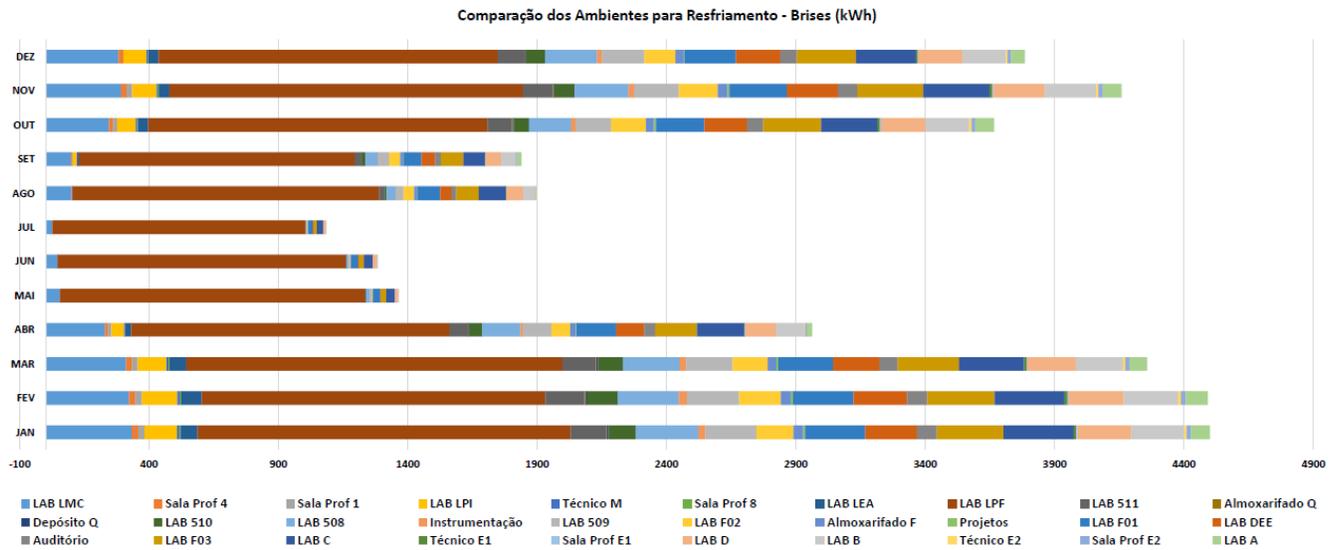


Figura 10. Brises: comparação no resfriamento.

centados elementos de sombreamento com brises horizontais para continuar as verificações. A Figura 10 mostra os gastos mensais com resfriamento nos ambientes simulados. O ambiente com maior consumo para resfriamento foi o LAB LFP, com 14.973,11kWh, enquanto o menor consumo foi do Almoxarifado do setor de química.

Houve uma redução em relação ao modelo real de 2.714,96kWh para resfriamento. Com a utilização dos brises, as superfícies de portas e janelas recebem menores incidências da radiação solar, o que auxilia a reduzir a quantidade de calor externo que entra no ambiente. Em relação ao aquecimento, houve uma redução de 4,01kWh na energia consumida.

3) *Caso 3: mudanças nas paredes laterais:* as paredes laterais (à leste-oeste) de tijolo maciço e argamassa tiveram o acréscimo de câmara de ar 5cm e gesso interno de 2cm, conforme mencionado na Tabela 7. A Figura 11 mostra os resultados obtidos na simulação dos ambientes no modelo com tais alterações em relação à energia para resfriamento. O maior consumidor de energia elétrica foi o LAB LFP, com 15.059,23kWh e o menor foi o Almoxarifado da química.

Como resultado, obteve-se uma redução na energia para resfriamento menor em relação às outras ações, de apenas 186,26kWh. Isso mostra que a alteração proposta nas propriedades das paredes referidas não foi suficiente para a obtenção de grandes reduções, sendo necessário analisar outras possibilidades, como a melhoria de todas as paredes do edifício, não somente as laterais. Em relação à energia para aquecimento, houve uma redução pequena de apenas 1,76kWh.

4) *Caso 4: alteração na absorvância da envoltória:* visando uma menor absorvância da radiação solar na envoltória do edifício, todas as paredes e o telhado da envoltória foram alterados para a cor branca. A Figura 12 e mostra o consumo para resfriamento nas zonas térmicas analisadas. O maior e menor consumo para resfriamento foi, respectivamente, do LAB LFP, com 14.823,64kWh, e o Almoxarifado da química, com 10,23kWh.

Para esta simulação, observa-se a maior redução de con-

sumo de energia até o momento. Isso se deve ao fato de que boa parte da radiação que antes infiltrava o ambiente tanto pelas paredes quanto pelo telhado não adentram mais os ambientes devido à menor absorção de radiação da cor branca. A redução no consumo de energia para resfriamento foi de 8.887,67kWh, enquanto no aquecimento houve um aumento de 29,37kWh. Em relação ao aumento no aquecimento, trata-se de uma maior necessidade de compensar a redução do calor devido a infiltração nas aberturas e envoltória nos meses de clima frio.

5) *Caso 5: análise na iluminação por DPI/m<sup>2</sup>:* para avaliar mudanças no sistema de iluminação do edifício, utilizou-se a densidade de potência de iluminação [9], conforme mencionado na Tabela VIII. Além disso, para as luzes externas foi mantida a mesma configuração anterior, com a potência real das luminárias de 950W. A Tabela IX mostra os resultados e a comparação em relação aos modelos anteriormente simulados.

Tabela IX  
CONSUMO DE ENERGIA COM ILUMINAÇÃO.

Gastos com Iluminação	Valor (kWh)
Modelos Anteriores	39.367,4
Modelo com DPI	652.224,05
Aumento no consumo	612.856,65

Apesar de ser esperado que a hipótese de se utilizar a densidade de potência para edificações nível A trouxesse reduções no consumo de energia, houve uma grande discrepância de valores entre os modelos simulados, e um aumento no consumo. Isso se deve ao fato de que as luminárias atuais do edifício contam com lâmpadas de LED, que substituíram recentemente as lâmpadas fluorescentes antigas. Portanto, nota-se que já foi adotada uma medida visando eficiência energética no edifício.

6) *Caso 6: união de todas as ações:* Por fim, fez-se a união de todas as ações anteriormente simuladas no modelo, com exceção à mudança na iluminação, para analisar a eficiência do conjunto em relação ao consumo de energia elétrica.

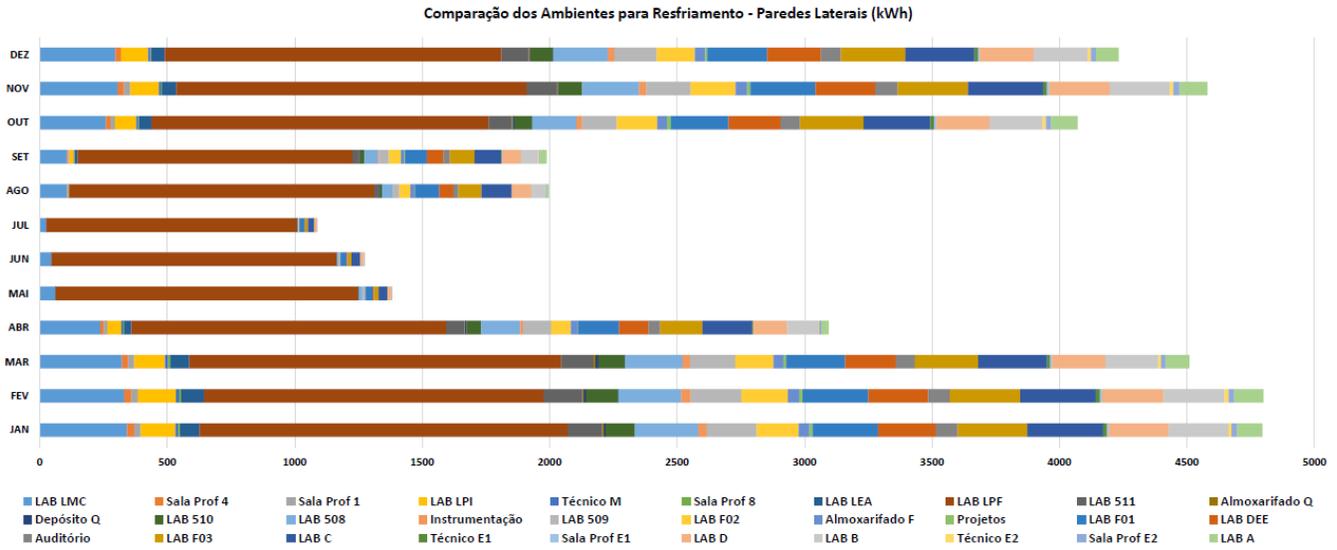


Figura 11. Paredes laterais: comparação resfriamento.

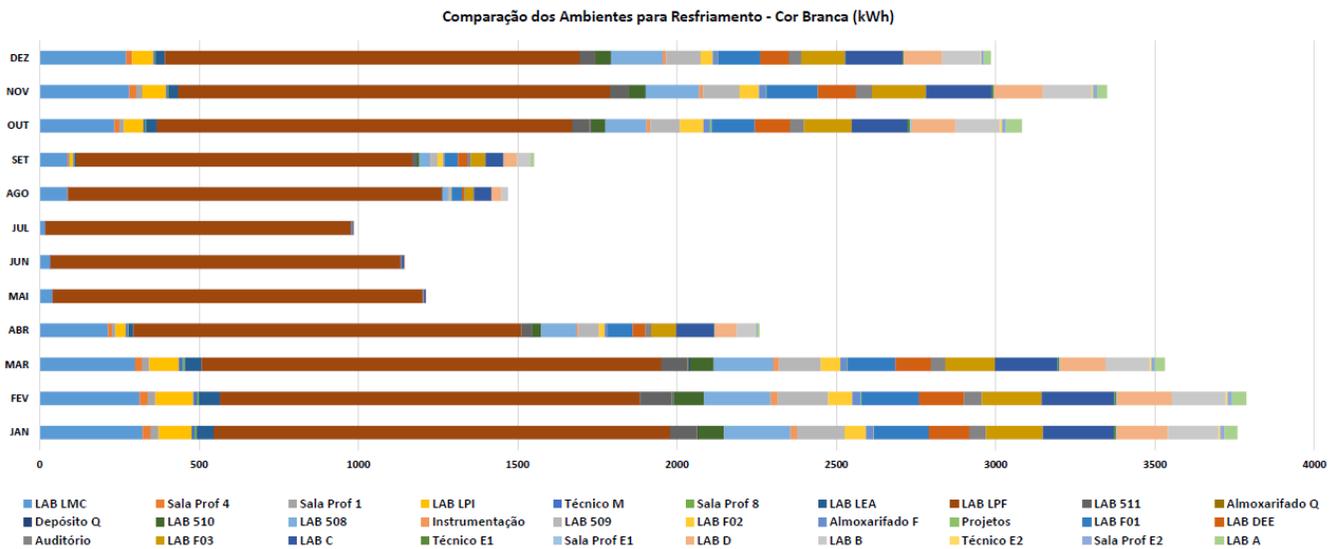


Figura 12. Cor branca na envoltória: comparação para resfriamento.

A Figura 13 mostra os resultados obtidos no consumo de energia para resfriamento. O maior caso foi no LAB LPF, com 14.968,43kWh, enquanto o menor caso foi observado no Almoarifado da química, com 7,15kWh.

Observou-se que, aplicando todas as ações na simulação do modelo, a redução no consumo de energia elétrica foi de 6.225,71kWh, sendo um valor inferior ao obtido alterando-se apenas a absorvância das fachadas. O valor total de redução abaixo do caso 4 pode ser explicado pelo fato de que as ações, em todos os casos, foram voltadas a diminuir os ganhos de calor do ambiente externo para o interno, mas podem ter dificultado a saída do calor gerado internamente. No aquecimento, houve uma redução pequena de apenas 0,25kWh.

A Tabela X resume os resultados totais e redução de consumo de energia para cada ação.

Tabela X  
ENERGIA TOTAL E REDUZIDA DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO.

Simulação	Total (kWh)	Redução (kWh)	Redução (%)
Modelo real	38.011,57	-	-
Caso 1	35.400,42	2.611,15	6,87
Caso 2	35.292,6	2.718,97	7,15
Caso 3	37.823,55	188,02	0,49
Caso 4	29.153,27	8.858,3	23,3
Caso 5	216.859,04	-178.847,47	-470,5
Caso 6	31.785,61	6.225,96	16,4

#### IV. OUTRAS AÇÕES A SEREM IMPLEMENTADAS NO FUTURO

Para se obter melhores resultados em relação ao modelo atual do edifício, ações de ventilação e iluminação natural, além de controle da iluminação artificial através de sensores

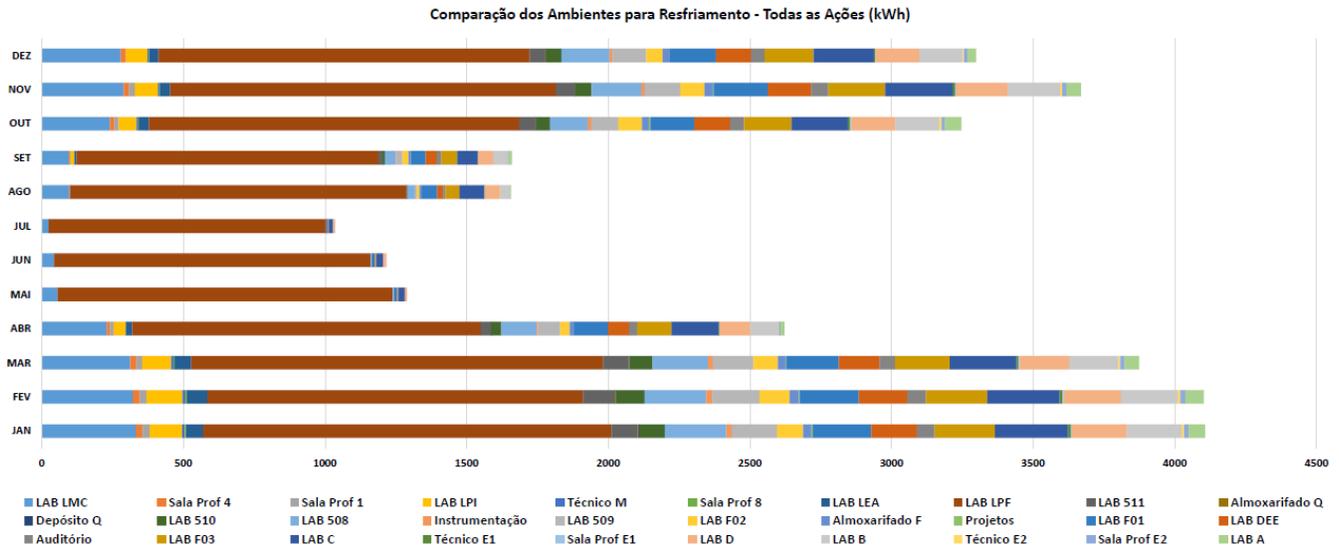


Figura 13. Todas as ações: análise do resfriamento.

são as primeiras opções a serem implementadas. Elas atuarão diretamente na redução da energia necessária para resfriamento, onde o consumo foi o maior observado, e no consumo de energia com o sistema de iluminação artificial.

Outros pontos importantes dizem respeito aos equipamentos do local. Como já mencionado, uma análise mais detalhada da demanda do sistema de energia elétrica ou a utilização de densidade de potência de equipamentos trará um menor consumo de energia elétrica e menor geração de calor interno e, assim, menores consumos de energia para resfriamento dos ambientes. Além disso, podem ser implementados novos materiais na envoltória, assim como sistemas de geração de energia solar fotovoltaica.

## V. CONCLUSÃO

O estudo de caso foi realizado com o intuito de desenvolver um modelo representativo do edifício, de acordo com a envoltória e outras características atuais, e realizar simulações termoenergéticas via *software* a fim de verificar a influência de ações em eficiência energética no consumo de energia de equipamentos, iluminação, sistemas de resfriamento e aquecimento. Além disso, indicar outras ações a serem implementadas em estudos futuros, como ventilação e iluminação natural, controle da iluminação artificial e inserção de energia solar fotovoltaica.

Com a análise dos resultados, foi possível verificar que uma simples alteração na absorvância das fachadas do edifício, adicionando-se cores brancas nas paredes e telhado, trouxe a maior redução no consumo de energia dos sistemas de resfriamento e aquecimento com 23,3%, seguido de todas as ações em conjunto com 16,4%. Entretanto, a simplificação de não representar os ladrilhos nas fachadas pode ter contribuído para a redução nos ganhos de calor das paredes e, conseqüentemente, no consumo total de energia para climatização. A mudança que trouxe menores reduções foi o acréscimo de gesso interno e câmara de ar nas paredes com 0,49%. Possivelmente, o

acréscimo de outros materiais na composição dessas paredes poderá trazer maiores contribuições, aumentando o valor de redução obtido na simulação.

Pode-se perceber a importância de se analisar cada medida individualmente para, então, analisá-las em conjunto, sendo possível conhecer a melhor ação a ser implementada na edificação. Além disso, nota-se a relevância do estudo de eficiência energética voltado às edificações, sejam elas residenciais, comerciais ou públicas, e como simples ações já são suficientes para trazer resultados positivos. Estudos mais aprofundados e investimentos em tais ações podem obter resultados ainda maiores e, assim, trazer benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte dos departamentos dos cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Física e Química, assim como a Prefeitura Universitária do campus pelo apoio no trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] CAMPOS, L. Eficiência Energética: a 'fonte' de energia mais limpa que existe. ECOA, Brasil, 2019 - versão *online*. Disponível em: <https://ecoa.org.br/a-fonte-de-energia-mais-limpa-que-existe/>. Acesso em: 21 de jun. 2022.
- [2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE): Brasil: **Ações Para Promoção da Eficiência Energética nas Edificações Brasileiras: no Caminho da Transição Energética**, 2020 - versão *online*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT%20DEA-SEE-007-2020.pdf>. Acesso em: 02 de dez. 2022.
- [3] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE): Brasil: **Balanco Energético Nacional 2021 - Ano Base 2020**, 2021 - versão *online*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 02 de dez. 2022.

- [4] COSTA, J. dos S.; ANDRADE JUNIOR, L. M. L. de. Energy efficiency applied to electricity consumption: A bibliographic review study. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e26210414085, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14085. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14085>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- [5] PROCEL INFO. Brasil: **Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética**, 2022 - versão *online*. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}>. Acesso em: 22 de jun. 2022.
- [6] MELO, Thiago da Costa. **Eficiência Energética e Conforto Térmico em Edificações em Recife Utilizando o Energyplus**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/30969>. Acesso em: 02 de dez. 2022.
- [7] TALLMANN, J. A. R.; CARVALHO, C. R.; GALAFASSI, M. Análise da influência da geometria arquitetônica na eficiência energética de edificações comerciais. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. João Pessoa, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/341786931\\_ANALISE\\_DA\\_INFLUENCIA\\_DA\\_GEOMETRIA\\_ARQUITETONICA\\_NA\\_EFICIENCIA\\_ENERGETICA\\_DE\\_EDIFICACOES\\_COMERCIAIS](https://www.researchgate.net/publication/341786931_ANALISE_DA_INFLUENCIA_DA_GEOMETRIA_ARQUITETONICA_NA_EFICIENCIA_ENERGETICA_DE_EDIFICACOES_COMERCIAIS). Acesso em: 14 de dez. 2022.
- [8] QUITO, Mateus dos Santos. Uso de energia fotovoltaica em edificações de grande porte: estudo de caso do Centro de Cultura e Eventos da UFSCar. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15455>.
- [9] PROCEL EDIFICA. Brasil: **Manual para Aplicação do RTQ-C: Comercial, de Serviço e Público**, 2. ed., 03/2014b, 2013 - - versão *online*. Disponível em: [http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv02\\_1.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv02_1.pdf). Acesso em: 13 de out. 2022.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [11] SILVA, L. M. de B.; PADOVAN, L. G. D. **Zonas bioclimáticas brasileiras e estratégias projetuais**. Ourinhos. Disponível em: <http://www.cic.fio.edu.br/anaisCIC/anais2020/pdf/02.21.pdf>. Acesso em: 14 de dez. 2022.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de Cálculos da Transmitância Térmica, da Capacidade Térmica, do Atraso Térmico e do Fator Solar de Elementos e Componentes de Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [14] INMETRO. Brasil: **Anexo geral V da portaria INMETRO nº 50/2013 - Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**, 2013 - versão *online*. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtospbe/regulamentos/anexov.pdf>. Acesso em: 15 de out. 2022.
- [15] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Brasil: **Componentes Construtivos - PROJETEE**, 2022 - versão *online*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/componentes-construtivos/>. Acesso em: 10 de out. 2022.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401: Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários parte 1: projetos das instalações**. Tabela C.1 Anexo C. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- [17] ANDRADE, Henrique José Caravita de. **Análise da eficiência energética em edificações usando os métodos RTQ-C e INI-C**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15717>. Acesso em: 29 de set. 2022.
- [18] MITCHELL, J. W.; BRAUN, J. E. **Princípios de Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar em Edificações**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- [19] LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Brasil: **Arquivos climáticos INMET 2016**, 2016 - versão *online*. Disponível em: <https://labeec.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>. Acesso em: 05 de set. 2022.
- [20] Bigladder Software. Ideal Loadas Air System: overview. **Engineering Reference - EnergyPlus8.0** - versão *online*. Disponível em: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-0/engineering-reference/page-092.html>. Acesso em: 13 de dez. 2022.