

Análise de medidas de eficiência térmica no consumo energético e conforto térmico de uma edificação

Ellen David Chepp¹, Fabiano Perin Gasparin²

¹ Mestre e Doutoranda no Programa de Engenharia de Minas, Metalúrgicas e de Materiais da UFRGS

² Professor Adjunto - Departamento de Engenharia de Materiais - UFRGS

Recebido em: 7 mar. 2018. Aceito: 2 julho 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.53.236-249>

Resumo

O uso eficiente e racional de energia pode ser promovido através de melhorias construtivas na envoltória de edificações e utilização de equipamentos mais eficientes. Com base nessa diretriz, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto no consumo energético de medidas de melhoria no desempenho térmico da envoltória de uma edificação localizada em Porto Alegre (RS, Brasil). Foi realizada uma simulação anual de desempenho energético utilizando os programas computacionais *SketchUp* e *EnergyPlus*. A edificação projetada seguindo as práticas comuns serviu de base comparativa para a análise da adição de medidas de eficiência na envoltória. Verificou-se que paredes duplas, telhado branco e vidros duplos foram as medidas que tiveram menor impacto na redução do consumo. A aplicação de isolante térmico no forro e nas paredes contribuiu para uma redução de 33,1% e 22,2%, respectivamente, no consumo de climatização. A simulação de um caso ótimo resultou em uma redução de 60,7% no consumo anual de climatização. Foi feita uma estimativa do investimento necessário no caso ótimo e o tempo de retorno estimado foi de 7 anos. Portanto, a adição de medidas de isolamento na envoltória de uma edificação tem resultados significativos na redução do consumo energético, o que deveria pautar o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem e promovam a aplicação dessas medidas.

Palavras-chave: Eficiência energética. Climatização. Simulação

Abstract

Analysis of thermal efficiency measures on energy consumption and thermal comfort of a building

The efficient and rational use of energy can be promoted through constructive improvements in the enveloping of buildings and the use of more efficient equipment. Based on this guideline, the objective of this work was to evaluate the impact on the energy consumption of measures to improve the thermal performance of the envelopment of a building located in Porto Alegre (RS, Brazil). An annual energy performance simulation was performed using *SketchUp* and *EnergyPlus* programs. The building designed following the common practices served as a comparative basis for the analysis of the addition of measures of efficiency in the envelope. It was verified that double walls, white roof and double glazing were the measures that had less impact in the reduction of the consumption. The application of thermal insulation to the ceiling and walls contributed to a reduction of 33.1% and 22.2%, respectively, in the consumption of HVAC. The simulation of a optimal case resulted in a 60.7% reduction in HVAC consumption. An estimate of the investment required in the optimal case was made and the estimated payback was 7 years. Therefore, the addition of insulation measures in the envelope of a building has significant results in the reduction of energy consumption, which should guide the development of public policies that encourage and promote the application of these measures.

Keywords: Energy Efficiency. HVAC. Simulation.

Introdução

O uso eficiente e racional da energia nas edificações deve ser considerado como importante ação diante do crescente aumento no consumo de energia, no sentido de evitar uma possível escassez energética. A diversificação das fontes de geração de energia, a utilização das fontes renováveis em especial, desempenha papel central na sustentabilidade do setor, entretanto o uso racional é fundamental para evitar o consumo e a necessidade de novos empreendimentos de geração. Na Fig. 1, pode-se verificar a contribuição dos diversos setores no consumo de energia elétrica no ano de 2018. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2019), o setor residencial foi o segundo setor que mais contribuiu no consumo de energia elétrica no país, atrás apenas do setor industrial.

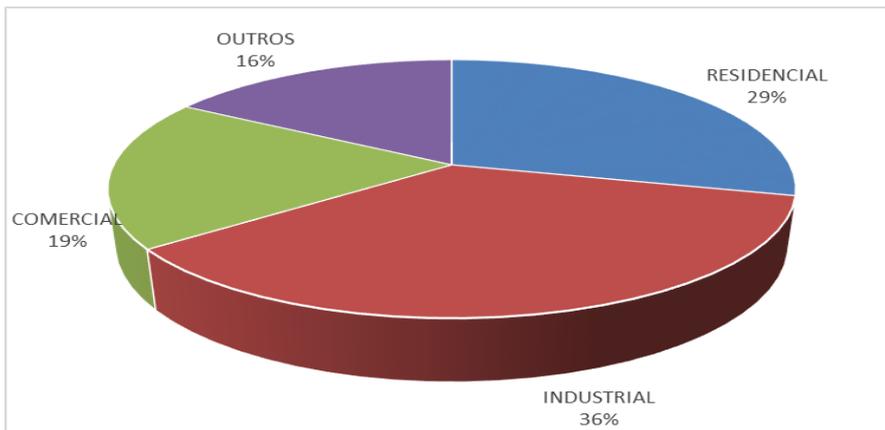


Figura 1
Participação de cada setor no consumo de energia elétrica em 2018.

Fonte: EPE (2019).

Aliada ao crescimento do consumo energético está a popularização dos sistemas de climatização. Por garantirem maior conforto aos usuários, a tendência é que esses sistemas sejam cada vez mais utilizados, sendo responsáveis por uma parcela considerável no consumo de energia elétrica das edificações. De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL (2007), os sistemas de climatização correspondiam a 20% do consumo elétrico residencial no Brasil em 2005. Na Fig. 2, observa-se que a climatização impactou em 32% do consumo residencial na região Sul. Esses dados são referentes ao último ano de publicação da pesquisa. Visto que ocorreu uma popularização de sistemas de climatização nos últimos anos, é provável que tenha ocorrido um aumento considerável na posse desses sistemas.

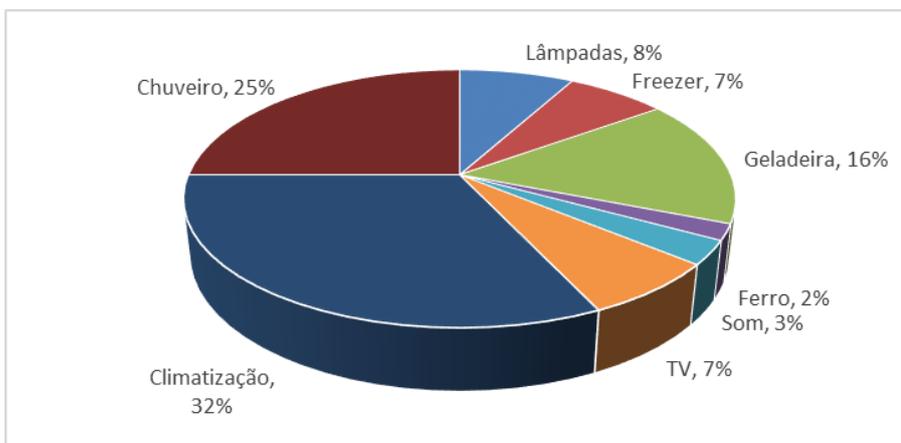


Figura 2
Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial da região Sul em 2005.

Fonte: PROCEL (2007).

Neste cenário de incentivo ao uso mais eficiente e racional da energia nas edificações, medidas para melhorar o desempenho térmico da edificação e, conseqüentemente, diminuir o consumo de climatização tornam-se cada vez mais interessantes do ponto de vista econômico e ambiental. Portanto, a quantificação

por meio de simulação computacional dos resultados obtidos a partir da aplicação de tais medidas de eficiência torna-se uma importante ferramenta de planejamento e análise para induzir políticas e mudanças nas diretrizes de construção de novas edificações.

Tendo em vista a atual relevância do assunto, o objetivo deste trabalho é fazer uma avaliação do impacto, no consumo de energia elétrica do sistema de climatização, da adição de medidas para melhorar o desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial projetada segundo as práticas usuais empregadas na construção civil, a ser construída no município de Porto Alegre (RS, Brasil). Para isso, foram realizadas simulações do comportamento térmico e energético da edificação com o uso do programa *EnergyPlus*. O impacto da aplicação de medidas de melhoria na envoltória da edificação no consumo de energia elétrica e na temperatura interna das zonas térmicas em comparação à edificação projetada foi obtido quantitativamente a partir de modelos físicos do programa *EnergyPlus*.

Eficiência Energética em Edificações

Visto que a climatização é responsável por uma parcela considerável do consumo elétrico de edificações, o estudo de medidas para reduzir o uso e tornar o consumo energético mais eficiente sem afetar o conforto térmico dos usuários é importante a fim de reduzir o consumo energético de edificações. De acordo com a *Ashrae* (2005), o conforto térmico é uma condição da mente na qual é expressa satisfação com o ambiente térmico. Além disso, é importante ressaltar que o conforto é um parâmetro que varia de acordo com cada indivíduo.

A carga térmica é definida como a energia térmica (que deve ser adicionada ou retirada de um ambiente) necessária para manter as condições de temperatura e umidade relativa desejadas pelos usuários em um recinto (SILVA, 2003) e depende das trocas térmicas da edificação com o meio externo (através da envoltória) e das cargas internas (equipamentos elétricos e ocupação de pessoas, por exemplo).

As principais trocas de calor com o ambiente externo ocorrem por condução, convecção e radiação. O uso de materiais isolantes na envoltória de uma edificação contribui para uma redução das trocas térmicas.

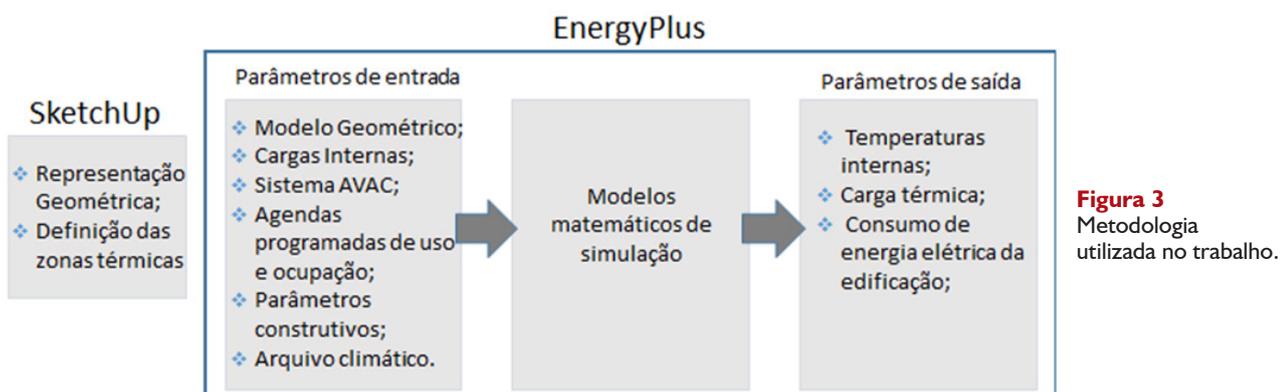
Os equipamentos, como lâmpadas e eletrodomésticos, são fontes de calor interno que contribuem para um ganho de calor sensível no recinto. A ocupação de pessoas em um recinto também é uma fonte de calor interno, que varia de acordo com o número de pessoas e a atividade exercida por elas. (SILVA, 2003).

A adição de medidas para reduzir as trocas de calor com o meio externo na envoltória de uma edificação contribui para uma redução do consumo de climatização. Pereira (2005) verificou alguns parâmetros que contribuem para a redução no consumo de energia de uma edificação, concluindo que os que mais contribuíram, em ordem decrescente, são: localização geográfica, iluminação programada, tipo de vidro, área envidraçada das fachadas e orientação solar.

Martinez (2009) e Pozza (2011) analisaram energeticamente edificações e modificaram parâmetros construtivos a fim de reduzir o consumo energético. Martinez (2009) obteve uma redução de 49,55% no consumo de energia para o sistema de climatização em comparação ao prédio projetado e 11,58% de redução em comparação ao edifício base (definido de acordo com as normas *Ashrae*). Enquanto que Pozza (2011) verificou 42,9% de redução em comparação ao edifício base com as modificações propostas. Os resultados obtidos pelos autores evidenciam o potencial de redução de consumo a partir de medidas de eficiência na envoltória de uma edificação.

Materiais e Métodos

A metodologia deste trabalho foi dividida em duas etapas: a primeira consistiu na representação geométrica da edificação estudada e a segunda, na realização das simulações em diferentes cenários. A representação geométrica foi realizada através do programa computacional *Google SketchUp* juntamente com a extensão *OpenStudio*, que permite que o arquivo seja salvo em um formato que pode ser importado pelo *EnergyPlus*, utilizado para a realização das simulações energéticas na segunda etapa. A metodologia empregada pode ser vista na Fig. 3.



Para o *EnergyPlus* realizar a simulação, devem ser definidos o modelo geométrico da edificação, os elementos construtivos e suas propriedades, as cargas internas (como iluminação, ocupação de pessoas e eletrodomésticos) e o perfil de uso ou ocupação dessas cargas. Deve ser fornecido um arquivo climático do local, que corresponde ao ano típico para a localização.

A representação geométrica da edificação foi desenvolvida de acordo com o projeto arquitetônico da edificação, que pode ser vista na Fig. 4. As zonas térmicas da edificação foram determinadas de acordo com as delimitações construtivas dos recintos. A Fig. 5 apresenta a divisão e a orientação solar das zonas térmicas na edificação, onde se verifica que a zona térmica sala e cozinha possui sua principal parede externa voltada para o oeste, o dormitório 3 possui paredes externas voltadas para o oeste e para o sul, o dormitório 1 possui paredes externas voltadas para o sul e para o leste e o dormitório 2, para o leste e para o norte.

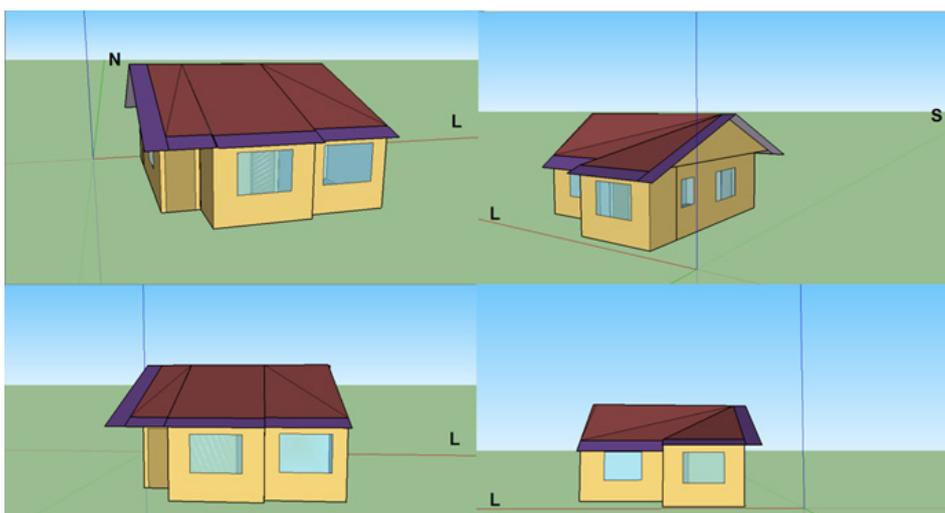


Figura 4
Representação geométrica da edificação em diferentes vistas.

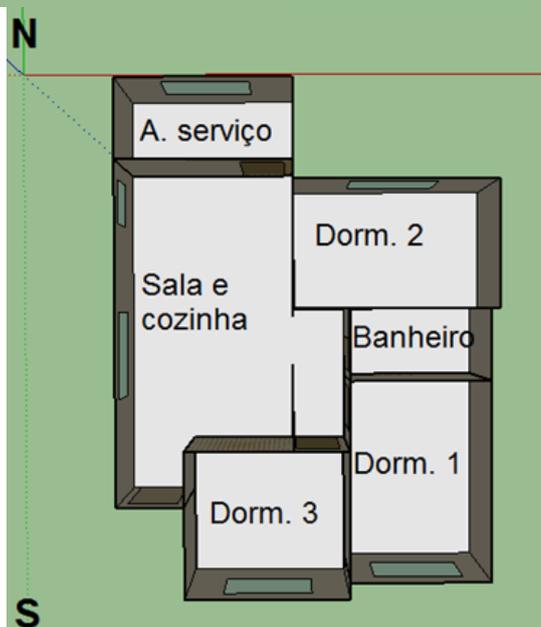


Figura 5
Zonas térmicas da edificação.

O sistema de iluminação considerado foi composto por lâmpadas de LED (*Light Emitting Diode*) e dimensionado de acordo com os valores de iluminância determinados pela NBR 5413 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (ABNT, 1992) para ambientes residenciais. A principal ocupação da residência ocorre das 18h às 8h, se distribuindo nos dormitórios das 21h às 7h. Na área da sala e cozinha, permanecem entre as 7h e 8h e das 18h às 21h. A Tab. 1 apresenta o número máximo de pessoas, os equipamentos elétricos e a iluminação considerados, com as respectivas potências, em cada zona térmica.

O sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) disponível no *EnergyPlus* escolhido foi o *Packaged Terminal Air Conditioner* (PTAC). O sistema é composto por uma serpentina de refrigeração de expansão direta e uma serpentina de aquecimento que pode ser elétrica, a gás, água quente ou vapor, sendo que para este trabalho optou-se pela opção de aquecimento elétrico (*U.S. Department of Energy*, 2015).

Tabela 1 – Ocupação de pessoas, equipamentos elétricos e sistema de iluminação de cada zona térmica.

Zona	Número máximo de pessoas	Equipamentos	Potência	Iluminação	
				Potência da lâmpada	Quantidade
Dormitório 1	1	TV LED 24"	48 W	18 W	1
Dormitório 2	1	TV LED 24"	48 W	18W	1
Dormitório 3	1	TV LED 24"	48 W	18W	1
Sala e cozinha	3	Microondas 25l	1400 W	18 W	3
		Geladeira	200 W		
		TV LED 32"	85 W		
		Cafeteira	550 W		
Banheiro	-	Chuveiro	5000W	6,5 W	1
Área de Serviço	-	-	-	6,5 W	1
Corredor	-	-	-	6,5 W	1

Foram climatizadas quatro zonas térmicas: sala e cozinha e os três dormitórios, e foi considerada a utilização do sistema de climatização durante todo o período de ocupação da zona. As temperaturas de ajuste para aquecimento e refrigeração foram 20°C e 25°C, respectivamente, respeitando as temperaturas de conforto térmico estipuladas pela NBR 6401 (ABNT, 1980).

O *EnergyPlus* realiza as simulações a partir de um arquivo climático que é disponibilizado pelo usuário. Neste trabalho, foi utilizado o arquivo de Porto Alegre (RS) fornecido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LABEEE (2016) da Universidade Federal de Santa Catarina.

Os parâmetros construtivos da edificação foram definidos de acordo com o projeto arquitetônico e o memorial descritivo. As Tab. 2 e 3 apresentam os parâmetros construtivos considerados para a simulação da edificação projetada.

Tabela 2 – Configurações construtivas e propriedades térmicas dos materiais utilizados na Edificação Projetada.

Elemento	Característica	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/(m K))	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/(kg K))
Piso	Cerâmico	0,01	1,79	1922	1040
	Argamassa	0,01	0,82	801	830
Contra piso	Concreto	0,07	1,75	2300	1000
Telhado	Telha cerâmica	0,03	0,72	1922	830
Porta	Madeira de lei	0,03	0,16	720	1255

Fonte: ABNT (2003); MARTINEZ (2009) e POZZA (2011).

Tabela 3 – Características construtivas das paredes e do forro.

Elemento	Composição	Espessura (m)	Transmitância Térmica (W/(m ² K))
Parede	Tijolos de 6 furos assentados na menor dimensão	0,15	2,28
	Argamassa de assentamento: 1,0 cm		
	Argamassa de emboço: 2,5 cm		
Forro	PVC	0,007	28,57

Fonte: ABNT (2003).

As propostas de melhoria na envoltória consistem na adição de isolante térmico nas paredes e no forro, paredes duplas, telhado branco e vidros duplos nas janelas. A fim de avaliar o impacto de cada medida separadamente em comparação à simulação da edificação projetada, as simulações foram divididas em cenários, adicionando uma medida de cada vez à edificação projetada. Depois de obtidos os resultados individuais, foi avaliado um caso ótimo com aplicação da melhor opção (opção de maior impacto na climatização) entre isolante térmico nas paredes e paredes duplas e todas as demais medidas. Nesses cenários avaliados, foram mantidas as mesmas características do sistema de climatização.

Por fim, foi realizada uma análise da temperatura interna das zonas térmicas, onde foi desconsiderado o sistema de climatização, comparando o desconforto térmico da edificação base e do caso ótimo (cenário 6). Foram analisados os seguintes cenários:

- Edificação projetada segundo práticas usuais;
- Cenário 1: Adição de isolante térmico no forro;
- Cenário 2: Adição de isolante térmico nas paredes;
- Cenário 3: Paredes duplas;
- Cenário 4: Telhado Branco;
- Cenário 5: Vidros duplos;
- Cenário 6: Caso ótimo;
- Cenário 7: Sem climatização.

Uma análise econômica foi realizada para o caso ótimo, levando em consideração o custo do investimento e o tempo de retorno.

Resultados e Discussão

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos para a edificação projetada e os cenários avaliados.

Edificação projetada

A primeira avaliação realizada foi a simulação da edificação com as características construtivas de projeto (edificação projetada), conforme foi apresentado nas Tab. 2 e 3. Essa simulação serviu de comparação para as seguintes simulações realizadas. Os resultados obtidos são apresentados na Tab. 4.

Tabela 4 – Resultados para a Edificação Projetada.

Total da Edificação	Consumo anual (kWh/ano)				
	Sistema de Climatização				
	Edificação	Sala e cozinha	Dorm. 1	Dorm. 2	Dorm. 3
8.494,2	6.336,0	2.305,6	1.638,7	1.489,6	902,1

Com esses resultados para a edificação projetada, foi possível constatar que o sistema de climatização é responsável pela maior parcela do consumo elétrico de toda edificação, totalizando 74,6%. Verificou-se também que a climatização da sala e cozinha é a que mais contribui no consumo de energia e, em contrapartida, que o sistema do dormitório 3 é o que menos contribui.

Ressalta-se que foram utilizadas temperaturas de ajuste constantes para aquecimento e refrigeração durante todo o período de ocupação das zonas climatizadas. Como essas características foram mantidas constantes em todas as simulações e os demais resultados foram comparados com essa, o valor absoluto do consumo do sistema de climatização serve de parâmetro comparativo para as análises.

Avaliação das medidas propostas

No primeiro cenário (cenário 1), foi adicionado isolante térmico ao forro da edificação projetada. Foi utilizado como isolante 8 cm de lã de rocha, adicionada acima do forro PVC. As características da lã de rocha considerada estão apresentadas na Tab. 5. Neste cenário, obteve-se uma redução de 33,1% no consumo anual da climatização e 24,7% no consumo anual da edificação em comparação à edificação projetada.

Tabela 5 – Características do isolante térmico adicionado no cenário 1.

Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/(mK))	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/(kg K))
Lã de rocha	0,08	0,045	40	750

Fonte: ABNT (2003).

Foi realizado, no cenário 2, a adição de 5 cm de lã de rocha e 2 cm de gesso nas superfícies internas das paredes externas da edificação projetada. A Tab. 6 apresenta a nova composição dessas paredes e a Tab. 7, as características dos materiais adicionados. Foi obtida uma redução de 16,6% no consumo elétrico anual da edificação e 22,2% no de climatização em comparação à edificação sem adição de medida de eficiência.

No cenário 3, foi verificado o impacto da substituição das paredes externas simples por paredes duplas na edificação projetada. As características da parede dupla considerada estão apresentadas na Tab. 8. Nessa configuração, o resultado obtido foi uma redução de 5,2% no consumo elétrico anual da edificação e 7,0% na climatização em comparação à edificação projetada.

Tabela 6 – Composição das paredes no cenário 2.

Elemento	Composição
Parede externa	Argamassa
	Tijolo de 6 furos
	Argamassa
	Lã de rocha
	Gesso

Tabela 7 – Características dos materiais adicionados no cenário 2.

Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/(mK))	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/(kg K))
Lã de rocha	0,05	0,045	40	750
Gesso	0,02	0,35	800	840

Fonte: ABNT (2003).

Tabela 8 – Características das paredes duplas.

Elemento	Composição	Espessura (m)	Transmitância Térmica (W/(m ² K))
Paredes externas	Parede dupla de tijolos de 6 furos	0,26	1,52
	Argamassa de assentamento: 1,0 cm		
	Argamassa de emboço: 2,5 cm		

Fonte: ABNT (2003).

Foi verificado que a utilização de paredes duplas também contribuiu para a redução do consumo de energia elétrica, porém essa contribuição é pequena em comparação à obtida pela adição de isolante térmico no forro e nas paredes, como pode ser melhor comparado na Tab. 10. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que a parede dupla simulada não possui espaço de ar entre os tijolos. Portanto, optou-se por realizar uma nova simulação considerando espaço de ar entre as paredes de tijolos.

Foi realizada uma nova avaliação do cenário 3, considerando uma câmara de ar de 3 cm de espessura entre as paredes de tijolos. De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2003), a resistência térmica do ar nessas condições é igual a 0,16 m²K/W. Desta forma, se obteve uma redução anual mais significativa, 10,2% no consumo anual da edificação e 13,6% na climatização comparada à edificação projetada.

O telhado branco foi a medida proposta no cenário 4. Foi modificada a absorvidade da telha de barro de 0,75 para 0,2, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2003). Com essa medida barata e simples, obteve-se uma redução anual de 6,0% no consumo total e 8,1% na climatização da edificação.

A última medida analisada (cenário 5) foi a utilização de vidros duplos, onde substituiu-se os vidros simples de 3 mm por dois vidros de 3 mm com 13 mm de espaço de ar entre eles. A Tab. 9 apresenta as propriedades do vidro utilizado. A adição dos vidros duplos impactou em uma redução anual de 2,0% no consumo de toda edificação e 2,7% no consumo de climatização.

Tabela 9 – Propriedades do vidro.

Espessura	0,003 m
Transmitância Solar	0,843
Refletância solar exterior	0,0745
Refletância solar interior	0,0748
Transmitância Visível	0,903
Refletância visível	0,0807
Transmitância no Infravermelho	0
Emissividade	0,838
Condutividade térmica	0,9 W/mK

Fonte: Pereira (2005).

A Tab. 10 apresenta os resultados obtidos para cada medida avaliada como descrito anteriormente. Verifica-se que as medidas que mais contribuíram para uma redução no consumo elétrico da edificação e, conseqüentemente, na climatização foram a adição de isolante térmico no forro e nas paredes. Conforme esperado, as paredes duplas com espaço de ar apresentaram resultados mais satisfatórios que as avaliadas sem esse espaço (aproximadamente duas vezes maior). O telhado branco e os vidros duplos não apresentaram resultados tão significativos como os anteriores, porém é importante ressaltar que o telhado branco é uma medida de baixo custo e de fácil implementação.

Tabela 10 – Comparação dos resultados obtidos para as medidas avaliadas.

Cenários	Medida avaliada	Redução no consumo anual da edificação	Redução anual na Climatização
Cenário 1	Isolante no forro	24,7%	33,1%
Cenário 2	Isolante nas paredes	16,6%	22,2%
Cenário 3 (sem espaço de ar)	Paredes duplas	5,2%	7,0%
Cenário 3 (com espaço de ar)	Paredes duplas com espaço de ar de 3 cm	10,2%	13,6%
Cenário 4	Telhado branco	6,0%	8,1%
Cenário 5	Vidros duplos	2,0%	2,7%

No cenário 6, foi analisada a inserção na edificação projetada da melhor opção entre paredes duplas e isolante térmico nas paredes e de todas as demais medidas que foram analisadas separadamente nos cenários anteriores. Evidencia-se que a adição de isolante térmico nas paredes é mais eficiente que paredes duplas. Portanto, considerou-se a adição de isolante térmico nas paredes e no forro, telhado branco e vidros duplos neste cenário.

Esse cenário foi o que apresentou maior redução no consumo de energia elétrica da edificação, caracterizando-se o cenário ótimo do estudo de caso. As medidas adotadas colaboraram para uma redução de 45,3% no consumo elétrico anual da edificação e de 60,7% no sistema de climatização. Conseqüentemente, o sistema de climatização passou a representar 53,5% do consumo total da edificação.

A Fig. 6 apresenta o consumo mensal de climatização na zona térmica Sala e Cozinha, para o cenário ótimo analisado e a edificação projetada. Nessa figura, é possível verificar uma redução de consumo de climatização em todos os meses do ano a partir da adição das medidas propostas no caso ótimo e que a redução (diferença) é mais significativa nos meses de temperaturas mais baixas (de maio a agosto) e nos de temperaturas mais altas (novembro a janeiro), alcançando a redução de 157,27 kWh em maio com a aplicação das medidas.

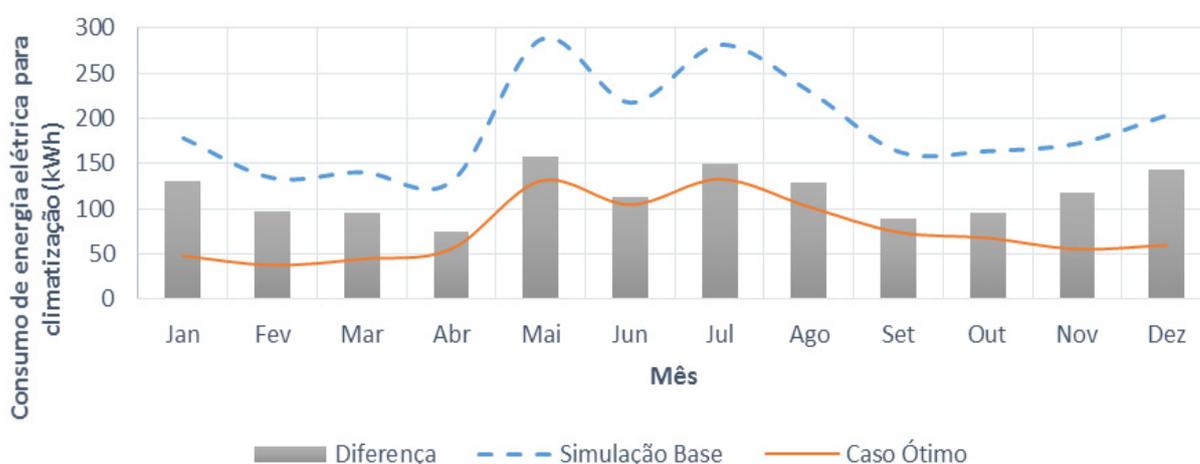


Figura 6
Consumo mensal com climatização para a Simulação Base e Cenário 6 (Caso Ótimo).

Cenário 7: Sem climatização

No último cenário avaliado, foi feita uma comparação do desconforto térmico da edificação projetada com o caso ótimo, desconsiderando o sistema de climatização em ambos os casos. De acordo com a NBR 6401 (ABNT, 1980), o conforto térmico em ambientes residenciais varia de 23 a 25 °C no verão e no inverno, de 20 a 22 °C. As Fig. 7 e 8 apresentam as porcentagens de horas com temperaturas fora do intervalo de conforto estipulado pela ABNT (1980) na edificação base e no caso ótimo, respectivamente.

Comparando as Fig. 7 e 8, foi possível verificar que a única zona térmica em que ocorreu aumento das horas de desconforto anual quando adicionadas as medidas propostas foi a do dormitório 2. É constatada uma redução das horas com temperaturas fora dos limites de conforto nas demais zonas térmicas. Na análise de desconforto térmico realizada, foram considerados os intervalos de conforto definidos pela ABNT (1980) e, logo, as horas com temperaturas acima ou abaixo dos limites desses intervalos foram consideradas desconfortáveis, o que justifica os valores de desconforto acima de 80%.

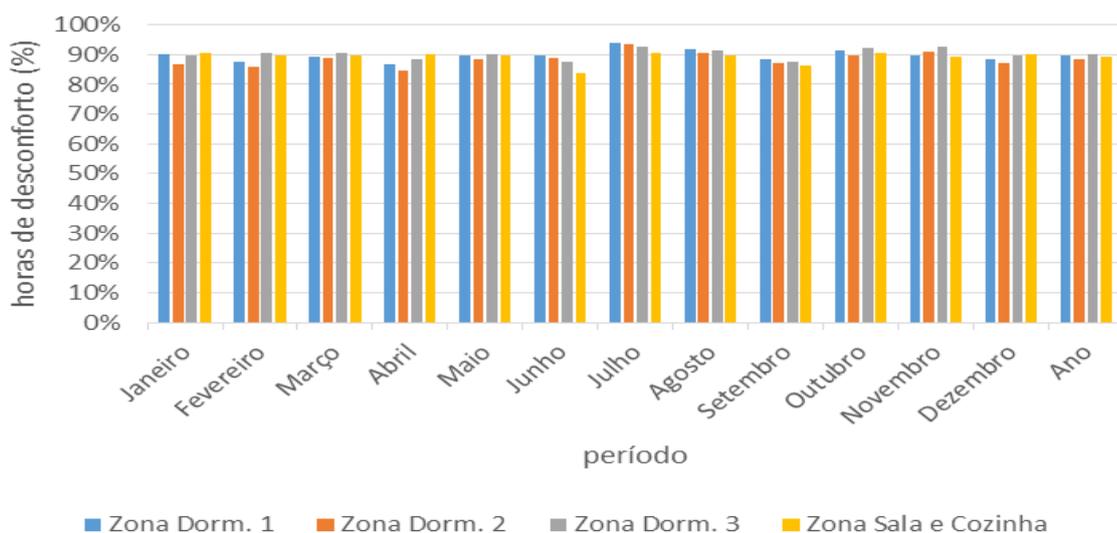


Figura 7
Porcentagem de horas fora do intervalo de conforto na edificação projetada.

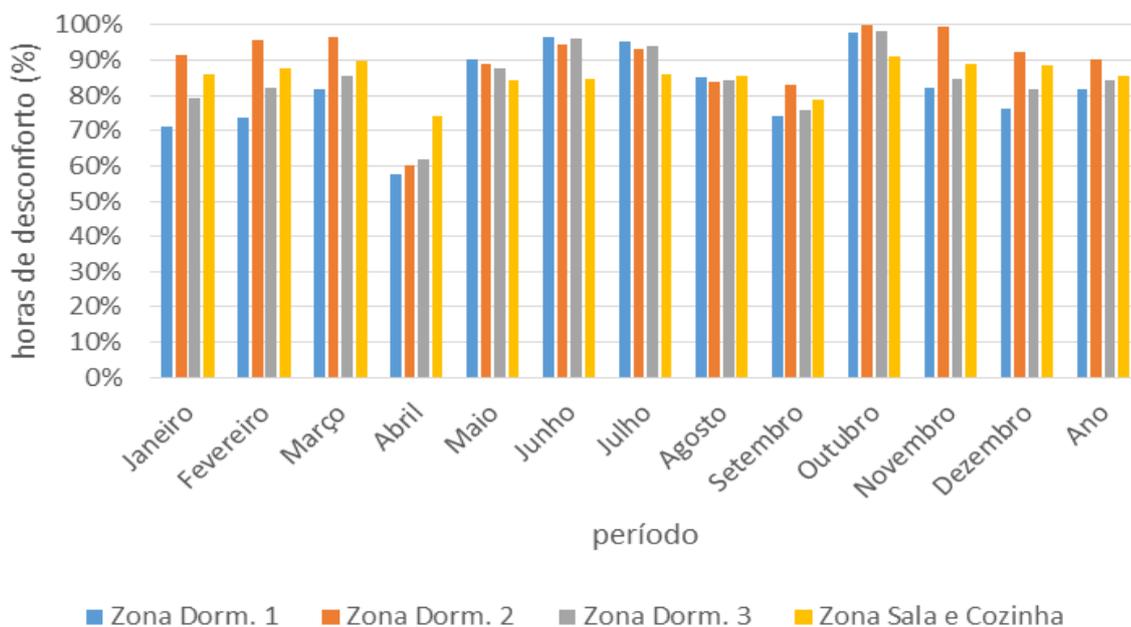


Figura 8
Porcentagem de horas fora do intervalo de conforto no caso ótimo.

A Fig. 9 apresenta as temperaturas médias na zona térmica Sala e Cozinha na edificação projetada e no caso ótimo, a fim de verificar o impacto das medidas nas temperaturas internas. Foi verificado que a adição das medidas na envoltória da edificação diminuiu a variação de temperatura ao longo do ano. De modo geral, impactou em uma diminuição nas temperaturas médias nos meses mais quentes e em um aumento nos meses frios do ano.

Com a finalidade de avaliar melhor o comportamento térmico da edificação, foi verificada a variação das temperaturas externas e da zona térmica da sala e cozinha, na edificação base e no caso ótimo, ao longo de um dia de verão e um de inverno. Foram escolhidos os dias primeiro de janeiro e quinze de julho por serem dias representativos de verão e de inverno, respectivamente. As Fig. 10 e 11 apresentam a variação das temperaturas externa, interna da edificação projetada e interna da edificação com medidas (caso ótimo) ao longo desses dias.

Assim como a Fig. 9, as Fig. 10 e 11 também evidenciaram que a edificação com as medidas (caso ótimo) apresenta uma menor amplitude térmica em comparação à edificação projetada, sendo possível verificar um maior impacto no dia de verão.

Na análise do dia primeiro de janeiro, é possível verificar que as temperaturas da edificação projetada variam juntamente com as externas. Durante o período da noite, a edificação projetada apresenta temperaturas mais baixas que as externas e durante o dia, as temperaturas se elevam, se aproximando das temperaturas externas. Em contrapartida, a edificação com medidas de eficiência adicionadas se mantém com temperaturas mais baixas que as externas na maior parte do dia.

No dia escolhido de inverno, percebeu-se que tanto a edificação projetada como o caso ótimo apresentaram temperaturas mais altas que as externas, sendo que em somente algumas horas da tarde as temperaturas internas da edificação projetada superaram as da edificação com as medidas aplicadas. Essa elevação de temperatura na edificação projetada durante a tarde pode ser associada ao fato de que a parede externa da zona térmica analisada (sala e cozinha) é voltada para o oeste, tendo maior incidência solar nesse período do dia. A não elevação das temperaturas no caso ótimo é atribuída à menor contribuição da radiação solar, uma vez que as medidas dificultam as trocas de calor com o meio externo.



Figura 9
Temperatura média mensal na zona térmica Sala e cozinha da edificação base e do caso ótimo.

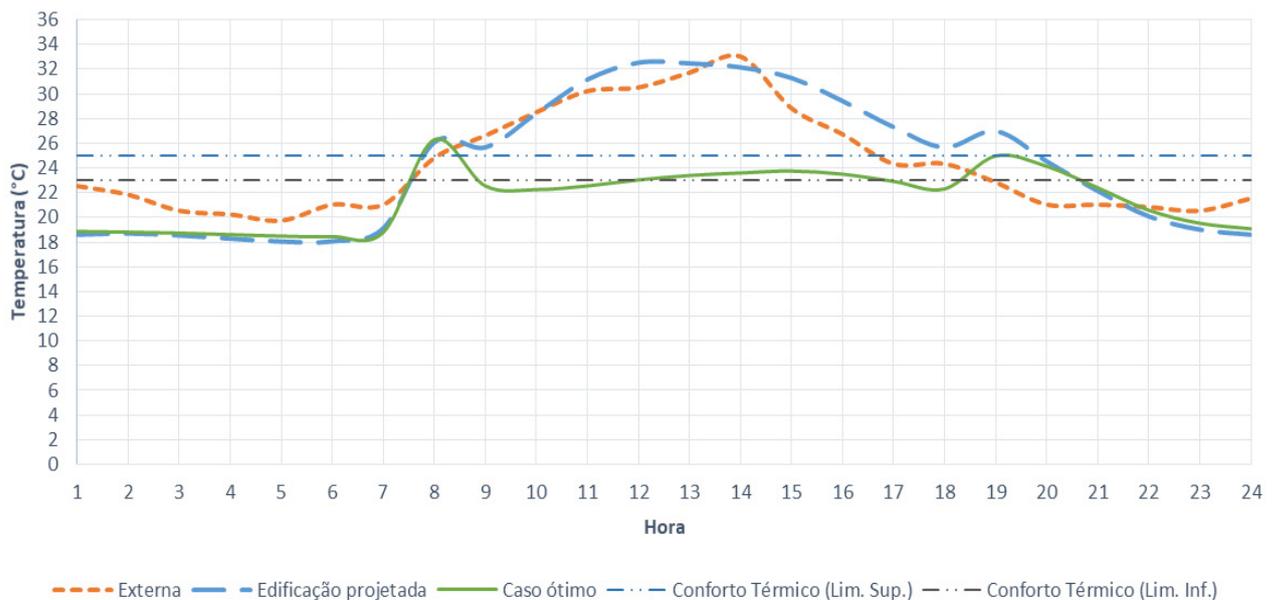


Figura 10
Comportamento térmico em um dia de verão (01/01) da sala e cozinha.

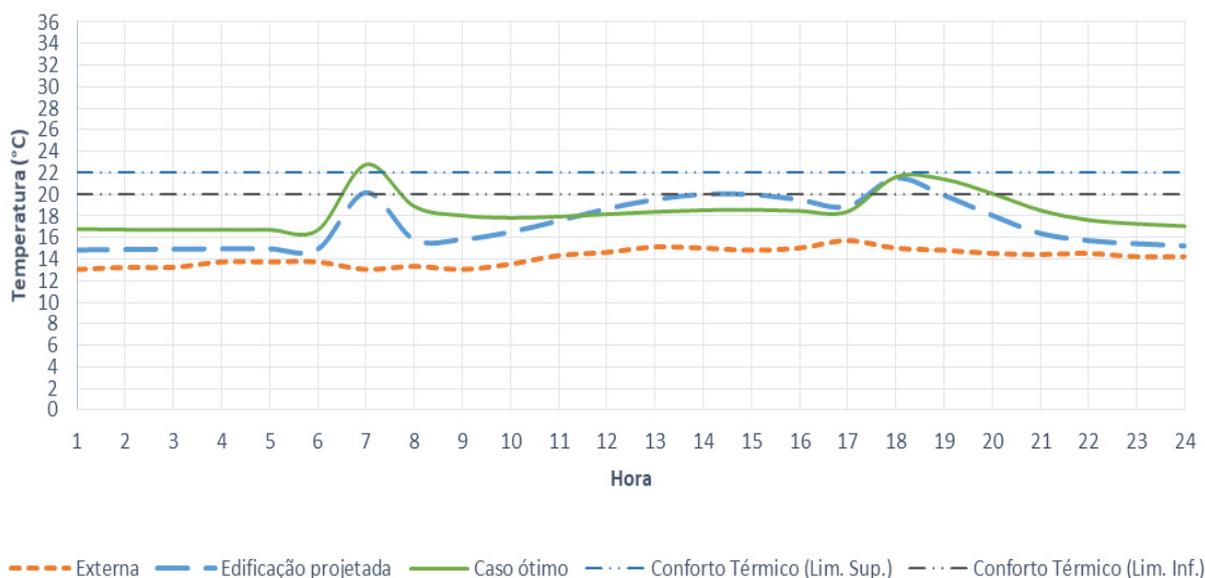


Figura 11
Comportamento térmico em um dia de inverno (15/07) da sala e cozinha.

Análise Econômica

Nesta seção, foi estimado o custo para adição das medidas propostas no cenário ótimo, considerando que a edificação projetada já estivesse pronta e as medidas propostas fossem adicionadas. Para o cálculo, foram levados em consideração o custo dos materiais e a mão de obra necessária. Para o cálculo do preço de mão de obra, foram considerados o salário médio de um pedreiro igual a R\$ 7,15/h, de acordo com o Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Estado do Rio Grande do Sul – Sinduscon (2019), o valor de homem hora (estimado para a adição de cada medida), os custos com encargos trabalhistas (considerando que os encargos de um pedreiro são iguais ao salário do mesmo, ou seja, o custo para a empreiteira seria o dobro) e os custos com mobilização, transporte e lucro da empreiteira. Assim, a estimativa foi obtida considerando que o custo de mão de obra seria igual a 4 vezes ao salário pago aos pedreiros (salário/h multiplicado ao valor homem hora). O custo com os materiais foi definido a partir de pesquisas de preço. A tabela 11 apresenta os custos estimados com material e mão de obra para cada medida e o total.

Tabela 11 – Estimativa de custos para adição das medidas propostas no cenário ótimo.

Medida	Preço	Material			Mão de obra	Custo total	Custo %	
		Área (m²)	Quant.	Custo				
Isolante no forro	Lã de rocha	R\$ 16,00/m²	64,95	-	R\$ 1 039,20	R\$ 457,60	R\$ 1 496,80	7%
Isolante nas paredes	Lã de rocha	R\$ 16,00/m²	79,82	-	R\$ 1 277,12	R\$ 915,20	R\$ 2 192,32	35%
	Gesso	R\$ 55,00/m²		-	R\$ 4 390,10	R\$ 915,20	R\$ 5 305,30	
Telhado Branco	Tinta branca	R\$ 104,99/un.	-	2	R\$ 209,98	R\$ 457,60	R\$ 667,58	3%
Vidros Duplos	Janela 0,8 x 1,0	R\$ 1 676,90	-	1	R\$ 1 676,90	R\$ 228,80	R\$ 12 010,20	55%
	Janela 1,2 x 1,6	R\$ 2 020,90	-	5	R\$ 10 104,50			
Todas medidas		R\$ 1 676,90	-	-	R\$ 8 593,30	R\$ 2 974,40	R\$ 21 672,20	

Comparando as Tab. 10 e 11, a medida que tem maior impacto no custo final são os vidros duplos, correspondendo a 55% do custo, embora seja à medida que apresente menor economia anual. Em contrapartida, a adição de isolante no forro é uma medida relativamente barata (em comparação às demais) e que causa maior redução no consumo de energia elétrica anual, portanto é a medida com melhor relação de custo e benefício. Ressalta-se que a pintura do telhado impacta em 7% de redução no consumo anual e é a medida mais barata (3% do valor total).

De acordo com o valor do CUB (custo unitário básico) de abril de 2019 estabelecido pelo Sinduscon RS (2019), a edificação projetada teria um custo de R\$ 1 18 485,69. O investimento foi estimado em R\$ 21.672,20, equivalente a 18% do preço da edificação projetada. Considerando o preço de R\$0,84/ kWh de energia elétrica, a economia anual da edificação no cenário ótimo seria de R\$ 2.107,77. O preço do kWh de energia elétrica foi reajustado por revisões tarifárias e índices de reajuste ao longo dos últimos anos, que levaram a reduções e aumentos no valor (CEEE-D, 2019). Sendo assim, o cálculo do tempo de retorno para o investimento proposto não levou em consideração reajustes da tarifa, pela dificuldade de previsão. A economia de energia elétrica estimada ao longo dos anos pode ser vista na Fig. 12, apresentando um tempo de retorno do investimento de 7 anos. Em um outro cenário, considerando que a tarifa teria um aumento de 4,25% (de acordo com a meta de inflação para 2019) ao ano, o tempo de retorno estimado também foi de 7 anos.

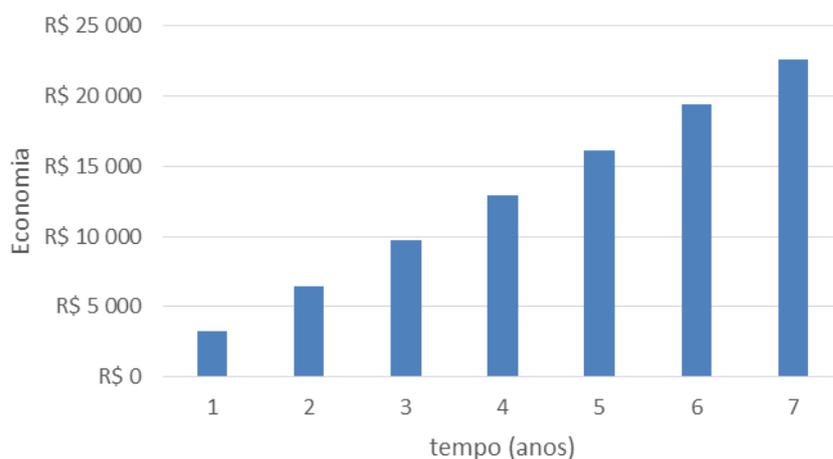


Fig. 12
Economia de energia elétrica com a adição das medidas propostas ao longo do tempo.

Conclusão

O uso eficiente e racional de energia nas edificações contribui de maneira a reduzir significativamente o consumo de energia da sociedade moderna, sendo que medidas de eficiência na envoltória da edificação impactam consideravelmente no consumo residencial. Neste contexto, a avaliação termo energética por meio de simulação computacional de uma edificação típica e do impacto da aplicação de medidas de eficiência na envoltória dessa edificação é indispensável a fim de se obter resultados quantitativos.

Foi possível verificar que o telhado branco e os vidros duplos foram as medidas que menos contribuíram para a redução do consumo de energia elétrica do sistema de climatização da edificação (com redução anual de 8,1% e 2,7%, respectivamente). A adição de isolante térmico no forro e nas paredes impactaram com a redução de 33,1% e 22,2%, respectivamente, no consumo anual de climatização. A adição de isolante nas paredes e no forro, telhado branco e vidros duplos configuraram o caso ótimo, e contribuiu para uma redução anual de 60,7% no consumo do sistema de climatização em comparação à edificação projetada.

O melhor isolamento da envoltória da edificação ocasionou um aumento no conforto térmico anual da edificação sem sistema de climatização. As temperaturas internas das zonas térmicas apresentaram menores variações ao longo de um dia (um dia de verão e um dia de inverno escolhidos) e ao longo do ano em comparação às da edificação projetada.

As medidas propostas possuem impacto maior nos meses de verão, pois as medidas contribuem para reduzir as trocas de calor entre o meio externo e a edificação. No inverno, a radiação solar contribui para aumentar a temperatura interna da edificação, porém a adição das medidas evita essa contribuição. Entretanto, o melhor isolamento contribui para um uso mais eficiente da energia consumida na climatização no inverno (menor consumo de climatização).

Em uma análise econômica, estimou-se que a adição das medidas propostas no cenário ótimo teria um custo de cerca de 21.672,20 reais equivalente a 18% do valor estimado para construção da edificação projetada. A adição de vidros duplos é a medida com maior custo e menor impacto econômico no consumo de energia elétrica, enquanto que a adição de isolante térmico no forro tem a melhor relação custo e benefício. O tempo de retorno do investimento foi estimado em 7 anos.

Os resultados encontrados no trabalho evidenciaram quantitativamente a importância de medidas de eficiência energética em edificações no consumo dos sistemas de climatização. Neste sentido, o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem e promovam a aplicação dessas medidas em edificações são uma forma de reduzir o consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, reduzir a necessidade do aumento de capacidade de geração e todos os impactos decorrentes.

Referências

- ASHRAE. Handbook Fundamentals. **Chapter 08 SI - Thermal Comfort**. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401**: Instalações centrais de ar condicionado para conforto – Parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.
- COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Evolução das Revisões ou Reajustes nos Últimos Cinco Anos**. Disponível em: <http://www.cee.com.br/pportal/cee/Component/Controller.aspx?CC=97801>. Acessado em 21 mai. 2019.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) – 1995-2018**. 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-Anual-de-Energia-Eletrica-por-classe-nacional>. Acessado em 28 fev. 2019.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – Universidade Federal de Santa Catarina. **Arquivos climáticos**. 2016. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. Acessado em 21 out. 2016.
- MARTINEZ, M. F. B. **Avaliação energética visando a certificação de prédio verde**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- PEREIRA, F. L. **Determinação computacional da influência de parâmetros físicos no comportamento termo energético de uma edificação**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- POZZA, F. **Análise térmica e energética de uma edificação residencial climatizada com sistema de fluxo refrigerante variável – VRF**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005: Classe Residencial Região Sul**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2007.
- SILVA, J. G. da.; **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização**. 2 ed. São Paulo: Artliber Editora, 2003.
- SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Pesquisas e Índices**. Disponível em: <http://www.sinduscon-rs.com.br>. Acesso em 21 mai. 2019.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus Documentation: Input Output Reference**. DOE, 2015.