

## **Estudo comparativo do comportamento energético de duas edificações unifamiliares: casa padrão e casa envidraçada**

### **Comparative study of the energy behavior of two single-family buildings: standard house and glazed house**

DOI:10.34117/bjdv7n9-258

Recebimento dos originais: 16/08/2021

Aceitação para publicação: 16/09/2021

**Aléxia Barbieri Caus**

Bacharelado

Instituição: UFRGS

Endereço: Rua Washington Luiz, n. 238, apto. 403, Porto Alegre, RS, 90010-460

E-mail: alexia.caus@gmail.com

**Leticia Jenisch Rodrigues**

Doutorado

Instituição: UFRGS

Endereço: Av Bento Gonçalves, 1515 ao 1703E, Partenon, P. Alegre RS, 90650-002

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia

Mecânica, [www.ufrgs.br/demec](http://www.ufrgs.br/demec)

E-mail: [leticia.jenisch@mecanica.ufrgs.br](mailto:leticia.jenisch@mecanica.ufrgs.br)

#### **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo analisar dois modelos de casas familiares desenvolvidos por pesquisadores portugueses, adaptados para o clima de Porto Alegre. Busca-se avaliar de forma qualitativa, através de simulações no EnergyPlus, o quanto a mudança de orientação das fachadas, a substituição de materiais de construção e o uso de algumas soluções passivas interferem no consumo energético de aquecimento e resfriamento dos ambientes das edificações propostas. As demais fontes de consumo da edificação foram mantidas constantes, para fins de simplificação. A análise dos resultados para o modelo de casa padrão mostra que os parâmetros que impactam mais significativamente no consumo de energia da edificação são o uso de películas do tipo Poly33, a utilização de vidros duplos e de maior espessura, a pintura das paredes com a cor branca e a mudança da orientação da edificação, sendo a rotação ótima encontrada de 270° em relação à originalmente utilizada. Pela avaliação individual de cada cenário, a economia com energia fica em torno de 5%, nos melhores casos, para a casa padrão, e de cerca de 11% para a casa envidraçada. Contudo, quando os cenários são combinados, é possível se obter até 17%, aproximadamente, de redução no consumo de eletricidade para fins de aquecimento e resfriamento da casa padrão e de 15% para a casa envidraçada. Ao se comparar os dois modelos entre si, verificou-se uma vantagem energética da casa padrão frente à casa envidraçada, que, no cenário combinado, traz uma economia de consumo de energia de quase 6%.

**Palavras-Chave:** Simulação com EnergyPlus, Consumo energético anual, Parâmetros construtivos, Orientação de fachadas, Cenários construtivos.

## ABSTRACT

This work aims to analyze two models of family houses developed by Portuguese researchers, adapted to Porto Alegre's climate. The aim is to qualitatively assess, through simulations in EnergyPlus, how much the change in the orientation of the facades, the replacement of building materials, and the use of some passive solutions interfere in the energy consumption of heating and cooling environments in the proposed buildings. The other sources of consumption in the building were kept constant for purposes of simplification. The parameters that most significantly impact the building's energy consumption are: the Poly33 type films, double and thicker glazing, painting walls with the white color, and change in the orientation, with the optimum rotation of 270° about to the original one used - for the standard house model. The energy savings are around 5%, in the best cases, for the standard house and about 11% for the glazed house. When the scenarios are combined, it is possible to obtain up to approximately 17% reduction in electricity consumption for heating and cooling purposes in the standard house and 15% for the glass house. When comparing the two models with each other, there was an energy advantage of the standard house compared to the glazed house, which, in the combined scenario, brings energy consumption savings of almost 6%.

**Keywords:** Simulation with EnergyPlus, Annual energy consumption, Construction parameters, Facade orientation, Construction scenarios.

## 1 INTRODUÇÃO

O marco legal da regulamentação da eficiência energética no Brasil data de 2001, durante o período conhecido como “apagão de 2001”. A partir de 1º de julho, os consumidores tiveram que diminuir voluntariamente 20% do consumo de eletricidade. Caso contrário, teriam um aumento no valor da tarifa da energia elétrica. Neste cenário, em 17 de outubro de 2001 surge a Lei Federal Nº 10.295, a qual dispõe sobre a Política de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Como resultado dessa crise nacional no abastecimento de energia elétrica, em fevereiro 2009 foi publicado o Regulamento de Etiquetagem de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, RTQ-C, e em novembro de 2010 foi lançado o Regulamento de Etiquetagem de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais, RTQ-R, (Fossati et al., 2016).

Concomitantemente, o Ministério de Minas e Energia lançou, em 2007, o Plano Nacional de Energia, PNE, (EPE, 2007) com uma série de metas e parâmetros a serem alcançados até 2030. Esse plano seguiu a tendência de outros países - como os Estados Unidos (com o *Energy Star*, lançado em 1992) e o Canadá (com o OEE/NRCAN, programa do Escritório de Eficiência Energética do país, de 2006) - ao lançar um programa com metas a longo prazo. Até 2030, estima-se que o consumo residencial de

energia elétrica mais que dobre chegando, no pior dos cenários considerados, a cerca de 372 TWh. Assim, uma das metas contempladas no PNE é a redução do consumo per capita de energia elétrica residencial, visto que, conforme projetado neste documento, este setor é o que mais crescerá durante os anos que seguirão até 2030.

Fossati et al., 2016, afirmaram que uma das alternativas para reduzir o consumo energético nas edificações é o estabelecimento de normas de avaliação e classificação das mesmas sem termos de seu desempenho energético, as quais devem ser reconhecidas e utilizadas internacionalmente. A certificação LEED, criada no ano 2000 pelo US GBC (*United States Green Building Council*), ou Conselho de Edificações Verdes<sup>1</sup> dos Estados Unidos, é um exemplo deste tipo de ferramenta. Os autores ainda salientam que, segundo Casals, 2006, as regulamentações e os certificados são os dois mecanismos adequados para nortear as avaliações energéticas no setor da construção civil.

No Brasil, a NBR 15220-3 (ABNT, 2003) estabelece o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, subdividindo o país em 8 zonas bioclimáticas, definindo as características principais, e dando diretrizes construtivas para cada zona em termos dos seguintes parâmetros: tamanho de janela, sombreamento, tipo ideal de paredes e coberturas e estratégias bioclimáticas indicadas. Visa a adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos e não tem caráter normativo, apenas orientativo. Em sete das oito zonas (Zona 2 a Zona 8), o clima é favorável à utilização de estratégias passivas de climatização e aquecimento. A cidade de Porto Alegre está localizada no Sul do país, mais especificamente na Zona 2, possuindo um clima favorável para a implantação desse tipo de estratégia.

Sabe-se que a utilização de estratégias passivas apropriadas, durante a construção ou até mesmo após a mesma, contribuem para a diminuição do consumo de energia da edificação, bem como para a melhoria de seu desempenho energético. Nesse sentido, as cartas bioclimáticas são ferramentas que visam determinar estratégias de adaptação da arquitetura ao clima. A carta utilizada no Brasil é baseada nos estudos de Givoni, 1992, sendo constituída de oito estratégias bioclimáticas. Essas estratégias visam garantir, basicamente, a eficiência energética da edificação, o conforto do usuário e a redução do tempo de utilização de sistemas artificiais de condicionamento de ar.

Essa carta é dividida em oito zonas (estratégias), sendo que a zona de conforto é delimitada pelos seguintes pontos:  $20\% < UR < 80\%$  e por  $18^{\circ}\text{C} < TBS < 29^{\circ}\text{C}$ . Para

---

<sup>1</sup> Tradução livre dos autores.

condições climáticas que resultem em pontos delimitados por esta região, existe uma grande probabilidade de as pessoas perceberem a sensação de conforto térmico. Com relação à cidade de Porto Alegre, RS, tendo-se em mente esses limites e o clima da região, sabe-se que em 55% do ano os habitantes experimentam desconforto por frio, em 25% do ano experimentam desconforto por calor, e em apenas 20% do ano eles experimentam uma sensação de conforto térmico. Assim, para a cidade de Porto Alegre, as estratégias passivas sugeridas ao longo do ano, em porcentagem de aplicabilidade, são as seguintes: inércia térmica de aquecimento (41%), ventilação natural (24%), aquecimento solar passivo (15%), sombreamento (12%), resfriamento evaporativo (4%), e inércia térmica para resfriamento (2%).

Nesse sentido, com relação a esse tipo de estratégia de construção, buscou-se na literatura especializada alguns exemplos de estudos já realizados na área. Por exemplo, em Pizzutti, 2010, foram analisadas alternativas para proteção solar do prédio da Engenharia Nova, localizado no Campus Centro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As alternativas foram avaliadas a partir de simulações no software EnergyPlus® (EnergyPlus, 2019). A análise de resultados baseou-se na comparação entre o consumo elétrico anual do edifício (modelado no EnergyPlus®) e o consumo elétrico de edificações hipotéticas que consideravam as mudanças propostas para economia de energia. Como resultado principal, o autor destacou que a utilização de películas nas janelas da fachada Norte do prédio traria uma economia de energia de cerca de 9%.

Liberali, 2010, estudou a influência de alterações construtivas no envoltório de uma edificação localizada na cidade de Curitiba, no consumo de energia total. Para tanto, foram simulados cinco casos distintos, sendo o primeiro deles uma edificação modelo, e as demais sendo alternativas a essa, as quais visavam redução no consumo energético. Os resultados demonstraram que o parâmetro que mais influenciou na redução do consumo foi a troca dos vidros das janelas externas. Na simulação, os mesmos foram substituídos por vidros mais espessos e com películas seletivas, propiciando uma economia de aproximadamente 24% no consumo total de energia.

Ferronato, 2011, analisou alternativas para diminuir o consumo energético do prédio da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O prédio possuía problemas relacionados à existência de zonas com altas temperaturas em seu interior. Nesse estudo também foi utilizado o software EnergyPlus®, para a simulação do comportamento transiente da edificação, e o software SketchUp® para o desenho do prédio e suas respectivas zonas térmicas. As alternativas selecionadas para a diminuição

do consumo de energia foram as seguintes: colocação de películas nos vidros, adição de sombreamento externo nas fachadas Norte, Leste e Oeste, construção de um peitoril na fachada Norte, instalação de uma prateleira de luz nas fachadas Norte e Oeste e a adição de brise. A adoção de um controle de iluminação foi considerada, juntamente com as alternativas de projeto já listadas. A adição de prateleiras de luz, ou estruturas de sombreamento, juntamente à adoção de controles de iluminação e o uso de películas, resultou em uma economia de até 27%, quando comparada ao consumo energético do prédio. Só o uso de películas nos vidros, sem associação às demais alternativas, já forneceu uma economia de até 12%.

Siqueira, 2011, executou uma série de simulações para determinar o envoltório mais eficiente para um edifício NZEB, ou seja, aquele que apresentasse menor número de horas fora da definição de conforto térmico dada pela ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2010). Esta edificação (modelo) apresentava um arranjo de módulos fotovoltaicos em sua fachada Norte, ventilação cruzada, controle de abertura de janelas ligado a sensores de temperatura e de medida da velocidade do vento, e prateleiras de luz nas fachadas Norte e Sul. De acordo com as simulações, a construção ideal deveria possuir paredes externas espessas e isoladas, forro espesso e isolado termicamente, vidros duplos nas janelas externas e a utilização de prateleiras de luz, para melhorar a dispersão da luz.

Carrilho da Graça, 2012, utilizou um modelo de casa padrão proposto para Lisboa, Portugal, otimizando o uso da energia solar térmica e da ventilação natural para encontrar um modelo eficiente tanto em questões energéticas quanto em questões econômicas. Foram testados dois tipos de modelos: um que considerava a metodologia padrão de construção na cidade de Lisboa, com elementos que a tornavam uma edificação mais eficiente; e uma casa envidraçada, seguindo uma tendência arquitetônica recentemente adotada para casas não-passivas. A casa padrão apresentou melhores resultados.

Assim, o objetivo principal deste trabalho é utilizar os dois modelos de casa de Carrilho da Graça, 2012, adaptados para as condições geográficas e climáticas de Porto Alegre, e avaliar diferentes cenários visando a diminuição no consumo de energia. Os cenários levam em conta alterações em parâmetros construtivos, orientação das fachadas e soluções passivas, como o uso de películas em janelas. Os dois modelos de casa e os cenários (casa padrão modificada) foram simulados no software EnergyPlus<sup>®</sup>. Foram feitas duas rodadas de simulações. Primeiro os cenários foram simulados isoladamente. Num segundo momento, os melhores resultados foram combinados, buscando a configuração (cenário) mais eficiente. Ainda, utilizando os resultados ótimos obtidos na

segunda etapa de simulações, o segundo modelo de casa padrão (denominado *glazed house*) proposto por Graça, 2012, foi avaliado em comparação à casa padrão.

## 2 ESTUDO DE CASO

Nesse estudo foram utilizadas edificações semelhantes, Fig. 1, às avaliadas por Carrilho da Graça, 2012, as quais possuem um único pavimento com sete zonas térmicas, 110 m<sup>2</sup> de área total de piso e 23 m<sup>2</sup> de área de aberturas (janelas). As zonas e suas respectivas dimensões são apresentadas na Tab. 1. Haja vista as diferenças decorrentes da localização geográfica e do clima, foram propostas algumas modificações. Alguns parâmetros construtivos foram alterados, com vistas a adequar o modelo proposto à cidade de Porto Alegre. Maiores detalhes podem ser encontrados em (Caus, 2019).

### 2.1 CASA MODELO

A orientação das edificações da Fig. 1, assim como outros parâmetros, sofrerão alterações ao longo das simulações realizadas. Sendo assim, estas edificações, Fig. 1, serão denominadas “casa padrão” (à esquerda) e “casa envidraçada” (à direita) ao longo de todo o trabalho. Todas as comparações serão realizadas em relação às mesmas. Conforme pode se observar, na casa padrão, a porta de entrada e a janela do Quarto 2 são voltadas para o Norte. As janelas da Sala e da Cozinha são voltadas para o Oeste. As janelas do Quarto 1 e do Banheiro 1 estão voltadas para o Sul, enquanto que a janela do Banheiro 2 é a única abertura voltada para o Leste. Na casa envidraçada, a parede envidraçada do Quarto 2 é voltada ao Norte, enquanto a do Quarto 1 é voltada ao Sul. Ambas paredes externas da Sala são envidraçadas, bem como a parede da Cozinha que é voltada ao Oeste. Os demais cômodos não possuem paredes envidraçadas.

Figura 1. Esboço da planta baixa das casas modelo: casa padrão (à esquerda) e casa envidraçada (à direita) (Adaptado de Carrilho da Graça, 2012)



As paredes externas são constituídas por tijolos refratários (100 mm), revestidas por um isolamento de fibra de vidro, com uma camada de reboco de cada um dos lados (25 mm). As paredes internas são compostas por tijolos refratários (100 mm) revestidos em ambos os lados por placas de gesso acartonado (10 mm). Na cobertura, a laje é de concreto (100 mm), sendo revestida internamente por uma placa de gesso acartonado (10 mm). O piso interno é composto por uma base de concreto (100 mm) coberta por madeira de lei (12,9 mm). Para as aberturas, utiliza-se vidros duplos claros de 3 mm de espessura, separados por uma camada de 3 mm de ar. As propriedades termofísicas dos materiais listados acima estão detalhadas em (Caus, 2019). Os valores apresentados na Tab.1 referem-se à edificação e não serão alterados ao longo das simulações. Ou seja, permanecem constantes tanto para as casas modelo quanto para as demais casas modificadas, ou cenários.

Tabela 1. Zonas térmicas, dimensões e áreas de aberturas da edificação.

Zona Térmica	Área [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Área de Janela [m <sup>2</sup> ]	Área envidraçada [m <sup>2</sup> ]
Banheiro 1	8,0	24,0	0,3	-
Banheiro 2	9,0	27,0	0,5	-
Corredor	13,5	40,5	0,0	-
Cozinha	12,0	36,0	4,5	12
Quarto 1	16,0	48,0	4,5	12
Quarto 2	20,0	60,0	4,5	12
Sala	31,5	94,5	9,0	34,5
Total	110,0	330,0	23,3	70,5

As potências dos equipamentos elétricos, bem como os níveis de iluminação, para cada zona térmica são apresentados na Tab.2. Para o corredor não se considerou nenhum equipamento elétrico, além da iluminação. Nesse caso, a fração radiante considerada para todos os cômodos foi de 20% (Caus, 2019). O perfil de utilização desses equipamentos, em porcentagem de potência, é apresentado na Tab. 2.

Tabela 2. Potência dos equipamentos elétricos por zona.

Zona Térmica	Potência [W]	Iluminação [W]
Banheiro 1	4.400	20
Banheiro 2	4.400	20
Corredor	-	60
Cozinha	500	60
Quarto 1	100	30
Quarto 2	100	30

Sala	100	60
Total	9.600	

O sistema de iluminação foi dimensionado de acordo com o nível de iluminação do ambiente, dado em W (Caus, 2019). Para a Sala, a Cozinha e o Corredor, foi considerado um nível de iluminação, em parâmetros elétricos, de 60 W, o equivalente a quatro lâmpadas fluorescentes (ANEEL, 2001). Para os quartos foi considerado um nível de 30 W, enquanto que para os banheiros, foi considerado um nível de 20 W. Na Tab. 4 observa-se o perfil de utilização da iluminação em porcentagem de potência. Maiores detalhes podem ser encontrados em (Caus, 2019).

Tabela 3. Perfil de utilização dos equipamentos elétricos em porcentagem de potência (Caus, 2019).

Período	Banheiros				Quartos		Cozinha		Sala/Corredor	
	Dias de Semana		Finais de Semana		Dias de Semana	Finais de Semana	Dias de Semana	Finais de Semana	Dias de Semana	Finais de Semana
	Verão	Inverno	Verão	Inverno						
00:00 – 07:00	-	-	-	-	100%	100%	100%	100%	-	-
07:00 – 08:00	-	-	-	-	100%	100%	100%	100%	15%	-
08:00 – 09:00	50%	100%	-	-	-	100%	100%	100%	25%	15%
09:00 – 10:00	-	-	-	-	-	-	100%	100%	100%	30%
10:00 – 12:00	-	-	-	-	-	-	100%	100%	100%	100%
12:00 – 14:00	-	-	-	-	-	-	100%	100%	30%	30%
14:00 – 17:00	-	-	-	-	-	-	100%	100%	50%	30%
17:00 – 18:00	-	-	-	-	-	-	100%	100%	50%	30%
18:00 – 19:00	50%	100%	50%	100%	-	-	100%	100%	40%	100%
19:00 – 20:00	-	-	-	-	50%	-	100%	100%	40%	40%
20:00 – 21:00	-	-	-	-	-	-	100%	100%	25%	40%
21:00 – 23:00	-	-	-	-	-	50%	100%	100%	25%	30%
23:00 – 24:00	-	-	-	-	-	-	100%	100%	20%	20%

Tabela 4. Perfil de utilização da iluminação em porcentagem de potência para toda a edificação (Caus, 2019).

Período	Dias de semana	Demais dias
00:00 – 07:00	-	-
07:00 – 08:00	10%	-
08:00 – 09:00	20%	-



09:00 – 12:00	20%	20%
12:00 – 17:00	10%	30%
17:00 – 18:00	30%	30%
18:00 – 19:00	30%	50%
19:00 – 22:00	100%	50%
22:00 – 23:00	50%	50%
23:00 – 00:00	50%	20%

O perfil de ocupação de pessoas também é variável, Tab. 5. O mesmo foi expresso em termos de porcentagem de ocupação das zonas térmicas, sendo que 100% equivale a totalidade dos habitantes. Maiores detalhes podem ser encontrados em (Caus, 2019).

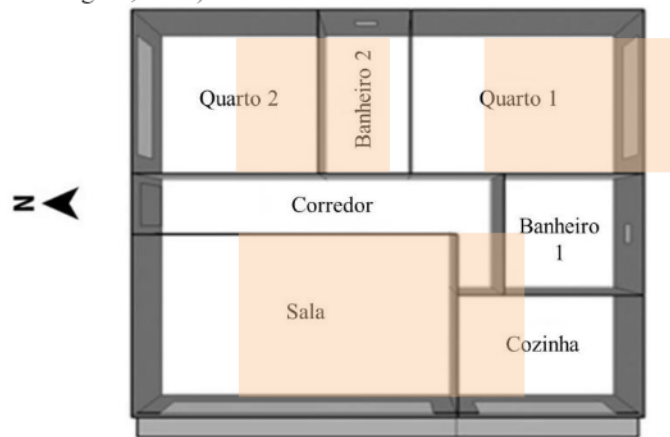
Tabela 5. Perfil de ocupação das zonas (Caus, 2019).

Período	Banheiros		Quartos		Cozinha		Sala/Corredor	
	Dias de semana	Demais dias	Dias de semana	Demais dias	Dias de semana	Demais dias	Dias de semana	Demais dias
00:00 – 08:00	-	-	100%	100%	-	-	-	-
08:00 – 09:00	50%	-	-	100%	50%	-	100%	-
09:00 – 10:00	-	-	-	-	-	-	100%	100%
10:00 – 12:00	-	-	-	-	-	25%	-	-
12:00 – 17:00	-	-	-	-	-	-	-	-
17:00 – 18:00	-	-	-	-	-	-	-	100%
18:00 – 19:00	50%	50%	-	-	-	-	100%	100%
19:00 – 20:00	-	-	50%	-	50%	-	100%	100%
20:00 – 21:00	-	-	-	-	-	25%	100%	100%
21:00 – 23:00	-	-	-	50%	-	-	100%	100%
20:00 – 24:00	-	-	-	-	-	-	100%	100%

## 2.2 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Tanto em ambas casas modelo, como em todos os cenários simulados, foi previsto um sistema de ar-condicionado do tipo *split* - para cada unidade condensadora (externa) há uma unidade evaporadora (interna) correspondente. Esse sistema foi implementado nas zonas de longa permanência, ou seja, nas seguintes zonas térmicas: Sala, Quarto 1 e Quarto 2. No total, 67,5 m<sup>2</sup> da edificação são climatizados, Fig. 2. Os demais cômodos possuem apenas ventilação natural.

Figura 2. Esboço da planta baixa da casa padrão com destaque para as zonas térmicas climatizadas artificialmente. (Caus e Rodrigues, 2021)

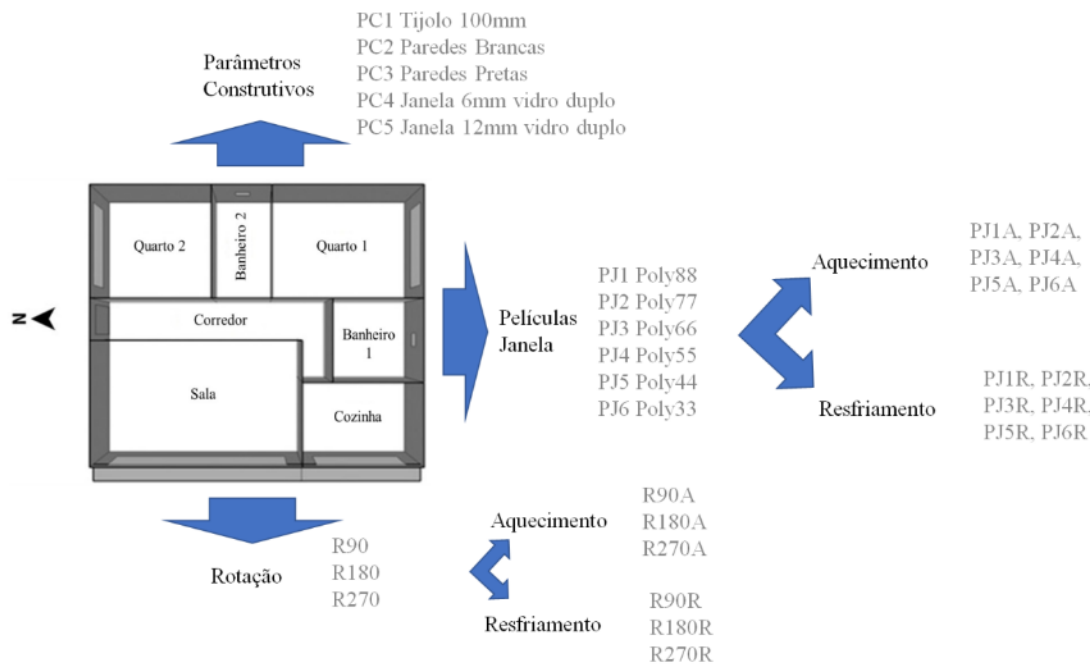


Para todos os cômodos, foi considerada uma taxa de renovação de ar de 4 trocas de ar/hora (Caus, 2019). O *setpoint* de temperatura para o verão foi de 24°C e, para o inverno, de 21°C. Para os períodos de verão e de inverno, o ar condicionado está programado para funcionar das 00h às 10h e a partir das 18h, nos dias de semana. Para os finais de semana, das 00h às 11:00 e a partir das 17h.

### 2.3 CENÁRIOS AVALIADOS

A partir da casa padrão, Fig. 1, mantendo-se a configuração do sistema de condicionamento artificial de ar, Fig.2, foram selecionados alguns cenários com vistas a identificar qual deles, ou qual a combinação deles, levaria a edificação à uma situação energeticamente mais eficiente. Assim, a Fig. 3 traz um esquema com os cenários utilizados nas simulações. Basicamente, as mudanças consistem em alterar alguns parâmetros de construção (material da parede externa, pintura da parede externa e tipo de vidro), utilizar diferentes películas nos vidros (fazendo uma avaliação energética anual e outra avaliando separadamente as condições de aquecimento e resfriamento), e rotacionar a edificação (fazendo a mesma avaliação anterior). Após a análise de cada cenário, partiu-se para a análise de combinações desses cenários, o que será explicado posteriormente.

Figura 3. Esquema contendo a casa padrão e os cenários simulados com seus respectivos códigos de identificação. (Caus e Rodrigues, 2021)



### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O consumo energético para aquecimento e resfriamento para cada cenário, considerando alterações apenas os parâmetros construtivos, pode ser visto na Tab. 6. Além da casa padrão, os cenários testados foram os seguintes: PC1, PC2, PC3, PC4 e PC5. A Fig. 4 apresenta o consumo energético, em função das cargas, para cada cenário. É possível observar, Tab. 6, que o cenário PC2 foi o que apresentou melhor resultado, com uma redução de 5,86% no consumo em relação à casa padrão.

Tabela 6. Consumo energético da casa padrão e dos cenários PC1, PC2, PC3, PC4 e PC5 para as condições de aquecimento e resfriamento.

Cenários	Aquecimento e Resfriamento [MWh/ano]	Diferença relativa de consumo
Casa padrão	10,7	-
PC1	10,6	-0,86%
PC2	10,1	-5,86%
PC3	10,2	-4,66%
PC4	10,5	-1,90%
PC5	10,3	-3,74%

Uma vez que os equipamentos internos, a iluminação e a ventilação foram mantidas constantes, as mesmas só serão mostradas, para ilustração, na Fig. 4. Os demais gráficos apresentarão apenas o consumo com aquecimento e resfriamento.

Os próximos cenários avaliados foram aqueles associados à colocação de películas diferentes nos vidros da casa padrão, ou seja, cenários PJ1, PJ2, PJ3, PJ4, PJ5 e PJ6 (com

avaliação anual) e os cenários PJ1A, PJ2A, PJ3A, PJ4A, PJ5A e PJ6A para aquecimento e PJ1R, PJ2R, PJ3R, PJ4R, PJ5R e PJ6R resfriamento.

A Tab. 8 deixa claro que o cenário PJ1A é o melhor quando se avalia apenas a condição de aquecimento. Por outro lado, a mesma tabela destaca que o cenário PJ6R é o melhor quando se avalia o resfriamento, embora esse seja o pior cenário para a situação de aquecimento. Contudo, a partir da avaliação da Fig. 5 e da Fig. 6, é possível observar que no efeito global (considerando aquecimento e resfriamento) o melhor cenário é o PJ6 (película Poly33)

Figura 4 – Consumo energético da edificação, casa padrão, para diferentes cenários em função das cargas.

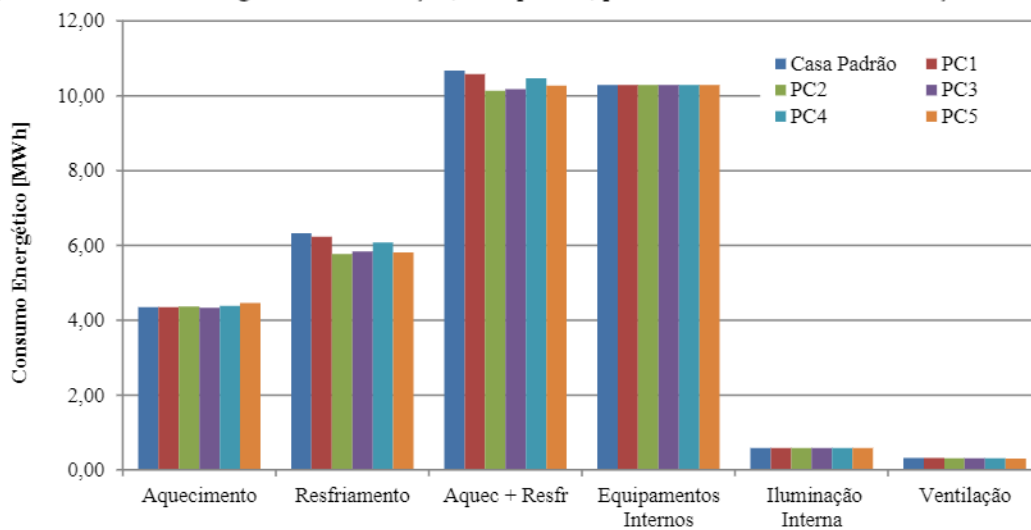


Tabela 8 – Consumo energético da casa padrão e dos cenários PJ1, PJ2, PJ3, PJ4, PJ5 e PJ6 para as condições de aquecimento e resfriamento.

Cenários	Aquecimento [MWh/ano]	Diferença relativa de consumo	Cenários	Resfriamento [MWh/ano]	Diferença relativa de consumo
Casa padrão	4,3	-	Casa padrão	6,3	-
PJ1A	4,3	-1,25%	PJ1R	5,9	-1,46%
PJ2A	4,4	+0,17%	PJ2R	5,7	-10,53%
PJ3A	4,4	+0,86%	PJ3R	5,6	-12,21%
PJ4A	4,4	+2,30%	PJ4R	5,4	-15,22%
PJ5A	4,5	+2,95%	PJ5R	5,3	-16,64%
PJ6A	4,6	+3,82%	PJ6R	5,2	-18,38%

Figura 5 – Consumo energético da edificação, casa padrão, para diferentes cenários em função das cargas de aquecimento e resfriamento.

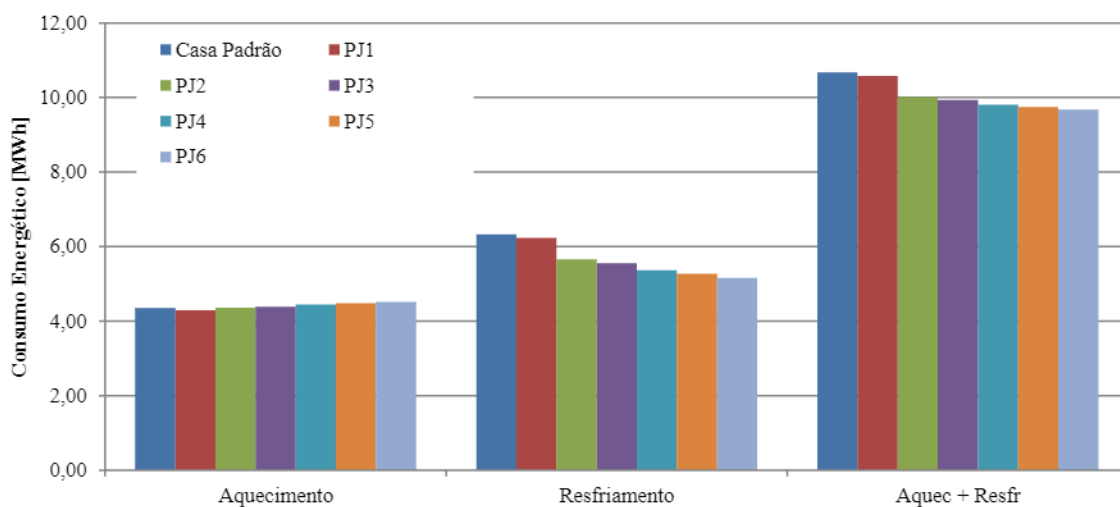
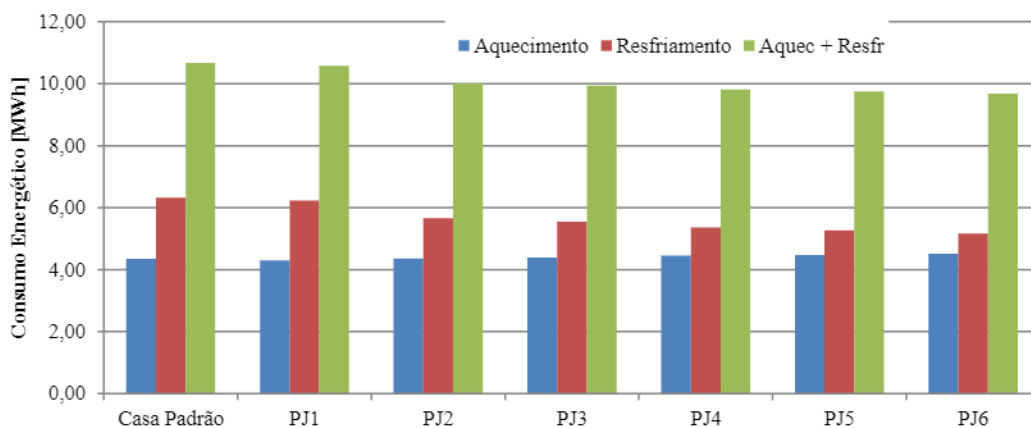


Figura 6 – Consumo energético da edificação, casa padrão, para diferentes cenários utilizando películas nos vidros.



Por último, em relação à avaliação individual de cenários, foram simuladas as diferentes orientações propostas pela norma ASHRAE 90.1, 2019. A casa padrão foi considerada como sendo a orientação original, ou seja 0° Norte. Na sequência os seguintes cenários foram avaliados: R90, 90° Leste, R180, 180° Sul, e R270, 270° Oeste.

Pode-se verificar, observando os resultados mostrados na Tab. 9, que a orientação que propicia a maior economia é a do cenário R270. Ou seja, a condição na qual a fachada que contém as janelas da Sala e da Cozinha está orientada para o Norte geográfico. Percebe-se que, se a edificação estivesse na fase de projeto, apenas a mudança na orientação já proporcionaria uma economia de cerca de 5% no consumo energético total.

Tabela 9 – Análise do consumo energético para diferentes orientações.

Cenários	Consumo Total [MWh/ano]	Diferença relativa de consumo
Casa padrão	10,7	-
R90	10,2	-4,07%
R180	10,4	-2,92%
R270	10,1	-5,16%

A Fig. 7 abaixo sumariza os resultados obtidos com as simulações que avaliaram individualmente cada cenário (modificação proposta). A partir dessa figura, foram selecionados os novos cenários, cuja modificações já não são mais avaliadas individualmente, mas sim em uma combinação daquelas nas quais se obteve melhor desempenho (Caus, 2019). Os novos cenários são os seguintes: casa padrão, PJ6, PJ6(R270), PC2, PC2(R270), PC5, PC5+PJ6(R270) e PC2+PJ6+PC5(R270). Os resultados são apresentados na Tab. 10.

Tabela 10 – Análise do consumo energético, para aquecimento e resfriamento, para cada novo cenário combinado.

Cenários/Cenários Combinados	Aquecimento e Resfriamento [MWh/ano]	Diferença relativa de consumo
Casa padrão	10,7	-
PJ6(R270)	9,5	-10,74%
PC2(R270)	9,6	-9,81%
PC5+PJ6(R270)	9,5	-11,05%
PC2+PJ6+PC5(R270)	8,9	-16,25%

Através da Tab. 10 verifica-se que a combinação de cenários, que individualmente levavam a um menor consumo de energia, proporciona uma economia ainda mais significativa. O cenário combinado que faz uso de películas do tipo Poly33 (PJ6) em vidros de 12 mm duplos (PC5) e paredes pintadas com tinta branca (PC2), para a orientação de 270°, gera uma economia de aproximadamente 16% quando comparada à casa padrão. Os valores apresentados na Tab. 10 são graficados na Fig. 8.

Os cenários ótimos definidos da Tab. 10 foram utilizados para explorar a implementação destas melhorias na casa envidraçada, o segundo modelo apresentado por Graça, 2012, em seus estudos. A Tab. 11 apresenta os resultados para estas configurações em comparação à casa envidraçada rotacionada em 270°. A Fig. 9 apresenta um esquema contendo a casa envidraçada, os cenários simulados com seus respectivos códigos de identificação.

É possível inferir, pela análise dos dados apresentados na Tab. 11, que os cenários explorados trazem, de um modo geral, um aumento no consumo de energia para

aquecimento da casa. Porém, comparativamente, há uma economia significativa no uso de energia para resfriamento em todos os cenários analisados, principalmente no cenário em que todas as melhorias estão combinadas, cuja economia chega próxima dos 30%. Os valores apresentados na Tab. 11 estão graficamente representados na Fig. 10.

Figura 7. Esquema contendo a casa padrão, os cenários simulados com seus respectivos códigos de identificação, com destaque para aqueles que apresentaram os melhores resultados. (Caus e Rodrigues, 2021)

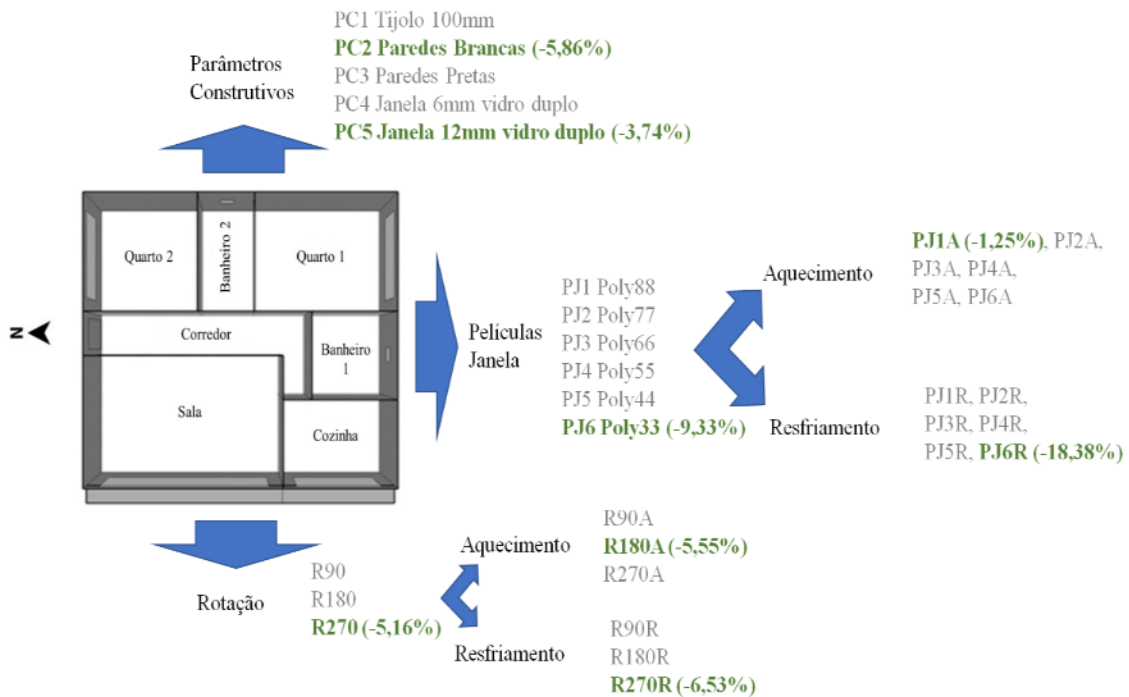


Figura 8 – Consumo energético da edificação, casa padrão, para diferentes cenários combinados.

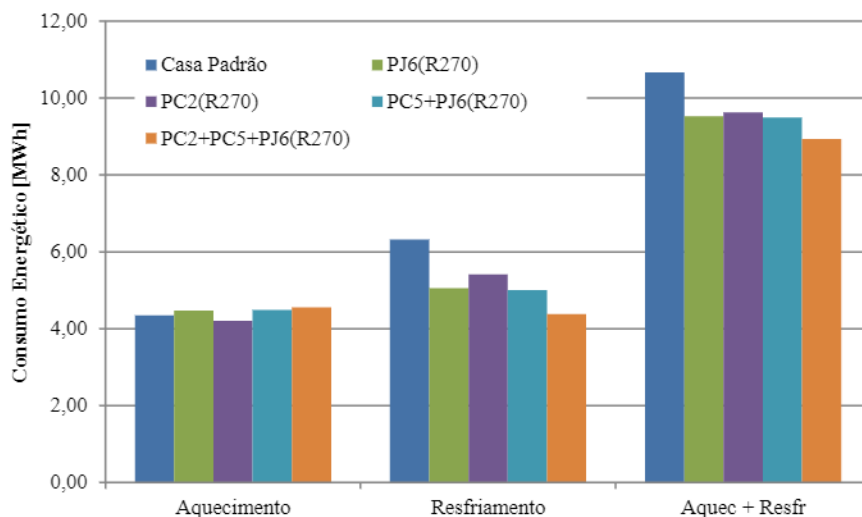


Figura 9. Esquema contendo a casa envidraçada, os cenários simulados com seus respectivos códigos de identificação, com destaque para aqueles que apresentaram os melhores resultados. (Caus e Rodrigues, 2021)

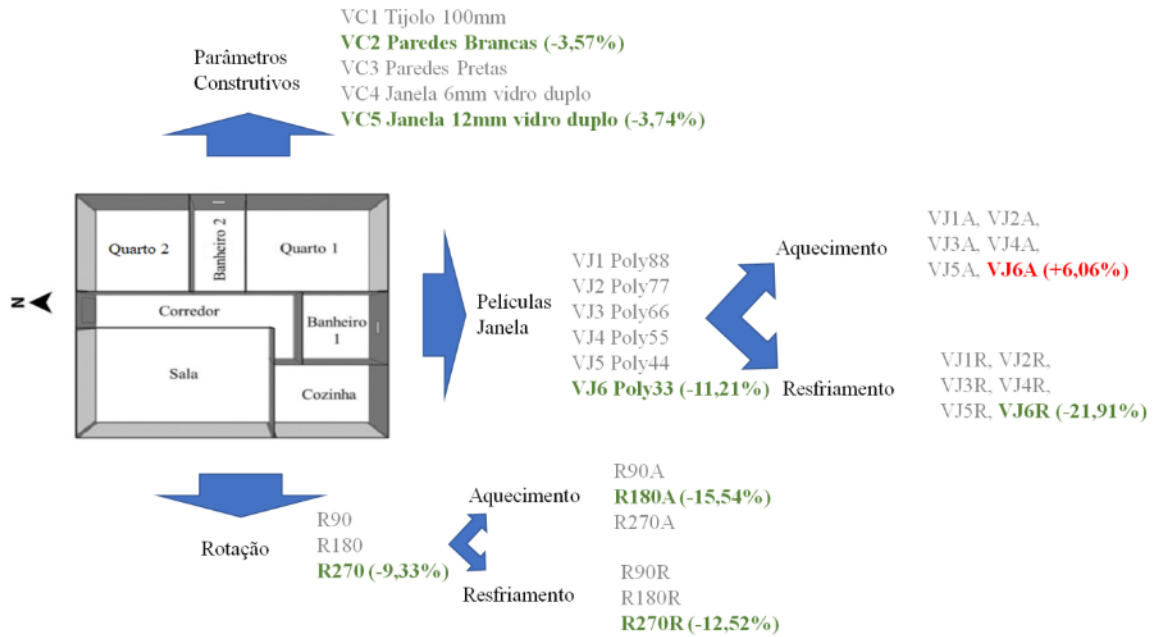
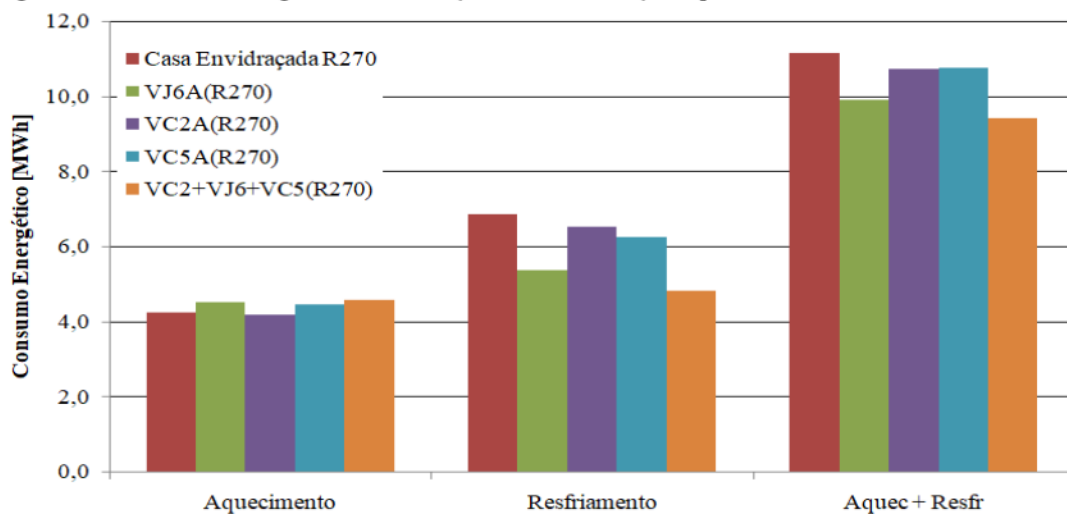


Tabela 11 – Análise do consumo energético da casa envidraçada, para aquecimento e resfriamento, para cada novo cenário combinado.

Cenários	Aquecimento [MWh/ano]	Diferença relativa de consumo	Resfriamento [MWh/ano]	Diferença relativa de consumo
Casa envidraçada (R270)	4,3	-	6,9	-
VJ6A(R270)	4,5	+6,06%	5,4	-21,9%
VC2A(R270)	4,2	-1,33%	6,5	-5,23%
VC5A(R270)	4,5	+4,91%	6,3	-8,83%
VC2+VJ6+VC5(R270)	4,6	+7,54%	4,8	-29,72%

Figura 10 – Consumo energético da edificação, casa envidraçada, para diferentes cenários combinados.





A Tab. 12 traz a comparação entre cenários considerando a casa padrão e a casa envidraçada. Em cada caso, os mesmos parâmetros foram considerados.

Tabela 12 – Análise do consumo energético, para aquecimento e resfriamento, comparativamente entre casa padrão e casa envidraçada

Cenários	Aquecimento [MWh/ano]	Diferença relativa de consumo	Resfriamento [MWh/ano]	Diferença relativa de consumo
Casa padrão (R270)	4,2	-	5,9	-
Casa envidraçada (R270)	4,3	+1,21%	6,9	+16,39%
PJ6A(R270)	4,5	-	5,1	-
VJ6A(R270)	4,5	+1,16%	5,4	+6,25%
PC2A(R270)	4,2	-	5,4	-
VC2A(R270)	4,2	+0,06%	6,5	+20,83%
PC5A(R270)	4,5	-	5,8	-
VC5A(R270)	4,5	+0,32%	6,3	+7,88%
PC2+PJ6+PC5(R270)	4,6	-	4,4	-
VC2+VJ6+VC5(R270)	4,6	+0,70%	4,8	+10,27%

Os dados mostrados na Tab. 12 nos dizem que, apesar de não haver mudanças tão significativas no consumo de energia para aquecimento dos ambientes da casa padrão para a casa envidraçada, existem diferenças consideráveis quando o consumo energético para resfriamento é analisado.

#### 4 CONCLUSÃO

Propôs-se neste trabalho a adaptação de uma casa modelo desenvolvida por pesquisadores portugueses para o clima da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Foram analisadas modificações de orientação das fachadas e de parâmetros construtivos com o intuito de verificar quais parâmetros trariam o menor consumo energético com iluminação e climatização de ambientes. As opções que apresentaram maior economia frente ao modelo foram a de utilização de películas tipo Poly33 nas janelas externas da edificação, pintar as paredes internas e externas da cor branca, rotacionar a construção para que a fachada oeste fique mais bem posicionada quanto à incidência de luz solar e utilizar vidros duplos de espessuras maiores.

A utilização de películas nas janelas externas reduz de maneira significativa o consumo de energia, trazendo uma redução de 10% no gasto energético total da edificação. Outra opção explorada foi a pintura das paredes internas e externas com uma camada de tinta branca, cujo gasto de energia total cai cerca de 5%. Para a orientação das fachadas, a opção mais eficiente é a de orientação da fachada oeste da edificação

apontando ao norte geográfico, trazendo uma economia de 5% no gasto energético. A combinação entre os resultados ótimos trouxe uma economia total de energia próxima dos 17%, sendo que o gasto energético com o resfriamento dos ambientes reduziu em 30% frente aos modelos inicialmente propostos.

Estas propostas de melhoria, ao serem individualmente analisadas para a casa envidraçada, trouxeram uma economia de energia em até 11%, para o caso da película Poly33. Para as demais alternativas, o consumo diminuiu em até 4% para as paredes brancas e os vidros de 12mm, e de 9% para a rotação de 270°. A combinação dos resultados ótimos trouxe uma economia próxima dos 30% para o resfriamento dos ambientes, porém, traz um aumento no consumo de energia para aquecimento de quase 8%. Comparativamente à casa padrão, a casa envidraçada traz um aumento de cerca de 5% no consumo de energia. Sendo assim, a casa padrão mostra-se mais energeticamente eficiente que a casa envidraçada.

Pode-se concluir que, de acordo com as alternativas propostas, para diminuir o consumo de energia com o resfriamento e aquecimento de ambientes de uma casa passiva, deve-se adotar uma orientação favorável à incidência de luz solar nos ambientes, utilizar vidros mais grossos e dotados de película e utilizar materiais de cor branca nas paredes externas e internas.

Para futuros trabalhos, sugere-se examinar a influência do posicionamento de janelas e modificação da disposição dos cômodos na carga energética necessária para a climatização da casa, bem como avaliar de forma econômica as alternativas propostas para diminuição da carga energética do modelo analisado.

### **AGRADECIMENTOS**

As autoras agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, e ao Laboratório de Vapor e Refrigeração, LAFRIG.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. 2003 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro.
- ASHRAE. 2010. Energy standard for building except low-rise residential buildings. ANSI/ASHRAE/IESNA *Standard* 90.1-2010.
- Barbieri Caus, Aléxia. Rodrigues, Leticia Jenisch. 2021. Simulação e avaliação do consumo energético de dois modelos de casa unifamiliar europeia adaptados para o clima de Porto Alegre. Anais do Mercofrio 2020 - 11º Congresso Internacional de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação.
- Casals, X.G. 2006. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: their role, limitations and differences. *Energy Build* 38:381–92.
- Carrilho da Graça, G.; Augusto, A.; Lerer, M. M. 2012. Solar powered net zero energy houses for southern Europe: Feasibility study. *Solar Energy*, [s. l.], v. 86, n. 1, p. 634–646.
- Caus, A.B. 2019. Estudo de Adaptação de uma Casa Modelo para Residência Unifamiliar em Porto Alegre. 2019. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- EPE. 2007. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Nacional de Energia - 2030. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>>. Acesso em: 6 out. 2019.
- ENERGYPLUS. 2019. U. S. D. of E. EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation: Getting Started. 2019. Disponível em: <<https://energyplus.net/documentation>>. Acesso em: 3 out. 2019.
- Ferronato, J. L. H. 2011. Estudo de alternativas para a fachada de um prédio visando conforto e economia de energia. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Fossati, M.; Scalco V.A.; Linczuk V.C.C.; Lamberts R. 2016. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 65, p. 1216–1231.
- Givoni, B. 1992. Comfort, climate analysis and building design guidelines. In: *Energy and building*, vol 18, July/92, p 11-23.
- Liberali, R. 2010. Simulação Para Estudo do Envoltório de um Prédio. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Pizzutti, D. 2010. Análise Energética de Edificação com Uso de Proteções Solares. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Siqueira, E. M. 2011. Projeto do Envoltório de um Prédio com Energia Líquida Zero (PELZ). Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.