

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA

**ANÁLISE TÉRMICA E ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL
UNIFAMILIAR EM PORTO ALEGRE**

por

Victória Hervella Andres

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Energia.

Porto Alegre, outubro de 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA

ANÁLISE TÉRMICA E ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR
EM PORTO ALEGRE

por

Victória Hervella Andres

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA.
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Prof. Eng. Flávio Antônio Becon Lemos, Dr.
Coordenador do Curso de Engenharia de Energia

Orientador: Prof^a. Eng. Leticia Jenisch Rodrigues, Dr^a.

Co-orientadora: Prof^a. Arq. Dóris Zechmeister Bragança, Dr^a.

Banca examinadora:

Prof. Eng. Francis Henrique Ramos França, Dr. – DEMEC / UFRGS

Arq. Catarina Schmitz Feijó – ECOTELHADO

Prof. Eng. Cirilo Seppi Bresolin, Dr. – DEMEC / UFRGS

Porto Alegre, 05 de outubro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Gilberto e Maria Amélia, por sempre me incentivarem e acreditarem em mim, pelo seu apoio incondicional, por todo esforço e suporte sempre. Ao meu irmão, João Pedro, por sempre estar ao meu lado.

À minha avó Cândida (*in memorian*) que esteve sempre presente em minha vida, com quem aprendi e dividi tantos momentos especiais.

Aos meus pets, Fadinha (*in memorian*), por estar ao meu lado durante os seus quase 18 anos e ao Farofa que me acompanhou durante este trabalho.

Aos meus amigos e amigas por dividirem comigo momentos de alegria e por estarem comigo em mais uma etapa da minha vida.

Aos meus colegas de curso e pessoas que conheci ao longo da engenharia, com quem compartilhei momentos de muito estudo e trocas de aprendizado. Muitas dessas pessoas se tornaram amigos muito especiais.

À minha orientadora, Letícia, por todo o auxílio e suporte durante a realização deste trabalho e que desempenhou a função de orientadora com muita dedicação.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul por ter me proporcionado um ensino gratuito e de qualidade.

ANDRES, V.H. Análise Térmica e Energética de Edificação Residencial Unifamiliar em Porto Alegre. 2022. 22 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise térmica e energética de uma edificação residencial unifamiliar em Porto Alegre - RS. A análise contempla o efeito causado pela utilização de brises, telhado verde e, também, pela geração de energia solar fotovoltaica através de um SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede). Para a simulação utiliza-se dois *softwares*: *EnergyPlus*, que contempla as análises energética e térmica, e o SAM (*System Advisor Model*), que é utilizado para avaliar a produção de energia a partir dos módulos fotovoltaicos. A análise foca em três dias, sendo o dia mais quente, o dia mais frio e o dia cuja temperatura média se assemelha à temperatura média anual de Porto Alegre. A partir da combinação de diferentes cenários, faz-se um comparativo entre os impactos causados pelas soluções passivas, avaliando-se o consumo energético e o conforto térmico. Para a análise térmica, no método *free running mode* – apenas ventilação natural – o melhor cenário é aquele que combina a utilização de brise horizontal e telhado verde. Esse cenário produz a menor quantidade de horas de desconforto durante um ano, o equivalente a 34,04%. Além disso, essa mesma combinação de soluções passivas, agora com o uso do sistema de ar condicionado, resulta em um menor consumo total anual, de 5.061 kWh. Porém, em questão de conforto térmico, esse não foi o cenário com a melhor condição. A possibilidade da troca do vidro simples por um de menor SHGC, de 0,311, também é considerada. Essa consideração é importante, haja vista a quantidade expressiva de área de janelas. Por fim, com relação à geração do SFCR, verifica-se que o mesmo consegue suprir todo o consumo da residência.

PALAVRAS-CHAVE: Brise, Telhado verde, Energy Plus, Análise Térmica de Residência Unifamiliar.

ANDRES, V.H. Thermal and Energy Analysis of a Single-Family Residential Building in Porto Alegre. 2022. 22 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ABSTRACT

This work aims to present a thermal and energy analysis of a single-family residential building in Porto Alegre - RS. The analysis contemplates the effect caused by brises, green roofs, and photovoltaic solar energy generation through a PSCG (Photovoltaic System Connected to the Grid). For the simulation, two softwares are used: EnergyPlus, which includes energy and thermal analysis, and SAM (System Advisor Model), which is used to evaluate energy production from photovoltaic modules. The analysis focuses on three days, the hottest day, the coldest day, and the day whose average temperature is similar to the average annual temperature of Porto Alegre. The combination of different scenarios makes a comparison between the impacts caused by passive solutions, evaluating energy consumption and thermal comfort. For the thermal analysis, in the free running mode method – only natural ventilation – the best scenario is the one that combines the use of horizontal brise and a green roof. This scenario produces the least discomfort hours during a year, equivalent to 34.04%. Furthermore, this same combination of passive solutions, now using the air conditioning system, results in a lower total annual consumption of 5,061 kWh. However, in terms of thermal comfort, this was not the scenario with the best condition. The possibility of exchanging the single glass for one with a lower SHGC, of 0.311, is also considered. This consideration is essential, given the expressive amount of window area. Finally, concerning the generation of the SFGR, it appears that it can supply all the consumption of single-family residential building.

KEYWORDS: Brise, Green roof, Energy Plus, Thermal Analysis of Single-Family Building.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	CASO ESTUDADO E CONCEITOS FUNDAMENTAIS	2
2.1	Edificação avaliada	2
2.1.1	Edificação avaliada - Cargas internas e iluminação	3
2.2	Balanco de energia das zonas térmicas	4
2.3	Balanco de energia nas superfícies externas	4
2.4	Balanco de energia nas superfícies internas	4
2.5	Balanco de energia do telhado verde.....	4
2.5.1	Balanco de energia para a folhagem.....	5
2.5.2	Balanco de energia para o solo.....	5
3	METODOLOGIA DESENVOLVIDA	6
3.1	Dados climáticos	6
3.2	Telhado verde.....	6
3.3	Brise	7
3.4	Ar condicionado	7
3.5	Propriedade térmica do vidro – transmitância solar.....	7
3.6	Energia solar fotovoltaica.....	8
4	RESULTADOS	9
4.1	Brises.....	9
4.2	Telhado verde.....	10
4.3	Ar condicionado	12
4.4	Substituição do vidro	13
4.5	Energia solar fotovoltaica.....	14
5	CONCLUSÃO	15
	APÊNDICES	19

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento (2020), a urbanização está relacionada às mudanças climáticas, degradação ambiental e crescimento populacional, com 70% da população vivendo nas cidades até 2050. A Organização Meteorológica Mundial (2021) classificou a década de 2011 a 2020 como a mais quente já registrada, além disso registrou que a temperatura média global de 2020 ficou 1,2 °C acima do nível pré-industrial (1850-1900).

Devido ao aumento das temperaturas médias, uma das alternativas encontradas é a busca por ambientes climatizados. De acordo com a nota técnica da EPE 030 (2018), sistemas de ar condicionado no setor residencial alcançaram cerca de 18,7 TWh em 2017, representando um aumento 3 vezes maior nos últimos 12 anos, e podendo chegar em 48,5 TWh em 2035 devido ao crescimento populacional e ao maior poder de compra (elevação da renda). Também é importante salientar o aumento nas tarifas de energia elétrica que vem ocorrendo no Brasil. Desta forma, é interessante buscar alternativas que mitiguem os gastos como energia, mas que sejam capazes de reduzir os impactos devido ao aquecimento global, e de gerar maior conforto térmico dos habitantes.

O Brasil possui um grande potencial para geração de energia solar, sendo que a média diária de irradiação ao longo do ano no território brasileiro varia de 4,1 a 6,5 kWh/m² (Robson e Gasparin, 2016). O BEN (2022) destaca que para micro e mini geração distribuída (dados de 2020), a energia solar fotovoltaica contou com 9.019 GWh de geração e 8.771 MW de potência instalada. Já o Rio Grande do Sul, segundo a nota técnica DEA 19 (2014), possui o 5° maior potencial fotovoltaico residencial, com 1.970 MWm, gerando 17.257 GWh/ano, e um consumo residencial anual (dados de 2013) de 7.750 GWh. Ou seja, há um potencial a ser explorado. Assim a opção de se utilizar solar fotovoltaica torna-se atrativa. Contudo, é importante lembrar que o custo para instalação desse tipo de sistema ainda é alto.

Esse mesmo potencial solar, que torna atrativa a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCCR), juntamente com a questão climática, é um dos maiores responsáveis pelo alto consumo de energia para fins de climatização artificial de edificações. A implementação de soluções passivas, como a utilização de brises, telhados verdes, ventilação natural, etc., são alternativas para diminuição desse gasto e para o aumento de horas de conforto.

As brises estão presentes tanto em projetos residenciais, quanto comerciais. Elas, além de oferecerem proteção solar e térmica dos ambientes, acabam por valorizar o projeto, trazendo mais sustentabilidade para uma residência. Um importante fator a ser determinado para as brises é o estudo adequado do ângulo de sombreamento, tanto para as brises fixas quanto móveis. Os resultados do estudo de Kim *et al.* (2012) *apud* Leitzke *et al.* (2017), apresentaram menor consumo energético para aquecimento e resfriamento, e melhor conforto térmico, com a utilização de objetos de sombreamento externo para apartamentos na Coreia do Sul, em comparação com elementos de sombreamento convencionais. Ainda Leitzke *et al.* (2017), concluíram que o controle da radiação solar melhora o conforto térmico da edificação, obtendo melhores resultados com um sistema de proteção solar automatizado. Este se adapta melhor às variações da trajetória aparente do Sol no céu. No entanto, brises fixas horizontais apresentaram resultados muito próximos. Vale ressaltar que, para esse estudo, as diferenças em relação ao conforto térmico só não foram maiores visto a importância de um bom projeto arquitetônico para mitigar os efeitos de insolação.

A urbanização, o crescimento populacional e o aumento de edifícios de grande porte nas cidades contribuem para o fenômeno das ilhas de calor. A perda de áreas verdes nas cidades também é decorrente desses processos (Wong *et al.*, 2003). Uma das soluções é incorporar vegetação nos edifícios, como, p.e., telhados verdes. Atuando no âmbito de cidades mais sustentáveis, os telhados verdes reduzem os impactos da urbanização (Shafique, Kim, Rafiq, 2018), possibilitam a redução das ilhas de calor (Peng; Jim, 2015; Wong *et al.*, 2003) e da poluição sonora, a diminuição do consumo de energia, trazendo consigo benefícios térmicos (Wong *et al.*, 2003), a redução da poluição do ar (Yang, Yu, Gong, 2008) e ajudam a promover a biodiversidade do ambiente (Brenneisen, 2003). O estudo de Parizotto e Lamberts (2011) para uma residência unifamiliar na cidade de Florianópolis, Santa Catarina, observou que durante um período quente, o telhado verde reduziu o ganho de calor em 92% e 97% quando comparado com telhados cerâmicos e metálicos, respectivamente, e melhorou a perda de calor em 49% e 20%. Já para o período frio reduziu o ganho de calor em 70% e 84% e reduziu a perda de calor em 44% e 52%, em comparação com telhados cerâmicos e metálicos. Além disso, apresentou uma menor amplitude térmica da temperatura superficial

externa da cobertura, visto que a implementação da cobertura vegetal em larga escala pode ajudar a reduzir os efeitos das ilhas de calor nas cidades.

Para avaliar o potencial de telhados residenciais para instalação de módulos fotovoltaicos, um estudo proposto por Lange (2012), avaliou fatores para sua implementação: a irradiação solar, que depende não somente dos dados climáticos, como também de fatores como elevação e inclinação do terreno que causam variações na irradiação; a área de telhado, que pode ter fatores impeditivos tanto pelo meio externo, como sombreamento por outras edificações ou árvores, ou também por condições adversas da própria edificação; questões estruturais ou questões culturais.

Visto as condições acima apresentadas, este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise em uma edificação residencial unifamiliar utilizando soluções passivas, avaliando o impacto dessas combinações no desempenho térmico, consumo energético e avaliar o conforto térmico dos habitantes. Para realização das análises, foram utilizados os *softwares EnergyPlus* e SAM para determinar questões térmicas e energéticas, além de qualificar o conforto térmico da edificação residencial.

2 CASO ESTUDADO E CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Para o trabalho proposto, foi utilizado o *Sketchup* na sua versão teste, para facilitar a construção do modelo da edificação, e para as simulações fez-se uso do *software EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE-US). É um *software* gratuito e de código aberto que faz análises energéticas e simulações térmicas, além de modelar o consumo de energia de edificações.

As simulações da edificação no *EnergyPlus* são feitas a partir de zonas térmicas, cada uma com suas respectivas coordenadas, condições de contorno e carga térmica, tanto de equipamentos quanto de iluminação, além da sua ocupação.

Já a simulação para os módulos fotovoltaicos foi realizada a partir do *software SAM (System Advice Model)*, que é um *software* gratuito desenvolvido pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), em que podem ser dimensionados tanto projetos residenciais quanto projetos em larga escala.

2.1 Edificação avaliada

A edificação está localizada na zona sul da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, e conta com quatro moradores. Possui uma área total de 250,52 m² e conta com 3 pavimentos, sendo eles o térreo, 2º pavimento, que é onde se encontra o mezanino, e o 3º pavimento. A residência é dividida em 15 zonas térmicas. As respectivas áreas de piso de cada zona térmica, assim como a área das janelas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Zonas térmicas e suas respectivas áreas de piso e de janela.

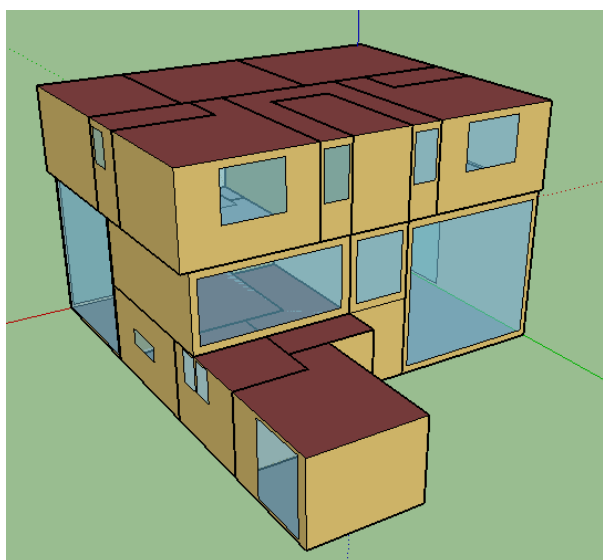
Zona térmica	Área de piso (m ²)	Área de janela (m ²)
Quarto A	15,57	8,88
Quarto B	15,54	8,87
Banheiro A	4,44	0,64
Banheiro B	4,30	0,64
Suíte	20,34	7,44
Closet suíte	16,64	2,05
Banheiro suíte	11,08	4,06
Área de circulação superior	11,69	0,97

Tabela 1 – Zonas térmicas e suas respectivas áreas de piso e de janela (continuação).

Zona térmica	Área de piso (m ²)	Área de janela (m ²)
Mezanino	22,02	9,05
Quarto de Hóspedes	11,41	6,99
Banheiro de Hóspedes	6,42	1,17
Sala	73,62	105,61
Cozinha	12,88	0,61
Área de circulação inferior	9,75	-
Escada	14,84	3,42

Fonte: Autora.

A edificação foi modelada no *Sketchup*, com base na planta baixa disponibilizada pela proprietária. Foi elaborado um modelo simplificado para a simulação e este encontra-se na Figura 1.

Figura 1- Modelo da edificação realizado no *SketchUp*.

Fonte: Autora.

Além disso, no Quadro A.1 do Apêndice A, encontram-se os elementos construtivos dessa edificação, separados em camadas, da mais externa até a mais interna, e o coeficiente geral de transferência de calor, fator U, em W/m²K, que está relacionado à resistência térmica total. Os elementos construtivos tiveram como base a NBR 15220-2 (2003).

2.1.1 Edificação avaliada - Cargas internas e iluminação

Para melhor entendimento do perfil residencial, foram criados perfis de ocupação e iluminação de cada zona térmica. Tratando-se de um perfil residencial, foram avaliados perfis tanto para os dias de semana quanto para os finais de semana. Os perfis de ocupação dos dias da semana e dos finais de semana encontram-se nos Quadros B.1 e B.2 do Apêndice B, respectivamente, e para o perfil de iluminação dos dias de semana e dos finais de semana nos Quadros C.1 e C.2 do Apêndice C, respectivamente.

Já a Tabela D.1 no Apêndice D são apresentados os equipamentos elétricos e de iluminação, todos estes em LED (*Light-Emitting Diode*), i.e., diodo emissor de luz, ambos em W. Os equipamentos foram representados pelo perfil de ocupação.

A seguir são apresentados os balanços de energia para fins de cálculo que tiveram como base o EnergyPlus™ Version 22.1.0 Documentation (*Engineering Reference*, 2022).

2.2 Balanço de energia das zonas térmicas

A base de integração do *EnergyPlus* da zona térmica e do sistema de ar é elaborar os balanços de energia e resolvê-los utilizando as equações diferenciais ordinárias empregando uma abordagem de predição-correção. A resolução começa com o balanço de calor da zona térmica de acordo com a Equação 1

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i + \sum_{i=1}^{N_{superficie}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} m_i C_p (T_{zi} - T_z) + m_{inf} C_p (T_\infty - T_z) + Q_{sys} \quad (1)$$

na qual $C \frac{dT_z}{dt}$ é a taxa de energia armazenada na zona térmica, em W; $\sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i$ é a soma das cargas convectivas internas, em W; $\sum_{i=1}^{N_{superficie}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ é a taxa de transferência de calor convectiva das zonas térmicas, em W; $\sum_{i=1}^{N_{zonas}} m_i C_p (T_{zi} - T_z)$ é a taxa de transferência de calor devido a mistura entre as zonas térmicas, em W; $m_{inf} C_p (T_\infty - T_z)$ é a taxa de transferência de calor devido a infiltração de ar exterior, em W; e Q_{sys} é a taxa de calor com sistema de climatização, em W. O T_{si} é a temperatura externa da superfície i , em K; T_z é a temperatura do ar da zona, em K; T_{zi} é a temperatura do ar da zona térmica i , em K; T_∞ é a temperatura ar ambiente, em K. Além disso, o subíndice “ i ” indica a i -ésima superfície ou a i -ésima zona térmica, N_{sl} indica o número de superfícies de cargas internas convectivas, adimensional, $N_{superficie}$ indica o número de superfícies da zona térmica, adimensional, e N_{zonas} indica o número de zonas térmicas, adimensional.

2.3 Balanço de energia nas superfícies externas

A Equação 2 representa o cálculo das transferências de calor das superfícies externas

$$q_{\alpha sol}'' + q_{LWR}'' + q_{conv}'' - q_{ko}'' = 0 \quad (2)$$

na qual $q_{\alpha sol}''$ é o fluxo de calor de radiação solar direta e difusa absorvido (comprimento de onda curto), em W/m²; q_{LWR}'' é o fluxo de calor de radiação entre o ar e vizinhança (ondas de comprimento longo), em W/m²; q_{conv}'' é o fluxo de calor convectivo com o ar externo, em W/m²; q_{ko}'' é o fluxo de calor condutivo da parede, em W/m².

2.4 Balanço de energia nas superfícies internas

Já para o cálculo das transferências de calor das superfícies internas são conforme mostrado abaixo, na Equação 3

$$q_{LWX}'' + q_{sw}'' + q_{LWS}'' + q_{ki}'' + q_{sol}'' + q_{conv}'' = 0 \quad (3)$$

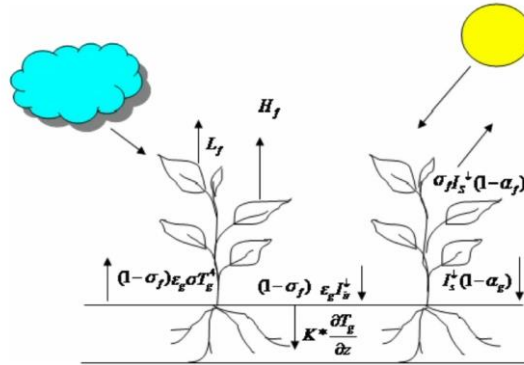
na qual q_{LWX}'' é o fluxo de calor radiante líquido (ondas longas) entre as superfícies, em W/m²; q_{sw}'' é o fluxo de calor radiante líquido (ondas curtas) nas superfícies de zonas térmicas, em W/m²; q_{LWS}'' é o fluxo radiante (ondas longas) emitido pelos equipamentos da zona térmica, em W/m²; q_{ki}'' é o fluxo de calor condutivo através da parede, em W/m²; q_{sol}'' é o fluxo de calor absorvido na superfície pela radiação solar, em W/m² e q_{conv}'' é o fluxo de calor convectivo do ar, em W/m².

2.5 Balanço de energia do telhado verde

O balanço de energia para o telhado verde é feito através da radiação solar por convecção e evaporação do fluxo de calor do solo e das superfícies das plantas combinado com a condução de calor no

substrato. A Figura 2 mostra o balanço de energia do telhado verde, este que é separado entre o balanço de energia da folhagem e do solo.

Figura 2 – Esquema do modelo do balanço de energia do telhado verde.



Fonte: Engineering Reference U.S. Department of Energy, 2022.

2.5.1 Balanço de energia para a folhagem

De acordo com Berardi *et al.* (2014), os aspectos que mais influenciam para a transferência de calor de um telhado verde são a altura da planta, o LAI, o albedo, a cobertura fracionada e a resistência estomática. O LAI é o índice de área foliar por unidade de superfície de solo, que depende do tipo de planta e pode variar de 0,5 a 5. O albedo é a relação da refletividade da energia solar incidente sobre a camada de vegetação. A cobertura fracionada se refere a uma fração do telhado que é coberta por pelo menos uma folha. A resistência estomática é um parâmetro biofísico que governa a taxa na qual a planta transpira umidade. Já o fluxo de calor para a folhagem é dado por

$$F_f = \sigma_f [I_s^\downarrow (1 - \alpha_f) + \varepsilon_f I_{ir}^\downarrow - \varepsilon_f \sigma T_f^4] + \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_1} (T_g^4 - T_f^4) + H_f + L_f \quad (4)$$

na qual F_f é o fluxo de calor para a folhagem, em W/m^2 ; σ_f cobertura fracionada de vegetação, adimensional, dado pela Equação 5; I_s^\downarrow é a radiação incidente total para ondas de curto comprimento, em W/m^2 ; α_f é o albedo (refletividade de ondas curtas) do dossel, adimensional; ε_f é a emissividade do dossel, adimensional; I_{ir}^\downarrow é a radiação para ondas de longo comprimento, em W/m^2 ; σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$); T_f é a temperatura da superfície da folhagem, em K; ε_g é a emissividade da superfície do solo, adimensional; ε_1 é uma relação entre ε_g e ε_f , dado pela Equação 6; T_g é a temperatura da superfície do solo, em K; H_f é o fluxo de calor sensível da camada da folhagem, em W/m^2 ; L_f é o fluxo de calor latente da camada de folhagem, em W/m^2 . A seguir estão representadas as que compõem os dois termos na Equação 4

$$\sigma_f = 0,9 - 0,7 \exp(-0,75LAI) \quad (5)$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_g + \varepsilon_f - \varepsilon_g \varepsilon_f \quad (6)$$

2.5.2 Balanço de energia para o solo

O balanço de energia para o solo tem influência da quantidade de umidade do solo, suas propriedades térmicas e da quantidade de cobertura foliar e é dado pela equação de Frankenstein e Koenig (2004) *apud* Engineering Reference U.S. Department of Energy (2022).

$$F_g = (1 - \sigma_f)[I_S^\downarrow(1 - \alpha_g) + \varepsilon_g I_{ir}^\downarrow - \varepsilon_g \sigma T_g^4] - \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_1} (T_g^4 - T_f^4) + H_g + L_g + K \frac{\partial T_g}{\partial z} \quad (7)$$

na qual F_g é o fluxo de calor no solo, em W/m^2 ; α_g é o albedo (refletividade de ondas curtas) da superfície do solo, adimensional; H_g é o fluxo de calor sensível da camada do solo, em W/m^2 ; L_g é o fluxo de calor latente da camada do solo, em W/m^2 ; $K \frac{\partial T_g}{\partial z}$ é o fluxo de calor por condução no substrato do solo, em W/m^2 . Os outros termos já foram descritos ao longo dos outros balanços.

3 METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada uma edificação residencial localizada na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Para a simulação foi utilizando o *software EnergyPlus*. A simulação foi feita para um ano, mas foram escolhidos apenas 3 dias de projeto para as análises para melhor visualização dos resultados: um dia mais quente, 11 de janeiro, um dia mais frio, 07 de julho, e um dia que se assemelhasse com a temperatura média de Porto Alegre, 17 de setembro. Além dessas análises, foi utilizado o *software SAM* para avaliar a produção de energia solar. A partir dessas análises foram combinados diferentes cenários para avaliar qual seria a melhor opção para a residência.

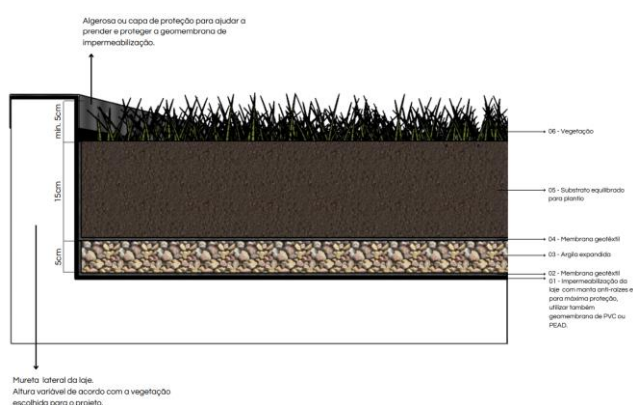
3.1 Dados climáticos

A cidade de Porto Alegre possui clima subtropical úmido com estações bem definidas, sendo possível obter resultados para diferentes temperaturas ao longo do ano. Para os dados de entrada da simulação, foi utilizado o arquivo climático disponibilizado pelo *Climate One Building*, em uma base localizada no aeroporto Salgado Filho. Para a temperatura do solo também foi utilizado os valores disponibilizados pelo arquivo climático.

3.2 Telhado verde

O telhado verde está disposto em cima do quarto de hóspedes e o modelo utilizado na edificação está representado abaixo na Figura 3.

Figura 3 - Telhado verde da residência.



Fonte: Material disponibilizado pela proprietária.

Para a simulação foi utilizado um modelo adaptado como é descrito a seguir, sendo a primeira camada, que está em contato com a laje, é composta de uma camada impermeabilizante constituída por uma manta anti-raízes e acima dela está disposta a argila expandida, de 3 cm. Um substrato, de 15 cm, é adicionado para garantir o plantio da vegetação. Essa vegetação forma a última camada do telhado verde que é composta de diversas plantas podendo chegar até 70 cm de altura.

A escolha de plantas mais altas deve-se ao fato da escolha da proprietária em garantir maior privacidade da zona térmica do mezanino, que fica logo acima do quarto de hóspedes, e porque a sua fachada frontal, que possui uma grande área de janela, é voltada para a rua.

As informações referentes aos dados escolhidos para o telhado verde estão na Tabela 2. Muitos desses valores tiveram como base o *Material: RoofVegetation* do *Big Ladder Software*.

Tabela 2 – Valores das propriedades do telhado verde.

Propriedades telhado verde	Valor
Altura da planta	0,7 m
LAI	1
Refletividade da folha	0,22
Emissividade da folha	0,95
Resistência estomática mínima	180 s/m
Condutividade do solo seco	0,4 W/mK
Densidade do solo seco	1100 kg/m ³
Calor específico do solo seco	1200 J/kgK
Absortância térmica do solo	0,95
Absortância solar do solo	0,8
Absortância visível do solo	0,7

Fonte: Autora.

3.3 Brise

As brises funcionam como uma proteção solar impedindo a incidência de parte da radiação solar através da abertura a partir do ângulo de azimute solar, se forem brises verticais, ou através da abertura a partir do ângulo de altitude solar, se forem brises horizontais (LABEEE, 2011).

A residência conta com uma brise horizontal fixa de alumínio, esta que é uma das mais utilizadas pela alta produção, fácil instalação e manutenção, mas tem um custo mais elevado, voltada para a fachada norte que contempla as zonas térmicas dos quartos A e B, área de circulação superior e escada. Para as análises foram consideradas somente as áreas de permanência prolongada, excluindo então a área de circulação e escada visto que são áreas de permanência transitória.

As brises são classificadas como horizontais ou verticais. As brises horizontais são aquelas em que são paralelas ao solo e são mais indicadas para as fachadas voltadas para o norte, já as brises verticais, aquelas que são perpendiculares ao solo, são mais indicadas para as fachadas leste e oeste.

Como parte das análises, além da brise horizontal, foram simulados cenários sem as brises e com brises verticais para avaliar as melhores condições e os impactos que cada uma dessas opções trouxe para a edificação.

3.4 Ar condicionado

A residência conta com ar condicionado nas zonas térmicas dos quartos A e B, suíte, quarto de hóspedes e sala. A inclusão dessa análise é avaliar o consumo energético anual de aquecimento, resfriamento e ventilação da residência.

Foi modelado um sistema do tipo HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*) no *EnergyPlus* com temperaturas de *setpoint* de 22°C para aquecimento e 24°C para resfriamento. Esse sistema entra em funcionamento quando ocorre duas situações simultâneas: para quando tem ocupação das pessoas nas zonas térmicas e quando a temperatura está acima ou abaixo do da temperatura de *setpoint* estabelecida.

3.5 Propriedade térmica do vidro – transmitância solar

Devido a enorme área de janelas presente na residência, foi proposta uma breve análise acerca do impacto que mudanças na transmitância solar dos vidros poderia trazer.

Quando a irradiação solar incide sobre uma superfície, neste caso, o vidro, parte da radiação é refletida pela janela, parte é absorvida e outra parte dela é transmitida para dentro do ambiente. Para avaliar

o impacto que essa irradiação que é transmitida e transformada em calor para o ambiente, foi analisado o SHGC (*Solar Heat Gain Coefficient*) para 4 tipos de vidros com transmitâncias solares diferentes, como consta na Tabela 3. Quanto menor o SHGC, menos irradiação solar é transmitida para o ambiente. O SHGC pode variar de valores entre 0 a 1.

Tabela 3 – Tipos de vidro com transmitâncias solares diferentes.

Testes vidro	Transmitância solar
Vidro 1	0,6
Vidro 2	0,5
Vidro 3	0,4
Vidro 4	0,3

Fonte: Autora.

3.6 Energia solar fotovoltaica

Ainda a residência conta um sistema de energia solar fotovoltaica instalado no telhado externo do 2º pavimento. Na Tabela 4 são descritos os parâmetros para a simulação no SAM.

Tabela 4 – Dados dos módulos fotovoltaicos.

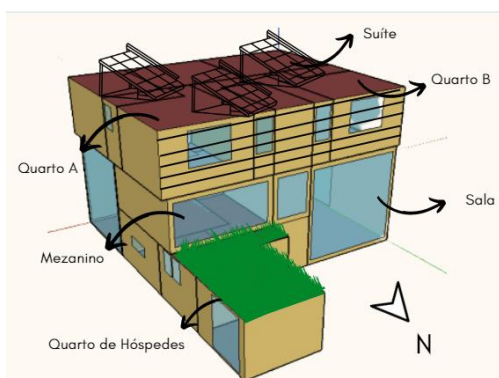
Parâmetro	Valor
Quantidade de módulos	8 (-)
Potência instalada de geração	550 Wp
Quantidade de inversores	2
Potência nominal CA do inversor	2,5 kW

Fonte: Autora.

O modelo dos módulos é o FBK550M8G do fabricante *United Renewable Energy Co. Ltd*, possui uma eficiência de 21,52%. Já para o inversor o modelo utilizado é o Solis-1P2.5K4G-US do fabricante *Ginlong Technologies Co. Ltd* e possui uma eficiência máxima de 98,10%. Essas informações estão dispostas no SAM.

Na Figura 4 é apresentada uma representação da residência com as respectivas soluções passivas e algumas das zonas térmicas avaliadas.

Figura 3 – Residência com soluções passivas e zonas térmicas.



Fonte: Autora.

4 RESULTADOS

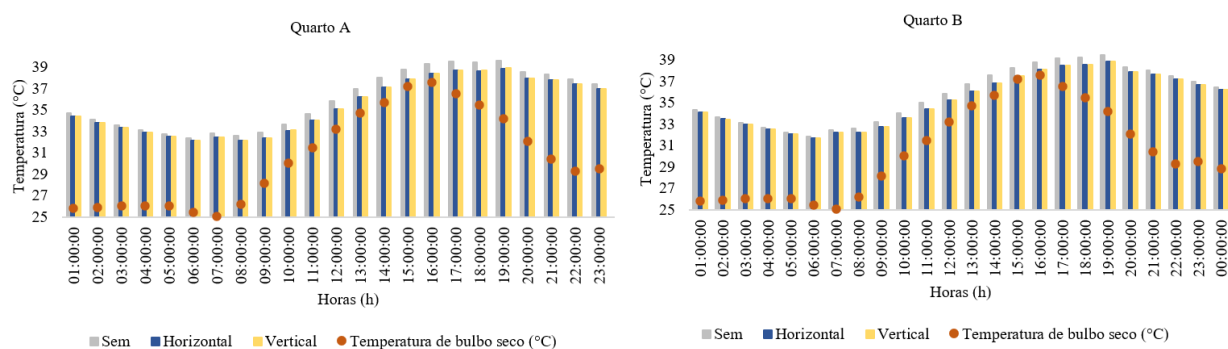
A primeira parte da análise foi realizada com o método *free running mode*, em que não é considerada a presença do ar condicionado. Nesse caso foram observadas as temperaturas operativas, que são uma média entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante do ambiente, para 3 dias: o dia mais quente, o dia mais frio e o dia da temperatura média da cidade de Porto Alegre. Com isso foi realizada uma análise térmica para as zonas térmicas em que ocorre a presença de brises, além das horas de conforto térmico e consumo energético anual para toda a residência. Além disso, nas análises térmicas, foi disposta a temperatura de bulbo seco, que é a temperatura ambiente.

4.1 Brises

Para o dia mais quente, como é mostrado na Figura 5, observa-se uma temperatura levemente maior sem as brises, como era esperado, visto que as brises possuem como função a proteção solar. Embora não seja possível visualizar devido a valores muito próximos, a brise horizontal apresentou temperaturas ligeiramente menores do que a vertical, o que já era esperado visto que a brise horizontal é recomendada para as fachadas norte.

Consegue-se observar que entre as 14 e 19 horas ocorrem as mudanças mais significativas nas diferenças de temperatura entre os cenários sem e com as brises. Essa faixa de horário encontram-se as maiores temperaturas de bulbo seco, podendo chegar até 37,5°C.

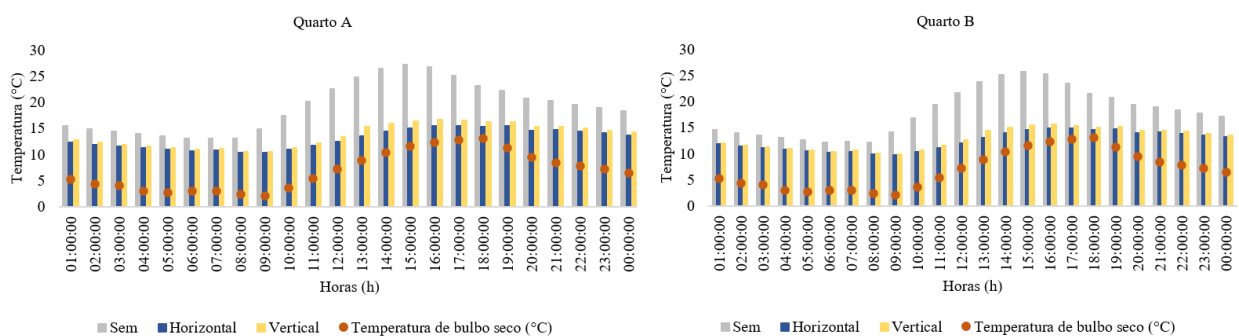
Figura 5 – Comparativo entre as brises para o dia mais quente.



Fonte: Autora.

A análise para o dia mais frio foi a que apresentou as maiores diferenças de temperatura, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Comparativo entre as brises para o dia mais frio.



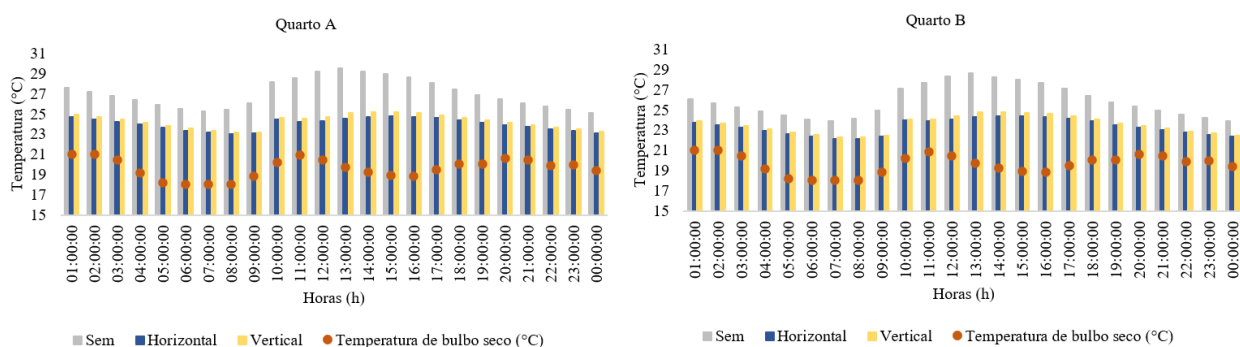
Fonte: Autora.

Entre as 12 até 17 horas ocorreram as maiores diferenças das brises horizontal e vertical em relação ao cenário sem brise, sendo que a maior diferença do quarto A, de 12,17°C, ocorreu às 14 horas para a brise horizontal e de 11,23°C também às 14 horas para o quarto B.

Muito dessa diferença de temperatura pode ser pelo fato das brises serem fixas. E de acordo com a NBR 15220-3, como a residência está localizada em Porto Alegre e esta pertence a zona bioclimática 3, uma condição importante, segundo a norma, é permitir o Sol durante o inverno. O fato das brises ocasionarem um sombreamento das janelas, faz com que ocorram essas diferenças tão marcantes para o dia mais frio. Uma solução que pode ser analisada é permitir que as brises fossem móveis para assim garantir uma entrada de irradiação solar maior.

A Figura 7 mostra os resultados avaliados na temperatura média. Também é possível uma melhor visualização do comparativo entre vertical e horizontal, sabendo que a horizontal teve menores temperaturas. Observa-se as maiores diferenças entre o período das 10 até 17 horas, sendo que às 13 horas apresentou a maior diferença, de 5°C, do cenário sem brise para a brise horizontal para o quarto A e de 4,27°C para o mesmo cenário para o quarto B.

Figura 7 – Comparativo entre as brises para o dia de temperatura média.



Fonte: Autora.

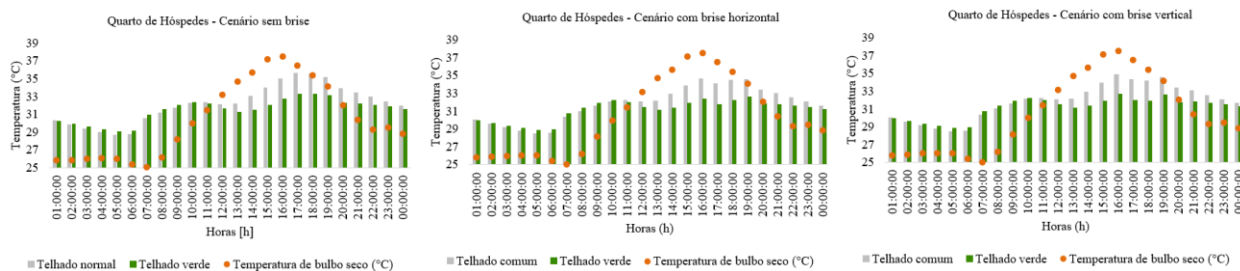
4.2 Telhado verde

Já para as análises acerca da utilização do telhado verde, temos os 3 mesmos cenários de brises, além de comparar com o telhado comum.

Primeiro é apresentado o comparativo para o dia mais quente, mostrado na Figura 8. As maiores diferenças observadas encontram-se no período das 14 horas até às 21 horas, período em que ocorrem as maiores temperaturas de bulbo seco. Para os 3 casos de brise avaliados, às 17 horas ocorreu a maior diferença de temperatura entre o telhado comum e verde, de 2,35°C. Aqui pode-se notar que para essa análise, talvez a utilização ou não das brises não tenha um impacto porque não se trata de uma zona térmica que possa sofrer a influência de uma alternativa no 3º pavimento, sendo que o quarto de hóspedes se encontra no térreo.

Nota-se que para dias quentes, em que as temperaturas externas são bem elevadas, o telhado verde exerce a sua função de um isolante térmico, no qual consegue absorver o calor do meio externo e retém ele nas suas camadas, impedindo que esse calor atinja o ambiente interno.

Figura 8 – Comparativo telhado normal e verde para o dia mais quente.



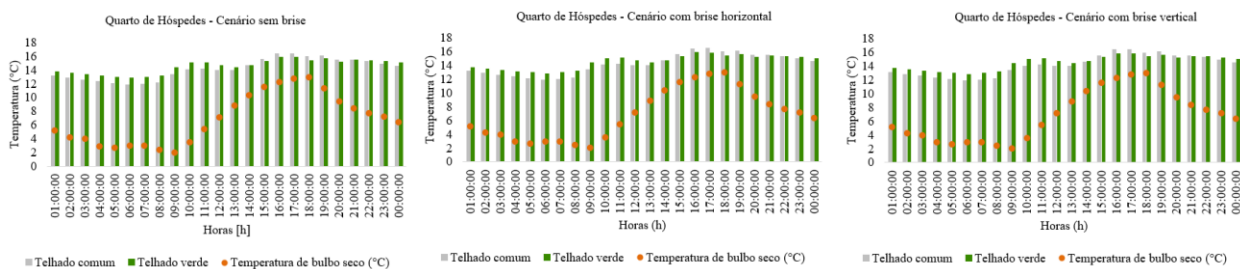
Fonte: Autora.

Para o dia mais frio, nota-se uma inversão de comportamento apresentado acima, como já era esperado, visto que o telhado verde consegue reduzir a perda de calor para o meio externo.

A temperatura operativa da zona térmica avaliada é maior com a aplicação do telhado verde, aumentando em aproximadamente 1°C na média em comparação com o telhado comum. Esse aumento na temperatura ocorre na maior parte do dia, mas em dois momentos diferentes, da 01 até às 14 horas e depois das 22 horas até 24, como é mostrado na Figura 9.

Esse aumento da temperatura de aproximadamente 1°C ocorre em momentos em que a temperatura externa é extremamente baixa, mais uma vez mostrando a eficiência que um telhado verde pode ter, representando uma menor perda de calor para o meio externo, mesmo que sendo avaliado para uma zona térmica pequena se comparado ao restante da casa.

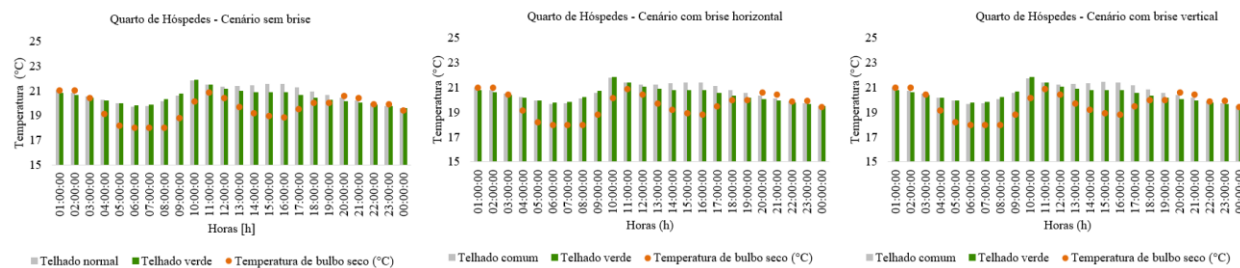
Figura 9 – Comparativo telhado normal e verde para o dia mais frio.



Fonte: Autora.

Já para a temperatura média, na Figura 10, o comportamento assemelhou-se com o do dia mais quente, sendo o período que apresentou as maiores diferenças que foi das 13 h até às 20h, mesmo as diferenças não terem sido tão significativas quanto nos outros dois casos já mencionados.

Figura 10 – Comparativo telhado normal e verde para o dia de temperatura média.



Fonte: Autora.

Para o telhado verde, nota-se que a utilização das brises não impactou tão significativamente na análise térmica do quarto de hóspedes, pois mesmo sem a utilização delas, os resultados foram semelhantes.

Mesmo assim, com os diferentes cenários avaliados, foi possível concluir que a combinação da brise horizontal com o telhado verde foi a melhor opção encontrada termicamente falando.

Ao avaliar questões de conforto térmico de toda a residência, a melhor combinação apresentou 2806,33 horas de desconforto térmico anual, representando cerca de 32,04%, o menor desconforto entre os cenários avaliados e a Tabela 5 compara esses resultados, mostrando que o telhado verde foi uma boa opção a ser implementado na residência.

Tabela 5 – Horas de desconforto térmico no cenário com telhado verde e comparativo entre as brises.

Tipos de brise	Horas de desconforto térmico (%)	
	Telhado comum	Telhado verde
Sem brise	34,79	34,06
Brise horizontal	33,62	32,04
Brise vertical	34,03	32,18

Fonte: Autora.

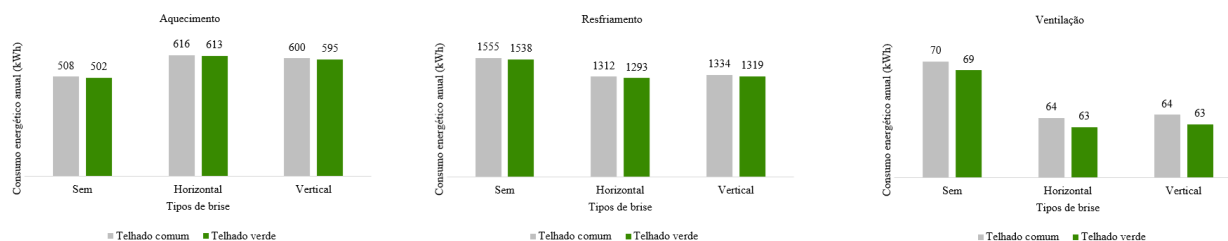
Além disso, tivemos que o consumo energético total anual de iluminação e dos equipamentos elétricos foi de 139,81 kWh e 2952,63 kWh, respectivamente, totalizando um consumo geral anual de 3092,44 kWh para toda a residência.

4.3 Ar condicionado

Para a próxima análise foi considerado o uso do ar condicionado com as mesmas alternativas já propostas para avaliar o consumo energético anual de aquecimento, resfriamento e ventilação.

Pela Figura 11 logo observa-se que o uso do telhado verde, quando comparado com o telhado comum em todos os cenários, mostrou-se mais eficiente pois reduziu o consumo energético, tanto em aquecimento, resfriamento e ventilação comprovando a sua eficiência. Assim como Feijó (2017) que relata que no Instituto Federal de Brasília (IFB), que conta com telhados verdes, estes têm como objetivo economizar até 40% de energia elétrica do uso dos ar condicionados.

Figura 11 – Consumo energético anual de aquecimento, resfriamento e ventilação do ar condicionado.



Fonte: Autora.

Sabe-se que os gastos com aquecimento são menores do que resfriamento, então apesar do gráfico de aquecimento ter resultados menores para o cenário sem brise, no gráfico de resfriamento ocorre o inverso, e com uma diferença de mais de 200 kWh entre o cenário sem brise e com a horizontal e vertical, diferença essa que foi maior do que para o aquecimento em que em média teve uma diferença de 100 kWh entre os cenários. Com esses valores tem-se que o ar condicionado gerou um consumo de em média até 65,64% maior do que sem o seu uso. A Tabela 6 mostra o consumo total anual para os cenários.

Tabela 6 – Consumo energético total anual entre telhado comum e verde.

Tipos de brise	Consumo energético total anual (kWh)	
	Telhado comum	Telhado verde
Sem brise	5225	5201
Brise horizontal	5085	5061
Brise vertical	5091	5070

Fonte: Autora.

Em questão de conforto térmico, no entanto, os resultados, apesar de próximos, não foram os esperados, visto que o telhado comum apresentou menores horas de desconforto térmico anual, como mostra a Tabela 7. Com a utilização do ar condicionado, o objetivo dele é deixar a temperatura mais estável, mais agradável e junto com o telhado verde, que funciona como um isolante térmico, isso acaba dificultando as trocas térmicas entre o meio interno e externo, ocasionando um desconforto maior pelo ambiente estar fechado, recebendo irradiação solar e esse calor não consegue sair. Mesmo não sendo o esperado, é observado que o uso do sistema de ar condicionado ajudou a reduzir as horas de desconforto térmico para a residência em média de 14,75%.

Tabela 7 – Horas de desconforto térmico utilizando ar condicionado entre telhado comum e verde.

Tipos de brise	Horas de desconforto térmico (%)	
	Telhado comum	Telhado verde
Sem brise	29,10	29,16
Brise horizontal	27,62	28,90
Brise vertical	27,37	28,79

Fonte: Autora.

4.4 Substituição do vidro

Já para a análise das mudanças do vidro da residência, primeiro alterou-se a transmitância solar para 4 tipos de vidro e o resultado do SHGC, como mostra a Tabela 8 abaixo.

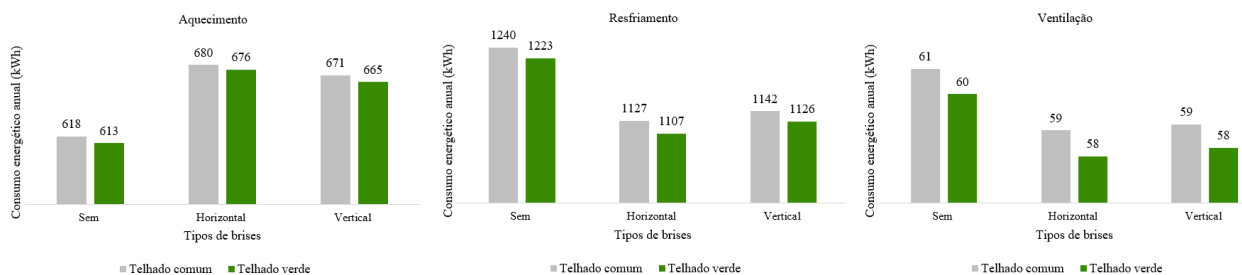
Tabela 8 – Transmitância solar dos vidros.

Testes vidro	Transmitância solar	SHGC
Vidro 1	0,6	0,537
Vidro 2	0,5	0,455
Vidro 3	0,4	0,379
Vidro 4	0,3	0,311

Fonte: Autora.

Como mostrado acima, o vidro 4 mostrou-se com o menor SHGC, sendo essa a melhor opção encontrada. Devido à quantidade de cenários propostos em combinação com os tipos de vidro, os resultados mostrados a seguir são somente em relação ao vidro 4. A Figura 12 mostra o consumo energético anual de aquecimento, resfriamento e ventilação.

Figura 12 - Consumo energético anual de aquecimento, resfriamento e ventilação do ar condicionado com a escolha do vidro 4.



Fonte: Autora.

A Tabela 9 mostra o consumo energético total anual para o vidro 4. Nota-se uma redução de em média 3,03% em relação a mesma situação utilizando o vidro original da residência, comprovando a sua eficiência.

Tabela 9 - Consumo energético total anual entre telhado comum e verde para o vidro 4.

Tipos de brise	Consumo energético total anual (kWh)	
	Telhado comum	Telhado verde
Sem brise	5012	4988
Brise horizontal	4958	4934
Brise vertical	4964	4942

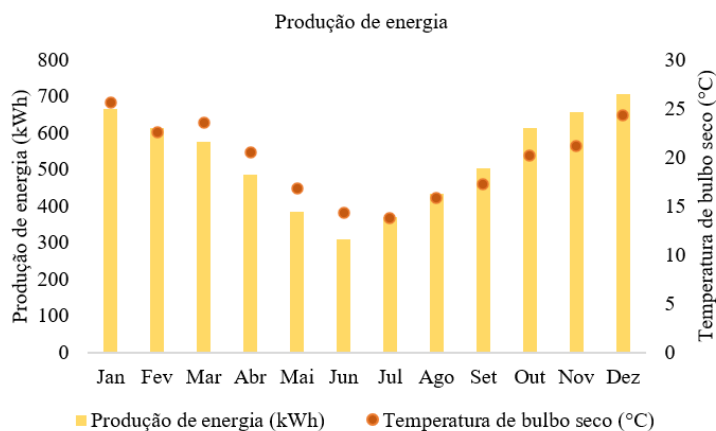
Fonte: Autora.

Em questão de conforto térmico, todas as opções de vidro resultaram em média 27% de desconforto térmico anual na residência, reduzindo cerca de 5,17% o desconforto térmico para com o vidro original e o sistema de ar condicionado.

4.5 Energia solar fotovoltaica

Analisando a produção de energia solar fotovoltaica da residência, a Figura 13 mostra o consumo mensal, em kWh. Como já era esperado, nos meses em que se tem as maiores temperaturas, são os meses de maior produção.

Figura 13 – Produção de energia mensal a partir dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: Autora.

Em média, os consumos mensais sem ar condicionado, com ar condicionado e com o vidro 4, são 257,70 kWh, 426,85 kWh e 413,86 kWh, respectivamente. Analisando mesmo para o caso mais extremo,

a produção mensal de energia, que foi em média de 526,17 kWh, conseguiria suprir o consumo da residência. A produção anual foi de 6314,06 kWh.

Como é observado, haveria uma sobra de energia da residência. Com a nova lei 14.300 (2022) sendo aplicada a partir de janeiro de 2023, algumas mudanças aconteceram para micro e minigeração de energia. Antes, a sobra de energia podia gerar créditos com a distribuidora, este que poderia ser descontado da conta de energia. No entanto, para 2023, sobre o excedente, haverá uma tarifa a ser cobrada em períodos em que não ocorre a geração e consumo simultâneo.

5 CONCLUSÃO

Com o crescimento da urbanização, o aumento das temperaturas nas cidades e a crescente alta nas tarifas de energia elétrica, a necessidade de buscar alternativas que consigam reduzir impactos tanto térmicos quanto energéticos se mostra cada vez mais necessária. O estudo realizado em uma residência na cidade de Porto alegre avaliou a combinação de alternativas, entre elas as brises, telhado verde e geração de energia solar fotovoltaica, através de simulações no *Energy Plus* e *SAM*.

No método *free running mode*, apesar de uma diferença pequena entre as brises vertical e horizontal, esta apresentou melhores resultados térmicos. Com a implementação do telhado verde, mesmo que para uma zona térmica pequena, este também apresentou um impacto significativo para a residência. Com isso, a combinação de brise horizontal com telhado verde foi o cenário que apresentou o melhor conforto térmico.

Com a inclusão do sistema de ar condicionado, apesar de aumentar o consumo energético anual em aproximadamente 65%, as combinações que utilizaram o telhado verde apresentaram os menores consumos energéticos anuais tanto para aquecimento, resfriamento e ventilação em comparação com o telhado comum. No entanto, apesar de uma diferença pequena, o conforto térmico não foi como o esperado, visto que o telhado comum apresentou menos horas de desconforto térmico.

A substituição do vidro tipo 4 pelo vidro original da residência garantiu uma queda no consumo energético da residência e conseqüentemente menos horas de desconforto térmico.

Por fim, a produção de energia solar fotovoltaica conseguiu suprir o consumo energético total anual de toda a residência. As análises comprovaram o potencial que uma casa sustentável consegue ter na redução de impactos térmicos e energéticos.

Para futuros trabalhos sugere-se uma análise de viabilidade financeira do projeto. No caso das brises, é interessante realizar uma análise luminotécnica do ambiente, podendo verificar a melhoria térmica com a opção de brises móveis. Já para o telhado verde, avaliar os custos, juntamente com os gastos em relação a irrigação e manutenção do mesmo. O impacto financeiro que pode ter caso ocorra a substituição dos vidros já existentes pelo vidro tipo 4, visto que a residência possui uma área expressiva em janelas. E por fim avaliar o sistema solar fotovoltaico e realizar um comparativo do antes e depois da nova lei 14.300/2022 aplicada a partir de janeiro de 2023 no que se refere as sobras de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações**. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: [s. n.], 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: [s. n.], 2005.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN) 2022: Ano base 2021, 2022. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em 27 set. 2022.

BERARDI, Umberto; GHAFARIANHOSEINI, AmirHosein; GHAFARIANHOSEINI, Ali. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913008775?casa_token=DeNh_bW0egIAAA:AA:D3tvw6QGCgRYk1NRz26OyhWAoPo19d7_NepNuT3OB_tlpp9qwSi3FSomfATqVwcX1uZiQ9NWDw

BIG LADDER SOFTWARE. **Input-Output – EnergyPlus 8.0 – Material: RoofVegetation**. Disponível em: <<https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-0/input-output-reference/page010.html#materialroofvegetation>>. Acesso em 20 set. 2022.

BRENNEISEN, Sthepan. The benefits of biodiversity from green roofs-key design consequences. In: **Conference proceedings Greening Rooftops for Sustainable Communities**, 2003.

CLIMATE ONE BUILDING ORG Disponível em: <https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html#IDRS_Rio_Grande_do_Sul->. Acesso em 23 jul. 2022.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO LEI Nº 14.300. Marco Legal Solar no Brasil. Nº (06 de Janeiro de 2022). Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em: 29 set. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Nota Técnica DEA 19/14 – Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2019%20-%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20\(Revisada\)%5B1%5D](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2019%20-%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20(Revisada)%5B1%5D)>. Acesso em 27 set 2022.

FEIJÓ, Catarina Schmitz. Conheça o projeto sustentável com telhado verde do IFB: um dos poucos em órgãos públicos em Brasília. 2017. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/conheca-o-projeto-sustentavel-com-telhado-verde-do-ifb-um-dos-poucos-em-orgaos-publicos-em-brasil/>>. Acesso em: 30 set. 2022

GINLONG. SOLIS-1P(2.5-6)K-4G. Disponível em: https://www.ginlong.com/1p_inverter3/23948.html. Acesso em: 29 set. 2022.

LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina CTC - Departamento de Engenharia Civil, 2011. Disponível em: < https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Apostila-v2011_0.pdf>.

LANGHE, Wolfram Johannes. Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético fotovoltaico. Terra GIS – Consultoria Geoprocessamento, 2012.. Disponível em: < https://energypedia.info/images/4/40/Metodologia_de_mapeamento_da_%C3%A1rea_potencial_de_telha_dos_residenciais_para_PV_no_Brasil.pdf>.

LEITZKE, Rodrigo Karini *et al.* Avaliação de dispositivos de proteção solar fixos e automatizados para edifício residencial. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP**, v. 8, n. 1, p. 59-72, mar. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649657>>. Acesso em: 26 set. 2022.

NOTA TÉCNICA EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA EPE 030/2018. **Uso de ar condicionado no setor residencial brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. Ministério de Minas e Energia, 2018.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. 2020 foi um dos três anos mais quentes já registrados. [S. l.], 2021. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/media/press-release/2020-was-one-of-three-warmest-years-record>>. Acesso em: 19 ago. 2021.

PARIZOTTO, S., & LAMBERTS, R. (2011). Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 43, n. 7, p. 1712–1722, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.014>.

PENG, Lilliana L.H.; JIM, C. Y. Economic evaluation of green-roof environmental benefits in the context of climate change: The case of Hong Kong. **Urban Forestry and Urban Greening**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 554–561, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.05.006>

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA DESENVOLVIMENTO. O futuro das cidades em debate: cultura, inovação e desenvolvimento sustentável. [S. l.], 2020. Disponível em: <<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/presscenter/articles/2019/o-futuro-das-cidades-em-debate--cultura--inovacao-e-desenvolvime.html>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

ROBSON, Antonio Oliveira da Rosa; GASPARIN, Fabiano Perin. (2016). PANORAMA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL. In *Revista Brasileira de Energia Solar Ano (Vol. 7)*. Disponível em: < <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/157>>.

SHAFIQUE, Muhammad; KIM, Reeho; RAFIQ, Muhammad. Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 90, n. April 2017, p. 757–773, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006>

UNITED RENEWABLE ENERGY CO., LTD. FBK550M8G. Disponível em: https://www.urecorp.com/upload/product/20220727133105_module_0.pdf. Acesso em: 29 set. 2022.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus™ Version 22.1.0 Documentation. Engineering Reference. [S. l.], 2022. Disponível em: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v22.1.0/EngineeringReference.pdf. Acesso em: 20 set. 2022.

WONG, Nyuk Hien *et al.* Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 261–270, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00066-5)

YANG, Jun; YU, Qian; GONG, Peng. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. **Atmospheric Environment**, [s. l.], v. 42, n. 31, p. 7266–7273, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>

APÊNDICES

APÊNDICE A – Camadas construtivas da residência.

Quadro A.1 – Elementos construtivos da residência separados por camadas.

Camadas	Piso externo	Piso interno	Parede externa	Parede interna	Telhado externo	Telhado interno	Janela
Fator U (W/m ² K)	5,015	2,78	2,005	1,83	2,828	2,35	2,72
Externa	Concreto	Concreto	Acabamento externo	Acabamento interno	Concreto	Concreto	Vidro
2		Regularização	Reboco externo	Reboco interno	Vigota e tavela	Acabamento interno	Camada de ar
3		Porcelanato	Chapisco	Chapisco	Telhas onduladas		Vidro
4			Tijolo cerâmica x 19x19x29 cm	Tijolo cerâmica x 14x19x29 cm			

Fonte: Autora.

APÊNDICE B – Perfil de ocupação para dias da semana e final de semana.

Quadro B.1 – Perfil de ocupação dos dias da semana.

Período	Quartos	Sala	Banheiros/Closet	Cozinha
00:00 – 06:00	0	0	0	0
06:00 – 07:00	0,5	0	0,5	0
07:00 – 08:00	0	0,5	0	0,5
08:00 – 18:00	0	0	0	0
18:00 – 19:00	0,5	0	0,5	0
19:00 – 20:00	0	0,5	0	0,5
20:00 – 00:00	0,5	0,5	0	0

Fonte: Autora.

Quadro B.2 – Perfil de ocupação dos finais de semana.

Período	Quartos	Sala	Banheiros/Closet	Cozinha
00:00 – 09:00	0	0	0	0
09:00 – 10:00	1	0	0	0
10:00 – 12:00	0	0,5	0	0,5
12:00 – 16:00	0	0,5	0	0,5
16:00 – 18:00	0	0	0	0
18:00 – 20:00	0	0,5	0,5	0
20:00 – 00:00	0	0,5	0	0,5

Fonte: Autora.

APÊNDICE C – Perfil de iluminação para os dias da semana e final de semana.

Quadro C.1 – Perfil de iluminação dos dias da semana.

Período	Quartos	Sala	Banheiros/Closet	Cozinha	Áreas de Circulação
00:00 – 06:00	0	0	0	0	0
06:00 – 07:00	0,5	0	0,5	0	0
07:00 – 08:00	0,3	0	0	0,3	0
08:00 – 18:00	0	0	0	0	0
18:00 – 19:00	0,3	0,2	0,25	0	0,2
19:00 – 20:00	0	0,5	0	0,4	0
20:00 – 00:00	0,4	0	0	0	0,2

Fonte: Autora.

Quadro C.2 – Perfil de iluminação dos finais de semana.

Período	Quartos	Sala	Banheiros/Closet	Cozinha	Áreas de circulação
00:00 – 09:00	0	0	0	0	0
09:00 – 10:00	0,5	0	0,2	0	0
10:00 – 12:00	0	0	0	0,5	0
12:00 – 16:00	0	0	0	0,5	0
16:00 – 18:00	0	0	0	0	0
18:00 – 20:00	0	0,4	0,2	0,3	0,1
20:00 – 00:00	0	0,5	0	0,2	0,1

Fonte: Autora.

APÊNDICE D – Cargas internas da residência.

Tabela D.1 – Cargas internas dos equipamentos elétricos e de iluminação.

Zona térmica	Equipamentos elétricos (W)	Iluminação (W)
Quarto A	250	15
Quarto B	250	15
Banheiro A	-	10
Banheiro B	-	10
Suíte	300	35
Closet suíte	-	30
Banheiro suíte	-	20
Área de circulação superior	-	20
Mezanino	-	20
Hóspedes	125	15
Banheiro Hóspedes	-	20
Sala	400	50
Cozinha	2000	30
Área de circulação inferior	-	10
Escada	-	-

Fonte: Autora