ESG - ENVIRONMENTAL,SOCIAL AND GOVERNANCE
SINGEURB
IV Simpósio Nacional de Engenharia Urbana

Rio de Janeiro, 22 a 24 de novembro de 2023

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE FACHADAS VERDES PARA EDIFÍCIOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES USANDO BIM

THERMAL PERFORMANCE EVALUATION OF GREEN FACADES FOR ENERGY EFFICIENT BUILDINGS USING BIM

QUINTANILHA, Bernardo [1], ALMASRI, Abdullah [2], AMARIO, Mayara [3], QUALHARINI, Eduardo Linhares [4]e NAJJAR, Mohammad [5]

[1] Universidade Federal do Rio de Janeiro,be.propato@poli.ufrj.br
[2]Universidade Federal do Rio de Janeiro,almasri@poli.ufrj.br
[3]Universidade Federal do Rio de Janeiro,mayara_amario@poli.ufrj.br
[4]Universidade Federal do Rio de Janeiro,qualharini@poli.ufrj.br
[5]Universidade Federal do Rio de Janeiro,mnajjar@poli.ufrj.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da fachada verde para melhorar a eficiência energética nas edificações. Um quadro metodológico usando ferramentas BIM é proposto para simular a modelagem do edifício e coletar os dados. Autodesk Revit é usado para projetar a modelagem do envelope do edifício (ou seja, paredes externas, telhado, pisos e aberturas) e a fachada verde. Autodesk Green Building Studio é usado para avaliar o consumo e custo de energia, bem como a capacidade de resfriamento e aquecimento de projetos de construção. Um estudo de caso baseado no programa Minha Casa Minha Vidaé aplicado na cidade do Rio de Janeiro para validar a estrutura proposta deste estudo. Três cenários são propostos e os resultados são avaliados e comparados com o projeto base. Este trabalho revela que a fachada verde pode desempenhar um papel importante na redução do uso energético e custos em edifícios. A instalação de uma fachada verde em todas as elevações posicionadas poderia aumentar a eficiência energética, bem como a distribuição de energia para fins de resfriamento e aquecimento em tais tipos de edifícios na cidade do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Fachada verde, Eficiência energética, Consumo e custo de energia, BIM.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the impact of the green facade to improve energy efficiency in buildings. *A methodological framework using BIM tools is proposed to simulate the modeling of the building and collect the data. Autodesk Revit is used to design the modeling of the building envelope (i.e. exterior walls, roof, floors, and openings) and the green facade. Autodesk Green Building Studio is used to evaluate the energy consumption and cost, as well as the cooling and heating capacity of construction projects. A case study based on the Minha Casa Minha Vida program is applied in the city of Rio de Janeiro to validate the proposed structure of this study. Three scenarios are proposed and the results are evaluated and compared with the base project. This work reveals that the green facade can play an*

important role in reducing energy use and costs in buildings. The installation of a green facade on all positioned elevations could increase energy efficiency as well as energy distribution for cooling and heating purposes in such types of buildings in the city of Rio de Janeiro.

***Keywords**: Green Facade, Energy Efficiency, Energy Consumption and Cost, Cooling and Heating Capacity, Building Information Modeling.*

1 INTRODUÇÃO

Fachadas verdes representam uma abordagem progressiva para envelopes de construção adaptáveis. Estudos recentes confirmaram que a vegetação nas fachadas oferece recursos adaptativos, incluindo resfriamento evaporativo, sombreamento para o edifício, absorção da radiação solar, redução das emissões de CO_2 eoutros poluentes atmosféricos e isolamento acústico (TEDESCO, GIORDANO, *et al.*, 2016).Os processos de projeto arquitetônico e planejamento urbano dependem progressivamente das tecnologias de Modelagem de Informações da Construção (BIM). Essas ferramentas não apenas permitem o projeto tridimensional, mas também facilitam simulações de comportamentos futuros, como desempenho térmico e acústico, tanto para edifícios individuais quanto para cidades inteiras durante os estágios iniciais do projeto (PÉREZ, ESCOLÀ, *et al.*, 2021).

O "Programa Minha Casa, Minha Vida" (MCMV) é um Programa de Habitação Federal no Brasil criado em 2009 (CÉSAR, MATOS, 2016). MCMV pretende estimular a atividade da construção civil para enfrentar crises econômicas e reduzir o déficit habitacional brasileiro (KLINTOWITZ, 2016). Em 2018, a Caixa A Econômica Federal anunciou que (14,7) milhões de brasileiros puderam adquirir um imóvel por meio do MCMV. Edifícios baseados em MCMV são construídos com estrutura de alvenaria, que é feita com blocos cerâmicos ou de concreto. Seu revestimento externo é argamassado para possível recebimento de pintura texturizada(CAIXA, 2023).

A novidade deste estudo é examinar o papel da fachada verde no aumento da eficiência energética em edifícios para projetos de construção mais sustentáveis. Propõe-se um quadro metodológico utilizando ferramentas BIM; O Autodesk Revit é aplicado para realizar a simulação da envolvente do edifício e da fachada verde instalada na elevação do edifício, e o Autodesk Green Building Studio é utilizado para avaliar o consumo e custo de energia. Um estudo de caso baseado no programa MCMV foi aplicado na cidade do Rio de Janeiro no Brasil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma do framework aqui proposto, apresentado na **Figura 1,** é composto por diversas etapas para atingir o objetivo deste estudo.

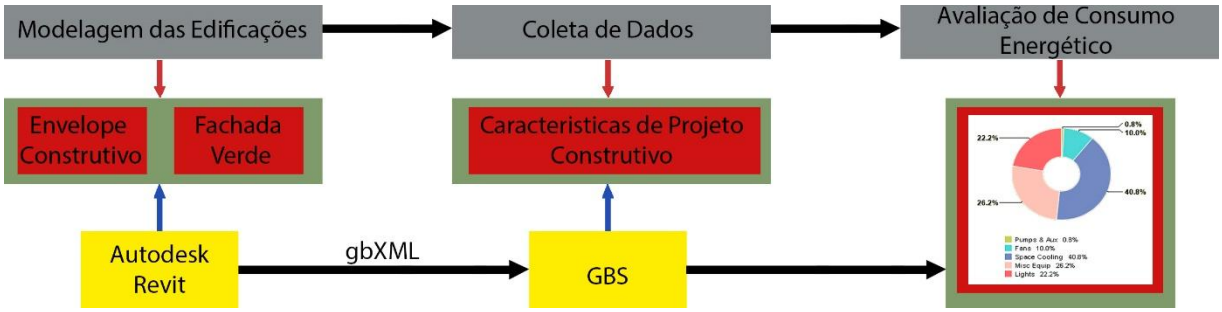


Figura 1 - Fluxograma do framework proposto(QUINTANILHA, 2023)

2.1. Modelagem de construção

Esta etapa requer a execução e simulação do envelope do edifício (ou seja, paredes externas, aberturas, pisos e telhado), bem como a criação da modelagem da fachada verde projetada e examinada para maior eficiência energética em projetos de construção. Neste nível do estudo, o *Autodesk Revit*é utilizado como uma ferramenta BIM que contém parâmetros térmicos de componentes construtivos a serem avaliados no *Autodesk Green Building Studio* (GBS), que é outra ferramenta BIM utilizada neste trabalho.No Autodesk Revit, foi realizada a modelagem 2D e 3D do edifício, considerando o verdadeiro norte e a localização geográfica.

A modelagem da fachada verde aparece como outra camada para as paredes externas modeladas no Autodesk Revit.Neste nível de análise, uma fachada verde para a vegetação modular de (20cm), composta por placas que se assemelham ao modelo construtivo, é utilizada dentro dos seguintes parâmetros (MOHAMMAD SHUHAIMI, MOHAMED ZAID, *et al.* , 2022) ; Valor U de (0,40 W/m².K) e condutividade de (0,08W/ m · K). De referir ainda que esta fachada verde deve conter uma estrutura auxiliar de suporte que se prolonga em todos os níveis da envolvente do edifício.

2.2. Coleção de dados

A próxima etapa após realizar a modelagem da construção no Autodesk Revit é prosseguir para o GBS, onde um novo projeto deve ser criado. Portanto, exportar o arquivo do Autodesk Revit para o formato *gbXML*é uma etapa essencial para tornar a modelagem da construção legível no GBS, conforme apresentado na **Figura 1**. A criação de um novo projeto no GBS requer a inserção de uma série de dados importantes sobre o edifício examinado, como o nome e o tipo de edifício (ou seja, residencial, comercial, saúde, educação, etc.) instalação 24/7 (vinte e quatro horas por dia / 7 dias por semana), instalação 24/6 (vinte e quatro horas por dia / 6 dias por semana), instalação 12/7 (doze horas por dia / 7 dias por semana), instalação 12/5 (doze horas por dia / 5 dias por semana), etc.).O tipo de instalação depende no período de ocupação do projeto construtivo, por exemplo, um projeto residencial pode ser ocupado 24 horas por dia ao longo de 7 dias por semana. GBS utilizará a mesma localização geográfica, conforme definido no Autodesk Revit, para definir a classificação climática do estudo de caso examinado e a moeda utilizada.

2.3. Avaliação do consumo de energia

Com todos os modelos simulados dentro do GBS, é possível extrair os resultados estimados para avaliar o consumo de energia com base no consumo e custo anual de energia elétrica e distribuição de energia para fins de resfriamento e aquecimento. Neste trabalho, o consumo anual de energia elétrica e o custo foram avaliados e analisados dentro do modelo simulado do estudo de caso para avaliar o desempenho térmico da fachada verde em projetos de construção.

3 ESTUDO DE CASO

O edifício selecionado é recomendado por um MCMV. O objetivo da escolha deste estudo de caso se deve ao fato de que o programa MCMV foi pensado para famílias de baixa renda. Assim, o desenvolvimento de uma modelagem de edifícios com eficiência energética sustentável pode gerar alguma economia financeira para os usuários desses tipos de edifícios. A planta baixa e a modelagem 3D do edifício selecionado são apresentadas na **Figura 2.**

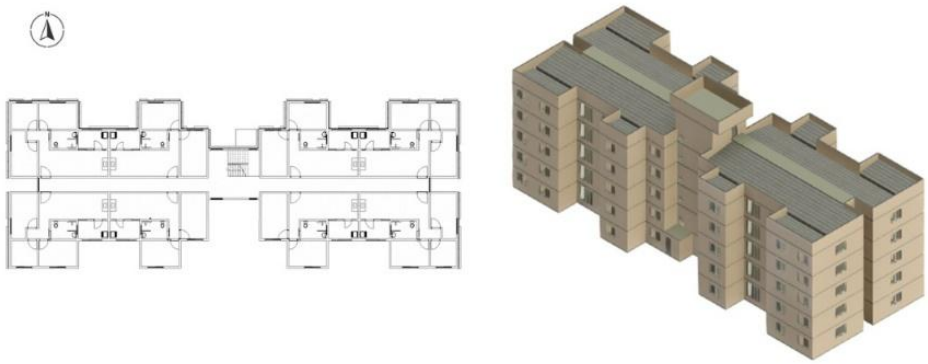


Figura 2 - Planta baixa e modelagem 3D do estudo de caso(QUINTANILHA, 2023)

A localização geográfica selecionada do edifício do estudo de caso é proposta na cidade do Rio de Janeiro, porém, o enquadramento proposto libera a escolha de qualquer outra localização geográfica. A modelagem da resistência térmica dos componentes construtivos que compõem a envoltória do edifício do projeto base do estudo de caso é coletada com base na ABNT NBR 15220 (ABNT NBR 15220, 2020) , conforme destacado no**Quadro 1**.

Quadro 1 - Resistência térmica dos materiais utilizados(QUINTANILHA, 2023)

Material	**ρ (kg/m³)**	**λ (W/(m · K))**
Alvenaria cerâmica	1300-1600	0,9
Revestimento de argamassa	1800-2100	1.15
Concreto	2200-2400	1,75
Telha de fibrocimento	1400-1800	0,65

Neste nível do estudo, três cenários devem ser propostos de forma a examinar a fachada verde e atingir o objetivo deste estudo como segue;

- Cenário 1: todas as fachadas do edifício são instaladas com fachada verde;

- Cenário 2: os alçados do edifício posicionados apenas ao norte são instalados com fachada verde enquanto os demais alçados posicionados nas direções magnéticas sul, leste e oeste são construídos de acordo com o projeto base.
- Cenário 3: os alçados do edifício posicionados nas direções magnéticas leste e oeste são os únicos alçados montados com fachada verde enquanto os outros dois alçados são construídos de acordo com o projeto base.

A modelagem do projeto base, bem como os três cenários aqui propostos são modelados no Autodesk Revit e salvos em arquivos independentes. Cada arquivo foi exportado em um *gbXML*formato como uma etapa prévia para iniciar a etapa de coleta de dados, onde cada projeto foi elaborado no GBS, levando em consideração o nome do projeto, tipo de projeto (residencialmultifamiliar) e um cronograma de (instalação 24/7) que justificam o 24- horas de utilização do edifício durante os sete dias da semana. Propõe-se um conjunto de tarifas de consumo de energia elétrica de (R$ 0,754 /kWh) com base nos valores convencionais de consumo de energia na cidade do Rio de Janeiro no período de avaliação (em novembro de 2022) do edifício de estudo de caso(QUINTANILHA, 2023).

4 RESULQUADROTADOS E DISCUSSÕES

O **Tabela 2** demonstra os resultados quantitativos obtidos pela interface GBS para o modelo base, Cenário 1, Cenário 2 e Cenário 3. Para atingir os objetivos propostos, este estudo levará em consideração os resultados extraídos referentes ao consumo e custo anual de energia elétrica.

Quadro 2 – Consumo de energia para o modelo base e os cenários propostos(QUINTANILHA, 2023)

Modelo Utilizado	Uso Anual de Eletricidade (kWh)	Custo anual de eletricidade (R$)
Projeto básico	331.809	250.184
Cenário 1	256.816	193.639
Cenário 2	285.066	214.940
Cenário 3	281.484	212.239

Pode-se perceber que o Cenário 1 poderia representar os melhores valores para o consumo anual de energia (256.816 kWh) e custo anual de energia (R$ 193.639,00). Os piores valores estão representados no projeto base, com consumo anual de energia de (331.809 kWh) e custo anual de energia de (R$ 250.184,00). O Cenário 3 pode representar os segundos melhores valores seguidos pelo Cenário 2.

Pode-se observar que há uma redução na quantidade de energia elétrica utilizada para todos os cenários. Isso se deve diretamente aos fatores de resfriamento da fachada verde, que são capazes de resfriar ambientes internos. As fachadas com maior incidência de sol em uma edificação são as fachadas norte e oeste, para residências localizadas no hemisfério sul(Najjar et al., 2019). Os métodos de resfriamento de fachada verde têm maior desempenho em situações onde há maior incidência solar. É evidente que a utilização da fachada verde nas fachadas norte, leste e oeste dos edifícios poderia trazer economia de energia e benefícios térmicos suficientes para a edificação, proporcionando maiores reduções de temperatura e consequentemente no consumo e custo anual de energia. Portanto, o Cenário 1, que aborda essas condições, apresenta as maiores diferenças. Poderia

reduzir o consumo anual de energia em (23%) em comparação com o modelo básico, conforme ilustrado na **Figura 3.**

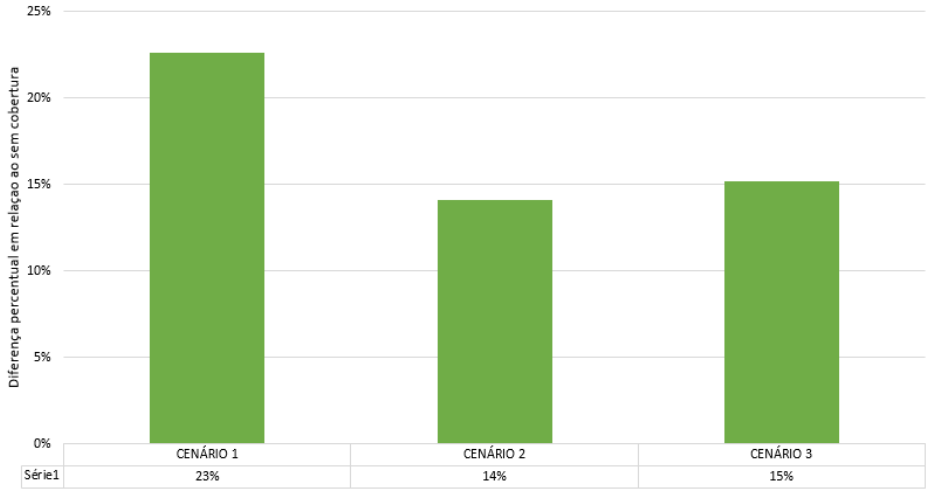


Figura 3 - Diferença percentual no uso anual de energia e custo dos três cenários em relação ao modelo base(QUINTANILHA, 2023)

A distribuição do consumo final de energia é realizada entre o projeto base, apresentado na **Figura 4a,** e o melhor cenário (Cenário 1), apresentado na **Figura 4b** que poderia melhorar a eficiência energética sustentável no edifício de estudo de caso. A utilização de ventiladorese os sistemas de refrigeração são a principal responsável pelo consumo de energia no interior das habitações, cerca de (52%) da energia total utilizada no projeto base; (11.1% A utilização de ventiladores + (40.9%) os sistemas de refrigeração). Esses valores poderiam ser reduzidos em cerca de (1,5%) no Cenário 1; referente à redução de (1,2%) no uso de ventiladores e também de (0,3%) redução no uso de equipamentos de refrigeração. É preciso ressaltar que mesmo que a diferença de percentuais seja pequena, esses valores referem-se a um dia normal de uso de energia no prédio.

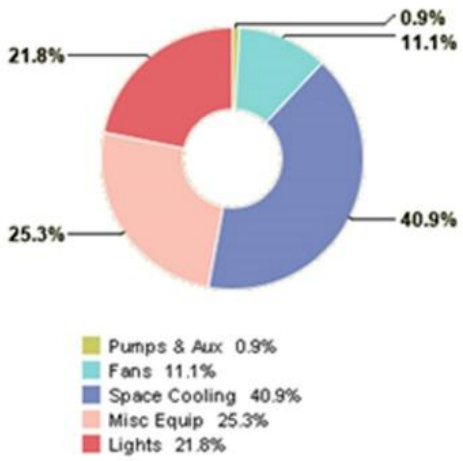


Figura 4a

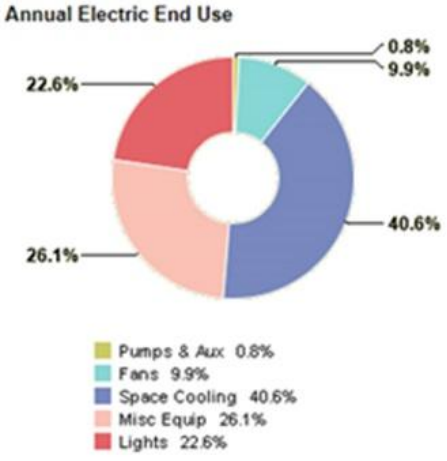


Figura 4b

Figura 4 - Distribuição do consumo final de energia para o modelo base e melhor cenário(QUINTANILHA, 2023)

Em termos de capacidade de aquecimento e resfriamento, o**Quadro 3** ilustra que o Cenário 1 representa os melhores valores para capacidade de resfriamento e aquecimento, porém, o modelo base apresenta os piores resultados.

Quadro 3 - Modelo de capacidade de resfriamento e aquecimento(QUINTANILHA, 2023)

Modelo	Capacidade de resfriamento (kW)	Capacidade de aquecimento (kW)
Projeto básico	208	317
Cenário 1	148	218
Cenário 2	169	249
Cenário 3	165	244

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta a importância da instalação de uma fachada verde em projetos de construção visando a eficiência energética sustentável. Propõe-se um quadro metodológico utilizando ferramentas BIM; O Autodesk Revit é aplicado para realizar a simulação da envolvente do edifício e da fachada verde instalada na elevação do edifício, e o Autodesk Green Building Studio é utilizado para avaliar o consumo e custo de energia. Um estudo de caso baseado no programa MCMV foi aplicado na cidade do Rio de Janeiro no Brasil. Fachada verde é um papel importante nos projetos de construção para a eficiência energética sustentável nos edifícios.

A instalação da fachada verde nas elevações do edifício posicionadas apenas na direção magnética norte, conforme apresentado no Cenário 2, ou na direção magnética leste e oeste, conforme apresentado no Cenário 3, poderia trazer economia energética e térmica suficiente para a edificação comparada ao desenho básico. Cenário 1 apresenta os melhores valores para o consumo e custo anual de energia e a distribuição do uso final de energia para refrigeração e capacidade de aquecimento. Assim, pode-se constatar que esta questão pode ser otimizada quando fachadas verdes estão sendo montadas em todas as fachadas de edifícios na cidade do Rio de Janeiro para aumentar o uso e custo de energia, bem como a distribuição de energia para fins de resfriamento e aquecimento.

Como este trabalho está focando no cálculo de consumo e custo de energia nos projetos construtivos implantados com fachada verde, ainda este trabalho indique realizar uma avaliação técnica do custo de implantação e manutenção de fachada verde nas edificações como uma recomendação do trabalho futuro.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15220. "ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3", 2020. .

CAIXA. **Minha Casa, Minha Vida - Faixa I**. 2023. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/faixa-i/Paginas/default.aspx. Acesso em: 29 jul. 2023.

CÉSAR, P., MATOS, P., "Paulo César Pereira Matos José Henrique Rodrigues Stacciarini". **Estudos Interdisciplinares em Ciências Ambientais, Território e Movimentos Sociais**, São Paulo, Blucher, 2016. . DOI: 10.5151/9788580391596-01.

KLINTOWITZ, D. "Por que o Programa Minha Casa Minha Vida só poderia acontecer em um governo petista?", **Cadernos Metrópole**, v. 18, n. 35, p. 165–190, 2016. DOI: 10.1590/2236-9996.2016-3508. .

MOHAMMAD SHUHAIMI, N. D. A., MOHAMED ZAID, S., ESFANDIARI, M., *et al.* "The impact of vertical greenery system on building thermal performance in tropical climates", **Journal of Building Engineering**, v. 45, n. March 2021, p. 103429, 2022. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103429. .

NAJJAR, M. K., QUALHARINI, E. L., HAMMAD, A. W. A., *et al.* "Framework for a Systematic Parametric Analysis to Maximize Energy Output of PV Modules Using an Experimental Design", **Sustainability**, v. 11, n. 10, p. 2992, 27 maio 2019. DOI: 10.3390/su11102992. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2992.

PÉREZ, G., ESCOLÀ, A., ROSELL-POLO, J. R., *et al.*"3D characterization of a Boston Ivy double-skin green building facade using a LiDAR system", **Building and Environment**, v. 206, n. August, 2021. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108320. .

QUINTANILHA, B. P. **DESEMPENHO NO CONFORTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES COM IMPLEMENTAÇÃO DE JARDINS VERTICAIS**. 2023. UFRJ, 2023. Disponível em: https://monografias.poli.ufrj.br/rep-download.php?farquivo=projpoli10040415.pdf&fcodigo=6088.

TEDESCO, S., GIORDANO, R., MONTACCHINI, E. "How to Measure the Green Façade Sustainability? A Proposal of a Technical Standard", **Energy Procedia**, v. 96, n. October, p. 560–567, 2016. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.100. .