ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Avaliação de sustentabilidade em projetos de arquitetura: simulação ecoeficiente de edifício ícone urbano

Sustainability assessment in arquitectural projects: eco-efficient simulation of an urban iconic building.

Roberto Miller Neutzling
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | roberto.neutzling@ufpr.br
Arthur Rocha de Carvalho
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | rocha.arthur@ufpr.br
André Luiz Debiasio
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | andre.debiasio@ufpr.br
Sergio Fernando Tavares
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | sergioftavares@gmail.com
Marcio José Sorgato
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | sorgato@utfpr.edu.br

Resumo

A crescente demanda por edificações sustentáveis tem redefinido projetos de espaços públicos e privados, especialmente aqueles que se destacam como ícones na paisagem urbana. Este trabalho apresenta uma análise dos centros educacionais Farol do Saber da prefeitura de Curitiba, com o objetivo geral de avaliar suas características construtivas e propor alternativas de uso de materiais e sistemas construtivos mais sustentáveis. A necessidade de minimizar os impactos ambientais gerados pela construção civil evidencia a importância da aplicação da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Nesse contexto, o *Building Information Modeling* (BIM) surge como importante ferramenta para a avaliação dos parâmetros de sustentabilidade de um projeto de engenharia. O projeto original dos centros educacionais foi redesenhado, substituindo a estrutura atual em aço e alvenaria por estrutura em madeira engenheirada, paredes wood frame, e uma cobertura de telha cerâmica colonial por telha termoacústica. O processo de reavaliação demonstrou um potencial de redução do potencial de aquecimento global ($kg\ CO_2$) de 64% realizando o estudo de substituição de materiais.

Palavras-chave: BIM. Tally. impacto ambiental das edificações. ferramenta de apoio ao projeto. sustentabilidade

Como citar:

NEUTZLING, R. *et al* . Avaliação de sustentabilidade em projetos de arquitetura: simulação ecoeficiente de edifício ícone urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

The growing demand for sustainable buildings has redefined the design of public and private spaces, especially those that stand out as icons in the urban landscape. This paper presents an analysis of the Farol do Saber educational centers of the city of Curitiba, with the general objective of evaluating their constructive characteristics and proposing alternatives for the use of more sustainable materials and construction systems. Aiming to minimize the environmental impacts generated by construction highlights the importance of applying the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. In this context, Building Information Modeling (BIM) emerges as an important tool for the analysis of the sustainability parameters of an engineering project. The original design of the educational centers was redesigned, replacing the current steel and masonry structure with a mass timber structure, wood frame panels, and a ceramic roof tile for thermoacoustic roof panels. The re-evaluation process demonstrated a potential to reduce the global warming potential (kg CO_2) in 64% by performing the material substitution study.

Keywords: BIM, Tally, environmental impact of buildings, design support tool, sustainability

INTRODUÇÃO

Para atenuar a crise ecológica é necessário estabelecer procedimentos ambientalmente corretos na gestão pública, especialmente na construção civil que é uma das maiores consumidoras de recursos materiais do planeta [1].

Diante dos desafios ambientais, o projeto arquitetônico assume um papel de grande destaque e relevância, pois ao mesmo tempo em que o projeto tem a capacidade de construir, tem a capacidade de destruir [2].

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia de avaliação do ciclo energético e de emissões de um determinado produto a partir de todas as etapas do seu processo da extração até a fase final descarte, reuso ou reciclagem [3].

Tavares [4] traz um pioneirismo ao iniciar um banco de dados nacional aplicado à materiais de construção tradicionalmente usados no Brasil nos processos de execução de uma edificação.

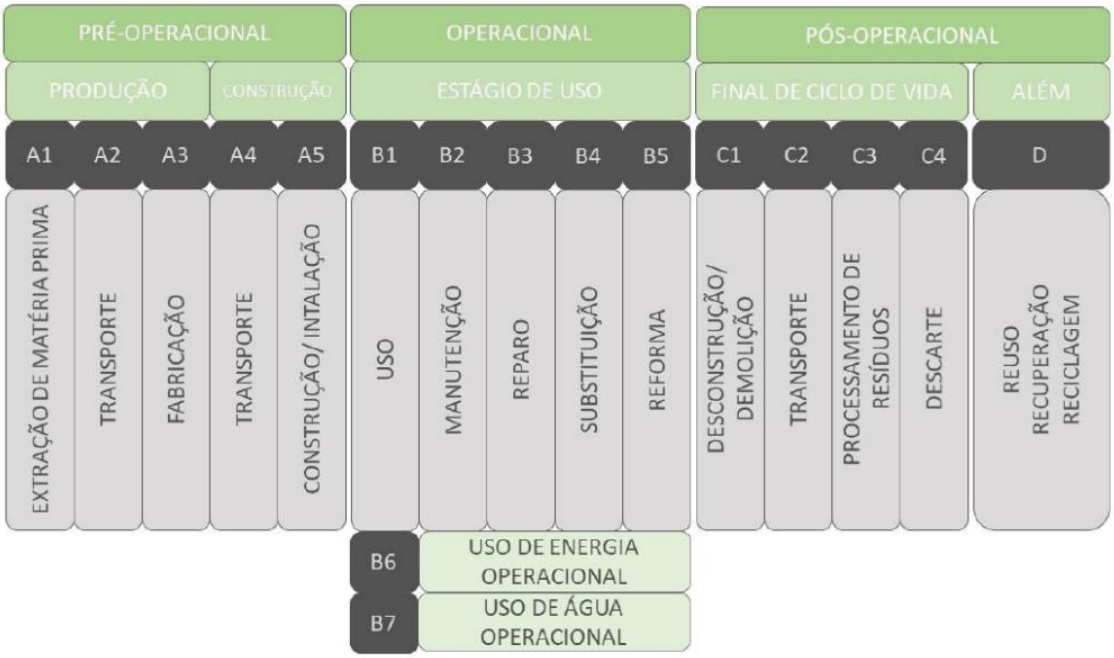
Maidel [3] representa na Figura 1 as fases da ACV em três estágios de avaliação, sendo eles a fase pré-operacional, fase operacional e pós-operacional do ciclo de vida ou pós-operacional. Maidel [3] descreve que, a fase pré-operacional é subdividida em produção e construção. Com isso, dentro da fase de material conhecida como berço ao portão (de A1 a A3) são analisados dados relativos às etapas que vão da extração do material até sua saída da fábrica. Na segunda parte da fase inicial da ACV, considera-se o transporte da fábrica até o canteiro de obras e são contabilizados todos os processos de montagem, execução de obra e desperdício de materiais (A4 e A5).

A segunda fase é a operacional, em que estão incluídas as atividades relativas aos processos de uso da edificação, sendo esta fase responsável pelo maior registro de gasto energético e de emissão de gases na atmosfera. Durante a fase operacional estão incluídos custos relativos ao uso (B1), manutenção (B2), reparo (B3), substituição (B4)

e reforma (B5), bem como o gasto operacional empregado nas atividades humanas (B6), tais como iluminação, climatização, uso de utensílios domésticos e aquecimento de água. [3].

Ainda segundo Maidel [3], ao final do ciclo de vida ou fase pós-operacional, diz respeito à destinação final da edificação após sua desmontagem ou demolição (C1, C2, C3 e C4). Esta fase tem sido encarada com maior representatividade devido à preocupação com a geração de resíduos da construção civil, incorporando o cenário de final de ciclo de vida, por meio do estudo da economia circular, fase nomeada de além (D).

Figura 1: Estágios da avaliação de ciclo de vida de uma edificação



Nota: fases operacional do ciclo de vida. Fonte: BSI (2011) apud [3].

Oliveira *et al.* [5] informa que a eficiência energética é uma das principais características da edificação sustentável, tornando-se muito importante devido ao aumento do consumo energético com o avanço da tecnologia e o uso de fontes não renováveis. O avanço da tecnologia incluindo softwares específicos e instrumentos de modelagem e simulação tem influenciado o processo de projeto das edificações possibilitando avaliar os parâmetros sustentáveis e consequente reduzir o impacto ambiental das edificações [5].

Segundo Dias *et al.* [6], a sociedade demonstra uma preocupação crescente com o desempenho térmico das edificações e estudos são realizados na busca da compreensão e melhoria do comportamento térmico das edificações.

A pesquisa desenvolvida apresenta com o uso da ACV e de simulação termo energética, um estudo sobre um tradicional espaço público da cidade de Curitiba-PR denominado de Farol do Saber. O objetivo foi avaliar os parâmetros de sustentabilidade ligados as características construtivas da edificação propondo alternativas do uso de materiais e sistemas mais sustentáveis e eficientes. A proposta

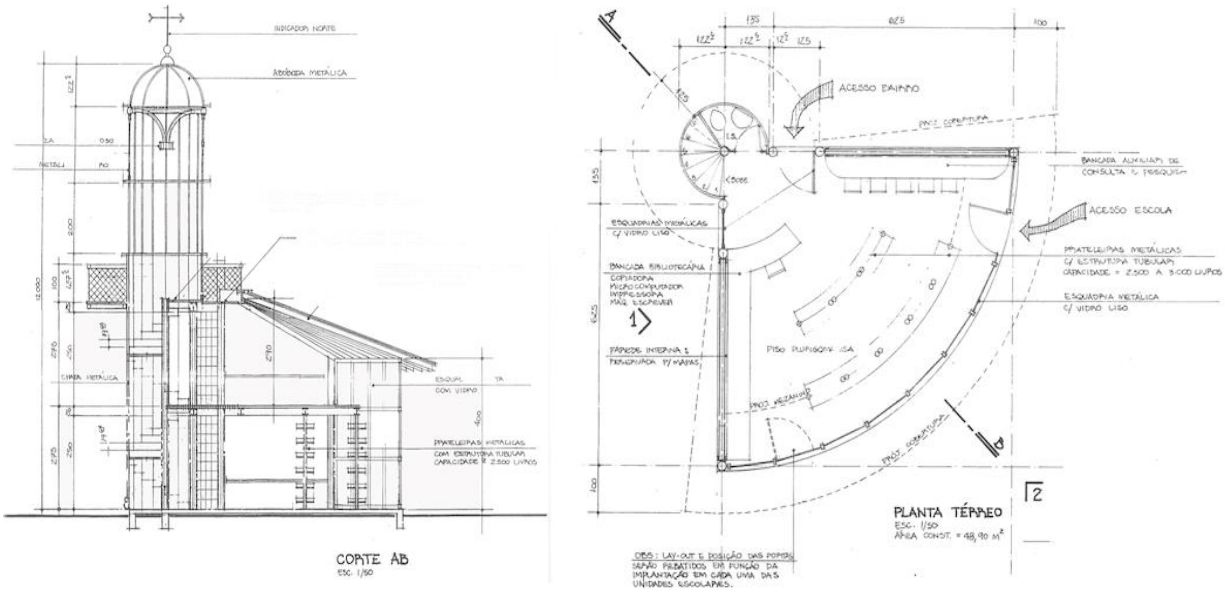
do estudo realizado não altera a arquitetura do projeto original e apenas promove uma adequação no sistema construtivo e analisa a eficiência energética dessa proposta.

FAROL DO SABER

Os projetos dos Faróis do Saber nasceram na cidade de Curitiba na década de 90. O primeiro a ser construído foi o Farol do Saber Machado de Assis, inaugurado em novembro de 1994. Esta edificação faz parte de uma rede idealizada de bibliotecas distribuídas pela cidade. Cada Farol do Saber possui um nome específico, que homenageia um escritor da língua portuguesa [7].

Conforme menciona o autor do projeto, o arquiteto Lauro Tomizawa, o Farol foi inspirado no Farol de Alexandria e sua vista de cima se assemelha a um livro aberto. O projeto original do Farol do Saber é ilustrado na Figura 2, sendo uma construção modular com 88 m² e altura da torre de 10 m [7].

Figura 2: Plantas do farol do saber



Nota: a esquerda corte e a direita planta térreo do farol do saber. Fonte: Curitiba (2023).

METODOLOGIA

MODELAGEM

A partir do projeto arquitetônico original padrão da edificação do Farol do Saber, foi possível realizar a modelagem com o auxílio do *software* Revit® da empresa Autodesk®. Para o estudo comparativo foram modelados dois projetos distintos: um fielmente reproduzindo a construção do Farol do Saber existente e outro substituindo os materiais da cobertura, estrutura e paredes, visando uma análise aprofundada de uma proposta mais sustentável e ecoeficiente.

A modelagem representada na Figura 3 ilustra a edificação de concepção original.

Figura 3: Modelo farol do saber original



Nota: modelo virtual farol do saber existente. Fonte: os autores (2023).

Com o auxílio de ferramenta BIM pode-se extrair quantitativos dos materiais da edificação, abaixo na Tabela 1 estão os valores de pilares, vigas, paredes e cobertura da edificação modelada.

Tabela 1: Quantitativo de materiais edificação existente

Descrição do material	Quantidade
Pilar circular metálico – Ø30 cm	259,5 kg
Viga I metálica 20x30 cm	563,3 kg
Parede de alvenaria 20 cm	45,79 m²
Telhado cerâmico	70,75 m²

Fonte: os autores (2023).

A Figura 4 representa o que seria o modelo de projeto proposto mais sustentável e inovador, substituindo pilares e vigas metálicos por madeira engenheirada, paredes de alvenaria em *wood frame* e a cobertura de telha cerâmica por isopainel. Dando destaque pela eficiência ecológica e modernidade construtiva ao Farol do Saber. Para o escopo deste estudo foram realizados apenas pré dimensionamentos simplificados dos componentes estruturais para obtenção dos dimensionais dos elementos. Não foram realizados cálculos estruturais, uma vez que o objetivo principal foi a análise de ACV dos materiais utilizados. A proposta foca em destacar os benefícios ambientais e a modernidade dos métodos construtivos apresentados.

Figura 4: Modelo farol do saber proposto



Nota: modelo virtual farol do saber proposto. Fonte: os autores (2023).

Na sequência a Tabela 2 demostra os valores quantitativos da estrutura nova sugerida.

Tabela 2: Quantitativo de materiais edificação proposta

Descrição do material	Quantidade
Pilar de madeira 30x30 cm	35,37m
Viga de madeira 20x30 cm	12,29 m
Parede de wood frame 12 cm	45,79 m²
Telha isopainel	70,75 m²

Fonte: os autores (2023).

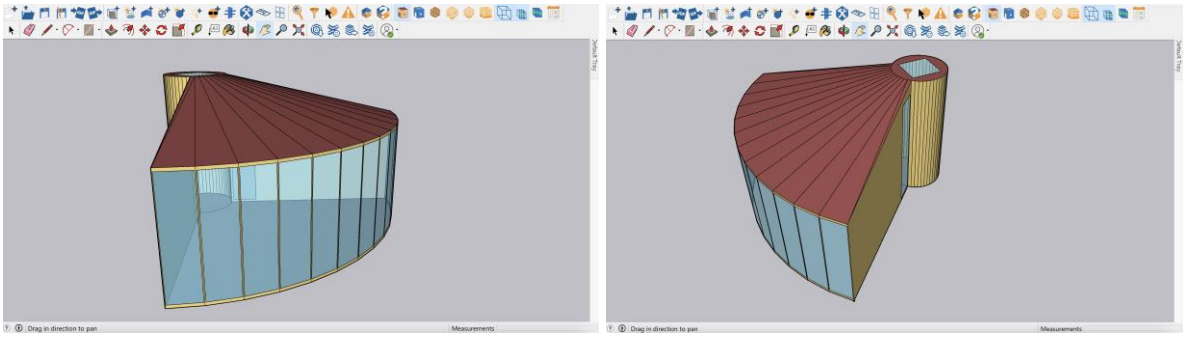
TERMOENERGÉTICA

A simulação termoenergética foi realizada com o apoio dos *softwares* Openstudio® para a modelagem e a análise de eficiência energética para climatização utilizando o Energyplus®.

Com base no trabalho de Queiróz [9], a simulação termoenergética no Energyplus® pode utilizar modelos de massas gerados a partir da exportação de arquivos gbXML diretamente do Revit®. Porém, verificou-se que, de maneira geral, os modelos digitais do Autodesk Revit® não são recomendados para esse tipo de exportação devido ao retrabalho diante da necessidade de correções nos arquivos. O referido trabalho concluiu que a interoperabilidade entre os programas computacionais citados é deficiente, pois houve distorções nas geometrias e falta de dados necessários para a correta execução da simulação em todos os modelos exportados.

Considerando o exporto acima, a Figura 5 ilustra o modelo simplificado confeccionado com o Openstudio® no ambiente do *software* Sketchup® utilizado para realizar o cálculo das simulações energéticas.

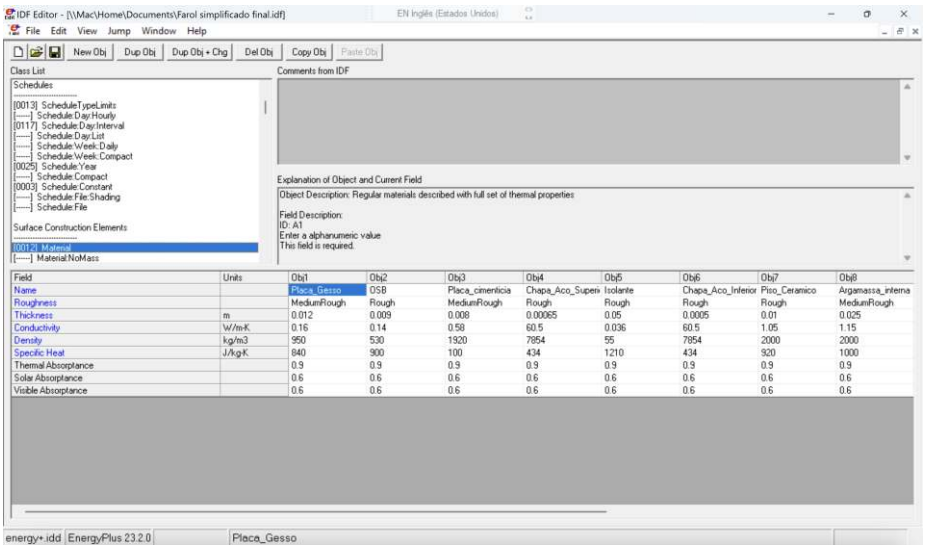
Figura 5: Modelo simplificado no Openstudio®



Nota: modelo simplificado visão frontal a esquerda e a direita visão superior do farol. Fonte: os autores (2024).

A Figura 6 representa a tela de cadastro e parametrização dos materiais utilizados no *software* Energyplus® para a simulação termoenergética.

Figura 6: Tela de simulação do Energyplus®: configuração dos materiais



Nota: configuração dos materiais na opção do farol existente e proposto com novos materiais. Fonte: os autores (2024).

CICLO DE VIDA (ACV)

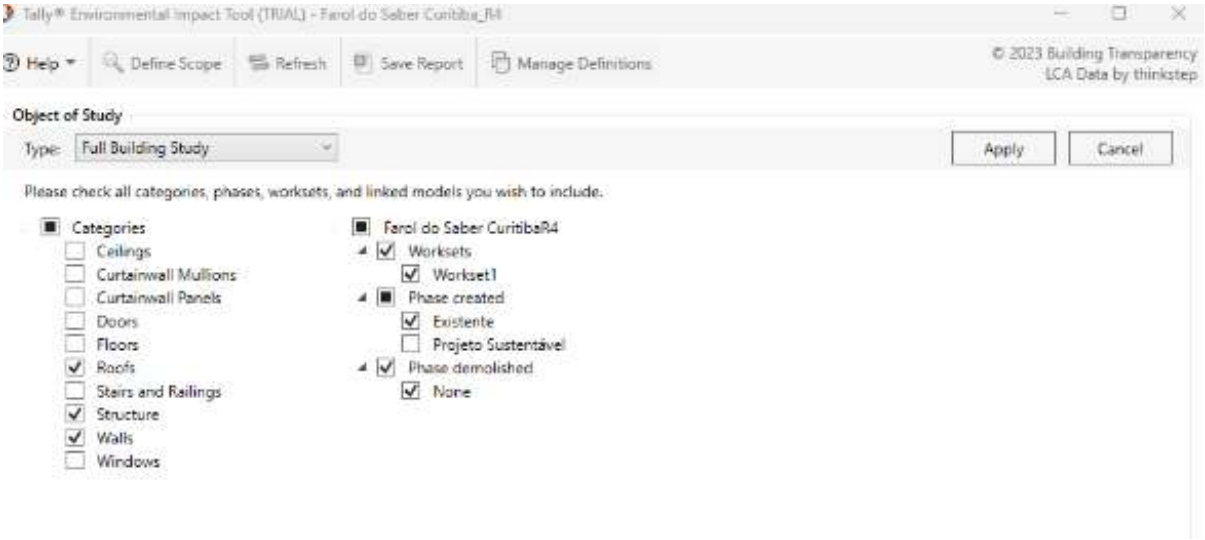
Para a análise do ciclo de vida da edificação empregou-se os *softwares* Revit® e Tally®, ambos aplicação desenvolvida pela Autodesk. Este aplicativo possibilita a quantificação dos impactos ambientais associados aos materiais utilizados nos modelos virtuais.

O Tally® é consistente com os padrões de análise de ACV dispostas nas normas ISO 14040-14044, ISO 21930:2017, ISO 21931:2010, EN 15804:2012 e EN 15978:2011. A sua operação por meio de um banco de dados de ACV personalizado, integrando atributos de materiais, detalhes de montagem e especificações arquitetônicas.

Os resultados obtidos compreendem a ACV sob demanda, proporcionando uma camada significativa de informações para embasar decisões durante o mesmo período, ritmo e contexto em que os projetos de construção são concebidos.

O Tally® faz a leitura de todos os elementos modelados sendo possível selecionar a fase e o material que se pretende analisar. Para fins deste estudo, foram analisadas as duas configurações do modelo, fase existente e fase projeto sustentável, conforme representado na Figura 7.

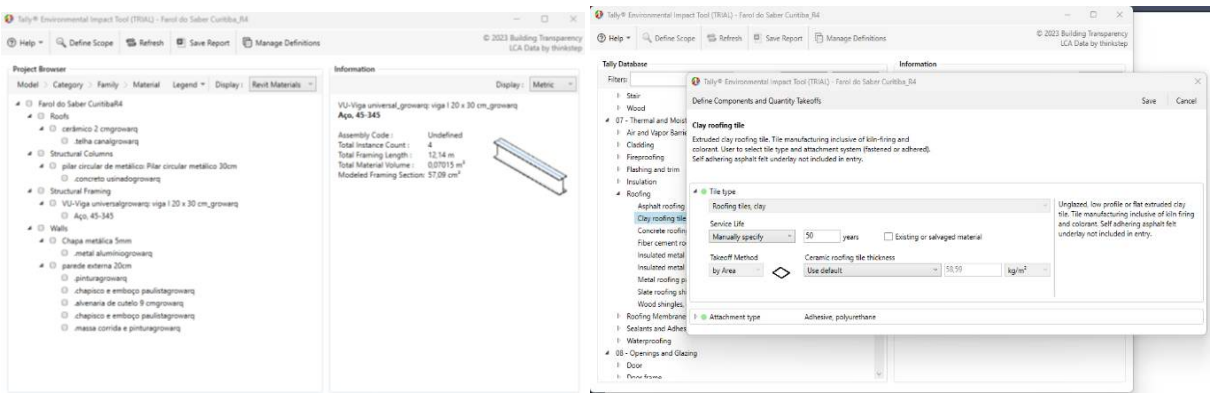
Figura 7: *Software* Tally®, painel de seleção



Nota: software Tally®, seleção de fase de construção. Fonte: os autores (2023).

A etapa seguinte consistiu em atribuir materiais cadastrados no banco de dados do *software* aos elementos que se pretende analisar, atribuindo manualmente informações de elementos que eventualmente não constavam na base de dados do *software*. A Figura 8 representa a seleção e atribuição de materiais que o *software* proporcionou.

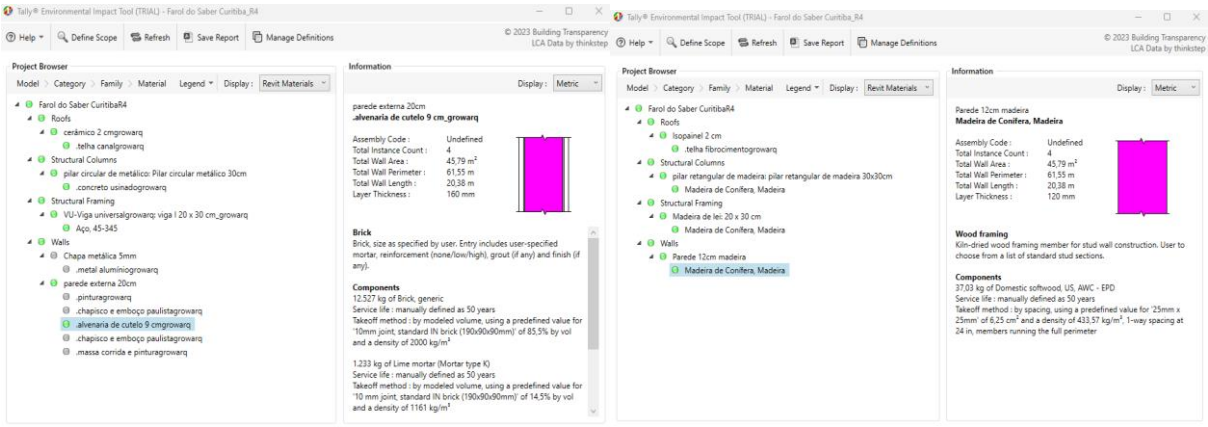
Figura 8: *Software* Tally®, materiais que serão analisados



Nota: a esquerda demostração de seleção e a direita a atribuição de caracteristicas dos materiais. Fonte: os autores (2023).

A Figura 9 ilustra a definição de fechamento lateral existente e o fechamento lateral proposto de *wood frame*.

Figura 9*: Software* Tally®, registro de fechamento



Nota: a esquerda fechamento em alvenaria e a direita registro de fechamento em madeira. Fonte: os autores (2023).

Depois de se atribuir cada material que se pretendia analisar, foi necessário definir as distâncias de transporte para que estes dados sejam considerados nos cálculos da ACV, a Tabela 3 demonstra as distâncias de deslocamento de cada classe de material especificado e a forma de transporte.

Tabela 3: Distâncias na simulação dos materiais

Material	Caminhão (km)
Adesivo poliuretano	840
Tijolo genérico	172
Aço estrutural formado a frio	431
Revestimento epóxi, estoque de metal	431
Argamassa de cal (argamassa tipo K)	172
Tinta, látex acrílico exterior	642
Títulos de telhado, argila	1.249
Madeira macia doméstica	383
Fixadores em aço inoxidável	1.001
Cola madeira laminada (Glulam)	468

Fonte: *software* Tally® (2023).

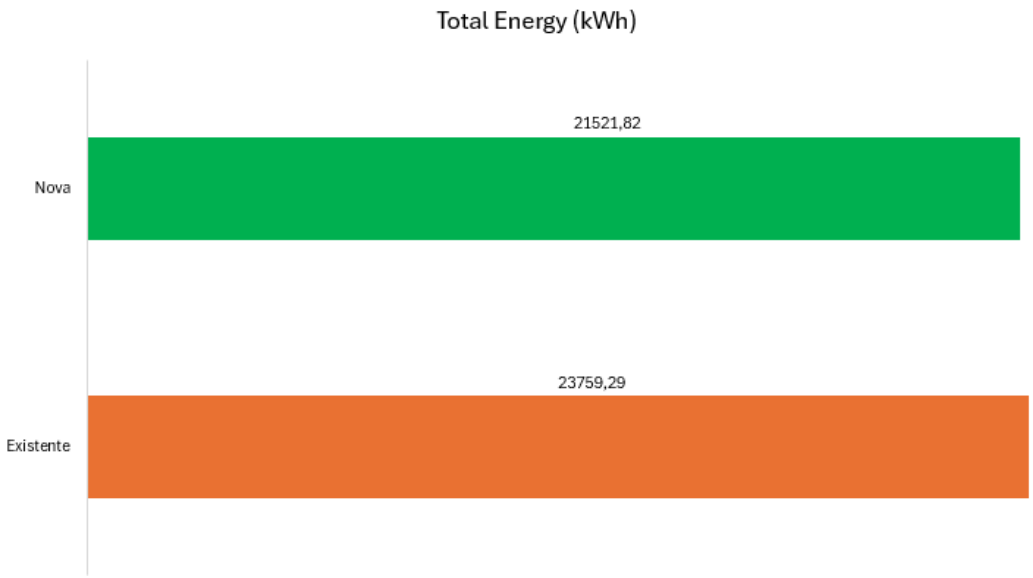
Para efeito de análise não foram alterados os valores de deslocamento sugeridos pelo *software* Tally®.

RESULTADOS

AVALIAÇÃO TERMOENERGÉTICA

O Gráfico 1 apresenta o resultado comparativo entre as edificações nova e existente no quesito de eficiência energética no período de 1 ano.

Gráfico 1: Comparação de edificações na simulação energética



Fonte: os autores (2024).

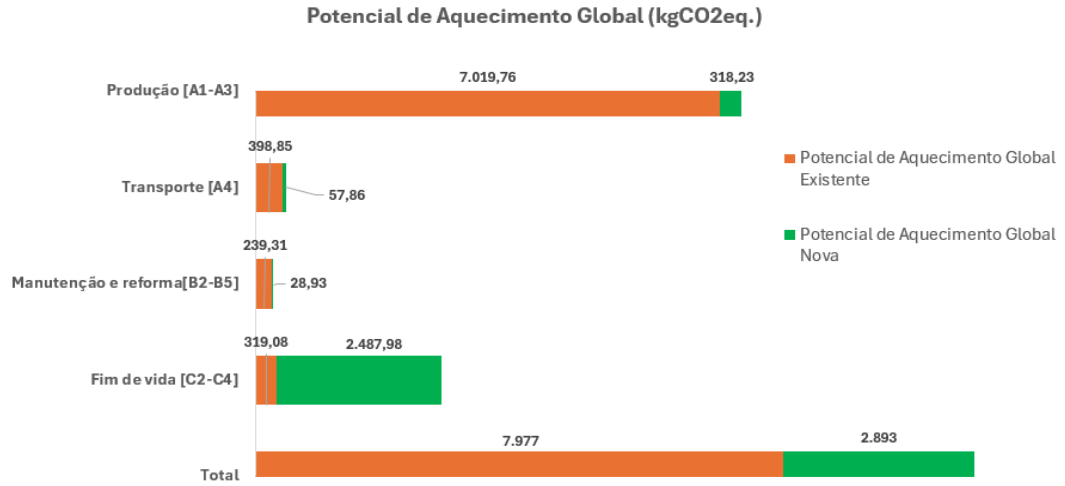
No quesito simulação termo energética, pode constatar que houve redução na carga térmica total de 23759,29 kWh para 21521,82 kWh, ou seja, uma redução de cerca de 10% pela aplicação dos materiais em madeira e telha de cobertura térmica.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

É possível analisar e interpretar os resultados obtidos pelo Tally® com relação as categorias pré-estabelecidas pelo *software* sendo elas: Potencial de Aquecimento Global em kg CO_2eq.; Acidificação em kgSO_2eq.; Eutrofização em kg Neq.; Formação de oxidantes fotoquímicos, em kgO_3eq. e energia não renováveis medidas em MJ.

O Gráfico 2 apresenta o resultado comparativo entre as fases do ciclo de vida no quesito potencial de aquecimento global da edificação existente e a proposta em um período de 50 anos.

Gráfico 2: Comparação de edificações no potencial de aquecimento global

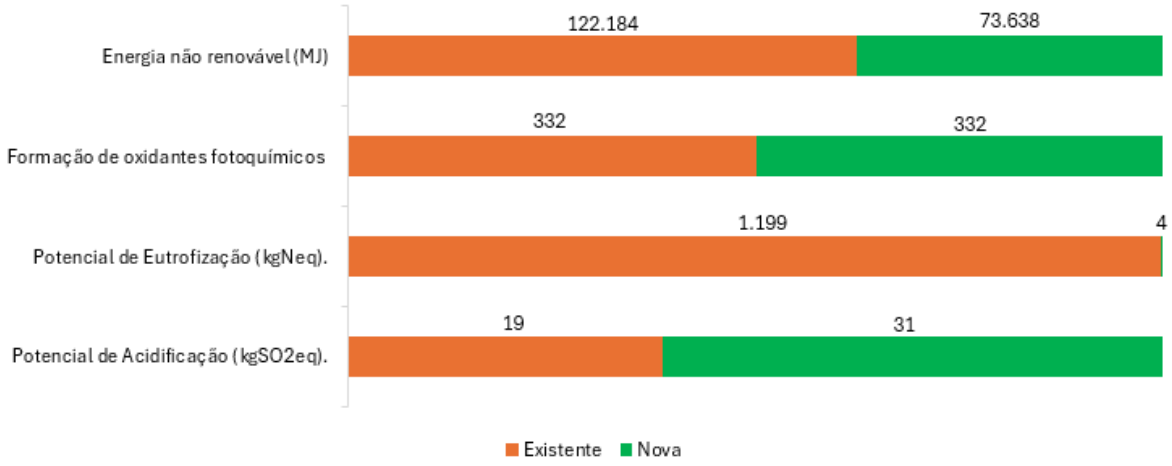


Fonte: os autores (2024).

Avaliando o processo de produção (A1-A3) apresentado no Grafico 1 obteve-se uma redução de 95% na emissão de CO_2 no potencial de aquecimento global obtido no modelo proposto do Farol do Saber versus no modelo que representa o Farol existente. Na fase subsequente de transporte (A4) a geração de CO_2 foi 85% menor. Por fim, avaliando o conjunto manutenção e reforma (B2-B5) obteve um porcentual de 88% a menos na emissão de CO_2.

O Gráfico 3 representa a simulação entre as duas edificações das demais etapas do ACV. O parâmetro de energia não renovável avalia o quanto o material empregado tem sua matriz energética sustentada em fontes de energia renovável, ou seja, não proveniente de combustíveis fósseis. Já o parâmetro de formação de oxidantes fotoquímicos, ou *smog* fotoquímico, refere-se à liberação de componentes orgânicos voláteis na atmosfera. Nesta linha, o potencial de eutrofização aponta para a poluição de fontes hídricas e o potencial de acidificação indica contaminação do solo por liberação de óxidos de enxofre.

Gráfico 3: Comparação de edificações nas demais etapas do ACV



Fonte: os autores (2024).

O parâmetro de energia não renovável apresentou uma importante redução de 39,73%. O parâmetro de formação de oxidantes fotoquímicos não apresentou alteração na mudança do material. O potencial de eutrofização apresentou uma redução de grande importância chegando a 99,67%, praticamente eliminando a poluição de fontes hídricas. E por fim o potencial de acidificação que apresentou um aumento de 63,16%, sendo este o único parâmetro negativo de todos os analisados.

CONCLUSÃO

Ao realizar a ACV é possível simular diversos materiais compatíveis com o projeto para avaliar as vantagens e desvantagens de cada cenário em diferentes fases da vida da edificação. A troca de informações começa na fase de concepção arquitetônica, exigindo a colaboração de várias disciplinas, essa abordagem não deve ser vista como uma ameaça à autoria do projeto arquitetônico, mas sim como uma integração necessária para o sucesso do empreendimento [8].

A crescente demanda por edificações sustentáveis tem redefinido projetos de espaços públicos e privados, especialmente aqueles que se destacam como ícones na paisagem urbana. Este trabalho apresenta uma análise dos centros educacionais Farol do Saber da prefeitura de Curitiba, com o objetivo geral de avaliar suas características construtivas e propor alternativas de uso de materiais e sistemas mais sustentáveis. A necessidade de minimizar os impactos ambientais gerados pela construção civil evidencia a importância da ACV uma das principais ferramentas para auxiliar essa redução. O *Building Information Modeling* (BIM) surge como alternativa facilitadora, permitindo a elaboração

Após as análises numéricas é possível inferir que o potencial de aquecimento global é significativamente menor no modelo do Farol do Saber proposto. Isso dá-se pela capacidade da estrutura da madeira engenheirada e wood frame em armazenar carbono durante o processo de crescimento das árvores. Comparativamente, o potencial de aquecimento global total por metro quadrado construído da opção mais sustentável é de 32,87 kg CO_2eq/m^2 contra 90,64 kg CO_2eq/m^2 do projeto existente original.

Foi possível reavaliar o projeto, tornando-o mais sustentável e gerando uma redução no parâmetro de potencial de aquecimento global de 64%. No entanto, destacam-se as especificações das diferenças regionais relacionadas ao transporte e produção dos materiais, dado que a base de dados do Tally® é proveniente de países do exterior.

Considerando que a redução da carga térmica da edificação apresentou redução discreta (cerca de 10%) e avaliando que a área envidraçada da edificação é considerável, recomenda-se o estudo adicional de substituição dos vidros comuns por vidros com algum fator de controle solar, tais como películas PVB (polivinil butiral) que podem barrar em até 70% a entrada de calor.

Este trabalho provoca uma reflexão sobre a importância de avaliar cuidadosamente os materiais a serem adotados na fase de projeto. Percebe-se um grande potencial de redução de carbono pela substituição dos materiais cerâmicos e metálicos por madeira engenheirada, *wood frame* e telhamento em painéis térmicos. Por meio dessas análises, é possível simular a melhor maneira de criar um projeto mais sustentável que respeite os limites do planeta, promova a equidade social e proporcione espaços habitáveis para as gerações presentes e futuras.

REFERÊNCIAS

[1] GASPAR, A. D. da S.; ALBUQUERQUE, J. de L.; DE MORAES FILHO, R. A.; BATISTA, A. S.; ALVES, J. L.; LEITE, E. F.; AMARO, E. S. D. de M.; AMARO, R. G. Sustentabilidade em obras públicas: conceituação, teoria e prática na UFRPE. **Revista de Gestão e Secretariado**, *[S. l.]*, v. 14, n. 7, p. 12281–12298, 2023. DOI: 10.7769/gesec.v14i7.2535. Disponível em: https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2535. Acesso em: 17 abr. 2024.

[2] WITICOVSKI, L.; TAVARES, S.; FREITAS, M. do C. **Projeto arquitetônico do berço ao berço**. Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 28–39, 2023. DOI: 10.21680/2448-296X.2023v8n1ID28643. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/28643. Acesso em: 16 abr. 2024.

[3] MAIDEL, Bruna. **Avaliação do ciclo de vida de edificações verticais: estudo comparativo entre CLT (cross-laminated timber), e alvenarias convencionais a partir do projeto em BIM**. 2020. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

[4] TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

[5] OLIVEIRA, Lacyane Krysna dos Santos; RÊGO, Rejane de Moraes; FRUTUOSO, Maria Núbia Medeiros de Araújo; RODRIGUES, Sofia Suely Ferreira Brandão. **Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável**. HOLOS, *[S. l.]*, v. 4, p. 217–230, 2016. DOI: 10.15628/holos.2016.3981. Disponível em: https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/3981. Acesso em: 17 abr. 2024.

[6] DIAS, K. G. A.; AMORIM, R. P. de L.; FERNANDES, L. C.; LEDER, S. M.; SORGATO, M. J. **Comparação de dois métodos para estimativa da temperatura interna do ar de uma edificação desocupada no clima semi-árido**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. *[S. l.]*, 2023. p. 1–10. DOI: 10.46421/encac.v17i1.3892. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3892. Acesso em: 17 abr. 2024.

[7] CURITIBA, Prefeitura de. **Faróis do Saber: luzes para a educação e a inovação em Curitiba**. Disponível em: https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/farois-do-saber-luzes-para-a-educacao-e-a-inovacao-em-curitiba/67491. Acesso em: 17 dez. 2023

[8] SALGADO, M. S.; CHATELET, A.; FERNANDEZ, P. **Produção de edificações sustentáveis: desafios e alternativas**. Ambiente Construído, *[S. l.]*, v. 12, n. 4, p. 81–99, 2012. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/22603. Acesso em: 17 abr. 2024.

[9] QUEIRÓZ, Gabriel Ramos de et al. **Análise de interoperabilidade entre os programas computacionais Autodesk Revit e Energyplus para a simulação térmica de edificações.** 2016. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rs, 2016.