



## AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UMA EDIFICAÇÃO ESCOLAR: DIAGNÓSTICO E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS CONSTRUTIVAS CONSIDERANDO DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS

CHAVES, Lívia Souza Mançãno (1); CALDAS, Lucas Rosse (2); TOLEDO FILHO,  
Romildo Dias (3)

(1) Universidade Federal do Rio de Janeiro, [liviachaves@poli.ufrj.br](mailto:liviachaves@poli.ufrj.br)

(2) Universidade Federal do Rio de Janeiro, [lrc@coc.ufrj.br](mailto:lrc@coc.ufrj.br)

(3) Universidade Federal do Rio de Janeiro, [toledo@coc.urfi.br](mailto:toledo@coc.urfi.br)

### RESUMO

Edificações escolares são grandes consumidoras de energia e um ambiente propício para a formação da consciência ambiental. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem se mostrado como uma metodologia eficaz para a avaliação dos potenciais impactos ambientais dos materiais e sistemas construtivos durante o seu ciclo de vida. No Brasil, ainda é pouco difundida a aplicação dessa metodologia durante o projeto de edificações. Este estudo pretende realizar uma avaliação ambiental, considerando o ciclo de vida de uma mesma edificação escolar localizada nas cidades do Rio de Janeiro – RJ, Curitiba – PR e Brasília – DF. O estudo tem como objetivos a avaliação dos potenciais impactos ambientais da edificação como um todo, verificando onde eles estão concentrados (*hotspots*). A partir desse diagnóstico estudar soluções para minimizá-los e melhorar o desempenho energético da construção, com o uso de sistemas construtivos com um melhor desempenho térmico, considerando as particularidades de cada zona bioclimática. Para isso, foram utilizados a metodologia proposta nas normas internacionais ISO sobre ACV e programas computacionais (SimaPro e DesignBuilder) para a obtenção dos dados de entrada necessários e para a modelagem ambiental da edificação. Foi feito um estudo de aplicação e avaliado como o sistema construtivo inovador de painéis monolíticos de bioconcreto pode melhorar o desempenho ambiental dessa edificação. A alternativa com a instalação de brises nas janelas foi a mais vantajosa para as três cidades avaliadas. Foi constatado também que modificar as vedações externas da edificação para materiais de menor condutividade não é uma solução eficiente para ambientes com elevada taxa de ocupação porque pode impedir a dissipação de calor para o meio externo. Os resultados encontrados nessa pesquisa poderão servir de diretrizes para projetos de edificações escolares ambientalmente mais sustentáveis para diferentes zonas bioclimáticas do país.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas, envoltória, zonas bioclimáticas

### ABSTRACT

*School buildings are major consumers of energy and an environment conducive to the formation of environmental awareness. Life Cycle Assessment (LCA) has proven to be an effective methodology for assessing the potential environmental impacts of building materials and systems during their life cycle. In Brazil, the application of this methodology during the design of buildings is still little known. This study aims to carry out an environmental assessment, considering the life cycle of the same school building located in the cities of Rio de Janeiro - RJ, Curitiba - PR and Brasília - DF. The study aims to evaluate the potential environmental impacts of the entire building, verifying where they are concentrated (hotspots). Based on this diagnosis were studied solutions to minimize them and improve the energy performance of the building, using building systems with better thermal performance, considering the particularities of each bioclimatic zone. For this, we used the methodology proposed in the international standards ISO on LCA and computer*

programs (SimaPro and DesignBuilder) to obtain the necessary input data for the environmental modeling of the building. An application study was done and studied how the innovative building system of monolithic bio-concrete panels can improve the environmental performance of this building. The alternative with the installation of window shading was the most advantageous for the three evaluated cities. It has also been found that modifying the building's external walls for lower conductivity materials is not an efficient solution for high occupancy environments because it can prevent heat dissipation to the outside environment. The results found in this research may serve as guidelines for more environmentally sustainable school building projects for different bioclimatic zones in the country.

**Keyword:** Wrap, climate change, bioclimatic zones

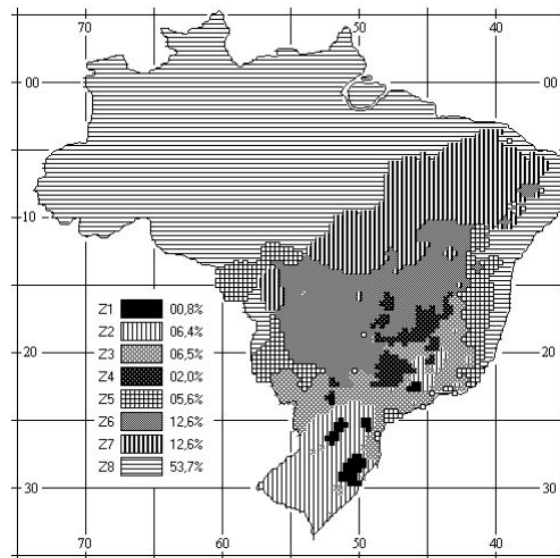
## 1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil impacta significativamente no meio ambiente visto que consome entre 14% e 50% de toda a matéria-prima extraída da natureza, 16% de recursos hídricos e 40% de toda fonte de energia (TAVARES, 2006). Além disso, gera de 40% a 70% dos resíduos sólidos e, ainda, é responsável por 10% das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Esse cenário demonstra que o setor tem um grande potencial para buscar soluções sustentáveis que minimizem os impactos gerados por sua atividade (MEDEIROS, DURANTE, & CALLEJAS, 2018).

Ao se pensar em diretrizes para construções sustentáveis no Brasil há ainda o obstáculo da grande dimensão territorial do país. Além de facilidade de acesso a matérias primas desiguais e realidades sócio econômicas distintas, a influência do clima é diferente pelo país. Ao todo, o país apresenta oito zonas bioclimáticas diferentes, apresentadas na figura 1.1, que solicitam performances energéticas diferentes dos materiais e soluções construtivas não uniformes por todo o país. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta para analisar sistematicamente desempenho ambiental de produtos ou processos ao longo de todo o seu ciclo de vida e, por isso, o interesse na incorporação dessa análise na tomada de decisão para a seleção de produtos e também para a avaliação e otimização de processos de construção é crescente (ASDRUBALI, et al, 2013).

Muitos estudos de ACV vêm sendo realizados, principalmente em países desenvolvidos. No entanto, as emissões de CO<sub>2</sub> geradas ao longo do ciclo de vida de um edifício têm características regionais distintas por causa dos diferentes tipos de climas, políticas de gestão e níveis tecnológicos que caracterizam diferentes regiões. Dessa forma, uma análise voltada para as condições locais é muito importante.

**Figura 1- Zoneamento bioclimático brasileiro**



**Fonte:** ABNT (2005)

Caldas et al. (2017a) compararam os impactos ambientais de dois projetos de habitação, sendo um de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e outro de painéis pré-moldados de concreto armado, considerando o impacto dos diferentes desempenhos térmicos desses sistemas em seis zonas bioclimáticas brasileiras. A habitação de alvenaria cerâmica apresentou melhores resultados para todas as categorias de impacto ambientais e zonas bioclimáticas avaliadas. Apesar disso, os resultados do estudo mostram que a mudança somente na zona bioclimática, considerando o mesmo sistema construtivo, pode levar a diferenças consideráveis, principalmente para sistemas construtivos de desempenho térmico inferior, como foi o caso dos painéis de concreto. Esses resultados mostraram a importância de se considerar o impacto de diferentes desempenhos térmicos de sistemas construtivos e avaliação para diferentes cidades para que estudos de ACV para o setor de edificações se aproximem mais da realidade.

Ao restringir-se o escopo da pesquisa para edificações escolares, constatou-se, segundo dados do Censo escolar de 2017, que menos de 5% das escolas públicas no país apresentam a infraestrutura adequada. Entre essas, há um número ainda mais alarmante: 20% não apresenta o conjunto de instalações essenciais que compreende água tratada, eletricidade, esgotamento sanitário e banheiros. Essas escolas correspondem à 12,9% das matrículas da Educação Básica pública do País (INEP 2019).

Espaços com elevadas taxas de ocupação têm temperaturas internas mais elevadas e, conseqüentemente, o consumo de energia para o ar condicionado é maior, comparado com o mesmo ambiente com uma

menor taxa de ocupação. Essa configuração aumenta as emissões de CO<sub>2</sub> na produção desta energia. Portanto, ambientes com taxas ocupacionais mais altas tendem a emitir mais CO<sub>2</sub>. Nas escolas brasileiras, principalmente as da rede pública, há uma tendência a se alocar muitos alunos por sala de aula, o que resulta em maior desconforto para alunos e professores e um pior ambiente de aprendizagem (CALDAS, et al. 2017b)

Caldas et al. (2017b) estudaram como diferentes densidades de ocupação das salas de aulas de uma edificação escolar, localizada em Goiânia GO, interferem no consumo de energia e nas emissões de CO<sub>2</sub>eq relacionada à construção e operação (manutenção e climatização) da edificação.

Brás e Gomes (2015) estudaram o impacto ambiental da aplicação de argamassas específicas no *Retrofit* das vedações de uma escola construída em Portugal nos anos oitenta. O desempenho energético foi estimado e comparado com o comportamento original do prédio da escola. O uso de argamassas com adição de cortiça, em comparação com argamassas tradicionais, possibilitou uma redução de até 30% na emissão de CO<sub>2</sub> e 20% na energia incorporada.

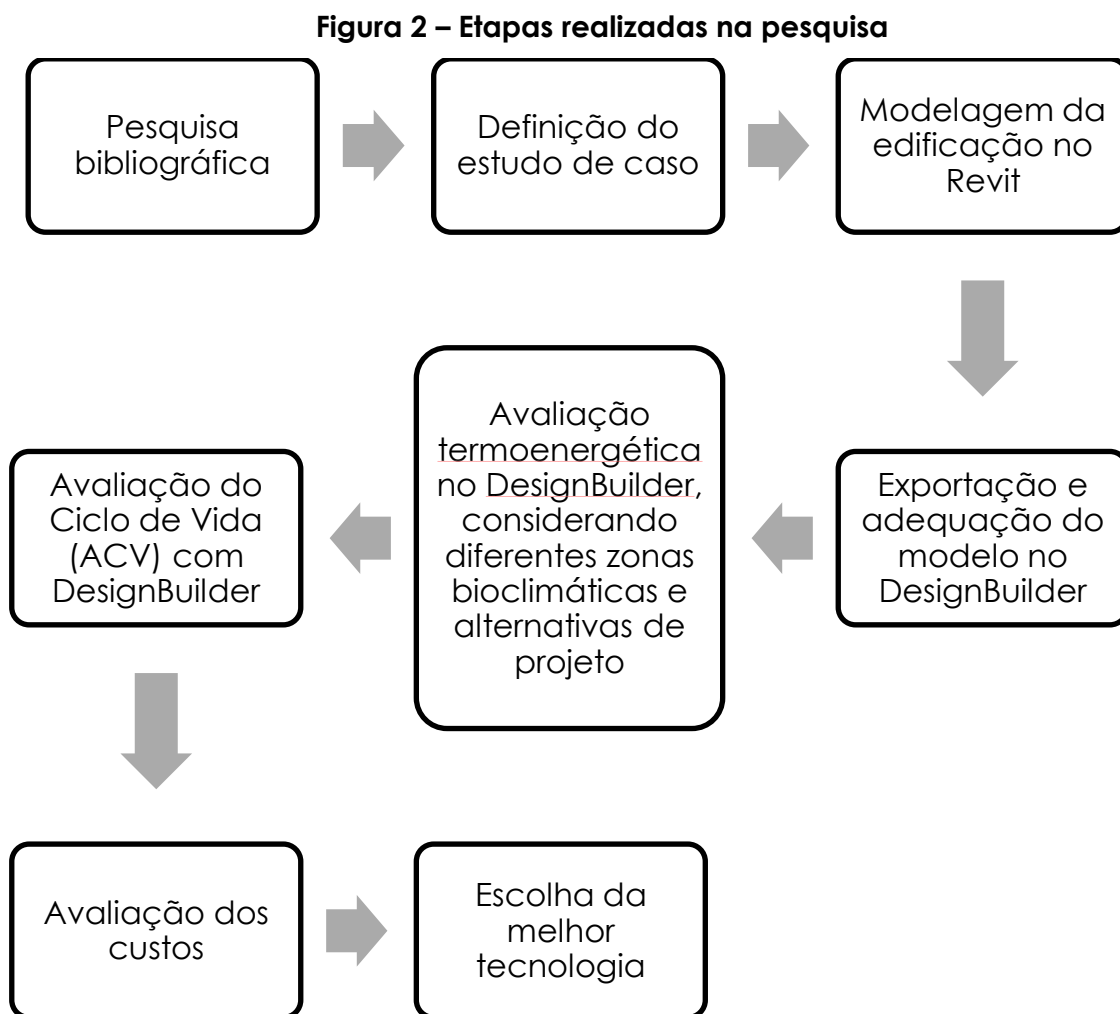
Alshamrani et al. (2014) estudaram uma edificação escolar no Canadá aplicando a ACV nas vedações a fim de garantir uma maior pontuação nos critérios definidos pelo selo LEED na categoria inovação e processo de design. Os resultados mostram que os edifícios de concreto e alvenaria têm menor consumo de energia anual e impacto ambiental durante o estágio de operação apesar de ter alto consumo de energia e potencial de aquecimento global durante certos estágios do ciclo de vida, como fabricação, construção e demolição.

Tendo em vista o contexto e justificativas apresentadas, o presente estudo teve o intuito de realizar a avaliação ambiental, considerando diferentes etapas do ciclo de vida de uma edificação escolar. Os seguintes objetivos foram alcançados:

- a) avaliação dos potenciais impactos ambientais de uma edificação escolar como um todo e verificação onde esses impactos ambientais estão concentrados (hotspots);
- b) estudo de soluções construtivas para minimizá-lo e ao mesmo tempo melhorar o desempenho energético da construção, com o uso de sistemas construtivos de melhor desempenho térmico;
- c) estudo da aplicação do sistema inovador de painéis monolíticos de bioconcreto de bambu, que vem sendo desenvolvido em laboratório;
- d) avaliação da relevância de cada solução construtiva para diferentes zonas bioclimáticas do Brasil.

## 2 MÉTODO

O método de pesquisa foi dividido conforme o fluxograma da Figura 2.



Fonte: Autores

### 2.1 Pesquisa bibliográfica

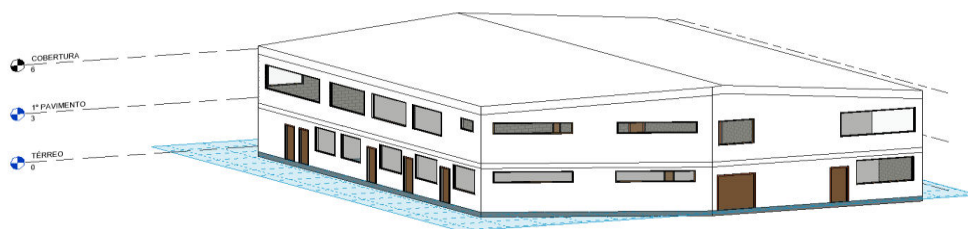
A pesquisa bibliográfica foi realizada a partir da revisão da literatura, sendo consultados dissertações, teses, manuais e artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais. Nessa etapa foi identificado como a metodologia de ACV vem sendo aplicada para o estudo de edificações, particularmente edificações escolares.

### 2.2 Definição do estudo de caso e modelagem da edificação no Revit

Foi realizado um estudo de aplicação em uma edificação escolar (Figura 3) construída no Rio de Janeiro: o imóvel estudado é composto de térreo, 1º pavimento e telhado, além de área externa recreativa, quadra poliesportiva e castelo d'água. A escola setoriza-se em salas de aula, salas

administrativas, áreas de serviço, depósito, sanitários e vestiários. Possui aproximadamente 1279,64m<sup>2</sup> de área construída (divididos em térreo e 1º pavimento). O projeto da edificação estudada foi obtido de uma empresa construtora da cidade.

**Figura 3- Edificação modelada no programa Autodesk Revit**



Fonte: Autores

### 2.3 Exportação e adequação do modelo no DesignBuilder e avaliações termoenergéticas

A partir da base dados do próximo programa e das simplificações para materiais com camadas heterogêneas propostas no estudo de Weber, Fernando da Silva et al. (2017) foram adotados no programa os parâmetros térmicos recomendados para os materiais presentes na edificação e alternativas propostas. Após a definição desses materiais dentro do programa foram criadas as composições que representam o edifício. Um exemplo de simplificação para camadas heterogêneas está representado na Figura 4.

**Figura 4 - (a) Seção do elemento de cobertura e piso (b) Imagem gerada no DesignBuilder**



Fonte: Autores

Para as avaliações termo energéticas foram analisados os seguintes cenários:

- Cenário 0 - Atual da edificação (Base);
- Cenário 1 - Instalação de brises metálicos em todas as janelas;
- Cenário 2 - Substituição das vedações externas por painéis de bioconcreto de bambu com espessura de 10 cm;
- Cenário 3 - Substituição das vedações externas por painéis de bioconcreto de bambu com espessura de 20 cm.
- Cenário 4 - Substituição das divisórias internas em *drywall* por painéis de bioconcreto de bambu com espessura de 10 cm.

Esses cenários foram avaliados em 3 cidades brasileiras localizadas em zonas bioclimáticas (ZB) distintas: Brasília (ZB4), Curitiba (ZB1), Rio de Janeiro (ZB8).

Na tabela 1 estão representados os principais sistemas construtivos da edificação e os valores de transmitância (*U-value*) correspondentes a cada composição.

**Tabela 1- Sistemas construtivos e valor de transmitância correspondente.**  
\*Sistemas relacionados aos cenários 2, 3 e 4.

Sistemas construtivos	U (W/m <sup>2</sup> K)
Radier + granitina	2,43
Radier + porcelanato	2,45
Laje nervurada + granitina	0,61
Laje nervurada + porcelanato	0,61
Vedações em bloco de concreto	2,48
Divisórias de Drywall + lã de rocha	0,54
Telha termo acústica + forro mineral	0,36
Vedações/divisórias em bioconcreto 10 cm*	2,15
Vedações em bioconcreto 20 cm*	1,32

Fonte: Autores

## 2.4 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) com DesignBuilder

O escopo para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi determinado de acordo com a EN 15978 (CEN, 2011), considerando as etapas do estágio de produto e o consumo de energia operacional.

**Figura 5- Escopo de ACV EN15978:2011**

Estágio de Produto			Estágio de Construção		Estágio de Uso					Estágio de Fim de Vida				Além
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Obtenção de matérias primas	Transporte	Manufatura	Transporte	Processo de instalação ou construção	Uso	Manutenção	Reparo	Substituição	Reforma	Deconstrução/Demolição	Transporte	Processamento de resíduos	Disposição	Reuso Recuperação Potencial de reciclagem
					B6									
					Consumo de energia operacional									
					B7									
					Consumo de água operacional									

**Fonte:** Autores

A Unidade Funcional escolhida foi a edificação escolar considerando uma vida útil de 50 anos (ABNT NBR 15575:2013) e os dados de inventário foram obtidos do Ecoinvent v3.3, Declarações ambientais de produto e dados primários.

O método de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida escolhido foi o CML – IA, sendo considerado somente a categoria de potencial de aquecimento global.

## 2.5 Avaliação dos custos

Ao se criar cada composição foi atribuído o valor de custo, o qual foi escolhido através dos valores fornecidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), pelo Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia (SCO-RIO) e pelo orçamento da própria construtora. O custo da energia elétrica foi obtido através do Ranking das Tarifas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – considerando as tarifas vigentes em agosto de 2019.

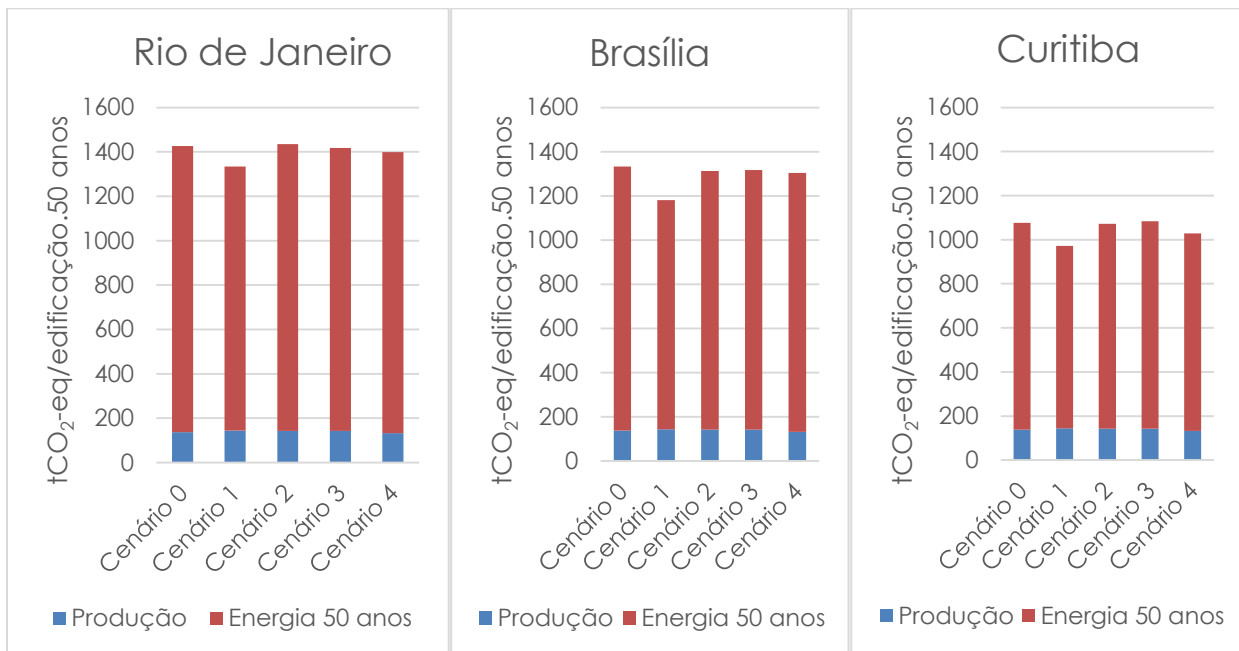


### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliação dos cenários avaliados

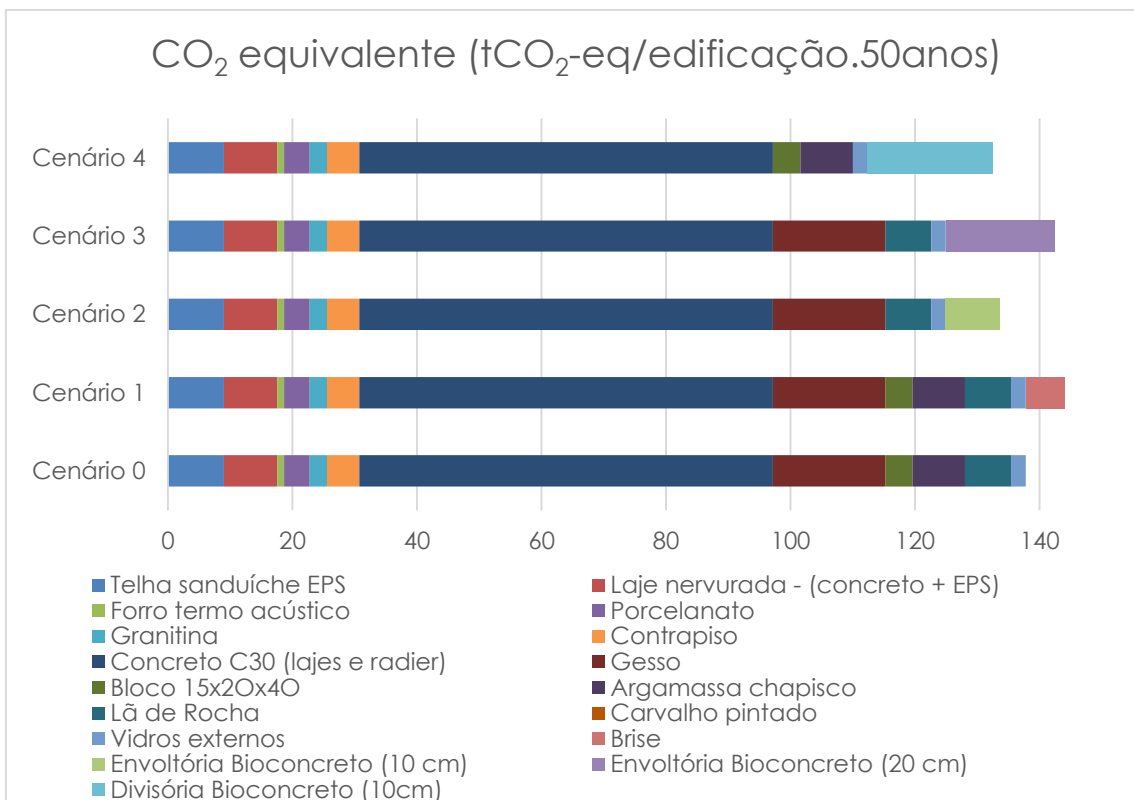
Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentados os resultados encontrados.

**Figura 6 - Comparação das emissões CO<sub>2</sub>-eq nas fases de produção e operação.**



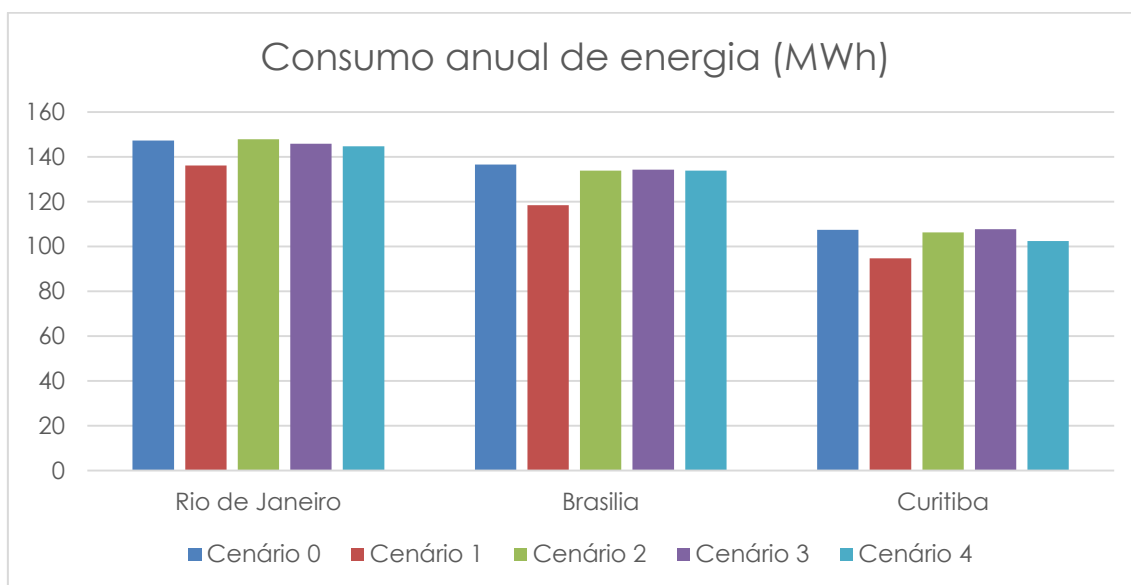
Fonte: Autores

**Figura 7 - Emissões de CO<sub>2</sub>-eq por material**



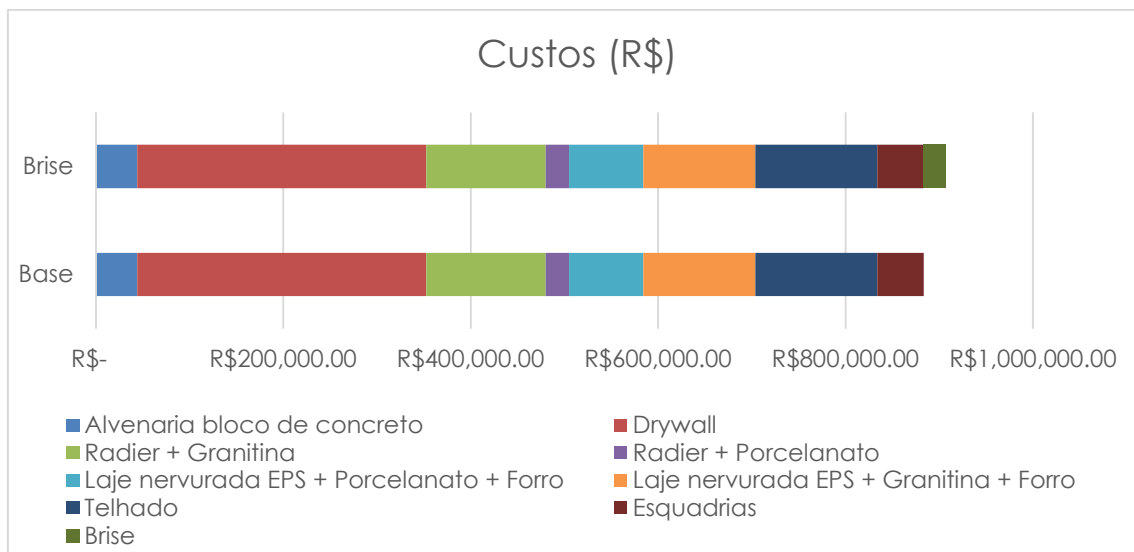
Fonte: Autores

Figura 8 - Consumo anual de energia nas cidades analisadas



Fonte: Autores

Figura 9 - Custo de implementação do cenário 1



**Fonte:** Autores

Analisando as emissões de CO<sub>2</sub>-eq devido à produção de cada material utilizado na construção da edificação, percebeu-se as emissões mais expressivas da fase de produção eram devidas ao concreto, utilizado no radier e nas lajes da edificação e devidas ao gesso, utilizado nas divisórias do tipo *drywall*. Como o bioconcreto de bambu, analisado nesta pesquisa, não foi concebido para ser utilizado com finalidade estrutural nenhuma alteração foi proposta para o concreto das lajes e radier. Já para o gesso foi proposta a substituição das divisórias em *drywall* por painéis monolíticos de bioconcreto de 10 cm, solução analisada no cenário 4.

As emissões de CO<sub>2</sub>-eq devido à produção de energia elétrica para operação do edifício em 50 anos são muito mais significativas que aquelas relativas ao processo de produção do material de construção, o que vai de acordo com a literatura. A razão entre produção e operação pode chegar a 1/9 no Rio de Janeiro, enquanto em Curitiba fica na faixa de 1/6, o que era esperado uma vez que as temperaturas na cidade do Rio de Janeiro são mais elevadas e há um maior gasto de eletricidade nos aparelhos de ar condicionado para manter o ambiente na temperatura estimada como ideal. A partir desses resultados decidiu-se aumentar a performance ambiental da edificação com a proposição de melhorias construtivas focadas na melhora da eficiência energética da construção, abordadas nos cenários 1, 2 e 3.

No que tange a relevância das modificações de projeto na edificação estudada foi observado que modificar as vedações externas da edificação para materiais de menor condutividade térmica (cenários 2 e 3) não é uma solução eficiente para ambientes com elevada taxa de ocupação porque pode impedir a dissipação de calor para o meio externo. Entretanto, soluções de sombreamento, como a instalação de brises (cenário 1), são boas alternativas para edificações com elevadas

taxas de ocupação porque diminuem o aporte de calor da radiação solar e não impedem a dissipação do calor interno para o meio.

Logo, a instalação de brises foi a solução com melhor desempenho ambiental nas três cidades analisadas, considerando uma vida útil da edificação de 50 anos. Avaliando-se o custo médio do investimento de instalação de brises em todas as janelas e o valor médio da tarifa de energia elétrica para cada cidade, conforme o Ranking das Tarifas (ANEEL, 2019), encontrou-se um tempo de retorno de 2,7 anos para as cidades do Rio de Janeiro e Curitiba e 2 anos para Brasília. As economias anuais estimadas em gastos com energia elétrica foram de R\$ 8.589,13 para a cidade do Rio de Janeiro, R\$ 8.753,53 para Curitiba e R\$11.977,88 para Brasília.

#### **4 CONCLUSÕES**

Uma mesma alternativa de projeto irá resultar em ganhos energéticos (e de emissões de CO<sub>2</sub>-eq) e custos associados distintos para cidades de diferentes zonas bioclimáticas. Uma vez que o impacto ambiental da fase de operação das edificações é muito expressivo, o foco para a melhoria da performance ambiental deve levar em conta alterações construtivas considerando as características do clima de cada uma das regiões analisadas.

O trabalho apresenta como contribuição científica a avaliação ambiental de edificações escolares em diferentes zonas bioclimáticas do Brasil. Para trabalhos futuros poderão ser avaliados os custos do bioconcreto, a performance ambiental de brises de bioconcreto e o impacto ambiental considerando dados climáticos futuros. Além disso, o escopo da ACV pode ser expandido considerando outras etapas do ciclo de vida, como manutenção e reposição dos materiais e mais categorias de impacto ambientais, como acidificação, exaustão de combustíveis fósseis. Por fim, na avaliação dos custos pode ser realizada uma análise de sensibilidade para diferentes valores de tarifa de energia elétrica.

#### **REFERÊNCIAS**

- ALSHAMRANI, OTHMAN SUBHI, KHALED GALAL, E SABAH ALKASS. Integrated LCA-LEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings. *Building and Environment*, 2014: 61-70.
- ASDRUBALI, F., BALDASSARRI, C., & FTHENAKIS, V. Life cycle analysis in the construction sector: guiding the optimization of conventional Italian buildings. *Energy and Buildings*, 2013. 64:73–89.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3**. Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14040** - Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura." 2006.

BRÁS, A., & GOMES, V. LCA implementation in the selection of thermal enhanced mortars for energetic rehabilitation of school buildings. **Energy and Buildings**, 2015. 92, pp. 1-9.

CALDAS, L. R.; LIRA, J. S. de M. M.; SPOSTO, R. M. Avaliação do ciclo de vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. **LALCA - Revista Latino-amer. em Aval. do Ciclo de Vida, Brasília**, v. 1, n. 1, p. 138-167, jul./dez. 2017a. DOI: <https://doi.org/10.18225/lalca.v1i1.3823>

CALDAS, L. R, et al.. "Taxa de ocupação e potencial de aquecimento global: estudo de caso para uma edificação escolar localizada em Goiânia – GO." **EUROELECS2017**. São Leopoldo, 2017b. 75-83.

INEP. (2019). Sinopse Estatística da Educação Básica 2018. Acesso em 17 de 05 de 19, disponível em Portal INEP: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/sinopses-estatisticas-da-educacao-basica>

MEDEIROS, L. M., DURANTE, L. C., & CALLEJAS, I. J. Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação. **Ambiente Construído**, 2018. v. 18, n. 2, p. 365-385.