ISSN 2236-0158
Revista de Ensino de Engenharia

v. 45, 2026

INTRODUÇÃO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES POR MEIO DE JOGO INTERATIVO

INTRODUCTION TO ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS THROUGH AN INTERACTIVE GAME

Julia Cordeiro Vieira[1], Queila Corrêa dos Santos de Almeida[2], Elaine Rodrigues de Souza[3], Daniela Matschulat Ely[4], Raquel Diniz Oliveira[5]

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v45p861-876.2026

RESUMO: Os edifícios representam parcela significativa do consumo energético global, especialmente em razão das demandas relacionadas ao conforto térmico, reforçando a necessidade de formar profissionais capazes de desenvolver soluções eficientes. Este trabalho propõe a aprendizagem sobre eficiência energética por meio de uma metodologia ativa baseada em um jogo interativo, estimulando o pensamento crítico de estudantes de Engenharia acerca das características da envoltória das edificações. A dinâmica foi aplicada em seis etapas a uma turma de graduação, cujos estudantes, organizados em equipes, selecionaram materiais e cores para uma edificação modelo, considerando inicialmente o custo e, posteriormente, o desempenho térmico segundo o método prescritivo do RTQ-C (2013). Os resultados indicaram a predominância inicial de soluções de baixo custo e menor desempenho (71,4% no nível C). Após a intervenção, todas as equipes alcançaram o nível A, com redução média de custos e maior agilidade na tomada de decisão. A avaliação de reação (4,3) evidenciou elevada aceitação e engajamento. A aprendizagem foi inferida a partir do desempenho na atividade, sem avaliação formal antes e após a intervenção.

PALAVRAS-CHAVE: jogos sérios; Ensino Superior; custo-benefício; arquitetura bioclimática; raciocínio sistêmico.

ABSTRACT: Buildings represent a significant share of global energy consumption, especially due to thermal comfort demands, reinforcing the need to train professionals capable of developing efficient solutions. This study promotes learning about energy efficiency through an active methodology based on an interactive game, encouraging engineering students' critical thinking regarding building envelopes. The activity was conducted in six stages with an undergraduate class, in which teams selected materials and colors for a model building, initially considering cost and subsequently thermal performance according to the prescriptive method of RTQ-C (2013). The results indicated an initial predominance of low-cost and low-performance solutions (71.4% at level C). After the intervention, all teams achieved level A, with average cost reductions and greater decision-making agility. The reaction assessment (4.3) demonstrated high acceptance and student engagement. Learning was inferred from performance during the activity, without formal pre- and post-intervention assessments.

KEYWORDS: serious games; Higher Education; cost-effectiveness; bioclimatic architecture; systems thinking.

[1] Engenheira Civil, mestre, doutoranda em Engenharia Civil, CEFET-MG, juliacordeiroengcivil@gmail.com
[2] Engenheira de Produção Civil, especialista em Gestão de Projetos, consultora, CEFET-MG, queilaencaut@gmail.com
[3] Engenheira de Produção Civil, especialista, MBA em Planejamento e Gestão de Obras Civis, analista de Engenharia, CEFET-MG, laynepac301@gmail.com
[4] Engenheira Civil, PhD, professora titular do CEFET-MG, CEFET-MG, danielaelycefetmg@gmail.com
[5] Arquiteta, PhD, professora titular do CEFET-MG, CEFET-MG, raqueldo@gmail.com

INTRODUÇÃO

Os edifícios respondem por parcela significativa do consumo energético global e de seus impactos ambientais, representando cerca de 30% do consumo final de energia, 18% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e aproximadamente 65% do consumo de materiais associados a estoques físicos duráveis, como edificações e infraestrutura (IEA, 2023; Pauliuk *et al*., 2024; Wiedenhofer *et al*., 2024). Grande parte dessa demanda está relacionada ao conforto térmico, sendo o ar-condicionado responsável por cerca de 20% do consumo de eletricidade em edifícios no mundo (IEA, 2018). No Brasil, edificações residenciais, comerciais e públicas respondem por 52% do consumo de energia elétrica (28%, 17% e 7%, respectivamente) (EPE, 2025). Internacionalmente, sistemas de climatização representam entre 35% e 50% do consumo energético de edifícios públicos, de escritórios e institucionais (Ortiz-Peña, Honrubia-Escribano e Gómez-Lázaro, 2025).

Nesse contexto, estratégias de eficiência energética aplicadas à envoltória, aos sistemas prediais e às soluções arquitetônicas são fundamentais para reduzir impactos ambientais, custos operacionais e demanda energética (IEA, 2016). No Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), instituído em 2003 no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), estabeleceu a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), classificando edificações de A a E. Atualmente, foi substituído pela Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), baseada em métodos prescritivos e de simulação computacional. Além disso, a série ABNT NBR 15575:2025 passou a estabelecer requisitos obrigatórios de desempenho térmico para edificações habitacionais, incorporando as atualizações do zoneamento bioclimático brasileiro. Assim, metodologias didáticas baseadas em critérios normativos podem ser atualizadas para refletir a regulamentação vigente, preservando seus objetivos pedagógicos e aproximando-se da prática profissional.

Nesse cenário, incorporar a eficiência energética à formação de engenheiros é fundamental, considerando a influência das decisões de projeto no desempenho das edificações ao longo de seu ciclo de vida. A literatura destaca a importância da educação em sustentabilidade (Azapagic, Perdan e Shallcross, 2005), bem como da adoção de estratégias de ensino que promovam participação ativa e aplicação prática desses conceitos.

As metodologias ativas favorecem a construção do conhecimento por meio da resolução de problemas, tomada de decisão e trabalho colaborativo, contribuindo para o desenvolvimento de competências técnicas e comportamentais (Prince, 2004; González e Paparisteidi, 2025). Entre elas, os jogos sérios destacam-se por integrar conteúdo educacional e experiências interativas que estimulam o pensamento crítico e a aprendizagem experiencial (Wilkinson, 2016; Cardona *et al*., 2023; Westera, 2017).

Na área de eficiência energética em edificações, jogos sérios, plataformas gamificadas, simulações interativas e ambientes de realidade virtual vêm sendo utilizados tanto para fins educacionais quanto para incentivar mudanças comportamentais. Revisões da literatura apontam elevado potencial de engajamento, conscientização e economia de energia, embora persistam limitações relacionadas à padronização das avaliações e aos impactos de longo prazo (Morganti *et al*., 2017; Wu e Liu; Shukla, 2020; Boncu, Candel e Popa, 2022).

Estudos específicos corroboram esse potencial. Um jogo de 90 minutos baseado em DesignBuilder/EnergyPlus reduziu o Energy Use Intensity (EUI) entre 22% e 31% (Reinhart *et al*., 2012). O sistema EnergySIM utiliza realidade virtual multiusuário para explorar o desempenho energético por meio da manipulação de materiais e visualização de mapas térmicos (Anifowose, Alhazzaa e Dixit, 2023), enquanto o jogo *3D Phantom Load* promove a análise de cargas, sistemas *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (HVAC) e decisões operacionais (Jacob e Vaidya, 2025).

De forma geral, revisões sistemáticas indicam que jogos e estratégias de gamificação contribuem para reduzir o consumo energético e fortalecer atitudes pró-ambientais (Morganti *et al*., 2017; Wu e Liu; Shukla, 2020; Boncu, Candel e Popa, 2022; Li *et al*., 2024; Giraldo, Kok e Paterakis, 2024). Evidências empíricas apontam reduções de penalidades energéticas entre 40% e 65% em escritórios, além de economias variáveis em edificações residenciais (Ubachukwu *et al*., 2025; Casals *et al*., 2020; Gangolells *et al*., 2021; Mendicelli e Terenzio, 2025).

A escolha por um jogo sério fundamenta-se na capacidade de reproduzir situações de tomada de decisão semelhantes às da prática profissional, permitindo aos estudantes analisar simultaneamente custo, desempenho térmico e restrições normativas, com *feedback* imediato sobre suas escolhas. Dessa forma, favorece a aprendizagem experiencial, o pensamento crítico e a visão sistêmica.

Diante disso, este trabalho propõe estimular o pensamento sobre eficiência energética na envoltória das edificações por meio de um jogo interativo aplicado à graduação em Construção Civil, além de avaliar a familiaridade dos estudantes com esses conceitos ao ingressarem no ensino superior.

OBJETIVO

Este trabalho propõe, aplica e avalia um jogo interativo, fundamentado no método prescritivo do RTQ-C (2013), para apoiar a aprendizagem de eficiência energética em edificações e estimular o pensamento crítico sobre o planejamento da envoltória.

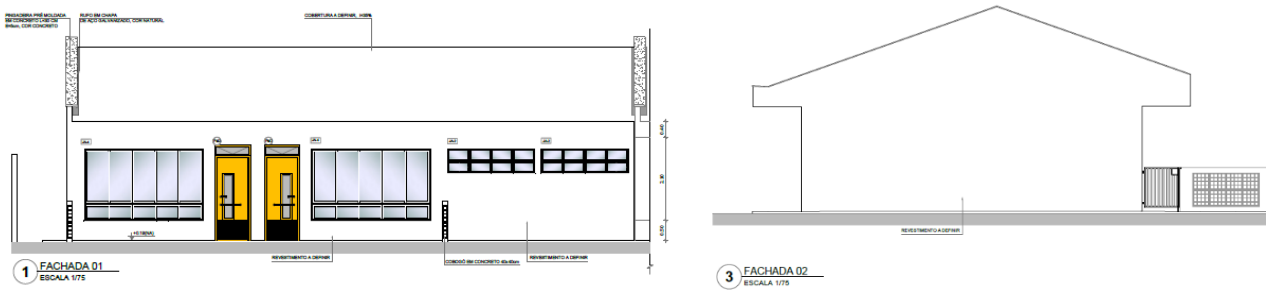
METODOLOGIA

Como o estudo foi aplicado em 2019, foram adotados o método prescritivo do RTQ-C (2013) e o zoneamento bioclimático vigentes à época. A análise restringiu-se à envoltória da edificação, considerando transmitância térmica e absortância solar (Brasil, 2013b). Embora posteriormente atualizados, esses referenciais preservam a coerência metodológica do estudo, podendo o jogo ser adaptado às normas atuais. O método foi estruturado em seis etapas: (i) seleção da edificação modelo; (ii) seleção e caracterização térmica dos materiais e cores; (iii) coleta de dados; (iv) caracterização do jogo; (v) aplicação; e (vi) análise dos resultados.

Seleção da edificação modelo

Adotou-se o Projeto Padrão do módulo de ampliação do Proinfância Tipo B (Figura 1), desenvolvido pela Coordenação Geral de Infraestrutura Educacional (CGEST) do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE). A escolha deve-se à geometria simples, ao caráter didático, ao fácil acesso ao projeto e à possibilidade de aplicação do RTQ-C. O projeto amplia em 40% a capacidade da creche padrão Proinfância Tipo B e possui um pavimento, 115,46 m² de área construída e 42,66 m² de projeção de cobertura, totalizando 158,12 m². A edificação abriga duas salas de pré-escola para até 24 crianças de 4 a 5 anos e sanitários infantis (FNDE, 2016). Por ser replicável, a orientação solar não foi definida, sem comprometer o estudo, que desconsidera a avaliação geométrica. A edificação possui estrutura convencional em concreto armado, e as características originais dos materiais e das cores foram removidas, sendo posteriormente definidas pelos alunos.

Figura 1 – Vistas das fachadas posterior e lateral esquerda da edificação

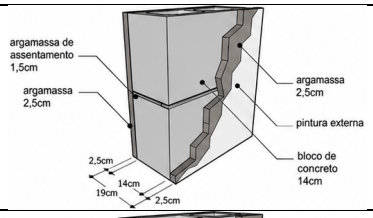
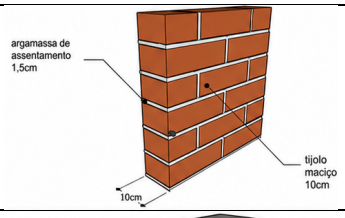
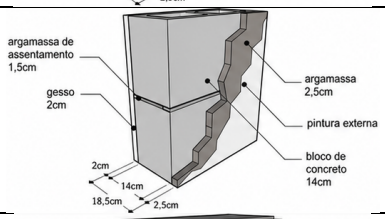
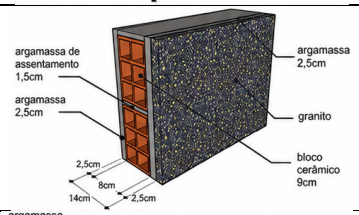
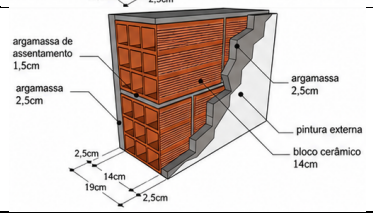
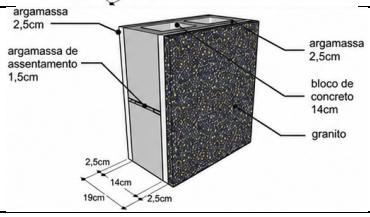


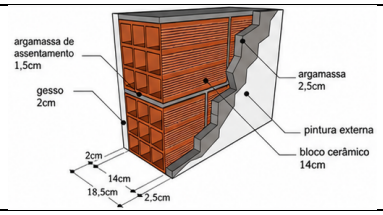
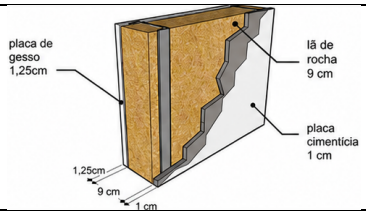
Fonte: FNDE (2016), adaptada pelas autoras.

Seleção de materiais e cores da envoltória

Os materiais de fachada, cobertura e respectivas cores foram selecionados do Anexo Geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros (Brasil, 2017), com base na transmitância térmica e absortância solar. Os materiais e suas propriedades são apresentados nos Quadros 1 e 2, e as cores no Quadro 3. A classificação parcial da envoltória foi estimada pela comparação com os limites normativos da Zona Bioclimática (ZB) correspondente (Brasil, 2013a). O Quadro 4 apresenta os pré-requisitos por nível de eficiência e, para Belo Horizonte (ZB 3), os limites estão na Tabela 1.

Quadro 1 – Materiais para vedação das paredes

ID	Vedação	Upar (W/m².K)	ID	Vedação	Upar (W/m².K)
P1		2,69	P5		3,65
P2		2,64	P6		2,36
P3		1,94	P7		2,63

P4		1,78	P8		0,45

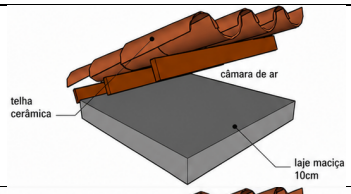
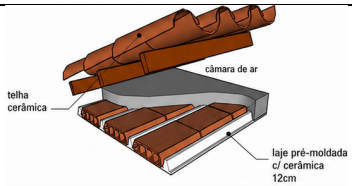
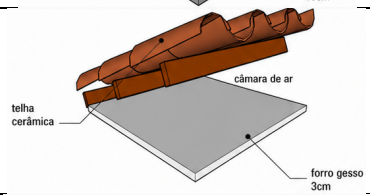
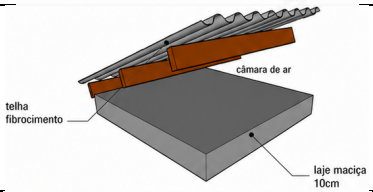
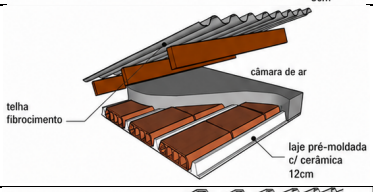
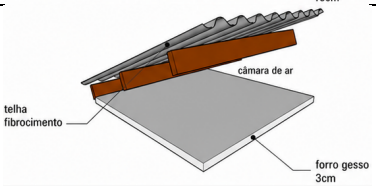
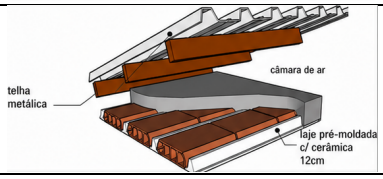
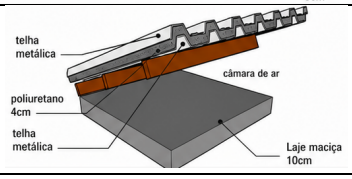
Fonte: Brasil (2017), adaptado pelas autoras.

Tabela 1 – Limites dos pré-requisitos de transmitância térmica e absortância solar (ZB 3)

Pré-requisito	Nível de eficiência			
	A	B	C	D
Transmitância térmica da cobertura de ambientes AC (W/m²K)	1,00	1,50	2,00	
Transmitância térmica da cobertura de ambientes ANC (W/m²K)	2,00	2,00	2,00	
Transmitância térmica de paredes (W/m²K)	3,70	3,70	3,70	
Absortância solar da cobertura (a)	< 0,50	< 0,50	-	
Absortância solar de paredes (a)	< 0,50	-	-	

Fonte: Brasil (2013a), adaptada pelas autoras.

Quadro 2 – Materiais para vedação da cobertura

ID	Vedação	Ucob (W/m².K)	ID	Vedação	Ucob (W/m².K)
C1		2,05	C5		1,79
C2		1,94	C6		2,06
C3		1,79	C7		1,95
C4		1,82	C8		0,55

Fonte: Brasil (2017), adaptado pelas autoras.

Quadro 3 – Paleta de cores selecionadas e suas absortâncias à radiação solar (a)

Tipo	Cor	Nome	Absortância à radiação solar (a)
Acrílica Fosca		Branco	15,8
Acrílica Fosca		Branco Gelo	37,2
Acrílica Semi-Brilho		Cinza	86,4

Acrílica Fosca		Pêssego	42,8
Acrílica Semi-Brilho		Preto	97,1
Acrílica Fosca		Alecrim	64
Latex PVA Fosca		Amarelo Canário	29,3
Latex PVA Fosca		Azul Profundo	76
Acrílica Fosca		Mel	41,8
Acrílica Semi-Brilho		Terracota	68,4

Fonte: Brasil (2017), adaptado pelas autoras.

Quadro 4 – Layout do módulo de ampliação

Pré-requisito	**Nível de Eficiência**			
	A	**B**	**C**	**D**
Transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores	Sim	Sim	Sim	
Cores e absortância de superfícies	Sim	Sim	-	

Fonte: Brasil (2016), adaptado pelas autoras.

Coleta de dados de custo dos materiais

Os custos unitários dos fechamentos externos (Tabela 2) foram obtidos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (Minas Gerais, maio de 2019). O custo da pintura das fachadas foi incluído nas composições das paredes de alvenaria. Para revestimentos como granito e placa cimentícia, a cor foi limitada ao próprio material. Na cobertura, a pintura foi considerada independentemente da cor.

Tabela 2 – Custo de execução unitário das paredes e cobertura

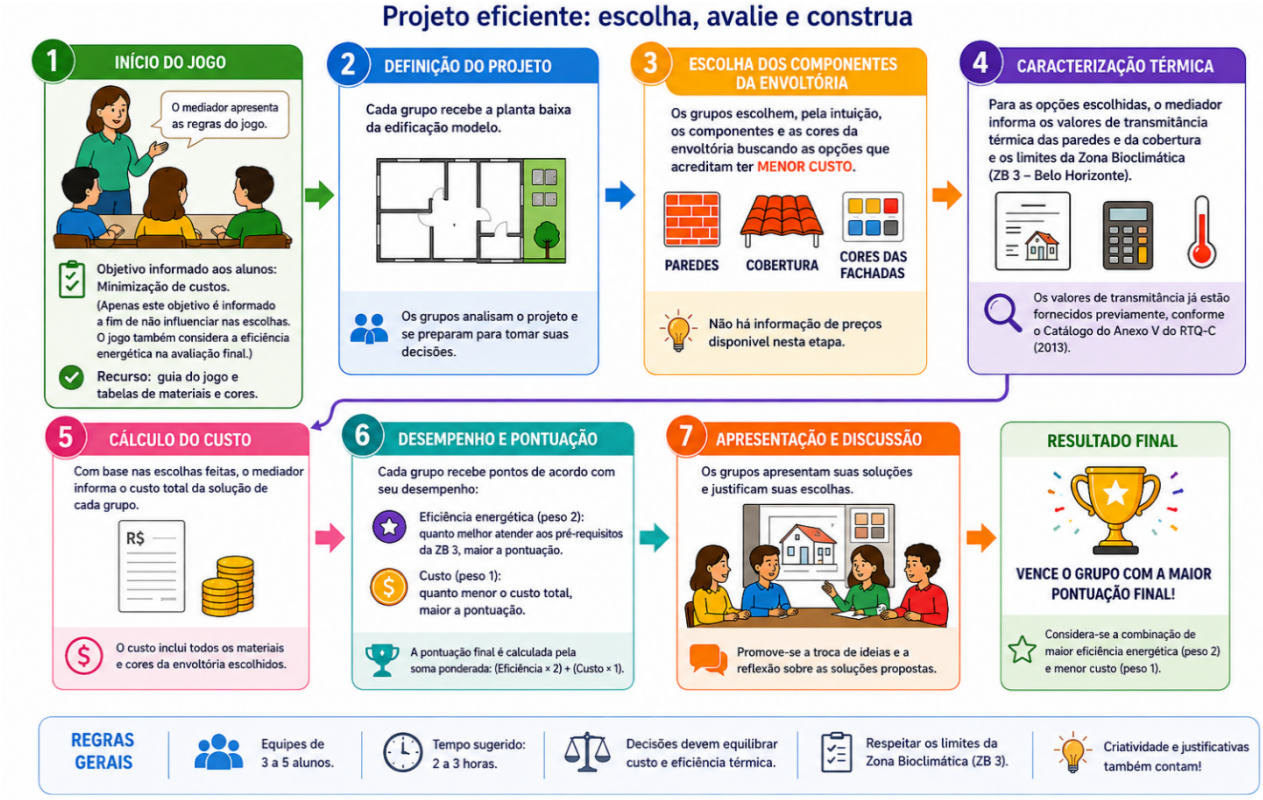
Paredes		**Cobertura**	
ID	**Custo (R$/m²)**	**ID**	**Custo (R$/m²)**
P1	146,37	C1	310,37
P2	161,07	C2	264,62
P3	134,18	C3	200,44
P4	148,88	C4	204,18
P5	55,64	C5	254,22
P6	403,08	C6	256,59
P7	391,40	C7	210,84
P8	296,62	C8	373,33

Fonte: SINAPI (04/2019), adaptada pelas autoras.

Caracterização do jogo educativo

O jogo consiste na seleção de componentes da envoltória considerando custo e eficiência energética. Com base nos conhecimentos adquiridos nas etapas preliminares, os participantes buscam otimizar simultaneamente o custo e o desempenho energético da edificação modelo (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma do jogo didático



Fonte: elaborado pelas autoras com auxílio do ChatGPT (2026).

São utilizadas cartolinas, canetas e fachadas (Figuras 1) e quatro pacotes de fichas contendo materiais, cores, custos, propriedades térmicas e limites normativos (Quadros 1 a 4 e Tabela 1 e 2). Os alunos são organizados em equipes de cinco integrantes e o jogo é conduzido em seis fases sequenciais, com regras apresentadas progressivamente.

Na primeira fase, as equipes selecionam materiais e cores para os fechamentos externos com base na planta projetada (Pacote 1), sem acesso aos custos, visando minimizá-los. Cada fechamento recebe um único material, e as cores de paredes e cobertura não podem se repetir. Vence a equipe com menor custo, sendo o tempo (máximo de 10 minutos) critério de desempate.

Na segunda fase, com o Pacote 2, os custos são calculados coletivamente e organizados em quadro.

Na terceira fase, são apresentados conceitos de eficiência energética relacionados ao consumo energético, conforto ambiental, envoltória e planejamento eficiente, com apoio de recursos gráficos (10 minutos).

Na quarta fase, realiza-se a avaliação da envoltória conforme o RTQ-C (2013), utilizando o Pacote 3. Os cálculos são conduzidos coletivamente, sem premiação, sendo previamente preparadas duas cópias do quadro de avaliação.

Na quinta fase, as equipes revisam suas escolhas para otimizar desempenho energético e custo, utilizando os Pacotes 2, 3 e 4. Vence a equipe com melhor desempenho combinado (10 minutos).

Na sexta fase, avaliam-se conjuntamente custos (peso 1) e eficiência energética (peso 2). Espera-se aumento de custos em relação à fase inicial, dado que soluções mais eficientes tendem a ser mais onerosas. Destaca-se o impacto das escolhas da envoltória no consumo energético ao longo da vida útil, bem como a importância da análise de custo-benefício e do tempo de retorno para decisões mais eficientes.

Simulação do jogo

A aplicação ocorreu no semestre 2019/1, em uma turma do primeiro período de Engenharia de Produção Civil, na disciplina Contexto Social e Profissional do Engenheiro de Produção Civil. Por se tratar de estudantes ingressantes (17–20 anos), os resultados permitiram analisar a familiaridade inicial com conceitos de sustentabilidade na construção civil.

A pesquisa caracteriza-se como estudo de caso, por envolver uma única turma de uma única instituição, constituindo uma amostra de conveniência. Assim, os resultados referem-se ao contexto investigado e analisam o potencial da proposta didática, sem pretensão de generalização.

RESULTADOS

A técnica foi aplicada a uma turma de 33 alunos, distribuídos em sete equipes. Inicialmente, realizaram-se apresentações e verificou-se que cerca de 25% da turma possuía contato prévio com o mercado da Engenharia, em razão de formação técnica ou de outra graduação, permitindo o nivelamento inicial de conceitos básicos.

Na introdução, abordaram-se o mercado de trabalho e as habilidades comportamentais relevantes para o engenheiro, como senso de urgência, otimização de recursos, organização, gestão do tempo e trabalho em equipe, seguidas da apresentação da planta e do corte da edificação de referência.

Na primeira etapa, as equipes definiram materiais e cores para a cobertura e a vedação visando ao menor custo de execução. Sem acesso aos custos, as decisões basearam-se na intuição ou na experiência, sendo as cores irrelevantes para essa análise. Os resultados (Tabela 3) foram obtidos após disponibilização do Pacote 2.

Tabela 3 – Resultado da primeira etapa: avaliação de custos

Equipe	Custo unitário (R$/m²)		Custo Total (R$/m²)	Tempo (min)	Classificação das equipes
	Paredes	Cobertura			
1	146,37	210,84	357,21	04:02	3º
2	55,64	210,84	266,48	03:47	1º
3	148,88	210,84	359,72	07:58	6º
4	148,88	210,84	359,72	07:50	5º
5	148,88	210,84	359,72	06:40	4º
6	134,18	210,84	345,02	03:47	2º
7	134,18	264,62	398,8	10:00	7º

Fonte: elaborada pelas autoras.

Após a classificação e a premiação da equipe de menor custo, realizou-se uma explanação sobre eficiência energética e escolhas conscientes, reforçando a importância de uma abordagem sistêmica na especificação de materiais ao longo do ciclo de vida da edificação.

Em seguida, as escolhas iniciais foram avaliadas conforme os critérios de eficiência energética (Tabela 4). Com acesso aos custos, às absortâncias solares, às transmitâncias térmicas e aos limites do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) (2013), as equipes redefiniram suas soluções buscando maior desempenho térmico com menor custo (Tabela 5). Posteriormente, avaliou-se o atendimento aos pré-requisitos da envoltória (Tabela 6), realizou-se nova classificação geral e premiou-se a equipe com melhor desempenho térmico associado ao menor custo.

Tabela 4 – Resultado da quarta etapa: avaliação do atendimento aos pré-requisitos da envoltória

Equipe	apar		acob		Upar (W/m².K)		Ucob (W/m².K)		Eficiência Total
	Valor	Class.	Valor	Class.	Valor	Class.	Valor	Class.	
1	0,864	B	0,684	C	2,69	A	1,95	A	C
2	0,684	B	0,864	C	3,65	A	1,95	A	C
3	0,684	B	0,864	C	1,78	A	1,95	A	C
4	0,864	B	0,684	C	1,78	A	1,95	A	C
5	0,76	B	0,293	A	1,78	A	1,95	A	B
6	0,158	A	0,684	C	1,95	A	1,95	A	C
7	0,64	B	0,425	A	1,94	A	1,95	A	B

Fonte: elaborada pelas autoras.

Tabela 5 – Resultado da quinta etapa: avaliação de custos

Equipe	Paredes	Cobertura	Custo Total (R$/m²)	Tempo (min)	Classificação das equipes
	Custo (R$/m²)	Custo (R$/m²)			
1	148,88	200,44	349,32	02:26	5º
2	134,18	200,44	334,62	02:09	3º
3	148,88	200,44	349,32	03:03	7º
4	134,18	200,44	334,62	01:19	1º
5	148,88	200,44	349,32	02:42	6º
6	134,18	200,44	334,62	02:06	2º
7	134,18	200,44	334,62	04:16	4º

Fonte: elaborada pelas autoras.

Tabela 6 – Resultado da sexta etapa: Avaliação da eficiência energética

Equipe	apar		acob		Upar (W/m².K)		Ucob (W/m².K)		Eficiência Total
	Valor	Class.	Valor	Class.	Valor	Class.	Valor	Class.	
1	0,372	A	0,372	A	1,78	A	1,79	A	A
2	0,428	A	0,372	A	1,94	A	1,79	A	A
3	0,158	A	0,372	A	1,94	A	1,79	A	A
4	0,158	A	0,372	A	1,78	A	1,79	A	A
5	0,428	A	0,372	A	1,94	A	1,79	A	A
6	0,158	A	0,372	A	1,78	A	1,79	A	A
7	0,418	A	0,372	A	1,94	A	1,79	A	A

Fonte: elaborada pelas autoras.

Ao final, aplicou-se uma avaliação de reação, na qual os alunos atribuíram notas de 1 a 5 às questões propostas (Quadro 5). A avaliação teve caráter observacional e de reação dos participantes. A aprendizagem foi inferida pelas mudanças nas decisões das equipes e pelo desempenho ao longo da dinâmica, sem aplicação de instrumentos formais de avaliação do conhecimento, como pré-teste e pós-teste.

Quadro 5 – Avaliação de Reação da aplicação da simulação

Perguntas	Média
A simulação atingiu o seu objetivo?	4,1
Considera que a simulação auxilia na ampliação de visão sistêmica sobre a engenharia?	4,6
Você considera que simulações e formas de ensino não tradicionais podem auxiliá-lo na formação profissional?	4,8
O número de informações novas oferecidos pela simulação foi satisfatório?	4,1
As instalações e recursos foram adequados?	4,2
A simulação foi capaz de despertar curiosidade sobre tema?	4,3
Você acha que poderá aplicar os conhecimentos adquiridos durante a simulação, na prática profissional?	4,2
Avaliação Geral sobre a simulação?	4,3
Média Geral	**4,3**

Fonte: elaborada pelas autoras.

DISCUSSÕES

Os resultados da primeira etapa indicam que, de forma intuitiva, os alunos selecionaram, entre oito possibilidades, quatro das composições mais econômicas para vedação, concentrando-se nas opções classificadas em 3º e 4º lugar em custo. Para a cobertura, não houve a mesma tendência, evidenciando maior dificuldade na identificação das soluções mais econômicas.

Nessa etapa, surgiram questionamentos sobre custo-benefício, especialmente entre alunos com experiência prévia, sendo esclarecido que o objetivo inicial era exclusivamente a minimização de custos. Na avaliação do desempenho térmico, nenhuma equipe atingiu classificação A e 71,4% foram classificadas como C, evidenciando que decisões baseadas apenas no custo tendem a resultar em baixo desempenho energético e reforçando a importância de análises que considerem consumo de energia e conforto térmico ao longo da vida útil da edificação.

A comparação entre as escolhas realizadas antes e após a apresentação dos conceitos de eficiência energética evidencia mudança consistente na tomada de decisão das equipes. Inicialmente orientadas pelo menor custo, as escolhas passaram a incorporar simultaneamente critérios econômicos e de desempenho térmico, indicando uma análise mais crítica das alternativas construtivas. Esses resultados mostram que a efetividade da proposta está associada à dinâmica do jogo, que integra custo e desempenho térmico, podendo ser aplicada com diferentes referenciais normativos.

Na sexta etapa, a composição de parede P5 (R$ 55,64/m²) foi substituída pelas composições P3 e P4 por todas as equipes, buscando uma melhor relação entre custo-benefício e desempenho térmico. Para a cobertura, todas as equipes optaram pela composição C3, de menor custo. Apesar da evolução, as escolhas ainda priorizaram, em geral, o custo em detrimento do desempenho, ao passo que todas as equipes selecionaram as cores mais eficientes, por estas não influenciarem o custo.

Ao final, todas as equipes atingiram classificação A em desempenho térmico. O custo médio reduziu de R$349,52/m² para R$340,92/m², demonstrando que o acesso às informações e ao embasamento conceitual permitiu escolhas simultaneamente mais econômicas e eficientes.

Mais do que a obtenção da classificação A, o principal resultado da intervenção foi a mudança dos critérios de seleção dos componentes da envoltória. Enquanto na primeira etapa predominaram decisões baseadas na percepção intuitiva de menor custo, na etapa final as equipes passaram a

considerar simultaneamente propriedades térmicas, absortância solar, limites normativos e custos, indicando uma evolução na análise do problema. Observou-se ainda redução do tempo de execução de 6 min 17 s para 2 min 34 s (aproximadamente 40% do tempo inicial), sugerindo maior familiaridade com os conceitos apresentados. Como a aprendizagem foi inferida a partir do desempenho durante a dinâmica, estudos futuros poderão incorporar instrumentos formais de avaliação, como pré-testes e pós-testes.

CONCLUSÕES

A aplicação da simulação gerou resultados quantitativos e qualitativos relevantes, evidenciando melhorias nas escolhas relacionadas ao custo e ao desempenho térmico e atendendo ao objetivo de estimular o pensamento crítico dos alunos.

Do ponto de vista qualitativo, destacaram-se a interação entre os participantes, a divisão de tarefas, as discussões e a tomada de decisão sob restrição de tempo, competências essenciais à formação em Engenharia. Observou-se também que treinamento e padronização de processos favorecem decisões mais eficientes.

Na avaliação de reação, a simulação obteve média geral de 4,3 pontos, com destaque para a ampliação da visão sistêmica da engenharia (4,6) e para o uso de jogos sérios como ferramenta de ensino (4,8).

Como limitações, a aprendizagem foi inferida a partir do desempenho das equipes durante a atividade, sem aplicação de instrumentos formais de avaliação, como pré-testes e pós-testes. Além disso, por se tratar de um estudo de caso realizado em uma única turma, os resultados devem ser interpretados no contexto investigado. Estudos futuros poderão ampliar a aplicação da metodologia em diferentes instituições e incorporar estratégias complementares de avaliação da aprendizagem.

A atividade foi desenvolvida com base no RTQ-C (2013), referência vigente no período de sua aplicação. Como continuidade da pesquisa, propõe-se sua atualização para o contexto normativo atual, substituindo a edificação pública utilizada no jogo por um modelo padronizado de habitação de interesse social e adotando os critérios de desempenho térmico das ABNT NBR 15575-4:2025 e ABNT NBR 15575-5:2025, em conjunto com o zoneamento bioclimático vigente. Essa

adaptação preserva a estrutura pedagógica e a dinâmica do jogo, atualizando apenas os parâmetros normativos empregados na avaliação das soluções.

Os resultados reforçam a necessidade de abordagens educacionais mais dinâmicas e participativas, superando modelos centrados na transmissão unidirecional e promovendo protagonismo discente, criatividade e inovação. A possibilidade de atualização da metodologia para diferentes referenciais normativos amplia seu potencial de aplicação em distintos contextos de ensino voltados ao desempenho térmico de edificações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEFET-MG pela infraestrutura e campo de estudo. Agradecem também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001 – pelo apoio financeiro à execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANIFOWOSE, H.; ALHAZZAA, K.; DIXIT, M. ENERGYSIM: techniques for advancing building energy education through immersive virtual reality (VR) simulation. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 28, Special Issue: The Future of Construction in the Context of Digital Transformation (CONVR 2022), 2023.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1:2024:** desempenho térmico de edificações. Parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:2024:** desempenho térmico de edificações. Parte 3: zoneamento bioclimático por desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

AZAPAGIC, A.; PERDAN, S.; SHALLCROSS, D. How much do engineering students know about sustainable development? The findings of an international survey and possible implications for the engineering curriculum. **European Journal of Engineering Education**, v. 30, n. 1, p. 1–19, 2005.

BONCU, Ş.; CANDEL, O. S.; POPA, N. L. Gameful Green: a systematic review on the use of serious computer games and gamified mobile apps to foster pro-environmental information, attitudes and behaviors. **Sustainability**, v. 14, n. 16, p. 10400, 2022.

BRASIL. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para eficiência energética de edificações (RAC)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013a.

BRASIL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013b.

BRASIL; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA; ELETROBRAS. **Manual para aplicação do RTQ-C**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2016.

BRASIL; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA; ELETROBRAS. **Anexo Geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2017.

CARDONA, J. S. *et al.* Meaningful learning: motivations of older adults in serious games. **Universal Access in the Information Society**, v. 23, n. 4, p. 1689–1704, 2023.

CASALS, M. *et al.* Assessing the effectiveness of gamification in reducing domestic energy consumption: lessons learned from the EnerGAware project. **Energy and Buildings**, v. 210, art. 109753, 2020.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2025: ano base 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2025.

FNDE. FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Memorial descritivo**. Disponível em: www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/eixos-de-atuacao/projetos-arquitetonicos-para-construcao. Acesso em: 9 jun. 2019.

GANGOLELLS, M. *et al*. Exploring the potential of a gamifid approach to reduce energy use and carbon emissions in the household sector. **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 3380, 2021.

GIRALDO, J. S.; KOK, K.; PATERAKIS, N. G. A structured review on game-based learning applied to electrical power and energy engineering. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 32, n. 1, p. e22686, 2024.

GONZÁLEZ, E. O. L.; PAPARISTEIDI, N. Active learning vs traditional education: social representations of Computer Science students. **Humanities and Social Sciences Communications**, v. 13, n. 1, p. 60-, 2025.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy technology perspectives**. Paris: IEA, 2016.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The future of cooling: opportunities for energy-efficient air conditioning**. Paris: IEA, 2018.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook 2023**. Paris: IEA, 2023.

JACOB, J.; VAIDYA, P. Phantom Load: an immersive 3D energy detective game. In: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS FOR ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS, CITIES, AND TRANSPORTATION, 12., 2025, Golden, CO. **Proceedings [...]**. Golden, CO: Association for Computing Machinery, 2025. p. 477–481.

LI, W. T. *et al*. Gamification approaches and assessment methodologies for occupants' energy behavior change in buildings: a systematic review. **Buildings**, v. 14, n. 6, p. 1497, 2024.

MENDICELLI, A.; TERENZIO, T. Gamifying sustainable energy education: a serious game approach. **E3S Web of Conferences**, v. 654, p. 05009, 2025.

MORGANTI, L. *et al.* Gaming for Earth: serious games and gamification to engage consumers in pro-environmental behaviours for energy efficiency. **Energy Research & Social Science**, v. 29, p. 95–102, 2017.

ORTIZ-PEÑA, A.; HONRUBIA-ESCRIBANO, A.; GÓMEZ-LÁZARO, E. Electricity consumption and efficiency measures in public buildings: a comprehensive review. **Energies**, v. 18, n. 3, p. 609, 2025.

PAULIUK, S. *et al*. Scenario analysis of supply- and demand-side solutions for circular economy and climate change mitigation in the global building sector. **Journal of Industrial Ecology**, v. 28, n. 6, p. 1699–1715, 2024.

PRINCE, M. Does active learning work? A review of the research. **Journal of Engineering Education**, v. 93, n. 3, p. 223–231, 2004.

REINHART, C. F. *et al*. Learning by playing – teaching energy simulation as a game. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 5, n. 6, p. 359–368, 2012.

UBACHUKWU, E. *et al.* User engagement for thermal energy-efficient behavior in office buildings using dashboards and gamification. **Applied Thermal Engineering**, v. 266, art. 125598, 2025.

WESTERA, W. How people learn while playing serious games: a computational modelling approach. **Journal of Computational Science**, v. 18, p. 32–45, 2017.

WIEDENHOFER, D. *et al.* From extraction to end-uses and waste management: modelling economy-wide material cycles and stock dynamics around the world. **SSRN Electronic Journal**, 2024.

WILKINSON, P. Brief history of serious games. In: **Entertainment Computing and Serious Games**. Cham: Springer, 2016. p. 17–41.

WU, X.; LIU, S.; SHUKLA, A. Serious games as an engaging medium on building energy consumption: a review of trends, categories and approaches. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 8508, 2020.