CDT EFICIENTE: ANÁLISE DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS PARA *RETROFIT* COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ENERGIA RENOVÁVEL

Efficient CDT: Computational Simulation Analysis for Energy-Efficient and Renewable Energy-Oriented Retrofit

Soares, Marco Túlio Bones[1]; Sekeff, Adriana[2]; Góes, Thiago Montenegro[3]; Amorim, Cláudia Naves David[4]; Silva, Caio Frederico e[5]

[1] Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília - DF, Brasil, tulio.boones@gmail.com.
[2] Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília - DF, Brasil, adriana.sekeff@gmail.com.
[3] Universidade de Goiás, Faculdade de Artes Visuais, Goiânia - GO, Brasil, thiago_goes@ufg.br.
[4] Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília - DF, Brasil, clamorim@unb.br.
[5] Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília – DF, Brasil, caiosilva@unb.br.

RESUMO

O artigo apresenta a análise do *retrofit* energético do edifício do Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico (CDT) da Universidade de Brasília (UnB) com o objetivo de transformá-lo em um Edifício de Balanço Energético Nulo (ZEB). A metodologia baseou-se em simulações computacionais realizadas no software DesignBuilder (versão 7.3.0.0.38) para avaliar estratégias passivas e ativas, como controle solar, sistemas eficientes de iluminação e geração de energia renovável. O estudo considerou o clima típico de Brasília. Os resultados indicaram que, após as intervenções, a demanda energética foi reduzida em 42,65%, atingindo-se 139.010,84 kWh/ano, com mais de 90% das horas em conforto térmico, mesmo sem uso de ar-condicionado. A geração de energia estimada foi de 161.850 kWh/ano, superando o consumo e garantindo o balanço energético positivo. O estudo comprova a possibilidade de aplicar soluções sustentáveis em edifícios existentes, evidenciando o potencial do *retrofit* como ferramenta eficaz para a transição energética no ambiente construído. As estratégias adotadas podem ser replicadas em edificações similares, contribuindo para a eficiência energética e sustentabilidade institucional.

Palavras-chave: Edifício de Balanço Energético Nulo; *Retrofit* energético; Eficiência energética; Conforto térmico; Geração de Energia Renovável.

ABSTRACT

The article presents an analysis of the energy retrofit of the Support Center for Technological Development (CDT) building at the University of Brasília (UnB), aiming to transform it into a Zero Energy Building (ZEB). The methodology was based on computer simulations carried out using DesignBuilder software (version 7.3.0.0.38) to evaluate passive and active strategies, such as solar control, efficient lighting systems, and renewable energy generation. The study considered the typical climate of Brasília. The results indicated that, after the interventions, energy demand was reduced by 42.65%, reaching 139,010.84 kWh/year, with more than 90% of the hours within thermal comfort, even without the use of air conditioning. The estimated energy generation was 161,850 kWh/year, exceeding consumption and ensuring a positive energy balance. The study demonstrates the feasibility of applying sustainable solutions to existing buildings, highlighting the potential of retrofit as an effective tool for the energy transition in the built environment. The adopted strategies can be replicated in similar buildings, contributing to energy efficiency and institutional sustainability.

Keywords: *Zero Energy Building; Energy retrofit; Energy efficiency; Thermal comfort; Renewable Energy Generation.*

1 INTRODUÇÃO

A busca pela sustentabilidade tem levado ao desenvolvimento de estratégias que reduzam o consumo energético nos edifícios (Pazouki; Rezaie; Bozorgi-Amiri, 2021). Nesse contexto, os edifícios de balanço energético nulo (*Zero Energy Buildings* - ZEB) surgem como solução para

DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.8157

reduzir a demanda energética no setor, além da geração local de energia renovável, proporcionando um equilíbrio ao longo de um ano (Rey-Hernández *et al*., 2018; D'Agostino; Mazzarella, 2019; Lohwanitchai; Jareemit, 2021; Ohene; Hsu; Chan, 2022).

O conceito de ZEB tem sido progressivamente consolidado como uma oportunidade de mercado no contexto brasileiro, considerando o potencial das edificações em atuarem como microgeradoras de energia. Tal transformação demanda uma abordagem sistêmica da eficiência energética, pautada na integração entre tecnologias de alto desempenho e estratégias bioclimáticas avançadas (Meirelles *et al*., 2023).

O projeto "CDT Eficiente" foi beneficiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) no ano de 2024, e aplica os princípios do ZEB ao edifício do Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico (CDT) da Universidade de Brasília. A edificação, que abriga os Decanatos de Pesquisa e Inovação e de Pós-Graduação, é objeto de estudo de *retrofit* energético com foco na integração soluções tecnológicas e estratégias passivas para aumentar sua eficiência energética (Amorim *et al*., 2018). Este trabalho tem como objetivo definir as melhores estratégias de conservação e eficientização disponíveis em Amorim *et al*. (2018) a serem empregadas na proposta de *retrofit* da edificação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Edifícios de Balanço Energético Nulo (ZEB) vêm se consolidando no Brasil como alternativa sustentável para a redução do consumo energético nos edifícios, buscando equilibrar uso e geração de energia renovável, com especial destaque para o aproveitamento e integração da iluminação natural (Frandaloso, 2023).

O conceito ZEB busca o equilíbrio entre demanda e geração local a partir de fontes renováveis, contribuindo para a sustentabilidade e para a rede elétrica com a exportação de excedentes (D'Agostino & Mazzarella, 2019; Ohene *et al*., 2022). Para alcançar esse objetivo, é essencial integrar três pilares: estratégias passivas, estratégias ativas e geração de energia renovável (Feng *et al*., 2019; Duarte; Rosa-Jiménez, 2022).

As estratégias passivas otimizam o desempenho térmico e luminoso com base nas condições climáticas locais, por meio da ventilação natural, iluminação natural, sombreamento eficiente e uso de materiais com bom desempenho térmico (Rey-Hernández *et al*., 2018; Feng *et al*., 2019; Ohene *et al*., 2022). Já as estratégias ativas envolvem tecnologias eficientes, como iluminação LED, sistemas de climatização avançados e automação com controles inteligentes que ajustam o consumo em tempo real (D'Agostino; Mazzarella, 2019; Lohwanitchai; Jareemit, 2021; Duarte; Rosa-Jiménez, 2022).

Por fim, a incorporação de fontes renováveis, como painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas, é crucial para suprir a demanda restante e gerar excedentes energéticos (Feng *et al*., 2019; Ohene *et al*., 2022). A combinação desses três pilares permite reduzir significativamente o consumo de energia, aumentar a eficiência dos edifícios e contribuir para uma matriz energética mais limpa e resiliente (D'Agostino; Mazzarella, 2019; Ohene, Hsu & Chan, 2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do edifício

O edifício possui dois pavimentos, pátio interno e fachadas principais orientadas no eixo Norte/Sul, com brises na face Norte (Figura 1). A forma retangular e a orientação leste/oeste favorecem a captação de luz natural, sendo considerada ideal (Heywood, 2015 *apud* Amorim *et al*., 2018). A estrutura é metálica, com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos rebocados, e as aberturas utilizam esquadrias do tipo correr.

Figura 1 – Localização do Edifício.



Fonte: *Google Earth* (2023), adaptado pelos autores.

A Tabela 1 apresenta os dados físicos dos componentes existentes na envoltória do edificio.

Tabela 1 – Dados físicos dos componentes existentes na envoltória do edifício.

COMPONENTES DE ENVOLTÓRIA	PARÂMETRO	VALOR
Paredes Alvenaria com argamassa de revestimento	R [m2K/W]	0,43
	U [W/(m2.K)]	2,32
	C_T [kJ/(m2.K)]	168,12
Cobertura Laje maciça com telha metálica	R [m2K/W]	0,56
	U [W/(m2.K)]	1,80
	C_T [kJ/(m2.K)]	169,00
Janelas Vidro simples incolor 6mm [1]	U [W/(m2.K)]	5,82
	FS [(W/W)]	0,81
	Tvis [(W/W)]	0,87

Fonte: NBR 15220; Projeteee; LLumar; adaptado pelos autores (2025).

Quanto à iluminação artificial, utilizam-se lâmpadas LED com potências entre 9,5W e 32W, instaladas principalmente em luminárias embutidas. A densidade de potência instalada (DPI) foi de 10,68 W/m², considerando uma área total de 3338 m². Em relação ao condicionamento de ar, a edificação não possui sistema central, sendo ventilada naturalmente, embora algumas salas e o auditório possuam aparelhos individuais. Foram identificados 27 aparelhos, com variação na eficiência energética (classes A a E), e o coeficiente de desempenho (COP) médio

[1] Dada a indisponibilidade de informações acerca do tipo de película instalada, como também das janelas que possuem a referida película, optou-se, para definição do caso-base, simular o edifício inteiro considerando vidro simples incolor 6mm.

calculado foi de 2,88 (Amorim *et al*., 2018). O uso principal é administrativo e o horário de ocupação considerado foi das 8h às 18h em dias úteis, permanecendo fechada aos fins de semana.

3.2 Simulações computacionais e Balanço Energético

Para a simulação da demanda energética, utilizou-se o *software DesignBuilder* (v. 7.0.38). A análise considerou dados em kWh/ano e em kWh/m².ano para cálculo da Intensidade de Uso Energético (EUI) (Litardo; Hidalgo-Leon; Soriano, 2021). As simulações permitiram estabelecer o caso-base do edifício e estimar sua demanda energética.

Em seguida, simularam-se os 11 cenários com estratégias passivas e ativas (Quadro 1) permitindo analisar seus impactos na demanda energética (Amorim *et al.*, 2018). Por fim, as estratégias foram combinadas e simuladas em um modelo otimizado, com a combinação de todos os cenários testados. Para este fim, considerou-se o arquivo climático de Brasília[2].

Quadro 1 – Estratégias e cenários avaliados.

CENÁRIO	ESTRATÉGIA		OBJETIVO
C1	E1	Implantação de brise vertical ao final do brise horizontal (na parte final do edifício)	Diminuição de carga térmica
C2	E2	Conexão do brise do térreo com o brise do 1º andar	
C3	E3	Proteção horizontal conectando o brise do 1º andar com a fachada (onde não tem cobertura)	
C4	E4	Janela com veneziana (30cm na parte superior)	Diminuição de carga térmica e do ofuscamento
C5	E5	Proteção controlável (persiana interna com transmitância solar de 5% e refletância de 50%)	
C6	E6	Colaboração de película nas janelas que não possuem (fator solar de 0,63 e transmissão luminosa de 0,30)	
C7	E7[3]	Brise horizontal para as salas em que o uso se inicia às 07:30h	
C8	E8	Acrescentar uma camada de 4 cm de poliestireno no telhado metálico	Diminuição da transmitância para U:0,64 W/M²k
C9	V1	Ventilação entre o forro e a laje	Ventilação cruzada
	V2	Mudanças na abertura	
	V3	Implantação de bandeiras volantes sobre as portas	Resfriamento noturno
	V4	Automatização e controle de processos	
C10	PC1	Substituição dos equipamentos de iluminação (lâmpadas)	Diminuir o DPI: 4,1 W/m²
C11	PC2	Substituição dos equipamentos de condicionamento de ar	Diminuir o COP: 3,23

Fonte: Amorim *et al.* (2018), adaptado pelos autores (2025).

[2] BRA_DF_Brasilia.867150_TMYx.2009-2023. Disponível em: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html#IDDF_Distrito_Federal-. Acesso em 05 ago. 24.

[3] O cenário C7 foi desconsiderado neste estudo, por apresentar resultados insignificantes nas análises anteriores.

Para a estimativa de geração de energia renovável, utilizou-se o *software DesignBuilder* (v. 7.3.0.0.38) (Correia; Amorim; Santamouris, 2024). Os módulos utilizados possuem eficiência de 25% e potência de 695W. A inclinação adotada seguiu a inclinação da cobertura (Cronemberger; Caamaño-Martín, 2020). Por fim, foi realizado o balanço energético com base na comparação entre a demanda energética simulada e a estimativa de geração anual de energia, conforme metodologia da IEA, utilizando a métrica de usos finais de energia versus geração *in loco* (Costa; Amorim; Silva, 2020; IEA, 2013).

4 RESULTADOS

4.1 Desempenho Energético

A Tabela 2 apresenta os resultados da demanda energética simulada para o Caso-Base, cenários e estratégias analisadas, como também o modelo otimizado.

Tabela 2 – Demanda Energética Simulada e Intensidade de Uso Energético.

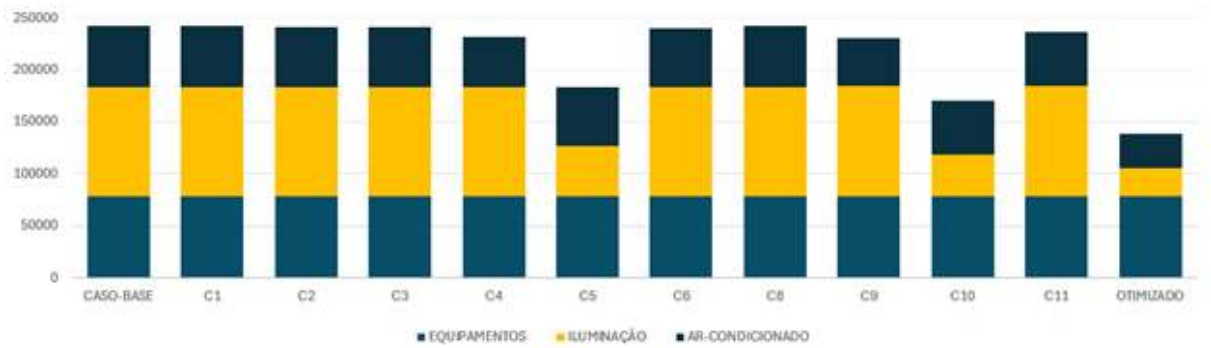
CENÁRIO	DEMANDA ENERGÉTICA SIMULADA TOTAL (KWH/ANO)	INTENSIDADE DE USO ENERGÉTICO (KWH/M².ANO)	REDUÇÃO (%)
CASO-BASE	242394,32	72,62	-
C1	242357,84	72,61	0,02%
C2	241340,92	72,30	0,43%
C3	241234,79	72,27	0,48%
C4	231360,39	69,31	4,55%
C5	184055,69	54,14	24,07%
C6	240266,71	71,98	0,88%
C7	-	-	-
C8	242068,17	72,52	0,13%
C9	230310,93	69,00	4,99%
C10	170770,30	51,16	29,55%
C11	236166,53	70,75	2,57%
OTIMIZADO	139010,84	41,64	42,65%

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O impacto limitado das estratégias com brises extras em aberturas já protegidas se deve à redução marginal da radiação solar direta, que já é em grande parte bloqueada pelos brises existentes, otimizados para as horas de maior incidência solar, tornando a adição redundante. Além disso, esses elementos têm efeito restrito quando os ganhos térmicos provêm de fontes como ventilação inadequada, ganhos internos ou condução por superfícies não sombreadas.

Por outro lado, intervenções na iluminação artificial demonstraram maior impacto na redução do consumo energético. A adoção de lâmpadas eficientes, sensores de presença e sistemas de controle automático permite uma economia direta e mensurável. Quando combinadas à iluminação natural com sensores de luminosidade, essas estratégias reduzem ainda mais a demanda energética, promovendo eficiência e conforto com menor dependência de luz artificial durante o dia (Litardo *et al*., 2020; Correia; Amorim; Santamouris, 2023). A Figura 2 apresenta a demanda energética simulada por usos finais.

Figura 2 – Demanda energética simulada por usos finais.



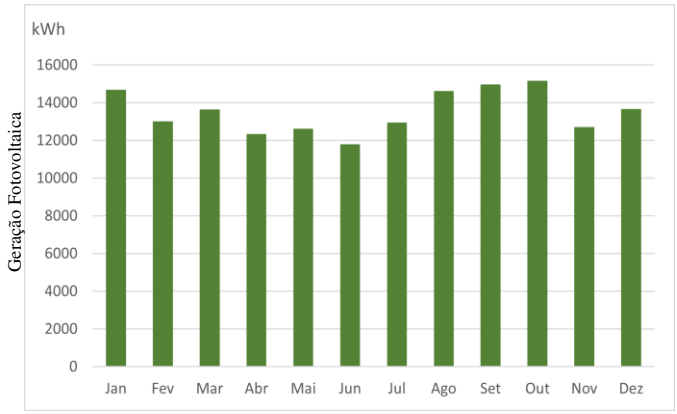
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4.2 Geração de Energia Renovável e Balanço Energético

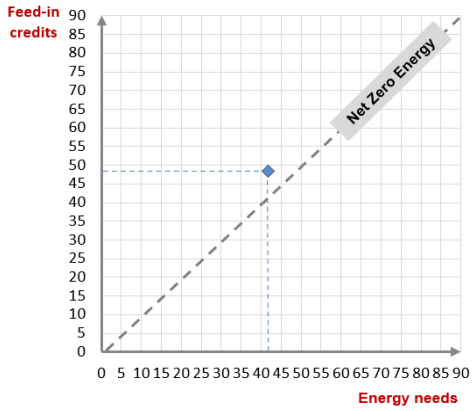
Estima-se uma geração anual de energia (Figura 3) de aproximadamente 161.850 kWh/ano. Esse valor reflete o potencial energético do edifício, contribuindo para o alcance das metas de balanço energético estabelecidas no projeto.

Figura 3 – Geração de Energia Renovável e Balanço Energético.

Estimativa de Geração de Energia Renovável



Balanço Energético



Fonte: *DesignBuilder,* adaptado pelos autores (2025).

O balanço energético nulo foi alcançado, uma vez que a produção de energia anual estimada, 48,48 kWh/ano.m², supera as necessidades energéticas do edifício, que totalizam 41,64 kWh/ano.m². Esse excedente indica que o edifício não apenas atende à sua própria demanda, mas também possui capacidade para gerar energia adicional, contribuindo para a sustentabilidade e autossuficiência energética.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise indicou que a demanda energética simulada do edifício CDT é impactada principalmente pelos sistemas de iluminação, que representam 41% do consumo total no caso-base, frente a 26% do ar-condicionado e 33% dos equipamentos gerais. Após a otimização, a demanda foi reduzida de 242.394,32 kWh/ano para 139.010,84 kWh/ano,

resultando em uma redução de 42,65%. Quanto à geração de energia renovável, o edifício é capaz de produzir cerca de 161.850 kWh/ano, alcançando um balanço energético positivo.

Os estudos demonstraram que, com a aplicação de estratégias passivas e intervenções voltadas à eficiência energética, é possível atingir esse desempenho, evidenciando a viabilidade técnica do *retrofit* com foco em edificações de balanço energético nulo (ZEB) e reforçando o potencial de transformação de edifícios existentes em modelos de alta performance ambiental. Além disso, a metodologia foi adaptada e replicada em 41 prédios similares da própria universidade, no contexto da pesquisa "ZEB – *Zero Energy* Brasília" realizada pelo Laboratório da Conforto Ambiental e Eficiência Energética – LACAM/UnB, o que destaca a escalabilidade interna das soluções propostas e amplia as oportunidades de melhoria sustentável em outras edificações no campus.

Contudo, o estudo apresenta limitações relevantes. A ausência de uma análise de custos impede avaliar a viabilidade econômica das intervenções, restringindo sua aplicação em contextos com limitações orçamentárias. Também não houve monitoramento *in loco* das condições ambientais após as simulações, o que poderia validar ou ajustar os resultados obtidos. Além disso, não foram consideradas possíveis variações climáticas futuras nem os custos de manutenção das soluções adotadas, fatores que podem impactar o desempenho a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Apoio à Pós-graduação (PROAP) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

ASHRAE. ASHRAE handbook fundamentals: Si edition. Amer Society of Heating, 2017.

AMORIM, C. N. D. *et al*. CDT-UnB: Relatório de Viabilidade de *Retrofit* para Transformação em Net-ZEB. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13240.42244. Acesso em: 01 ago. 2024

CORREIA, C. M. A.; AMORIM, C. N. D.; SANTAMOURIS, M. Use of Passive Cooling Techniques and Super Cool Materials to Minimize Cooling Energy and Improve Thermal Comfort in Brazilian Schools. Available at SSRN, 2023. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4655986

D'AGOSTINO, D.; MAZZARELLA, L. What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions. Journal of Building Engineering, 21, 200-212. 2019. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.019.

DUARTE, D. C.; ROSA-JIMÉNEZ, C. Cost-optimal nZEB reform strategies and the influence of building orientation for Mediterranean university buildings: case study of the University of Málaga. Heliyon, v. 8, n. e09020, 2022. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09020.

FENG, W.; ZHANG, Q.; JIA, H.; WANG, R.; ZHOU, N.; YE, Q.; HAO, B.; LI, Y.; LUO, D.; & LAU, S. S. Y. A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 114. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109303.

FRANDOLOSO, M. A. L.; JÚNIOR, S. M.; BRIÃO, V. B. Daylighting Contribution to Reach a Zero Energy Building in Southern Brazil. 1 jan. 2023.

LITARDO, J.; PALME, M.; HIDALGO-LEON, R.; AMOROSO, F.; SOARIANO, G. Energy Saving Strategies and On-Site Power Generation in a University Building from a Tropical Climate. Applied Sciences.; v. 11, n.542, 2021. http://dx.doi.org/10.3390/app11020542.

MEIRELLES, C. R. *et al.* Os Edifícios ZEB - zero energia na arquitetura contemporânea. **Contribuciones a las ciencias sociales**, [*s. l.*], v. 16, n. 7, p. 6052–6065, 2023.

OHENE, E.; CHAN, A. P. C.; DARKO, A. Review of global research advances towards net-zero emissions buildings. Energy and Building, v. 266, 2022. doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112142.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico. Disponível em: <http://www.cdt.unb.br>.