



Artigo de Revisão

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v19n22025p305-324

Submetido em: 17 set. 2025

Aceito em: 02 dez. 2025

.....

Simulações computacionais como ferramentas estratégicas no planejamento energético urbano: Uma abordagem pedagógica na graduação

Computer simulations as strategic tools in urban energy planning: A pedagogical approach in undergraduate education

Simulaciones computacionales como herramientas estratégicas en la planificación energética urbana: Un enfoque pedagógico en la educación de pregrado

Ingrid Stephanie de Moraes  <https://orcid.org/0009-0003-6097-4413>

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Doutoranda em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável pela UFMG.

E-mail: ing.moraes92@gmail.com

Rejane Magiag Loura  <https://orcid.org/0000-0002-7048-8035>

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Doutorado em Ciências Técnicas Nucleares pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professora Associada da Universidade Federal de Minas Gerais.

E-mail: rejane79@ufmg.br

Resumo: Este artigo aborda a experiência pedagógica adquirida em uma disciplina de graduação focada em simulações aliadas ao planejamento energético urbano. Áreas de duas cidades brasileiras foram estudadas no City Energy Analyst, programa criado pela ETH Zürich que lida com aspectos energéticos e urbanos simultaneamente. Para as simulações, utilizou-se uma das bases originais do programa destinada a países quentes, denominada SG, e a recém-criada base brasileira (BR), fruto de uma dissertação. A disciplina introduz os alunos ao Planejamento Energético Urbano e simulações, além de aplicar BR de forma prática. Como metodologia, a disciplina de 30 horas apresentou uma abordagem teórico-prática. Sensibilizações ao *software* e explanação de conceitos pertinentes foram feitas. Simulações de demanda energética e potenciais de fontes de energia foram executadas, com resultados apresentados para um representante da ETH Zürich. Conclui-se que a disciplina atingiu seus objetivos didáticos, constatando também o potencial do CEA no Brasil e da base brasileira criada.

Palavras-chave: Simulação. Planejamento Energético Urbano. Docência.

Abstract: This article discusses the pedagogical experience acquired in a 30-hour undergraduate module focused on simulations allied with urban energy planning. Areas of two Brazilian cities were studied using City Energy Analyst, a tool developed by ETH Zürich that addresses energy and urban aspects simultaneously. For the simulations, one of the program's original databases designed for hot countries, called SG, and the newly created Brazilian database (BR), a product of a Master's dissertation, were used. The students were introduced to Urban Energy Planning and simulations, with a practical application of BR. The module presented a theoretical-practical approach as its methodology. Test simulations with CEA and the explanation of relevant concepts were done. Simulations on energy demand and potential energy sources were conducted, with results presented to an ETH Zürich researcher. It is concluded that the module achieved its educational goals, assessing the potential of BR and CEA in Brazil.

Keywords: Computer simulation. Urban Energy Planning. Teaching.

Resumen: Este artículo aborda la experiencia pedagógica adquirida en una asignatura de grado enfocada en simulaciones aplicadas a la planificación energética urbana. Se estudiaron áreas de dos ciudades brasileñas utilizando el *City Energy Analyst*, un programa desarrollado por la ETH Zürich que aborda simultáneamente aspectos energéticos y urbanos. Para las simulaciones, se emplearon una de las bases originales del programa destinadas a países cálidos (SG) y la recientemente creada base brasileña (BR), resultado de una tesis de maestría. La asignatura introduce a los estudiantes en la planificación energética urbana y en el uso de simulaciones, además de aplicar de forma práctica la base BR. Como metodología, la asignatura de 30 horas presentó un enfoque teórico-práctico. Se realizaron actividades de familiarización con el software y la exposición de conceptos relevantes. Se ejecutaron simulaciones de demanda energética y de potenciales de fuentes de energía, cuyos resultados fueron presentados a un representante de la ETH Zürich. Se concluye que la asignatura cumplió con sus objetivos pedagógicos, constatándose también el potencial del CEA en Brasil y de la base brasileña desarrollada.

Palabras clave: Simulación. Planificación Energética Urbana. Docencia.

1 Introdução

O presente artigo aborda a experiência didática em uma disciplina de graduação focada em aliar simulações computacionais ao planejamento energético urbano, conceito que pode propiciar a ampliação da descarbonização do parque edificado brasileiro. O potencial do *software* utilizado, o City Energy Analyst (CEA), é discutido e a criação de uma base de dados brasileira para esse programa, desenvolvida como produto de uma dissertação, é destacada. O principal objetivo deste trabalho é discutir, no contexto da graduação, o processo de ensino-aprendizagem de uma ferramenta digital voltada ao planejamento energético urbano.

1.1 O conceito de Planejamento Energético Urbano ou Urban Energy Planning (UEP)

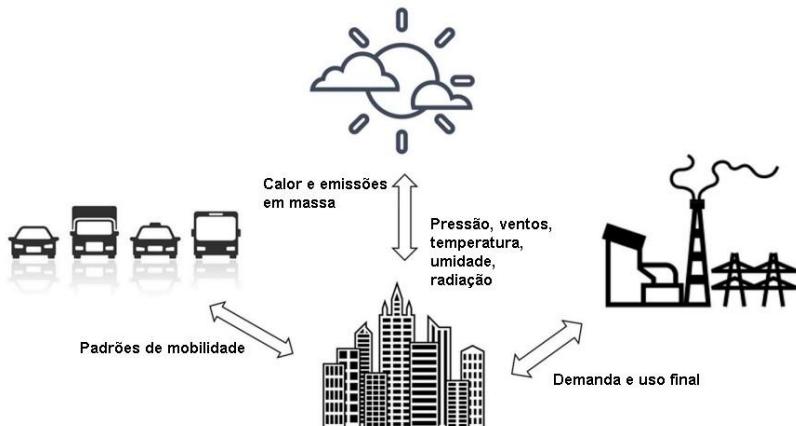
O processo de urbanização é um dos maiores desafios deste século, sobretudo diante da crise climática e da necessidade de um uso mais sustentável de fontes de energia (Hong *et al.*, 2020). Na escala urbana, as cidades contribuem com mais de 80% do PIB mundial, mas também respondem por 70% das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) (Nações Unidas, 2023). Edificações consomem até 70% da energia primária global e as cidades utilizam mais de 2/3 da energia mundial. Decisões ligadas à energia e à infraestrutura vão diferenciar espaços urbanos resilientes daqueles com precariedade estrutural (Hong *et al.*, 2020). Isso terá impacto direto e imediato em mais de 50% da população mundial que habita áreas urbanas atualmente e tenderá a se intensificar devido a expectativa de que, até 2050, esse número chegue a 70%. (Nações Unidas, 2023). Esse contexto demanda esforço intenso para que as cidades se tornem um espaço ativo de descarbonização da economia.

Segundo Michael Mann, o conceito de descarbonização pode ser sintetizado como o processo de diminuição das emissões de carbono, principalmente na forma de dióxido de carbono (CO₂). A descarbonização é considerada a "espinha dorsal" de qualquer estratégia para mitigação das mudanças climáticas e o aumento das emissões de GEEs é responsável pelo agravamento dos impactos ambientais atualmente observados. A transição para fontes de energia mais limpas e renováveis, bem como a melhoria da

eficiência energética e a eletrificação dos processos industriais, são formas cruciais para melhoria desse cenário (Vaccani, 2024). Essa contextualização e a representatividade das cidades no que tange emissões e demanda energética destacam a crescente relevância do planejamento energético em escala urbana.

Mencionado pela primeira vez em 1978, o *Urban Energy Planning* (Planejamento Energético Urbano, em português) aborda a unidade harmônica entre o planejamento urbano e o energético, envolvendo as vantagens e desafios de ambos simultaneamente. Trata-se de uma maneira relevante de abordar os problemas e oportunidades atuais para melhoria no planejamento urbano considerando estratégias de sustentabilidade e eficiência energética (Collaço, 2019). O correto planejamento de sistemas de energia urbanos contribui para o processo de tomada de decisão e para ações que atendam a demanda energética local (Jing *et al.*, 2021). A Figura 1 ilustra a interação entre o ambiente construído e outros sistemas urbanos, sendo um deles o de energia.

Figura 1. Interações entre edificações e sistemas de transporte, clima urbano e rede de energia local



Fonte: Hong *et al.* (2020). Adaptado pelas autoras.

Propostas voltadas ao planejamento energético em áreas urbanas têm ganhado um caráter de emergência (Santos *et al.*, 2022). Há uma oportunidade de reestruturação de políticas públicas baseadas em estratégias de sustentabilidade, como o uso de tecnologias energeticamente mais eficientes em edificações e iluminação (Grotter, 2022 *apud* Santos *et al.*, 2022). A gestão do consumo de energia é citada como uma das bases para uma urbanização sustentável, onde a interação de fatores socioeconômicos e de morfologia urbana, por exemplo, podem auxiliar a um planejamento eficiente do ponto de vista energético (Ulçar e Buldurur, 2020 *apud* Santos *et al.*, 2022). Algo importante a ser mencionado, entretanto, é o fato de que a integração entre planejamento urbano e planejamento energético é um processo atualmente marcado pela ausência de uma metodologia específica (Santos *et al.*, 2022).

As formas atuais de planejamento urbano mais frequentes têm intensificado as emissões e o consumo de energia, enquanto o planejamento energético visa o oposto: aumentar a produção de energia e minimizar impactos com o aumento da eficiência. No contexto do UEP, é essencial conciliar os desafios e as forças de ambas as áreas. Entre os aspectos que o influenciam, destacam-se a densidade urbana e uso do solo, o transporte, a demanda energética e a cobertura vegetal (Collaço, 2019). O planejamento urbano pode abrir

oportunidades para geração de energia limpa e auxiliar na previsão de conflitos em áreas ocupadas por outras funções econômicas, como a agricultura (Guo *et al.*, 2020; Kayima, 2023 *apud* Gomes e Barros, 2023). No entanto, para uma transição embasada em fontes renováveis, as formas de planejamento atuais precisarão ser modernizadas, já que recursos de origem solar, eólica e resíduos são distribuídos em nível local (Collaço, 2015 *apud* Siqueira e Bermann, 2020). Ao aliar as duas esferas de forma harmoniosa, o UEP pode reduzir a emissão de GEEs, otimizar a demanda de energia local, promover redução das injustiças socioambientais e garantir a segurança energética. O poder público, gestores e criadores de legislações nas esferas municipal, estadual e federal são atores indispensáveis para sua implementação (Collaço, 2019). A fim de evitar uma nova crise energética em escala nacional, é imperativo que tal planejamento atinja todos os níveis administrativos e apoie-se em políticas públicas (Zawadzki, 2021 *apud* Gomes e Barros, 2023).

Dentre os obstáculos para a implementação do UEP no Brasil, cita-se o desconhecimento por parte das cidades de seus sistemas energéticos, do perfil de oferta de energia e do potencial local de recursos energéticos (Collaço e Bermann, 2021). Há, ainda, uma desconexão entre políticas de energia e legislações urbanas: no contexto brasileiro, enquanto a formulação de diretrizes energéticas ocorre em âmbito federal (IEA; EPE; MME, 2021), a regulamentação territorial é de competência municipal. Collaço (2019) argumenta que, em decorrência dessa desarticulação, a política energética nacional não consegue abranger as forças e os impactos de aplicação do planejamento energético em nível local.

Modelos urbanos de energia buscam explorar oportunidades para abordar os desafios trazidos pelas formas atuais de urbanização, mudanças climáticas e a necessidade do uso mais sustentável de energia e recursos naturais. Isso é possível através da combinação de dados gerados em cidades com novas ferramentas de simulação energética (Hong *et al.*, 2020).

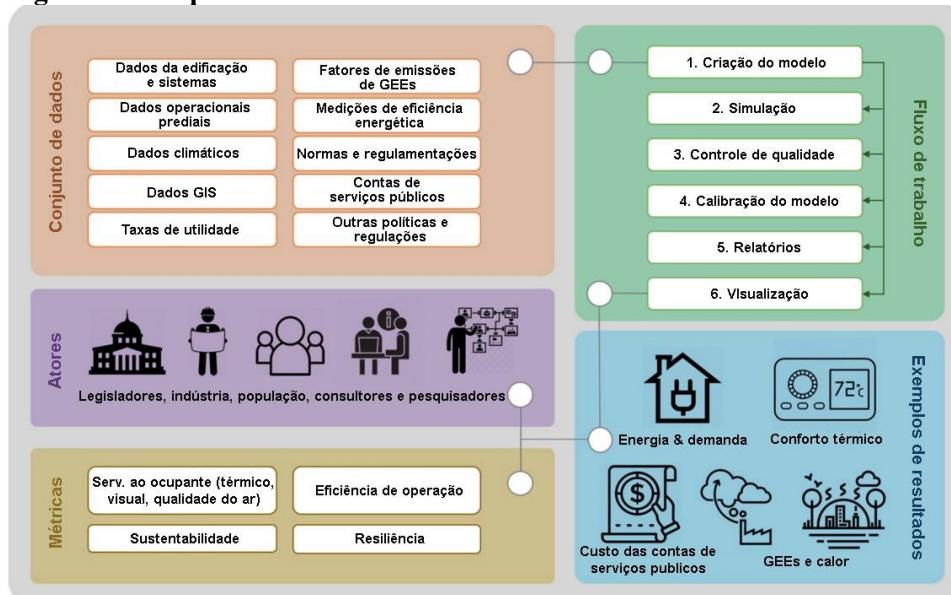
1.2 Simulações como ferramentas de planejamento

O uso de ferramentas digitais para realizar simulações na escala da edificação iniciou-se na década de 60, com as primeiras tendo foco no desempenho energético da envoltória. O escopo se expandiu e permitiu estudos que envolviam aspectos como ventilação, iluminação e aquecimento (Gonçalves e Bode, 2015 *apud* Nascimento e Rocha, 2023). Simulações computacionais para avaliar o desempenho de edificações permite que o usuário analise soluções de forma integrada, contribuindo para a tomada de decisão e propiciando a comparação de alternativas antes do início das obras (Nascimento e Rocha, 2023).

Já no contexto do planejamento energético urbano, a modelagem é uma estratégia útil desde a década de 70 (Nakata, 2004 *apud* Collaço, 2019). Cenários de simulação, por exemplo, buscam criar uma visualização da geração e demanda energética baseada no sistema descrito para o local (Collaço, 2019). Quando a modelagem computacional é feita na escala urbana e envolve um grupo de edificações com o objetivo de avaliar seu desempenho, dá-se o nome de *Urban Building Energy Modeling* ou UBEM (Hong *et al.*, 2020). A

Figura 2 ilustra componentes de crucial importância para esse ecossistema, que envolve bases de dados, atores/stakeholders, métricas de análise, fluxo de trabalho estruturado e dados de saída como demanda energética, conforto térmico e emissões de GEEs (Hong *et al.*, 2020).

Figura 2. Componentes-chave do ecossistema UBEM



Fonte: Hong *et al.* (2020). Adaptado pelas autoras.

A geometria de um edifício é um dos fatores determinantes para seu desempenho (Samuelson *et al.*, 2016 *apud* De Souza *et al.*, 2021), provando que projetistas são responsáveis por diversas decisões que influenciam o consumo de energia da edificação (AIA, 2019 *apud* De Souza *et al.*, 2021). Como aspecto negativo, grande parte das decisões ligadas ao desempenho é tomada tarde no processo projetual, o que compromete sua eficácia e obriga projetistas a dependerem de tecnologias de alto custo para solucionar problemas (Nembrini; Samberger; Labelle, 2014; Samuelson *et al.*, 2016 *apud* De Souza *et al.*, 2021).

Outro aspecto negativo diz respeito à familiaridade com ferramentas de simulação energética, que poderiam auxiliar no processo de planejamento e tomadas de decisão. O número de profissionais da construção civil que utilizam tais ferramentas é reduzido, pois muitos não tiveram contato com elas na graduação e não possuem uma base teórica sólida para interpretar os resultados (Nascimento e Rocha, 2023). Quanto aos profissionais em formação, o ensino de desempenho da construção durante a graduação é de considerável relevância (De Souza *et al.*, 2021), pois torna-se uma oportunidade de sensibilizar os alunos quanto ao tópico e conciliar a teoria à prática. Há, inclusive, experiências relatadas na literatura nas quais simulações computacionais são inseridas em disciplinas voltadas ao conforto ambiental de edifícios (Nascimento e Rocha, 2023), à eficiência energética (De Souza *et al.*, 2021) e ao planejamento energético na escala urbana (Moraes, 2024).

No contexto de simulações nas escalas predial e urbana, ferramentas digitais podem traduzir, através de dados, a ocorrência de fenômenos e suas consequências. Contudo, para conseguir utilizá-las corretamente,

é imprescindível que o projetista possua uma sólida base teórica sobre as variáveis envolvidas (Gonçalves e Bode, 2015 *apud* Nascimento e Rocha, 2023). Alguns exemplos de ferramentas de simulação nas duas escalas mencionadas são compilados no Quadro 1.

Quadro 1. Exemplos de softwares de simulação disponíveis no mercado

SOFTWARE	ESCALA	PLATAFORMA	ACESSO	PÚBLICO	EXEMPLOS DE ANÁLISES
CEA	Urbana	Desktop/Web	Gratuito	Arquitetos, urbanistas, autoridades locais, etc.	Radiação solar; demanda energética; emissões; custo; potencial de energia renovável; sistemas de abastecimento; otimização.
ENVI-met		Desktop	Pago	Arquitetos, urbanistas, universidades, autoridades, estudantes, etc.	Cenários climáticos urbanos; análises ambientais de cidades, edificações e espaços verdes; fluxos de radiação de onda curta e longa; temperaturas de superfícies e paredes; troca de calor.
SimScale		Web	Pago	Similar aos anteriores	Aerodinâmica da edificação; conforto térmico interno e externo; conforto de ventos do pedestre; impactos do vento em edificações e áreas urbanas.
Townscope		Desktop	Pago		Radiação solar; conforto térmico humano em áreas abertas; parâmetros meteorológicos; visibilidade.
Urban Microclimate		Desktop	Gratuito	Similar ao anterior	Efeitos da morfologia urbana e geometria no conforto térmico e consumo de energia; impactos do efeito de Ilhas de Calor; temperatura urbana por hora, umidade.
EnergyPlus	Edificação	Desktop	Gratuito		HVAC; análises de conforto térmico; eficiência energética; simulações de carga térmica, etc.
Climate Studio		Desktop	Pago		Análises climáticas; estudos de insolação e sombras; análise de iluminação natural; vistas de qualidade; iluminação artificial; modelagem energética; conforto térmico; ventilação natural; energia renovável.
OpenStudio		Desktop (Plug-in)	Gratuito		Modelagem energética usando o EnergyPlus; análises avançadas de iluminação natural usando o Radiance; análises térmicas; HVAC.

Design Builder	Desktop	Pago	Iluminação natural; simulação energética; HVAC; custos; análises para certificação, etc.
Sefaira	Plug-in	Pago	Demandas de energia; emissões; conforto térmico; iluminação natural; HVAC; custos.
Green Building Studio	Cloud	Pago	Simulações de eficiência energética; emissões de carbono; otimização; uso de água e energia, etc.
IES VE	Desktop	Pago	HVAC; modelagem energética da edificação; luz natural e projeto de iluminação artificial; atendimento à regulamentações dos EUA e Canadá; simulação de fluxo de ar.

Fonte: Morais (2024). Adaptado pelas autoras.

O consumo de energia em edificações representa uma considerável parte da demanda energética urbana. Contudo, é imprescindível que os edifícios não sejam tratados como elementos isolados, e sim que a influência exercida pela morfologia urbana no consumo e no potencial de uso de energias renováveis também seja considerada. A conformação urbana pode alterar aspectos como temperatura, velocidade e direção dos ventos, o que também influencia no balanço energético interno das edificações. O sombreamento mútuo entre edifícios impacta a distribuição da radiação solar e afeta o consumo de energia para iluminação e resfriamento, além de interferir na aplicação e eficiência de alternativas de energias renováveis em edificações, sobretudo a de origem solar. Pensar nos edifícios de forma isolada exclui a relevância das construções do entorno, prejudicando a simulação energética de forma significativa (Wu e Liu, 2023).

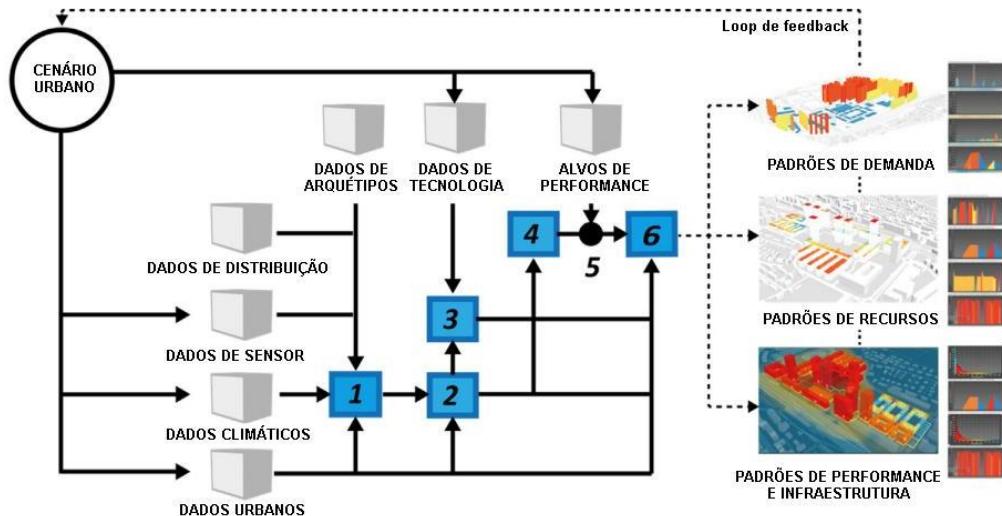
Estudos como o de Wu e Liu (2023) demonstram de forma prática a utilização de simulações computacionais para avaliar a correlação entre parâmetros urbanos e a produção e demanda de energia local. Para fomentar a utilização de ferramentas como as mencionadas no Quadro 1 na graduação, recomenda-se a escolha de *softwares* de baixa complexidade e fácil acesso (Souza *et al.*, 2021 *apud* Nascimento e Rocha, 2023), sugestão que reforça a escolha do CEA como simulador energético urbano ideal para a disciplina abordada neste artigo.

1.3 O potencial do City Energy Analyst (CEA)

Criado por pesquisadores da ETH Zürich em 2013, o CEA é um programa gratuito e de código aberto que lida com aspectos de planejamento energético e urbano simultaneamente. Ele possui uma interface gráfica intuitiva, o que o diferencia de outras ferramentas disponíveis, ainda que estas tenham usos e escalas distintas. O CEA permite analisar e otimizar sistemas de energia em bairros e cidades (Fonseca *et al.*, 2016), além de viabilizar estudos de demandas e fornecimento de energia para edificações em escala distrital (Hong *et al.*,

2020). Também integra métodos e dados para simular o desempenho energético de edificações, potenciais locais de produção de energia e outros tipos de análises multicritério. A Figura 3 ilustra o *framework* do *software*, onde o número 1 corresponde ao módulo de demanda; o 2, ao de potencial de recursos; o 3 indica o módulo de tecnologia de sistemas; o 4 refere-se à otimização de sistemas; o 5, o módulo de decisão, e o 6 corresponde ao módulo de análise espaço-temporal (Fonseca *et al.*, 2016).

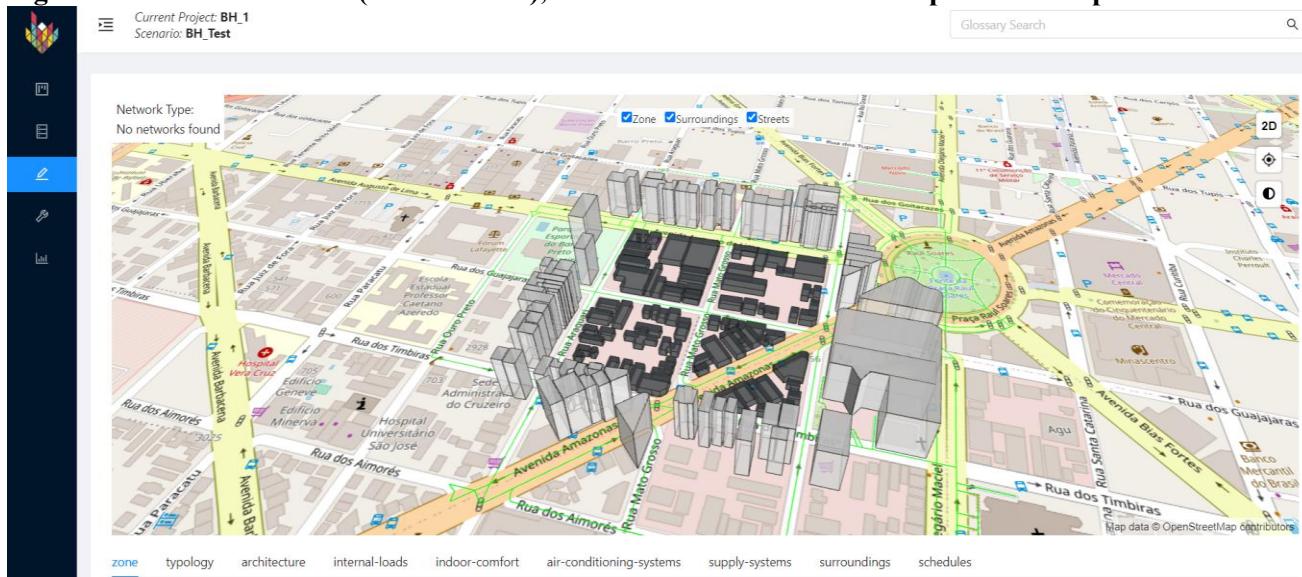
Figura 3. Framework do CEA



Fonte: Fonseca *et al.* (2016). Adaptado pelas autoras.

A partir de dados de entrada configurados pelo usuário - como a delimitação da área de estudo (com volumetria retirada do *OpenStreetMap*) e de seu entorno, escolha de arquivos climáticos, caracterização de edificações quanto a quesitos construtivos, de uso, ocupação e condicionamento de ar - o CEA produz resultados abrangendo variáveis como radiação solar, demanda energética, potenciais de produção de energia de diversas fontes, emissões, entre outras. De acordo com Johari *et al.* (2020), ele foi capaz de produzir a combinação mais abrangente entre UBEM e modelos urbanos. Parte de sua interface é ilustrada pela Figura 4, onde é possível ver como a volumetria 3D é representada, bem como a organização das abas inferiores, onde a área de estudo é caracterizada em aspectos como arquitetura e sistemas de condicionamento de ar.

Figura 4. Interface do CEA (versão 3.34.2), com volumetria retirada do OpenStreetMap



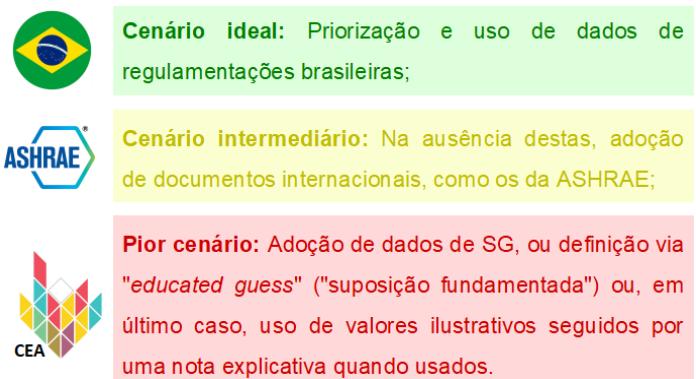
Fonte: As autoras.

O CEA é uma ferramenta com potencial para auxiliar tomadas de decisão em processos de retrofit, na melhoria do desempenho energético urbano e no estudo de potenciais de energia (Fonseca *et al.*, 2016). Atualmente, ele apresenta duas versões: a Web, hospedada no site do programa, e a Desktop (City Energy Analyst, 2024). Quanto aos dados de entrada para caracterização de cenários, a ferramenta apresenta duas fontes de informação: arquivos climáticos obtidos gratuitamente no site *Climate One Building* ou criados pelo usuário, e sua base de dados própria.

Sobre a última, a versão utilizada na disciplina (3.34.2) oferece a base suíça, definida pela sigla CH (*Confoederatio Helvetica*, antigo nome da nação em latim), voltada para países de clima temperado, e a SG (*Singapore*), destinada a países de clima quente. Na versão 3.37, houve a inclusão da base alemã DE (*Deutschland*). As bases do CEA são compostas pelas pastas *Archetypes*, *Assemblies* e *Components*, que reúnem informações sobre sistemas construtivos, rotinas de ocupação conforme o uso, definições para condicionamento artificial de ar, equipamentos para geração de energia elétrica e/ou térmica, além de fontes de energia (City Energy Analyst, 2024).

A primeira base brasileira para o CEA, denominada BR, foi produzida por Morais (2024) com o objetivo de aproximar o *software* do contexto do país sem realizar alterações nos códigos do *software*, priorizando dados locais sempre que disponíveis e recorrendo a fontes externas apenas quando necessário. A Figura 5 ilustra três táticas adotadas durante a criação da base BR.

Figura 5. Táticas para criação da base BR



Fonte: As autoras.

Com sua primeira versão destinada às cidades de Belo Horizonte, Matinhos e outras com cenários urbanos e energéticos semelhantes, BR mantém a mesma estrutura das bases originais para garantir a compatibilidade com o CEA, mas com conteúdo majoritariamente baseado em fontes de dados brasileiras. As duas versões criadas por Morais (2024) para o CEA 3.34.2 e 3.37.x obtiveram registro concedido pelo CTIT-UFMG (Coordenadoria de Transferência e Inovação Tecnológica) em março de 2025.

Durante a pesquisa de Morais (2024), notou-se que ainda há espaço para uma maior aproximação entre o CEA e contextos brasileiros com maior complexidade socioeconômica, o que dificultou sua plena articulação para responder a questões urbanas e energéticas relevantes no Brasil, mesmo com a base BR. Essa aproximação precisaria ser feita, dessa vez, por meio da proposição de alterações nos códigos da ferramenta. Além disso, aspectos relativos a algumas informações inseridas na base BR foram pontuados, como a ausência de dados de emissões incorporadas em sistemas construtivos, devido a incompatibilidade de unidades adotadas pelo CEA (kgCO_2/m^2) e por documentos brasileiros (kgCO_2eq - quilos de dióxido de carbono equivalente). Tal situação justifica a ausência de simulações de emissões na disciplina. Contudo, vale ressaltar que essa lacuna já está sendo abordada por pesquisadora vinculada à mesma instituição de ensino onde a base foi criada.

Além do apontado por Morais (2024), não se pode perder de vista que a complexidade urbana, geográfica e socioeconômica de cidades latino americanas traz obstáculos para a formulação de políticas públicas verdadeiramente sustentáveis (Santos *et al.*, 2022) e, consequentemente, para o planejamento energético em cidades. Os desafios urbanos nesses territórios envolvem aspectos como a busca por financiamento, ações para redução das emissões de GEEs, estratégias de adaptação e mitigação dos impactos das mudanças climáticas, bem como meios para atingir a sustentabilidade urbana (Olabi; Abdelkareem, 2022 apud Santos *et al.*, 2022). Por isso, interessou a essa experiência didática explorar distintos contextos urbanos como uma tentativa de observar o comportamento do software nas distintas realidades brasileiras.

2 Procedimentos metodológicos

Este artigo adotou o estudo de caso como método, por meio da descrição de uma experiência didática na graduação. A estrutura do texto visa apresentar, inicialmente, um embasamento teórico sobre os principais pilares norteadores da disciplina. Em seguida, detalha-se o módulo em si, enfatizando sua origem e estruturação. As atividades em sala são descritas e os obstáculos encontrados durante o processo, discutidos. Por fim, destacam-se os principais aprendizados da experiência, bem como as potencialidades do uso do CEA no Brasil e da existência de uma base brasileira pronta para aplicação.

2.1 Caracterização da disciplina: Origem, público e estruturação

Originada a partir da pesquisa de Morais (2024), a disciplina, com carga horária de 30 horas, promoveu discussões sobre a integração entre os planejamentos urbano e energético no contexto brasileiro. O conteúdo lecionado na disciplina é apresentado no Quadro 2 e sua concepção, bem como condução, foi realizada de forma colaborativa pelas autoras.

Quadro 2. Estruturação da disciplina em sua 1^a oferta, no 1º semestre de 2024

DATA	HORÁRIO	LÍNGUA	CONTEÚDO
15/03	14h - 17h20	Português	Aula 1 - Apresentação da disciplina. Conceitos de energia
22/03	14h - 17h20	Português	Aula 2 - Teoria sobre o CEA. Sensibilização prática
05/04	14h - 17h20	Português	Aula 3 - Base de dados do CEA: contextualização e relevância
12/04	14h - 17h20	Português	Aula 4 - Teoria sobre o OpenStreetMap; momento prático de modelagem
19/04	14h - 17h20	Português	Aula 5 - Apresentação da base BR e testes práticos com a mesma
26/04	14h - 17h20	Português	Aula 6 - Prática - Simulações e suporte
03/05	14h - 17h20	Português	Aula 7 - Orientações para organização dos resultados das simulações
10/05	14h - 17h20	Inglês	Aula 8 - Seminário com participação virtual de pesquisador da ETH Zürich

Fonte: As autoras.

Através de aulas teóricas e práticas, buscou-se sensibilizar os alunos de graduação sobre o uso do CEA e incentivá-los a desenvolver seu pensamento crítico acerca de simulações computacionais aplicadas ao planejamento energético urbano. Procurou-se, ainda, discutir de forma analítica os resultados obtidos nas simulações e a complexidade do CEA. Exceto pelas aulas 1 e 8, os demais encontros foram de natureza teórico-prática com predominância da segunda abordagem. Na primeira hora das aulas 2 a 7, um embasamento teórico foi fornecido sobre o tópico do dia, juntamente com descrição dos produtos esperados. O tempo remanescente era destinado a atividades práticas, com apoio das autoras sempre que solicitado.

Para as fases práticas e o seminário, a turma de 24 alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo foi dividida em quatro grupos, compostos por 5 ou 7 integrantes, sendo cada equipe responsável por uma das

quatro áreas de estudo (Figura 6). A variação no número de membros por equipe foi motivada pela diferença dos níveis de complexidade entre as regiões, que ia desde a escassez de dados disponíveis até a ausência de tais áreas urbanas modeladas para simulação. As áreas de estudo surgiram inicialmente da pesquisa de Morais (2024) e foram selecionadas como exemplos da realidade brasileira que ilustram desigualdades socioeconômicas refletidas no tecido urbano, em cidades de portes distintos: Belo Horizonte e Matozinhos, ambas em Minas Gerais.

Figura 6. Delimitação das áreas de estudo



Fonte: OpenStreetMap (adaptado pelas autoras).

A figura anterior ilustra, da esquerda para direita, parte dos bairros de Lourdes (BH1) e Céu Azul (BH2), em Belo Horizonte; bem como parte da área central (MTZ1) e do bairro Bom Jesus (MTZ2), em Matozinhos. A análise desses recortes permitiu avaliar a capacidade do CEA em responder a diferentes contextos locais presentes no Brasil. Ressalta-se que, posteriormente, Morais (2024) optou por empregar três das quatro áreas originalmente definidas (BH1, BH2 e MTZ1) em suas simulações devido à ausência de resposta dada pelo CEA para realidades urbanas mais informais. Em média, cada uma das quatro regiões abrange de 12 a 14 quarteirões. O Quadro 3 compila informações para uma breve caracterização qualitativa das áreas estudadas, feita via *Google Maps*. As siglas de identificação usadas para cada recorte foram empregadas durante a disciplina e na pesquisa de Morais (2024).

Quadro 3. Caracterização qualitativa das áreas de estudo da disciplina

ÁREA	CARACTERÍSTICAS
Recorte Lourdes (BH1)	Região adensada e consolidada no centro da cidade, com edificações majoritariamente de grande porte, padrão construtivo médio a alto e usos diversos. Área integra o que é comumente definido como “cidade formal”, ou seja, a parte do tecido urbano onde há ampla legalidade fundiária, infraestrutura urbana disponível e concentração de investimentos públicos e privados (ARQFUTURO; Laboratório de Cidades, 2020). A cidade em questão dispõe de grande quantidade de dados.
	Região com menos adensamento, edificações de menor porte, baixo padrão construtivo e uso predominantemente residencial que está passando por mudanças no padrão de ocupação. Apresenta características típicas de “cidade informal”, representada por

Recorte Céu Azul (BH2)	loteamentos irregulares, residências autoconstruídas e edificações erguidas sem acompanhamento técnico (ARQFUTURO; Laboratório de Cidades, 2020).
Recorte Centro de Matozinhos (MTZ1)	Área com densidade urbana mais alta e que sofre maior pressão imobiliária na cidade, embora as edificações sejam predominantemente de pequeno porte (até 2 pavimentos). Localizada em cidade com limitada disponibilidade de dados.
Recorte Bom Jesus (MTZ2)	Região semelhante ao bairro Céu Azul quanto ao porte e à tipologia construtiva predominante. Porém, área apresenta baixa ocupação dos terrenos e grande potencial de adensamento. Situada na mesma cidade de MTZ1.

Fonte: As autoras.

Em termos climáticos, Belo Horizonte e Matozinhos apresentam similaridades devido à sua proximidade geográfica (PBH, 2017; Prefeitura de Matozinhos, 2017). Na esfera urbana, as maiores diferenças observadas concentram-se, sobretudo, em aspectos construtivos (diversidade de usos, altimetria, formalidade das edificações) e na densidade urbana, tópicos abordados com diferentes graus de detalhamento pelo CEA.

Além do simulador energético, também foram ministradas práticas com o *OpenStreetMap*, plataforma online colaborativa e de acesso gratuito, da qual foram extraídas as volumetrias das edificações. Os alunos dos grupos de Matozinhos e Céu Azul - áreas até então inexistentes na ferramenta - executaram a modelagem para posterior uso nas simulações. Como dados de entrada, foram utilizados tanto arquivos climáticos (Quadro 4) quanto as bases de dados do próprio CEA.

Quadro 4. Arquivos climáticos (EPW) utilizados durante a disciplina, por área

ÁREA	NOME DO ARQUIVO CLIMÁTICO
BH1	Belo Horizonte - Carlos Prates
BH2	Belo Horizonte - Pampulha
MTZ1 e MTZ2	Belo Horizonte - Confins

Fonte: As autoras.

Quanto aos dados nativos do CEA, simulações foram rodadas com as bases SG (original) e BR (nova) em todas as áreas. Os principais objetivos foram, em primeiro lugar, avaliar a relevância de uma base brasileira para simulações na escala da cidade e verificar a sensibilidade do CEA em detectar diferenças urbanas e energéticas entre Brasil e Singapura. Buscou-se, ainda, sensibilizar os alunos quanto às variáveis relevantes no planejamento energético urbano. O Quadro 5 apresenta os itens analisados nas áreas de estudo.

Quadro 5. Variáveis analisadas em todos os conjuntos de simulação (CEA versão 3.34.2)

ABAS	SCRIPTS	PROpósito
	<i>Archetypes mapper</i>	Designa propriedades de edificações e sistemas

<i>Data Management (Input)</i>	<i>Weather helper</i>	Define arquivo climático
	<i>Surroundings helper</i>	Extrai volumetria de entorno do OpenStreetMap
	<i>Terrain helper</i>	Define topografia com uma elevação específica
	<i>Streets helper</i>	Extrai vias do OpenStreetMap
<i>Demand Forecasting (Output)</i>	<i>Building solar radiation</i>	Calcula radiação solar de um determinado cenário
	<i>Building schedules</i>	Define rotinas de ocupação
	<i>Building energy demand</i>	Calcula demanda energética das edificações
<i>Energy potentials (Output)</i>	<i>Photovoltaic-thermal panels</i>	Calcula produção de energia elétrica e térmica de painéis híbridos
	<i>Photovoltaic panels</i>	Calcula produção de energia elétrica de painéis fotovoltaicos
	<i>Solar collectors</i>	Calcula produção de energia térmica de coletores solares
	<i>Shallow geothermal potential</i>	Apesar de não serem representativas nas áreas estudadas por envolverem retirada de energia térmica destas fontes, elas foram incluídas para traçar comparação de resultados entre as duas bases.
	<i>Water body potential</i>	
	<i>Sewage heat potential</i>	

Fonte: Morais (2024). Adaptado pelas autoras.

As variáveis e caracterização dos dados construtivos foram definidas pelos grupos através de observação das realidades urbanas de suas respectivas áreas. Algumas informações iniciais disponíveis nos *scripts* mencionados, como largura da faixa do entorno, foram determinadas por valores padrão do CEA, buscando simplificar parte da configuração. O seminário final foi conduzido em língua inglesa devido à participação remota de um representante da ETH Zürich, membro da equipe desenvolvedora do CEA. Além dele, houve também a presença de duas representantes da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) e do CEFET-MG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais).

3 Discussões

As aulas 2 a 7 contemplaram momentos expositivos intercalados com atividades práticas, buscando oferecer uma base teórica aos discentes. Com o objetivo de familiarizar a turma com a interface e formas de configuração do CEA antes de iniciar as simulações das áreas de estudo, um exercício prático de sensibilização foi proposto focando primariamente no entendimento da estrutura e funcionamento do simulador, e não na coleta de dados numéricos. Nesse exercício, um pequeno recorte do centro de Belo Horizonte foi utilizado, para o qual foram definidos dados construtivos, informações sobre sistemas de condicionamento de ar, fontes de energia e eletricidade, e tecnologias para geração de energia solar. Notou-se que, apesar de possuir uma

interface amigável, o processo de utilização do CEA não foi intuitivo de forma unânime. O nível de experiência prévia individual com simulações influenciou neste quesito.

Em um dos momentos teóricos, a estrutura da base SG foi apresentada e uma comparação teórica entre ela e a base BR foi feita, enfatizando algumas diferenças entre os dados utilizados em cada uma - como, por exemplo, os relativos à matriz energética - e como certas variáveis podem possuir relevância distinta de acordo com o território abordado - como a estanqueidade de sistemas construtivos, por exemplo. Enfatizou-se, ainda, a importância da utilização de dados de entrada de qualidade para obtenção de resultados compatíveis. Como mencionado na metodologia, além do CEA, o OpenStreetMap também foi utilizado de forma complementar para modelar as áreas que ainda não estavam disponíveis para simulação (no caso, BH2, MTZ1 e MTZ2). Em todos os momentos práticos com o OpenStreetMap e CEA, as autoras ofereceram suporte contínuo aos discentes, auxiliando na resolução de dúvidas e eventuais erros detectados.

Após a modelagem das áreas faltantes, as simulações puderam ser iniciadas. Cada grupo deveria considerar dois tipos de cenários: o atual e uma proposição futura a partir de definições de parâmetros urbanísticos feitas por eles, envolvendo dados como taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, área mínima de unidade habitacional, área permeável, etc. Outro ponto de diferenciação entre cenários foi a definição de painéis fotovoltaicos mono e policristalinos para geração de energia solar nas edificações.

O seminário final, conduzido em inglês, estruturou-se a partir das apresentações dos grupos, seguidas por momentos de perguntas com o representante da ETH Zürich. Na ocasião, os discentes tiveram a oportunidade de responder aos questionamentos, pontuar dificuldades e os resultados encontrados em cada área analisada. Para a apresentação e a subsequente interação em inglês, cada grupo designou um integrante que demonstrasse maior proficiência e segurança na utilização da referida língua. Após a finalização deste primeiro momento, uma discussão foi guiada em português entre os participantes presenciais, onde os principais aprendizados e desafios da disciplina foram abordados. O Quadro 6 resume alguns pontos fortes e obstáculos encontrados, sobretudo no que diz respeito à utilização do CEA pelos alunos.

Quadro 6. Resumo sobre pontos fortes e obstáculos enfrentados durante as aulas

AULA	PONTOS FORTES	PRINCIPAIS OBSTÁCULOS
1 (T)	Não se aplica. CEA não foi usado de forma prática.	
2 (T/P)	Exercício de sensibilização auxiliou no entendimento inicial do CEA, focando primeiramente em entender como a ferramenta está estruturada e quais análises ela permite.	Apesar de possuir interface mais amigável do que outros exemplos de programas no mercado, o CEA não se mostrou intuitivo para todos. Erros também foram detectados.
3 (T/P)	Apresentação da estrutura de uma das bases originais do CEA, ilustrando dados lidos por ele.	Não foram detectados obstáculos representativos.

4 (T/P)	A plataforma <i>OpenStreetMap</i> se mostrou de fácil manuseio e, de forma geral, os alunos não relataram grandes dificuldades ao utilizá-la.	Não foram detectados obstáculos representativos.
5 (T/P)	As bases BR e SG foram expostas e comparadas em alguns aspectos, o que facilitou a visualização por parte dos alunos das várias diferenças entre elas - não em sua estrutura, mas em seu conteúdo.	Durante as simulações com as áreas de estudo, erros foram identificados e posteriormente solucionados mediante assessoria em sala. Tais erros foram originados tanto por falhas do próprio <i>software</i> quanto por inserção equivocada de dados de entrada por parte dos discentes. Essa situação consumiu considerável tempo em sala, o que interferiu no desenvolvimento do trabalho por parte de algumas equipes.
6 (T/P)	A assessoria em sala ajudou de forma importante na resolução de dúvidas dos discentes nas simulações.	
7 (T/P)	Aula teórica sobre organização de resultados, esclarecendo sobre os produtos esperados para o seminário e a forma de exposição.	
8 (T)	Não se aplica. Seminário final.	

Fonte: As autoras.

Nota: “T” refere-se a aula “Teórica” e “T/P” a uma aula “Teórico-prática”. Negrito sinaliza ênfase dada em sala.

Sobre os resultados dos trabalhos apresentados no seminário, observou-se em dois casos valores iguais para a saída “*Building Energy Demand*”, independente da base utilizada. Outro *output* incomum foi observado em relação a base BR ter alcançado valores mais elevados do que a SG para saídas como a “*Energy End Use*”. De forma preliminar, supõe-se que tais fragilidades estejam relacionadas com possíveis erros por parte dos alunos durante a configuração dos dados de entrada ou no momento de seleção da base. Embora o CEA possua limitações, conforme apontado por Morais (2024), o tipo de simulação realizado não permite indicar que os erros observados tenham relação com fragilidades do *software*. Nos outros dois grupos foram encontradas as discrepâncias previstas devido às diferenças nos dados técnicos entre SG e BR.

Conforme observado em Morais (2024), o *software* se mostrou incapaz de retornar resultados para saídas como “*Energy Balance*” em edificações consideradas informais, presentes, por exemplo, nos recortes BH2 (Céu Azul) e MTZ2 (Bom Jesus). Pelo viés do planejamento urbano, as quatro áreas estudadas representam uma compilação de cenários distintos presentes em diversas cidades brasileiras: de um lado, recortes urbanos consolidados e mais adensados, com acesso satisfatório à infraestrutura e maior formalidade construtiva; do outro, regiões não planejadas, menos populosas e com certa defasagem de infraestrutura urbana, ainda passíveis de sofrer alterações morfológicas e, por consequência, suscetíveis à maior especulação imobiliária. Essa diversidade de contextos foi proposital para instigar os alunos a entender complexidades distintas deste exercício de integração de planejamento urbano com aspectos do planejamento energético. Ficou evidente que o aumento de densidade populacional tem impacto direto no aumento da demanda energética. Contudo, foi possível perceber que é possível pensar em elevação de densidade populacional mantendo a capacidade de produção de energia termossolar e fotovoltaica em geração distribuída local, desde que se garanta acesso ao sol e espaço de cobertura. Desde modo, a relevância e a interferência de parâmetros

urbanísticos como altimetria das construções, coeficiente de aproveitamento e afastamentos (frontal, fundo e lateral) ficou patente em relação a geração *on-site*. A necessidade de se garantir área livre de cobertura para instalação de painéis fotovoltaicos foi uma variável que se mostrou essencial e que raramente está no radar dos planejadores urbanos. Os estudantes foram capazes de perceber que, em contextos de incentivo à geração *on-site*, é fundamental pensar em medidas para evitar a produção de edificações com uso de lazer no último pavimento, seja ele do condomínio ou de uma unidade habitacional.

Quanto à disciplina em si, notou-se que a combinação entre a baixa familiaridade de alguns discentes com o tema de simulações e os erros detectados durante os momentos práticos consumiram tempo considerável das aulas, causando atraso na obtenção de dados por alguns grupos. Por outro lado, muitos enalteceram a integração de teoria e prática na disciplina, além do suporte dado pelas autoras. A abordagem do Planejamento Energético Urbano e do CEA como uma ferramenta de suporte para decisões foi elogiada. Alguns alunos, entretanto, sugeriram mais tempo para os momentos teóricos e para alcançar um maior aprofundamento nas simulações, enquanto outros propuseram a inclusão de exemplos reais de propostas de intervenções urbanas originadas a partir das análises de simulações.

4 Considerações finais

O presente artigo relatou a estruturação e a experiência pedagógica obtida em disciplina de graduação oferecida no primeiro semestre de 2024, discutindo o processo de ensino-aprendizagem de uma ferramenta digital voltada ao planejamento energético urbano. A entrega de resultados promissores por parte da turma incentivou a continuação da disciplina nos semestres posteriores. Além disso, houve um amadurecimento do pensamento crítico dos alunos quanto ao uso de simulações energéticas na escala urbana. A caracterização das áreas de estudo foi realizada de forma clara e concisa, criando contexto satisfatório para discussão dos resultados, sobretudo considerando o convidado externo. Apesar de possuir um conteúdo teórico e prático extenso para 8 aulas, os objetivos da ementa foram alcançados. Destaca-se como contribuição a primeira aplicação prática da base BR, comprovando sua robustez. A participação de um convidado estrangeiro também foi um ganho, propiciando aos alunos uma experiência para além dos limites da sala de aula.

Erros encontrados durante o percurso foram um dos obstáculos da disciplina, consumindo tempo considerável das aulas. Não obstante, notou-se que as dificuldades antes presentes foram superadas pelos alunos com o uso contínuo do CEA. Ressalta-se que empecilhos do tipo são relativamente comuns em simulações computacionais, aspecto reforçado aos discentes como parte natural do aprendizado e do primeiro contato com o tema. Para futuras ofertas da disciplina, cogita-se ampliar o foco nas aulas sobre configuração dos dados de entrada, sobretudo se os alunos não tiverem familiaridade com o tópico.

O CEA demonstrou potencial relevante de aplicação no Brasil, especialmente em estudos de radiação e análises de tecnologias para geração de energia solar. Entretanto, ainda há necessidade de maior aproximação

entre o programa e alguns cenários brasileiros, sobretudo quanto à caracterização das matrizes energética e elétrica nacionais, bem como das edificações da chamada “cidade informal” - aspectos que ilustram diferenças encontradas entre realidades urbanas e energéticas de países desenvolvidos e em desenvolvimento. Embora o contato inicial com o CEA não tenha sido unanimemente intuitivo por parte dos alunos, é inegável que sua interface é consideravelmente mais amigável do que a de outros programas disponíveis no mercado. Aliado ao acesso gratuito, isso favorece a ampliação no número de usuários e uma maior adesão à ferramenta, especialmente por uma parcela fundamental no contexto do Planejamento Energético Urbano: os órgãos públicos. A existência de uma base brasileira para o CEA representa uma tentativa de aproxima-lo de cenários urbanos e energéticos nacionais sem realizar alterações nos códigos do *software*, ampliando sua adesão dentro de instituições governamentais locais, empresas e universidades. Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se investigar de forma aprofundada as razões pelas quais o programa não demonstrou sensibilidade a cenários com construções informais.

O CEA é um exemplo de ferramenta com atributos para apoiar a tomada de decisão em processos de planejamento energético urbano. No Brasil, configura-se como um aliado oportuno para gestores e planejadores urbanos na formulação de políticas públicas. Capacitar futuros arquitetos e urbanistas ainda na graduação é um dos pontos-chave para aumentar a qualificação e consciência dos profissionais que atuarão na escala urbana.

Referências

ARQFUTURO; LABORATÓRIO DE CIDADES. **Guia temático - Cidades: principais conceitos para entender o ambiente urbano.** 33 p., 2020. Disponível em: <https://shre.ink/Mfmf>. Acesso em: 9 abr. 2025.

CITY ENERGY ANALYST. ***City Energy Analyst - Homepage***. 2024. Disponível em: <https://www.cityenergyanalyst.com/>. Acesso em: 18 mai. 2024.

COLLAÇO, F. M. A.. **Sinergias entre o Planejamento Energético e o Planejamento Urbano: Estudo de caso do Sistema de Energia Urbano da megaciade de São Paulo.** Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Energia e Meio Ambiente, Universidade de São Paulo. São Paulo, 233 p., 2019. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-09082019-134637/publico/FC.pdf>. Acesso em: 03 jul 2023.

COLLAÇO, F. M. A.; BERMANN, C.. **Potencialidades do Planejamento Energético Local na redução da desigualdade na cidade de São Paulo.** Ambiente & Sociedade. São Paulo, v. 24, p. 1-16, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Flavia-Collaco/publication/355439174_Potencialidades do Planejamento Energetico Local na reducao da desigualdade na cidade de Sao Paulo/links/617056d0c10b387664c3effe/Potencialidades-do-Planejamento-Energetico-Local-na-reducao-da-desigualdade-na-cidade-de-Sao-Paulo.pdf. Acesso em 18 set. 2024.

DE SOUZA *et al.*. **Ensino de simulação termoenergética em edificações: Um estudo de caso com estudantes de arquitetura.** XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 10 p.,

Palmas - TO, 2021. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4483/3390>. Acesso em: 30 set., 2024.

FONSECA *et al.*. *City Energy Analyst (CEA): Integrated framework for analysis and optimization of building energy systems in neighborhoods and city districts*. Energy and Buildings, v. 113, p. 202-226, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815304199>. Acesso em: 08 set. 2023.

GOMES, J. B.; BARROS, V. G.. **Cenário e políticas do Planejamento Energético: Energia solar e as necessidades do Planejamento Territorial**. Revista de Ciências da Administração (Especial): Summit Cidades, Portal de Periódicos da UFSC, p. 1-17, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/adm/article/view/96280/55106>. Acesso em: 18 set. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Atlas da Eficiência Energética Brasil | 2022 - Relatório de indicadores*. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-741/Atlas_Eficiencia_Energetica_Brasil_2022.pdf. Acesso: 03 jul 2023.

HONG *et al.*. *Ten questions on urban building energy modeling*. Building and Environment, v. 168, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132319307206>. Acesso em: 08 set. 2023.

JING *et al.*. *Planning urban energy systems adapting to extreme weather*. Advances in Applied Energy, v. 3, 10 p., 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792421000457?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=8c44d0c3bf8d26dc. Acesso em: 16 set. 2024.

JOHARI *et al.*. *Urban building energy modeling: State of the art and future prospects*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 128, 16p., 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120301933?ref=cra_js_challenge&fr=RR-1. Acesso em: 10 set. 2023.

MORAIS, I. S.. *Suitability Study of the City Energy Analyst software in the Brazilian Context*. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Escola de Arquitetura e Design, Universidade Federal de Minas Gerais. 211 p. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/79071>. Acesso em: 10 fev. 2025.

NAÇÕES UNIDAS. **É o momento das cidades: Não há saída sem investimento em desenvolvimento sustentável**. Nações Unidas Brasil. 13 Novembro de 2023. Disponível em: <https://shre.ink/MgiW>. Acesso em: 9 abr. 2025.

NASCIMENTO, A. C. S., ROCHA, A. P. A. **Aplicação de simulação computacional de desempenho ambiental de edifícios no processo de projeto**. Caderno PAIC - Programa de Apoio à Iniciação Científica, v. 24, n. 1, 21 p., 2023. Disponível em: <https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/537>. Acesso em: 30 set., 2024.

OPENSTREETMAP. Welcome to OpenStreetMap! - Homepage. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org/#map=18/-19.92294/-43.94718>. Acesso em: 18 mai. 2024.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Estudo realiza medição de altitudes em Belo Horizonte.** Notícias, 2017. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/estudo-realiza-medicao-de-altitudes-em-belo-horizonte>. Acesso em: 20 mai. 2024.

PREFEITURA DE MATOZINHOS. **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Matozinhos - MG.** 603 p. 2017. Disponível em: [https://matozinhos.mg.gov.br/uploads/arquivo/Plano-Municipal-de-Saneamento-Basico-\(PMSB\)-de-Matozinhos.pdf](https://matozinhos.mg.gov.br/uploads/arquivo/Plano-Municipal-de-Saneamento-Basico-(PMSB)-de-Matozinhos.pdf). Acesso: 20 mai. 2024.

SANTOS *et al.*. Eficiência energética e planejamento urbano frente às mudanças climáticas: uma revisão sistemática. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA, 2. 2022, Vitória. **Anais [...].** Vitória: UFES, 2022. p. 673-682. ISBN: 978-989-53626-0-8. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/366673747_Eficiencia_energetica_e_planejamento_urbano_frente_as_mudancas_climaticas uma_revisao_sistematica. Acesso em: 18 set. 2024.

SIQUEIRA, A. M. Q.; BERMANN, C.. **Fundamentos do Planejamento Energético centralizado e do descentralizado.** Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, v. 26, n. 1, p. 33-44, 2020. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/561>. Acesso em: 18 set. 2024.

VACCANI, J. T.. **Estratégias e impactos da descarbonização para o desenvolvimento sustentável.** [Notícia]. São Paulo: IEE-USP, 28 de agosto de 2024. Disponível em: <https://www.iee.usp.br/noticia/estrategias-e-impactos-da-descarbonizacao-para-o-desenvolvimento-sustentavel/>. Acesso em: 5 out. 2025.

WU, P.; LIU, Y.. **Impact of Urban Form at the Block Scale on Renewable Energy Application and Building Energy Efficiency.** Sustainability, v. 15, n. 14, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/11062?utm>. Acesso em: 5 out. 2025.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa por meio do projeto CNPq 408037/2023-7.