

EDITORA



**UnB**

# **Simulação, Ambiente e Energia no Espaço Construído**

**Caio Frederico e Silva, Gustavo de Luna Sales,  
Joára Cronemberger e Vanda Alice Garcia Zanoni  
(Organizadores)**



Pesquisa,  
Inovação  
& Ousadia



**Universidade de Brasília**

**Reitora**  
**Vice-Reitor**

Márcia Abrahão Moura  
Enrique Huelva

EDITORA



**UnB**

**Diretora**

Germana Henriques Pereira

**Conselho editorial**

Germana Henriques Pereira (Presidente)  
Fernando César Lima Leite  
Beatriz Vargas Ramos Gonçalves de Rezende  
Carlos José Souza de Alvarenga  
Estevão Chaves de Rezende Martins  
Flávia Millena Biroli Tokarski  
Jorge Madeira Nogueira  
Maria Lidia Bueno Fernandes  
Rafael Sanzio Araújo dos Anjos  
Sely Maria de Souza Costa  
Verônica Moreira Amado

EDITORA



**UnB**

# **Simulação, Ambiente e Energia no Espaço Construído**

Caio Frederico e Silva, Gustavo de Luna Sales,  
Joára Cronemberger e Vanda Alice Garcia Zanoni  
(Organizadores)



Pesquisa,  
Inovação  
& Ousadia

**Coordenadora de produção editorial**  
**Preparação e revisão**

**Equipe editorial**

Luciana Lins Camello Galvão  
Alexandre Vasconcellos de Melo

© 2018 Editora Universidade de Brasília

Direitos exclusivos para esta edição:  
Editora Universidade de Brasília  
SCS, quadra 2, bloco C, nº 78, edifício OK,  
2º andar, CEP 70302-907, Brasília, DF  
Telefone: (61) 3035-4200  
Site: [www.editora.unb.br](http://www.editora.unb.br)  
E-mail: [contatoeditora@unb.br](mailto:contatoeditora@unb.br)

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser armazenada ou reproduzida por qualquer meio sem a autorização por escrito da Editora.

Esta obra foi publicada com recursos provenientes do Edital DPI/DPG nº 2/2017.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília

---

S614            Simulação, ambiente e energia no espaço construído /  
                         organizadores, Caio Frederico e Silva ... [et al.]. – Brasília :  
                         Editora Universidade de Brasília, 2020.  
                         284 p. ; 23 cm. – (Pesquisa, inovação & ousadia).

ISBN 978-65-5846-043-5

1. Simulação computacional. 2. Desempenho energético. 3.  
Sustentabilidade. I. Silva, Caio Frederico e (org.). II. Série.

CDU 72

---

# Sumário

<b>Prefácio</b> .....	7
<i>Otto Ribas</i>	
<b>Apresentação</b> .....	9
<b>Parte 1: Inputs – conforto, vento e luz</b>	
<b>Capítulo 1.</b> Simulação do clima urbano do Distrito Federal: experimentando o ENVI-met .....	17
<i>Caio Frederico e Silva e Marta Adriana Bustos Romero</i>	
<b>Capítulo 2.</b> Caracterização de dados e arquivos climáticos de Brasília para simulação higrotérmica.....	55
<i>Vanda Alice Garcia Zanoni e José Manoel Morales Sánchez</i>	
<b>Capítulo 3.</b> Ferramentas para a simulação de ventilação natural na Arquitetura .....	99
<i>Gustavo de Luna Sales e Marta Adriana Bustos Romero</i>	
<b>Capítulo 4.</b> Qualidade da luz natural e ferramentas para o projeto arquitetônico .....	127
<i>Júlia Teixeira Fernandes e Cláudia Naves David Amorim</i>	

## **Parte 2: Outputs – ambiente construído e energia**

**Capítulo 5.** Irradiação solar: ferramenta de análise para o uso de energia solar fotovoltaica em edifícios no Brasil ..... 173

*Joára Cronemberger e Estefanía Caamaño-Martín*

**Capítulo 6.** Análise do balanço energético de casa pré-fabricada ZEB em Brasília ..... 215

*Larissa Sudbrack e Cláudia Naves David Amorim*

**Capítulo 7.** Considerações sobre uma pauta para governança da eficiência energética ..... 259

*Tássia Fonseca Latorraca, Raquel Naves Blumenschein e  
Maria Vitória Duarte Ferrari*

# Apresentação

A arquitetura e o urbanismo cumprem um papel de destaque perante os desafios atuais impostos pela sociedade quanto à sustentabilidade na construção civil. Nesse contexto, o controle do espaço construído, alcançado pela implementação das mais diversas estratégias de projeto, encontra bases sólidas nas diversas questões projetuais. Os temas perpassam a governança e a gestão energética, o aproveitamento de fontes renováveis de energia, o desempenho adequado dos materiais e sistemas construtivos associados ao design de projetos, condizentes com as especificidades locais.

Embora o controle ambiental não seja sinônimo de sustentabilidade, insere-se neste cenário como condição essencial para atingi-la, ou seja, é um tema relevante no cenário latente da crise energética persistente no Brasil, especialmente com os eventos de alterações climáticas que ameaçam as cidades e os reservatórios que abastecem as hidrelétricas. A busca pela mitigação ambiental instiga ainda mais as universidades, convocando-as para a construção de abordagens mais sustentáveis. Para a aplicação das estratégias de controle ambiental, faz-se necessário o entendimento de métodos, técnicas e tecnologias que auxiliam as melhores tomadas de decisão.

O livro aborda as dimensões metodológicas, tecnológicas e conceituais, relacionadas com os aspectos energético, higratérmico e lumínico, apresentando como pano de fundo o uso e a aplicação de programas de simulação computacional, diagramas e ferramentas simplificadas para os estudos analíticos e aplicados ao espaço construído em diferentes contextos climáticos.

O objetivo do livro é o de instrumentalizar estudantes, arquitetos, engenheiros, construtores e gestores públicos, apresentando ferramentas, *softwares*, metodologias e conhecimento inovador que contribuam com a produção mais qualificada do espaço construído. A obra está estruturada em duas partes: “*Inputs* – conforto, vento e luz” e “*Outputs* – ambiente construído e energia”, totalizando sete capítulos.

Na primeira parte, o leitor encontra capítulos que se dedicam aos *inputs* ambientais e climáticos, utilizados pelas ferramentas computacionais. Estes capítulos são:

Capítulo 1 – “Simulação do clima urbano do Distrito Federal: experimentando o ENVI-met’”: apresenta a ferramenta alemã de simulação computacional, *software* ENVI-met, mostrando o seu potencial enquanto programa de análise do microclima urbano. Para tanto, o capítulo apresenta o Distrito Federal (DF) subdividido em três mesorregiões climáticas e apresenta simulações de conforto térmico que determinam três categorias de três comportamentos microclimáticos para o clima do DF do Brasil. Por fim, o capítulo estabelece diretrizes para o conforto bioclimático urbano no contexto climático de Brasília.

Capítulo 2 – “Caracterização de dados e arquivos climáticos de Brasília para simulação higrotérmica””: apresenta a caracterização das variáveis climáticas e dos arquivos climáticos utilizados nas simulações computacionais para análise higrotérmica. Com base no banco de dados climáticos horários registrados pela estação automática A001 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), apresentam-se os dados para a cidade de Brasília (DF). Ao longo do capítulo, a caracterização climática permite avaliar a intensidade (valores médios, máximos e mínimos) e a frequência de ocorrência das variáveis climáticas, em seu comportamento cíclico e sazonal ao longo do ano. Os estudos visam estabelecer uma base referencial para a seleção de dados e análise de sensibilidade.

Capítulo 3 – “Ferramentas para a simulação de ventilação natural na Arquitetura””: aborda as principais características dos programas de simulação do comportamento e quantificação da ventilação natural. A abordagem dessas ferramentas de auxílio ao processo de projeto se torna fundamental para que o profissional



determine as diretrizes de projeto mais eficazes, tendo em vista a qualidade do ar e o conforto térmico passivo no espaço construído. O uso dessas ferramentas possibilita a identificação de problemas e potencialidades, tanto na escala urbana quanto no nível dos ambientes do edifício. O domínio dessas ferramentas é muito importante, uma vez que tais problemas e potencialidades podem interferir diretamente na qualidade ambiental e no consumo energético desses espaços.

Capítulo 4 – “Qualidade da luz natural e ferramentas para o projeto arquitetônico”: traz a discussão sobre a complexidade dos estudos de iluminação, justamente pela necessidade de avaliar várias dimensões, simultaneamente. Enquanto os pesquisadores são os que investigam e compreendem o comportamento da luz, são os arquitetos que projetam os espaços, embora sejam os usuários que recebem os impactos diretos, positivos ou negativos. O conceito de Qualidade da Iluminação pauta-se na integração entre desempenho visual, conforto visual, eficiência energética, qualidade da vista externa e satisfação do usuário. Apresenta-se a simulação computacional como um dos principais métodos de avaliação da iluminação natural, método este que contribui para a prática na concepção do projeto, facilitando a compreensão do problema e a melhoria dos resultados.

Na segunda parte, o leitor encontrará os capítulos dedicados aos *outputs* qualitativos e quantitativos, perpassando as áreas de produção de energia solar fotovoltaica; edificação de balanço energético nulo; e tece considerações sobre governança energética. Esta parte é composta pelos capítulos:

Capítulo 5 – “Análise do balanço energético de casa pré-fabricada ZEB em Brasília”: traz a análise de uma casa pré-fabricada de balanço energético nulo no contexto climático de Brasília, sendo apresentados o seu potencial de produção de energia elétrica, as estratégias passivas e a eficiência energética, com especial foco nos materiais construtivos. O capítulo apresenta, ainda, uma análise de diferentes combinações de materiais opacos para cobertura e paredes, feita por meio de simulações computacionais termoenergéticas com o programa *DesignBuilder*, e os resultados são avaliados de acordo com a norma *The American Society of Heating*,

*Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) 55*, de modo a identificar quais dessas combinações oferecem maior conforto térmico aos usuários, e quais delas têm maior influência no balanço energético final da casa.

Capítulo 6 – “Irradiação solar: ferramenta de análise para edifícios solares fotovoltaicos no Brasil”: apresentam-se ferramentas gráficas simplificadas que permitem identificar o potencial de aproveitamento das envoltórias das edificações para integrar sistemas de geração de energia solar fotovoltaica. O método, idealizado como ferramenta de projeto para as primeiras fases de um projeto arquitetônico, foi desenvolvido considerando-se a disponibilidade de radiação solar em latitudes brasileiras. Nesse sentido, o capítulo oferece um material de consulta técnica para projetistas interessados em utilizar energia solar em suas obras.

Capítulo 7 – “Considerações sobre uma pauta para governança da eficiência energética”: introduz uma visão sistêmica sobre o uso da energia elétrica no país, sinalizando gargalos e pontos de alavancagem para o fortalecimento da eficiência energética. Propõe-se uma discussão sobre a análise da governança do setor de energia elétrica para a eficiência energética no Brasil. Para isso, utilizam-se dois métodos de análise e mapeia-se a integração de vetores como os agentes, as ações e os instrumentos, tendo como base diretrizes e critérios para uma boa governança.

Por fim, o uso das simulações computacionais aplicadas e das ferramentas apresentadas ao longo dos capítulos dialoga com diversos perfis profissionais. Estudantes, arquitetos e engenheiros, entre outros profissionais que busquem temas atuais, encontrarão neste livro diretrizes ambientais e estratégias que indicam as melhores práticas para a qualidade e sustentabilidade do ambiente construído.

*Os Organizadores*

# Simulação, Ambiente e Energia no Espaço Construído

Este livro aborda conceitos, tecnologias e métodos relacionados aos aspectos energético, higrotérmico e lumínico, apresentando como pano de fundo o uso de programas de simulação computacional, diagramas e ferramentas simplificadas para estudos analíticos, aplicados ao espaço construído em diferentes climas. Na primeira parte do livro, “*Inputs* – conforto, vento e luz”, o Capítulo 1 apresenta a ferramenta alemã de simulação computacional ENVI-met e o seu potencial na análise do microclima urbano; o Capítulo 2 mostra as variáveis climáticas e os arquivos climáticos utilizados nas simulações higrotérmica; o Capítulo 3 aborda os programas de simulação aplicados à ventilação natural; e o Capítulo 4 trata da complexidade dos estudos de iluminação e a necessidade de avaliar várias dimensões, simultaneamente. Na segunda parte, “*Outputs* – ambiente construído e energia”, o Capítulo 5 ensina a identificar o potencial de aproveitamento das envoltórias para integrar sistemas de geração de energia; o Capítulo 6 traz a análise de uma casa pré-fabricada de balanço energético nulo; e o Capítulo 7 insere, à guisa de conclusão, uma visão sistêmica sobre o uso da energia elétrica no país. O livro dialoga com diversos perfis profissionais, pois contempla temas atuais e inovadores para estudantes e profissionais de Arquitetura, Engenharia, Geografia, Planejamento Urbano e áreas relacionadas com a qualidade e sustentabilidade do ambiente construído.



EDITORA



**UnB**