



# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
(ORGANIZADORA)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020



# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
(ORGANIZADORA)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

## **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



## Engenharia na prática: importância teórica e tecnológica

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Franciele Braga Machado Tullio

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharia na prática [recurso eletrônico] : importância  
teórica e tecnológica / Organizadora Franciele Braga  
Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-308-8

DOI 10.22533/at.ed.088202408

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Engenharia –  
Pesquisa – Brasil. 3. Prática de ensino. I. Tullio, Franciele  
Braga Machado.

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia na Prática: Importância Teórica e Tecnológica” contempla vinte e oito capítulos com pesquisas relacionadas a diversos temas da engenharia.

Os estudos refletem a teoria obtida em livros, normas, artigos na prática, verificando sua aplicabilidade.

O desenvolvimento de novos materiais e a utilização de novas tecnologias partem de estudos já realizados, o que garante desenvolvimento nas diversas áreas da engenharia, gerando novas alternativas.

O estudo sobre o comportamento de materiais permite o aperfeiçoamento de materiais já existentes e proporciona uma otimização na execução de novos projetos.

O uso de energia limpa também é um tema muito abordado, tendo em vista a necessidade de otimização de recursos naturais.

Esperamos que esta obra proporcione uma leitura agradável e contribua para a geração de novos estudos, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A CONTRIBUIÇÃO FÍSICA E MATEMÁTICA PARA O APERFEIÇOAMENTO DO TIRO COM ARCO**

Eduardo Franzoi  
Andrei Buse  
Mateus Filipi Moresco Jorge

**DOI 10.22533/at.ed.0882024081**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **A INFLUÊNCIA DO NIÓBIO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ALUMÍNIO: UMA REVISÃO**

Márcio Valério Rodrigues de Mattos  
Gustavo Takehara Silva  
Vinicius Torres dos Santos  
Marcio Rodrigues da Silva  
Antonio Augusto Couto  
Givanildo Alves dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.0882024082**

### **CAPÍTULO 3..... 21**

#### **ANÁLISE CRÍTICA COMPARATIVA ENTRE A NORMA ISO 29110 E O MODELO MPS.BR NÍVEL G**

Nilson Salvetti  
André Rivas  
Ivanir Costa

**DOI 10.22533/at.ed.0882024083**

### **CAPÍTULO 4..... 33**

#### **ANÁLISE DA ADERÊNCIA AO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO INSTITUCIONAL: ABORDAGEM BASEADA EM REDES BAYESIANAS**

Danilo de Souza Novaes  
Roseno Nunes de Almeida Neto  
Silvana Rossy de Brito  
Aleksandra do Socorro da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.0882024084**

### **CAPÍTULO 5..... 46**

#### **ANÁLISE PARAMÉTRICA DA INJEÇÃO DE POLÍMEROS EM UM CAMPO DE PETRÓLEO DA BACIA POTIGUAR**

Beatriz Ferraz Martins  
Jardel Dantas da Cunha  
Andréa Francisca Fernandes Barbosa  
Ricardo Henrique Rocha de Carvalho  
Antonio Robson Gurgel

**DOI 10.22533/at.ed.0882024085**

<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>55</b>
<b>BIOSORPTION OF OXYTETRACYCLINE FROM WATER USING MORINGA OLEÍFERA SHELLS</b>	
Agustina De Olivera	
Ramiro Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024086</b>	
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>64</b>
<b>COLETA SELETIVA NO UNIFOA – IMPLANTAÇÃO DE PROCESSO PILOTO NO PRÉDIO 18: SENSIBILIZAÇÃO DA COMUNIDADE INTERNA SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS</b>	
Pedro Saturno Braga	
Camila Duarte Silva	
Lucas Marques Correa Ignácio	
Sabrina de Jesus Oliveira Cozzolino	
Sabrina Pires Arantes	
Roberto Guião de Souza Lima Júnior	
Ana Carolina Callegario Pereira	
Denise Celeste Godoy de Andrade Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024087</b>	
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>74</b>
<b>DESEMPENHO TÉRMICO DOS TELHADOS VERDES EM RELAÇÃO AOS TELHADOS CONVENCIONAIS</b>	
Sergio Quezada García	
Marco Antonio Polo Labarrios	
Heriberto Sánchez Mora	
Manuela Azucena Escobedo Izquierdo	
Ricardo Isaac Cázares Ramírez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024088</b>	
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>88</b>
<b>DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE AUTOMÁTICA POR COMANDO DE SINAL ELETROMIOGRAFICO</b>	
Jefferson Rodrigo Moreira de Sousa	
Rafael Bastos Duarte	
André Luiz Patrício França	
Sara Carreiro Beloni	
José Wanderson Oliveira Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0882024089</b>	
<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>99</b>
<b>EFEITOS DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA IONIZANTE EM EQUIPAMENTOS ODONTOLÓGICOS</b>	
Alessandro Márcio Hakme Da Silva	
Marcelo Caetano Oliveira Alves	
Thiago Augusto Neiva Spironelli	
Eduardo Souza Sims	

Patrícia Garani Fernandes  
Fernanda Florian  
Fabiana Florian  
Marcello Cláudio de Gouvea Duarte  
**DOI 10.22533/at.ed.08820240810**

**CAPÍTULO 11.....113**

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DO SINAL ATRIAL FIBRILATÓRIO NO ELETROCARDIOGRAMA**

Miriam Ferraz de Paulo  
Eduardo Guy Perpétuo Bock  
Dalmo Antonio Ribeiro Moreira

**DOI 10.22533/at.ed.08820240811**

**CAPÍTULO 12.....117**

**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA ADICIÓN DE GLICERINA COMO CO-SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS**

María Isabel García Rodríguez  
Marcos Vinícius Konopka  
Matheus Vitor Diniz Gueri  
Andreia Cristina Furtado

**DOI 10.22533/at.ed.08820240812**

**CAPÍTULO 13..... 127**

**ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EXEGÉTICA DE UM PROCESSO SPRAY DRYER ALIMENTADO POR ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL**

Antonio Rimaci Miguel Junior  
Valmir da Cruz de Souza  
Alex Alisson Bandeira Santos

**DOI 10.22533/at.ed.08820240813**

**CAPÍTULO 14..... 136**

**ESTUDO DE APLICAÇÃO DA TURBINA DE TESLA COMO MICROGERADOR**

Eloi Rufato Junior  
Alison Baena de Oliveira Monteiro  
Ricardo Ribeiro dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.08820240814**

**CAPÍTULO 15..... 158**

**ESTUDO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR DEJETOS BOVINOS**

Marcos Vinícius Konopka  
María Isabel Garcia Rodriguez  
Denis Porfirio Viveros Rodas  
Andreia Cristina Furtado

**DOI 10.22533/at.ed.08820240815**

<b>CAPÍTULO 16.....</b>	<b>167</b>
ESTUDO PARA CONTROLE DE EMPENAMENTO EM PEÇAS INDUSTRIAIS TEMPERADAS	
João Alfredo Scheidemantel	
Christian Doré	
Lucile Cecília Peruzzo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240816</b>	
<b>CAPÍTULO 17.....</b>	<b>179</b>
EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES DO TIPO TUBULÃO CONFORME ORIENTAÇÕES DA NOVA NR-18 DE 10 DE FEVEREIRO DE 2020	
José Henrique Maciel de Queiroz	
Fabíola Luana Maia Rocha	
Francisco Kléber Dantas Duarte	
Caio Guilherme Ferreira Abrantes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240817</b>	
<b>CAPÍTULO 18.....</b>	<b>187</b>
INFLUÊNCIA DE LEVEDURAS LISAS E RUGOSAS NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL EM ESCALA INDUSTRIAL	
Teresa Cristina Vieira Viana	
Rafael Resende Maldonado	
Eliana Setsuko Kamimura	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240818</b>	
<b>CAPÍTULO 19.....</b>	<b>199</b>
INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DENDRÍTICO SECUNDÁRIO NA DUREZA DA LIGA CU-14AL-5NI-5FE OBTIDA POR SOLIDIFICAÇÃO UNIDIRECIONAL	
Rogério Teram	
Givanildo Alves dos Santos	
Maurício Silva Nascimento	
Antonio Augusto Couto	
Vinícius Torres dos Santos	
Márcio Rodrigues da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240819</b>	
<b>CAPÍTULO 20.....</b>	<b>211</b>
INTERFAZ PARA LA OPERACIÓN REMOTA DE UN MANIPULADOR MITSUBISHI MOVEMASTER RV-M1	
Luini Leonardo Hurtado Cortés	
John Alejandro Forero Casallas	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240820</b>	
<b>CAPÍTULO 21.....</b>	<b>221</b>
LA EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SU INCIDENCIA EN REPROBACIÓN Y DESERCIÓN	
M. en C. Marcial Reyes Cázarez	

**DOI 10.22533/at.ed.08820240821**

**CAPÍTULO 22..... 235**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ESTIMAÇÃO DE CARGA EM BATERIAS DE SÓDIO UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS**

Norah Nadia Sánchez Torres  
Helton Fernando Scherer  
Oswaldo Ando Hideo Junior  
Jorge Javier Gimenez Ledesma

**DOI 10.22533/at.ed.08820240822**

**CAPÍTULO 23..... 247**

**PROSPECÇÃO E ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A ENERGIA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL**

Gustavo Sigal Macedo  
Jorge Alberto Alcalá Vela

**DOI 10.22533/at.ed.08820240823**

**CAPÍTULO 24..... 262**

**PROTOTIPO DE DINÂMICA DE SISTEMAS APLICADO A LA GESTIÓN DE PROYECTOS ACADÉMICOS DE PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA EN CARRERAS DE INFORMÁTICA**

Alice Raquel Rambo  
Mariana Itatí Boari  
Roberto Luis Sueldo  
Ruben Urquijo  
Hector Chripczuk  
Ulises Ramirez

**DOI 10.22533/at.ed.08820240824**

**CAPÍTULO 25..... 273**

**THE MAGNETIC PASSIVE AND SLIDING BEARING SYSTEM WITH AXIAL MAGNETIC REPULSION TO AVOID PIVOT WEAR**

Carlos Frajuca

**DOI 10.22533/at.ed.08820240825**

**CAPÍTULO 26..... 281**

**USO DA LAMA CIMENTICIA COMO SUBSTITUTO DE AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO**

Bruno Matos de Farias  
Érika Teles dos Santos  
Larissa Barbosa Iulianello  
Sheila Maria Ferreira Campos

**DOI 10.22533/at.ed.08820240826**

<b>CAPÍTULO 27.....</b>	<b>301</b>
<b>UTILIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS NA RETIRADA DE PETRÓLEO DERRAMADO</b>	
Ana Caroline Nasaro de Oliveira	
Júnia Ciriaco de Castro	
Rosana Aparecida Ferreira Nunes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240827</b>	
<b>CAPÍTULO 28.....</b>	<b>315</b>
<b>UTILIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESPINHEIRA SANTA (<i>Maytenusilicifolia Martiusex Reissek</i>) COMO INIBIDOR DE CORROSÃO ORGÂNICO PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS PARA COMPLETAÇÃO</b>	
Jardel Hugo Gonçalves Paiva	
Jardel Dantas da Cunha	
Andréa Francisca Fernandes Barbosa	
Antonio Robson Gurgel	
Keila Regina Santana Fagundes	
Rodrigo Cesar Santiago	
<b>DOI 10.22533/at.ed.08820240828</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>	<b>328</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>329</b>



# CAPÍTULO 8

## DESEMPENHO TÉRMICO DOS TELHADOS VERDES EM RELAÇÃO AOS TELHADOS CONVENCIONAIS

*Data de aceite: 01/07/2020*

*Data de submissão: 19/05/2020*

### **Sergio Quezada García**

Universidad Nacional Autónoma de México,  
Departamento de Sistemas Energéticos,  
Ciudad de México–México

### **Marco Antonio Polo Labarrios**

Universidad Nacional Autónoma de México,  
Departamento de Sistemas Energéticos,  
Ciudad de México–México

### **Heriberto Sánchez Mora**

Instituto Politécnico Nacional, Escuela  
Superior de Física y Matemáticas, Ciudad de  
México–México

### **Manuela Azucena Escobedo Izquierdo**

Universidad Nacional Autónoma de México,  
Departamento de Sistemas Energéticos,  
Ciudad de México–México

### **Ricardo Isaac Cázares Ramírez**

Universidad Autónoma Metropolitana–  
Iztapalapa, Área de Ingeniería y Recursos  
Energéticos, Ciudad de México–México

**RESUMO:** Os telhados verdes são propostos como uma prática sustentável para mitigar os efeitos adversos da urbanização. Contudo, o conhecimento do desempenho térmico dos telhados verdes é essencial para a sua concepção e avaliação. A análise de calor e fluxo de massa é necessária para explorar o seu desempenho térmico, o que requer uma modelagem numérica precisa para analisar plenamente os benefícios desta tecnologia. Por

consequente, há necessidade de modelos de transferência de energia e massa que possam avaliar os efeitos térmicos dos telhados verdes durante a sua fase de concepção. Este estudo compara o desempenho térmico de um telhado verde com um telhado convencional, para um clima quente. O estudo utiliza um modelo matemático dinâmico de transferência de calor, que foi validado em trabalhos anteriores. Além disso, são determinados a resistência térmica equivalente e o fator de decomposição equivalente. Os resultados mostram que os telhados verdes podem reduzir significativamente o fluxo de calor através do telhado porque têm uma maior resistência térmica equivalente e um menor fator decrescente equivalente.

**PALAVRAS-CHAVE:** telhados verdes, desempenho térmico, resistência térmica equivalente, fator decrescente equivalente.

### THERMAL PERFORMANCE OF GREEN ROOFS VERSUS CONVENTIONAL ROOFS

**ABSTRACT:** Green roofs are proposed as a sustainable practice to mitigate the adverse effects of urbanization. However, knowledge of the thermal performance of green roofs is essential for their design and evaluation. Heat and mass flow analysis is necessary to explore their thermal performance, which requires accurate numerical modeling to fully analyze the benefits of this technology. Therefore, there is a need for energy and mass transfer models that can evaluate the thermal effects of green roofs during their design stage. This study compares the thermal performance of a green roof with a conventional roof, for a warm climate. The study uses a dynamic mathematical model

of heat transfer, which was validated in previous works. Additionally, the equivalent thermal resistance and the equivalent decay factor are determined. The results show that green roofs can significantly reduce the heat flow through the roof because they have a higher equivalent thermal resistance and a lower equivalent decreasing factor. **KEYWORDS:** green roofs, thermal performance, equivalent thermal resistance, equivalent decreasing factor.

## 1 | INTRODUCCIÓN

Las azoteas verdes son una solución sostenible para mitigar los efectos adversos de la urbanización (BESIR e CUCE, 2018), tales como el deterioro de las condiciones climáticas en zonas urbanas (ZIOGOU et al., 2018) y el efecto de isla de calor urbano (AMIR et al., 2018). Esto debido a los múltiples beneficios que presentan como el aumento de la superficie forestal urbana (BERNDTSSON et al., 2009), la purificación del aire (LI et al., 2010), y el ahorro de energía (CASCONI et al., 2018). Sin embargo, la implementación de azoteas verdes está limitada por la ausencia de una comprensión completa de su valor económico (TEOTÓNIO et al., 2018).

Para comprender el valor económico de las azoteas verdes, es necesario determinar su desempeño térmico. Para esto, es esencial conocer los flujos de calor y masa (TANG e ZHENG, 2019), y desarrollar modelos numéricos preciso que permita analizar plenamente los beneficios de esta tecnología (VERA et al., 2018).

Cuando no se pueden reproducir las mismas condiciones para dos sistemas que se desean comparar se debe recurrir a la simulación. Debido a la intermitencia de las condiciones ambientales no es posible comparar el desempeño térmico de una azotea antes y después de implementar un sistema de refrigeración pasiva, como la instalación de una azotea verde. Incluso cuando se tengan dos edificios iguales, uno de ellos con azotea convencional y el otro con azotea verde, ubicados uno al lado del otro, factores como la radiación solar incidente o la velocidad del aire pueden ser diferentes en cada uno además de la carga térmica interior.

En el presente estudio se compara, por medio de simulación, el desempeño térmico de una azotea verde y una azotea convencional para un clima cálido, por medio de simulación. Para realizar el estudio se emplea un modelo matemático dinámico de transferencia de calor, el cual fue validado en trabajos previos (QUEZADA-GARCÍA et al., 2017). A diferencia de otros estudios, que sólo consideran la transferencia de calor a través la azotea y asumen que la temperatura en el interior del edificio se mantiene constante por medio de aire acondicionado, en el presente estudio se considera también la transferencia de calor a través de las paredes del edificio y el cambio de la temperatura en el interior con respecto al tiempo.

## 2 | MÉTODOS

El objetivo del presente trabajo es comparar el desempeño térmico de dos edificios, uno de ellos con una azotea convencional y el otro con azotea verde, considerando la transferencia de calor a través de todos los elementos envolventes

del edificio.

Los pasos para alcanzar el objetivo de este trabajo son los siguientes:

- Descripción de los sistemas denominados como caso de estudio.
- Planteamiento del modelo matemático de transferencia de calor para el edificio con azotea convencional. Este modelo es el mismo que se aplica para el edificio con azotea verde añadiendo el modelo de transferencia de calor para las capas que la conforman.
- Planteamiento del modelo matemático de balance de energía para el interior del edificio con el propósito de determinar cómo cambia la temperatura interior.
- Planteamiento del modelo matemático de transferencia de calor de la capa verde y la capa de sustrato, las cuales forman la azotea verde.
- Implementación de los modelos matemáticos en Python.
- Simulación de los sistemas con datos obtenidos de la literatura.
- Análisis de los resultados obtenidos con la simulación realizada.

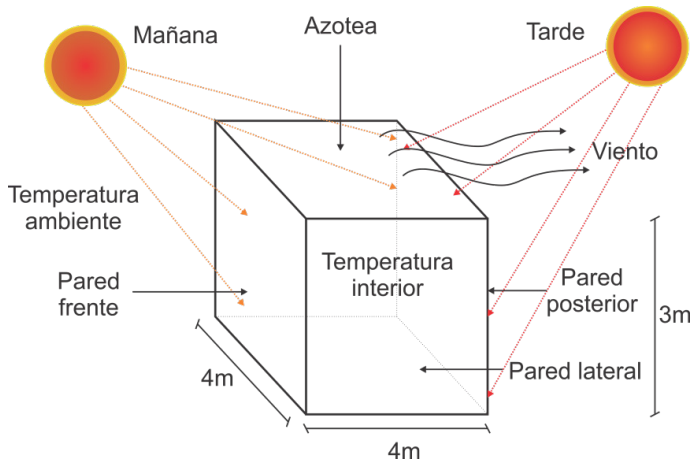
## 2.1 Descripción de los sistemas

En el presente trabajo se estudian dos tipos de azoteas:

- Azoteas convencionales, construidas generalmente a partir de concreto.
- Azoteas verdes, las cuales se proponen como solución alternativa a las azoteas convencionales. Formadas por una capa verde y una capa de sustrato.

A continuación se presentan los modelos de transferencia de calor para los dos casos mencionados. Estos modelos son empleados para determinar la temperatura en el interior del edificio. Los modelos también consideran la transferencia de calor a través de las paredes del edificio, las cuales son una losa maciza de concreto de 15 cm de espesor.

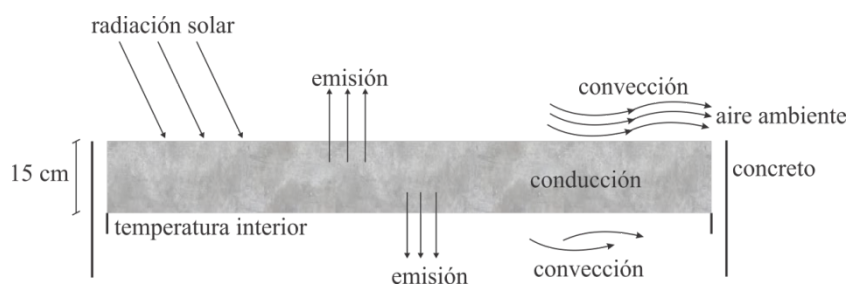
El edificio caso de estudio no cuenta con ventanas, es calentado por medio de la radiación solar que recibe a través de dos paredes del edificio, así como a través de la azotea del mismo como se muestra en la **Figura 1**. Una de las paredes recibe radiación solar durante la mañana y la pared opuesta recibe radiación solar durante la tarde. Para este estudio, se considera que las otras dos paredes (paredes laterales) no reciben radiación solar a lo largo del día.



**Figura 1.** Edificio caso de estudio que recibe radiación solar en una pared durante la mañana, en la pared contraria durante la tarde y en la azotea durante gran parte del día.

### 2.1.1 Azotea convencional

El modelo de transferencia de calor para la azotea convencional, consiste en una losa maciza de concreto, la superficie inferior está en contacto directo con el aire del interior del edificio, mientras que la parte superior la losa de concreto está en contacto con el aire del ambiente como se muestra en la **Figura 2**. Así los flujos de calor involucrados para el exterior del edificio son la radiación solar, la emisión y la convección. Respecto al interior los flujos de calor involucrados son la emisión y la convección.



**Figura 2.** Flujos de calor en la azotea convencional.

### 2.1.2 Azotea verde

El modelo de transferencia de calor para la azotea verde consiste en una losa maciza de concreto que está en contacto directo con el aire en el interior del edificio. Sobre la losa de concreto se encuentra el sustrato, formado por tierra y agua. En la parte superior del sustrato se encuentra la cubierta verde, formada por plantas

y aire. La capa verde está en contacto directo con el aire exterior como observa en la **Figura 3**. Así los flujos de calor involucrados para el interior del edificio son la convección y la emisión. Para el exterior los flujos de calor considerados son la radiación solar, la emisión, la convección, la evapotranspiración y el calor requerido por las plantas para realizar la fotosíntesis.

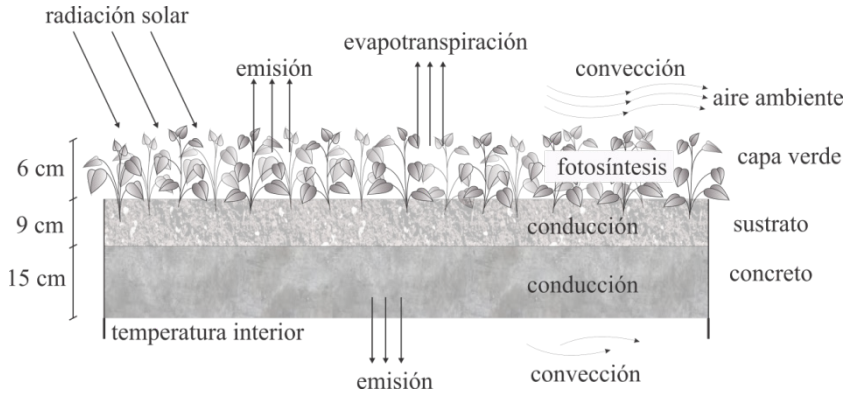


Figura 3. Azotea verde formada por una capa de sustrato y la capa verde.

### 3 I MODELADO MATEMÁTICO

En esta sección se presenta el modelo matemático tanto del edificio con azotea convencional como del edificio con azotea verde.

#### 3.1 Modelo matemático de transferencia de calor para el edificio con azotea convencional

A continuación, se presenta el modelo matemático empleado para el edificio con azotea convencional. La transferencia de calor por conducción, a través de las envolventes del edificio, está dada por:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

donde  $\rho$  es la densidad,  $C_p$  es el calor específico,  $T$  es la temperatura,  $t$  es el tiempo,  $k$  es la conductividad térmica y  $x$  es la dirección de transferencia de calor por conducción.

La condición de frontera para el exterior del cuarto está dada por:

$$\left[ k \frac{dT}{dx} \right]_{x=0} = q_{sr} - q_{em} - q_{cv} \quad (2)$$

donde  $q_{sr}$  es el flujo de calor debido a la radiación de onda corta,  $q_{em}$  es el flujo de calor debido a la emisión de radiación y  $q_{cv}$  es el flujo de calor debido a la convección. Las fuentes de calor se calculan a partir de:

$$q_{sr} = a q_{sri} \quad (3)$$

$$q_{em} = \varepsilon\sigma(T^4 - T_{alr}^4) \quad (4)$$

$$q_{cv} = h(T - T_a) \quad (5)$$

donde,  $\alpha$  es la absotividad de la superficie,  $q_{sri}$  es la radiación de onda corta incidente,  $\varepsilon$  es la emisividad,  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann,  $T_a$  es la temperatura del aire en el exterior,  $T_{alr}$  es la temperatura de los alrededores (para las paredes se considera que  $T_{alr} = T_a$  y para la azotea  $T_{alr} = T_{sky}$ ), y  $h$  es el coeficiente convectivo de transferencia de calor, el cual se calcula a partir del número adimensional de Nusselt dado por:

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (6)$$

donde  $L$  es la longitud de la envolvente paralela al flujo de aire. El número de Nusselt para paredes planas, está dado por (CHURCHILL e OZOE, 1973):

$$Nu = \frac{0.3387 Pr^{1/3} Re^{1/2}}{\left(1 + \left(\frac{0.0468}{Pr}\right)^{2/3}\right)^{1/4}} \quad (7)$$

donde  $Re$  es el número adimensional de Reynolds y  $Pr$  es el número adimensional de Prandtl, los cuales están dados por:

$$Re = \frac{r_i v L}{\mu} \quad (8)$$

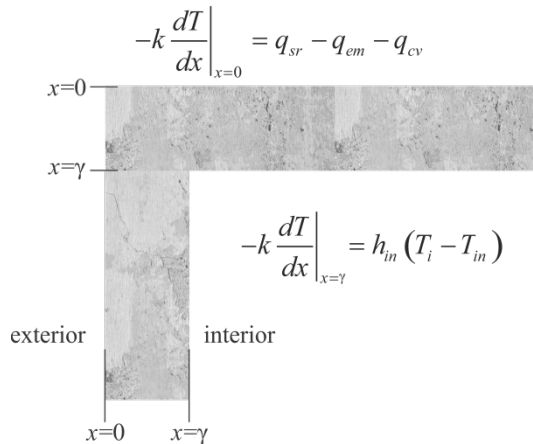
$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (9)$$

donde  $v$  es la velocidad promedio del viento y  $\mu$  es la viscosidad dinámica. La condición de frontera en el interior del edificio está dada por:

$$-k \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=\gamma} = h_{in} (T - T_{in}) \quad (10)$$

donde  $\gamma$  es el espesor de la envolvente,  $T_{in}$  es la temperatura del aire en el interior del edificio y  $h_{in}$  es el coeficiente combinado de transferencia de calor en el interior del edificio el cual considera la convección y la radiación. En la **Figura 4** se ejemplifican las condiciones de frontera.

Este modelo se puede emplear para cada uno de los elementos envolventes del edificio.



**Figura 4.** Condiciones de frontera para la envolvente del edificio.

### 3.2 Balance de energía para el interior del edificio

El cambio de temperatura en función del tiempo en el interior del edificio está dado por:

$$\frac{dT_{in}}{dt} = \frac{\dot{Q}}{(mC_p)_{in}} \quad (11)$$

donde  $m$  es la masa de aire contenida en el interior del edificio y  $\dot{Q}$  es el calor neto transferido al interior del edificio dado por:

$$\dot{Q} = \sum h_{in}(T - T_{in})A \quad (12)$$

donde  $A$  es el área del elemento envolvente del edificio.

### 3.3 Modelo matemático de transferencia de calor para el edificio con azotea verde

El calor que se transfiere a través de la capa verde, formada por plantas y aire, está dado por:

$$(\rho C_p)_v \frac{\partial T_v}{\partial t} = k_v \frac{\partial^2 T_v}{\partial x^2} \quad (13)$$

donde  $T_v$  es la temperatura de la capa verde,  $(\rho C_p)_v$  y  $k_v$  son propiedades efectivas de la capa verde que se obtienen a partir de un método de homogeneización.

El calor transferido a través de la capa de sustrato, formada por tierra y agua, está dado por:

$$(\rho C_p)_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = k_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} \quad (14)$$

donde  $T_s$  es la temperatura de la capa de sustrato,  $(\rho C_p)_s$  y  $k_s$  son propiedades

efectivas para la capa de sustrato. Las propiedades efectivas se calculan a partir de (QUEZADA-GARCÍA et al., 2017):

$$(\rho C_p)_{ef} = (\rho C_p)_1(1-\beta) + (\rho C_p)_2\beta \quad (15)$$

$$k_{ef} = k_1(1-\beta) + k_2\beta \quad (16)$$

donde el subíndice *ef* hace referencia a propiedades efectivas y  $\beta$  es la fracción volumen que ocupan los componentes de la capa en el volumen total de la capa, es decir:

$$b = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \quad (17)$$

La condición de frontera para la Ec. (14), en el exterior del edificio, está dada por:

$$\left. \lambda k_v \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = q_{sr} - q_{em} - q_{cv} - q_{et} - q_{ps} \quad (18)$$

donde  $q_{et}$  es el calor transferido por evapotranspiración al ambiente y  $q_{ps}$  es el calor requerido por la planta para llevar a cabo la fotosíntesis.

El calor transferido por convección de la azotea verde al ambiente se puede calcular a partir de la correlación empírica (MENG et al., 2006):

$$q_{cv} = (5.7 + 3.8v)(T_v - T_a) \quad (19)$$

El calor perdido por evapotranspiración está dado por (FENG et al., 2010):

$$q_{et} = \lambda R_{et} \quad (20)$$

donde  $\lambda$  es el calor latente de vaporización y  $R_{et}$  es la tasa de evapotranspiración.

El calor neto requerido para la fotosíntesis y la respiración de las plantas se calcula a partir de la correlación (FENG et al., 2010):

$$q_{ps,net} = \frac{6.5}{TC(1 + R_{ep}/R_{tp})} q_{et} \quad (21)$$

donde  $TC$  es el coeficiente de transpiración,  $R_{ep}$  es la tasa de evaporación y  $R_{tp}$  es la tasa de transpiración. Para este estudio se considera que  $R_{ep}/R_{tp}=1$  con  $TC=20$ .

Este modelo matemático fue validado por medio de datos experimentales obtenidos en un laboratorio de ambiente controlado y por medio de datos experimentales publicados en la literatura (QUEZADA-GARCÍA et al., 2017).



## 4 | IMPLEMENTACIÓN

Los modelos matemáticos de transferencia de calor para la azotea convencional y la azotea verde se implementan en Python 3.6.3. Las ecuaciones diferenciales son resueltas por medio de diferencias finitas utilizando un tamaño de paso temporal de 1.2s y 11 nodos para cada envolvente del edificio. La simulación se realiza para un día empleando datos publicados en la literatura.

En la **Figura 5** se muestra la radiación solar que reciben las paredes y la azotea a lo largo del día. Las paredes laterales no reciben radiación solar. El exterior del edificio está en contacto con el aire ambiente cuya temperatura se encuentra entre 301K y 309K (ver **Figura 6**) y su velocidad oscila entre los 0 y 3 m/s (ver **Figura 7**). En la **Figura 8** se muestra la tasa de evapotranspiración. La fracción volumen del aire contenido en la capa verde se considera igual a 0.53 y la fracción volumen de agua contenida en la capa de sustrato se considera igual a 0.26. La emisividad se considera igual a 1.0, y la absorptividad se considera igual a 0.85, para todos los elementos envolventes del edificio.

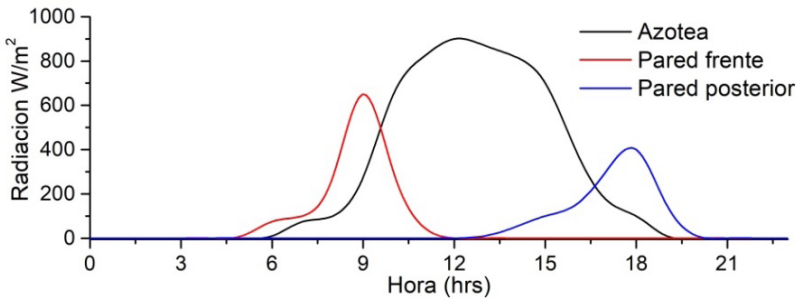


Figura 5. Radiación solar incidente en dos paredes y la azotea del edificio. A partir de datos de Feng et al. (2010).

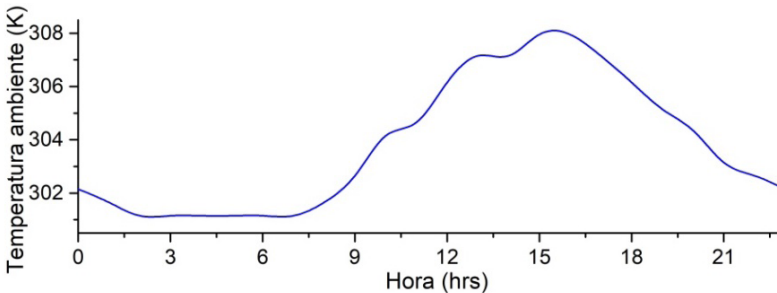


Figura 6. Temperatura ambiente. A partir de los datos de Feng et al. (2010).

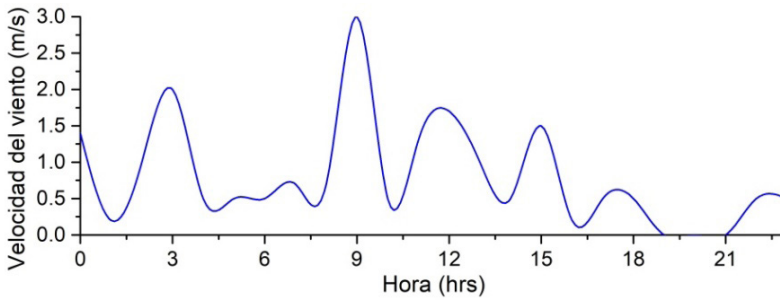


Figura 7. Velocidad del viento. A partir de los datos de Feng et al. (2010).

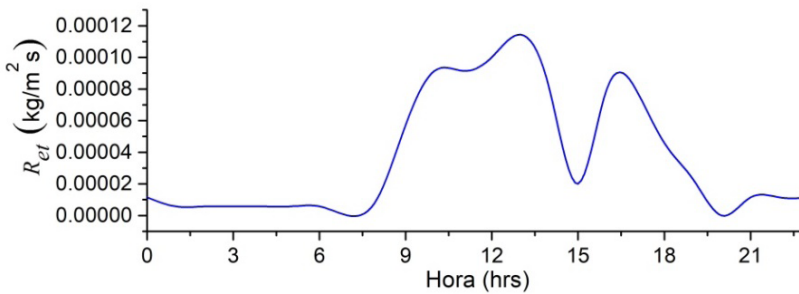


Figura 8. Tasa de evapotranspiración. A partir de los datos de Feng et al. (2010).

En la **Tabla 1** se muestran los demás parámetros empleados para realizar la simulación.

Propiedad	Material		
	plantas	tierra	concreto
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	582	1200	1800
$k$ (W/mK)	0.5	1.0	0.8
$C_p$ (J/kgK)	4800	840	840

Tabla 1. Valores de los parámetros empleados para la simulación.

## 5 | RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la simulación realizada para los edificios con azotea convencional y azotea verde.

En la **Figura 9** se muestra el perfil de temperatura para los elementos envolventes del edificio con azotea convencional. La temperatura máxima en la azotea se alcanza a las 15:00 hrs y es aproximadamente 346K; la temperatura mínima es de aproximadamente 289K presentándose a las 6:00 hrs. La temperatura en el interior varía aproximadamente de 299K a 316K, alcanzando la temperatura máxima alrededor de las 18:00 hrs.

En la **Figura 10** se muestra el perfil de temperatura para los elementos envolventes del edificio con azotea verde. La temperatura máxima en la azotea se alcanza a las 16:00 hrs y es aproximadamente 321K, la temperatura mínima es aproximadamente 294K y se presenta a las 6:00 hrs. La temperatura en el interior varía aproximadamente de 302K a 308K, se alcanza la temperatura máxima a las 20:00 hrs y la temperatura mínima a las 8:00 hrs.

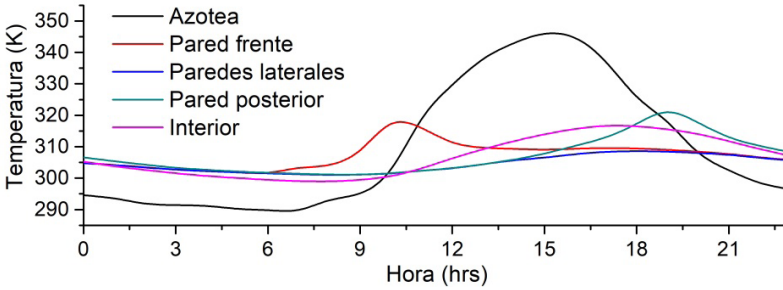


Figura 9. Perfil de temperatura para los elementos envolventes de un edificio con azotea convencional.

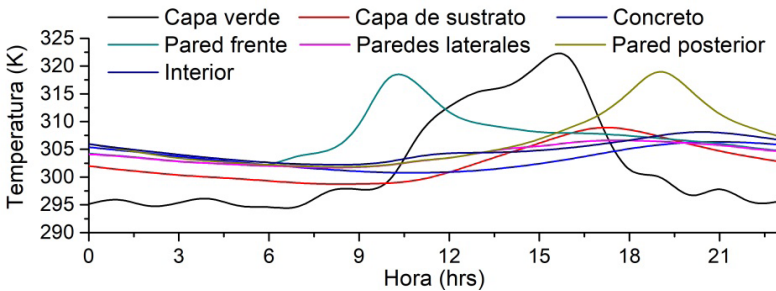


Figura 10. Perfil de temperatura para los elementos envolventes de un edificio con azotea verde.

Para ver de manera clara el impacto que tiene la azotea verde, en la **Figura 11** se muestra el perfil de temperatura en el interior del edificio con azotea convencional y azotea verde. La temperatura interior en un edificio con azotea convencional tiene una mayor amplitud de oscilación que con la azotea verde. Por lo que las azoteas verdes, además de ser sistemas pasivos de refrigeración, contribuyen a tener temperaturas más estables en el interior de los edificios.

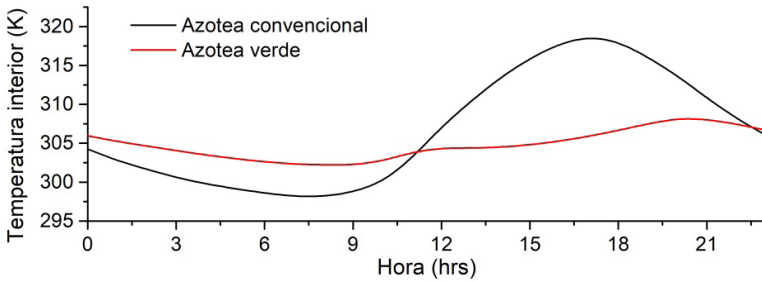


Figura 11. Perfil de la temperatura interior del edificio con azotea convencional y azotea verde.

## 5.1 Resistencia térmica equivalente

La capacidad de aislamiento térmico se evalúa a partir de la resistencia térmica equivalente que está dada por:

$$R_{TE} = \frac{T_a - T_{in}}{q} \quad (22)$$

donde  $q$  es el flux de calor transferido a través de la azotea al interior de cuarto.

Dado que las condiciones climáticas no son constantes la resistencia térmica equivalente no es constante a través de tiempo. Por tal motivo, se toman las condiciones climáticas de las 11:00 hrs y se fija la temperatura interior del edificio en 293.15K, el código se ejecuta hasta que el sistema llega al estado estacionario y se calcula la resistencia térmica equivalente para la azotea convencional y la azotea verde, los resultados se muestran en la **Tabla 2**.

El factor de disminución equivalente se define como la relación entre las amplitudes de oscilación de las temperaturas internas y externas máximas diarias:

$$f = \frac{A_{in}}{A_{ex}} \quad (23)$$

donde  $A_{in}$  y  $A_{ex}$  son la amplitud de la oscilación de la temperatura en la superficie interior y exterior, respectivamente.

El factor de disminución equivalente para la azotea verde está dado por (TANG e ZHENG, 2019):

$$f = \frac{A_{in,av}}{A_{ex,ac}} \quad (24)$$

donde  $A_{in,av}$  y  $A_{ex,ac}$  son la amplitud de temperatura en la superficie interior de la azotea verde y la superficie exterior de la azotea convencional, respectivamente. Un bajo factor de reducción equivalente indica una menor carga máxima de aire acondicionado para mantener las condiciones de confort térmico dentro del edificio. En la **Tabla 2** se muestran los resultados obtenidos.

Azotea	$R_{TE}$ (m <sup>2</sup> K/W)	$A_{in}$ (K)	$A_{ex}$ (K)	$f$ adimensional
Convencional	0.0627	41.24	85.96	0.4798
Verde	0.2251	5.16	39.49	0.0600

Tabla 2. Valores obtenidos de la resistencia térmica equivalente, la amplitud de temperatura y el factor de disminución equivalente.

Como se puede ver la resistencia térmica equivalente para la azotea verde es mayor, i.e., tiene una mayor capacidad de aislamiento térmico. Por otro lado, se puede apreciar que la amplitud de temperatura en las superficies interior y exterior es menor para la azotea verde y por lo tanto el factor de disminución equivalente es menor para la azotea verde. De acuerdo a estos resultados, la carga máxima de aire acondicionado para mantener las condiciones de confort térmico, en el interior del edificio, es menor cuando se tiene una azotea verde.

## 6 | CONCLUSIONES

En este trabajo se comparó, por medio de simulación, el desempeño térmico de una azotea verde frente a una azotea convencional. A diferencia de otros estudios, que sólo consideran la transferencia de calor a través la azotea, en el presente trabajo se consideró la transferencia de calor a través de las paredes del edificio y el cambio de la temperatura interior. Los principales resultados hallados son:

- Las azoteas verdes tienen un mejor desempeño térmico respecto a las azoteas convencionales. Esto se debe a que disminuyen el flujo de calor hacia el interior del edificio, presentando una resistencia térmica equivalente mayor.
- Las azoteas verdes también reducen la amplitud de oscilación de la temperatura y por lo tanto presentan un menor factor de reducción equivalente lo que implica que la carga máxima de aire acondicionado requerida para mantener las condiciones de confort térmico en el interior del edificio es menor que la requerida por un edificio con azotea convencional.

## REFERÊNCIAS

AMIR, A.K.M. et al. **Effects of convection heat transfer on Sunagoke moss green roof:A laboratory study**. Energy and Buildings, v. 158, p. 1417–1428, 2018.

BERNDTSSON, J.C. e BENGTTSSON, L. e JINNOB, K. **Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs**. Ecological engineering, v. 35, p. 369–380, 2009.

BESIR, A.B. e CUCE, E. **Green roofs and facades: A comprehensive review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 82, p. 915–939, 2018.

CASCONE, S. et al. **A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings**. *Building and Environment*, v. 136, 2018.

CHURCHILL, S. W. e OZOE, H. **Correlations for laminar forced convection in flow over an isothermal flat plate and in developing and fully developed flow in an isothermal tube**. *Journal of Heat Transfer*, v. 95, p. 78–84, 1973.

FENG, C. e MENG, Q. e ZHANG, Y. **Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs**. *Energy and Buildings*, v. 42, p. 959–965, 2010.

LI, J.-F. et al. **Effect of green roof on ambient CO<sub>2</sub> concentration**. *Building and Environment*, v. 45, p. 2644–2651, 2010.

MENG, Q.L. e ZANG, Y. e ZANG, L. **Measurement of the equivalent thermal resistance of rooftop lawns in a hot-climate wind tunnel**. *Journal of Harbin Institute of Technology (New Series)*, v. 13, n. Suppl., p. 53–56, 2006.

QUEZADA-GARCÍA, S. et al. **Heterogeneous model for heat transfer in Green Roof Systems**. *Energy and Buildings*, v. 139, p. 205–213, 2017.

TANG, Mingfang e ZHENG, Xing. **Experimental study of the thermal performance of an extensive green roof on sunny summer days**. *Applied Energy*, v. 242, p. 1010–1021, 2019.

TEOTÓNIO, I. e MATOS SILVA, C. e OLIVEIRA CRUZ, C. **Eco-solutions for urban environments regeneration: The economic value of green roofs**. *Journal of Cleaner Production*, v. 199, p. 121–135, 2018.

VERA, S. et al. **A critical review of heat and mass transfer in vegetative roof models used in building energy and urban environment simulation tools**. *Applied Energy*, v. 232, p. 752–764, 2018.

ZIOGOU, I. et al. **Implementation of green roof technology in residential buildings and neighborhoods of Cyprus**. *Sustainable Cities and Society*, v. 40, p. 233–243, 2018.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alumínio 29, 31, 32, 34, 35, 215, 216, 225  
Arco 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 28  
Arduino 103, 104, 107, 108, 109, 110, 111, 112

### C

Coleta Seletiva 79, 80, 81, 83, 86, 87, 88  
Conhecimento Organizacional 48, 50, 52

### D

Desempenho Térmico 89

### E

Educação Ambiental 79, 80, 83, 86, 87, 88  
Eletrônica 103, 112, 192, 314, 339  
EMG 103, 104, 106, 107, 108, 111, 112, 113  
Energia 16, 17, 18, 126, 141, 142, 149, 151, 172, 260, 262, 265, 270, 271, 272, 274, 276  
Energia Cinética 16, 17, 18

### F

Fator 61, 67, 68  
Fator de Recuperação 61, 63, 65, 67, 68

### G

Gestão do Conhecimento 36, 48, 49, 50, 51, 59, 60  
Gestão do Conhecimento em IFES 48

### I

Injeção de Polímeros 61, 62, 67  
ISO/IEC 29110 36, 37, 40, 41

### M

Mão Mecânica 103, 107, 110  
MPS.Br 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 46, 47

### N

Nióbio 29, 30, 31, 32, 34, 35

### P

Planejamento Desenvolvimento Institucional 48  
Planejamento Estratégico 48, 49, 51, 59, 60, 267  
Potencial 16, 17, 18, 37, 104, 111, 112, 135, 136, 151, 170, 172, 173, 174, 181, 227, 262, 263, 269, 284, 330, 332, 333, 336, 337, 338

Propriedades Mecânicas 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 188, 193, 215, 216, 217, 224, 296, 300

Prótese 103, 104, 107, 108, 110, 111, 112, 113

## **R**

Reciclagem 80, 84, 87, 88, 298, 315

Refino de Grão 29

Resíduos Sólidos 79, 80, 81, 88, 298, 313, 314

Resistência Térmica Equivalente 89

## **S**

Simulação Numérica 61

Solidificação Unidirecional 29, 32, 33, 214, 218

Sustentabilidade 80, 181, 260, 298, 316

## **T**

Telhados Verdes 89

Tiro 16, 17, 22, 24, 26, 27, 28

## **V**


Variáveis Térmicas 29, 32, 33, 35, 214, 215, 217, 224, 225



# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](#) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020

# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 