



**Ernane Rosa Martins
(Organizador)**

Princípios e Aplicações da Computação no Brasil 3

Atena
Editora
Ano 2019

Ernane Rosa Martins
(Organizador)

Princípios e Aplicações da Computação no Brasil 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Lorena Prestes
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os 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. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
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. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P957	<p>Princípios e aplicações da computação no Brasil 3 [recurso eletrônico] / Organizador Ernane Rosa Martins. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Princípios e aplicações da computação no Brasil; v. 3)</p> <p>Formato: PDF Requisito de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-702-4 DOI 10.22533/at.ed.024191510</p> <p>1. Computação. 2. Informática. 3. Programação de computador. I. Martins, Ernane Rosa. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 004</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O volume 3 da referida obra “Princípios e Aplicações da Computação no Brasil” apresenta 15 novos capítulos, que abordam assuntos importantes sobre o panorama atual da computação no Brasil, tais como: desenvolvimento de aplicativos móveis, VoIP, modelagem computacional, simulação, recurso educacional aberto, projeto de banco de dados, mobile learning, robótica, avaliação automática de código-fonte e agrupamento difuso multivariado.

Deste modo, esta obra reúne debates e análises acerca de questões relevantes, tais como: desenvolvimento de uma aplicação móvel para realização de recargas, consultas e simulação de saldo na carteira de transporte público, usando o método Design Constructal para melhorar a configuração geométrica de um novo layout para TCSA com quatro dutos; análise dos benefícios da tecnologia VoIP como alternativa de baixo custo a um serviço de telefonia institucional gerenciado por minicomputadores Raspberry e adaptadores ATA; análise do comportamento mecânico de placas finas de materiais compósitos laminados reforçados por fibras submetidas a esforços de flexão, comparando-as com o de uma placa de aço, usando modelagem computacional utilizando o software Abaqus 2017 Student Version®; apresentação de uma arquitetura de sistemas de simulação para área de convergência; desenvolvimento de uma abordagem para auxiliar o docente na criação de atividades com REA's que quando executados pelos alunos gerem o registro de suas experiências; análise da gestão de recursos humanos na administração pública por meio de um projeto de banco de dados; análise dos recursos disponíveis no WhatsApp Messenger, que oferecem possibilidades de uso no ambiente escolar como recurso pedagógico que pode auxiliar o processo de ensino e aprendizagem; simulação de um agente robótico capaz de realizar busca e exploração visual num ambiente virtual; e o desenvolvimento de uma ferramenta de análise e avaliação automática de código-fonte como alternativa para a otimização do processo de ensino-aprendizagem de programação.

Nesse sentido, esta obra apresenta enorme potencial para contribuir com análises e discussões aprofundadas sobre assuntos relevantes da área da computação, podendo servir de referência para novas pesquisas e estudos nesta área. Agradecemos em especial aos autores dos capítulos apresentados, e desejamos aos leitores, inúmeras reflexões proveitosas sobre as temáticas abordadas nesta obra.

Ernane Rosa Martins

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
WALLET BUS - TECNOLOGIA E TRANSPORTE PÚBLICO	
Carlos Adriano Carneiro Pestana Juan Castro Ribeiro Leonardo Carlos Balbino	
DOI 10.22533/at.ed.0241915101	
CAPÍTULO 2	16
UM PROJETO CONSTRUCTAL DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR COMPOSTOS POR QUATRO DUTOS	
Ruth da Silva Brum Liércio André Isoldi Jairo Valões de Alencar Ramalho Luiz Alberto Oliveira Rocha Michel Kepes Rodrigues Elizaldo Domingues dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.0241915102	
CAPÍTULO 3	30
TELEFONIA DIGITAL DE BAIXO CUSTO COM VOIP E RASPBERRY: UM ESTUDO DE CASO NO IFPI CAMPUS ANGICAL DO PIAUÍ	
Francisco Alysson da Silva Sousa Matheus Lopes Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.0241915103	
CAPÍTULO 4	40
SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA ANÁLISE DE DEFLEXÕES E TENSÕES EM PLACAS FINAS DE AÇO E DE MATERIAI COMPÓSITOS SUBMETIDAS A ESFORÇOS DE FLEXÃO	
João Vítor de Azambuja Carvalho Daniel Helbig	
DOI 10.22533/at.ed.0241915104	
CAPÍTULO 5	49
SIMULAÇÃO DE ÁREA DE CONVERGÊNCIA NUVEM-HPC	
Alessandro Kraemer	
DOI 10.22533/at.ed.0241915105	
CAPÍTULO 6	63
RECREATE: RECOMENDAÇÃO DE REA'S POR MEIO DA DESCOBERTA DO ESTILO DE APRENDIZAGEM PELA EXPERIÊNCIA DO ESTUDANTE E EXPECTATIVA DO PROFESSOR	
Marco Antonio Colombo Da Silva Marilde Terezinha Prado Santos	
DOI 10.22533/at.ed.0241915106	
CAPÍTULO 7	76
PROJETO DE BANCO DE DADOS COM FOCO NA ALOCAÇÃO DEPARTAMENTAL DE SERVIDORES PÚBLICOS E SUAS ATRIBUIÇÕES FUNCIONAIS	
José Nazareno Alves Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.0241915107	

CAPÍTULO 8	87
M-LEARNING ATRAVÉS DO WHATSAPP: UMA ANÁLISE DE RECURSOS	
Nilson Alves dos Santos Mayara Kaynne Fragoso Cabral Beatriz Francisco Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.0241915108	
CAPÍTULO 9	98
EXPLORAÇÃO E BUSCA VISUAL ROBÓTICA EM AMBIENTE SIMULADO	
Felipe Duque Belfort de Oliveira Hansenclever de França Bassani Aluizio Fausto Ribeiro Araujo	
DOI 10.22533/at.ed.0241915109	
CAPÍTULO 10	112
ESTUDO SOBRE A ESPECTROSCOPIA NIR PARA DETECÇÃO DONÍVEL ALCOÓLICO NO SANGUE	
Luis Gustavo Longo da Silva Cláudio Luis D'Elia Machado Fabiano Sandrini Moraes Rafael Galli	
DOI 10.22533/at.ed.02419151010	
CAPÍTULO 11	125
ESTUDO COMPUTACIONAL DO COEFICIENTE DE IMPACTO VERTICAL EM LONGARINAS DE PONTES RODOVIÁRIAS BRASILEIRAS	
Vinícius Heidtmann Avila Mauro de Vasconcellos Real Márcio Wrague Moura	
DOI 10.22533/at.ed.02419151011	
CAPÍTULO 12	140
DESENVOLVIMENTO DE UMA ABORDAGEM DE CLASSIFICAÇÃO DE TRAÇOS DE PERSONALIDADE DO BIG-FIVE VIA ANÁLISE DE TEXTOS EM PORTUGUÊS DO BRASIL	
Angelo Travizan Neto Taís Borges Ferreira Márcia Aparecida Fernandes	
DOI 10.22533/at.ed.02419151012	
CAPÍTULO 13	148
CODETEACHER: UMA FERRAMENTA PARA CORREÇÃO AUTOMÁTICA DE TRABALHOS ACADÊMICOS DE PROGRAMAÇÃO EM JAVA	
Francisco Alan de Oliveira Santos Plácido Soares das Chagas Segundo Mardoqueu Sousa Telvina	
DOI 10.22533/at.ed.02419151013	
CAPÍTULO 14	158
CLASSIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS POLÍTICAS EM NOTÍCIAS VIA MINERAÇÃO DE TEXTO E REDES NEURAIS SEM PESO	
Rafael Dutra Cavalcanti	
DOI 10.22533/at.ed.02419151014	

CAPÍTULO 15	169
ANÁLISE DE DADOS DE EXPRESSÃO GÊNICA POR MEIO DE MÉTODOS DE AGRUPAMENTO DIFUSO MULTIVARIADO	
Bruno Almeida Pimentel	
Marcilio Carlos Pereira de Souto	
DOI 10.22533/at.ed.02419151015	
SOBRE O ORGANIZADOR	182
ÍNDICE REMISSIVO	183

UM PROJETO CONSTRUCTAL DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR COMPOSTOS POR QUATRO DUTOS

Ruth da Silva Brum

Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática
Instituto de Física e Matemática, Campus Capão do Leão s/n, Pelotas, RS

Liércio André Isoldi

Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, Av. Itália, Km 8, Rio Grande, RS

Jairo Valões de Alencar Ramalho

Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática
Instituto de Física e Matemática, Campus Capão do Leão s/n, Pelotas, RS

Luiz Alberto Oliveira Rocha

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Av. Unisinos 950, 93022-750, Porto Alegre, RS

Michel Kepes Rodrigues

Universidade Federal do Rio Grande
Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, Av. Itália, Km 8, Rio Grande, RS

Elizaldo Domingues dos Santos

Universidade Federal do Rio Grande
Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, Av. Itália, Km 8, Rio Grande, RS

RESUMO: Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA) são uma forma ecológica de reduzir o uso de energia não renovável para condicionamento de ar. Eles aproveitam a inércia térmica do

solo, onde as temperaturas ficam defasadas em relação às da superfície, principalmente no verão e inverno. Para isso, utilizam-se dutos enterrados onde o ar ambiente é ventilado para trocar calor com o solo e depois entrar em um prédio com uma temperatura mais amena. Vários trabalhos da literatura focam no desempenho térmico de TCSA com apenas um duto. Sabe-se, por exemplo, que ele pode ser melhorado, até certo ponto, aumentando o tamanho dos dutos e/ou reduzindo seu diâmetro. Porém, para usar esses resultados, é preciso separar os dutos para evitar suas influências térmicas mútuas. Com uma abordagem diferente, este capítulo objetiva explorar novos layouts para construir TCSA com quatro dutos. Empregando o método Design Constructal, são estudados os espaçamentos entre os dutos, a fim de melhorar a transferência de calor entre o solo e o ar, aumentando o potencial térmico dos TCSA. Isso é feito variando a razão entre os espaços verticais e horizontais entre os dutos, respeitando restrições globais, e usando diversas simulações dos correspondentes campos de temperatura com um modelo computacional tridimensional validado.

PALAVRAS-CHAVE: Design Constructal, Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA), Energias Renováveis, Condicionamento de Ar.

ABSTRACT: Earth-Air Heat Exchangers (EAHE) offer an environmental friendly way to reduce the use of nonrenewable energy for air conditioning by taking advantage of the thermal inertia of the ground, where the temperatures lag those on the surface, mainly in the summer and winter. They use buried ducts where the ambient air is blown, to exchange heat with the surrounding soil and enter a building at milder temperatures. Most works focus on the thermal performance of EAHE with one duct, and it is well known, for instance, that it can be improved to some extent by increasing the ducts size and/or reducing their diameter. However, to use these results, one needs to take the ducts far apart from each other, to avoid their mutual thermal influences. In a different approach, this chapter aims to explore new layouts to build EAHE with four ducts. Employing the constructal design method, this work presents the best spacings among the ducts in order to improve the heat transfer between soil and air, increasing the EAHE thermal potential. This is done varying the ratio between the vertical and horizontal spaces among the ducts, up to limiting global constraints, and using several simulations of the temperature fields in the ducts, with a verified and validated three-dimensional computational model.

KEYWORDS: Constructal design, Earth-air heat exchangers (EAHE), Renewable energy devices, Air conditioning.

1 | INTRODUÇÃO

A energia gasta com sistemas convencionais de ar condicionado em todo o mundo vem crescendo cada vez mais a cada ano. Isto ocorre em função de diferentes fatores, tais como projeto inadequado das construções, aumento da temperatura ambiente devido às mudanças climáticas, e até mesmo problemas causados pela densidade urbana (RODRIGUES; GILLOTT, 2015).

Entre as alternativas para ajudar a melhorar o conforto térmico a um baixo custo energético, este trabalho investiga os Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA), os quais exploram a inércia térmica da Terra na troca de calor com o ar circulante no interior de dutos enterrados. Assim, em um dia quente de verão, por exemplo, o ar nos dutos é resfriado depois de ter cedido parte do seu calor ao solo circundante. O inverso ocorre em um dia de inverno. Em ambos os casos, o ar sai dos dutos a uma temperatura mais amena.

Embora o conceito de dutos/tubulações subterrâneas seja conhecido há séculos (RODRIGUES; GILLOTT, 2015), o interesse por eles aumentou principalmente na última década. Por outro lado, pode-se encontrar relatórios de instalações em muitos países, como na Alemanha (PFAFFEROTT, 2003), na China (YANG ET AL., 2010) e, claro, no Brasil (VAZ ET AL., 2014), apenas para mencionar alguns. A este respeito,

há uma literatura crescente com o objetivo de estudar diferentes temas como: o desenvolvimento e validação de modelos completos ou simplificados para suas simulações, visando analisar seus parâmetros operacionais (BRUM ET AL., 2012; BRUM ET AL., 2013; PAEPE; JANSSENS, 2003).

Deve-se notar que a maioria dessas referências estuda TCSA compostos por apenas um duto, ou conjuntos de dutos afastados uns dos outros para evitar interferências térmicas mútuas. Um problema recentemente levantado por Rodrigues et al. (2015) foi como arranjar conjuntos de dois, três, ou mais dutos visando melhorar seu desempenho térmico. Algumas respostas foram obtidas usando o método Design Constructal (BEJAN; LORENTE, 2008). Em suma, a idéia é deixar as configurações de fluxo do sistema variar livremente, até atingir restrições volumétricas, na direção das principais correntes de fluxo, enquanto se observa a evolução de alguma função objetivo.

Para TCSA, a corrente é o calor que flui principalmente na direção transversal dos dutos para o solo. Quanto à função objetivo, este trabalho estuda o chamado potencial térmico, que é uma média das diferenças entre as temperaturas nas saídas e as entradas dos dutos.

Este capítulo objetiva usar o método Design Constructal para melhorar a configuração geométrica de um novo layout para TCSA com quatro dutos. Como feito por Rodrigues et al. (2015), consideramos que os dutos formam um prisma cuja forma pode variar dentro do solo (permitindo assim que a configuração do fluxo mude livremente), mas seu volume deve permanecer constante. Como é mostrado à frente, acabamos encontrando os melhores espaçamentos verticais e horizontais entre os dutos, a fim de melhorar o potencial térmico dos TCSA. Finalmente, é importante mencionar que este trabalho também apresenta novos modelos para o potencial térmico, permitindo simplificar as análises de conjuntos de TCSA, bem como estabelecer resultados para o seu desempenho energético.

2 | METODOLOGIA

Em relação à geometria, o solo está contido em um domínio tridimensional Ω consistindo de um paralelepípedo cujo comprimento, altura e largura são, respectivamente, $L_s=26\text{m}$, $H_s=15\text{m}$ e $W_s=10\text{m}$. Os TCSA são compostos por quatro dutos tomando a forma de cilindros circulares retos com comprimento $L_e=L_s$ e diâmetro $D_e=0,11\text{m}$. A Fig.1 mostra uma visão bidimensional dos quatro dutos sobre o plano xz.

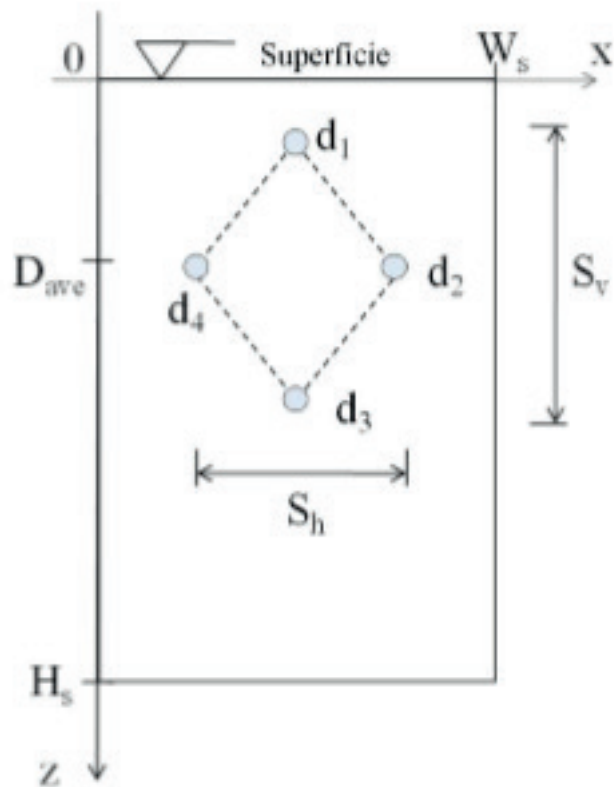


Figura 1. Vista transversal do domínio e dos quatro dutos.

Os centros dos dutos são colocados nos cantos de um losango que é centrado em torno do ponto de referência $Q(W_s/2, D_{ave})$, onde $D_{ave} = 3\text{m}$, a mesma profundidade proposta por Brum et al. (2012) para TCSA com um duto. A partir do método Design Constructal, os espaçamentos verticais (S_v) e horizontais (S_h) entre os dutos estão livres para variar sob certas restrições. Primeiro, para evitar a sobreposição dos dutos, e mantê-los em Ω , impusemos o seguinte: $S_h > D_e$, $S_v > D_e$, $S_h < W_s - 2D_e$, $S_v < 2D_{ave} - 0,5\text{m}$. Em segundo lugar, eles devem satisfazer uma fração de volume fixa:

$$\psi = \frac{V_E}{V_S} = \frac{L_E \frac{S_v S_h}{2}}{L_S H_S W_S} = \frac{S_v S_h}{2H_S W_S}. \quad (1)$$

Aqui, V_E é o volume do prisma com comprimento L_E e cuja seção transversal é um losango, enquanto V_S é o volume de Ω . Portanto, com o método Design Constructal, estamos preocupados em estudar como o desempenho geral dos TCSA varia quando sua estrutura prismática é modificada (mantendo seu volume constante) em direção às principais correntes de calor que estão fluindo entre os dutos e o solo. Para este trabalho, adotamos $\psi = 0,01$, que é uma fração de volume também usada por Rodrigues et al. (2015), e apresentamos adiante os resultados de 15 simulações

variando a relação $r = S_v/S_h$ de aproximadamente 0,05 a 7,05.

Para estudar os TCSA, adotamos um modelo relativamente completo, onde o fluxo de ar dentro do duto é considerado transitório, incompressível, turbulento e descrito por equações de conservação de massa, momento e energia, médias no tempo (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007, WILCOX, 2002; INCROPERA et al., 2011). Em coordenadas cartesianas, estas equações são, respectivamente:

$$\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_i} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{v}_i \bar{v}_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} \delta_{ij} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu_a \left(\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i} \right) - \tau_{ij} \right], \quad (3)$$

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{v}_i \bar{T})}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_a \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - q_i \right), \quad (4)$$

onde temos de encontrar os campos de temperatura $T(K)$, velocidade $v(m/s)$ e pressão $p(N/m^2)$.

Aqui, a linha superior é usada para denotar médias temporais e as equações obedecem à notação indicial, isto é: os eixos x, y e z são representados, respectivamente, por x_1, x_2 e x_3 , portanto, os inteiros i e j variam de 1 a 3; o símbolo δ_{ij} é o delta de Kronecker (se $i=j$ então $\delta_{ij}=1$, caso contrário, $\delta_{ij}=0$); um somatório fica subentendido pelo uso de índices repetidos, conforme a notação de Einstein. Quanto aos outros símbolos (na ordem que surgem no texto), t, ν_a, τ_{ij} e q_i representam, respectivamente, o tempo (s), a densidade do ar (kg/m^3), a viscosidade cinemática do ar (m^2/s), o tensor de tensão de Reynolds (m^2/s^2), a difusividade térmica do ar (m^2/s) e o fluxo de energia turbulenta (mK/s).

Os modelos usados para τ_{ij} e q_i são:

$$\tau_{ij} = \bar{v}_i' \bar{v}_j', \quad (5)$$

$$q_j = \bar{v}_j' \bar{T}', \quad (6)$$

onde o apóstrofo indica uma componente de flutuação variante no tempo (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007). Para lidar com o problema de fechamento, utilizamos o modelo das tensões de Reynolds (RSM), mais detalhado em referências como (BRUM et al., 2012; VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007; WILCOX, 2002), o qual não é apresentado aqui por uma questão de brevidade.

Quanto à transferência de calor no solo, assume-se simplesmente como difusiva e regida pela lei de conservação da energia:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_s \frac{\partial T}{\partial x_i} \right), \quad (7)$$

onde α_s é a difusividade térmica do solo (m^2/s).

Este modelo para TCSA, foi introduzido por Brum et al. (2012), onde foi validado através de comparações com os dados experimentais referentes a uma instalação de TCSA na cidade de Viamão, no sul do Brasil (VAZ et al., 2014). Portanto, as simulações apresentadas neste capítulo também estão relacionadas às condições encontradas naquela parte do Brasil. Este é o caso das condições de contorno para as temperaturas na superfície do solo T_s e na entrada dos dutos T_i , que são dadas por:

$$T_s(t) = 18,70 + 6,28 \sin(0,0172t + 26,24), \quad (8)$$

$$T_i(t) = 23,03 + 6,92 \sin(0,0172t + 26,42), \quad (9)$$

onde as temperaturas nestes modelos estão em $^{\circ}C$ e o tempo em dias.

Estas equações foram ajustadas a partir dos dados experimentais usando o algoritmo para o método dos mínimos quadrados descrito por Brum et al. (2015). As outras superfícies do domínio são consideradas isoladas termicamente. Quanto à velocidade do ar na entrada dos dutos, adotamos o valor de $3,3m/s$, que também foi usada experimentalmente. Assume-se que a saída dos dutos esteja na pressão atmosférica. Quanto a condição inicial, todo o domínio foi considerado a $18,70^{\circ}C$, que é a temperatura média do solo, como pode ser visto na Eq. (8). Naturalmente, as propriedades termofísicas do ar e do solo também acompanham o trabalho de Vaz et al. (2014) e estão resumidos na Tab. 1.

Para fazer as simulações, primeiro construímos o domínio computacional usando o software GAMBIT. A malha foi composta por células tetraédricas, sendo mais refinada dentro dos dutos do que na porção do solo para melhor capturar os gradientes de temperatura mais elevados. Aqui, seguimos o padrão sugerido por Rodrigues et al. (2015), onde o tamanho máximo para as células nos dutos e no solo foram $D_e/3$ e $3D_e$, respectivamente.

	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$\nu(\text{m}^2/\text{s})$	$\alpha(\text{m}^2/\text{s})$
Ar	1,16	$1,542 \times 10^{-5}$	$2,066 \times 10^{-5}$
Solo	1800	-	6.554×10^{-7}

Tabela 1: Propriedades termofísicas do ar e do solo

Como foi feito na mesma referência, nós desprezamos as propriedades do material e a espessura dos dutos. Depois disso, resolvemos as equações governantes com o Software FLUENT que adota Métodos de Volumes Finitos. Além disso, dentre as opções disponíveis, adotamos: o algoritmo Coupled para o tratamento de campos transitórios de pressão e velocidade; o esquema Upwind para lidar com instabilidades numéricas devido aos termos advectivos.

Finalmente, as simulações cobriram um período de dois anos dividido em intervalos de tempo de 3600s que avançava após os resíduos (entre duas iterações sucessivas) de massa, momento e balanço energético tornarem-se inferiores a 10^{-3} , 10^{-3} e 10^{-6} , respectivamente, satisfazendo o critério de convergência.

3 | NOVOS MODELOS E RESULTADOS

3.1 Modelagem do potencial térmico instantâneo

Para TCSA com quatro dutos, o seu potencial térmico instantâneo P pode ser definido por:

$$P(t) = \sum_{k=1}^4 [T_{o,k}(t) - T_{i,k}(t)] / 4, \quad (10)$$

onde: $T_{o,k}$ e $T_{i,k}$ representam, respectivamente, as temperaturas na saída e na entrada do k -ésimo duto, no instante de tempo t . Aqui, para todos os dutos, $T_{i,k}$, conforme a Eq. (9). No entanto, P também é uma função de outras variáveis além do tempo t . Em particular, P varia com a razão entre os espaçamentos verticais e horizontais dos dutos, i. e., com a razão $r = S_v / S_h$.

Neste trabalho, nós descobrimos que P pode ser modelado por funções senoidais do tipo:

$$P(t,r)=a(r)\text{sen}(bt+c)+d, \quad (11)$$

onde b , c e d são constantes reais e a é uma função de r . Como é usual, também chamamos a , b , c e d , respectivamente, de amplitude, freqüência angular, fase e valor médio de P . A idéia de que as variações em r afetam principalmente a amplitude de P podem ser observadas nos gráficos da Fig. 2. Eles mostram que os aumentos em r de 0,05 a 7,05 diminuem a amplitude do potencial térmico instantâneo, enquanto as mudanças na freqüência, fase e valor médio são pouco perceptíveis.

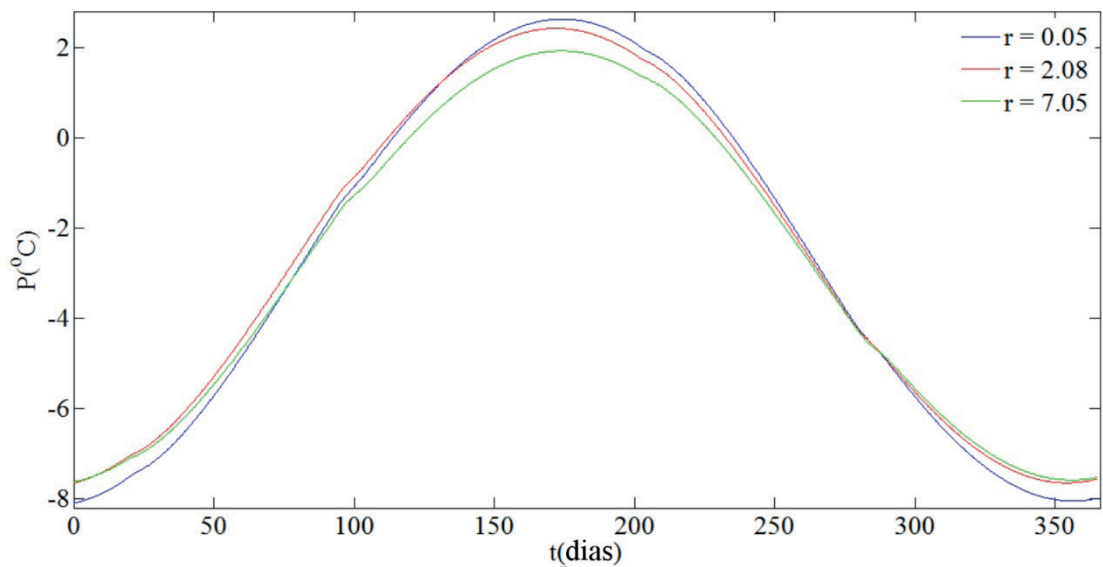


Figura 2. Gráficos de P ao longo do ano para três diferentes valores de r .

Usando o método dos mínimos quadrados, como em (BRUM et al., 2015), primeiro exploramos modelos para P , ajustando os valores das soluções numéricas à funções senoidais na forma:

$$P_j(t)=a_j(r)\text{sen}(b_jt+c_j)+d_j, \quad (12)$$

onde a_j , b_j , c_j e d_j são coeficientes reais. Notamos que $j=1,2,\dots,15$, pois simulamos as instalações de TCSA com 15 valores diferentes de r , os quais são exibidos de maneira aproximada na Tab.2, juntamente com os coeficientes correspondentes, exceto b_j . Cabe notar que a freqüência angular é constante, visto que um ano tem 365 dias, assim, $b_j=2/3650,0172\text{rad/dia}$, para todos os valores de j .

r(m)	0,05	0,16	0,33	0,56	0,85	1,20	1,61	2,08
a _j (°C)	5,37	5,34	5,25	5,18	5,10	5,10	5,08	5,07
c _j (rad)	-1,44	-1,43	-1,42	-1,41	-1,37	-1,40	-1,40	-1,41
d _j (°C)	-2,71	-2,66	-2,60	-2,56	-2,59	-2,55	-2,57	-2,60

r(m)	2,61	3,20	3,85	4,56	5,33	6,16	7,05
a _j (°C)	5,06	5,03	5,00	4,96	4,91	4,85	4,79
c _j (rad)	-1,41	-1,42	-1,42	-1,42	-1,43	-1,43	-1,43
d _j (°C)	-2,63	-2,65	-2,69	-2,72	-2,76	-2,79	-2,82

Tabela 2: Valores de a_j, c_j e d_j para cada r

Estes resultados confirmam que as variações em r afetam muito mais o coeficiente a_j que os demais. Também calculamos os desvios padrão (BULMER, 1979) de a_j, c_j e d_j, obtendo, respectivamente, os seguintes valores: 0,165, 0,017 e 0,085. Isso justifica a adoção de um modelo para P, como aquele da Eq.(11), onde os coeficientes b, c e d são dados, respectivamente, pelos valores médios de b_j, c_j e d_j, enquanto a é uma função de s. Usando mínimos quadrados, ajustamos os valores discretos de a_j por polinômios. Como pode ser visto na comparação mostrada na Fig.3, os dados podem ser adequadamente ajustados por polinômios de grau três e quatro, no entanto, escolhemos o último para aumentar a correlação, alcançando uma correlação R de Pearson de 0,99. Portanto, modelamos a e P pelas seguintes funções:

$$a(r)=0,0021r^4-0,0341r^3+0,1827r^2-0,4113r+5,3794, \quad (13)$$

$$P(t,r)=a(r)\text{sen}(0,0172t-1,4160)-2,6589. \quad (14)$$

3.2 Design e Potencial

Uma razão importante para determinar tais modelos é que eles resumem em poucas equações uma grande quantidade de dados numéricos obtidos nas simulações das instalações de TCSA, simplificando assim as suas análises.

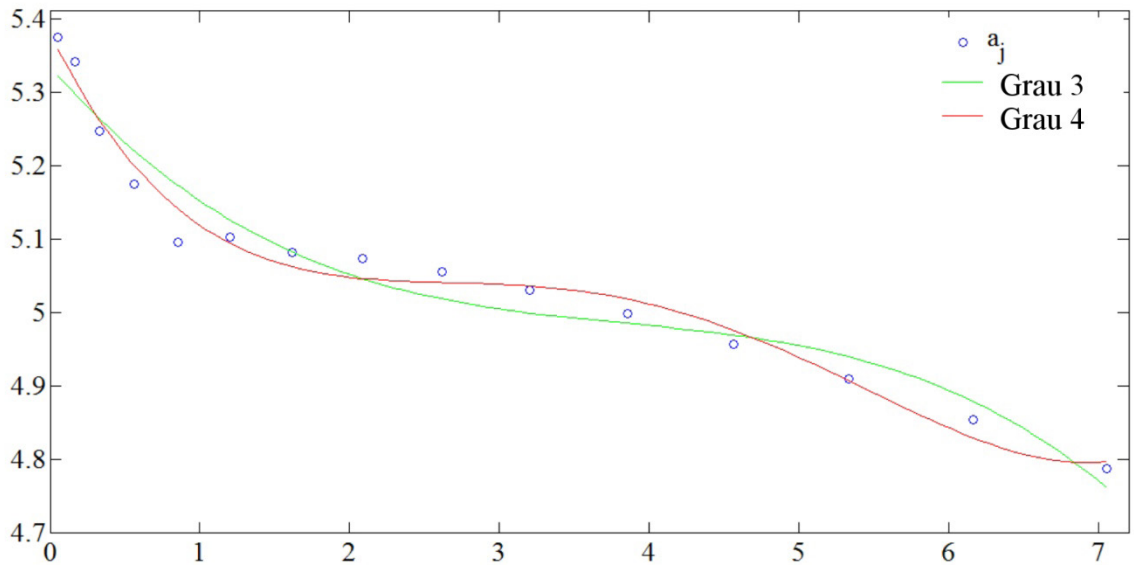


Figura 3. Comparação entre dois polinômios de graus 3 e 4 para ajustar a_j

Uma primeira preocupação com os TCSA é sua utilização para melhorar o conforto térmico, principalmente no verão e inverno visando, respectivamente, resfriar e aquecer edificações. Assim, se no verão deseja-se diminuir tanto quanto possível o valor de P , no inverno ocorre o contrário. Em geral, a partir do modelo para P fornecido pela Eq.(14), isso é satisfeito maximizando sua amplitude.

Estudando a função $a(r)$ dada pela Eq. (13) dentro do intervalo das simulações consideradas para $r=S_v/Sh$, então a amplitude máxima ocorre para $r=0,05$, enquanto a mínima para $r=7,05$. Em termos de design, esses resultados ajudam a entender parte das relações entre o desempenho térmico dos TCSA e a geometria da instalação. Olhando para a visão bidimensional da Fig. 1, onde os dutos formam um losango, concluí-se que a redução da sua altura e aumento da sua base melhoram o potencial térmico instantâneo da instalação.

3.3 Potencial Térmico

Como os TCSA costumam ser mais úteis durante o verão ou no inverno, é conveniente estudar seu desempenho durante os meses mais quentes ou mais frios. Nesse sentido, algumas referências (BRUM et al., 2012; RODRIGUES et al.,2015; VAZ et al.,2014; BRUM et al.,2013) empregam uma média mensal do potencial térmico instantâneo, que é simplesmente chamado de Potencial térmico P_t e é dado por:

$$P_T = \frac{\int_{t_f}^{t_l} P(t) dt}{t_l - t_f} \quad (15)$$

Aqui, t_f e t_l são, respectivamente, o primeiro e o último dia do mês, e a integral pode ser computada para valores fixos de r . A Tab.3 apresenta os valores de P_t durante os meses de verão de dezembro e janeiro, bem como nos meses de inverno de junho e julho, para $r = 0,05$ e $r = 7,05$, que representam as melhores e piores geometrias, respectivamente.

A partir destes resultados, nota-se que o potencial térmico é relativamente melhorado em mais de 7% e 25% no verão e no inverno, respectivamente.

	Dezembro	Janeiro	Junho	Julho
$r=0,05$	-7,94	-7,49	2,52	2,19
$r=7,05$	-7,39	-6,98	1,99	1,69

Tabela 3: $P_t(^{\circ}\text{C})$ para os meses mais quentes e mais frios do ano.

3.4 Desempenho Energético

Além do conforto térmico, o potencial térmico também é diretamente proporcional à quantidade de energia convencional que se pode economizar em um mês com ar condicionado usando os TCSA. A taxa de transferência de calor (INCROPERA et al.,2011; PFAFFEROTT, 2003) trocado pelos TCSA pode ser estimada mensalmente por:

$$\dot{Q} = 4\rho_a c_{pa} v_a A_D P_T \quad (16)$$

onde ρ_a e c_{pa} são a densidade e calor específico do ar, respectivamente, enquanto v_a é a velocidade média do ar nos dutos. Estamos assumindo que $v_a = 3,3\text{m/s}$, que também é a velocidade do ar na entrada dos dutos, além disso, $c_{pa} = 1010\text{J}/(\text{kg K})$. Finalmente, $A_D = \pi D_e^2/4$, que corresponde a área da seção transversal dos dutos.

Dos resultados mostrados na Tab.4, considerando a melhor geometria para as instalações de TCSA, verifica-se que eles podem alcançar mais de 1100W e 320W, respectivamente, em taxas de transferência de resfriamento e aquecimento. Observando também as quantidades de calor trocadas (Q), isto representa economias energéticas com ar condicionado superiores a 810kWh e 230kWh no verão e no inverno, respectivamente.

	Dezembro	Janeiro	Junho	Julho
$\dot{Q}(W)$	1166,4	1100,5	370,6	322,1
$Q(kWh)$	867,8	818,7	275,7	239,7

Tabela 4: θ durante os meses mais quentes e mais frios do ano para $r=0.05$.

3.5 Eficiência

Embora os resultados anteriores tenham ajudado a comparar as diferentes geometrias dos TCSA e forneçam uma idéia de suas capacidades energéticas, eles não oferecem uma medida de eficiência. Em outras palavras, não sabemos quanto conseguimos extrair do potencial do solo. Para diferentes referências (INCROPERA et al., 2011; LEE, 2010; PFAFFEROTT, 2003; PAEPE; JANSSENS, 2003), uma medida de eficiência é dada por uma razão de temperatura:

$$\theta = \frac{T_o - T_i}{T_{solo} - T_i}, \quad (17)$$

onde T_{solo} é a temperatura do solo enquanto T_o e T_i são as temperaturas do ar na saída e na entrada, dos dutos respectivamente.

Para estimar a eficiência ao longo de um ano de operação dos TCSA, adotamos neste trabalho uma variação da equação anterior, calculando-a por:

$$\theta_m = \frac{\sqrt{\int_0^{365} P(t,r)^2 dt}}{\sqrt{\int_0^{365} [T_{solo}(t) - T_i(t)]^2 dt}}, \quad (18)$$

onde θ é dada pela Eq.(9) enquanto

$$T_{solo}(t) = 18,70 + 1,94 \text{sen}(0,0172t - 0,11), \quad (19)$$

representa a temperatura do solo no centro da instalação, i. e., na profundidade

de 3m (BRUM et al., 2013). Assim, estamos computando no numerador e no denominador médias quadráticas anuais.

Feitos esses esclarecimentos, descobrimos que a eficiência também aumentou reduzindo r , mais especificamente, os valores mais altos e mais baixos de r foram 71,6% e 66,7% para $r = 0,05$ e $r = 7,05$, respectivamente.

4 | CONCLUSÕES

Este capítulo apresentou diferentes resultados obtidos pela aplicação do Método Design Constructal para melhorar a disposição geométrica de quatro dutos enterrados no solo para formar TCSA. Tomando uma visão transversal dos dutos, eles foram montados sob a forma de um losango com altura e base medindo, respectivamente, S_v e S_h . A partir de simulações numéricas, variando a razão $r = S_v / S_h$, respeitando restrições volumétricas, mostramos que o desempenho térmico dos TCSA pode ser melhorada reduzindo r , ou, em outras palavras, alongando a base do losango.

Este trabalho também apresenta o desenvolvimento de modelos simples baseados em funções senoidais para estudar o potencial térmico instantâneo P dos TCSA. A partir desses esforços, descobrimos que as variações em r afetam principalmente a amplitude de P . Isso simplificou nossas análises e permitiu determinar a melhor configuração geométrica a partir dos casos examinados.

Os resultados indicaram as seguintes possibilidades: (1) de aumentar o potencial térmico no verão e inverno em mais de 7% e 25%, respectivamente; (2) de reduzir o consumo de energia em mais de 810kWh no verão e 230kWh no inverno; (3) de aumentar a eficiência anual em mais de 70%.

5 | AGRADECIMENTOS

R. da S. Brum agradece ao CNPq pela bolsa de doutorado, já que parte desse trabalho foi desenvolvido durante sua tese de doutorado. E. D. Santos, L. A. Isoldi e L. A. O. Rocha agradecem ao CNPq (Brasília, DF, Brasil) pelas bolsas de pesquisa (Processos: 306024 / 2017-9, 306012 / 2017-0, 307847 / 2015-2). Todos os autores também agradecem à FAPERGS pelo apoio financeiro (Edital 02/2017 - PqG)

REFERÊNCIAS

BEJAN, A.; LORENTE, S. **Design with Constructal Theory**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

BRUM, R.S.; RAMALHO, J.V.A.; ROCHA, L.A.O.; ISOLDI, L.A.; SANTOS, E.D. A matlab code to fit periodic data. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 7, n. 2, 2015.

BRUM, R.S.; ROCHA, L.A.O.; VAZ, J.; SANTOS, E.D.; ISOLDI, L.A. Development of simplified

- numerical model for evaluation of the influence of soil-air heat exchanger installation depth over its thermal potential. **International Journal of Advanced Renewable Energy Research**, v. 1, p. 505-514, 2012.
- BRUM, R.S.; VAZ, J.; ROCHA, L.A.O.; SANTOS, E.D.; ISOLDI, L.A. A new computational modeling to predict the behavior of earth-air heat exchangers. **Energy and Buildings**, v. 64, p. 395-402, 2013.
- BULMER, M.G. **Principles of Statistics**. New York: Dover Publications Inc., 1979.
- INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T.L.; LAVINE, A.S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2011
- LEE, H.S. **Thermal design: heat sinks, thermoelectrics, heat pipes, compact heat exchangers, and solar cells**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.
- PAEPE, M.; JANSSENS, A. Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers. **Energy and Buildings**, v. 35, n.4, p. 389-397, 2003.
- PFAFFEROTT, J. Evaluation of earth-to-air heat exchangers with a standardised method to calculate energy efficiency. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 10, p. 971-983, 2003
- RODRIGUES, L.T.; GILLOTT, M. A novel low-carbon space conditioning system incorporating phase-change materials and earth-air heat exchangers. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 10, n. 3, p.176-187, 2015
- RODRIGUES, M.K.; BRUM, R.S.; VAZ, J.; ROCHA, L.A.O.; SANTOS, E.D.; ISOLDI, L.A. Numerical investigation about the improvement of the thermal potential of an earth-air heat exchanger (eahe) employing the constructal design method. **Renewable Energy**, v. 80, p. 538-551, 2015
- VAZ, J.; SATTLER, M.; BRUM, R.S.; SANTOS, E.D.; ISOLDI, L.A. An experimental study on the use of earth-air heat exchangers (eahe). **Energy and Buildings**, v. 72, p. 122-131, 2014.
- VERSTEEG, H.K.; MALALASEKERA, W. **An Introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method**. London: Pearson Education, 2007.
- WILCOX, D.C. **Turbulence Modeling for CFD**. Califórnia: DCW Industries, 2002.
- YANG, W.; ZHOU, J.; XU, W.; ZHANG, G. Current status of ground-source heat pumps in china. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, p. 323-332, 2010.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abaqus 40, 41, 43, 46, 48

Agrupamento 81, 140, 169, 170, 175, 176

Aplicação 5, 6, 28, 31, 33, 34, 37, 49, 50, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 61, 68, 70, 80, 83, 89, 129, 135, 148, 150, 152, 157, 169, 174

Aplicativo móvel 1, 7, 88

Aprendizado online 98, 100

Aprendizagem 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 140, 147, 148, 149, 150, 154, 156

Aprendizagem colaborativa 89, 95, 140

Área de convergência 49, 50, 51, 52, 58, 60, 61, 62

Atenção visual 98, 101, 103, 106, 107, 110

Avaliação automática 148, 149

B

Banco de dados 8, 59, 66, 76, 77, 79, 81, 82, 84, 85, 86, 170, 182

Busca visual 98, 99, 100, 101, 102, 107, 110

C

Carteira estudantil 1

Celular 87, 88, 90, 91, 96, 179

Centrais de dados 49, 50, 54, 62

Coefficiente de impacto 125, 130, 138

Condicionamento de Ar 16

Custos 30, 31, 32, 36, 37

D

Design constructal 16, 18, 19, 28

Desvio funcional 76

Difuso 169

E

Efeitos dinâmicos 125, 126, 127, 130, 136, 137

Energias renováveis 16

Ensino 2, 34, 38, 63, 64, 74, 87, 88, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 148, 149, 156

Espectroscopia 112, 114, 115, 116, 118, 121, 122

Etilômetro 112, 113, 114, 116

Exercícios de programação 148, 156

Expressão gênica 169, 171, 174

G

Gestão pública 76, 85

I

Infravermelho 112, 114, 115, 116, 117, 118, 121

J

Java 53, 148, 149, 150, 151, 156

L

LIWC 140, 143, 144, 146

M

Materiais compósitos 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47

Mineração de textos 158, 166, 167

Mobile learning 87, 88, 89, 91, 93, 95, 96, 97

Modelagem computacional 16, 40, 42, 125, 138

Modelo de estilo de aprendizagem 63, 65, 69

Modelos de cargas móveis 125

Multivariado 169, 172, 176, 178

P

Pontes rodoviárias 125, 126, 138, 139

Processamento de linguagem natural 140, 159

Processo ensino-aprendizagem 63

R

Recomendação 63, 64, 67, 70, 71, 72, 73

Recurso educacional aberto 63, 64

Recursos humanos 76, 79, 86

Redes 7, 30, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 39, 81, 97, 158, 161, 167

Redes neurais sem peso 158

Robótica 98, 99, 100, 101, 110

S

Simulação 5, 13, 14, 40, 41, 43, 49, 50, 52, 54, 57, 58, 60, 61, 62, 68, 102

Simulação numérica 40, 41, 43

Sistemas de informação 76, 77, 79, 80, 86, 182

T

Tecnologia 1, 30, 32, 33, 34, 38, 39, 63, 90, 97, 112, 176, 182

Telefonia 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39

Transporte público 1, 2, 3, 5, 6, 7, 15

Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA) 16, 17

V

VoIP 30, 32, 33, 34, 38, 39

W

Whatsapp 87, 91, 96, 97

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-702-4



9 788572 477024