

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Estudos (Inter)
Multidisciplinares
nas Engenharias 2

Atena
Editora

Ano 2019

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Estudos (Inter) Multidisciplinares nas
Engenharias
2

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: Geraldo Alves
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 de 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)	
E82	<p>Estudos (inter) multidisciplinares nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-701-7 DOI 10.22533/at.ed.017190910</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Helenton Carlos da.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 21 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias.

O processo de aprendizagem, hoje em dia, é baseado em um dinamismo de ações condizentes com a dinâmica do mundo em que vivemos, pois a rapidez com que o mundo vem evoluindo tem como chave mestra a velocidade de transmissão das informações.

A engenharia praticada nos dias de hoje é formada por conceitos amplos e as situações a que os profissionais são submetidos mostram que esta onda crescente de tecnologia não denota a necessidade apenas dos conceitos técnicos aprendidos nas escolas.

Desta forma, os engenheiros devem, além de possuir um bom domínio técnico da sua área de formação, possuir domínio também dos conhecimentos multidisciplinares, além de serem portadores de uma visão globalizada.

Este perfil é essencial para o engenheiro atual, e deve ser construído na etapa de sua formação com o desafio de melhorar tais características.

Dentro deste contexto podemos destacar que uma equipe multidisciplinar pode ser definida como um conjunto de profissionais de diferentes disciplinas que trabalham para um objetivo comum.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados aos estudos da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias, com destaque mais diversas engenharias e seus temas de estudos.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DO DESEMPENHO DE CONCRETO DESENVOLVIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS/SP	
Tatiane Caroline Rocha Lemos Eduvaldo Paulo Sichieri Victor José dos Santos Baldan	
DOI 10.22533/at.ed.0171909101	
CAPÍTULO 2	13
ESTUDO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA A PARTIR DE RESÍDUO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE PNEUS	
Tatiane Caroline Rocha Lemos Eduvaldo Paulo Sichieri Victor José dos Santos Baldan	
DOI 10.22533/at.ed.0171909102	
CAPÍTULO 3	25
ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DA MADEIRA: UMIDADE, DENSIDADE APARENTE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELAS ÀS FIBRAS DAS ESPÉCIES COMERCIALIZADAS NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-RR	
Weiza Nunes Barbosa Emerson Lopes de Amorim Luiz Gustavo Ayres Barros Kellen de Souza Singh Lucas Matos de Souza José Castro Lima	
DOI 10.22533/at.ed.0171909103	
CAPÍTULO 4	37
ANÁLISE DOS EFEITOS DA VAZÃO MÁSSICA SOBRE A DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES EM AQUECEDORES DE LEITE DO TIPO PLACAS PLANAS GAXETADAS	
Alex Vazzoler	
DOI 10.22533/at.ed.0171909104	
CAPÍTULO 5	47
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) EM COMUNIDADE TRADICIONAL DO MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP E POSSÍVEIS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS	
Roberto Quaresma Santana Lia Carla de Souza Rodrigues Jorge Emílio Henriques Gomes Marília de Almeida Cavalcante	
DOI 10.22533/at.ed.0171909105	
CAPÍTULO 6	55
AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE MACROTEXTURA E DRENABILIDADE EM DUAS PISTAS DE POUSO NA REGIÃO DO VALE DO ARAGUAIA	
Thamires Ferreira da Silva	

Lucas Jorge Freitas Marinho
Augusto Romanini
Raul Tadeu Lobato Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.0171909106

CAPÍTULO 7 69

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DE GELATINAS OBTIDAS A PARTIR DAS PELES DE MAPARÁ (*Hypophthalmidae*) E URITINGA (*Arius Proops*)

Élida Viana de Souza
Jiullie Delany Bastos Monteiro
Nara Helem Brazão da Costa
Leliane da Silveira Barbosa Gomes
Iara Eleni de Souza Pereira

DOI 10.22533/at.ed.0171909107

CAPÍTULO 8 77

CONTROLE ESTRUTURAL DO DEPÓSITO PLACER DE MINERAIS PESADOS NA REGIÃO PRAIAL AO NORTE DA DESEMBOCADURA DA LAGOA DOS PATOS (BUJURU, BRASIL)

Bruno Silva da Fontoura
Adelir José Strieder
Jéssica Stern Behling
Rui Sérgio Saraiva Duarte Junior
Talita Cabelera da Silva
Paulo Mendes
Aureliano Augusto Vieira da Nóbrega
Lauro Julio Calliari

DOI 10.22533/at.ed.0171909108

CAPÍTULO 9 87

ESTRUTURA FÍSICA E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA A RELUTÂNCIA VARIÁVEL PAUTADO EM PROTÓTIPO 8/6

Marcos José de Moraes Filho
Luciano Coutinho Gomes
Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira
Darizon Alves de Andrade
Josemar Alves dos Santos Junior
Wanberton Gabriel de Souza

DOI 10.22533/at.ed.0171909109

CAPÍTULO 10 99

VARIAÇÃO DA PERDA DE CARGA NA MANGUEIRA EM FUNÇÃO DE SEU ENROLAMENTO

Diogo Henrique Morato de Moraes
Ricardo Marques da Silva Viegas
Dione Monteiro de Moraes
Matheus Henrique Morato de Moraes
Marcio Mesquita

DOI 10.22533/at.ed.01719091010

CAPÍTULO 11 109

ÍNDICE DE DESEMPENHO DE MISTURAS TERNÁRIAS CONTENDO CIMENTO PORTLAND SÍLICA DE CASCA DE ARROZ E NANOSSÍLICA COLOIDAL

Daniel da Silva Andrade
Josué Régio Damaceno
Laércio Breno Moreira
Aline Alves de Almeida
João Henrique da Silva Rêgo

DOI 10.22533/at.ed.01719091011

CAPÍTULO 12 122

LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO E IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PESQUISAS CIENTÍFICAS NA ÁREA DAS CIÊNCIAS SOCIAIS SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR PARA O SEGMENTO SUCROENERGÉTICO

Manoel Gonçalves Filho
Clóvis Delboni
Reinaldo Gomes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.01719091012

CAPÍTULO 13 135

MELHORIA NO PROCESSO DE MONTAGEM ATRAVÉS DA FERRAMENTA POKA YOKE: UM ESTUDO DE CASO NO MCDONALD'S

Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer
Dayse Mendes
Douglas Soares Agostinho
Felipe Martins Machado
Jennifer Evangelista Cavalcante
Kellen Coelho dos Santos
Marcos Augusto Mendes Marques
Marcos Henrique Morais
Renatha Querubina de Anevam
Rodrigo Ramiro Prior

DOI 10.22533/at.ed.01719091013

CAPÍTULO 14 144

MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA UTILIZANDO UMA ABORDAGEM ANALÍTICA

Régis Sperotto de Quadros
Glênio Aguiar Gonçalves
Daniela Buske

DOI 10.22533/at.ed.01719091014

CAPÍTULO 15 153

O ÍNDICE DE CONFIABILIDADE PARABÓLICO

Emmanoel Guasti Ferreira
Marcílio Sousa da Rocha Freitas
José Antônio da Rocha Pinto
Geraldo Rossoni Sisquini

DOI 10.22533/at.ed.01719091015

CAPÍTULO 16	168
RE-EVALUATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TOTAL ACID NUMBER ON NAPHTHENIC CORROSION BY ELECTROCHEMICAL NOISE TECHNIQUE	
Ana Carolina Tedeschi Gomes Abrantes Alysson Nunes Diógenes Haroldo de Araújo Ponte	
DOI 10.22533/at.ed.01719091016	
CAPÍTULO 17	179
SLOW-RELEASE FERTILIZER FROM A ROCK CONTAINING GLAUCONITE BY THERMAL PROCESSING WITH ADDITIVES	
Antonio Clareti Pereira Emily Mayer de Andrade Becheleni Marta Ribeiro dos Santos Gomes Sônia Denise Ferreira Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.01719091017	
CAPÍTULO 18	190
UMA INTRODUÇÃO AO USO DA INTEGRAL DE DUHAMEL EM SISTEMAS DINÂMICOS ESTRUTURAIS	
Natan Sian das Neves	
DOI 10.22533/at.ed.01719091018	
CAPÍTULO 19	202
USO DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NA OTIMIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE ADSORÇÃO COM TURFA PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ DE EFLUENTE OLEOSO	
Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado Francisco Igor da Costa Freire Andréa Francisca Fernandes Barbosa André Luís Novais Mota Kalyanne Keyly Pereira Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.01719091019	
CAPÍTULO 20	211
UTILIZAÇÃO DE COBERTURA COMESTÍVEL NA CONSERVAÇÃO DE HORTIFRUITI	
Martiliana Mayani Freire Leoclécio Luis de Paiva Laís Barreto Franco Anna Paula Marques Cardoso Gleison Martins Medeiros Raposo Caliane Lília Leite do Nascimento Pedro Fagner Araújo Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.01719091020	
CAPÍTULO 21	218
MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE CAIXAS COLETORAS DE DRENAGENS URBANAS NA REGIÃO DO PORTO DE PELOTAS/RS	
Marciano Carneiro Milton Cruz Fernandes	

Angélica Cirolini
Alexandre Felipe Bruch
Lenon Silva de Oliveira
Gabriel da Silva Pontes

DOI 10.22533/at.ed.01719091021

SOBRE O ORGANIZADOR.....	232
ÍNDICE REMISSIVO	233

MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA UTILIZANDO UMA ABORDAGEM ANALÍTICA

Régis Sperotto de Quadros

Universidade Federal de Pelotas, Dep. de Matemática e Estatística, PPG em Modelagem Matemática, Pelotas / RS, quadros99@gmail.com

Glênio Aguiar Gonçalves

Universidade Federal de Pelotas, Dep. de Matemática e Estatística, PPG em Modelagem Matemática, Pelotas / RS, gleniogoncalves@yahoo.com.br

Daniela Buske

Universidade Federal de Pelotas, Dep. de Matemática e Estatística, PPG em Modelagem Matemática, Pelotas / RS, danielabuske@gmail.com

RESUMO: Neste trabalho é apresentada uma solução analítica para a equação de advecção-difusão tridimensional transiente para simular a dispersão de poluentes na atmosfera. A solução da equação de advecção-difusão é obtida de forma analítica utilizando uma combinação dos métodos de separação de variáveis e GILTT. A principal vantagem é que a solução apresentada evita uma inversão numérica realizada em trabalhos prévios da literatura, sendo esta uma solução totalmente analítica, a menos de truncamento de um somatório. Simulações numéricas e comparações estatísticas utilizando dados do experimento de Copenhagen são apresentadas e comprovam o bom desempenho do modelo.

PALAVRAS-CHAVE: Dispersão atmosférica. Solução analítica. Equação de advecção-difusão transiente. Modelagem da dispersão de poluentes.

AIR POLLUTION MODELLING IN ATMOSPHERE BY AN ANALYTICAL APPROACH

ABSTRACT: This work presents an analytical solution for the transient three-dimensional advection-diffusion equation to simulate the dispersion of pollutants in the atmosphere. The solution of the advection-diffusion equation is obtained analytically using a combination of the methods of separation of variables and GILTT. The main advantage is that the presented solution avoids a numerical inversion carried out in previous works of the literature, being by this way a totally analytical solution, less than a summation truncation. Initial numerical simulations and statistical comparisons using data from the Copenhagen experiment are presented and prove the good performance of the model.

KEYWORDS: Atmospheric Dispersion. Analytical Solution. Time-Dependent Advection-Diffusion Equation. Air Pollution Modelling.

1 | INTRODUÇÃO

Continuamente uma grande atenção tem sido dispendida para resolver analiticamente a equação de advecção-difusão com o objetivo de simular a dispersão de poluentes na atmosfera de uma maneira mais realística. Ao longo dos anos apareceram diversas soluções na literatura como resultado destas pesquisas. Estas soluções, em sua grande maioria, são para casos muito específicos, considerando coeficientes de difusão simples ou constantes (Moreira et al., 2009).

Um grande passo foi dado no início dos anos 2000, quando do surgimento do método GILTT que resolve a equação de advecção-difusão multidimensional dependente do tempo (Moreira et al., 2009; Buske et al., 2016), assumindo perfil de vento e coeficientes de difusão variáveis. Para o caso de um problema dependente do tempo, a equação de advecção-difusão é resolvida aplicando a transformada de Laplace na variável temporal e o problema estacionário resultante é então resolvido pelo método GILTT. A concentração final é obtida por inversão numérica no tempo usando quadratura gaussiana.

Neste trabalho mostramos um avanço em relação aos trabalhos previamente publicados, apresentando uma solução para a equação de advecção-difusão multidimensional dependente do tempo, sem a necessidade da inversão numérica da variável temporal. Tal solução é obtida através de uma combinação dos métodos de separação de variáveis e GILTT. Com esta metodologia obtêm-se a concentração final de poluentes muito mais rapidamente, ficando o erro restrito apenas a um truncamento de somatório. Parte deste trabalho foi publicado na 8th Conferência Sul de Modelagem Matemática (Quadros et al., 2018).

2 | METODOLOGIA DE SOLUÇÃO

A equação tridimensional de advecção-difusão, com fechamento Fickiano da turbulência, que descreve a dispersão de poluentes na atmosfera, é escrita como

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (1)$$

onde $C(t, x, y, z)$ é a função concentração média de poluente (kg/m^3), K_y é o coeficiente de difusão lateral (m^2/s), K_z é o coeficiente de difusão vertical (m^2/s), u é a componente da velocidade média do vento na direção x (m/s). A Eq. (1) está sujeita às seguintes condições de contorno, inicial e de fonte:

$$K_z \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \text{ em } z = 0, h \quad (2.a)$$

$$uC(0, x, y, z) = Q(0)\delta(x)\delta(y)\delta(z - H_s) \quad (2.b)$$

$$uC(t, 0, y, z) = Q(t)\delta(y)\delta(z - H_s) \quad (2.c)$$

na qual h (m) é a altura da camada limite, H_s (m) é a altura da fonte e Q (g/m²) é a intensidade da fonte, respectivamente.

Fazendo a separação de variáveis da equação diferencial do modelo de dispersão tridimensional, inicialmente considerando u e K_y constantes e expressando os autovalores em uma forma conveniente:

$$\frac{d}{dt} T_{\kappa\lambda} = -(\kappa^2 K_y + \lambda) T_{\kappa\lambda} \quad (3.a)$$

$$u \frac{d}{dx} X_{\alpha\lambda} = (\alpha + \lambda) X_{\alpha\lambda} \quad (3.b)$$

$$\frac{d^2}{dy^2} Y_{\kappa} = -\kappa^2 Y_{\kappa} \quad (3.c)$$

$$\frac{d}{dz} \left(K(z) \frac{d}{dz} Z_{\alpha} \right) = \alpha \frac{d}{dz} Z_{\alpha} \quad (3.d)$$

A solução da Eq. (3.a) é dada por $T_{\kappa\lambda}(t) = T_{\kappa}(t) T_{\lambda}(t) = e^{-\kappa^2 K_y t} e^{-\lambda t}$. A solução da Eq. (3.b) é $X_{\alpha\lambda}(x) = X_{\alpha}(x) X_{\lambda}(x) = e^{\frac{(\alpha+\lambda)x}{u}} = e^{\frac{\alpha x}{u}} e^{\frac{\lambda x}{u}}$ e a solução da Eq. (3.c) é $Y_{\kappa}(y) = A(\kappa) \cos(\kappa y)$. A solução da Eq. (3.d) é obtida pelo método GILTT (Moreira et al., 2009). Assim, a solução do problema (1) é dada na forma de produto como

$$C_{\kappa\lambda\alpha}(t, x, y, z) = [\psi_{\kappa}(t, y)][\phi_{\lambda}(t, x)][\varphi_{\alpha}(x, z)] \quad (4)$$

Olhando individualmente cada um dos fatores que compõem a Eq. (4), usando as soluções das Eq. (3), é possível escrever que

$$\psi_{\kappa}(t, y) = T_{\kappa}(t) Y_{\kappa}(y) = A(\kappa) e^{-\kappa^2 K_y t} \cos(\kappa y) \quad (5)$$

$$\phi_{\lambda}(t, x) = T_{\lambda}(t) X_{\lambda}(x) = e^{-\lambda t} e^{\frac{\lambda x}{u}} e^{\lambda t} = e^{-\frac{\lambda}{u}(ut-x)} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(K(z) \frac{\partial}{\partial z} \varphi_{\alpha}(x, z) \right) = u \frac{\partial}{\partial z} \varphi_{\alpha}(x, z) \quad (7)$$

onde $\varphi_{\alpha}(x, z) = X_{\alpha}(x) Z_{\alpha}(z)$. Utilizando as considerações acima, e lembrando que, uma vez que o domínio é infinito em x e y os autovalores são contínuos, e que m e λ (1/s) são contínuos no intervalo $[0, \infty)$, a concentração final pode ser expressa como

$$C(t, x, y, z) = \psi(t, y) \phi(t, x) \xi(x, z) \quad (8)$$

$$\text{onde: } \psi(t, y) = \int_0^{\infty} A(\kappa) \psi_{\kappa}(t, y) d\kappa, \quad \phi(t, x) = \int_0^{\infty} B(\lambda) \phi_{\lambda}(t, x) d\lambda \quad \text{e} \quad \xi(x, z) = \int_0^{\infty} C(\alpha) Z_{\alpha}(x, z) d\alpha$$

Para determinar as funções $\psi(t, y)$ e $\phi(t, x)$ das equações anteriores usamos as condições inicial e de fonte do problema original. O desenvolvimento é apresentado em (Gonçalves et al., 2018), e as expressões são dadas por:

$$\psi(t, y) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} e^{-K_y \kappa^2 t} \cos(\kappa y) d\kappa = \frac{2}{\sqrt{4\pi K_y t}} e^{-\frac{y^2}{4K_y t}} \quad (9)$$

$$\phi(t, x) = \int_0^{\infty} L^{-1}\{Q(t), t \rightarrow \lambda\} e^{-\lambda(t-\frac{x}{u})} d\lambda = Q\left(t - \frac{x}{u}\right) \quad (10)$$

Finalmente, a solução será o produto das equações anteriores e a solução GILTT, ou seja,

$$C(t, x, y, z) = \frac{2}{\sqrt{4\pi K_y t}} e^{-\frac{y^2}{4K_y t}} Q\left(t - \frac{x}{u}\right) \xi(x, z). \quad (11)$$

A função $\xi(x, z)$ vem da solução obtida pelo método GILTT que basicamente compreende os seguintes passos: expansão da concentração em uma série de autofunções obtidas de um problema de Sturm-Liouville, substituição na equação de advecção-difusão e tomada de momentos, o que resulta em uma equação diferencial ordinária matricial que é então resolvida analiticamente por transformada de Laplace. Para detalhes veja os trabalhos de Moreira et al. (2009) e Buske et al. (2016).

É importante lembrar que a solução usando uma fonte distribuição delta de Dirac é uma solução de Green. Isto significa que conhecendo a solução de Green, podemos encontrar soluções com formas distintas de fontes dependentes do tempo utilizando o princípio da superposição para problemas com operadores lineares. Para uma fonte delta da forma $\delta(t - \tau)$, a solução de Green é escrita como

$$C(t, \tau, x, y, z) = \frac{2Mu}{\sqrt{16\pi^2 K_x K_y t^2}} e^{-\frac{y^2}{4K_y t}} e^{-\frac{(u(t-\tau)-x)^2}{4K_x t}} \xi(x, z) \quad (12)$$

Se considerarmos um problema com uma fonte arbitrária $Q(t)$ emitindo em um intervalo (t_0, t) , a solução para o problema é dada pela integração em τ no intervalo $[t_0, t]$. Num caso particular, a solução para a pluma pode ser construída usando a função de Heaviside como fonte:

$$C(t, x, y, z) = \frac{2uQe^{-\frac{y^2}{4K_y t}}}{\sqrt{16\pi^2 K_x K_y t^2}} \int_0^t e^{-\frac{(u(t-\tau)-x)^2}{4K_x t}} d\tau \xi(x, z) \quad (13)$$

onde $M = Qd\tau$ é a massa liberada no intervalo t e t_0 é igual a zero. Assim

$$C(t, x, y, z) = \frac{Qe^{-\frac{y^2}{4K_y t}}}{\sqrt{4\pi K_y t}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{ut-x}{4K_x t}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{-x}{4K_x t}\right) \right] \xi(x, z) \quad (14)$$

na qual erf é a função erro. Essa solução mostra a evolução temporal da concentração média de poluentes de uma pluma cuja fonte começa a liberação no tempo $t = 0$.

3 | PARAMETRIZAÇÃO DA TURBULÊNCIA

Com o objetivo de comparar os resultados obtidos com os da literatura, a parametrização da turbulência escolhida foi a mesma adotada pelos autores Moreira et al. (2009) e Buske et al. (2016).

O coeficiente de difusão vertical pode ser formulado em termos dos parâmetros de escala convectivos como (Degrazia et al., 1997):

$$\frac{K_z}{w_* h} = 0.22 \left(\frac{z}{h}\right)^{1/3} \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{1/3} \left[1 - \exp\left(-\frac{4z}{h}\right) - 0.0003 \exp\left(\frac{8z}{h}\right)\right] \quad (15)$$

Para os coeficientes de difusão lateral, a formulação dada em Seinfeld and Pandis (1998) foi usada:

$$K_\alpha = 0.1 w_* h \quad (16)$$

onde α representa as direções x e y , respectivamente.

O perfil de vento pode ser descrito como uma lei da potência e expresso como (Panofsky and Dutton, 1988):

$$\frac{u_z}{u_1} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^n \quad (17)$$

onde u_z e u_1 são as velocidades médias do vento horizontal nas alturas z e z_1 , e n é um expoente que é relacionado com a intensidade da turbulência (Irwin, 1979).

4 | RESULTADOS NUMÉRICOS

O desempenho do novo modelo foi avaliado considerando as parametrizações da turbulência propostas na seção 3, o conjunto de dados do experimento difusivo de Copenhagen (Gryning and Lyck, 1984) e a integração lateral da Eq. (14). Para o caso instável aqui estudado, $n=0.1$ foi adotado no perfil de vento potência.

No experimento de Copenhagen, o traçador SF_6 foi liberado sem empuxo de uma torre 115 m de altura e coletado ao nível do solo em unidades de amostragem localizadas em três arcos perpendiculares ao vento médio, posicionadas de 2-6 km do ponto de liberação. As liberações de SF_6 começaram uma hora antes do início da amostragem e o tempo médio das medidas foi de uma hora, com imprecisão de 10%. O local era principalmente residencial com um comprimento de rugosidade de 0.6 m (altura em que o vento é zero). Na Tab. (1) são apresentados os dados meteorológicos do experimento de Copenhagen, sendo \bar{u} a velocidade do vento médio (m/s), u_* a velocidade de fricção (m/s), L o comprimento de Monin-Obukhov, w_* a escala de

velocidade convectiva vertical e h a altura da camada limite convectiva. Estes dados meteorológicos são médias horárias.

Expt	\bar{u} (115m) (ms^{-1})	\bar{u} (10m) (ms^{-1})	u_* (ms^{-1})	L (m)	w_* (ms^{-1})	h (m)
1	3.4	2.1	0.36	-37	1.8	1980
2	10.6	4.9	0.73	-292	1.8	1920
3	5.0	2.4	0.38	-71	1.3	1120
4	4.6	2.5	0.38	-133	0.7	390
5	6.7	3.1	0.45	-444	0.7	820
6	13.2	7.2	1.05	-432	2.0	1300
7	7.6	4.1	0.64	-104	2.2	1850
8	9.4	4.2	0.69	-56	2.2	810
9	10.5	5.1	0.75	-289	1.9	2090

Tabela 1: Parâmetros meteorológicos do experimento de Copenhagen.

Na Fig. 1 é mostrado o diagrama de espalhamento dos dados observados experimentalmente (C_o) comparados com os preditos (C_p) pelo novo modelo, para o caso de concentrações integradas do poluente ao nível do solo. As linhas pontilhadas indicam que os dados estão entre um fator de dois. A figura mostra que uma concordância razoável é encontrada entre os dados experimentais e os obtidos pela nova metodologia.

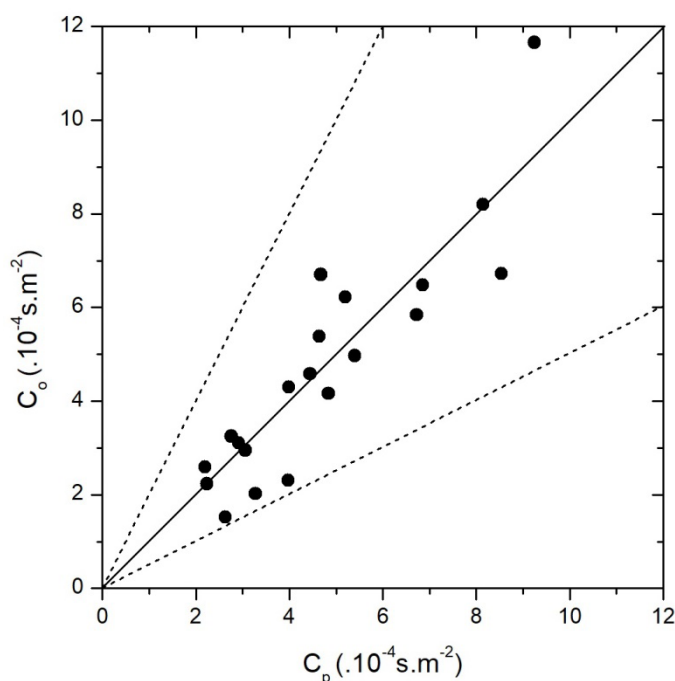


Figura 1: Diagrama de espalhamento dos dados observados (C_o) das concentrações integradas do poluente ao nível do solo, comparados com os preditos (C_p) pelo novo modelo, usando dados do experimento de Copenhagen.

As Tabelas 2 e 3 apresentam a concentração média ao nível do solo integrada lateralmente, da segunda hora de medidas do poluente, no experimento de Copenhagen. O presente modelo é comparado com os resultados apresentados em Buske et al. (2016), obtidos pelo método GILTT. O método GILTT resolve o problema

aplicando a técnica da transformada de Laplace na variável temporal, e a equação estacionária resultante é resolvida analiticamente por transformada integral. A concentração final é obtida por uma inversão numérica no tempo.

Expt	Distância (m)	C_o	$C_{p1 - presente}$	$C_{p2 - GILTT}$
1	1900	6.48	5.47	7.66
	3700	2.31	3.77	4.35
2	2100	5.38	3.84	5.05
	4200	2.95	2.96	3.41
3	1900	8.20	7.37	8.96
	3700	6.22	5.16	5.62
	5400	4.30	3.98	4.15
4	4000	11.66	9.24	9.47
5	2100	6.72	8.49	9.38
	4200	5.84	6.71	7.37
	6100	4.97	5.39	5.75
7	2000	6.70	3.72	5.09
	4100	3.25	2.63	3.06
	5300	2.23	2.20	2.46
8	1900	4.16	4.26	5.12
	3600	2.02	3.23	3.45
	5300	1.25	2.62	2.72
9	2100	4.58	3.60	4.83
	4200	3.11	2.80	3.26
	6000	2.59	2.18	2.46

Tabela 2: Concentrações superficiais integradas lateralmente observadas (C_o) e previstas (C_p) usando os dados do experimento de Copenhagen. O conjunto de dados apresenta valores médios de concentração e dados meteorológicos. O presente modelo é comparado com os resultados apresentados em Buske et al. (2016). As concentrações são normalizadas pela taxa de emissão.

Os índices estatísticos clássicos (Hanna, 1989), apresentados na Tabela 3, mostram que os modelos simulam satisfatoriamente as concentrações observadas no experimento, uma vez que os valores dos índices $nmse$ (erro quadrático médio normalizado), fb (fração de inclinação) e fs (desvio padrão) são relativamente próximos a zero e os valores dos índices cor (coeficiente de correlação) e $fa2$ (fator de dois) relativamente próximos a 1.

Modelo	$nmse$	cor	$fa2$	fb	fs
Presente	0.07	0.87	1.00	0.06	0.19
GILTT	0.06	0.89	1.00	-0.08	0.09

Tabela 3: Comparação estatística do modelo com resultado da literatura.

A Tabela 3 também permite afirmar que o novo modelo e os resultados obtidos previamente pela GILTT são muito similares. A vantagem aqui é a não necessidade

de realizar a inversão numérica no tempo, realizada nos trabalhos anteriores, o que nos permite obter o resultado final mais rapidamente.

5 | CONCLUSÕES

O modelo aqui proposto é uma solução analítica, no sentido de que nenhuma aproximação é feita ao longo da derivação exceto pelo erro de truncamento. A concentração pode ser obtida a qualquer tempo devido ao caráter analítico da solução e como consequência, esta metodologia demanda um pequeno esforço computacional. A comparação com dados experimentais apresenta bons resultados do ponto de vista estatístico. Além disso, o caráter analítico e a simplicidade da solução reforçam que o método proposto é um método robusto e promissor para simular a dispersão de poluentes na atmosfera. O foco dos trabalhos futuros será em estender a investigação para investigar outros cenários de interesse da área.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento parcial desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BUSKE, D.; VILHENA, M. T.; MOREIRA, D. M. ***Solução GILTT Bidimensional em Geometria Cartesiana: Simulação da Dispersão de Poluentes na Atmosfera***. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2016. 216 p.
- DEGRAZIA, G. A.; CAMPOS VELHO, H. F.; CARVALHO, J. C. **Nonlocal exchange coefficients for the convective boundary layer derived from spectral properties**. Contributions to Atmos. Physics, v. 70, n. 1, p. 57-64, 1997.
- GONÇALVES, G. A.; BUSKE, D.; QUADROS, R. S.; WEYMAR, G. J. **A new approach to solve the time-dependent three-dimensional advection-diffusion equation applied to model air pollution dispersion in the planetary boundary layer**. International Journal of Development Research, v. 8, n. 5, p. 20535-20543, 2018.
- GRYNING, S.E.; LYCK, E. **Atmospheric dispersion from elevated source in an urban area: comparison between tracer experiments and model calculations**. Journal of Climate Applied Meteorology, v. 23, p. 651-654, 1984.
- HANNA, S. R. **Confidence limit for air quality models as estimated by bootstrap and jackknife resampling methods**. Atmospheric Environment, v. 23, p. 1385-1395, 1989.
- IRWIN, J. S. **A theoretical variation of the wind profile power-law exponent as a function of surface roughness and stability**. Atmospheric Environment, v. 13, p. 191-194, 1979.
- MOREIRA, D. M.; VILHENA, M. T.; BUSKE, D.; TIRABASSI, T. **The state-of-art of the GILTT method to simulate pollutant dispersion in the atmosphere**. Atmospheric Research, 92, 1–17, 2009.

PANOFSKY, H. A.; DUTTON, J. A. *Atmospheric Turbulence*. John Wiley & Sons, New York, 1988.

QUADROS, R. S. ; GONÇALVES, G. A.; BUSKE, D. **Uma nova abordagem analítica para o problema de modelagem da dispersão de poluentes na atmosfera**. In: 8TH CONFERÊNCIA SUL EM MODELAGEM COMPUTACIONAL, 2018, Rio Grande - RS. 2018. p. 1-11.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. John Wiley & Sons, New York, 1998.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 38, 39, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 209, 210

Agregado artificial 1, 11, 13

B

Biomassa 47, 49, 52, 54

Bloco estrutural 13, 20

C

Cimento Portland 3, 113, 120

Concreto reciclado 1, 13, 15

Controle estrutural 77, 80, 84, 85

Corrosão 202, 203

D

Desperdícios 127, 135, 140, 142

Dinâmica estrutural 190, 191, 200

Drenabilidade 55, 56, 57, 58, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68

Drenagem urbana 218, 219, 231

E

Energia 14, 27, 38, 43, 47, 52, 53, 54, 96, 97, 98, 103, 115, 126, 127, 133, 232

Ensino 139, 190, 232

F

Farinha de mandioca 47, 49, 50, 52, 54

I

Índice de confiabilidade 153, 154, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 165, 166

Inovação 76, 122, 124, 125, 126, 127, 232

Irrigação 99, 100, 108

M

Madeira 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 51, 52

N

Nanossílica 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121

P

Pozolana 109, 110

Propriedade mecânica 25, 27

Propriedades físicas 25, 26, 27, 28, 71, 111

R

Resíduos 1, 2, 4, 10, 12, 13, 14, 15, 19, 22, 23, 47, 49, 52, 53, 54, 69, 70, 71, 72, 74, 76, 110, 208, 229

Resíduos de pneu 13, 15

S

Sílica de casca de arroz 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120

Solução analítica 144, 151

Sustentabilidade 1, 14, 24, 35, 74, 127, 138, 142, 232

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-701-7



9 788572 477017