

EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E SUAS TECNOLOGIAS 2

Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves
(Organizador)

 **Atena**
Editora
Ano 2019

Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves
(Organizador)

Educação Matemática e suas Tecnologias 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
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
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof^a Dr^a Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
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. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a 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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E24	Educação matemática e suas tecnologias 2 [recurso eletrônico] / Organizador Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Educação Matemática e suas Tecnologias; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-348-4 DOI 10.22533/at.ed.484192405 1. Matemática – Estudo e ensino – Inovações tecnológicas. 2. Tecnologia educacional. I. Gonçalves, Felipe Antonio Machado Fagundes. II. Série. CDD 510.7
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

A obra “Educação Matemática e suas tecnologias” é composta por quatro volumes, que vêm contribuir de maneira muito significativa para o Ensino da Matemática, nos mais variados níveis de Ensino. Sendo assim uma referência de grande relevância para a área da Educação Matemática. Permeados de tecnologia, os artigos que compõem estes volumes, apontam para o enriquecimento da Matemática como um todo, pois atinge de maneira muito eficaz, estudantes da área e professores que buscam conhecimento e aperfeiçoamento. Pois, no decorrer dos capítulos podemos observar a matemática aplicada a diversas situações, servindo com exemplo de práticas muito bem sucedidas para docentes da área. A relevância da disciplina de Matemática no Ensino Básico e Superior é inquestionável, pois oferece a todo cidadão a capacidade de analisar, interpretar e inferir na sua comunidade, utilizando-se da Matemática como ferramenta para a resolução de problemas do seu cotidiano. Sem dúvidas, professores e pesquisadores da Educação Matemática, encontrarão aqui uma gama de trabalhos concebidos no espaço escolar, vislumbrando possibilidades de ensino e aprendizagem para diversos conteúdos matemáticos. Que estes quatro volumes possam despertar no leitor a busca pelo conhecimento Matemático. E aos professores e pesquisadores da Educação Matemática, desejo que esta obra possa fomentar a busca por ações práticas para o Ensino e Aprendizagem de Matemática.

Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O ALGORITMO ESPECTRAL COMO ALTERNATIVA AO ALGORITMO K-MEANS EM CONJUNTO DE DADOS ARTIFICIAIS	
Luciano Garim Garcia Leonardo Ramos Emmendorfer	
DOI 10.22533/at.ed.4841924051	
CAPÍTULO 2	16
NOVAS RELAÇÕES NA MATRIZ DE TRANSFORMAÇÃO DA TRANSFORMADA NUMÉRICA DE PASCAL	
Arquimedes José De Araújo Paschoal Ricardo Menezes Campello De Souza Hélio Magalhães De Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.4841924052	
CAPÍTULO 3	24
ALGORITMOS RÁPIDOS PARA O CÁLCULO DA TRANSFORMADA NUMÉRICA DE PASCAL	
Arquimedes José De Araújo Paschoal Ricardo Menezes Campello De Souza	
DOI 10.22533/at.ed.4841924053	
CAPÍTULO 4	32
ANÁLISE DE CÁLCULO DIFERENCIAL USANDO O SOFTWARE GEOGEBRA	
Amanda Barretos Lima Garuth Brenda Anselmo Mendes Isabela Geraldo Reghin Rosângela Teixeira Guedes	
DOI 10.22533/at.ed.4841924054	
CAPÍTULO 5	46
DEFLEXÃO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SOLUÇÃO ANALÍTICA E NUMÉRICA VIA MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS	
Mariana Coelho Portilho Bernardi Adilandri Mércio Lobeiro Jeferson Rafael Bueno Thiago José Sepulveda da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4841924055	
CAPÍTULO 6	57
MODELO MATEMÁTICO PARA AUXILIAR O PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE MOTORES ELÉTRICOS	
Thalita Monteiro Obal Jonatas Santana Obal	
DOI 10.22533/at.ed.4841924056	

CAPÍTULO 7	64
PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO E SOLUÇÃO NUMÉRICA DO PROBLEMA DE FLUXO EM AQUÍFERO CONFINADO	
João Paulo Martins dos Santos Alessandro Firmiano de Jesus Edson Wendland	
DOI 10.22533/at.ed.4841924057	
CAPÍTULO 8	83
RESONANT ORBITAL DYNAMICS OF CBERS SATELLITES	
Jarbas Cordeiro Sampaio Rodolpho Vilhena de Moraes Sandro da Silva Fernandes	
DOI 10.22533/at.ed.4841924058	
CAPÍTULO 9	91
TESTES ADAPTATIVOS ENVOLVENDO O CONTEÚDO DE DERIVADAS: UM ESTUDO DE CASO COM ALUNOS DE ENGENHARIA CIVIL	
Patrícia Liane Grudzinski da Silva Claudia Lisete Oliveira Groenwald	
DOI 10.22533/at.ed.4841924059	
CAPÍTULO 10	104
LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO POR ANÁLISE DE SINAIS TRANSITÓRIOS DE TENSÃO	
Danilo Pinto Moreira de Souza Eliane da Silva Christo Aryfrance Rocha Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.48419240510	
CAPÍTULO 11	116
MODELAGEM DA PROPAGAÇÃO DE FUMAGINA CAUSADA POR MOSCA-BRANCA EM CULTURAS AGRÍCOLA	
Gustavo Henrique Petrolí Norberto Anibal Maidana	
DOI 10.22533/at.ed.48419240511	
CAPÍTULO 12	133
LOS SUBNIVELES DE DESARROLLO DEL ESQUEMA DE DERIVADA: UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EL NIVEL UNIVERSITARIO	
Claudio Fuentealba Edelmira Badillo Gloria Sánchez-Matamoros Andrea Cárcamo	
DOI 10.22533/at.ed.48419240512	
CAPÍTULO 13	143
OTIMIZAÇÃO BASEADA EM CONFIABILIDADE PARA A MINIMIZAÇÃO DE FUNÇÕES MATEMÁTICAS	
Márcio Aurélio da Silva Fran Sérgio Lobato Aldemir Ap Cavalini Jr Valder Steffen Jr	
DOI 10.22533/at.ed.48419240513	

CAPÍTULO 14	156
SEQUÊNCIAS: INTERVALARES E FUZZY	
Gino Gustavo Maqui Huamán	
Ulcilea Alves Severino Leal	
Geraldo Nunes Silva	
DOI 10.22533/at.ed.48419240514	
CAPÍTULO 15	164
VALIDAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS PARA O ESCOAMENTO DE GRÃOS DE SOJA	
Rodolfo França de Lima	
Vanessa Faoro	
Manuel Osório Binelo	
Dirceu Lima dos Santos	
Adriano Pilla Zeilmann	
DOI 10.22533/at.ed.48419240515	
CAPÍTULO 16	181
TAREAS DE GENERALIZACIÓN POR INDUCCIÓN PARA FORMAR EL CONCEPTO DE POTENCIA	
Landy Sosa Moguel	
Guadalupe Cabañas-Sánchez	
Eddie Aparicio Landa	
DOI 10.22533/at.ed.48419240516	
CAPÍTULO 17	192
SINCRONISMO EM UM NOVO MODELO METAPOPOPULACIONAL COM TAXA DE MIGRAÇÃO INDEPENDENTE DA DENSIDADE	
Francisco Helmuth Soares Dias	
Jacques Aveline Loureiro da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.48419240517	
CAPÍTULO 18	199
SIMULAÇÃO 3D DO FLUXO DE AR DE UM SISTEMA REAL DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS	
Vanessa Faoro	
Rodolfo França de Lima	
Aline Tampke Dombrowski	
Manuel Osório Binelo	
DOI 10.22533/at.ed.48419240518	
CAPÍTULO 19	207
CONTROLE ÓTIMO DO FLUXO DE ÁGUA EM UMA FÔRMA DE GELO	
Xie Jiayu	
João Luis Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.48419240519	
CAPÍTULO 20	213
CÓDIGOS CÍCLICOS DEFINIDOS POR ANULAMENTO	
Conrado Jensen Teixeira	
Osnel Broche Cristo	
DOI 10.22533/at.ed.48419240520	

CAPÍTULO 21	216
ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE DISPERSÃO DE UM CONTAMINANTE COM TRANSFORMAÇÕES INTEGRAIS E INFERÊNCIA BAYESIANA	
Bruno Carlos Lugão Diego Campos Knupp Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues Antônio José da Silva Neto	
DOI 10.22533/at.ed.48419240521	
CAPÍTULO 22	225
ANÁLISE WAVELET DE TACOGRAMAS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS	
Ronaldo Mendes Evaristo Kelly Cristiane Iarosz Silvio Luiz Thomaz de Souza Ricardo Luiz Viana Moacir Fernandes de Godoy Antonio Marcos Batista	
DOI 10.22533/at.ed.48419240522	
CAPÍTULO 23	235
CONSTRUÇÃO DE UM AEROMODELO DE MACARRÃO NO ENSINO DE MATEMÁTICA E FÍSICA	
Alissan Sarturato Firão Ernandes Rocha de Oliveira Zulind Luzmarina Freitas	
DOI 10.22533/at.ed.48419240523	
SOBRE O ORGANIZADOR	239

SIMULAÇÃO 3D DO FLUXO DE AR DE UM SISTEMA REAL DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS

Vanessa Faoro

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul Departamento de Ciências Exatas e Engenharias DCEEng
Ijuí – Rio Grande do Sul

Rodolfo França de Lima

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul Departamento de Ciências Exatas e Engenharias DCEEng, Ijuí – RS
Ijuí – Rio Grande do Sul

Aline Tampke Dombrowski

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul Departamento de Ciências Exatas e Engenharias DCEEng, Ijuí – RS
Ijuí – Rio Grande do Sul

Manuel Osório Binelo

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul Departamento de Ciências Exatas e Engenharias DCEEng, Ijuí – RS
Ijuí – Rio Grande do Sul

RESUMO: Em armazéns graneleiros a conservação dos grãos por determinado tempo depende principalmente de um eficiente sistema de aeração, preservando a quantidade e a qualidade dos grãos armazenados. Para um bom sistema de aeração um modelo matemático e software foram desenvolvidos para simular a distribuição do fluxo de ar em armazéns graneleiros horizontais, em condições

não homogêneas e anisotrópicas. Com a simulação foi possível analisar a distribuição do fluxo de ar em todos os pontos da massa de grãos armazenada. Dados experimentais sobre a distribuição de pressão de um sistema real de armazenagem de grãos foram obtidos. Comparação entre os dados experimentais e simulados mostraram concordância satisfatória. Avaliação do desempenho do sistema de aeração foi realizada, usando critério proposto pelos autores para estimar a eficácia da distribuição do fluxo de ar em armazéns graneleiros.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem Computacional, Modelagem Matemática, Método dos Elementos Finitos, Sistema de Aeração.

ABSTRACT: In warehouses, storing grain in bulk for a given time depends primarily on an efficient aeration system, preserving the quantity and quality of the stored grain. For a good aeration system and software were developed to simulate the distribution of horizontal bulk materials in nonhomogeneous and anisotropic conditions. With the simulation it was possible to analyze the distribution of airflow at all points of the mass of stored grains. Experimental data on the pressure distribution of a real grain storage system were obtained. Comparison between the experimental and simulated data

showed satisfactory agreement. Evaluation of the performance of the aeration system was performed, using criteria proposed by the authors to estimate the efficiency of the distribution of airflow in storage bins.

KEYWORDS: Computational Modeling, Mathematical Modeling, Finite Element Method, Aeration System.

1 | INTRODUÇÃO

Devido ao clima quente e úmido no Brasil, a armazenagem de grãos ao longo prazo só é possível com o uso de sistemas de aeração. A fim de compensar a deficiência de capacidade de armazenamento no país, a construção e exploração de grandes armazéns horizontais atinge dimensões adotadas amplamente significativas, tornando difícil e as vezes impossível a aeração no armazém graneleiro. Durante o tempo de armazenamento, a quantidade do produto armazenado não é constante (parte da massa de grãos pode ser extraído ou adicionado), que altera as condições de fluxo de ar.

Além disso, há presença da não homogeneidade da massa de grãos, devido à compactação e anisotropia da forma esférica das sementes, torna o problema da distribuição do fluxo de ar no armazenamento mais difícil. Conforme Weber (2005), sistema de aeração ineficiente pode causar problemas como migração de umidade de grãos, superaquecimento de grãos devido à atividade biológica, e a proliferação de fungos e insetos.

Existem vários fatores que afetam a distribuição do fluxo de ar em armazéns graneleiros, por exemplo, o método de enchimento, a profundidade da massa de grãos, a morfologia dos grãos, velocidade dos ventiladores acionados, etc. Em obras de Shedd (1953), Brooker et al. (1982), Jayas et al. (1987), Maier et al. (1992), Weber (2005), Khatchatourian et al. (2006), Khatchatourian et al. (2007) e Khatchatourian et al. (2009), o fluxo de ar através da massa de grãos sob a influência de algumas destas características foi estudada. Em grandes armazéns, a não homogeneidade foi estudada por Khatchatourian e Binelo (2008) e anisotropia da massa de grãos por Hood e Thorpe (1992).

Os principais objetivos do presente trabalho foram: *a)* contribuição da implementação do modelo matemático e software para calcular a pressão estática, analisar a distribuição do fluxo de ar em 3D, com condições não homogêneas e anisotrópicas; *b)* coletar dados experimentais da distribuição de pressão em diferentes profundidades de um sistema real de armazenagem de grãos; *c)* realizar simulações numéricas 3D do fluxo de ar do sistema real de armazenagem de grãos horizontal; *d)* validar o modelo desenvolvido com dados experimentais; *e)* detectar áreas de risco operacional.

2 | DESCRIÇÃO DO SISTEMA DO SISTEMA REAL E ARMAZENAGEM DE GRÃOS

O objeto de estudo deste trabalho é um sistema real de armazenagem de grãos de propriedade de uma empresa, localizada na região do noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (características são apresentadas na Tabela 1). O armazém possui estrutura fundo V, com 180 metros de comprimento e 40 metros de largura. Existem dois sistemas de entrada de ar: 1) sistema de entrada central, 2) sistema de entrada lateral, conforme a Figura 1.

Tipo de grão	Soja
Tipo do armazém	Abaixo do solo, em fundo V
Número de entrada da aeração central	12 registros
Número de ventiladores da aeração central	12 motores de 44 kW/1730 RPM
Número de entrada da aeração lateral	6 registros
Número de ventiladores da aeração lateral	2 motores de 44 kW/1730 RPM
Valor de pressão da aeração central	2942 Pa
Valor de pressão da aeração lateral	982 Pa
Profundidade do armazém estudado	10 m

Tabela 1: Características do armazém graneleiro estudado.

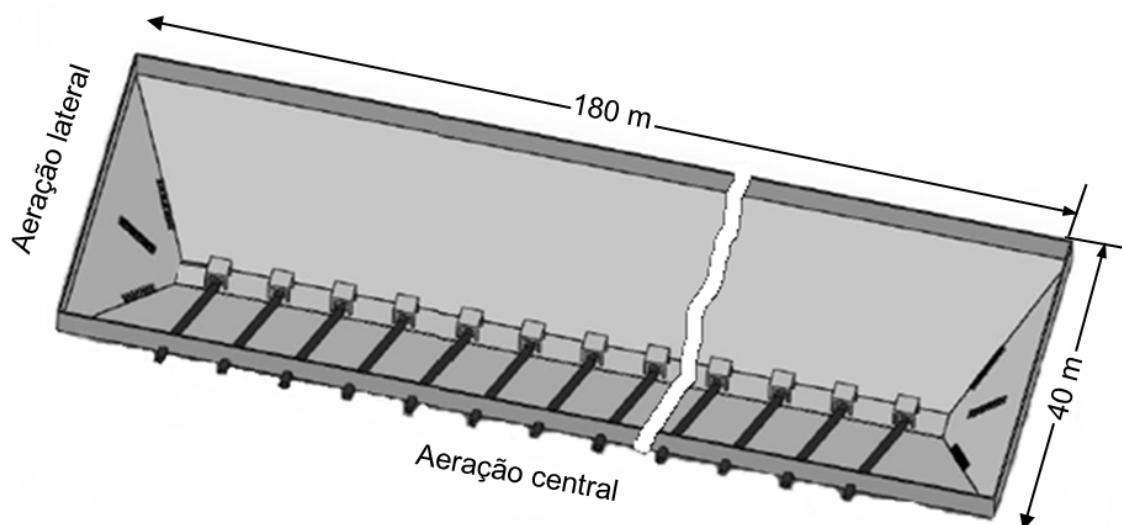


Figura 1: Estrutura do armazém graneleiro estudado.

3 | MODELAGEM MATEMÁTICA E DESCRIÇÃO DO SOFTWARE

3.1 Modelo matemático

Para simular o fluxo de ar tridimensional em meio particulado, foi utilizado o modelo matemático descrito por Khatchatourian et al. (2009). Para simplificar o modelo, a relação entre a velocidade e o gradiente de pressão estudado, foi apresentada de forma semelhante à equação proposta por Bachmat (1965) e apresentado em Bear

(1988):

$$\text{grad}P = aV + b |V|V \quad (1)$$

onde V é o vetor velocidade em ms^{-1} ; é o gradiente de pressão em Pa ; a e b são constantes que dependem do tipo de grão.

Como resultado a equação diferencial parcial não-linear para a pressão tem a forma:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-K_x \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-K_y \frac{\partial P}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-K_z \frac{\partial P}{\partial z} \right) = 0 \quad (2)$$

onde K_x , K_y e K_z em $\text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}$, são os coeficientes de permeabilidade nas principais direções.

Neste trabalho assume-se que: a) o coeficiente de permeabilidade K_z correspondente à direção vertical; b) os coeficientes pertencentes ao plano horizontal são iguais, isto é, $K_x = K_y$. Em grandes armazéns, o coeficiente K e o gradiente de pressão varia de acordo com a profundidade em que está localizado a camada de grãos. Os resultados obtidos em Khatchatourian e Binelo (2008) foram utilizados para esclarecer a influência do fator de compactação em grandes quantidades na massa de grãos sobre o coeficiente de permeabilidade. A anisotropia da massa de grãos (a diferença entre K_x , K_y e K_z) foi obtida de acordo com o trabalho Khatchatourian et al. (2009).

Para avaliar a aeração foi utilizado o critério criado por Khatchatourian e Binelo (2008), chamado de vazão específica local, permitindo avaliar a qualidade da aeração em qualquer ponto do produto. A taxa de fluxo de ar local específica para todos os pontos internos $X(x,y,z)$ do armazém é:

$$q_L(X) = \frac{V(X)}{\rho(X)L(X)} \quad (3)$$

onde $q(X)$ é a vazão específica local no ponto $X(x,y,z)$ em $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{kg}^{-1}$, $V(X)$ é a velocidade do ar no ponto X em m s^{-1} , $\rho(X)$ é a densidade da massa de grãos no ponto X em $\text{kg m}^3 \text{ s}^{-1}$, $L(X)$ é o comprimento total em m da trajetória do ar que passa pelo ponto X .

3.2 Breve descrição do software

O método dos elementos finitos foi usado para resolver a equação (2) (Seegerlind, 1979). A matriz de coeficientes de permeabilidade K foi calculada em cada nó da malha

de elementos finitos, utilizando um processo iterativo. O software, desenvolvido em *ANSI C ++* e *Pascal*, usa ferramentas de software livre sempre que possível. Uma descrição mais detalhada do software pode ser encontrado em Khatchatourian e Binelo (2008).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para validar o modelo matemático e o software, foram obtidos dados experimentais sobre a distribuição de pressão estática em duas camadas de grãos do armazém graneleiro, após foram comparados com os dados da simulação.

4.1 Simulação Numérica

Devido ao estudo experimental, foram acionados quatro entradas de ar central e uma lateral, correspondente a massa de grão estudada do armazém. Com a execução do programa, foi obtido como resultado a simulação do fluxo de ar de um sistema real de armazenagem de grãos, onde a pressão é dada em Pascal (Pa).

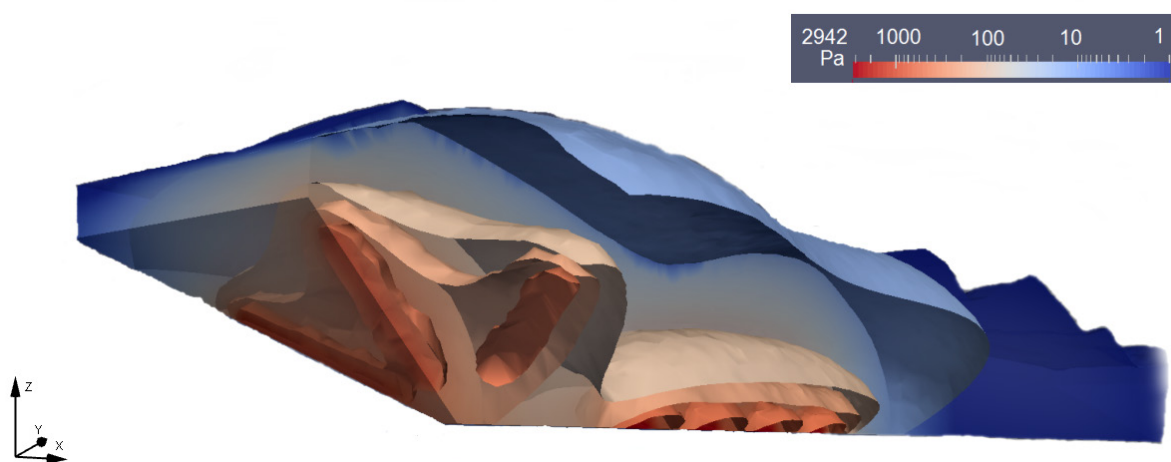


Figura 2: Superfícies isobáricas do armazém estudado.

A Figura 2, apresenta a localização das superfícies isobáricas espacial da distribuição de pressão do ar no armazém, verifica-se o sistema de aeração central e lateral, e a distribuição do fluxo de ar em diferentes valores de pressão na massa de grãos. A Figura 3, mostra a vazão específica local do sistema de aeração estudado, em um corte na secção vertical central, em direção ao eixo x. Percebe-se que a massa central de grãos, possui um grande volume do escoamento do ar transportado em um intervalo de tempo, devido à menor resistência oferecida pela massa de grãos nesta direção.

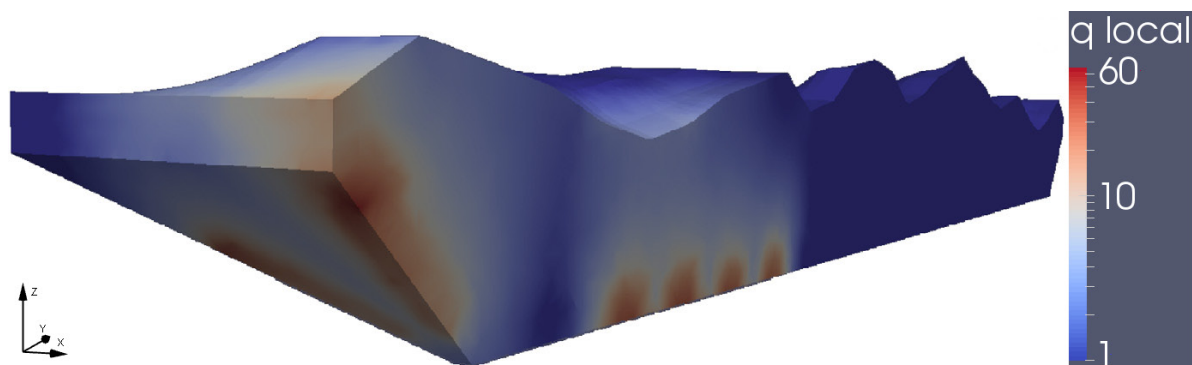


Figura 3: Distribuição de taxas da vazão específica local do sistema real de armazenamento estudado.

As entradas de ar centrais são importantes para o sistema de aeração estudado, contudo, com a análise da vazão específica local do ar, pode-se perceber domínios centrais da massa de grãos com muita vazão, afastando-se do valor taxa recomendado pela literatura mundial de $13m^3h^{-1}t^{-1}$. Devido ao volume e a não uniformidade significativa da massa de grãos do armazém, a eficácia do sistema de aeração deve ser melhorada. Para armazéns horizontais estas melhorias podem ser alcançadas, em particular, através da otimização do controle do sistema de aeração, abrangendo um dimensionamento e pressão das entradas de ar adequados para um bom armazenamento.

4.2 Resultado experimental, validação do modelo e software

O estudo experimental foi realizado em apenas um terço da massa de grãos do armazém, portanto foram acionados as entradas de ar correspondente a massa de grão estudada (Figura 1, lado direito). A pressão estática foi medida em profundidades de 1 e 2 metros abaixo da massa de grãos, em 28 pontos, (com espaçamento no eixo x a cada 8 metros). Para a coleta dos dados experimentais de pressão, foram imersas na massa de grãos, sondas com as respectivas profundidades, analisando a pressão através manômetro. Foi adotado o manômetro tubo U inclinado em relação ao eixo horizontal com ângulo de 30° , adequado para medições de pequenas pressões com boa precisão. Para a medição da pressão da entrada do ar, foi adotado o manômetro Tubo em U.

Os dados experimentais da medição da pressão estática estão apresentados na Figura 4. De acordo com o esquema de enchimento do armazém, com a redução da profundidade da camada de grãos perto do eixo longitudinal, a pressão estática tem valor maior em pontos situados mais próximo do eixo longitudinal do armazém graneleiro. Por conseguinte, na periferia do armazém, em que o caminho entre a entrada e saída de ar é máxima, a pressão tem valores menores. O valor mais alto de pressão estática ($44 Pa$) foi obtido na secção de $X = 30 m$, na profundidade de 2 metros.

A análise estatística dos dados experimentais e simulados foi satisfatória (Figura

4). Os valores do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,72$ profundidade de 1 metro e $R^2 = 0,92$ profundidade de 2 metros) indicam a precisão do modelo e do software desenvolvido, possibilitando utilizar a simulação tridimensional do fluxo de ar em armazéns graneleiros horizontais, para problemas de otimização do fluxo de ar.

5 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi estudado a distribuição do fluxo de ar de um sistema real de armazenagem de grãos, uma análise foi realizada para detectar áreas de risco e, conseqüentemente, melhorar a eficiência do processo de aeração. A fim de validar o modelo e o software desenvolvido, dados experimentais sobre a distribuição de pressão de um sistema real de armazenagem de grãos foram obtidos. Comparação entre os dados experimentais e simulados mostrou uma concordância satisfatória (coeficiente de determinação $R^2 = 0.72$ profundidade de 1 metro e $R^2 = 0,92$ profundidade de 2 metros). Esta validação possibilita utilizar o método para melhorar e otimizar a distribuição do fluxo de ar em armazéns graneleiros horizontais.

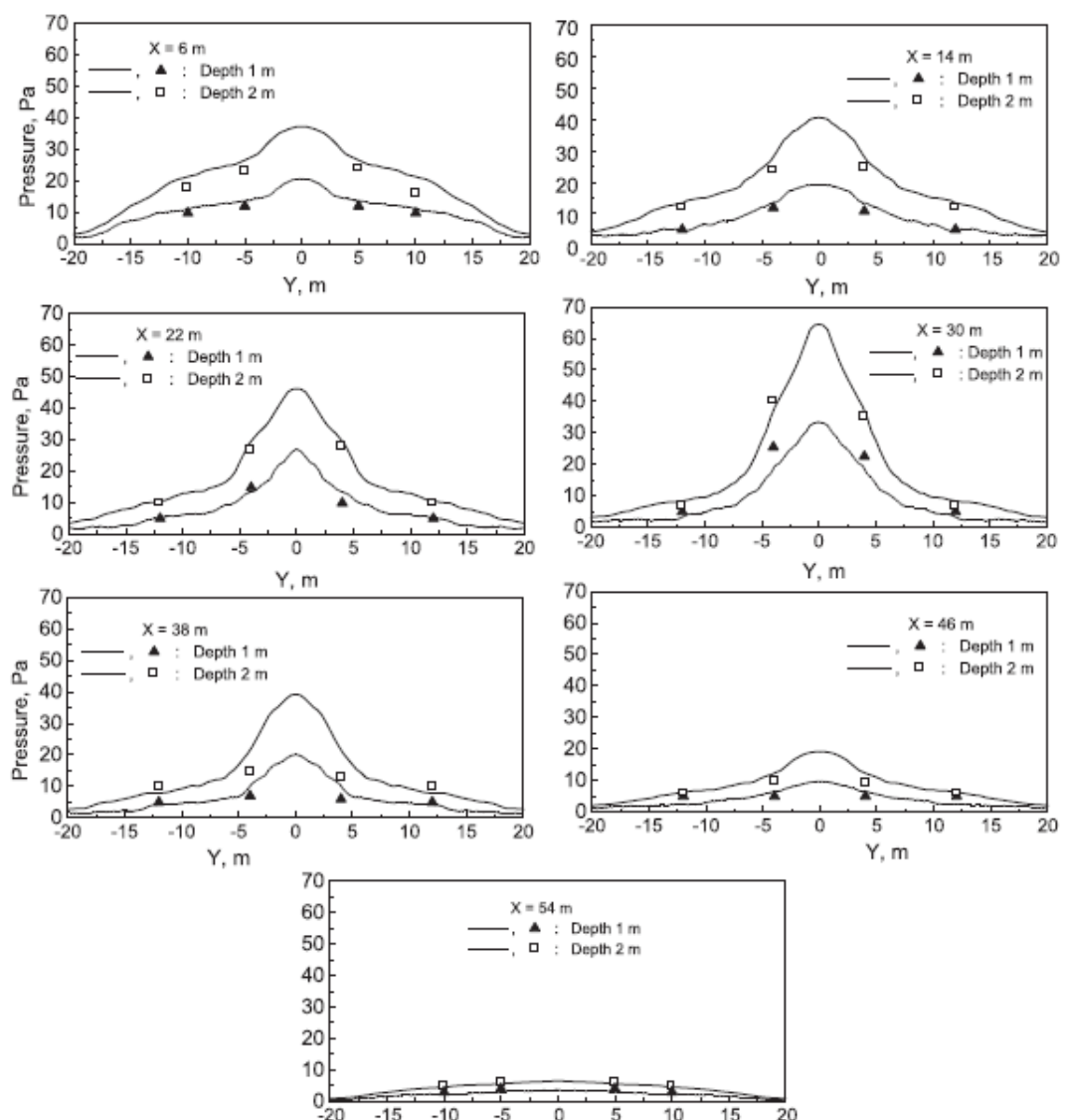


Figura 4: Distribuição de pressão nas camadas de grãos localizadas a uma profundidade de um e dois metros abaixo da massa de grãos: dados experimentais (pontos) e dados simulados (linhas), o coeficiente de determinação de profundidade de um metro $R^2 = 0.72$ e de dois metros de $R^2 = 0.92$.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ) pelo apoio financeiro e a empresa pela ajuda e disponibilidade na coleta dos dados experimentais.

REFERÊNCIAS

- BACHMAT, Y. **Basic transport coefficients as aquifer characteristics**. Proceedings of the Dubrovnik Symposium, Hydrology of Fractured Rocks., 1:63–75, 1965.
- BEAR, J. **Dynamics of fluids in porous media**. Dover Publications., 1988.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying cereal grains**. AVI Publishing Co., Inc., Westport, CT., 1982.
- HOOD, T. J. A.; THORPE, G. R. **The effects of the anisotropic resistance to airflow on the design of aeration systems for bulk stored grains**. Agricultural Engineering Australia. 21:18–23, 1992.
- JAYAS, D. S.; SOKHANSANJ, S.; MOYSEY, E. B.; BARBER, E. B. **The effect of airflow direction on the resistance of canola (rapeseed) to airflow**. Canadian Agricultural Engineering. 29:189–192, 1987.
- KHATCHATOURIAN, O. A.; OLIVEIRA, F. A. **Mathematical modelling of airflow and thermal state in large aerated grain storage**. Biosystems Engineering., 95(2):159–169, 2006. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2006.05.009.
- KHATCHATOURIAN, O. A.; OLIVEIRA, F. A.; BIHAIN, A. **Estado térmico de produtos armazenados em silos com sistema de aeração: estudo teórico e experimental**. Engenharia Agrícola. 27(1):247–258, 2007. DOI:10.1590/S0100-69162007000100019.
- KHATCHATOURIAN, O. A.; BINELO, M. O. **Simulation of three-dimensional airflow in grain storage bins**. Biosystems Engineering., 101(2):225–238, 2008.
- KHATCHATOURIAN, O. A.; TONIAZZO, N. A.; GORTYSHOV, Y. F. **Simulation of airflow in grain bulks under anisotropic conditions**. Biosystems Engineering., 104(2):205–215, 2009. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2009.06.023.
- MAIER, D. E.; MOREIRA, R. G.; BAKKER-ARKEMA, F.W. **Comparison of conventional and chilled aeration of grains under texas conditions**. Applied Engineering in Agriculture., 8(5):661–667, 1992.
- SEGERLIND, L. J. **Applied Finite Element Analysis**. J. Wiley and Sons Inc, New York, USA, 1979
- SHEDD, C. K. **Resistance of grains and seeds to air flow**. Agricultural Engineering, St Joseph, Michigan, 1953.
- WEBER, E. **Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos**. Canoas, RS, 2005.

SOBRE O ORGANIZADOR

FELIPE ANTONIO MACHADO FAGUNDES GONÇALVES Mestre em Ensino de Ciência e Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná(UTFPR) em 2018. Licenciado em Matemática pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), em 2015 e especialista em Metodologia para o Ensino de Matemática pela Faculdade Educacional da Lapa (FAEL) em 2018. Atua como professor no Ensino Básico e Superior. Trabalha com temáticas relacionadas ao Ensino desenvolvendo pesquisas nas áreas da Matemática, Estatística e Interdisciplinaridade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-348-4

