

# Algoritmo Genético para Otimização das Entradas de Ar e Pressão de Entrada em Armazém Graneleiro

Daniel Petravicius<sup>1</sup> Manuel O. Binelo<sup>2</sup> Marcia de F. B. Binelo<sup>3</sup>  
UNIJUÍ, Ijuí, RS

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de simulações de meio poroso através do OpenFOAM, baseando-se no modelo das equações de Darcy-Forchheimer, de modo a observar o escoamento de ar em um armazém graneleiro. Para a busca das melhores configurações de posicionamento das entradas de ar e pressão de entrada, foi utilizado um algoritmo genético, com fenótipos e parâmetros pré-estabelecidos. Através do modelo utilizado, conclui-se ao final que o Algoritmo Genético tem resultado consistente com o que se espera do resultado teórico para este problema.

**Palavras-chave.** CFD, OpenFOAM, Algoritmo Genético, Escoamento em Meio Poroso, Darcy-Forchheimer, Otimização.

## 1 Introdução

A produção de alimentos através da agricultura sempre foi uma prática de grande importância para o desenvolvimento humano, bem como os seus processos de estocagem e distribuição. Aprimorar as técnicas desses processos é um movimento esperado e que de fato ocorre com o passar dos anos, passando pela observação das configurações do espaço onde se armazena os grãos e melhorando o estudo das propriedades físicas dos grãos, como feito por [9]. Dentre essas técnicas, estaremos observando o escoamento do fluxo de ar na massa de grãos de soja durante seus processos de secagem e estocagem.

Um fluxo de ar com distribuição uniforme é eficiente em controlar a umidade da massa de grãos, prevenindo a massa de desenvolver fungos ([3]), além disso, [6] aponta o acréscimo do ozônio na ar que escoar como método eficiente como prevenção à presença de pragas na massa granular.

O trabalho realizado por [4] estuda e enfatiza o problema de um fluxo de ar não-uniforme e aponta as possíveis causas para este fenômeno, como a presença de impurezas no interior da massa granular, a compactação dos grãos, a profundidade do local onde os grãos são armazenados e as características físicas do conjunto de grãos não-uniformes. Estes fatores contribuem com um escoamento não homogêneo do ar.

Outra consequência das condições do escoamento é a eficiência da transferência de calor na massa de grãos. Uma transferência de temperatura eficiente também deve buscar a uniformidade, pois uma temperatura muito elevada, pode queimar os grãos em certas regiões da massa granular, assim como, uma temperatura baixa, não garante a retirada de umidade adequada do grão. A transferência de calor no escoamento de ar em massa granular foi estudado pelos trabalhos [1, 8].

Para a análise e simulação deste tipo de escoamento, será utilizado o CFD (Computational Fluid Dynamic), que corresponde a um método já utilizado por [2], que através da implementação

---

<sup>1</sup>daniel.petravicius@ifc.edu.br

<sup>2</sup>manuel.binelo@gmail.com

<sup>3</sup>marcia.brondani@unijui.edu.br

de modelos matemáticos em diversos softwares é capaz de simular o comportamento de um fluido em escoamento em um ambiente controlado.

Neste trabalho apresentaremos a implementação de um modelo matemático para observar o escoamento de ar, buscando obter a configuração ótima para a configuração das entradas de ar, junto à otimização da pressão de entrada de ar, observando um critério que relaciona com proporcionalidade o gradiente de pressão e a altura de massa granular, conforme [10].

## Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar uma aplicação do Algoritmo Genético junto ao CFD do OpenFOAM, com simulações em meio poroso para o escoamento de ar usando o como modelo a equação de Darcy-Forchheimer, que otimiza a configuração das entradas e a pressão de entrada do ar em um armazém graneleiro.

O armazém mencionado é localizado no estado do Rio Grande do Sul e o meio poroso em questão é o produzido pela estocagem de grãos de soja.

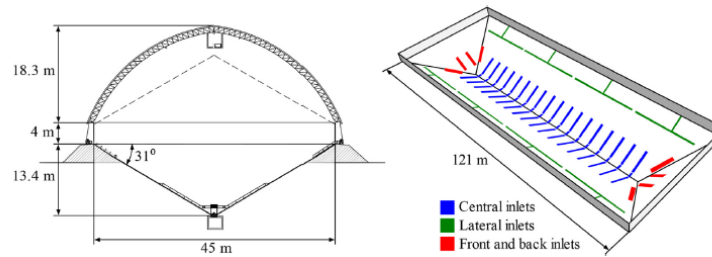


Figura 1: Representação do armazém graneleiro usado como objeto de estudo neste trabalho. Fonte: [8].

## 2 Modelo Utilizado

De acordo com modelo de Darcy-Forchheimer utilizado no OpenFOAM, a relação entre a queda de pressão  $p$  e a velocidade do fluido em escoamento  $u$  é parabólica.

Além disso, com o método de Bachmann, se existem dados experimentais da queda de pressão  $\Delta p$  em relação a velocidade  $u$  em um meio poroso de comprimento  $L$ , pode ser feito o ajuste de curva na forma:

$$\Delta p = au^2 + bu. \quad (1)$$

Sendo  $a$  e  $b$  constantes. A equação de Darcy-Forchheimer pode ser reescrita na forma:

$$\frac{dp}{dx} = \mu Du + \frac{1}{2}F\rho u^2. \quad (2)$$

Sendo  $\rho$  a densidade,  $\mu$  a viscosidade de fluido dinâmico e os parâmetros  $D$  e  $F$ , que são os coeficientes de Darcy-Forchheimer podem ser obtidos por:

$$D = \frac{b}{\mu L} \quad (3)$$

$$F = \frac{2a}{\rho L} \quad (4)$$

Aplicando esse procedimento para os dados experimentais de [3], temos os resultados aplicados ao nosso estudo, que serão apresentados adiante neste trabalho.

## 2.1 Algoritmo Genético

O trabalho [11] usou um algoritmo genético para a otimização da transferência de calor em meio poroso. O Algoritmo Genético pode ser definido, como feito por [7], um recurso que funciona de modo análogo às interações genéticas da biologia, que permite que uma espécie se reproduza e obtenha melhorias visando a melhor adaptação ao seu meio.

Neste trabalho, o indivíduo de uma população é a geometria do armazém graneleiro usado como objeto de estudo. Seus dois fenótipos são a posição da entrada lateral de ar e a distribuição percentual da pressão de entrada de ar, sendo 100% desta pressão global distribuída entre a entrada lateral e a entrada da base, sendo que a porcentagem mínima para cada uma dessas duas entradas era de 5%.

Para avaliar a qualidade de um indivíduo produzido através dos fenótipos, foi usado o critério que observa a uniformidade do escoamento do ar no interior de todo o armazém graneleiro, uma vez que em simulação computacional o interior da geometria foi particionado em uma quantidade finita de blocos, tomando-se o desvio médio dos vetores velocidade do ar.

O indivíduo que ao final das simulações apresentou o menor desvio médio para os vetores de velocidade do ar foi considerado o melhor indivíduo para o problema de escoamento de ar no armazém graneleiro.

## 3 Conclusões e Resultados

### 3.1 Coeficientes da equação de Darcy-Forchheimer

Como mencionado anteriormente, os coeficientes  $D$  e  $F$  da equação de Darcy-Forchheimer para o fluxo de ar nas diferentes profundidades da massa de grãos  $H = 1$  m, 10 m, 20 m, 30 m e 50 m conforme as Figuras 2 e 3, sendo que  $D$  e  $F$  podem ser obtidos em função da altura da  $H$  conforme:

$$D(H) = -16545,1435H^2 + 1312342,0665H + 31090058,229 \quad (5)$$

$$F(H) = -0,1471H^3 + 11,3545H^2 + 318,5381H + 9183,5064 \quad (6)$$

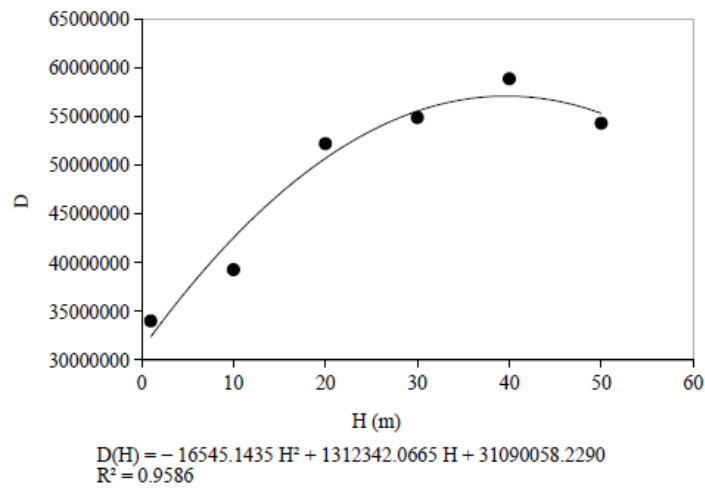


Figura 2: Estimativa de  $D$ .

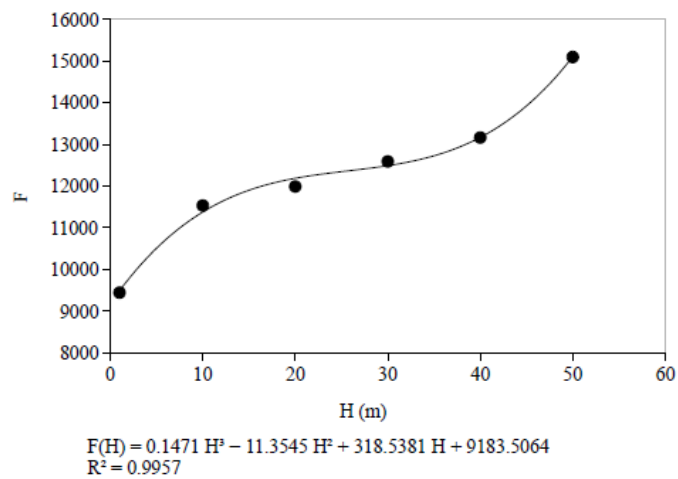


Figura 3: Estimativa de  $F$ .

Considerando os parâmetros  $D$  e  $F$  obtidos conforme as equações 5 e 6, a Figura 3 mostra a relação entre velocidade e queda de pressão prevista pelo OpenFOAM comparada ao dados experimentais de [3].

O modelo do OpenFOAM é para meio poroso homogêneo, mas existem duas formas de resolver isso. Quando é criada a malha é possível definir “zonas de porosidade” com os valores de  $D$  e  $F$  para zona, então basta criar diferentes zonas de porosidade, uma para cada metro de altura, ou até menos. O segundo método seria definir um campo para os valores de  $D$  e  $F$  no código do OpenFOAM, como foi feito em [5].

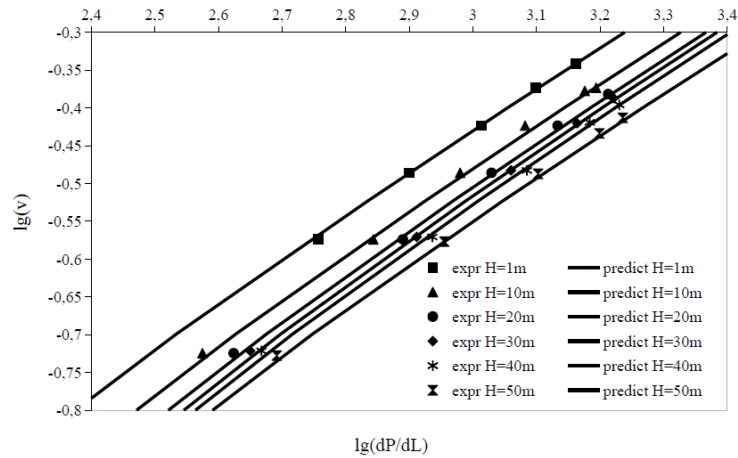


Figura 4: Relação entre velocidade e queda de pressão, previsto no OpenFOAM e dados experimentais de [3].

Presumindo a simetria do armazém observado em  $2D$ , para redução de custo computacional nas simulações, foi usada uma geometria com apenas a metade de sua estrutura, conforme se pode observar na Figura 5.

O armazém usado como objeto de estudo teve para a simulação de sua geometria a largura horizontal de 22,5 m, largura do semi-V da base de 2 m, profundidade até a parede vertical de 13,4 m, parede vertical de 4 m. O talude se formou através de trapézios acima da linha da parede vertical, tendo uma inclinação média dada pelo arcotangente da razão entre a altura esperada do talude e a largura. Além disso, foi considerada uma vazão na entrada de ar lateral de 33,016921% da vazão total e a posição das entradas laterais de ventilação à 18,475 m (na projeção horizontal) do centro do armazém.

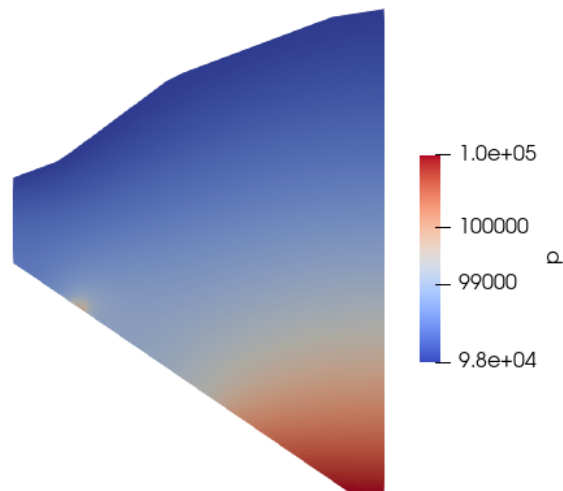


Figura 5: Malha obtida a partir do objeto de estudo inicial.

Após a simulação inicial do objeto de estudo, foram analisadas 10000 configurações para esta

geometria, através da observação de  $100 \times 100$  casos. Essencialmente, para a posição da ventilação lateral, oscilou-se a posição da projeção de seu centro no eixo- $x$  entre 9,885 m de distância a partir da origem adotada e 22,295 m e para a distribuição da vazão, a entrada lateral e a entrada da base deveriam repartir 100% da vazão disponível, sendo o valor mínimo possível de 5% e o valor máximo de 95%.

Estas simulações indicaram um fluxo de ar otimizado para entrada lateral projetada no eixo- $x$  centrada em aproximadamente 15,275 m e porcentagem de vazão disponível na entrada lateral de aproximadamente 47,72%, resultado em um desvio médio de aproximadamente  $0,0174 \text{ m.s}^{-1}$ .

Ao tratarmos a coordenada no eixo- $x$  da projeção do centro da entrada lateral e a porcentagem de vazão que estaria disponível para tal entrada como fenótipos de um algoritmo genético, foi produzido um resultado de melhor otimização, sendo o centro da entrada localizado em aproximadamente 14,7866 m da origem e a vazão lateral de aproximadamente 48,4376%, gerando um desvio médio de aproximadamente  $0,01652 \text{ m.s}^{-1}$ .

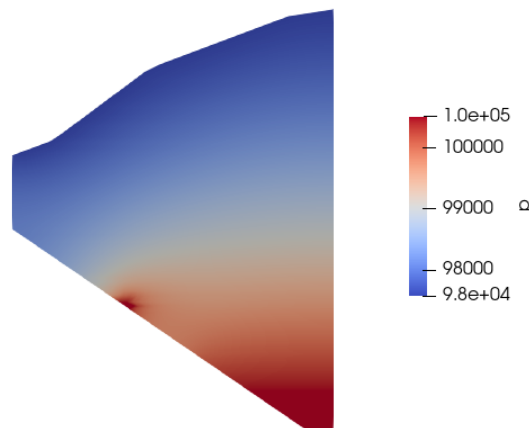


Figura 6: Malha obtida como resultado da otimização do algoritmo genético.

Tomamos então como conclusão a constatação de que o algoritmo genético atingiu um resultado de otimização melhor do que o do objeto de estudo observado e melhor do que as 10000 simulações realizadas com 100 passos para a posição da entrada de ar lateral e 100 passos para a distribuição percentual da pressão de ar global.

## Referências

- [1] C. Arroqui e A. E. Vírseda A. Iguaz. “Modelling and simulation of heat transfer in stored rough rice with aeration”. Em: **Biosystems Engineering** 89 (2004), pp. 69–77. DOI: [doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.05.001](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.05.001).
- [2] A.J. Neto e R. Vasco D.C. Lopes. “Comparison of equilibrium models for grain aeration”. Em: **Journal of Stored Products Research** 60 (2015), pp. 11–18.
- [3] O.A Khatchatourian e D.L. Savicki. “Mathematical modelling of airflow in an aerated soya bean store under non-uniform conditions”. Em: **Biosystems Engineering** 88 (2004), pp. 201–211. DOI: [doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.03.001](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.03.001).
- [4] D.S. Chung e G.H. Foster E. Haque. “Pressure and velocity field in airflow through packed bed of corn with fines non-darcy flow conditions”. Em: **ASAE** 5 (1981), pp. 1595–1604.

- [5] A. B. Gustavo e L. Ignacio I. D. Nicolás A. D. Javier. “Heterogeneous Porous Media Simulation”. Em: **Mecánica Computacional** 36 (2018), pp. 1173–1181.
- [6] M. A. Martins e J. D. Bustos-Vanegas M. V. A. Silva L. R. A. Faroni. “CFD simulation of ozone gas flow for controlling *Sitophilus zeamais* in rice grains”. Em: **Journal of Stored Products Research** 88 (2020), pp. 1–11. DOI: [doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101675](https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101675).
- [7] A.L.F. de Almeida e R.P.F. Cavalcanti M.O. Binelo. “MIMO Array Capacity Optimization Using a Genetic Algorithm”. Em: **IEEE Transactions on Vehicular Technology** 60 (2011), pp. 2471–2481. DOI: [10.1109/TVT.2011.2158460](https://doi.org/10.1109/TVT.2011.2158460).
- [8] O.A. Khatchatourian e B. Ziganshin M.O. Binelo V. Faoro. “Airflow simulation and inlet pressure profile optimization of a grain storage bin aeration system”. Em: **Computers and Electronics in Agriculture** 164 (2019), pp. 1–9. DOI: [doi.org/10.1016/j.compag.2019.104923](https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104923).
- [9] O.A. Khatchatourian e J. Stránský M.O. Binelo R.F. de Lima. “Modelling of the drag force of agricultural seeds applied to the discrete element method”. Em: **Biosystems Engineering** 178 (2019), pp. 168–175. DOI: [doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.11.013](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.11.013).
- [10] V. Faoro e N.A. Toniazzi O.A Khatchatourian M.O. Binelo. “Three-dimensional simulation and performance evaluation of air distribution in horizontal storage bins”. Em: **Biosystems Engineering** 142 (2016), pp. 42–52. DOI: [doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.12.009](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.12.009).
- [11] Z. Liu e W. Liu Y. Ge. “Multi-objective genetic optimization of the heat transfer for tube inserted with porous media”. Em: **International Journal of Heat and Mass Transfer** 101 (2016), pp. 981–987. DOI: [doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.05.118](https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.05.118).