

ANÁLISE DIAGNÓSTICA DO SISTEMA ZEER POT PARA O APRIMORAMENTO DA EFICÁCIA DE EVAPORAÇÃO

PEDRO KLEINSCHMITT KRAUSE 

Colégio Novaescola, Campo Grande, MS, Brasil, 79032261,

pedrokrausec@gmail.com

WANGHLEY SOARES MARTINS 

Watson Institute, Boulder, CO, Estados Unidos, 80302,

wanghley.soares@watson.is

RESUMO

Os sistemas de refrigeração, em sua maioria, são equipamentos de alto custo cujo funcionamento depende do uso de energia elétrica, o que leva à sua inacessibilidade para cerca de um bilhão de pessoas ao redor do mundo. O presente trabalho objetiva o aprimoramento do sistema *Zeer Pot* ou *Pot-in-Pot*, um sistema de refrigeração de baixo custo composto por vasos de cerâmica e por areia, dependente da evaporação do líquido nele inserido para sua eficiência. Na metodologia foram utilizados diferentes granulações de areia por vias experimentais e teóricas em simulações computacionais, assim como pelo apontamento de modelos com maior área superficial, visando propor alternativas para o aumento da evaporação do sistema. Nos resultados constatou-se a possibilidade de aprimoramento do sistema a partir do controle do nível de água e do aumento da área superficial em até 26,4%, aumentando o potencial de evaporação, dissipação de calor e, conseqüentemente, conservação de alimentos.

Palavras-chave: Zeer pot. Pot-in-Pot. Evaporação. Índice de compactação. Análise de dados.

DIAGNOSTIC ANALYSIS OF THE ZEER POT SYSTEM FOR IMPROVING EVAPORATION EFFECTIVENESS

ABSTRACT

Most refrigeration systems are expensive equipment whose operation depends on the use of electricity,



which leads to their inaccessibility for about a billion people around the world. The present work aims to improve the *Zeer Pot* or *Pot-in-Pot* system, a low-cost cooling system composed of ceramic vessels and sand, dependent on the evaporation of the liquid inserted in it for its efficiency. As for the methodology, different sand granulations are used by experimental and theoretical means in computer simulations, as well as by pointing models with greater surface area, aiming to propose alternatives for increasing the evaporation of the system. Thus, it is possible to improve the system by controlling the water level and increasing the surface area up to 26.4%, increasing the potential for evaporation, heat dissipation and, consequently, food preservation.

Keywords: Zeer pot. Pot-in-Pot. Evaporation. Packing density. Data analysis.

INTRODUÇÃO

Apesar do desenvolvimento de tecnologias voltadas à melhor preservação e refrigeração de alimentos e produtos, tais dispositivos permanecem, em sua maioria, dependentes de fontes elétricas de alimentação, condições essas inviabilizadas em regiões periféricas e populações de baixa renda, prejudicando a qualidade de vida dessas comunidades tanto na sua alimentação quanto na saúde (*Sustainable Energy for All*, 2019). Ratificando essa situação, o relatório publicado pela organização *Sustainable Energy for All (2020)* demonstra que cerca de 1 bilhão de pessoas, em regiões urbanas e rurais, não possuem acesso adequado à refrigeração, encontrando-se em situação de alto risco neste contexto.

Em vista de tais adversidades, o professor nigeriano Mohammed Bah Abba desenvolveu o sistema de refrigeração a baixo custo *Zeer Pot* ou *Pot-in-Pot*. Desenvolvido em 1995, esse dispositivo funciona através da evaporação do líquido nele inserido, com o uso de materiais de fácil acesso. Nesse contexto, o sistema consiste em dois potes de cerâmica de medidas (escalas) diferentes, estando o menor na região interna do maior e areia úmida na área entre ambos. Devido à estrutura porosa da cerâmica, o líquido contido na areia se infiltra pelo material, absorvendo no processo o calor interno do vaso e evaporando ao atingir a superfície externa, levando à redução da temperatura interna, que é mantida e auxiliada pela cobertura de um pano úmido na parte superior (ROLEX, 2000).

Dessa maneira, o sistema *Zeer Pot* tem sua eficiência dependente das condições externas, tais como temperatura e umidade relativa do ar (ODESOLA; ONYEBUCHI, 2009), e de fatores internos associados à sua estrutura (NUAYED, 2017), tais como o material utilizado no espaço entre os vasos de cerâmica (DUTT; GOWDA, 2015), possibilitando a alteração da



eficácia do sistema variando tais características.

Logo, o presente trabalho tem por objetivo aprimorar o sistema *Zeer Pot* por meio da melhora de sua taxa de evaporação e alteração da granulação da areia interna a fim de permitir quantidades ideais de água no sistema, tendo em vista que o volume disponível para a inserção de líquido no *Zeer Pot* está, também, associado ao índice de compactação do material interno. Tal abordagem tem por propósito, principalmente, verificar a redução do grau de compactação da areia que pode, *a priori*, comportar um volume de água superior ao convencional ao aumentar os espaços vazios entre as partículas do material.

Tendo isso em vista, o objetivo deste trabalho é aprimorar a eficiência de refrigeração do sistema *Zeer Pot* por meio da utilização de diferentes granulações de areia e formatos de recipiente para o sistema. Como objetivos específicos, elenca-se:

- Estabelecer a densidade absoluta e aparente das granulações de areias do tipo fina, média e grossa, a fim de determinar seus respectivos índices de compactação;
- Determinar a taxa de evaporação média do sistema *Zeer Pot*, com o uso das granulações de areia utilizadas, em ambiente externo;
- Determinar o tempo de conservação de amostras de alface (*Lactuca sativa*) no interior do sistema *Zeer Pot*;
- Determinar a variação do grau de compactação do material granulado no interior do sistema *Zeer Pot* conforme o diâmetro das partículas utilizadas a partir de simulações computacionais;
- Determinar a variação do grau de compactação do material granulado no interior do sistema *Zeer Pot* conforme o tipo de recipiente ou vaso utilizado por meio de simulações computacionais;
- Definir a área superficial de cada modelo do vaso utilizado nas simulações computacionais.

METODOLOGIA

Para a execução do trabalho, as experimentações e análises foram separadas em 4 etapas conforme seu respectivo enfoque: (1) Determinação da densidade absoluta e aparente do material granulado no interior do *Zeer Pot*; (2) Determinação da taxa de evaporação do sistema *Zeer Pot*; (3) Análise da conservação de *Lactuca sativa* (alface); e (4) Análise da compactação de partículas e área superficial dos recipientes em simulação. Nesse sentido, as etapas encontram-se descritas a seguir.

DETERMINAÇÃO DAS DENSIDADES ABSOLUTA E APARENTE



De acordo com Abu-Lebdeh et al. (2019), denomina-se como índice ou grau de compactação (η) de um material granulado como sendo a razão entre o seu volume absoluto (V_{abs}), ocupado pelo material, e seu volume aparente (V_{ap}), que leva em consideração os espaços vazios entre as partículas do material, isto é, a razão entre sua densidade aparente (ρ_{ap}) e absoluta (ρ_{abs}), conforme Equação (1).

$$\eta = \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \quad (1)$$

Além disso, o módulo de finura (MF) de um agregado, utilizado para a caracterização das areias neste trabalho, é definido conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003 como a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

A fim de realizar o cálculo do índice de compactação das areias utilizadas, sendo estas do tipo fina (MF 1,54), média (MF 1,70) e grossa (MF 2,30), determinou-se o valor de suas respectivas densidades estabelecendo-se a razão entre sua massa e seu volume. Para isso, ao menos 5 experimentos foram realizados para cada tipo de densidade das areias por meio do método de deslocamento de água, fazendo-se uso da balança *Mini Digital Platformscale* do tipo I-2000 com capacidade máxima de 500g e resolução de 0,01g, de proveta da marca *Phox*[®] com capacidade de 250±2ml calibrada à 20°C, um recipiente para a transferência de água e um recipiente para a de areia, e um sensor termo-higrômetro *Incoterm*[®] (7666.02.0.00). Os experimentos foram conduzidos à temperatura de uso da proveta (20±1°C), umidade relativa de 50±5%, em ambiente fechado sem fluxo perceptível de ar, prevenindo interferências no funcionamento da balança, e com as areias secas, evitando-se o fenômeno de inchamento do agregado miúdo.

Para a determinação da densidade absoluta, a espécie de areia utilizada foi coletada por meio de um dos recipientes de transferência, tendo sua massa inicial (m_i) mensurada. A proveta foi preenchida com um volume inicial (V_i) de água (100ml) com auxílio de outro recipiente. A utilização do recipiente de transferência para a água objetiva que o líquido possua a temperatura do ambiente de experimentação, visto que nele o recipiente foi deixado em repouso até a estabilização de sua temperatura. Em seguida, a areia é distribuída no interior da proveta, até que atinja o nível de 250ml, e a massa final (m_f) do recipiente é mensurada. Dessa forma, a areia presente na proveta possui uma massa de valor igual à variação da massa do recipiente de transferência, e o deslocamento do volume equivalente à variação do volume mensurado pela proveta. Assim, pela definição de densidade (MAZALI, 2020), a densidade absoluta é então determinada pela Equação (2):



$$\rho_{\text{rel}} = \frac{m_f - m_i}{250 \text{ ml} - V_i} \quad (2)$$

Nesse aspecto, para a determinação da densidade aparente, o tipo de areia utilizada é coletado pelo recipiente de transferência, e sua massa inicial (M_i) mensurada. Após essa etapa, a areia é despejada no interior da proveta até o nível de 250ml, sendo submetida à vibração e agitação manual por 60 segundos em sentido horizontal e vertical para maior compactação do material. Visto que a compactação reduz o volume aparente, mais material é despejado na proveta até o nível de 250ml. Tal processo é repetido até o momento em que o aumento da compactação não é mais perceptível. Neste ponto, a massa final (M_f) do recipiente com areia é mensurada. Nesse sentido, a densidade aparente, de modo equivalente ao cálculo da densidade absoluta, é dada pela Equação (3):

$$\rho_{\text{ap}} = \frac{M_f - M_i}{250 \text{ ml}} \quad (3)$$

De forma a efetuar o cálculo do erro da densidade com base nos dados obtidos em cada experimento, utilizou-se a raiz quadrada do erro médio (S), em conformidade com Holmes (2004), descrito pela Equação (4):

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n}} \quad (4)$$

Em que x_i é um dos valores obtidos para a densidade nas experimentações, \bar{x} a média de tais densidades, e n o número de experimentos efetuados ou densidades obtidas.

Para a propagação do erro no cálculo do índice de compactação, utilizou-se a fórmula de incerteza padrão combinada (GALLAS, 2004), resultando na seguinte pela Equação (5):

$$\sigma_{\eta} = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{ap}}^2 + (\eta \cdot \sigma_{\text{abs}})^2}}{\rho_{\text{abs}}} \quad (5)$$

Em que σ_{η} é a incerteza do grau de compactação, σ_{ap} a incerteza da densidade aparente e σ_{abs} a da densidade absoluta.

DETERMINAÇÃO DA TAXA DE EVAPORAÇÃO NO SISTEMA ZEER POT

Três vasos de cerâmica pequenos e grandes de mesmo modelo foram adquiridos em floricultura local para a montagem manual de três sistemas



Zeer Pot (Figura 1), cada um com uma espécie diferente de areia, sendo o primeiro com granulação fina (MF 1,54), o segundo com granulação média (MF 1,70) e o terceiro, grossa (MF 2,30). Os três foram posicionados ao ar livre equidistantes entre si, sem contato direto com a luz solar, e preenchidos inicialmente com água na capacidade máxima da areia (843ml para a areia fina, 863ml para a média, e 865ml para a grossa). Suas massas foram registradas diariamente em intervalos médios de 4 horas, e a variação delas caracterizadas como sendo a taxa de evaporação dos *Zeer Pots*, visto que outros fatores não foram relevantes para a redução da massa. Tal medição da massa foi realizada com o uso de uma balança digital do tipo SF-400, com capacidade máxima de 10kg e resolução de 1g. Ademais, o reabastecimento de cada sistema ocorreu, em média, a cada 2 dias, em que eram novamente reabastecidos até a capacidade completa da areia.



figura 1. Fotografia dos sistemas de *Zeer Pot* utilizados.

ANÁLISE DA CONSERVAÇÃO DE LACTUCA SATIVA (ALFACE)

As verificações referentes à conservação de alface deram-se ao longo do tempo, com três amostras separadas para os *Zeer Pots* (Figura 2), todas no interior de um copo de poliestireno para evitar o contato direto com a cerâmica úmida do sistema. A classificação da qualidade das alfaces ocorreu por via qualitativa e organoléptica, sendo separada em 5 categorias: ótimo (5), bom (4), mediano (3), ruim (2), impróprio (1).



figura 2. Fotografias das condições iniciais das alfaces nos Zeer Pots de areia, fina, média e grossa, respectivamente.



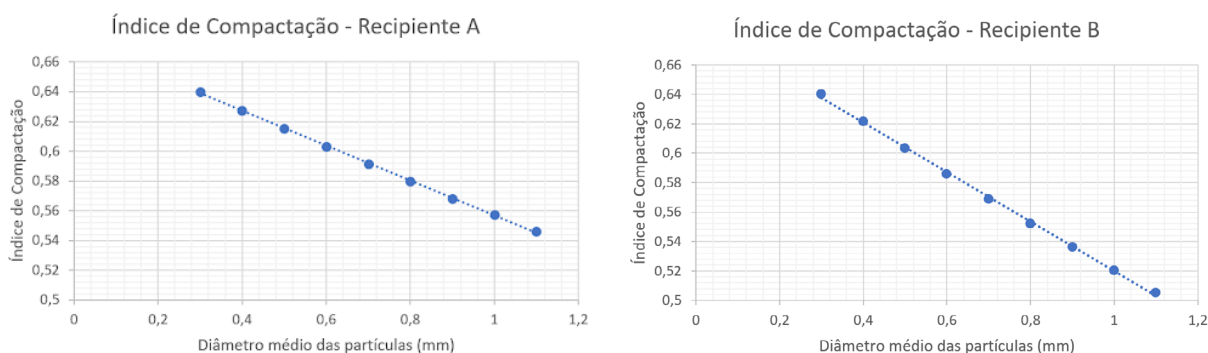
ANÁLISE DA COMPACTAÇÃO DE PARTÍCULAS E ÁREA SUPERFICIAL DOS RECIPIENTES EM SIMULAÇÃO

Para as simulações computacionais, utilizou-se o software *Blender 2.82* (BLENDER, 2020), com a adição do *Molecular Script* e *3D-Print Toolbox*, para a simulação efetiva de quantidades significativas de partículas e a visualização do volume e área de objetos, respectivamente. Dessa forma, torna-se possível a contagem das partículas (n) e a mensuração exata do volume (V_p) destas e dos recipientes utilizados (V_{ap}), viabilizando a determinação das densidades aparentes e absolutas para cada tamanho de partícula e, por conseguinte, seu índice de compactação em cada recipiente usado, conforme Equação (6).

$$\eta = \frac{n \cdot V_p}{V_{ap}} \quad (6)$$

Nesse sentido, tem-se em vista o uso de partículas de diâmetros entre 0,125mm e 2mm, com espaçamentos de 0,1mm, a partir da escala *Udden-Wentworth* para o padrão de areia fina à grossa (BLAIR, 1999). Além disso, objetiva-se a modelagem de três vasos/recipientes de diferentes formatos, mas de dimensões iguais e compatíveis com Rinker (2014), buscando-se apontar o índice de compactação das partículas no intervalo mencionado para cada recipiente, assim como verificar aquele com maior área superficial, conforme simulação de compactação na Figura 3.

figura 3. Exemplo de gráficos para o índice de compactação conforme diâmetro da partícula e recipiente.



ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

De forma a validar e analisar os dados coletados nas etapas citadas anteriormente, foram utilizadas técnicas de análise e ciência de dados para a



extração de resultados quantitativos das informações obtidas. Para isso, a primeira etapa desse processo consiste na mineração, padronização e preparação dos dados coletados de forma a gerar uma base de dados de fácil entendimento e compreensão, gerando um quadro de dados de nove dimensões, sendo: Data e hora da coleta, Tipo de granulação da areia utilizada (dividido em 1. fina, 2. média e 3. grossa), massa (g) do sistema, volume de líquido (mL) no sistema, taxa de evaporação (mL), temperatura ambiente (°C), umidade relativa (%) e compactação da areia no sistema, conforme na Tabela 1.

Data e hora	09/07/20 10:30	10/07/2020 13:15	...
Tipo	1	2	...
Massa (g)	6440	6778	...
Volume líquido (mL)	814,50	922,00	...
Evaporação (mL)	0	-43	...
Temperatura (°C)	17,1	26,95	...
Umidade (%)	62	55	...
Conservação	Ótimo	N/A ¹	...
Compactação	0,664628	0,677434	...

tabela 1. Quadro de dados minerados e padronizados.

Os dados obtidos, conforme as metodologias supracitadas, foram analisados com o auxílio da linguagem de programação *Python*, utilizando a metodologia *Z-score* para o cálculo estatístico do número de desvios padrão acima ou abaixo da média da população baseado na distribuição normal dos dados. Nesse sentido, fez-se uso das bibliotecas *SciPy*, para ciência de dados e tratamento de sinais digitais, *Numpy*, para a realização de cálculos matemáticos, *Pandas*, para manipulação e análise estatística, e *Matplotlib* e *Seaborn* para a geração de gráficos e plotagens.

Dessa forma, gerou-se a matriz de correlação entre os dados, assim como a produção dos gráficos de dispersão e de linhas para relacionar a taxa de evaporação, compactação e volume líquido associados aos sistemas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

DENSIDADE ABSOLUTA E APARENTE

Por meio da coleta e tratamento dos dados, todas as areias tiveram suas

¹ Não se aplica



densidades aparentes e absolutas determinadas, bem como seus índices de compactação, conforme evidenciado na Tabela 2.

Tipo de areia	Densidade aparente (g/cm ³)	Densidade absoluta (g/cm ³)	Índice de compactação (%)	Quantidade de experimentos realizados
Areia fina	1,726±0,007	2,60±0,01	66,5±0,4%	12
Areia média	1,770±0,006	2,61±0,02	67,7±0,7%	14
Areia grossa	1,718±0,006	2,625±0,006	65,4±0,3%	11

tabela 2. Dados experimentais de compactação e densidades das areias.

Observa-se uma maior compactação da areia fina em relação à grossa, dentro das expectativas iniciais. Entretanto, a areia média apresentou-se com um grau de compactação superior ao de ambas, divergindo dos resultados esperados. Nesse sentido, acredita-se que ela, possuindo uma composição variável de partículas grossas e finas, teve uma presença notável de partículas de diâmetro inferior à média da areia fina utilizada, preenchendo os vazios entre as partículas de maneira mais efetiva. Tal hipótese é ratificada pela compactação da areia grossa, que, mesmo também possuindo composição variável, não possuía partículas que fossem perceptivelmente menores que as da areia fina, possivelmente resultando em sua compactação menor.

TAXA DE EVAPORAÇÃO

A matriz de correlação evidenciou uma perceptível relação entre a evaporação e o volume líquido presente no sistema de modo inesperado, apontando uma relação inversamente proporcional entre ambos ao exibir um índice de correlação negativo. Além disso, os dados obtidos entre o índice de compactação e a evaporação não se demonstraram suficientemente significativos, apresentando um índice de correlação de -0,02, fato este compatível com a baixa variação da compactação entre as areias.

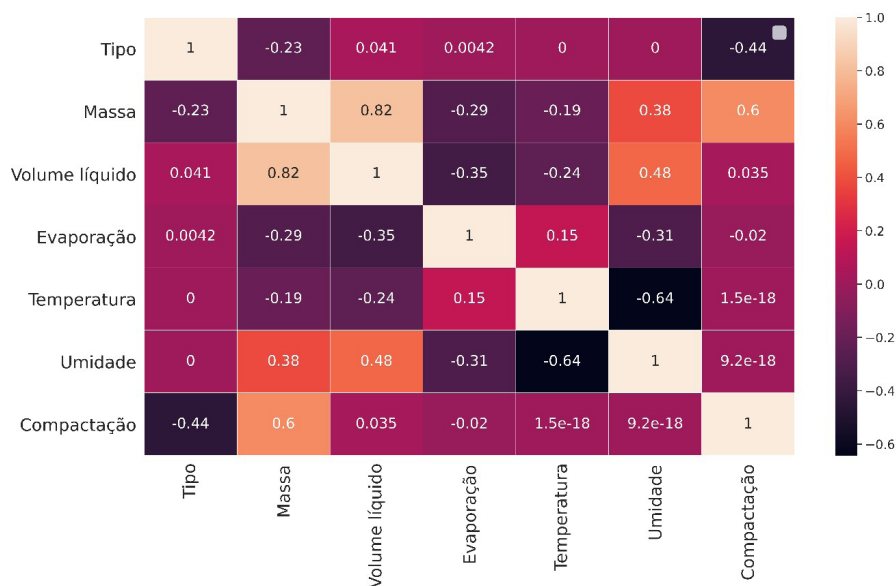


figura 4. Matriz de correlação dos dados obtidos.

Nesse sentido, seguiu-se então a análise dos outros gráficos de linhas e de dispersão produzidos.

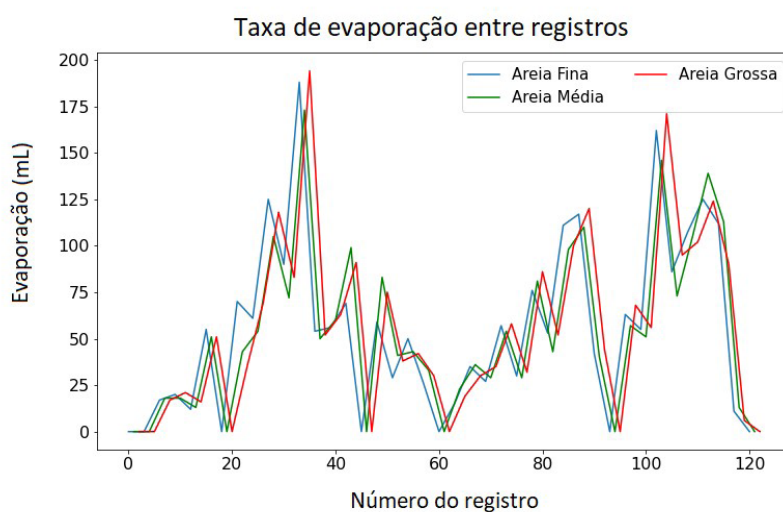


figura 5. Taxa de evaporação conforme os registros.

Na Figura 5, constata-se que os comportamentos da evaporação foram significativamente similares, sem distinções relevantes dentro dos dados observados, indicando mínima variação com o aumento da granulação das areias, cujo desvio padrão foi de aproximadamente 0,01 em suas compactações.

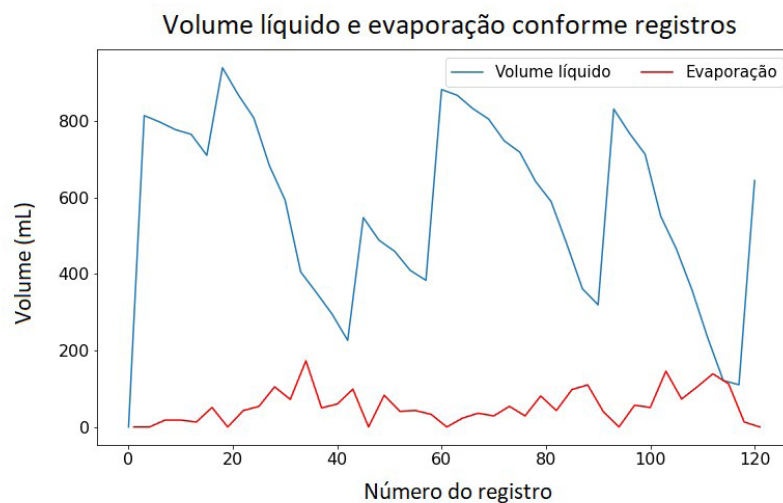


figura 6. Taxa de evaporação e volume líquido dos Zeer Pots conforme os registros.

Verifica-se pelos dados demonstrados na Figura 6 que a evaporação e o volume líquido seguem padrão similar, entretanto, defasado. Nesse sentido, observa-se decaimento na evaporação nos picos de volume líquido, momentos em que os sistemas foram reabastecidos com água. Após tais abastecimentos, evidencia-se que a evaporação torna a elevar-se somente quando o volume líquido torna a atingir a faixa entre 362 ml e 577 ml, isto é, cerca de 42% a 67% da capacidade máxima de líquido dos *Zeer Pots*, indicando a possibilidade de ponto ótimo em tal valor.

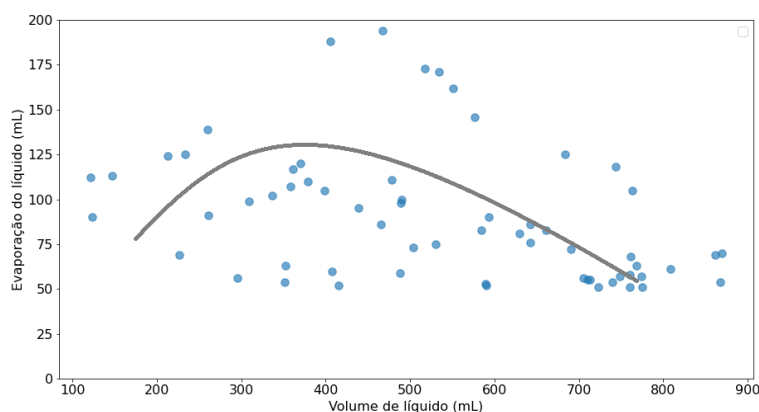


figura 7. Gráfico de dispersão da taxa de evaporação em função do volume líquido (mL).

Por meio do gráfico de dispersão apresentado na Figura 7, evidencia-se a ratificação dos resultados anteriormente abordados, em que a taxa de evaporação se concentra em valores menores conforme o aumento significativo do volume líquido, e em maiores no intervalo entre 300 ml e 500 ml, tal como observado na curva de tendência. Assim, tal intervalo encontra-se entre 35% e 58% da capacidade máxima de líquido nos *Zeer Pots*.



Dessa forma, os dados revelam-se divergentes das expectativas, tornando perceptível a pouca mudança na taxa de evaporação para pequenas alterações na compactação, mas a relevância notável do volume de água para ela.

ANÁLISE DA CONSERVAÇÃO DE LACTUCA SATIVA (ALFACE)

As amostras de alface foram analisadas periodicamente, suas qualidades registradas e apresentadas na Tabela 3. A amostra de controle, ao ar livre, demonstrou-se imprópria para consumo após 1,5 dias.

Tipo de areia para conservação da <i>Lactuca sativa</i>	Classificação de qualidade (3º dia)	Classificação de qualidade (4º dia)
Areia fina	Boa (4)	Impróprio (1)
Areia média	Médio (3)	Impróprio (1)
Areia grossa	Médio (3)	Ruim (2)
Ao ar livre	Impróprio (1)	Impróprio (1)

tabela 3. Classificação da qualidade das alfaces (*Lactuca sativa*) para o 3º e 4º dias registrados.

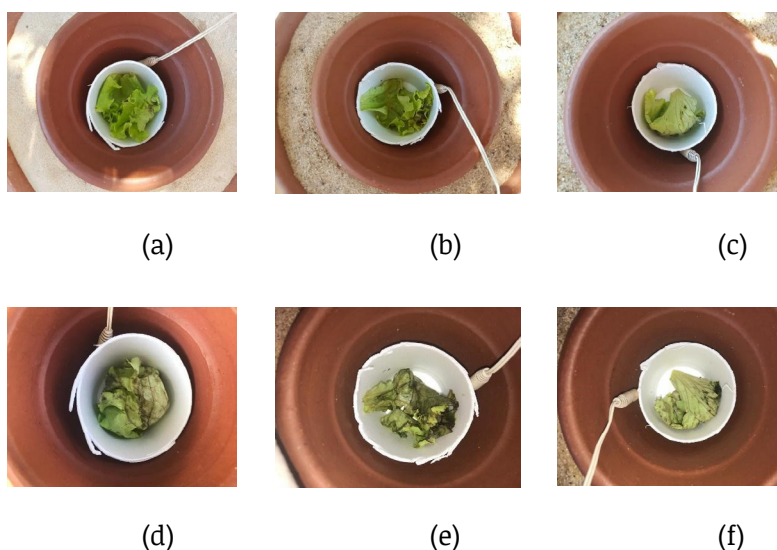


figura 8. Alface na areia fina no 3º dia (a) e 4º dia (d); alface na areia média no 3º dia (b) e 4º dia (e); e alface na areia grossa no 3º dia (c) e 4º dia (f).

Dessa forma, evidencia-se boa conservação das alfaces no sistema *Zeer Pot* em comparação à que permaneceu em exposição ao ar livre, conforme Figura 8. Ademais, observa-se em tal experimentação a melhor conservação da alface no interior do sistema com areia grossa em relação aos outros tipos.

ANÁLISE DA COMPACTAÇÃO DE PARTÍCULAS E ÁREA SUPERFICIAL DOS RECIPIENTES EM SIMULAÇÃO



Em primeira instância, a modelagem dos vasos/recipientes deu-se de maneira efetiva, com a produção de três modelos de formatos distintos (Figura 9). O primeiro, cônico, e o segundo, cilíndrico e esférico, trata-se de dois amplamente utilizados na confecção de *Zeer Pots*, enquanto o terceiro, ondulado, teve em vista a adição de sinuosidades ou ondulações em sua estrutura não comumente presentes no sistema tradicional.

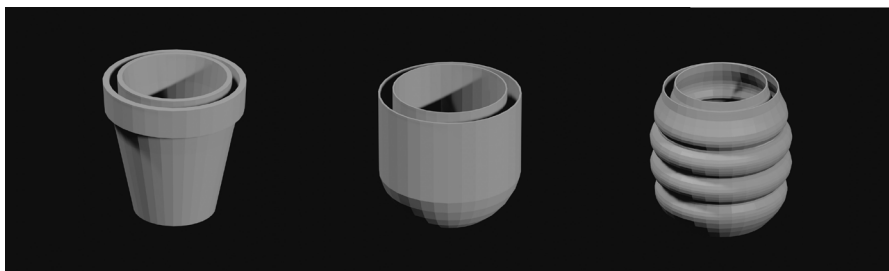


figura 9. Modelos da estrutura do Zeer Pot.

Tendo os modelos de vasos finalizados, suas áreas superficiais tiveram seus valores calculados conforme a utilização do *3D-Print Toolbox* (BARTON, 2019).

Modelo de vaso	Área superficial
Cônico	6641,5419 cm ²
Cilíndrico e esférico	7952,5496 cm ²
Ondulado	8395,0381 cm ²

tabela 4. Classificação da qualidade das alfaces (*Lactuca sativa*) para o 3º e 4º dias registrados.

Conforme Tabela 4, evidencia-se uma notável diferença nas áreas superficiais dos vasos utilizados, com o terceiro possuindo o maior valor. O segundo possui uma área cerca de 19,74% maior que a do primeiro, enquanto o terceiro, 26,4%, e superior em aproximadamente 5,56% a do segundo.

Apesar de testes terem sido efetuados para a simulação de partículas no sistema junto aos vasos, estes foram afetados pela pouca quantidade de *substeps*², o que caracteriza a redução no tempo de processamento investido em cada etapa da simulação e, assim, a sobreposição das partículas, impossibilitando a determinação acurada da compactação. Dessa maneira, testes com maior tempo de processamento são necessários para tal, objetivo este tido como enfoque para as próximas etapas do presente trabalho.

CONCLUSÃO

² 2 Substeps são passos utilizados para reduzir as lacunas na emissão de fluidos/partículas provenientes de fontes de movimento rápido. Quanto mais substeps maior o poder computacional necessário e maior a precisão da simulação (BLENDER, 2020).



No que se refere às análises por meio das simulações, evidenciou-se que vasos ou recipientes com ondulações ou sinuosidades podem aumentar a área superficial dos *Zeer Pots* convencionais em 26,4%, possibilitando o aprimoramento do potencial de evaporação e dissipação de calor.

Ademais, as variações na taxa de evaporação entre diferentes *Zeer Pots* de tipos de areias diferentes não se demonstraram efetivamente significativas, tendo em vista, também, a pouca variação de compactação entre as areias utilizadas. Contudo, estas aumentaram significativamente o tempo de conservação das hortaliças utilizadas em comparação ao ambiente à céu aberto, demonstrando-se eficazes nessa via.

A quantidade de água presente no sistema influencia sua eficiência, sendo que, em média, o uso de 50,5% da capacidade máxima de volume líquido no *Zeer Pot* possibilita maior potencial de evaporação. Estas descobertas promovem a melhor compreensão da termodinâmica associada ao sistema, caracterizando as próximas etapas do presente trabalho em uma área pouco explorada em tal contexto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABU-LEBDEH, Taher et al. Powder Packing Density and Its Impact on SLM-Based Additive Manufacturing. **Tms 2019 148Th Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings**, [S.L.], p. 355-367, jan. 2019. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-05861-6_33. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331394034_Powder_Packing_Density_and_Its_Impact_on_SLM-Based_Additive_Manufacturing. Acesso em: 25 jul. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Mercosul de Normalização, 2003. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosupload/17827/material/nbr_nm248_2003.pdf. Acesso em: 25 jul. 2020.
- BARTON, Campbell. **3D Print Toolbox**. 2019. Disponível em: https://docs.blender.org/manual/en/latest/addons/mesh/3d_print_toolbox.html. Acesso em: 25 jul. 2020.
- BLAIR, T. C.; MCPHERSON, J. G.. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. **Journal Of Sedimentary Research**, [S.L.], v. 69, n. 1, p. 6-19, jan. 1999. Society for Sedimentary Geology. <http://dx.doi.org/10.2110/jsr.69.6>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270168746_Grain-size_and_textural_classification_of_coarse_sedi



mentary_particles. Acesso em: 23 jul. 2020.

BLENDER. **Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software.** 2020. Disponível em: <https://www.blender.org/>. Acesso em: 23 jul. 2020.

DUTT, Prabodh Sai; GOWDA, Thamme. Experimental Study of Alternatives to Sand in Zeer Pot Refrigeration Technique. **International Journal Of Modern Engineering Research**, Mysore, Índia, v. 5, n. 5, p. 1-7, maio 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/295072664_Experimental_Study_of_Alternatives_to_Sand_in_Zeer_Pot_Refrigeration_Technique. Acesso em: 22 jul. 2020.

GALLAS, Márcia Russman. **Incerteza de Medição.** 2004. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~marcia/medidas.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2020.

HOLMES, Susan. **RMS Error.** 2000. Disponível em: <https://statweb.stanford.edu/~susan/courses/s60/split/node60.html>. Acesso em: 25 jul. 2020.

MAZALI, Italo Odone. **Determinação da Densidade de Sólidos pelo Método de Arquimedes.** LQES - Laboratório de Química do Estado Sólido – Instituto de Química – UNICAMP. Disponível em: http://lqes.iqm.unicamp.br/images/vivencia_lqes_meprotec_densidade_arquimedes.pdf. Acesso em: 25 jul. 2020.

NUAYED, Elielzer de Souza. **A TERMODINÂMICA DO REFRIGERADOR POT-IN-POT.** 2017. 43 f. Monografia (Especialização) - Curso de Licenciatura em Física, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/371324268/Termodinamica-Do-Refrigerador-POT-In-POT>. Acesso em: 22 jul. 2020.

ODESOLA, Isaac F.; ONYEBUCHI, Onwuka. A Review of Porous Evaporative Cooling for the Preservation of Fruits and Vegetables. **The Pacific Journal Of Science And Technology**, Ibadan, Nigeria, v. 10, n. 2, p. 935-941, nov. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228406788_A_Review_of_Porous_Evaporative_Cooling_for_the_Preservation_of_Fruits_and_Vegetables. Acesso em: 22 jul. 2020.

PETER RINKER. Movement e.V.. **The clay pot cooler:** an appropriate cooling technology. 2014. Disponível em: https://movement-verein.org/wp-content/uploads/2015/07/informationen_projekte_clay_pot_cooler_2014_en.pdf. Acesso em: 23 jul. 2020.

ROLEX. **Cool food in the desert:** Mohammed Bah Abba. 2000. Disponível em: <https://www.rolex.org/rolex-awards/applied-technology/mohammed-bah-abba>. Acesso em: 23 jul. 2020.



SUSTAINABLE ENERGY FOR ALL. **Chilling Prospects**: providing sustainable cooling for all. Viena, AUT: [s.n.], 2019. 76 p. Disponível em: <https://www.seforall.org/system/files/2019-11/CP-2019-SEforALL.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.

PEDRO KLEINSCHMITT KRAUSE

Estudante bolsista do Ensino Médio no Colégio Novaescola, em Campo Grande, MS. Atua como pesquisador e participante do grupo Minerva, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, desenvolvendo projetos de pesquisa e eventos voltados à divulgação científica e busca futuramente contribuir como pesquisador na área da física.

WANGHLEY SOARES MARTINS

Wanghley é técnico em informática pelo Instituto Federal de Brasília e agente de negócios no Watson Institute Accelerator. Atualmente Wanghley é pesquisador na área de doenças neurodegenerativas com enfoque em engenharia biomédica, empreendedor social, cientista e analista de dados e desenvolvedor de sistemas especialistas. Tem experiência na área de ciência da computação, engenharia biomédica, com ênfase em ciência de dados, doenças neurodegenerativas, Programação WEB, eletrônica embarcada e dispositivos wearable. Atua principalmente nos seguintes temas: matemática aplicada, programação mobile, programação web, inteligência artificial, processamento e transmissão de imagens, doença de Parkinson, empreendedorismo social e tecnologias vestíveis voltadas à área da saúde.

submetido
31.07.2020

reapresentado
13.08.2021

aprovado
17.08.2021

Contribuição de autoria. Pedro Kleinschmitt Krause participou da elaboração do estudo, da investigação de dados, do levantamento bibliográfico e da redação do artigo. Wanghley Soares Martins orientou todas as etapas e participou da revisão final e da edição do artigo.

Apoio. MAIS Startup +Science.

Licença de uso. Este artigo está licenciado sob a Licença Creative Commons CC-BY. Com essa licença você pode compartilhar, adaptar, criar para qualquer fim, desde que atribua a autoria da obra.