

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente

Francisco Tiago Carvalho Silva

**OTIMIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO NÃO ELÉTRICO PARA CONSERVAÇÃO
DE ALIMENTOS: TÉCNICA *POT IN POT***

Diamantina

2021

Francisco Tiago Carvalho Silva

**OTIMIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO NÃO ELÉTRICO PARA CONSERVAÇÃO
DE ALIMENTOS: TÉCNICA *POT IN POT***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Bernat Viñolas Prat

Diamantina

2021

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586o

Silva, Francisco Tiago Carvalho

Otimização de equipamento não elétrico para conservação de alimentos: técnica Pot in Pot / Francisco Tiago Carvalho Silva, 2021. 91 p.: il.

Orientador: Bernat Viñolas Prat

Dissertação (Mestrado– Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2021.

1. Armazenamento. 2. Eficiência. 3. Pot in Pot. 4. Resfriamento evaporativo. I. Prat, Bernat Viñolas. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 664.028

Ficha Catalográfica – Sistema de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária: Viviane Pedrosa – CRB6/2641



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

FRANCISCO TIAGO CARVALHO SILVA

OTIMIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO NÃO ELÉTRICO PARA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS: TÉCNICA *POT*
IN POT

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, nível de Mestrado, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Saúde, Sociedade e Ambiente**.

Orientador: Prof. Dr. Bernat Viñolas Prat

Data de aprovação 23/02/2021

Prof. Dr. Bernat Viñolas Prat - (UFVJM)

Prof. Dr. Thiago Parente Lima - (UFVJM)

Prof. Dra. Rosana Passos Cambraia - (UFVJM)

Prof. Dr. Alex Sander Dias Machado - (UFVJM)

Eng. Dr. Emanuel Roberto Faria - (UFVJM)



Documento assinado eletronicamente por Thiago Parente Lima, Servidor, em 26/02/2021, às 09:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Emanuel Roberto Faria, Servidor, em 26/02/2021, às 09:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por Alex Sander Dias Machado, Servidor, em 26/02/2021, às



09:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Bernat Vinolas Prat, Servidor, em 26/02/2021, às 12:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Rosana Passos Cambraia, Servidor, em 01/03/2021, às 10:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufvjm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 0292865 e o código CRC 77621F70.

Dedico este trabalho
À minha querida mãe e aos meus queridos irmãos.
À minha esposa pelo incentivo e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao bom Deus pela conquista de mais um sonho.

À minha querida mãe: Rozaine, mulher admirável, responsável, humilde e zelosa, que me repassou todos os valores que carrego dentro mim.

À minha esposa, Andressa, pela paciência e companheirismo de sempre.

A todos os meus irmãos: Rafael, Ramom, Jardel (*in memoriam*), Nerval e Matheus que sempre estiveram do meu lado me apoiando, em especial ao meu querido irmão, Ramom, que me ajudou muito em minha pesquisa e no ingresso neste programa de Mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Bernat Viñolas Prat, pessoa incrível que esse programa de mestrado me proporcionou conhecer. Muito obrigado pelos conhecimentos e experiências compartilhadas.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente (PPGSaSA), em especial à Prof.^a Dr^a Rosana Passos Cambraia que me mostrou que era possível um Engenheiro Eletricista fazer um mestrado profissional interdisciplinar, meu muito obrigado.

Aos meus colegas de turma, por todos os momentos vividos juntos e pelas trocas de experiências.

Aos meus amigos Marcus Félix, Frank Carvalho e Ângela que contribuíram diretamente para a realização deste trabalho, e aos meus amigos Lucas Ethiene, Daniel Medeiros e Leon Oliveira que contribuíram para o ingresso no programa.

À Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM); ao Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente (PPGSaSA/UFVJM); à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram com a minha chegada até aqui.

“Senhor, quero dar-te graças de todo o coração e falar de todas as tuas maravilhas. Em ti quero alegrar-me e exultar, e cantar louvores ao teu nome, ó Altíssimo”

Salmos 9: 1-2.

RESUMO

A situação de pobreza e vulnerabilidade social é realidade de inúmeras famílias, o que afeta o acesso aos diversos serviços públicos, dentre eles, o fornecimento de energia elétrica. Convencionalmente os alimentos são conservados em sistemas dependentes de energia elétrica, mantendo-os em condições de temperatura e umidade adequadas. O contexto de exclusão de algumas famílias africanas e o desperdício de alimentos devido à impossibilidade de utilização de equipamentos de refrigeração, levaram o professor nigeriano Mohammed Bah Abba a desenvolver o sistema *Pot in Pot*. Tal dispositivo é uma geladeira ecológica, com uma característica especial: utilização do sistema de resfriamento evaporativo, que dispensa o uso de energia elétrica. Diante deste contexto, integrante desta dissertação de mestrado, o artigo 1 apresenta como objetivo geral mapear e analisar a produção científica relativa aos estudos que abordam o uso da técnica *Pot in Pot* para conservação de frutas e legumes. Os resultados indicaram os principais aspectos físicos e o mapeamento de alguns resfriadores evaporativos utilizados para a conservação de alimentos. No mesmo escopo, o artigo 2 apresenta como objetivo geral mapear e analisar a produção científica relativa aos estudos sobre o funcionamento do sistema *Pot in Pot*. Diferentemente do artigo 1 que focou no uso da técnica para conservação de frutas e legumes, o artigo 2 baseou-se na busca por artigos que tratassem da eficiência de resfriamento deste sistema, que tivessem como pontos chave o seu funcionamento ou que disponibilizassem informações dos tipos existentes. Os resultados indicaram os tipos de equipamentos existentes, os principais aspectos para o funcionamento do sistema e o grau de eficiência dos dispositivos relatados na literatura. Já o artigo 3 tem como objetivo principal avaliar quatro sistemas *Pot in Pot* a fim de determinar os aspectos-chave para melhoria da eficiência deste dispositivo. A metodologia detalhada no artigo 3 fundamentou-se de forma inédita na realização de testes laboratoriais para avaliação da eficiência dos quatro dispositivos testados. A partir dos dados obtidos foi realizada a análise estatística comparativa. Os resultados indicaram que os dispositivos avaliados apresentaram eficiências semelhantes a outras pesquisas desenvolvidas na temática; o dispositivo 1 apresentou a menor eficiência de arrefecimento em relação aos demais experimentos; o aumento da porosidade da superfície externa do vaso maior, por meio do lixamento, colaborou de forma significativa para o bom funcionamento do dispositivo 3; o dispositivo 4, foi o experimento que obteve melhor eficiência.

Palavras-chave: armazenamento, eficiência, *Pot in Pot*, resfriamento evaporativo.

ABSTRACT

The situation of poverty and social vulnerability is a reality for countless families, which affects access to various public services, including the supply of electricity. Conventionally, food is preserved in electrical energy-dependent systems, keeping it in suitable temperature and humidity conditions. The context of exclusion of some African families and the waste of food due to the impossibility of using refrigeration equipment, led Nigerian professor Mohammed Bah Abba to develop the Pot in Pot system. Such a device is an ecological refrigerator, with a special feature: use of the evaporative cooling system, which dispenses with the use of electricity. In view of this context, part of this master's dissertation, article 1 presents the general objective of mapping and analyzing the scientific production related to studies that address the use of the Pot in Pot technique for the conservation of fruits and vegetables. The results indicated the main physical aspects and the mapping of some evaporative coolers used for food preservation. In the same scope, article 2 presents the general objective of mapping and analyzing scientific production related to studies on the functioning of the Pot in Pot system. Unlike article 1, which focused on the use of the technique for conserving fruits and vegetables, article 2 was based on the search for articles that dealt with the cooling efficiency of this system, that had their functioning as key points or that provided information of the types existing. The results indicated the types of existing equipment, the main aspects for the functioning of the system and the degree of efficiency of the devices reported in the literature. Article 3 aims to evaluate four Pot in Pot systems in order to determine the key aspects for improving the efficiency of this device. The methodology detailed in article 3 was based on an unprecedented basis in the performance of laboratory tests to assess the efficiency of the four devices tested. Based on the data obtained, comparative statistical analysis was performed. The results indicated that the evaluated devices showed efficiencies similar to other research developed on the subject; device 1 showed the lowest cooling efficiency in relation to the other experiments; the increase in porosity on the external surface of the larger vessel, through sanding, contributed significantly to the proper functioning of the device 3; device 4, was the experiment that obtained the best efficiency.

Keywords: efficiency, evaporative cooling, Pot in Pot, storage.

RESUMEN

La situación de pobreza y vulnerabilidad social es una realidad para innumerables familias, lo que afecta el acceso a diversos servicios públicos, incluido el suministro de energía eléctrica. De manera convencional, los alimentos se conservan en sistemas dependientes de la energía eléctrica, manteniéndolos en condiciones adecuadas de temperatura y humedad. El contexto de exclusión de algunas familias africanas y el desperdicio de alimentos por la imposibilidad de utilizar equipos de refrigeración, llevó al profesor nigeriano Mohammed Bah Abba a desarrollar el sistema Pot in Pot. Tal dispositivo es un refrigerador ecológico, con una característica especial: uso del sistema de enfriamiento evaporativo, que prescinde del uso de electricidad. Ante este contexto, parte de esta tesis de maestría, el artículo 1 presenta el objetivo general de mapear y analizar la producción científica relacionada con los estudios que abordan el uso de la técnica Pot in Pot para la conservación de frutas y verduras. Los resultados indicaron los principales aspectos físicos y el mapeo de algunos enfriadores evaporativos utilizados para la conservación de alimentos. En el mismo ámbito, el artículo 2 presenta el objetivo general de mapear y analizar la producción científica relacionada con los estudios sobre el funcionamiento del sistema Pot in Pot. A diferencia del artículo 1, que se centró en el uso de la técnica de conservación de frutas y hortalizas, el artículo 2 se basó en la búsqueda de artículos que trataran sobre la eficiencia de enfriamiento de este sistema, que tuvieran su funcionamiento como puntos clave o que brindaran información de la tipos existentes. Los resultados indicaron los tipos de equipos existentes, los principales aspectos para el funcionamiento del sistema y el grado de eficiencia de los dispositivos reportados en la literatura. El artículo 3 tiene como objetivo evaluar cuatro sistemas Pot in Pot con el fin de determinar los aspectos clave para mejorar la eficiencia de este dispositivo. La metodología detallada en el artículo 3 se basó en una base sin precedentes en la realización de pruebas de laboratorio para evaluar la eficiencia de los cuatro dispositivos probados. A partir de los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico comparativo. Los resultados indicaron que los dispositivos evaluados mostraron eficiencias similares a otras investigaciones desarrolladas sobre el tema; el dispositivo 1 mostró la menor eficiencia de enfriamiento en relación con los otros experimentos; el aumento de la porosidad en la superficie externa del recipiente más grande, a través del lijado, contribuyó significativamente al buen funcionamiento del dispositivo 3; dispositivo 4, fue el experimento que obtuvo la mejor eficiencia.

Palabras clave: Eficiencia, *Pot in Pot*, enfriamiento evaporativo, almacenamiento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – O princípio do resfriamento evaporativo.....	35
Figura 2 – O princípio do resfriamento adiabático	36
Figura 3 – Resfriamento Evaporativo Direto: RED	38
Figura 4 – Resfriamento Evaporativo Indireto: REI.....	39
Figura 5 – Resfriamento Evaporativo Indireto/Direto: REID	40
Figura 6 - Desenho Ortogonal de uma estrutura de arrefecimento evaporativo	46
Figura 7 – Ilustração do modelo do <i>Pot in Pot</i>	54
Figura 8 – Ilustração do princípio de resfriamento por convecção do <i>Pot in Pot</i>	57
Figura 9 – (a) Sistema 1 - Vaso com água, (b) Sistema 2 -Vaso vazio, (c) Sistema 3 -Vaso lixado, (d) Sistema 4 – Vaso lixado carregado.....	72
Figura 10 – Boxplot (gráfico de caixa)	77

QUADROS

Quadro 1 – Relação de artigos selecionados para análise.....	42
Quadro 2 – Relação de artigos selecionados para análise.....	58

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação de eficiência do vaso lixado vazio e carregado	74
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Base de dados acessadas e quantitativo de artigos encontrados e selecionados.	41
Tabela 2 – Alteração do prazo de validade (em dias) de legumes com e sem o uso do <i>Pot in Pot (Zeer)</i>	45
Tabela 3 – Base de dados acessadas e quantitativo de artigos encontrados e selecionados.	57
Tabela 4 – A comparação das eficiências de arrefecimento de diferentes pesquisas	64
Tabela 5 - A comparação dos valores médios das eficiências dos 4 sistemas	74
Tabela 6 – Análise estatística descritiva	75
Tabela 7 – Análise ANOVA.....	77
Tabela 8 – Comparação das eficiências de arrefecimento de diferentes pesquisas	78

LISTA DE SIGLAS

BM – Banco Mundial

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

ELETRONBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras SA

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PPGSaSA – Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente

PO – Ponto de Orvalho

RED – Resfriamento Evaporativo Direto

REDI – Resfriamento Evaporativo Direto/Indireto

REI – Resfriamento Evaporativo Indireto

ONU – Organização das Nações Unidas

SaSA – Mestrado Interdisciplinar Saúde, Sociedade e Ambiente

SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences*

TAmb – Temperatura Ambiente

TBS – Temperatura de Bulbo Seco

TBU – Temperatura de Bulbo Úmido

TCM – Trabalho de Conclusão de Mestrado

Tin – Temperatura interna

UFVJM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

UAmb – Umidade Ambiente

UR – Umidade Relativa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	27
REFERÊNCIAS.....	31
CAPÍTULO 1 – O USO DA TÉCNICA “POT IN POT” PARA CONSERVAÇÃO DE FRUTAS E LEGUMES	32
1 INTRODUÇÃO.....	33
2 RESFRIAMENTO EVAPORATIVO	34
3 METODOLOGIA	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS.....	49
CAPÍTULO 2 – SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO SEM UTILIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: ANÁLISE DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE DISPOSITIVOS <i>POT IN POT</i>.....	50
1 INTRODUÇÃO.....	51
2 REVISÃO DE LITERATURA	53
3 METODOLOGIA	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5 CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS.....	65
CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO SEM USO DE ENERGIA: EXPERIMENTOS A PARTIR DO SISTEMA <i>POT IN POT</i>.....	67
1 INTRODUÇÃO.....	68
2 METODOLOGIA	71
3 RESULTADOS	73
4 DISCUSSÃO	78
5 CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS.....	81
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
APÊNDICES	84
ANEXOS	90

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade, desde a sua descoberta, tem demonstrado considerável importância para humanidade. Está presente direta ou indiretamente na maior parte das tarefas realizadas, sendo inserida em nossa rotina por meio de aparelhos, processos industriais, dispositivos eletrônicos, entre tantos outros. Está presente em nossos hábitos e influencia profundamente o modo de vida da civilização moderna, que se modifica a partir das inúmeras possibilidades que a energia elétrica possibilita. Podemos destacar o desenvolvimento do setor de transporte, setor industrial, comercial e nos lares, de diversas formas tais como: iluminação, eletrônicos, eletrodomésticos e sistemas de refrigeração e aquecimento (VAN VALKENBURGH; NEVILLE, 1992).

No entanto, em nível mundial inúmeras pessoas ainda não contam com o serviço de fornecimento de energia elétrica no seu dia a dia. Segundo dados divulgados pela Organização das Nações Unidas (ONU¹), apesar dos avanços tecnológicos, cerca de 1 bilhão de pessoas ao redor do mundo não tem acesso à energia elétrica. Famílias e comunidades inteiras convivem com a limitação que compromete a vida urbana e rural, privando-os da iluminação pública e doméstica, climatização de ambientes e uso de aparelhos eletroeletrônicos em geral.

Até o ano 2000 existiam no Brasil mais de dois milhões de domicílios rurais sem acesso à energia elétrica (IBGE, 2000), o que representava mais de 10 milhões de brasileiros não atendidos por esse serviço. Visando modificar esse cenário, em 2003, foi criado o Programa “Luz para Todos”. Conforme Freitas e Oliveira (2017), até novembro de 2016 o programa já havia atendido 15,9 milhões de moradores das áreas rurais brasileiras. Apesar do número significativo de famílias atendidas, ainda há um grande *déficit*, motivo pelo qual o programa foi prorrogado até 2022 (ELETROBRAS, 2018).

Dentre as inúmeras consequências negativas da falta de energia elétrica, o desperdício de alimentos, devido à impossibilidade de utilização de sistemas de refrigeração, é um dos que mais afetam as famílias sem acesso a esse serviço. Convencionalmente, os alimentos são conservados em sistemas dependentes de energia elétrica, mantendo-os em condições de temperatura e umidade adequadas.

¹ Disponível em: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-12/quase-1-bilhao-de-pessoas-no-mundo-vivem-sem-eletricidade-diz-onu>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

Os saberes dos povos e comunidades tradicionais, indígenas, quilombolas, dentre outros, são elos para a busca do desenvolvimento sustentável. O conhecimento desses povos, localizados em geral em países em desenvolvimento, favorece o avanço da ciência e da tecnologia, principalmente no que se refere às práticas de armazenamento da colheita e de produtos agrícolas (BARROS FILHO *et al.*, 2011).

Para estarem aptos ao consumo, alimentos perecíveis, como frutas e verduras, precisam ser armazenados em temperatura e umidade relativa do ar adequadas. Ou seja, a fim de evitar a deterioração desses alimentos, eles devem ser armazenados em condições de baixa temperatura e alta umidade, mantendo assim suas características e elevando sua vida útil (MÜRMAN; MALLMANN; DILKIN, 2005; BASEDIYA; SAMUEL; BEERA, 2013).

O presente trabalho atende as recomendações da Agenda de Prioridades de Pesquisa em Saúde do Ministério da Saúde. Na Agenda de 2018 a pesquisa contempla o eixo 4 – Desenvolvimento de tecnologias e inovação em saúde, em seu item 4.3: desenvolvimento e/ou avaliação de estratégias para transporte, preservação e manutenção da estabilidade de medicamentos e imunobiológicos em áreas remotas e de difícil acesso. Já na Agenda de 2015 a pesquisa contempla a subagenda: Alimentação e Nutrição, em seus itens 10.1.10, que trata da tecnologia de alimentos: controle de qualidade e contaminação, aspectos nutricionais, mercadológicos e de biossegurança, e 10.1.15, que versa sobre as técnicas de armazenagem de alimentos e preservação da qualidade nutricional (BRASIL, 2015; BRASIL, 2018).

Nesse contexto, faz-se necessário pensar soluções que foquem na substituição/adequação de eletrodomésticos essenciais à rotina dessas famílias. Diante disso, a presente pesquisa se justifica ao propor o aprimoramento e a popularização de uma solução simples de geladeira de baixo custo, que dispensa o uso energia elétrica. Essa tecnologia já existente é uma invenção apelidada por *Pot in Pot*, pela qual a energia de evaporação da água propicia o resfriamento de alimentos e bebidas. A ideia central desta pesquisa é colocar a ciência a serviço da população desfavorecida socioeconomicamente, por meio do aprimoramento do referido experimento e da facilitação da sua reprodução.

A relevância no desenvolvimento de pesquisas como essa se baseia também no limitado quantitativo de estudos sobre o tema. Além disso, o considerável impacto socioambiental desta tecnologia como em países africanos, abre oportunidades para nações que possuem condições climáticas análogas e enfrentam problemas semelhantes, como a parcela da população que ainda não conta com o fornecimento de energia elétrica em suas residências ou que possuem fornecimento de energia elétrica de forma precária.

Diante do exposto, observa-se que Trabalho de Conclusão de Mestrado (TCM) se encaixa na linha de pesquisa 'tecnologia e vigilância em saúde' por propor mecanismos que garantam a segurança alimentar e nutricional. Ou seja, por meio do desenvolvimento tecnologias simples de conservação de alimentos, a pesquisa alcança, em especial, populações rurais, beneficiando especialmente crianças, mulheres gestantes e lactantes e idosos, de forma interdisciplinar pois há integração de áreas afins.

Fazenda (2008) define a interdisciplinaridade como uma atitude de reconhecimento dos nossos limites diante do saber, um exercício de mudança de comportamento. É a busca por tornar-se, caso já não seja, um indivíduo mais aberto à procura por saberes que não sejam apenas da área de formação, é uma predisposição a ser mais flexível ao contato com novas culturas e novas formas de ver o mundo que nos cerca.

Todo estudo científico deve ter cuidado para o desenvolvimento descontrolado do conhecimento tecnológico, que arraigado a metodologias deixa de conhecer questões periféricas. Desta forma, o pensamento complexo mantém a necessidade de atenção para a disjunção entre sujeito e objeto, assim como entre ciência e filosofia, fixando em questões ditas como mais importantes e esquecendo-se o que permeia o objeto de pesquisa (MORIN, 2005).

Sendo assim, a interdisciplinaridade e o pensamento complexo foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, ao possibilitarem uma visão mais crítica sobre a hierarquização dos saberes e conhecimentos, constatando que não existe conhecimento mais importante, saber único e muito menos uma única verdade. O que se tem é um universo de possibilidades de saberes e verdades, até que ocorra o fim de um ciclo, o início de um novo paradigma.

Este TCM está subdividido em três capítulos, sendo o primeiro e o segundo revisões da literatura. As referências obtidas no primeiro e no segundo capítulo serviram de base para fundamentação da pesquisa laboratorial descrita no terceiro capítulo.

O primeiro capítulo refere-se a um levantamento de artigos que tratam sobre a técnica *Pot in Pot* para conservação de frutas e legumes. Sendo assim, os materiais para análise referem-se às fontes secundárias de origem nacional e internacional disponíveis nas plataformas digitais selecionadas.

O segundo capítulo baseou-se na busca por artigos que tratassem da eficiência de resfriamento do sistema *Pot in Pot*, que abordassem os aspectos-chave do seu funcionamento, ou que disponibilizassem informações dos tipos de *Pot in Pot* existentes.

O terceiro e último capítulo trata dos testes laboratoriais a fim de obter melhores eficiências de arrefecimento do sistema *Pot in Pot*. A partir dos dados obtidos, foram realizadas análises estatísticas e os resultados obtidos neste capítulo foram submetidos à análise comparativa com outros trabalhos já desenvolvidos e publicados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL EBC: Quase 1 bilhão de pessoas no mundo vivem sem eletricidade, diz a ONU. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-12/quase-1-bilhao-de-pessoas-no-mundo-vivem-sem-eletricidade-diz-onu>>. Acesso em: 23 set. 2019.

BARROS FILHO, J.; BOMBATI, T. A. V.; BORTOLOTTI, J. A.; CAVALHIERI, L.; VERASZTO, E. V.; CAMARGO, J. T. F. de. Geladeira do deserto: uma iniciação científica forjada nas aulas de termodinâmica de um curso de engenharia ambiental. In: Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2011, Blumenau, SC.

BASEDIYA, A. L.; SAMUEL, D. V. K.; BEERA, V. Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - A review. *Journal of Food Science and Technology*, v. 50, n. 3, p. 429–442, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. Agenda nacional de prioridades de pesquisa em saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2015. 68p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. Agenda nacional de prioridades de pesquisa em saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2018. 25p.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS SA (Eletrobras). O programa luz para todos. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/Luz-para-Todos.aspx>>. Acesso em 23 set. 2019.

DE FREITAS, Gilmar Fialho; DE OLIVEIRA, Marcelo Leles Romarco. Uma análise do programa luz para todos do Governo Federal. *Revista de Extensão e Estudos Rurais*, v. 6, n. 2, p. 143-155, 2017.

FAZENDA, Ivani C. A. (Org.). *O Que é interdisciplinaridade?* São Paulo: Ed. Cortez, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico, 2000. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em 23 set. 2019.

MORIN, Edgar. *Introdução ao pensamento complexo*. Tradução do francês: Eliane Lisboa - Porto Alegre: Ed. Sulina, 2005. 120 p.

MÜRMAN, L.; MALLMANN, C. A.; DILKIN, P. Temperaturas de armazenamento de alimentos em estabelecimentos comerciais na cidade de Santa Maria, RS. *Acta Scientiae Veterinariae*, v. 33, n. 3, p. 309, 2005.

VAN VALKENBURGH, Nooger; NEVILLE. *Eletricidade Básica*. Rio de Janeiro, RJ: Ao livro Técnico, 1992. v. 1.

CAPÍTULO 1 – O USO DA TÉCNICA “POT IN POT” PARA CONSERVAÇÃO DE FRUTAS E LEGUMES

RESUMO

A correta temperatura e adequada umidade relativa do ar são aspectos essenciais para a conservação de alimentos. Frutas e vegetais são perecíveis, e por este motivo, devem ser armazenados em ambientes com temperaturas mais baixas. A temperatura possui importância fundamental para inibição da proliferação microbiana e minimização de reações químicas que causam a deterioração dos alimentos, ou seja, é essencial tanto para manutenção das características do produto, como para aumento de sua vida útil. Nesse contexto, o presente trabalho possui como objetivos mapear e analisar a produção científica sobre o uso da técnica *Pot in Pot* para conservação de alimentos, em especial frutas e legumes. O dispositivo em questão é uma geladeira ecológica, com uma característica especial: utilização do sistema de resfriamento evaporativo, que dispensa o uso de energia elétrica. A metodologia baseou-se na busca por artigos que tratassem da técnica *Pot in Pot* para conservação de frutas e legumes. Os resultados indicaram os principais aspectos físicos e o mapeamento de alguns resfriadores evaporativos utilizados para a conservação de alimentos.

Palavras-chave: alimentos, armazenamento, *Pot in Pot*, resfriamento evaporativo.

ABSTRACT

The correct temperature and relative humidity are essential aspects of food preservation. Fruits and vegetables are perishable, and for this reason, they should be stored in environments with lower temperatures. Temperature is of fundamental importance to inhibit microbial proliferation and minimize chemical reactions that cause food deterioration, that is, it is essential both to maintain the product's characteristics and to increase its shelf life. In this context, the present work has as its general objective: to map and analyze the scientific production related to studies that address the use of the *Pot in Pot* technique for the conservation of fruits and vegetables. The device in question is an ecological refrigerator, with a special feature: use of the evaporative cooling system, which dispenses with the use of electricity. The methodology was based on the search for articles that dealt with the *Pot in Pot* technique for preserving fruits and vegetables. The results indicated the main physical aspects and the mapping of some evaporative coolers used for food preservation.

Keywords: evaporative cooling, *Pot in Pot*, food, storage.

1 INTRODUÇÃO

Os saberes dos povos e comunidades tradicionais, indígenas, quilombolas, dentre outros, são elos para a busca do desenvolvimento sustentável. O conhecimento desses povos, localizados, em geral, em países em desenvolvimento, favorecem o avanço da ciência e da tecnologia, principalmente no que se referem às práticas de armazenamento da colheita e de produtos agrícolas (BARROS FILHO *et al.*, 2011).

Para estarem aptos ao consumo, alimentos perecíveis, como frutas e verduras, precisam ser armazenados em temperatura e umidade relativa do ar adequadas. Ou seja, a fim de evitar a deterioração desses alimentos, estes devem ser armazenados em condições de baixa temperatura e alta umidade, mantendo assim suas características e elevando sua vida útil (MÜRMAN; MALLMANN; DILKIN, 2005; BASEDIYA; SAMUEL; BEERA, 2013).

O acesso à energia elétrica conquistou avanços significativos nas últimas décadas tornando-se acessível a muitas pessoas, porém, parte da população ainda é privada desse bem. A falta de acesso ao uso da energia elétrica ainda é realidade em muitas comunidades carentes, especialmente aquelas rurais.

As consequências negativas da falta de energia elétrica se manifestam de várias formas, dentre estas, está o desperdício de alimentos perecíveis que necessitam de sistemas de armazenamento dependentes da energia elétrica para sua conservação. Visando minimizar tais consequências, foram criados sistemas alternativos que mantêm a temperatura no seu interior menor do que no meio externo. Um desses sistemas é um dispositivo usado em comunidades carentes de alguns países da África. Tal dispositivo foi criado pelo professor nigeriano Mohammed Bah Abba (BARROS FILHO *et al.*, 2011).

Segundo Barros Filho *et al.* (2011), diante das dificuldades para conservação de alimentos enfrentadas por comunidades carentes sem acesso à energia elétrica, Mohammed Bah Abba construiu, com materiais obtidos na natureza local, o dispositivo alternativo de armazenamento de alimentos denominado *Pot in Pot*, que em síntese pode ser descrito como um sistema construído com areia e vasos de barro. Utiliza a energia de evaporação da água para o resfriamento, sem o uso de energia elétrica.

O princípio de funcionamento do *Pot in Pot* é com base no resfriamento evaporativo, que é recomendado para regiões de clima quente, seco e com baixos índices pluviométricos, como é o caso das regiões do semiárido brasileiro. Considerando a diversidade climática do Brasil, o resfriamento evaporativo é recomendado na maioria das regiões.

Diante do exposto, o objetivo geral deste artigo é mapear e analisar a produção científica sobre o uso da técnica *Pot in Pot* para conservação de frutas e legumes. Para alcançar tal objetivo, elencaram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) contextualizar o surgimento e o funcionamento do sistema *Pot in Pot*;
- b) avaliar os aspectos físicos para a conservação de alimentos;
- c) mapear os resfriadores evaporativos utilizados para conservação de alimentos.

A relevância do desenvolvimento de pesquisas como essa se baseia no limitado quantitativo de estudos sobre o tema. Além disso, o considerável impacto sócio ambiental desta tecnologia em países em desenvolvimento, abre oportunidades para nações que possuem condições climáticas análogas e enfrentam problemas semelhantes, como a parcela da população que ainda não tem pleno acesso a energia elétrica em suas residências.

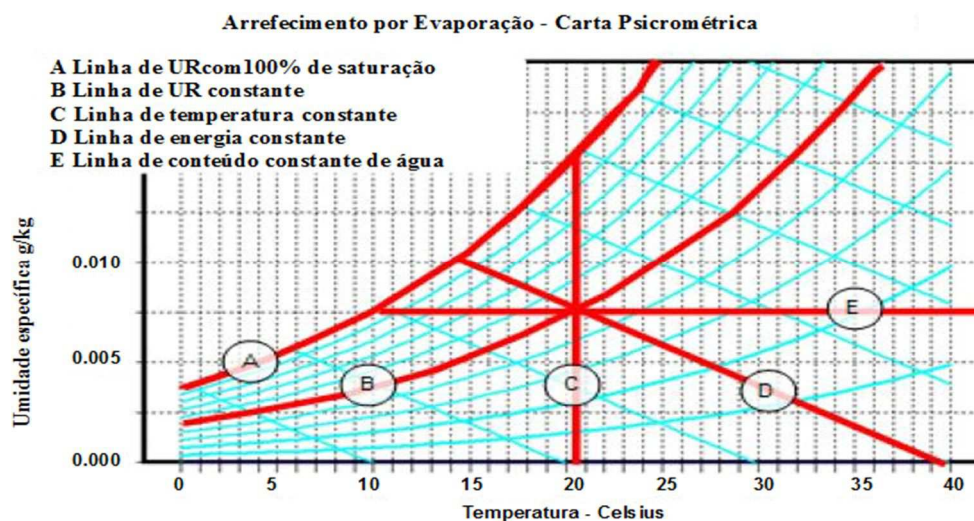
2 RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

O resfriamento evaporativo é obtido quando ocorre a evaporação da água, ocasião em que extrai calor dos seus arredores. Há uma relação entre a eficiência do resfriamento e a umidade do ar do ambiente, de forma que quando o ar está muito seco, tanto a absorção da umidade quanto a velocidade do resfriamento, são muito maiores. Em caso de existência de ar saturado por água, não ocorre evaporação nem resfriamento (BASEDIYA; SAMUEL; BEERA, 2013).

Sobre o material do resfriador evaporativo Basediya, Samuel e Beera (2013, p. 431) esclarecem que os dispositivos, geralmente, são feitos "de um material poroso que é alimentado com água. O ar seco e quente é puxado sobre o material. A água evapora no ar elevando sua umidade e ao mesmo tempo reduzindo a temperatura do ar". Por conseguinte, a superfície onde se localiza a água, que se encontra no estado de evaporação, também diminui a temperatura (BASEDIYA; SAMUEL; BEERA, 2013).

A Figura 1 representa o gráfico psicrométrico e ilustra o comportamento ar úmido ou da mistura ar-vapor d'água.

Figura 1 – O princípio do resfriamento evaporativo



A psicrometria é o estudo que trata das propriedades das misturas de ar e vapor d'água, uma vez que o ar atmosférico não é completamente seco, mas sim o resultado da junção de ar e vapor d'água. O processo de climatização decorre, em alguns casos, da adição ou da remoção da água presente nessa mistura (STOECKER; JONES, 1985).

Apresentada por Basediya, Samuel e Beera (2013), a carta psicrométrica, conforme a Fig. 1, traz de forma gráfica uma relação de propriedades da mistura ar-vapor d'água, as quais podem ser extraídas mediante a leitura orientada pelas respectivas linhas correspondentes às mesmas. A legenda da imagem citada traz a indicação das propriedades em consonância com suas linhas na carta.

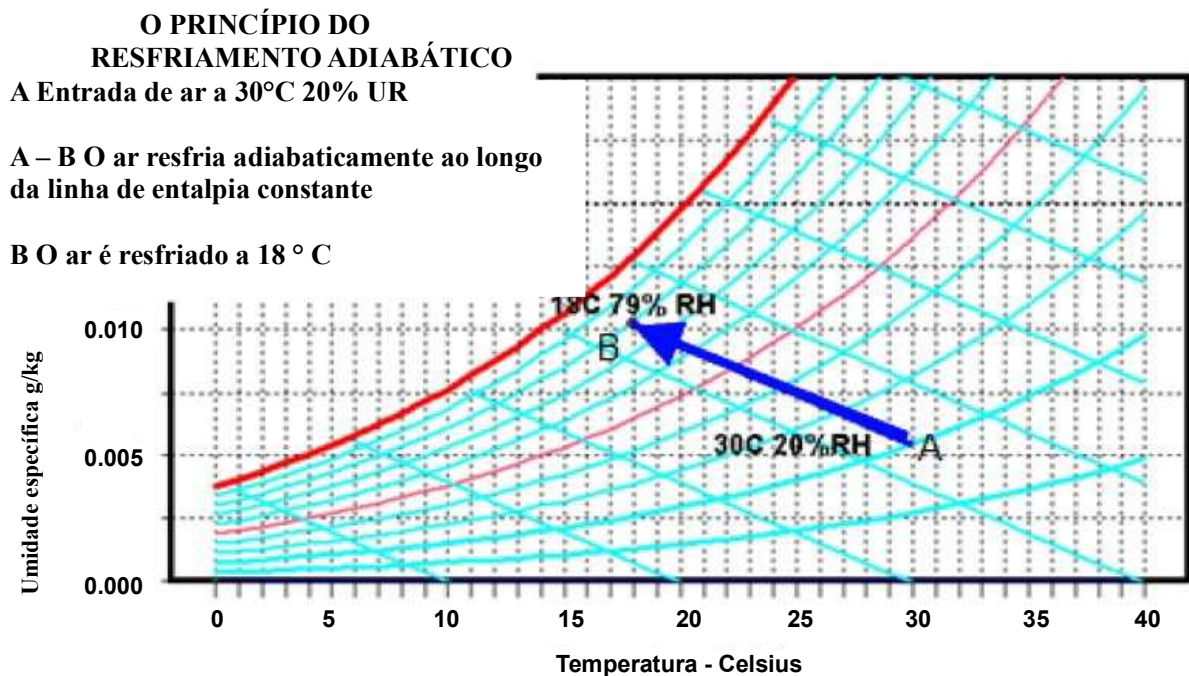
Ressaltando o exposto graficamente na Fig. 1, com a carta psicrométrica ilustrada, as linhas concernem-se ao seguinte representado: Linha A: representa a linha de saturação da mistura ar-vapor d'água, com 100% de umidade relativa; Linha B: representa a linha de umidade relativa com valor de umidade constante; Linha C: representa a linha de temperatura, salientando-se que a linha transversal graduada com as temperaturas fornece a temperatura de bulbo seco; Linha D: fornece a linha constante de energia, ou entalpia do ar; Linha E: refere-se à linha da razão de mistura, ou umidade absoluta, ou quantidade de vapor por quilo de ar seco.

Basediya, Samuel e Beera (2013) mostram que, dado que a propriedade de mistura ar-vapor d'água pode ser graficamente representada por meio da carta psicrométrica - assemelhada à referenciada na Fig. 1 - depreende-se, daí, que a climatização evaporativa se estabelece de forma a ser definida por meio dessa. Destacando-se, em complemento, que o processo ocorre ao longo das linhas de entalpia do ar úmido, de forma adiabática.

De forma a elucidar o processo de resfriamento evaporativo, os autores trazem que o aumento na temperatura de bulbo seco promove incremento na quantidade de vapor de água que pode se estabelecer no mesmo e, conhecendo-se as propriedades do ar do ambiente a ser posto em questão, torna-se possível visualizar graficamente as condições decorrentes do referido processo.

Ainda conforme Basediya, Samuel e Beera (2013), a Fig. 2 mostra a ilustração de como transcorre o resfriamento evaporativo, de forma a se evidenciar graficamente o decurso da mesma.

Figura 2 – O princípio do resfriamento adiabático



Fonte: BASEDIYA; SAMUEL, BEERA, 2013, p. 432

Infer-se da Fig. 2, em uma condição exemplificativa trazida pelos autores, as propriedades do ar modificando-se da condição “A” para a condição “B” ao longo da já denominada linha de energia, ou de entalpia do ar. O que pode ser compreendido é que, o ar na condição A dada, com as variáveis de temperatura de bulbo seco (TBS) de 30°C e umidade relativa (UR) de 20%, ao ter sua umidade relativa aumentada para os 79% concernentes ao ponto “B”, apresentaria a resultante TBS de 18°C, ou seja, um efeito diferencial de temperatura de 12°C. Observamos que o máximo efeito de redução de temperatura seria obtido se, seguindo-se a linha de energia, a condição de umidade chegasse até a denominada linha de saturação, com a temperatura igualando-se à temperatura de bulbo úmido (TBU).

Em um resfriador evaporativo ideal, os valores de temperatura de bulbo seco e de ponto de orvalho devem ser os mesmos da temperatura de bulbo úmido (CAMARGO, 2008).

Stoecker e Jones (2017) apontam que alguns equipamentos de climatização realizam a transferência de calor e massa por meio do contato entre o ar e uma superfície molhada, eles citam como exemplos desse processo os umidificadores e equipamentos de pulverização de água, tais como torres de resfriamento e resfriadores evaporativos.

Segundo Abreu, Abreu e Mazzuco (1999), o princípio de funcionamento do *Pot in Pot* é o resfriamento evaporativo, que é recomendado para regiões de clima quente, seco e com baixos índices pluviométricos como é o caso das regiões do semiárido brasileiro. Considerando a diversidade climática do Brasil, o resfriamento evaporativo é recomendado para a maioria das regiões.

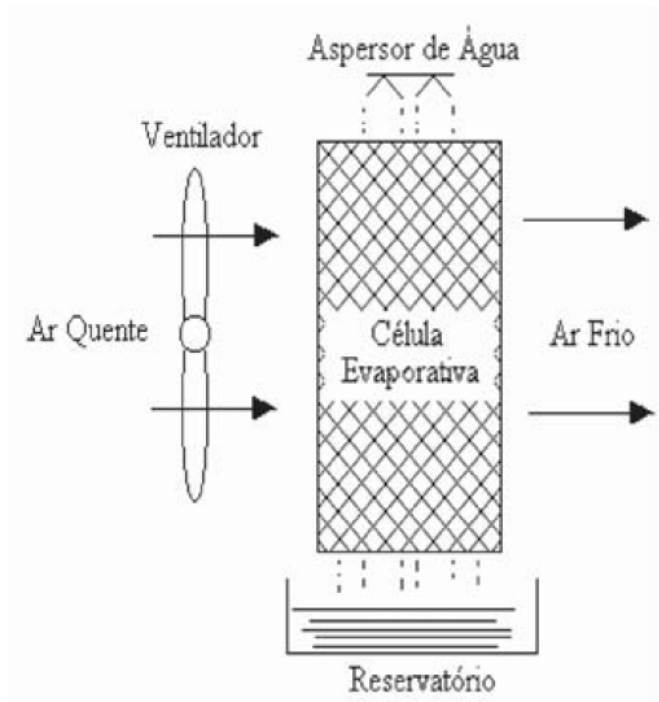
O Vale do Jequitinhonha, local de realização da presente pesquisa, é a mesorregião do Estado de Minas Gerais com maiores contrastes climáticos, apresentando a classe climática AW (clima tropical-inverno seco) com aproximadamente 77% da área total da mesorregião. Com base nesses dados constata-se que para toda essa mesorregião o uso de técnicas que utilizam o resfriamento evaporativo como o *Pot in Pot* seria recomendado (ABREU; ABREU; MAZZUCO, 1999).

2.1 Tipos de resfriamento evaporativo

O resfriamento de ambientes pode ser feito de diversas maneiras, dentre estes, o resfriamento evaporativo se mostra relevante e bem aceito. Divide-se em dois sistemas: o sistema de resfriamento evaporativo direto (RED) e o sistema de resfriamento evaporativo indireto (REI).

2.1.1 Sistema de resfriamento evaporativo direto

Na Fig. 3 é demonstrado o funcionamento do RED, que consiste no resfriamento do ar por meio do contato direto com o líquido. O ar quente é forçado a passar por uma célula evaporativa, desta forma, o ar fica umidificado e, por consequência, faz com que a temperatura do ambiente diminua.

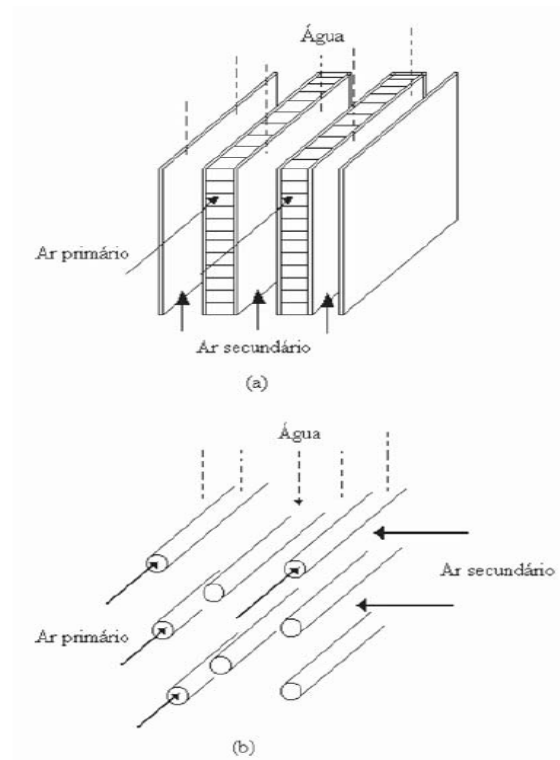
Figura 3 – Resfriamento Evaporativo Direto: RED

Fonte: CAMARGO, 2004, p.70

2.1.2 Sistema de resfriamento evaporativo indireto

O princípio de funcionamento do resfriamento evaporativo indireto (REI) é muito parecido com o RED, a principal diferença é que o ar não é umidificado, o resfriamento ocorre de forma indireta. Como pode ser observado na Fig 4, o processo REI acontece por meio da troca de calor. A placa ou tubo realiza a separação da parte molhada e da parte seca.

Figura 4 – Resfriamento Evaporativo Indireto: REI

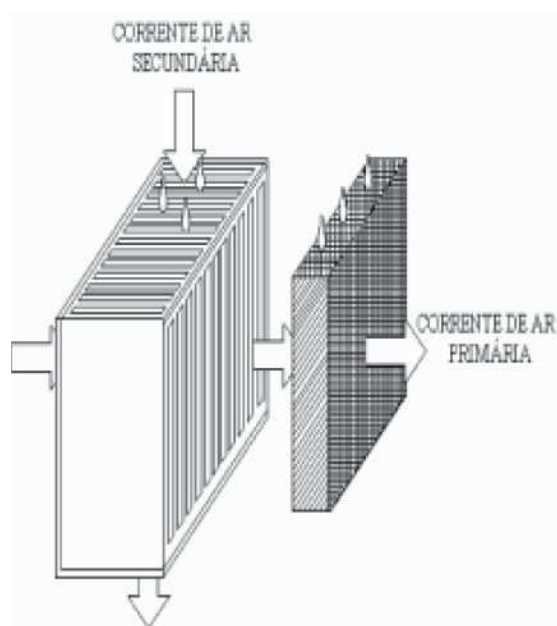


Fonte: CAMARGO, 2004, p.70

2.1.3 Sistema de resfriamento evaporativo direto e indireto

Além dos sistemas REI e RED existe a junção dos dois dispositivos, chamado de sistema resfriamento evaporativo direto/indireto (REDI) ou sistema de dois estágios: no 1º estágio o ar é resfriado ao passar pelo REI, sem que o ar primário seja umidificado, no 2º estágio, o RED, o ar é resfriado novamente enquanto é adicionado umidade. Na Fig. 5 é apresentado o sistema resfriamento evaporativo direto/indireto:

Figura 5 – Resfriamento Evaporativo Indireto/Direto: REID



Fonte: CAMARGO, 2004, p.71

De acordo com Basediya, Samuel e Beera (2013) o sistema REDI mostra-se eficiente, tendo sua eficácia em torno de 100 a 115%. A temperatura de resfriamento é ligeiramente abaixo da temperatura do bulbo úmido do ar externo.

O *Pot in Pot*, objeto de estudo da presente pesquisa, consiste na utilização da evaporação da água para o resfriamento e conservação de alimentos. Com base nos conceitos dos tipos de resfriamento evaporativo apresentados anteriormente, constata-se que o princípio de funcionamento do *Pot in Pot* é com base no resfriamento evaporativo direto.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa refere-se a um levantamento de publicações científicas que tratam sobre a técnica *Pot in Pot* para conservação de frutas e legumes. Sendo assim, o material para análise refere-se às fontes secundárias de origem nacional e internacional disponíveis nas plataformas Periódicos da Capes, Scielo, Medline e Pubmed, além do Catálogo de Teses & Dissertações da Capes e por fim no Google Acadêmico.

Foram utilizados os termos “*Pot in Pot*”, “*Zeer Pot*”; “resfriamento evaporativo” e “conservação de alimentos” como palavras-chave. Devido ao expressivo quantitativo de artigos encontrados no Google Acadêmico foram empreendidas duas pesquisas, uma com as palavras chaves: “*Pot in Pot*” e “*Evaporative cooling*” e “*food preservation*” e outra com as palavras: “temperatura” e “conservação de alimentos” e “armazenamento” sendo encontrados

um total de 113 artigos, reportando pesquisas realizadas nacional e internacionalmente, com predomínio de artigos internacionais.

Tabela 1 – Base de dados acessadas e quantitativo de artigos encontrados e selecionados.

Base de dados	Artigos encontrados	Artigos selecionados
Portal de Periódicos da Capes	40	1
Scielo	1	0
Medline (Pubmed)	2	0
Catálogo de Teses & Dissertações da Capes	2	1
Google Acadêmico	70	5
Total	113	7

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados, maio de 2020.

O levantamento foi realizado em maio de 2020 e o critério de seleção baseou-se na busca por artigos que atendessem algum dos três critérios:

- I) tratassem do uso da técnica *Pot in Pot* (“*Zeer Pot*”) para conservação de alimentos;
- II) apresentassem elementos que afetam a conservação de frutas e legumes e;
- III) reportassem sobre resfriadores evaporativos a partir da técnica *Pot in Pot*.

Sendo assim, o critério de exclusão baseou-se em artigos que não apresentavam informações sobre o uso da técnica *Pot in Pot*, que não apresentassem fatores que afetam a conservação de frutas e legumes ou que não abordassem sobre resfriadores evaporativos a partir da técnica *Pot in Pot*. Deste modo, foram selecionados 07 artigos que são apresentados resumidamente no quadro a seguir.

Quadro 1 – Relação de artigos selecionados para análise

Nº	Título	Autores	Ano
1	Evaporative cooling of good products by vacuum	Longmone	2003
2	Temperaturas de armazenamento de alimentos em estabelecimentos comerciais na cidade de Santa Maria, RS	Murmann; Mallmann; Dilkin	2005
3	Eficiência do sistema Pot in Pot na conservação de pimentão e tomate	Oliveira	2006
4	Comparative study on storage of fruits and vegetables in evaporative cool chamber and in ambient	Dadhich; Dadhich; Verma	2008
5	Geladeira do deserto: uma iniciação científica forjada nas aulas de termodinâmica de um curso de engenharia ambiental	Barros Filho <i>et al.</i>	2011
6	Development of metal-in-wall evaporative cooling system for storing perishable agricultural produce in a tropical environment	Falayi; Jongbo	2011
7	Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - A review	Basediya; Samuel; Beera	2013

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados, maio de 2020.

Após a coleta dos dados, os artigos foram submetidos à análise, para verificação de aspectos relevantes para a preservação de frutas e legumes e informações dos dispositivos de resfriamento evaporativo relacionados ao sistema *Pot in Pot*. A seguir, são apresentados os resultados e a discussão obtidos a partir das informações resultantes da análise dos dados coletados. Este tópico foi estruturado em duas partes principais: 1) Fatores que afetam a conservação de frutas e legumes e 2) Resfriadores evaporativos para conservação de alimentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fatores que afetam a conservação de frutas e legumes

Conforme discutido anteriormente, os alimentos perecíveis, como frutas e verduras, necessitam de condições ideais de temperatura e umidade relativa do ar para estarem aptas ao consumo. A fim de evitar a deterioração desses alimentos perecíveis, estes devem ser armazenados em condições de baixa temperatura e alta umidade mantendo assim suas características e aumentando sua vida útil (MÜRMAN; MALLMANN; DILKIN, 2005; BASEDIYA; SAMUEL; BEERA, 2013). Nesse sentido, alguns fatores que afetam a conservação de frutas e legumes, como a temperatura e a umidade, serão descritos a seguir.

4.1.1 Temperatura

Murmann, Mallmann e Dilkin (2005) apontam para diversos fatores que contribuem para deterioração dos alimentos, um fator de forte influência é a temperatura. Uma temperatura inadequada tem como consequências negativas:

- redução do tempo de conservação dos alimentos;
- possibilidade de os alimentos serem comercializados já em processo de deterioração;
- perdas aos proprietários dos estabelecimentos;
- danos à saúde do consumidor.

Por outro lado, a temperatura de armazenamento adequada apresenta diversos benefícios, tais como:

- conservação de alimentos por períodos prolongados;
- redução significativa da deterioração dos alimentos e diminuição dos riscos à saúde do consumidor;
- quanto menor a temperatura de armazenamento, mais lentas serão as reações químicas e maior será o tempo de armazenamento dos alimentos.

Sob condições de elevadas temperaturas de armazenamento, principalmente no caso de vegetais recém-colhidos, a taxa respiração é maior e, conseqüentemente, menor será a vida útil ou tempo de prateleira. Ou seja, quanto maior a taxa de respiração, mais rápido o produto se deteriora. Considerando que a velocidade de deterioração dos produtos depende principalmente da temperatura, uma maneira de conservação dos produtos é a diminuição da temperatura (BASEDIYA; SAMUEL; BEERA, 2013).

No caso das hortaliças, o armazenamento sob baixas temperaturas é o método mais utilizado, pois a redução da temperatura provoca redução da atividade respiratória e enzimática. Em linhas gerais, “a taxa respiratória normalmente aumenta com a elevação da

temperatura, principalmente na faixa entre 5° e 20° C [...] A cada 10°C de aumento da temperatura, a velocidade das reações químicas e bioquímicas podem duplicar ou triplicar.” (OLIVEIRA, 2006, p.23).

O armazenamento com ventilação em temperaturas baixas, o uso de sistema de resfriamento evaporativo e tratamento químico são alguns métodos de conservação de frutos e vegetais brutos e transformados. A refrigeração é o método de conservação mais comum, no entanto, para o caso de alguns vegetais, como as frutas banana e manga, é limitante em caso de armazenamento por períodos longos, já que tais frutas sofrem danos decorrentes do frio (NSPRI, 1990 *apud* FALAYI; JONGBO, 2011).

4.1.2 Umidade

Segundo Basediya, Samuel e Beera (2013) outro aspecto importante no manuseio e conservação de vegetais é a umidade relativa do ambiente de armazenamento. Ainda, segundo os autores, as taxas de transpiração representam a perda de água do produto e uma forma de determiná-las é pelo teor de UR. Numa condição de alta umidade do ar, condição favorável à conservação do produto, suas características são mantidas, evitando por exemplo, o seu murchamento e amolecimento.

Em uma condição de baixa umidade relativa do ar, pouca quantidade de vapor de água retida pelo ar é mantida, condição em que o ar também pode absorver umidade. Há uma relação inversa entre UR e taxas de transpiração, de forma que, condições de baixa UR acarretam em taxas de transpiração mais elevadas, enquanto em condições em que a UR é alta ocorre o contrário, baixa evaporação da água (BASEDIYA; SAMUEL; BEERA, 2013).

Estes mesmos autores argumentam que a perda de água do produto colhido é reduzida em uma condição de alta UR no seu entorno, o que evita o comprometimento da sua qualidade e sua perda de peso. Mas chamam a atenção para a necessidade de uma condição de relação inversa entre temperatura e UR, de forma que a condição de alta UR deve estar associada a uma baixa temperatura, pois a condição de alta temperatura e alta UR é favorável ao desenvolvimento de microrganismos como fungos e bactérias.

Bleinroth *et al.*, (1995) corroboram os argumentos anteriores, no que diz respeito à UR como fator importante na conservação de alimentos, segundo o autor, a baixa UR do ambiente “reduz o desenvolvimento de microrganismos, entretanto, aumenta a perda da umidade do produto através da transpiração que ocorre sempre que há uma diferença positiva entre a pressão de vapor do produto e a pressão de vapor do ambiente.” (BLEINROTH *et al.*, 1995 *apud* OLIVEIRA, 2006, p.24). A alta quantidade de água liberada ocasiona elevada

perda de peso e, conseqüentemente, redução da qualidade do produto e do valor nutritivo e econômico. No caso de hortaliças, o recomendável é armazená-las em condições de UR o suficiente para minimizar as trocas de água e manter a turgência celular. Desta forma, a UR da câmara de conservação deve estar em torno de 85% a 95% percentuais correspondentes à concentração de água presente na maioria das hortaliças (OLIVEIRA, 2006).

4.2 Resfriadores evaporativos para conservação de alimentos

Este tópico aborda resfriadores evaporativos baseados na técnica *Pot in Pot* encontrados na pesquisa bibliográfica. No Brasil são limitadas as pesquisas realizadas envolvendo a técnica *Pot in Pot*, em geral os artigos encontrados são referentes à pesquisas realizadas em outros países.

A redução da temperatura obtida por meio do sistema *Pot in Pot* contribui para a conservação de alimentos, além disso, o mecanismo criado também aumenta a umidade, evitando assim o ressecamento do produto. Em condições normais, os vegetais pereceriam em uma semana, enquanto nas condições propiciadas pelo invento, duram até três semanas (SHANMUGAM *et al.*, 2004 *apud* BARROS FILHO *et al.*, 2011).

Longmone (2003) observou que por meio do uso experimental do *Pot in Pot* ou *Zeer*, palavra árabe que significa panela grande, foi possível o armazenamento de alimentos por mais tempo, como pode ser verificado na Tab. 02.

Tabela 2 – Alteração do prazo de validade (em dias) de legumes com e sem o uso do *Pot in Pot* (*Zeer*)

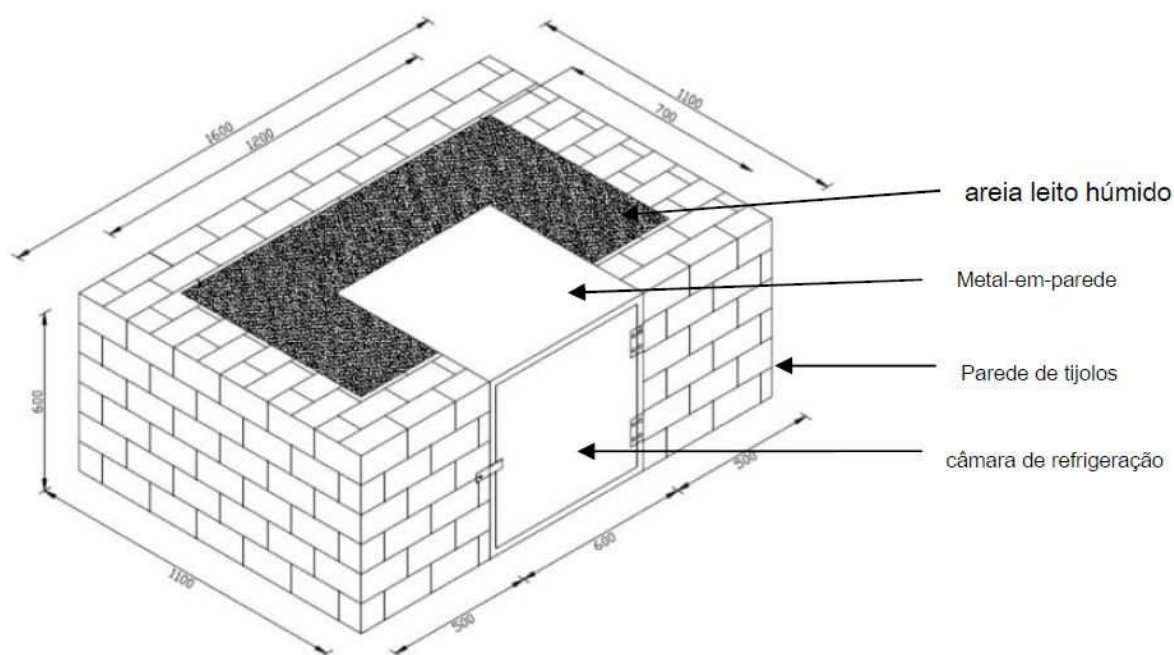
Produção	Prazo (em dias) de validade do produto sem o uso do <i>Zeer</i>	Prazo (em dias) de validade do produto com o uso do <i>Zeer</i>
Tomates	2	20
Goiabas	2	20
Rúcula	1	5
Quiabo	4	17
Cenouras	4	20

Fonte: Longmone (2003) p. 13

Com base nos princípios de funcionamento do *Pot in Pot*, Roy e Khardi (1985) *apud* Falayi e Jongbo (2011) descreveram um sistema de refrigeração simples desenvolvido pelo Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola. Este sistema consiste em uma câmara de arrefecimento construída a partir de tijolos e areia de rio, com uma tampa feita a partir de cana de açúcar ou outro material vegetal e sacos ou pano.

Similar à câmara descrita por Roy e Khardi (1985), câmara com os mesmos princípios do *Pot in Pot* de Mohammed Bah Abba, Falayi e Jongbo (2011) desenvolveram um sistema de arrefecimento evaporativo, sem uso de energia elétrica, constituído de parede de tijolo, uma câmara (caixa metálica) de arrefecimento e areia do fundo do mar, que está atuando como meio evaporativo, Fig. 6. Experimentando esse sistema de arrefecimento para armazenamento de produtos agrícolas perecíveis, ao final de oito dias Falayi e Jongbo (2011) verificaram que os produtos armazenados não apresentaram qualquer deterioração perceptível. A temperatura média caiu 7 °C e a UR apresentou queda de 4%, conforme a avaliação do experimento. Para os autores, o resfriador evaporativo testado manteve a frescura dos produtos agrícolas perecíveis armazenados e retardou o amadurecimento, melhorando deste modo a capacidade de armazenamento dos alimentos perecíveis no refrigerador por evaporação (metal em parede). Para Falayi e Jongbo (2011) o sistema testado é eficiente para armazenar com sucesso frutas e vegetais pelo período de 6 a 8 dias.

Figura 6 - Desenho Ortogonal de uma estrutura de arrefecimento evaporativo



Fonte: FALAYI; JONGBO, 2011, p. 39

Outro sistema baseado nos mesmos princípios foi construído por Dadhich *et al.* (2008) na Maharana Pratap Universidade de Agricultura e Tecnologia, na cidade de Udaipur, no

Estado de Rajasthan, na Índia, para realização de estudo comparativo sobre armazenamento de frutas e legumes em câmara fria evaporativa e em ambiente.

O projeto de Dadhich *et al.* (2008) baseou-se no resfriamento evaporativo de um corpo poroso usando água no pote de resfriamento tradicional. O dispositivo consistia em uma estrutura de tijolo de parede dupla, areia do leito do rio usada para preencher a lacuna e pedaços de bambu para construção da tampa, que após a construção completa foi colocada sobre a câmara e umedecida por aspersão de água. Esta cobertura superior foi usada para cobrir as frutas e vegetais na estrutura e para impedi-los de exposição direta do sol. Sob esta capa, também foi colocada uma folha de plástico para proteger o gotejamento de água sobre os vegetais. Nesse experimento, Dadhich *et al.* (2008) verificaram que a temperatura interna era 10 a 15 ° C abaixo da temperatura externa, e a umidade interna cerca de 30 a 40% superior à externa. Tais autores ainda verificaram que a perda de peso de frutas e legumes mantidos dentro da câmara foi menor do que aqueles armazenados fora da câmara. As frutas e legumes permanecem frescos por até 3 a 5 dias a mais dentro da câmara. Concluíram que o sistema testado pode armazenar as frutas e legumes por 3 a 5 dias, sem causar danos significativos.

Experimentos realizados na Universidade Federal de Pernambuco, região nordeste do Brasil, utilizaram hortaliças folhosas e tomates e verificaram a redução da temperatura do ambiente interno do sistema de conservação *Pot in Pot* em até 10° C, bem como, o aumento do tempo de vida útil das hortaliças (OLIVEIRA, 2004 *apud*, OLIVEIRA, 2006, p. 15). Oliveira (2006) investigando a eficiência do *Pot in Pot* na conservação de pimentão e de tomate, para as condições climáticas também de Pernambuco, verificou que o *Pot in Pot* aumentou a vida útil destas hortaliças, sendo mais eficiente para conservação do tomate, sendo a eficiência do sistema dependente das características intrínsecas das hortaliças.

5 CONCLUSÃO

Diante da análise dos artigos, argumentos e discussões aqui relatadas, conclui-se que:

- O funcionamento do sistema *Pot in Pot* é baseado no resfriamento evaporativo.
- Esta técnica, ainda que reproduzida de maneiras diferentes, desde que mantido seus princípios, mostra-se eficiente na redução da temperatura e no aumento de UR.
- A baixa temperatura e a alta umidade favorecem a conservação de frutas e legumes.
- O *Pot in Pot*, por meio do resfriamento evaporativo, aumenta a umidade dos alimentos e consegue diminuir a temperatura em relação à temperatura ambiente.
- Alguns estudos demonstraram que, em condições normais, os vegetais pereceriam em uma semana, enquanto nas condições propiciadas pelo invento durariam até três semanas.
- O sistema é eficiente no armazenamento de frutas e vegetais pelo período de 6 a 8 dias.
- O sistema testado pode armazenar as frutas e legumes por 3 a 5 dias sem causar danos significativos.
- O dispositivo reduz a temperatura do ambiente interno do sistema de conservação *Pot in Pot* em até 15° C.

De maneira geral, as conclusões apontam para o aumento do tempo de vida útil das frutas e verduras, a partir da utilização do sistema *Pot in Pot*.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P.G. et al. Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte. Concórdia: **Embrapa-CNPSA**, 1999. (Embrapa-CNPSA. Documentos, 59).
- BARROS FILHO, J.; BOMBATI, T. A. V.; BORTOLOTTI, J. A.; CAVALHIERI, L.; VERASZTO, E. V.; CAMARGO, J. T. F. de. Geladeira do deserto: uma iniciação científica forjada nas aulas de termodinâmica de um curso de engenharia ambiental. In: **Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, 2011, Blumenau, SC.
- BASEDIYA, A. L.; SAMUEL, D. V. K.; BEERA, V. Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 3, p. 429–442, 2013.
- CAMARGO, J. R. Resfriamento evaporativo: poupando a energia e o meio ambiente. **Revista de Ciências Exatas**, v. 9/10, p. 69–75, 2004.
- CAMARGO, José Rui. Evaporative cooling: water for thermal comfort. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 3, n. 2, p. 51-61, 2008.
- DADHICH S.M.; DADHICH H.; VERMA R.C. Comparative study on storage of fruits and vegetables in evaporative cool chamber and in ambient. **International Journal of Food Engineering**, v.4, n.1, p.1-11, 2008.
- FALAYI, Folayan Richard; JONGBO, Ayoola O. Development of metal-in-wall evaporative cooling system for storing perishable agricultural produce in a tropical environment. **Journal of Agricultural Engineering and Technology (JAET) Editorial board**, p. 35, 2011. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/320547519>>. Acesso em 23 set. 2019.
- STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e ar condicionado**. 2ª.ed. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- LONGMONE, A. P. Evaporative cooling of good products by vacuum. **Food Trade Review (Pennwalt Ltd)** v.47 p.13–16, 2003.
- MÜRMAN, L.; MALLMANN, C. A.; DILKIN, P. Temperaturas de armazenamento de alimentos em estabelecimentos comerciais na cidade de Santa Maria, RS. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 33, n. 3, p. 309, 2005.
- OLIVEIRA, Albânia Maria Caludino de. Eficiência do sistema Pot in Pot na conservação de pimentão e tomate. 2006. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Pernambuco.
- ROY, S. K.; KHARDI, D. S. Zero energy cool chamber. **India Agricultural Research Institute: New Delhi, India. Research Bulletin**, n. 43, p. 23-30, 1985.

CAPÍTULO 2 – SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO SEM UTILIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: ANÁLISE DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE DISPOSITIVOS *POT IN POT*

RESUMO

A situação de pobreza e vulnerabilidade social é uma realidade de inúmeras famílias, o que afeta o acesso a diversos serviços públicos, dentre eles, o fornecimento de energia elétrica. Convencionalmente, os alimentos são conservados em sistemas dependentes de energia elétrica, mantendo-os em condições de temperatura e umidade ideais. O contexto de exclusão dessas famílias e o desperdício de alimentos devido à impossibilidade de utilização de equipamentos de refrigeração na África levaram o professor nigeriano Mohammed Bah Abba a desenvolver o sistema *Pot in Pot*, dispositivo similar a uma geladeira sem utilização de energia elétrica. Diante do exposto, o objetivo geral deste artigo é mapear e analisar a produção científica relativa aos estudos que abordam o funcionamento do sistema *Pot in Pot*. Os aspectos teóricos que embasam essa pesquisa abordam a história do *Pot in Pot* e os conceitos de física essenciais à compreensão do funcionamento do sistema: resfriamento evaporativo e a transferência de calor. A metodologia baseou-se na busca por artigos que tratassem da eficiência de resfriamento do sistema *Pot in Pot*, que abordassem os aspectos-chave do seu funcionamento, ou que disponibilizassem informações dos tipos de *Pot in Pot* existentes. Os resultados indicaram os tipos de equipamentos existentes, os aspectos-chave para o bom funcionamento do sistema: área de superfície, umidade relativa, temperatura e movimento do ar e o grau de eficiência dos dispositivos relatados no material coletado.

Palavras-chave: armazenamento, eficiência, *Pot in Pot*, resfriamento evaporativo.

ABSTRACT

The situation of poverty and social vulnerability is a reality for many families, which affects access to various public services, including the supply of electricity. Conventionally, food is conserved in systems dependent on electricity, keeping it in ideal temperature and humidity conditions. The context of exclusion of these families and the waste of food due to the impossibility of using refrigeration equipment in Africa led Nigerian professor Mohammed Bah Abba to develop the *Pot in Pot* system, a device similar to a refrigerator without using electricity. Given the above, the general objective of this article is to map and analyze the scientific production related to the studies that address the functioning of the *Pot in Pot* system. The theoretical aspects that underlie this research address the history of *Pot in Pot* and the concepts of physics essential to understanding the functioning of the system: evaporative cooling and heat transfer. The methodology was based on the search for articles that dealt with the cooling efficiency of the *Pot in Pot* system, that addressed the key aspects of its operation, or that provided information on the existing types of *Pot in Pot*. The results indicated the types of existing equipment, the key aspects for the proper functioning of the system: surface area, relative humidity, temperature and air movement and the degree of efficiency of the devices reported in the collected material.

Keywords: efficiency, evaporative cooling, *Pot in Pot*, storage.

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade, desde a sua descoberta, tem demonstrado considerável importância para humanidade. Está presente direta ou indiretamente na maior parte das tarefas realizadas, sendo inserida em nossa rotina por meio de aparelhos, processos industriais, dispositivos eletrônicos, entre tantos outros. Faz parte de nossos hábitos e influencia profundamente o modo de vida da civilização moderna, que se modifica a partir das inúmeras possibilidades que a energia elétrica permite. Podemos destacar o desenvolvimento do setor de transporte, setor industrial, comercial e nos lares, de diversas formas tais como: iluminação, eletrônicos, eletrodomésticos e sistemas de refrigeração e aquecimento (VAN VALKENBURGH; NEVILLE, 1992).

Em nível mundial, inúmeras pessoas ainda não contam com o serviço de fornecimento e energia elétrica no seu dia a dia. Segundo dados divulgados pela Organização da Nações Unidas (ONU²), apesar dos avanços tecnológicos, cerca de 1 bilhão de pessoas ao redor do mundo não tem acesso à energia elétrica. Famílias e comunidades inteiras convivem com uma limitação que compromete toda a vida urbana e rural, privando-os da iluminação pública e doméstica, climatização de ambientes e uso de aparelhos eletroeletrônicos em geral.

Até o ano 2000 existiam no Brasil mais de dois milhões de domicílios rurais sem acesso à energia elétrica (IBGE, 2000), o que representava mais de 10 milhões de brasileiros não atendidos por esse serviço. Visando modificar esse cenário, em 2003, foi criado o Programa “Luz para Todos”. Conforme Freitas e Oliveira (2017), até novembro de 2016 o programa já havia atendido 15,9 milhões de moradores das áreas rurais brasileiras. Apesar do número significativo de famílias atendidas, ainda há um grande *déficit*, motivo pelo qual o programa foi prorrogado até 2022 (ELETROBRAS, 2018).

Dentre as inúmeras consequências negativas da falta de energia elétrica, o desperdício de alimentos devido à impossibilidade de utilização de sistemas de refrigeração é um dos que mais afetam as famílias sem acesso a esse bem. Convencionalmente, os alimentos são conservados em sistemas dependentes de energia elétrica, mantendo-os em condições de temperatura e umidade ideais.

Considerando esse contexto e preocupado com as dificuldades locais da sua comunidade, o professor nigeriano Mohammed Bah Abba elaborou uma solução voltada para a refrigeração e conservação de alimentos, em substituição à geladeira convencional, “trata-se de um dispositivo muito simples, em uso em algumas comunidades carentes de países da

² Disponível em: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-12/quase-1-bilhao-de-pessoas-no-mundo-vivem-sem-eletricidade-diz-onu>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

África, capaz de abaixar em vários graus a temperatura de seu interior quando comparada com a temperatura ambiente.” (BARROS FILHO *et al.*, 2011, p.2).

Para alcançar seu objetivo, ele pensou em um produto que pudesse conservar alimentos a um baixo custo e que os materiais necessários à sua construção fossem obtidos na natureza local, daí surgiu a ideia do projeto *Pot in Pot*, que resumidamente consiste na utilização da energia de evaporação da água para o resfriamento de alimentos e bebidas. Além de dispensar o uso de energia elétrica, a geladeira é feita de areia e vasos de barro, matéria prima barata e abundante naquele local.

Diante do exposto, o objetivo geral deste artigo é mapear e analisar a produção científica relativa aos estudos que abordam o funcionamento do sistema *Pot in Pot*. Especificamente os objetivos são:

- a) contextualizar o surgimento do sistema *Pot in Pot*;
- b) elucidar os conceitos de física aplicados ao experimento, quais sejam: resfriamento evaporativo e transferência de calor;
- c) verificar os tipos de equipamentos existentes e aspectos-chave para seu bom funcionamento.

Em termos conceituais, considera-se, neste estudo, eficiência a partir da capacidade de resfriamento evaporativo do sistema *Pot in Pot*. A eficiência é calculada pela seguinte equação:

$$E = (T_{Amb} - T_{in}) / (T_{Amb} - T_{bu})$$

T_{Amb} = Temperatura Ambiente

T_{in} = Temperatura interna

T_{bu} = Temperatura de bulbo úmido

O princípio de funcionamento do *Pot in Pot* é com base no resfriamento evaporativo, ideal para regiões de clima quente, seco e com baixos índices pluviométricos, como é o caso das regiões do semiárido brasileiro e de extensão área do território nacional.

No Brasil há poucas pesquisas abordando o sistema *Pot in Pot*, a maioria dos trabalhos encontrados são de origem estrangeira. Nas pesquisas encontradas, ainda que com procedimentos e materiais diferentes, mas com base nos mesmos princípios, o *Pot in Pot* mostra-se eficiente na redução da temperatura e, conseqüentemente, na conservação de alimentos, retardando seu amadurecimento e melhorando suas condições de consumo. Pesquisas também apontam que o dispositivo se mostrou uma alternativa na conservação de medicamentos à temperatura ambiente padrão.

A metodologia consiste em um levantamento de artigos que tratam sobre o tema *Pot in Pot*. Sendo assim, o material para análise desta pesquisa trata-se de fontes secundárias de origem nacional e internacional, disponíveis nas plataformas Portal de periódicos da Capes periódicos, Scielo, Medline (Pubmed), no Catálogo de Teses & Dissertações da Capes e por fim no Google Acadêmico. Para a busca usou-se os termos “*Pot in Pot*”, “*Zeer Pot*” e “resfriamento evaporativo” como palavras-chave, sendo encontrados um total de 518 artigos. O critério de seleção baseou-se na busca por artigos que descrevessem os tipos de *Pot in Pot* existentes, os aspectos-chave para seu funcionamento ou que tratassem/possibilitassem o cálculo da eficiência de resfriamento do referido sistema.

Para tanto, a pesquisa está estruturada em 05 partes, além desta introdução: a) revisão bibliográfica acerca dos conceitos de física aplicados ao experimento, provendo subsídio para a análise; b) notas metodológicas – descrição dos passos e métodos utilizados na pesquisa; c) análise de dados – resultados gerados a partir da análise; d) considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção serão abordados a história do *Pot in Pot*, os conceitos de resfriamento evaporativo e a transferência de calor.

2.1 História do *Pot in Pot*

A situação de pobreza e vulnerabilidade social é uma realidade de inúmeras famílias, o que afeta o acesso a diversos serviços públicos, dentre eles, o fornecimento de energia elétrica. Convencionalmente, os alimentos são conservados em sistemas dependentes de energia elétrica, mantendo-os em condições de temperatura e umidade adequadas. Considerando o contexto de exclusão dessas famílias, o desperdício de alimentos devido à impossibilidade de utilização de sistemas de refrigeração e o clima com temperaturas elevadas, levaram Mohammed Bah Abba, professor nigeriano, a desenvolver, em 1995, o sistema *Pot in Pot*, dispositivo similar a um refrigerador sem utilização de eletricidade (OLIVEIRA, 2006).

Mohammed Bah Abba é proveniente da zona norte da Nigéria, onde, segundo Wiedenheft *et al.* (2013), 90% dos vilarejos não possuem acesso à energia elétrica, o que implica em problemas de abastecimento e, conseqüentemente, riscos de agravos à saúde entre os moradores. Sem acesso à energia elétrica, nessa região, as meninas eram impedidas de

frequentar as escolas para vender nas ruas frutas e hortaliças colhidas por seus familiares, antes que amadurecessem.³

O projeto “*Pot in Pot*” que traduzido significa “pote dentro de pote” funciona a partir de um vaso menor que é posto em outro vaso maior. O espaço entre eles é preenchido com areia molhada, o que intensifica a eficiência do resfriamento. Os alimentos são colocados no pote interno e, durante o uso, mantidos cobertos por um tecido úmido (Figura 7). O “segredo” da conservação está na evaporação da água, quando isso ocorre, é provocada a queda de temperatura no interior do vaso interno, mantendo assim os alimentos conservados por mais tempo e sem o uso de energia elétrica (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

Figura 7 – Ilustração do modelo do *Pot in Pot*



Fonte: SEU PLANETA BRASIL, 2021

A implantação desse sistema além de proporcionar o acesso a um sistema de refrigeração simplificado para aqueles que não possuem acesso à energia elétrica, trouxe benefícios sociais para os agricultores daquela região, possibilitando por mais tempo a conservação de hortaliças e frutas colhidas, e também para as crianças, já que a estas foi dada a possibilidade de irem à escola e em outro horário vender a produção familiar.⁴

2.2. Resfriamento evaporativo

³ Disponível em: http://lists.bioenergylists.org/files/Bah_Abba_pot_in_pot.pdf. Acesso em: 12 abr. 2020.

⁴ Disponível em: http://lists.bioenergylists.org/files/Bah_Abba_pot_in_pot.pdf. Acesso em: 12 abr. 2020.

O resfriamento evaporativo funciona a partir de um princípio físico. Segundo tal princípio, quando um líquido é vaporizado resfria-se o ar que o circunda. A temperatura máxima de resfriamento se dá pela diferença entre a temperatura de bulbo úmido e bulbo seco. Dessa forma, quanto maior for a diferença dessas temperaturas, melhor será o desempenho do sistema de resfriamento evaporativo, conseqüentemente, quanto mais rápido a água é evaporada maior será o processo de resfriamento. A partir do momento que se tem igualdade entre as temperaturas, encerra-se o processo de resfriamento devido à inexistência evaporação da água com o ar (DADHICH *et al.*, 2008).

Há diferentes termos relacionados ao conceito de resfriamento evaporativo, são eles: Temperatura de bulbo seco (TBS), Temperatura de bulbo úmido (TBU), Ponto de Orvalho (PO) e Umidade Relativa (UR). Segundo Abreu *et al.* (1999) a TBS trata-se da temperatura informada pelo termômetro comum, sendo simplesmente a temperatura do ar. Quanto à Tbu, refere-se à temperatura informada por termômetro, cujo bulbo é recoberto por tecido de algodão úmido. O valor de temperatura de bulbo seco é sempre maior que o bulbo úmido, exceto quando a UR do ar for de 100%, nesse caso, as duas temperaturas tem o mesmo valor. Ainda, segundo Abreu *et al.* (1999), o PO é a temperatura na qual o vapor de água presente no ar ambiente passa ao estado líquido na forma de pequenas gotas por via de condensação, o chamado orvalho. Já a UR trata-se da relação entre a massa de vapor d'água contida em um volume de ar e a massa de vapor d'água do ar saturado, para a mesma temperatura de bulbo seco.

Segundo Abreu *et al.* (1999) o Brasil possui rica diversidade climática. O resfriamento evaporativo é viável em todas as classes climáticas, exceto em regiões com clima Af (clima tropical com temperatura média anual alta e constantemente úmido) devido a presença da alta umidade, como já descrito anteriormente, esse parâmetro influencia diretamente na eficiência do resfriamento.

Conforme discutido, o resfriamento evaporativo envolve água e ar, este promovendo a evaporação da água provoca a redução da temperatura em um meio devido à transferência de calor, portanto é necessário discutir também o conceito de transferência de calor.

2.3. Transferência de calor

Sobre transferência de calor, Araújo (1978) diz que quando há uma diferença de temperatura entre dois corpos colocados em contato ocorre uma transferência de energia na forma de calor, do corpo de maior para o de menor temperatura.

Segundo Araújo (1978) a transferência de energia em forma de calor se dá através de três modos distintos: condução, convecção e radiação. Para que ocorra a condução é necessário que ocorra contato entre os materiais sólidos, enquanto por meio da convecção e da radiação o mesmo não ocorre. Os modos distintos de transferência de calor serão discutidos detalhadamente a seguir.

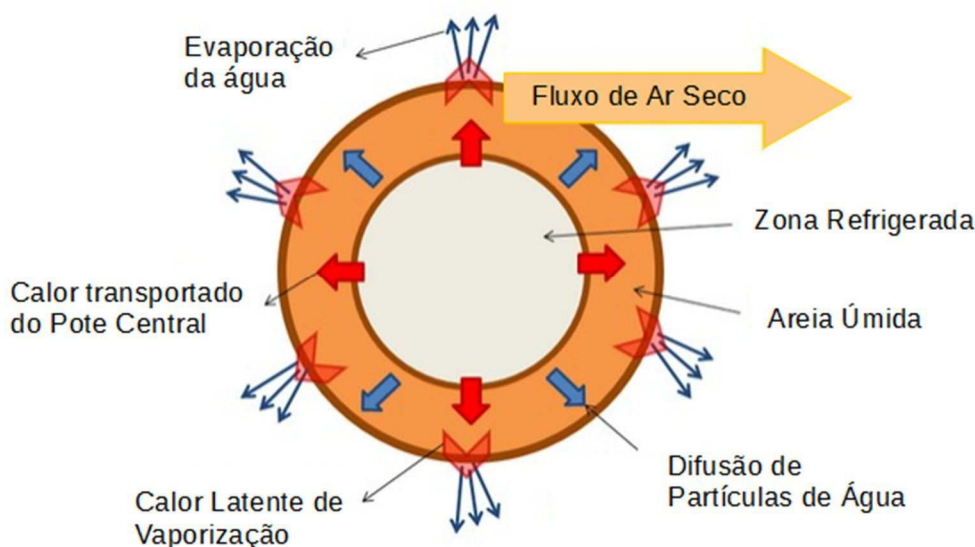
Para Incropera *et al.* (2019), a condução relaciona-se com as atividades atômicas e moleculares, pois é nesse nível que se detecta a transferência de calor. Na condução há transferência de energia na forma de calor entre a interação das partículas mais energéticas para as menos energéticas, pertencentes a uma mesma substância.

Quanto à convecção, Kreith (1977) a define como o processo de transferência de energia envolvendo porções de fluidos de diferentes temperaturas. Stoecker e Jones (2017, p. 24) acrescenta que a “convecção depende da condução de uma superfície sólida para um fluido adjacente e do movimento do fluido ao longo da superfície ou para longe dela. Assim, cada mecanismo de transferência de calor é bastante distinto dos outros”.

A radiação é definida por Knight (2009) como o processo de transferência de energia entre superfícies de diferentes temperaturas, separadas no espaço ou no vácuo, por meio de ondas eletromagnéticas. Incropera *et al.* (2019), destaca que toda superfície que possui temperatura diferente de zero emite energia em forma de ondas eletromagnéticas.

Com base nos conceitos apresentados acima e associando-os ao princípio de funcionamento do *Pot in Pot*, observa-se que a retirada de calor da região de maior temperatura transferindo-o para a região de menor temperatura resulta na redução da temperatura da areia contida entre os vasos, o que consiste num processo de transferência de energia na forma de calor (Fig. 8) por meio da convecção térmica.

Figura 8 – Ilustração do princípio de resfriamento por convecção do *Pot in Pot*



Fonte: GUSTAFSSON; SIMSON, 2016, p. 11

3 METODOLOGIA

O presente estudo refere-se a um levantamento de artigos que tratam sobre o tema *Pot in Pot*. Sendo assim, o material para análise refere-se a fontes secundárias de origem nacional e internacional disponíveis nos Periódicos da Capes, Scielo, Medline e Pubmed, além do Catálogo de Teses & Dissertações da Capes e por fim no Google Acadêmico. Foram utilizados os termos “*Pot in Pot*”, “*Zeer Pot*” e “resfriamento evaporativo” como palavras-chave, sendo encontrados um total de 518 artigos abordando pesquisas realizadas nacional e internacionalmente, a maioria dos encontrados abordam trabalhos realizados em outros países.

Tabela 3 – Base de dados acessadas e quantitativo de artigos encontrados e selecionados.

Base de dados	Artigos encontrados	Artigos selecionados
Portal de Periódicos da Capes	91	2
Scielo	25	0
Medline (Pubmed)	2	0
Catálogo de Teses & Dissertações da Capes	2	0
Google Acadêmico	398	4
Total	518	6

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados, março de 2020.

O levantamento foi realizado em março de 2020 e o critério de seleção baseou-se na busca por artigos que atendessem algum dos quatro critérios:

- I) tratassem da eficiência de resfriamento do sistema *Pot in Pot*, conforme Equação 1;
- II) apresentasse elementos que possibilitaram a sua mensuração;
- III) abordassem os aspectos chave para o bom funcionamento do referido sistema e;
- IV) descrevessem informações dos tipos de *Pot in Pot* existentes.

Sendo assim, o critério de exclusão baseou-se em artigos que não apresentavam informações necessárias para quantificar a eficiência do resfriamento do sistema *Pot in Pot*, que não abordassem aspectos-chave para seu funcionamento ou que não disponibilizasse informações sobre os tipos existentes. A maioria dos artigos não fornecia elementos para mensurar quantitativamente a eficiência de arrefecimento do sistema em questão, tratavam do uso do equipamento para conservação de alimentos e medicamentos ou se referiam à pesquisas na área de química, ciências agrárias, dentre outros, o que foge ao tema central deste artigo. Sendo assim, 06 artigos foram selecionados e estão resumidos no quadro 2.

Quadro 2 – Relação de artigos selecionados para análise

Nº	Título	Autores (as)	Ano
1	Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte	Abreu; Abreu; Mazzuco	1999
2	Comparative study on storage of fruits and vegetables in evaporative cool chamber and in ambient	Dadhich; Dadhich; Verma	2008
3	A review of porous evaporative cooling for the preservation of fruits and vegetables	Odesola; Onyebuchi	2009
4	Insulin storage in hot climates without refrigeration: temperature reduction efficacy of clay pots and other techniques	Ogle; Abdullah; Mason; Januszewski	2016
5	Utilization of plant based waste materials as alternatives to sand in Zeer pot refrigerator	Gunadasa; Awanthi; Rupasinghe	2017
6	Effect of set-up heights on the performance of pot-in-pot cooling system for storing food and drugs at ambient temperature	Yahaya; Kareem; Aisha; Kamardeen	2019

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados, março de 2020.

Após a coleta dos dados, os artigos foram submetidos à análise, com vistas à mensuração da eficiência de arrefecimento e levantamento dos tipos existentes e aspectos importantes para o bom funcionamento do dispositivo.

A seguir são apresentados os resultados e as discussões em torno das informações obtidas, sendo este tópico estruturado em três partes principais: “Tipos de *Pot in Pot*”, “Aspectos chaves para o bom funcionamento do *Pot in Pot*” e “Eficiência de arrefecimento do sistema de resfriamento evaporativo”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Tipos de *Pot in Pot*

Este tópico aborda os tipos de sistemas *Pot in Pot* encontrados no material coletado. No Brasil há poucas pesquisas realizadas envolvendo essa técnica, a maioria dos artigos encontrados são fruto de pesquisas realizadas em outros países. Após o primeiro dispositivo criado por Mohammed Bah Abba citado no item 2.1, outros foram desenvolvidos, alguns achados serão detalhados a seguir.

Um sistema alternativo de armazenamento com os mesmos princípios do *Pot in Pot* foi estudado por Yahaya *et al.* (2019) na Universidade de Ilorin, capital do estado de Kwara na Nigéria. Neste trabalho, os autores pesquisaram o efeito da altura no desempenho do sistema de resfriamento *Pot in Pot* no armazenamento de alimentos e medicamentos à temperatura ambiente. O experimento foi montado em um espaço seco e ventilado para que a água evaporasse efetivamente para o exterior. Foram utilizados vasos de barro maiores e menores, sendo a areia colocada no fundo dos vasos grandes, formando uma camada de aproximadamente 5 cm de profundidade. Os vasos menores foram colocados no topo da areia e centralizados nos vasos grandes. Os pequenos vasos foram cobertos com toalha úmida para impedir a entrada de ar quente na câmara. Foi então adicionada água para tornar o meio de revestimento úmido. Cada vaso foi colocado em diferentes alturas.

Segundo Yahaya *et al.* (2019), os dados foram coletados durante cinquenta e nove dias e ao final desta avaliação tais autores concluíram que: o aumento da altura de montagem do nível do solo para 1m de altura favorece a ventilação natural, e por consequência, a eficiência média do dispositivo aumentou cerca de 8%.

Segundo Gunadasa, Awanthi e Rupasinghe (2017), o refrigerador *Pot in Pot* ou *Zeer pot* (*Zeer* em árabe) funciona com base no princípio evaporativo e foi inserido em locais com

o clima quente e seco para preservação de alimentos. O dispositivo é constituído de dois vasos separados entre si por areia molhada, a areia funciona como absorvente da água. Os autores buscaram por meio da pesquisa o uso de materiais à base de plantas: pó de coco, pó de serra e palha de milho moída e seca com cabelo de milho, em substituição à areia para melhorar a eficiência de refrigeração do equipamento. Os resultados dos estudos demonstraram que a eficiência de arrefecimento da areia, pó de coco, pó de serra e palha de milho moída e seca com cabelo de milho foram de 69%, 58,6%, 60,8%, 22,9%, respectivamente. Os autores concluíram que, considerando a queda de temperatura, o aumento da UR do ar e a eficiência de refrigeração, o pó de serra e pó de coco podem ser usados como uma alternativa à areia em *Zeer pot*.

A pesquisa de Ogle *et al.* (2016), baseou-se na aplicação de dispositivos que reduzem a temperatura do ambiente sem o uso de energia para conservação de insulina. O estudo analisou a eficácia dos equipamentos em relação ao resfriamento. Foram estudados treze dispositivos usados no Sudão, Etiópia, Tanzânia, Mali, Índia, Paquistão e Haiti sendo: 10 panelas de barro, pele de cabra, uma cabaça de legumes e um balde cheio de areia molhada e duas carteiras de refrigeração idênticas fabricadas comercialmente. O dispositivo da Índia trata-se do *Pot in Pot*. Os equipamentos foram condicionados segundo as instruções locais. A eficácia do resfriamento foi avaliada pela diferença de temperatura absoluta média, diferença entre a temperatura interna e a ambiente, e a máxima porcentagem (%) possível de resfriamento evaporativo, permitida pela umidade local. Os autores concluíram que os dispositivos podem atingir temperaturas médias iguais ou próximas à temperatura ambiente padrão (20 - 25 °C) mesmo em climas quentes, e todos se mostraram mais eficazes em locais com baixas umidades.

Todos os trabalhos discutidos anteriormente foram realizados em outros países. No caso do Brasil, há um número reduzido de trabalhos publicados envolvendo dispositivos com princípios do *Pot in Pot*. Uma das pesquisas realizadas no Brasil foi a de Guimarães *et al.* (2017), na Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas. Tais autores propuseram testar dois modelos reduzidos de casas, o primeiro com alvenaria de tijolo ecológico e o segundo com alvenaria de bloco cerâmico convencional. Segundo eles, para a aplicação da técnica *Pot in Pot* preencheu-se os espaços formados no interior da alvenaria com argila expandida e molhou esse núcleo com água por dois horários em cada dia de realização do experimento.

Para Guimarães *et al.* (2017) a técnica para produção do sistema do *Pot in Pot* aplicada aos modelos reduzidos de habitação mostrou-se eficiente quanto à redução de

temperatura ambiente na média de 3,8 °C, o que para tais autores é um indicativo da eficiência do sistema.

Outra pesquisa desenvolvida no Brasil envolvendo o *Pot in Pot* foi realizada por Wiedenheft *et al.* (2013), no Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Campus Canoas. O experimento teve como objetivo testar a eficiência do *Pot in Pot* e verificar se o isopor pode substituir a areia no processo. Wiedenheft *et al.* (2013) concluíram que o *Pot in Pot* realmente funciona, mesmo com potes de alturas distintas, mas que o isopor não é um material que possa ser utilizado para a construção do sistema.

Os materiais utilizados para a construção dos sistemas com base nos mesmos princípios do *Pot in Pot* de Mohammed Bah Abba nos estudos discutidos anteriormente, tanto no Brasil quanto em outros países, variam de acordo com o que há de disponível em cada localidade, motivo pelo qual esta tecnologia se caracteriza como de baixo custo. Seguindo os princípios da técnica *Pot in Pot* os modelos construídos com materiais variados mostram-se eficientes, principalmente para redução da temperatura, conforme evidenciado nas pesquisas.

4.2 Aspectos-chave para o bom funcionamento do *Pot in Pot*: área de superfície, umidade relativa, temperatura e movimento do ar

A UR do ar influencia de forma significativa, quanto menor a UR maior será a absorção de vapor d'água pelo ar, ou seja, quanto mais seco for o ar maior será a evaporação da água. Portanto, verifica-se que quando ar quente passa a ter contato com uma superfície úmida, ela faz com que a parte da água se evapore, essa vaporização ocorre até que o ar fique saturado, por se tratar de um processo adiabático, não se tem perda ou ganho de calor (ABREU *et al.*, 1999).

Já o aspecto 2 - Temperatura do ar - influencia o funcionamento do sistema da seguinte maneira. Para ocorrer a vaporização é necessário que a água mude do seu estado físico líquido para gasoso, as altas temperaturas favorecem essa mudança, ou seja, locais com maiores temperatura terão maior evaporação e, conseqüentemente, maior resfriamento. De outra forma, as temperaturas mais baixas farão que se tenha níveis mais baixos de resfriamento devido a diminuição da evaporação da água (ODESOLA; ONYEBUCHI, 2009).

Quanto ao aspecto 3 - Movimento do ar - pode ser compreendido a partir do papel essencial desempenhado pela ventilação natural ou artificial no processo de resfriamento evaporativo. Quando água evapora pela superfície do vaso externo o ar daquela área é umedecido. A ventilação é importante para substituir o ar úmido por um ar seco a fim de aumentar ou manter a evaporação contínua (ODESOLA; ONYEBUCHI, 2009).

O aspecto 4 - Área de superfície - influencia diretamente na evaporação, quanto maior for a área de superfície a partir do qual a água pode evaporar-se, maior será taxa de evaporação, ou seja, quanto maior a área de contato com o ar que circunda melhor será o resfriamento neste local.

4.3 Sistema de resfriamento evaporativo e sua eficiência de arrefecimento

A seguir, serão analisados apenas os artigos que apresentavam informações necessárias para quantificar a eficiência do resfriamento do sistema *Pot in Pot*, ou seja, que forneciam elementos para mensurar quantitativamente a eficiência de arrefecimento do sistema em questão.

O projeto de Dadhich *et al.* (2008) consistia em uma estrutura de tijolo de parede dupla, areia do leito do rio usada para preencher a lacuna e pedaços de bambu para construção da tampa. Após a construção completa, foi colocada sobre a câmara e umedecida por aspersão de água. Para cálculo da eficiência média (Tab. 4) do referido projeto foram usados os dados do mês de fevereiro. Com o dispositivo carregado (com alimentos em seu interior) a eficiência média calculada foi de 50,6%.

O refrigerador *Pot in Pot* se mostra eficaz mesmo quando comparado a outros dispositivos que funcionam a partir do resfriamento evaporativo. A pesquisa de Ogle *et al.* (2016) analisou a eficácia de arrefecimento de treze dispositivos usados no Sudão, Etiópia, Tanzânia, Mali, Índia, Paquistão e Haiti, sendo o dispositivo da Índia o *Pot in Pot*. A umidade ambiente e a temperatura interna e externa de cada dispositivo foram aferidas com medidores eletrônicos a cada 5 minutos em Cartum (88 h) e, para os dois vasos de Mali, em Bamako (84 h).

Segundo Ogle *et al.* (2016) as médias das temperaturas e umidade ambiente ficaram em 31,0 °C e 32,0% em Cartum (Sudão) e 32,9 °C e 39,8% em Bamako (Mali), todos os dispositivos estudados apresentaram diminuição de temperatura, a eficácia dos equipamentos variou entre 20,5% a 71,3% em relação ao máximo resfriamento.

A média da eficácia de arrefecimentos dos equipamentos ficou em 48,45%, no caso do *Pot in Pot* a eficácia de arrefecimento foi de 59,6%, isso comprova que o equipamento da Índia apresenta desempenho acima da média geral dos dispositivos analisados no referido estudo. Para cálculo da eficiência média (Tab. 4) da referida pesquisa foram usados os valores da média de temperatura e umidade para os meses mais quentes (3 meses), bem como a média

das temperaturas de bulbo úmido. Para estes valores a eficiência média encontrada foi de 62,8%.

Gunadasa, Awanthi e Rupasinghe (2017) buscaram por meio da pesquisa o uso de materiais à base de plantas: pó de coco, pó de serra e palha de milho moída e seca com cabelo de milho, em substituição à areia para melhorar a eficiência de refrigeração do equipamento. As conclusões do referido estudo apontam que a areia apresentou a melhor eficiência de arrefecimento: 69%.

Yahaya *et al.* (2019) em seu artigo “Efeito das alturas de instalação no desempenho do sistema de refrigeração *Pot in Pot* para armazenamento de alimentos e medicamentos à temperatura ambiente”, realizou a instalação de seu experimento em um espaço seco e ventilado para que a água evaporasse efetivamente para o exterior. Cada vaso foi colocado em diferentes alturas: H1 = nível do solo, H2 = 0,5 metro e H3 = 1 metro acima do solo a fim de observar o desempenho de cada do equipamento em relação a cada altura. Os autores concluíram que o aumento da altura de montagem do nível do solo para 1 m de altura favorece a ventilação natural e, por consequência, a eficiência média do dispositivo eleva cerca de 8%. A partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar contidas na pesquisa foi calculado o valor da eficiência média, o valor ficou em 80,0% (Tab. 4) considerando o experimento instalado a 1 m de altura.

4.3.1 Comparativo da eficiência do sistema evaporativo

Para o cálculo da eficiência de arrefecimento do sistema evaporativo não basta observar a diferença entre Temperatura Ambiente e interna ($T_{Amb} - T_{in}$), é necessário verificar a temperatura ambiente (T_{Amb}) e a máxima redução de temperatura que o dispositivo pode alcançar, ou seja, a temperatura de bulbo úmido (T_{bu}). Dessa forma, a eficiência é calculada pela seguinte fórmula: $E = (T_{Amb} - T_{in}) / (T_{Amb} - T_{bu})$.

A partir dos dados contidos nos artigos analisados tais como: umidade ambiente, temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido e eficiência de arrefecimento, a tabela de comparação das eficiências abaixo foi preenchida.

Tabela 4 – A comparação das eficiências de arrefecimento de diferentes pesquisas

Autores	Localização	Média das leituras				Eficiência de arrefecimento (%)	Observações
		UAmb (%)	TAmb (°C)	Tin (°C)	Tbu (°C)		
Yahaya <i>et al.</i> (2019)	Nigeria	53,5	31,3	22,2	20,0	80,0%	A um metro de altura
Dadhich <i>et al.</i> (2008)	Índia	49,7	27,7	23,9	20,1	50,6%	Fevereiro (carregado)
Ogle <i>et al.</i> (2016)	Índia	35,3	40,2	32,1	27,3	62,8%	3 meses mais quentes
Gunadasa <i>et al.</i> (2017)	Índia	-	-	-	-	69,0%	Com areia

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados

5 CONCLUSÃO

O funcionamento do sistema *Pot in Pot* pôde ser explicado a partir dos princípios de resfriamento evaporativo e transferência de calor. Essa técnica, ainda que reproduzida de maneiras diversas e variando os tipos de materiais, e desde que mantidos seus princípios, mostra-se eficiente na redução da temperatura e conservação de alimentos.

Diante disso, trabalhos publicados sobre o tema foram analisados com vistas a elucidar os conceitos de física aplicados ao experimento. Ademais, os tipos de *Pot in Pot* existentes foram mapeados, chegando à conclusão de que a técnica pode ser aplicada de diversas formas. Conforme material coletado, concluiu-se que a UR do ar, temperatura do ar, movimento do ar e a área de superfície são os aspectos-chave que influenciam o bom funcionamento do dispositivo.

A partir dos dados coletados, a eficiência de arrefecimento foi calculada, o que permitiu concluir que a média da eficiência dos dispositivos analisados foi de 65,6% e que o experimento desenvolvido por Yahaya *et al.* (2019) apresentou a maior eficiência de arrefecimento 80,0%.

Considerando o relevante impacto sócio ambiental desta tecnologia para alguns países africanos, e considerando ainda que esses países apresentam condições análogas às brasileiras, no que se refere às condições climáticas e à parcela da população que ainda não possui acesso ao fornecimento de energia elétrica em suas residências, conclui-se que é relevante desenvolver pesquisas que possibilitem a testagem das técnicas a fim de replicar a tecnologia aqui no Brasil.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL EBC. Quase 1 bilhão de pessoas no mundo vivem sem eletricidade, diz a ONU. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-12/quase-1-bilhao-de-pessoas-no-mundo-vivem-sem-eletricidade-diz-onu>>. Acesso em: 23 set. 2019.

ARAÚJO, Celso de. *Transmissão de calor*. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1978.

BARROS FILHO, Jomar.; BOMBATI, Tainá. A. Vedovello.; BORTOLOTTI, João. Alexandre.; CAVALHIERI, Lauro.; VERASZTO, Estéfano Vizconde .; CAMARGO, José Tarcísio Franco de. Geladeira do deserto: uma iniciação científica forjada nas aulas de termodinâmica de um curso de engenharia ambiental. In: *Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, Blumenau, SC, 2011.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS as (Eletrobras). O programa luz para todos. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/Luz-para-Todos.aspx>>. Acesso em: 23 set. 2019.

DADHICH, Sushmita Mukherjee; DADHICH, Hemant; VERMA, RadhaCharan. Comparative study on storage of fruits and vegetables in evaporative cool chamber and in ambient. *International Journal of Food Engineering*, v. 4, n. 1, 2008. Disponível em: <<https://pubag.nal.usda.gov/catalog/4057112>>. Acesso em: 23 set. 2019.

DE ABREU, Paulo Giovanni; ABREU, Valéria Maria Nascimento; MAZZUCO, Helenice. Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte. *Embrapa Suínos e Aves - Documentos (INFOTECA-E)*, 1999. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/437183>>. Acesso em 23 set. 2019.

DE FREITAS, Gilmar Fialho; DE OLIVEIRA, Marcelo Leles Romarco. Uma análise do programa luz para todos do Governo Federal. *Revista de Extensão e Estudos Rurais*, v. 6, n. 2, p. 143-155, 2017.

FALAYI, Folayan Richard; JONGBO, Ayoola. O. Development of metal-in-wall evaporative cooling system for storing perishable agricultural produce in a tropical environment. *Journal of Agricultural Engineering and Technology (JAET)*, p. 35, 2011. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/320547519>>. Acesso em: 23 set. 2019.

GUNADASA, H. L. C.; AWANTHI, M. G.; RUPASINGHE, C. Utilization of different plant based waste materials as alternatives to sand in zeer pot refrigerator. *Journal of Engineering Research and General Science*, v. 5, n. 2, p. 1–10, 2017. Disponível em: <<http://pnrsolution.org/Datacenter/Vol5/Issue2/25.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2019.

GUSTAFSSON, Katarina; SIMSON, Hanna. An experimental study on an evaporative cooler for hot rural areas. *KTH School of Industrial Engineering and Management*, 2016. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:952001/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

GUIMARÃES, Mariane. Silva; SILVA, Lídia Alla; DIAS, Patrícia Sardinha; GOMES, Raphaela Christina Costa. Novo modelo de alvenaria visando o resfriamento do ambiente Interno. *Revista Mirante*, p. 108–118, 2017. Disponível em: <<https://www.revista.ueg.br/index.php/mirante/article/view/6413/4393>>. Acesso em: 20 set. 2020.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.; BERGMAN, Theodore L. Fundamentos de Transferência de Calor E de Massa. 8ª ed. Grupo Gen-LTC, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico, 2000. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 set. 2019.

KNIGHT, Randall D. *Física: Uma abordagem estratégica*. V. 3. Editora Bookman, 2009.

KREITH, Frank. *Princípios da transmissão de calor*. Tradução da 3ª. ed. Americana. São Paulo, Edgard Blücher, 1977.

LONGMONE, A. P. Evaporative cooling of good products by vacuum. *Food Trade Review* (Pennwalt Ltd), v. 47, p.13–16, 2003.

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*. v.10, n.2, p. 935-941, 2009. Disponível em: <<http://www.akamaiuniversity.us/PJST.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

OGLE, G. D. et al. Insulin storage in hot climates without refrigeration: temperature reduction efficacy of clay pots and other techniques. *Diabetic Medicine*, v. 33, n. 11, p. 1544–1553, 2016.

OLIVEIRA, Albânia Maria Caludino de. Eficiência do sistema Pot in Pot na conservação de pimentão e tomate. 2006. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal de Pernambuco.

SEU PLANETA BRASIL. Pot-In-Pot. Como Refrigerar Alimentos Sem Eletricidade. Disponível em: <<https://tuplanetaong.org/pt/2017/02/24/pot-in-pot-como-refrigerar-alimentos-sem-eletricidade/>>. Acesso em: 24 fev. 2021.

STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. Refrigeração e ar condicionado. 2ª.ed. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1985.

VAN VALKENBURGH, Nooger; NEVILLE. *Eletricidade Básica*. Rio de Janeiro, RJ: Ao livro Técnico, 1992. v. 1.

WIEDENHEFDT, C. R. et al. Geladeira sem eletricidade. In: *Anais do Salão de Ensino, Pesquisa e Extensão do IFRS Campus Canoas*, 2013. Disponível em: <<http://anaissaloes.canoas.ifrs.edu.br/index.php/enpex/article/view/171>>. Acesso em: 23 set. 2019.

YAHAYA, Suleiman A., AKANDE, Kareem A., RAJI, Aisha O., Abdulrahman, Kamardeen O., Enagi, Ibrahim I. Effect of set-up heights on the performance of Pot-In-Pot cooling system for storing food and drugs at ambient temperature. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, v. 4, n. 1, 2019.

CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO SEM USO DE ENERGIA: EXPERIMENTOS A PARTIR DO SISTEMA *POT IN POT*

RESUMO

A situação de vulnerabilidade social e pobreza, somadas as dificuldades para conservação de frutas e legumes em alguns países levou ao desenvolvimento de um dispositivo alternativo denominado *Pot in Pot*, sistema similar a uma geladeira que dispensa o uso de energia elétrica. Voltado ao estudo deste sistema, o objetivo principal deste artigo é avaliar quatro sistemas *Pot in Pot* a fim de encontrar os aspectos-chave para melhoria da eficiência deste dispositivo. O referencial teórico que embasa este estudo aborda os conceitos de física aplicado aos experimentos e alguns tipos de equipamentos reportados na literatura. A metodologia fundamentou-se na realização de testes laboratoriais para avaliar a eficiência dos quatro sistemas *Pot in Pot*: sistema 1, vaso com água e sem tampa; sistema 2, modelo original do *Pot in Pot*, ou seja, um vaso menor posto dentro de outro vaso maior e separados por areia umedecida e com tampa de pano umedecido; sistema 3 feito a partir do segundo, tendo como diferença construtiva o lixamento da área externa do vaso maior; e o sistema 4 trata-se do sistema 3 carregado, ou seja, com alimento em seu interior. A partir dos dados obtidos foi realizada a análise estatística. Os resultados indicaram que: a) o dispositivo 1, vaso com água, teve a menor eficiência de arrefecimento em relação demais experimentos, b) os dispositivos analisados tiveram eficiências semelhantes a outras pesquisas desenvolvidas sobre o mesmo tema; c) o lixamento da área externa do vaso maior colaborou de forma significativa para a melhoria do funcionamento do dispositivo 3, vaso lixado, d) o dispositivo 4, vaso lixado carregado, foi o experimento com maior taxa de eficiência de arrefecimento.

Palavras-chave: Eficiência, *Pot in Pot*, resfriamento evaporativo.

ABSTRACT

The situation of social vulnerability and poverty, in addition to the difficulties in conserving fruits and vegetables in some countries, led to the development of an alternative device called *Pot in Pot*, a system similar to a refrigerator that dispenses with the use of electricity. Aimed at studying this system, the main objective of this article is to evaluate four *Pot in Pot* systems in order to find the key aspects for improving the efficiency of this device. The theoretical framework that supports this study addresses the concepts of physics applied to experiments and some types of equipment reported in the literature. The methodology was based on laboratory tests to evaluate the efficiency of the four *Pot in Pot* systems: system 1, pot with water and without a lid; system 2, original *Pot in Pot* model, that is, a smaller vase placed inside another larger vase and separated by moist sand and with a moist cloth cover; system 3 made from the second, having as a constructive difference the sanding of the outer area of the larger vessel; and system 4 is system 3 loaded, that is, with food inside. From the data obtained, statistical analysis was performed. The results indicated that: a) device 1, a vessel with water, had the lowest cooling efficiency in relation to other experiments, b) the analyzed devices had efficiencies similar to other studies developed on the same theme; c) the sanding of the outer area of the larger vessel collaborated significantly to improve the functioning of device 3, sanded vessel, d) device 4, sanded vessel loaded, was the experiment with the highest cooling efficiency rate.

Keywords: Efficiency, *Pot in Pot*, evaporative cooling.

1 INTRODUÇÃO

A geração, transmissão e distribuição de energia elétrica alcançaram avanços significativos nas últimas décadas. Graças ao investimento estatal e do setor privado em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, o acesso à energia elétrica deixou de ser um privilégio, tornando-a um bem acessível para a maioria das pessoas. Entretanto, essa não é a realidade para grande parte da população pobre.

Conforme dados informados pelo Banco Mundial (BM⁵), apesar dos avanços tecnológicos, em 2019, cerca de 840 milhões de pessoas ainda não têm acesso à energia elétrica, este valor corresponde a 10% da população mundial, a maior parte localizada na África Subsaariana. A falta de energia elétrica gera inúmeros malefícios, dentre eles, o não acesso a equipamento de refrigeração. Normalmente, os alimentos são armazenados em sistemas que necessitam de energia elétrica para o controle da temperatura e umidade relativa do ar.

A correta temperatura e a umidade relativa do ar são aspectos essenciais para a conservação de alimentos. Frutas e vegetais são perecíveis, e por este motivo, devem ser armazenados em ambientes com índice de temperaturas e umidade controladas. A baixa temperatura e a alta umidade possuem fundamental importância para inibir a proliferação microbiana e minimizar reações químicas que causam a deterioração dos alimentos, ou seja, ela é essencial tanto para manter as características do produto, quanto para aumentar sua vida útil (MÜRMAN; MALLMANN; DILKIN, 2005; BASEDIYA; SAMUEL; BEERA, 2013).

Considerando esse contexto e preocupado com as dificuldades locais da sua comunidade, Mohammed Bah Abba, professor nigeriano, desenvolveu uma solução para o armazenamento de frutas e legumes. O "pote dentro de pote", originalmente *Pot in Pot*, é constituído de um vaso menor que é inserido em outro vaso maior, o espaço entre eles é preenchido por areia, a areia é molhada para possibilitar o resfriamento. O dispositivo é simples e eficiente para reduzir a temperatura em seu interior, em comparação com a temperatura ambiente, o que resultou na sua utilização em comunidades carentes de países da África (BARROS FILHO *et al.*, 2011, p.2).

Partindo da problemática aqui exposta, o objetivo geral deste artigo é avaliar quatro sistemas *Pot in Pot* a fim de determinar os aspectos-chave para melhoria da eficiência destes dispositivos. Os objetivos específicos são:

⁵ Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/05/22/mais-de-800-milhoes-de-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-a-energia-eletrica-diz-banco-mundial.ghtml>>. Acesso em: 21 abr. 2020.

- 1) analisar a eficiência de quatro dispositivos baseados no sistema *Pot in Pot*: o primeiro vaso com água, o segundo vaso vazio, o terceiro com vaso lixado e o quarto com o vaso lixado e carregado;
- 2) avaliar se a presença apenas da água eleva a eficiência do dispositivo;
- 3) avaliar se o aumento da porosidade, por meio do lixamento da área externa do vaso maior, eleva sua eficiência de resfriamento;

A presente pesquisa se justifica ao propor o aprimoramento do dispositivo por meio da avaliação dos aspectos-chave que melhoram sua eficiência de resfriamento. Outro fator é a popularização de uma solução simples de geladeira de baixo custo, que dispensa o uso energia elétrica. A ideia central desta pesquisa é colocar a ciência a serviço da população em situação de vulnerabilidade socioeconômica, por meio da divulgação e do aprimoramento do referido experimento.

O principal conceito físico que permite explicar o funcionamento do sistema *Pot in Pot* é o resfriamento evaporativo. O resfriamento evaporativo concerne-se a um processo adiabático, ou seja, transcorre sem trocas de calor externas ao mesmo. O efeito resultante de redução da temperatura pode ser explicado mediante conceitos de transferência de calor e consequentes alterações de propriedades psicrométricas do ar - ressaltando a Umidade Relativa (UR) e Temperaturas de bulbo seco e úmido (T_{bs} e T_{bu}) - que se dão de forma interna. As limitações do resfriamento se estabelecem em função da diferença entre as T_{bs} e T_{bu} e pela UR. O processo será mais eficiente tão maior for a diferença entre as citadas temperaturas juntamente a uma baixa condição de umidade relativa. Sinteticamente, o efeito de climatização é produzido ao se evaporar a água que é inserida ao processo. Essa mudança de estado é decorrente de transferência de calor entre o ar quente e água quando em contato, promovendo à mesma o calor para vaporização (ABREU; ABREU; MAZZUCO, 1999; DADHICH *et al.*, 2008).

De acordo com Gustafsson e Simson (2016) o movimento do ar em uma superfície faz com que a transferência de calor aumente devido a renovação do ar já aquecido pelo ar mais frio, desta forma, quanto maior for a diferença de temperatura do ar e do corpo mais calor poderá ser transferido. Este mesmo princípio ocorre na transferência de massa, a exemplo da água em uma superfície em contato com o ar, ela se distribui uniformemente pelo meio e vaporiza caso a UR seja mais baixa.

A água se distribui por um material desde que seja suficientemente poroso. A superfície externa do *Pot in Pot* será mantida úmida e a evaporação continuará até não restar mais água ou até que o ar tenha uma UR igual ou superior a do ambiente. Quando a água

evapora de uma superfície, é necessário energia ou calor para transformar a água do estado líquido para o gasoso. Essa energia que é retirada da água ainda na superfície, fazendo com que sua temperatura diminua e, portanto, resfriando o corpo (superfície do vaso externo) (GUSTAFSSON; SIMSON, 2016).

Desde aparição do primeiro dispositivo *Pot in Pot* para resfriamento evaporativo criado por Mohammed Bah Abba, outros dispositivos foram desenvolvidos e estão descritos a seguir. As variações em relação ao projeto original referem-se à utilização de outros materiais ou aplicação de dimensões diferentes, contudo, todos possuem o mesmo conceito físico de funcionamento (resfriamento evaporativo):

- a) Sistema constituído de parede dupla de tijolos, preenchimento do espaço vazio com areia do leito do rio. Para tampa utilizou-se pedaços de bambu e para manter a câmara umedecida usou-se pulverizador de água (DADHICH *et al.*, 2008).
- b) Câmara de arrefecimento evaporativo feita a partir de parede dupla de tijolos e os espaços separados por areia de rio, com a tampa feita de pano ou sacos, material vegetal ou cana de açúcar (ROY; KHARDI, 1985 *apud* FALAYI; JONGBO, 2011).
- c) Sistema de resfriamento evaporativo composto de parede externa de tijolos, câmara interna feita a partir de uma caixa metálica e separados por areia umedecida do mar, que funciona como meio para evaporar a água (FALAYI; JONGBO, 2011).
- d) Wiedenheft *et al.* (2013), verificaram o uso de isopor em substituição da areia no processo de montagem do *Pot in Pot*. Nesta pesquisa o isopor demonstrou-se ineficiente.
- e) Um dispositivo onde foram testados diferentes materiais vegetais de preenchimento em substituição à areia para avaliar a melhora na eficiência de arrefecimento do dispositivo (GUNADASA; AWANTHI; RUPASINGHE, 2017).
- f) Ogle *et al.* (2016) analisaram o uso de vasos e outras técnicas para conservação de insulina. A pesquisa verificou a eficiência de resfriamento dos dispositivos estudados.
- g) Com base no modelo *Pot in Pot*, Guimarães *et al.* (2017) aplicaram o uso da técnica para melhorar o conforto térmico de uma residência. O estudo reproduziu um modelo reduzido para verificar a redução de temperatura interna. A pesquisa alcançou valores de redução de temperatura média de 3,8°C.
- h) Três sistemas desenvolvidos a partir da técnica *Pot in Pot*, os dispositivos foram testados em diferentes alturas para avaliar se uma melhor ventilação aumentava a eficiência dos sistemas. O estudo concluiu que o aumento da altura favorece a

ventilação e conseqüentemente aumenta sua eficiência de arrefecimento (YAHAYA *et al.*, 2019).

Alguns estudos como Yahaya *et al.* (2019) e Gunadasa *et al.* (2017) avaliaram aspectos de melhoria da eficiência do dispositivo colocando o equipamento em lugares de melhor ventilação ou preenchendo a lacuna com materiais diferentes. Porém, não foram encontrados estudos realizados onde se objetive melhorar a eficiência dos dispositivos realizando uma alteração na superfície cerâmica do vaso exterior, de forma a aumentar a velocidade do processo do resfriamento evaporativo.

2 METODOLOGIA

Local do estudo

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Construções Sustentáveis do Mestrado Interdisciplinar Saúde, Sociedade e Ambiente (SaSA), no Campus JK da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) em Diamantina, Minas Gerais. As coordenadas de referência são: 18° 12' 10.7" S; 43° 34'30.7" W e altitude de 1.387 metros.

Dimensionamento dos sistemas "Pot in Pot"

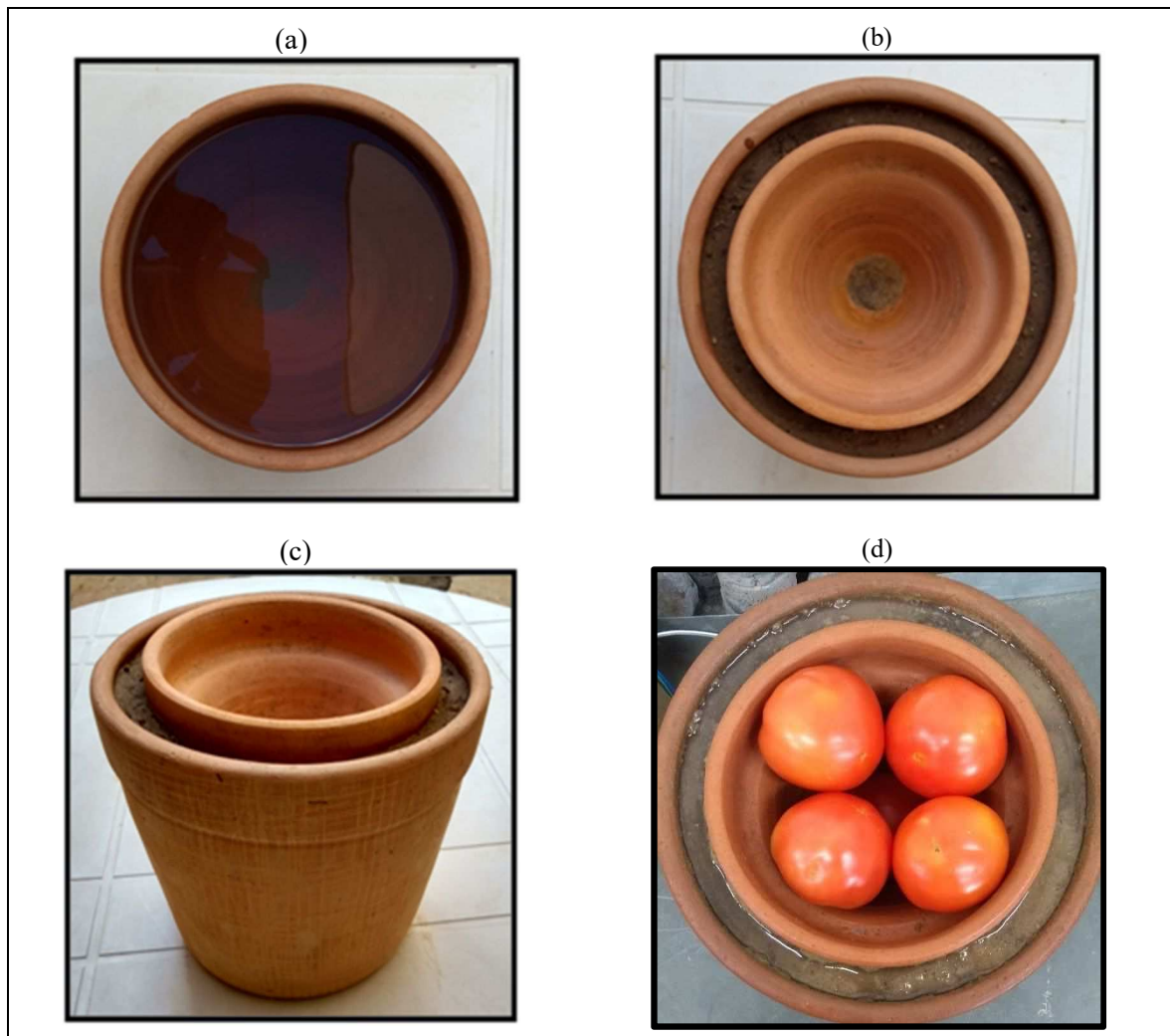
Inicialmente foram adquiridos no comércio local dois vasos cerâmicos de tamanhos e dimensões diferentes:

- vaso externo (maior): 24 x 18 x 17 cm (\varnothing superior, altura, \varnothing inferior, dimensões externas), com espessura da parede aproximada de 1,2 cm;
- vaso interno (menor): 17 x 14 x 9 cm (\varnothing superior, altura, \varnothing inferior, dimensões externas), com espessura da parede aproximada de 1,2 cm.
- a espessura média da areia foi variável, na parte superior 2,3 cm e na inferior 2,8 cm.

Os vasos comercializados geralmente possuem um furo em sua base, o primeiro passo foi fechá-lo com argamassa de cimento, outra alternativa é a cola epóxi. Com o furo devidamente fechado foi montado o primeiro sistema, Fig. 9 (a) vaso maior com água e sem tampa. Posteriormente, o segundo dispositivo foi constituído pelo modelo original do *Pot in Pot*, ou seja, um vaso menor posto dentro de outro vaso maior e separados por areia umedecida e com tampa de pano umedecido, situação mantida pelo acréscimo diário de água, até o final do estudo, Fig. 9 (b). O terceiro dispositivo foi feito a partir do segundo tendo como diferença construtiva o lixamento da área de externa do vaso maior, feito por meio da

lixa grossa n°80 e frisos horizontais e verticais feitos a partir de um garfo de mesa em aço inox, Fig. 9 (c). O quarto dispositivo trata-se do terceiro com a inserção de alimento em seu compartimento, ou seja, dispositivo carregado com cinco tomates, Fig. 9 (d). Com exceção do sistema 1, todos os experimentos foram tampados com pano umedecido.

Figura 9 – (a) Sistema 1 - Vaso com água, (b) Sistema 2 -Vaso vazio, (c) Sistema 3 -Vaso lixado, (d) Sistema 4 – Vaso lixado carregado



Instrumentos

Para a aferição diária da temperatura (T °C) e a umidade relativa do ar (UR) foram os utilizados os equipamentos: Termo-Higrômetro Digital (Hikari HK-T240) e Termômetro Portátil (Qualxtron - QX110). O sensor de temperatura foi instalado na parte interna central dos vasos e o sensor de temperatura ambiente e UR foi instalado aproximadamente a 60 cm de distância de cada experimento.

Análise dos dados

Durante os três dias foram aferidas a temperatura e UR do ar dos quatro sistemas, conforme a seguir:

1. Vaso com água (um vaso cerâmico com água e sem tampa), por meio de 45 medições;
2. Vaso vazio (*Pot in Pot* modelo original), por meio de 45 medições;
3. Vaso lixado (*Pot in Pot* modelo original com vaso externo lixado), por meio de 45 medições.
4. Vaso lixado carregado (*Pot in Pot* modelo original com vaso externo lixado e carregado com cinco tomates), por meio de 45 medições.

Foi observado o comportamento de cada sistema em relação às situações diversas de temperatura e UR do ar.

Segundo Carvalho Silva e Prat (2020), para se calcular a eficiência de arrefecimento dos sistemas evaporativos não se deve observar apenas a diferença entre Temperatura interna e ambiente ($T_{in} - T_{amb}$), é importante verificar a máxima redução de temperatura que o sistema pode atingir, essa máxima redução de temperatura trata-se da T_{bu} . Portanto, a eficiência de arrefecimento evaporativo foi calculada pela seguinte fórmula: $E = (T_{amb} - T_{in}) / (T_{amb} - T_{bu})$.

A T_{amb} e T_{in} foram obtidas utilizando equipamentos de medição Termo-Higrômetro e pelo Termômetro Portátil, a T_{bu} foi calculada pelo aplicativo *AgaisPsicro* (AGAIS, 2020).

Visando atender aos objetivos propostos no estudo, foram realizados testes estatísticos, conforme necessidade de cada análise. Os dados foram processados por meio do aplicativo de informática *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 17.0. Os dados coletados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e de umidade relativa foram analisados por ANOVA e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey com $p < 0.05$.

3 RESULTADOS

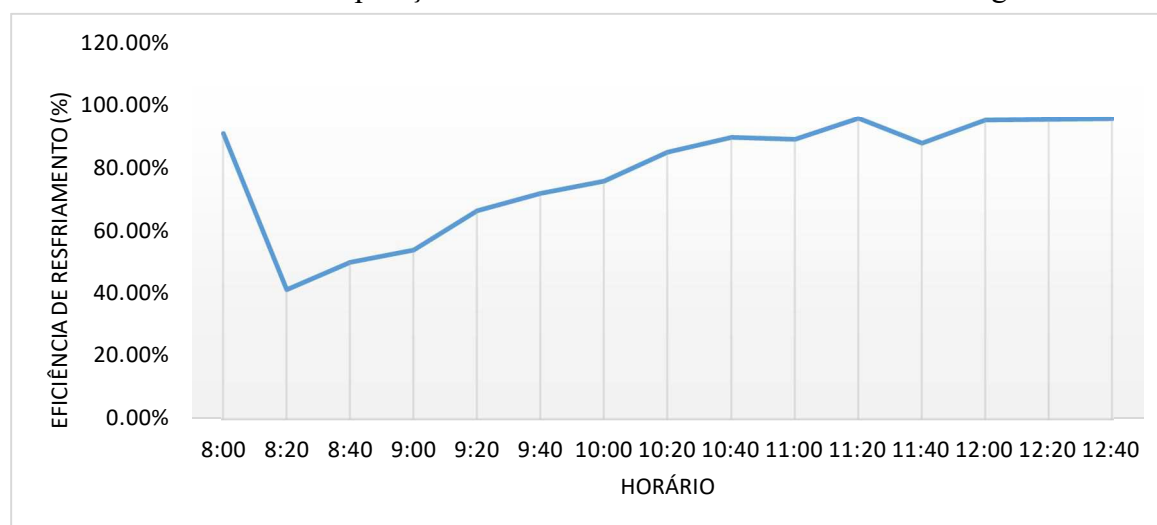
Foram aferidas a temperatura e umidade relativa do ar de cada sistema analisado durante 3 dias, cujos resultados encontra-se detalhados na Tab. 5. Os valores de umidade relativa interna de todos dispositivos ficaram próximos a 100%.

Tabela 5 - A comparação dos valores médios das eficiências dos 4 sistemas

Sistemas	Temperatura interna	Temperatura ambiente	Temperatura de bulbo úmido	Umidade relativa ambiente	$E = (T_{amb} - T_{in}) / (T_{amb} - T_{bu})$	Desvio Padrão
Nº	T _{in} (°C)	T _{amb} (°C)	T _{bu} (°C)	UR (%)	E (%)	DP (%)
1	21,7	25,5	20,08	61,3	69,6%	6,73%
2	21,9	26,0	20,63	62,0	77,9%	8,68%
3	20,8	23,3	20,48	77,5	88,0%	9,95%
4	20,3	22,9	20,26	78,6	98,3%	8,55%

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados

No caso do sistema 4, vaso lixado carregado, observou-se significativa queda na eficiência de resfriamento quando da presença dos frutos. No entanto, conforme demonstrado pelo Gráfico 1, percebe-se a estabilização decorridas aproximadamente 03 horas após a inserção dos alimentos a temperatura ambiente.

Gráfico 1 - Comparação de eficiência do vaso lixado vazio e carregado

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados

Às 8h do dia 12 de jan. de 2021, aferiu-se a eficiência de resfriamento, resultando em valor de 90,9%. Salienta-se que a medição fora realizada com o recipiente vazio, ou seja, sistema 3, vaso lixado e vazio.

Às 8h e 1min da mesma data, procedeu-se a inserção de cinco tomates no dispositivo e, após imediata nova medição, constatou-se redução da eficiência, a qual retornou a valores anteriores a partir das 11h, ou seja, por volta de 03 horas após o início do experimento, após este horário percebe-se a estabilização nos valores de eficiência de resfriamento.

A Tabela 06 traz as análises estatísticas descritivas da variável “eficiência” para os quatro sistemas. O sistema 4, vaso lixado carregado, foi o que obteve valores mais altos em relação à média e mediana das eficiências, seguido pelo sistema 3, onde a superfície do vaso maior foi lixada para testar o aumento do processo de resfriamento evaporativo.

Tabela 6 – Análise estatística descritiva

(Continua)

	Typo Exp	Estatística	Erro Padrão	
Vaso com água	Média	,6957	,01003	
	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	,6755	
		Limite superior	,7159	
	5% da média aparada	,6969		
	Mediana	,6900		
	Variância	,005		
	Desvio Padrão	,06726		
	Mínimo	,54		
	Máximo	,84		
	Intervalo	,30		
	Intervalo interquartil	,09		
	Assimetria	-,088	,354	
	Curtose	-,098	,695	
	Vaso vazio	Média	,7790	,01294
95% Intervalo de Confiança para Média		Limite inferior	,7529	
		Limite superior	,8050	
5% da média aparada		,7835		
Mediana		,7880		
Variância		,008		
Desvio Padrão		,08677		
Mínimo		,55		
Máximo		,90		
Intervalo		,35		
Intervalo interquartil		,13		
Assimetria		-,643	,354	
Curtose		-,118	,695	
Vaso lixado		Média	,8798	,01484
	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	,8499	
		Limite superior	,9097	
	5% da média aparada	,8887		
	Mediana	,8900		
	Variância	,010		
	Desvio Padrão	,09952		
	Mínimo	,53		
	Máximo	1,02		
	Intervalo	,49		
	Intervalo interquartil	,09		
	Assimetria	-1,367	,354	
	Curtose	2,964	,695	

Tabela 6 – Análise estatística descritiva

		(Conclusão)		
	Tipo Exp	Estatística	Erro Padrão	
Vaso lixado carregado	Média	,9832	,01273	
	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	,9576	
		Limite superior	1,0089	
	5% da média aparada	,9915		
	Mediana	1,0170		
	Variância	,007		
	Desvio Padrão	,08538		
	Mínimo	,72		
	Máximo	1,08		
	Intervalo	,36		
	Intervalo interquartil	,09		
	Assimetria	-1,419	,354	
	Curtose	1,708	,695	

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados

Na Tabela 7 é apresentada a análise ANOVA de comparação de médias da variável eficiência dos quatro sistemas mediante o teste de Tukey com $p < 0,05$. Comparando todas as médias se observa que o grau de significância é 0. O teste Tukey HSD mostrou então que estatisticamente a média das eficiências coletadas dos quatro experimentos são significativamente diferentes. Pode-se afirmar que os diferentes experimentos realizados tiveram influência na alteração da eficiência dos dispositivos. É possível essa constatação por meio da Fig. 10, que apresenta o Boxplot da variável sob análise, ou seja, a eficiência de cada experimento. Nota-se que os sistemas 1 e 2 apresentam os valores “dentro da caixa” mais próximos. Em contrapartida, destaca-se que os sistemas 03 e 04, aqueles que trazem as maiores eficiências, apresentaram maiores valores de dispersão.

Ressalta-se que todos os valores das medições dos 4 experimentos de 1 a 180 podem ser extraídos no APÊNDICE B, existem valores de eficiência acima de 100%, este fato ocorreu principalmente em virtude da inercia térmica da geladeira ecológica e devido à precisão dos instrumentos de medição, tendo a umidade relativa do ar $\pm 2\%$ (máximo $\pm 5\%$) e para a temperatura $\pm 0,5$ graus celsius.

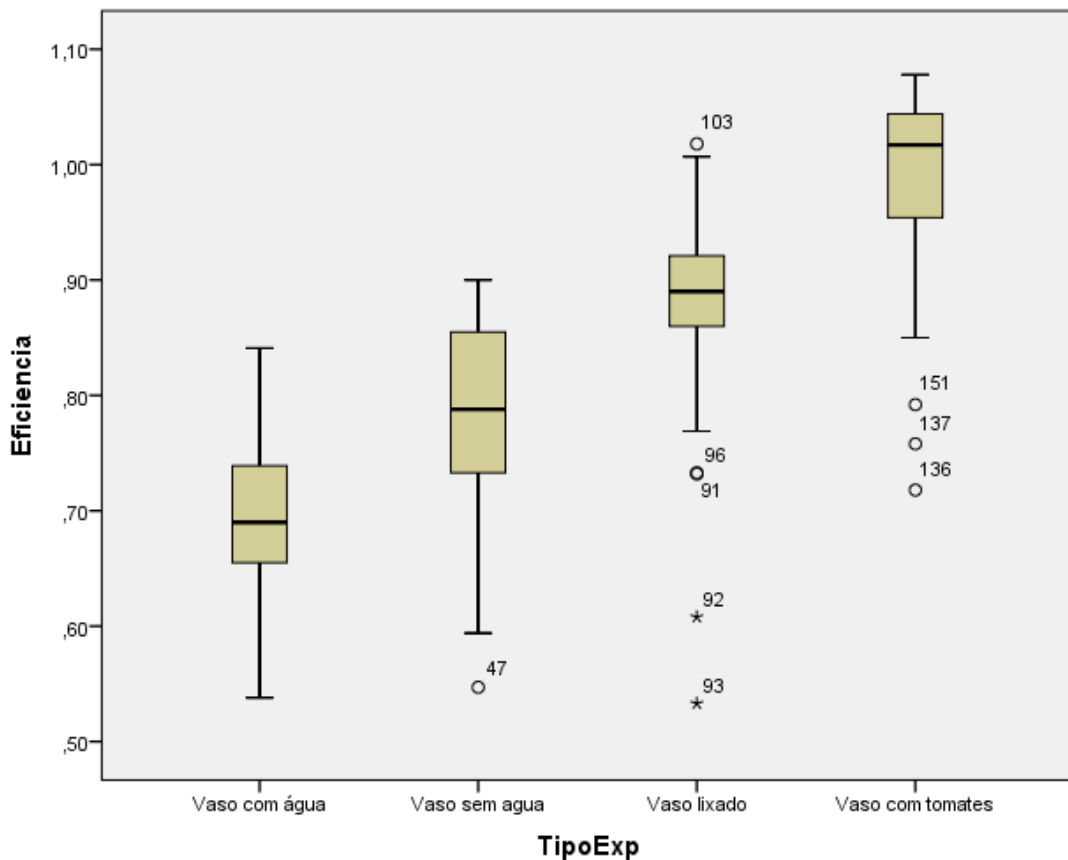
Tabela 7 – Análise ANOVA**Comparações múltiplas**

Variável dependente: Eficiência

Tukey HSD

(I) TipoExp	(J) TipoExp	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
Vaso com água	Vaso vazio	-,08331*	,01803	,000	-,1301	-,0366
	Vaso lixado	-,18418*	,01803	,000	-,2309	-,1374
	Vaso lixado carregado	-,28756*	,01803	,000	-,3343	-,2408
Vaso vazio	Vaso com água	,08331*	,01803	,000	,0366	,1301
	Vaso lixado	-,10087*	,01803	,000	-,1476	-,0541
	Vaso lixado carregado	-,20424*	,01803	,000	-,2510	-,1575
Vaso lixado	Vaso com água	,18418*	,01803	,000	,1374	,2309
	Vaso vazio	,10087*	,01803	,000	,0541	,1476
	Vaso com tomates	-,10338*	,01803	,000	-,1501	-,0566
Vaso lixado carregado	Vaso com água	,28756*	,01803	,000	,2408	,3343
	Vaso vazio	,20424*	,01803	,000	,1575	,2510
	Vaso lixado	,10338*	,01803	,000	,0566	,1501

*. A diferença média é significativa no nível 0,05.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados**Figura 10 – Boxplot (gráfico de caixa)****Fonte:** Elaboração própria a partir dos dados coletados

4 DISCUSSÃO

Comparativo das eficiências de arrefecimento

O dispositivo 1, vaso com água, foi o que teve o menor valor de média geral da eficiência de arrefecimento, 69,6%, esse menor valor ocorreu, provavelmente, pelo grande volume de água a ser resfriado pelo equipamento.

O dispositivo 2, vaso vazio, trata-se do modelo original do *Pot in Pot*, o mesmo obteve média geral da eficiência de arrefecimento de 77,9%, achados semelhantes foram encontrados nas pesquisas de Yahaya *et al.* (2019) e Gunadasa, Awanthi e Rupasinghe (2017).

O dispositivo 3, vaso lixado, trata-se do modelo original do *Pot in Pot* tendo como diferencial o lixamento da superfície externa, o que possibilitou o aumento da porosidade da superfície externa do vaso maior e, conseqüentemente, o aumento do processo de resfriamento evaporativo. Este equipamento obteve a segunda maior média geral da eficiência de arrefecimento, 88,0%.

O dispositivo 4, vaso lixado carregado, trata-se do terceiro com a inserção de alimento em seu compartimento, ou seja, dispositivo carregado com cinco tomates. Este equipamento obteve a maior média geral da eficiência de arrefecimento, 98,3% valor superior aos demais dispositivos e superior aos valores encontrados em outras pesquisas realizadas, a exemplo das mencionadas na Tabela 08.

Tabela 8 – Comparação das eficiências de arrefecimento de diferentes pesquisas

Autores	Localização	Média das leituras				Eficiência de arrefecimento (%)	Observações
		UAmb (%)	TAmb (°C)	Tin (°C)	Tbu (°C)		
Yahaya <i>et al.</i> (2019)	Nigeria	53,5	31,3	22,2	20,0	80,0%	A um metro de altura
Dadhich <i>et al.</i> (2008)	Índia	49,7	27,7	23,9	20,1	50,6%	Fevereiro (carregado)
Ogle <i>et al.</i> (2016)	Índia	35,3	40,2	32,1	27,3	62,8%	3 meses mais quentes
Gunadasa <i>et al.</i> (2017)	Índia	-	-	-	-	69,0%	Com areia

Fonte: Carvalho Silva; Prat, 2020, p.38

Aspectos-chave para o funcionamento dos dispositivos

Segundo Odesola e Onyebuchi (2009), os aspectos-chave para a melhoria da eficiência de arrefecimento dos sistemas *Pot in Pot* são: a UR, temperatura, movimento do ar e a área de superfície.

A UR do ar influencia de forma significativa o funcionamento dos dispositivos, segundo Abreu, Abreu e Mazzuco (1999) quanto menor a UR maior será a absorção do ar, ou seja, quanto mais seco for o ar maior será a evaporação da água. Conforme pode-se observar no APÊNDICE B, o mesmo pôde ser verificado no experimento realizado, as melhores eficiências foram obtidas nos horários com menores valores de UR.

As maiores temperaturas favorecem a evaporação da água, deste modo, espaços com temperaturas elevadas serão propícios para o resfriamento evaporativo (ODESOLA; ONYEBUCHI, 2009). Conforme verificado, pode-se afirmar que as maiores eficiências foram alcançadas nos horários com maiores temperaturas associadas a baixa umidade relativa do ar.

Sobre o movimento do ar, entende-se como aspecto importante para renovação do ar úmido no local por ar seco, caso não haja ventilação, o ar úmido não será substituído e a taxa de evaporação irá diminuir (ODESOLA; ONYEBUCHI, 2009). Na referida pesquisa não foi avaliada a influência deste aspecto em relação a eficiência dos equipamentos analisados.

Segundo Carvalho Silva e Prat (2020) a evaporação é influenciada diretamente pela área de superfície, para esses autores: *"quanto maior for a área de superfície a partir do qual a água pode evaporar, maior será a taxa de evaporação, ou seja, quanto maior a área de contato com o ar que circunda, melhor será o resfriamento neste local"* (p.36). Esse foi o aspecto-chave de maior relevância deste estudo, pois o aumento da porosidade da superfície externa do vaso maior, por meio do lixamento, colaborou de forma significativa para o bom funcionamento do sistema, como pode ser comprovado pelos resultados extraídos na Tab. 5.

5 CONCLUSÃO

A partir dos ensaios realizados é possível concluir que:

- 1) O ar se resfria mais rápido do que o mesmo volume de água, este é o provável motivo para que o dispositivo, vaso com água, ter a menor eficiência de arrefecimento em relação aos demais experimentos.
- 2) Foi possível reproduzir os experimentos seguindo a técnica *Pot in Pot*. Os dispositivos tiveram eficiência semelhante a outras pesquisas desenvolvidas sobre o mesmo tema.
- 3) O lixamento da área externa do vaso maior colaborou de forma significativa para o bom funcionamento do sistema 3, vaso lixado, sendo o experimento com a segunda maior taxa de eficiência de arrefecimento.
- 4) O sistema 4, dispositivo com quatro tomates no interior do compartimento, foi o experimento com a maior taxa de eficiência de arrefecimento, provavelmente esse fato ocorreu devido alta taxa de transpiração dos tomates, que representa a perda de água, este fato fez com que aumentasse o processo do resfriamento no interior do dispositivo.

Esta pesquisa investigou o aprimoramento do dispositivo por meio da avaliação dos aspectos-chave que melhoram sua eficiência de resfriamento, e buscou a popularização de uma solução simples de geladeira de baixo custo, que dispensa o uso energia elétrica. A ideia central desta pesquisa foi a aplicação de uma técnica a serviço da população em situação de vulnerabilidade socioeconômica, assim como divulgação e do aprimoramento do referido experimento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EFE: Mais de 800 milhões de pessoas no mundo não têm acesso a energia elétrica, diz Banco Mundial. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/05/22/mais-de-800-milhoes-de-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-a-energia-eletrica-diz-banco-mundial.ghtml>>. Acesso em: 21 abr. 2020.

APLICATIVO AGAISPSICRO: Propriedades psicrométricas do ar, AgaisPsicro. Disponível em: <http://agais.com/?pg=toolbox/spreadsheet_psicrometria>. Acesso em: 21 abr. 2020.

BARROS FILHO, Jomar; BOMBATI, Tainá. A. Vedovello; BORTOLOTTI, João Alexandre; CAVALHIERI, Lauro; VERASZTO, Estéfano Vizconde; CAMARGO, José Tarcísio Franco de. Geladeira do deserto: uma iniciação científica forjada nas aulas de termodinâmica de um curso de engenharia ambiental. In: *Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, Blumenau, SC, 2011.

BASEDIYA, A. L.; SAMUEL, D. V. K.; BEERA, V. Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - A review. *Journal of Food Science and Technology*, v. 50, n. 3, p. 429–442, 2013.

CARVALHO SILVA, Francisco Tiago; PRAT, Bernat Vinolas. Sistemas de refrigeração sem utilização de energia elétrica: Uma análise da produção científica sobre dispositivos *pot in pot*. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, ano 5, ed. 05, v. 05, p. 21-42, 2020. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/sistemas-de-refrigeracao>>. Acesso em: 01 jun. 2020.

DADHICH, Sushmita Mukherjee; DADHICH, Hemant; VERMA, RadhaCharan. Comparative study on storage of fruits and vegetables in evaporative cool chamber and in ambient. *International Journal of Food Engineering*, v. 4, n. 1, 2008. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1147>

DE ABREU, Paulo Giovanni; ABREU, Valéria Maria Nascimento; MAZZUCO, Helenice. Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte. *Embrapa Suínos e Aves-Documentos (INFOTECA-E)*, 1999. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/437183>>. Acesso em: 23 set. 2019.

FALAYI, Folayan Richard; JONGBO, Ayoola O. Development of metal-in-wall evaporative cooling system for storing perishable agricultural produce in a tropical environment. *Journal of Agricultural Engineering and Technology (JAET) editorial board*, p. 35, 2011. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/320547519>>. Acesso em 23 set. 2019.

GUIMARÃES, Mariane. Silva; SILVA, Lídia Alla; DIAS, Patrícia Sardinha; GOMES, Raphaela Christina Costa. Novo modelo de alvenaria visando o resfriamento do ambiente Interno. *Revista Mirante*, v. 10, n. 2, p. 108–118, 2017. Disponível em: <<https://www.revista.ueg.br/index.php/mirante/article/view/6413/4393>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

GUNADASA, H. L. C.; AWANTHI, M. G.; RUPASINGHE, C. Utilization of different plant based waste materials as alternatives to sand in zeer pot refrigerator. *Journal of Engineering Research and General Science*, v. 5, n. 2, p. 1–10, 2017. Disponível em: <<http://pnrsolution.org/Datacenter/Vol5/Issue2/25.pdf>>. Acesso em 23 set. 2019.

GUSTAFSSON, Katarina; SIMSON, Hanna. An experimental study on an evaporative cooler for hot rural areas. *KTH School of Industrial Engineering and Management*, 2016. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:952001/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em 20 mar. 2020.

MÜRMAN, L.; MALLMANN, C. A.; DILKIN, P. Temperaturas de armazenamento de alimentos em estabelecimentos comerciais na cidade de Santa Maria, RS. *Acta Scientiae Veterinariae*, v. 33, n. 3, p. 309, 2005.

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*. v.10, n.2, p. 935-941, 2009. Disponível em: <<http://www.akamaiuniversity.us/PJST.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

OGLE, G. D.; ABDULLAH, M.; MASON, D.; JANUSZEWSKI, A. S.; BESANÇON, S. Insulin storage in hot climates without refrigeration: temperature reduction efficacy of clay pots and other techniques. *Diabetic Medicine*, v. 33, n. 11, p. 1544–1553, 2016. <https://doi.org/10.1111/dme.13194>

WIEDENHEFDT, C. R.; AFONSO, C. R.; Souza, É. C.; SELBACH, D. J.; FREYGANG, C. C. Geladeira sem eletricidade. In: *Anais do Salão de Ensino, Pesquisa e Extensão do IFRS Campus Canoas*, 2013. Disponível em: <<http://anaissaloes.canoas.ifrs.edu.br/index.php/enpex/article/view/171>>. Acesso em 23 set. 2019.

YAHAYA, Suleiman A., AKANDE, Kareem A., RAJI, Aisha O., Abdulrahman, Kamardeen O., Enagi, Ibrahim I. Effect of Set-Up Heights on the Performance of Pot-In-Pot Cooling System for Storing Food and Drugs at Ambient Temperature. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, v. 4, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.46792/fuoyejet.v4i1.322>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o relevante impacto socioambiental desta tecnologia para alguns países, e considerando ainda que esses países apresentam condições análogas às brasileiras, no que se refere às condições climáticas e à parcela da população que ainda não possui acesso ao fornecimento de energia elétrica em suas residências, é relevante desenvolver pesquisas que possibilitem produção de conhecimento, a fim de replicar a tecnologia aqui no Brasil.

Esta pesquisa buscou a popularização de uma solução simples de geladeira de baixo custo.

Como contribuição ao campo de estudo, o segundo capítulo deste TCM intitulado: "Sistemas de refrigeração sem utilização de energia elétrica: Uma análise da produção científica sobre dispositivos *Pot in Pot*" foi submetido ao periódico "Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento" e aprovado no mês de maio de 2020. O terceiro capítulo desta dissertação foi submetido ao periódico "Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade" e aceito para publicação no mês de fevereiro de 2021. O primeiro capítulo reajustado será submetido a outros periódicos relacionados ao tema.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- A divulgação o sistema *Pot in Pot* nas regiões de clima quente e seco e a implementação do uso do Sistema *Pot in Pot* para as populações sem acesso a equipamentos de refrigeração.
- Realizar outros testes laboratoriais a fim de obter melhores eficiências do sistema *Pot in Pot*, uma possibilidade de teste é verificar se a mudança da porosidade do vaso externo e a alteração da granulometria da areia melhoram o funcionamento do sistema.
- Verificar a aplicação do dispositivo para conservação de insulina e medicamentos a temperatura ambiente.
- Realizar estudos da produção de potes com argila, variando alguns modelos e adaptando-os à produção de cerâmicas existente na região do Vale do Jequitinhonha.

APÊNDICES

APÊNDICE A – GUIA DE MONTAGEM E USO DA GELADEIRA ECOLOGICA



Use o QR CODE e assista um vídeo explicativo sobre **como fazer uma geladeira que não utiliza eletricidade**

https://www.youtube.com/watch?v=1ewOrzglw_Q&feature=youtu.be
(Fonte: Tecmundo)



UFVJM
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri



SASA
Programa de Pós-graduação

POTE NO POTE

Um guia prático do uso e montagem de uma geladeira ecológica

Baseado na dissertação de "OTIMIZAÇÃO DE UM MODELO DE EQUIPAMENTO PARA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS COM UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA POT IN POT" de Francisco Tiago Carvalho Silva, desenvolvida durante o Programa de Mestrado em Saúde, Sociedade e Ambiente da Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri.

2 potes de cerâmica, sendo um grande e um menor, 1 toalha, cola epóxi e areia.



Os vasos podem ser de qualquer formato, desde de que tenha afastamento entre si. A porosidade é importante para o funcionamento do dispositivo, por isso, evite superfícies com tinta ou esmalte.

INICIANDO A MONTAGEM

1º) Caso o vaso tenha algum furo, tampe com um pedaço de cola epoxi



2º) Depois de tampar os furos, deposite areia no fundo do pote maior até que ele fique nivelado com o pote menor. Ou seja, preencha com areia até que o menor fique paralelo à abertura do pote maior.



3º) Posicione o pote menor no centro do pote maior. Deposite a areia no espaço entre os dois. Não se esqueça de deixar a areia bem comprimida entre os vasos.



4º) Preencha a areia com água. Derrame até que a areia fique encharcada.



5º) Por último, molhe a toalha e cubra o recipiente. O objetivo é conservar a temperatura interna.



ORIENTAÇÕES DE USO

- Os alimentos são depositados no interior do vaso menor.
- Não se esqueça de manter a areia úmida, reponha a água do sistema pelo menos uma vez ao dia, lembre de umedecer a toalha também.
- Se possível, instale a geladeira em locais com sombra e ventilados.
- Devido seu funcionamento ser baseado no resfriamento evaporativo, este dispositivo funciona melhor em regiões com clima quente e com baixa umidade.

(Fonte: Tecmundo)



APÊNDICE B – DADOS DAS EFICIÊNCIAS DOS QUATROS SISTEMAS

Tabela 1 – A comparação das eficiências do vaso com água

1º dia 09/01/2020						
Medição	Horário	Temperatura interna	Temperatura ambiente	Temperatura de bulbo úmido	Umidade relativa	$E = (T_{amb} - T_{in}) / (T_{amb} - T_{bu})$
Nº	(HH:M)	T _{in} (°C)	T _{amb} (°C)	T _{bu} (°C)	UR (%)	E (%)
1	09:40	23,3	25,4	22,21	76	65,8%
2	10:00	23,3	25,5	22,16	75	65,9%
3	10:20	23,1	25,6	22,10	74	71,4%
4	10:40	23,1	25,6	22,10	74	71,4%
5	11:00	22,9	25,7	21,91	72	73,9%
6	11:20	22,7	25,1	21,07	70	59,6%
7	11:40	22,6	25,3	21,25	70	66,7%
8	12:00	22,6	25,4	21,34	70	69,0%
9	12:20	22,6	25,9	21,65	69	77,6%
10	12:40	22,5	26,0	21,59	68	79,4%
11	13:00	22,4	25,6	21,08	67	70,8%
12	13:20	22,3	25,3	20,66	66	64,7%
13	13:40	22,1	25,1	20,48	66	64,9%
14	14:00	22,1	24,6	20,04	66	54,8%
15	14:20	22,1	25,3	20,51	65	66,8%
2º dia 10/01/2020						
16	09:40	22,4	25,7	20,87	65	68,3%
17	10:00	22,4	26,0	20,83	63	69,6%
18	10:20	22,3	26,0	20,51	61	67,4%
19	10:40	22,3	26,0	20,51	61	67,4%
20	11:00	22,3	26,0	20,51	61	67,4%
21	11:20	22,3	25,9	19,96	58	60,6%
22	11:40	22,2	26,2	20,05	57	65,0%
23	12:00	22,2	26,0	20,20	59	65,5%
24	12:20	22,0	25,9	19,80	57	63,9%
25	12:40	21,8	25,9	19,64	56	65,5%
26	13:00	21,7	25,9	19,64	56	67,1%
27	13:20	21,7	26,2	19,89	56	71,3%
28	13:40	21,7	26,2	19,89	56	71,3%
29	14:00	21,7	26,5	19,98	55	73,6%
30	14:20	21,6	26,7	19,99	54	76,0%
3º dia 11/01/2020						
31	09:40	20,7	24,5	18,45	56	62,8%
32	10:00	20,6	23,8	17,85	56	53,8%
33	10:20	20,4	23,8	18,15	58	60,2%
34	10:40	20,2	23,8	18,30	59	65,5%

35	11:00	20,1	24,3	18,73	59	75,4%
36	11:20	20,2	24,5	18,91	59	76,9%
37	11:40	20,2	25,0	18,87	56	78,3%
38	12:00	20,3	25,2	18,89	55	77,7%
39	12:20	20,4	25,2	18,57	53	72,4%
40	12:40	20,4	25,5	18,82	53	76,3%
41	13:00	20,5	25,2	18,57	53	70,9%
42	13:20	20,5	25,2	18,73	54	72,6%
43	13:40	20,5	25,9	19,48	55	84,1%
44	14:00	20,6	25,9	19,32	54	80,5%
45	14:20	20,6	25,9	19,32	54	80,5%
Desvio Padrão				6,73%	Média	69,6%

Tabela 2 – A comparação das eficiências - Vaso vazio

1º dia 13/01/2020						
Medição	Horário	Temperatura interna	Temperatura ambiente	Temperatura de bulbo úmido	Umidade relativa	$E = (T_{amb} - T_{in}) / (T_{amb} - T_{bu})$
Nº	(HH:MM)	T _{in} (°C)	T _{amb} (°C)	T _{bu} (°C)	UR (%)	E (%)
46	09:40	22,9	26,3	20,24	57,60	68,0%
47	10:00	22,9	26,2	20,17	56,70	54,7%
48	10:20	22,5	26,5	19,77	53,70	59,4%
49	10:40	22,1	26,5	19,77	53,70	65,4%
50	11:00	21,9	26,7	19,75	52,60	69,1%
51	11:20	21,7	26,9	20,21	54,30	77,7%
52	11:40	21,5	27,0	19,89	51,90	77,4%
53	12:00	21,5	26,9	19,94	52,70	77,6%
54	12:20	21,6	26,9	20,12	53,80	78,2%
55	12:40	21,6	27,0	20,16	53,50	78,9%
56	13:00	21,7	27,1	20,41	54,50	80,7%
57	13:20	21,8	27,2	20,19	52,70	77,0%
58	13:40	21,8	27,2	20,14	52,40	76,5%
59	14:00	21,8	27,3	19,98	51,00	75,1%
60	14:20	21,8	27,4	20,29	52,30	78,8%
2º dia 14/01/2020						
61	09:40	22,5	26,1	20,60	61,0	65,5%
62	10:00	22,1	25,6	20,17	61,0	64,5%
63	10:20	21,9	25,5	20,16	63,5	67,4%
64	10:40	21,8	25,8	20,48	61,9	75,2%
65	11:00	21,6	25,7	20,58	63,1	80,1%
66	11:20	21,5	26,0	20,30	59,6	78,9%
67	11:40	21,4	26,2	20,63	60,6	86,2%
68	12:00	21,5	26,5	20,65	59,1	85,5%
69	12:20	21,7	26,8	20,89	59,0	86,3%

70	12:40	21,7	26,8	20,84	58,7	85,6%
71	13:00	21,8	27,0	20,95	58,3	86,0%
72	13:20	21,9	27,1	20,94	57,7	84,4%
73	13:40	22,0	27,1	20,92	57,6	82,5%
74	14:00	22,0	27,2	20,94	57,2	83,1%
75	14:20	22,0	27,3	20,91	56,5	82,9%
3º dia 15/01/2020						
76	09:40	22,0	23,8	21,39	81,0	74,7%
77	10:00	21,9	23,8	21,13	79,0	71,2%
78	10:20	21,7	23,6	20,82	78,1	68,3%
79	10:40	21,7	23,6	20,75	77,6	66,7%
80	11:00	21,6	23,8	20,80	76,6	73,3%
81	11:20	21,5	24,2	20,80	73,9	79,4%
82	11:40	21,6	24,9	21,09	71,4	86,6%
83	12:00	21,7	25,2	21,22	70,4	87,9%
84	12:20	21,7	25,4	21,22	69,2	88,5%
85	12:40	21,8	25,5	21,37	69,6	89,6%
86	13:00	21,8	25,6	21,38	69,0	90,0%
87	13:20	21,9	25,7	21,45	68,9	89,4%
88	13:40	22	25,8	21,57	69,1	89,8%
89	14:00	22	25,7	21,32	68	84,5%
90	14:20	21,9	25,1	20,94	69,1	76,9%
Desvio Padrão				8,68%	Média Geral	77,9%

Tabela 3 – A comparação das eficiências do Vaso lixado

1º dia 13/01/2020						
Medição	Horário	Temperatura interna	Temperatura ambiente	Temperatura de bulbo úmida	Umidade relativa	$E = (T_{amb} - T_{in}) / (T_{amb} - T_{bu})$
Nº	(HH:MM)	T _{in} (°C)	T _{amb} (°C)	T _{bu} (°C)	UR (%)	E (%)
91	09:40	21,3	23,3	20,57	78,3	73,3%
92	10:00	21,3	22,9	20,27	78,9	60,8%
93	10:20	21,2	22,5	20,06	80,2	53,3%
94	10:40	21,0	22,6	20,58	83,5	79,2%
95	11:00	20,9	22,6	20,70	84,4	89,5%
96	11:20	20,7	22,2	20,15	83,1	73,2%
97	11:40	20,7	22,8	20,46	81,1	89,7%
98	12:00	20,7	23,3	20,62	78,7	97,0%
99	12:20	20,7	23,5	20,65	77,5	98,2%
100	12:40	20,8	23,6	20,82	78,1	100,7%
101	13:00	20,8	23,7	20,82	77,4	100,7%
102	13:20	20,9	23,8	20,88	77,2	99,3%
103	13:40	20,9	23,8	20,95	77,7	101,8%
104	14:00	21,0	23,9	20,96	77,1	98,6%
105	14:20	21,0	24,0	20,95	76,3	98,4%

2º dia 19/01/2020						
106	09:40	20,7	22,7	20,10	79,0	76,9%
107	10:00	20,7	22,8	20,07	78,1	76,9%
108	10:20	20,7	22,9	20,09	77,5	78,3%
109	10:40	20,7	23,0	20,13	77,1	80,1%
110	11:00	20,7	22,8	20,32	80,0	84,7%
111	11:20	20,7	23,0	20,30	78,4	85,2%
112	11:40	20,7	23,2	20,37	77,5	88,3%
113	12:00	20,7	23,3	20,38	76,9	89,0%
114	12:20	20,8	23,4	20,45	76,7	88,1%
115	12:40	20,8	23,5	20,48	77,0	89,4%
116	13:00	20,8	23,5	20,42	75,8	87,7%
117	13:20	20,8	23,6	20,55	76,1	91,8%
118	13:40	20,9	23,6	20,46	75,4	86,0%
119	14:00	20,9	23,7	20,66	76,2	92,1%
120	14:20	21,0	23,7	20,59	75,7	86,8%
3º dia 20/01/2020						
121	09:40	20,5	22,9	20,51	80,7	100,4%
122	10:00	20,5	23,0	20,42	79,3	96,9%
123	10:20	20,6	23,1	20,29	77,6	89,0%
124	10:40	20,6	23,2	20,22	76,4	87,2%
125	11:00	20,7	23,3	20,31	76,4	87,0%
126	11:20	20,7	23,4	20,34	75,9	88,2%
127	11:40	20,7	23,5	20,31	75,0	87,8%
128	12:00	20,7	23,6	20,41	75,1	90,9%
129	12:20	20,8	23,7	20,41	74,4	88,1%
130	12:40	20,8	23,7	20,40	74,3	87,9%
131	13:00	20,8	23,8	20,52	74,5	91,5%
132	13:20	20,9	23,9	20,55	74,1	89,6%
133	13:40	20,9	24,0	20,63	74,0	92,0%
134	14:00	21,0	23,9	20,65	74,8	89,2%
135	14:20	21,0	23,9	20,96	77,1	98,6%
			Desvio Padrão	9,95%	Média Geral	88,0%

Tabela 4 – A comparação das eficiências do Vaso lixado carregado

1º dia 12/01/2021						
Medição	Horário	Temperatura interna	Temperatura ambiente	Temperatura de bulbo	Umidade relativa	$E = (T_{amb} - T_{in}) / (T_{amb} - T_{bu})$
Nº	(HH:MM)	T _{in} (°C)	T _{amb} (°C)	T _{bu} (°C)	UR (%)	E (%)
136	09:40	21,3	22,7	20,75	84,1	71,8%
137	10:00	21,2	22,7	20,72	83,8	75,8%
138	10:20	21,1	22,8	20,80	83,7	85,0%
139	10:40	21,1	22,9	20,89	83,7	89,6%
140	11:00	21,1	22,9	20,88	83,6	89,1%

141	11:20	21	23	20,91	83,1	95,7%	
142	11:40	21	23	20,72	81,6	87,7%	
143	12:00	20,9	23,1	20,79	81,4	95,2%	
144	12:20	20,9	23,2	20,79	80,7	95,4%	
145	12:40	20,9	23,3	20,79	80	95,6%	
146	13:00	20,9	23,4	20,94	80,4	101,6%	
147	13:20	20,9	23,5	20,90	79,4	100,0%	
148	13:40	20,9	23,5	20,89	79,3	99,6%	
149	14:00	20,9	23,6	21,01	79,5	104,2%	
150	14:20	20,9	23,7	21,06	79,2	106,1%	
2º dia 13/01/2021							
151	09:40	20,3	22,2	19,80	80,3	79,2%	
152	10:00	20,2	22,4	19,92	79,8	88,7%	
153	10:20	20,2	22,5	19,96	79,4	90,6%	
154	10:40	20,2	22,7	20,10	79	96,2%	
155	11:00	20,2	22,7	20,01	78,3	92,9%	
156	11:20	20,1	23	20,23	77,9	104,7%	
157	11:40	20,1	23	20,11	77	100,3%	
158	12:00	20,1	23,1	20,22	77,1	104,2%	
159	12:20	20,2	23,2	20,26	76,7	102,0%	
160	12:40	20,2	23,2	20,25	76,6	101,7%	
161	13:00	20,2	23,3	20,34	76,6	104,7%	
162	13:20	20,2	23,3	20,30	76,3	103,3%	
163	13:40	20,2	23,4	20,36	76,1	105,3%	
164	14:00	20,2	23,4	20,32	75,8	103,9%	
165	14:20	20,3	23,5	20,51	76,5	107,0%	
3º dia 14/01/2021							
166	09:40	19,6	22,2	19,53	78,2	97,4%	
167	10:00	19,6	22,2	19,53	78,2	97,4%	
168	10:20	19,6	22,2	19,50	78	96,3%	
169	10:40	19,6	22,4	19,69	78	103,3%	
170	11:00	19,6	22,4	19,66	77,8	102,2%	
171	11:20	19,6	22,6	19,75	77,1	105,3%	
172	11:40	19,6	22,6	19,77	77,2	106,0%	
173	12:00	19,6	22,6	19,75	77,1	105,3%	
174	12:20	19,7	22,7	19,90	77,5	107,1%	
175	12:40	19,7	22,8	19,80	76	103,3%	
176	13:00	19,7	22,9	19,86	75,8	105,3%	
177	13:20	19,7	22,9	19,79	75,3	102,9%	
178	13:40	19,7	23	19,94	75,7	107,8%	
179	14:00	19,8	23,1	19,91	74,8	103,4%	
180	14:20	19,8	23,1	19,94	75,0	104,4%	
				Desvio Padrão	8,55%	Média Geral	98,3%


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados

ANEXOS

ANEXO A – PUBLICAÇÃO DO CAPÍTULO 2 NA REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO CONHECIMENTO

English Español Français Italiano Deutsch Русский ISSN 2448-0959

[Q](#) [f](#) [@](#) [in](#) [e](#) [r](#) [t](#) [t](#) [v](#)



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL
NÚCLEO DO CONHECIMENTO

ISSN: 2448-0959
SUFIXO DOI: 10.32749

}

Revista indexada
Alto impacto

**ENVIE SEU MATERIAL
PARA AVALIAÇÃO**

HOME A REVISTA CURSO PRÁTICO BLOG NORMAS PARA PUBLICAR ENVIAR ARTIGO CONTATO

Início > Engenharia Elétrica > Sistemas de refrigeração sem utilização de energia elétrica: Uma análise da produção...

Engenharia Elétrica

SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO SEM UTILIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE DISPOSITIVOS POT IN POT

Por **Francisco Tiago Carvalho Silva** - RC: 50489 - 28/05/2020 👁 260 🗨 0

DOI: ESTE ARTIGO AINDA NÃO POSSUI DOI [SOLICITAR AGORA!](#)

PDF

★ ★ ★ ★ ★ Rate this post

ARTIGO DE REVISÃO

SILVA, Francisco Tiago Carvalho ^[1], PRAT, Bernat Vinolas ^[2]

SILVA, Francisco Tiago Carvalho. PRAT, Bernat Vinolas. **Sistemas de refrigeração sem utilização de energia elétrica: Uma análise da produção científica sobre dispositivos pot in pot**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 05, Vol. 05, pp. 21-42. Maio de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/sistemas-de-refrigeracao>

Contents [hide]

RESUMO

1. INTRODUÇÃO
2. ASPECTOS TEÓRICOS
 - 2.1 HISTÓRIA DO POT IN POT
 - 2.2 RESFRIAMENTO EVAPORATIVO
 - 2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Search

CONSULTE POR CATEGORIA:

Selecionar categoria

Este anúncio ajuda a manter a educação gratuita

Anúncio fechado pela **crteol**.

Denunciar este anúncio

Ad choices

CADASTRE-SE !!
 Receba Artigos Científicos no E-mail!

Vamos Compartilhar?

f

@

t

ANEXO B – APROVAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DO CAPÍTULO 3 NA REVISTA BRASILEIRA DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

08/02/2021 Gmail - Submissão artigo - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO SEM USO DE ENERGIA: EXPERIMEN...



Tiago Carvalho <tiago.carvalho.sasa@gmail.com>

Submissão artigo - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO SEM USO DE ENERGIA: EXPERIMENTOS A PARTIR DO SISTEMA POT IN POT

Bernat Vinolas <bernatvinolasprat@gmail.com>

28 de janeiro de 2021 09:24

Para: Tiago Carvalho <tiago.carvalho.sasa@gmail.com>, Tiago Carvalho <tiago.carvalho@ufvjm.edu.br>, Tiago Carvalho <tiagoelétrica.moc@gmail.com>

----- Forwarded message -----

De: Editor Rbgas <editor.rbgas@gmail.com>

Date: qua, 27 de jan de 2021 10:57 PM

Subject: Re: Submissão artigo - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO SEM USO DE ENERGIA: EXPERIMENTOS A PARTIR DO SISTEMA POT IN POT

To: Bernat Vinolas <bernatvinolasprat@gmail.com>

Prezado Dr Bernat,

Agradecemos o envio do manuscrito corrigido.
O artigo foi aceito para publicação e está sendo editado.

Nyelson

Em qui., 21 de jan. de 2021 às 15:25, Bernat Vinolas <bernatvinolasprat@gmail.com> escreveu:

Prezado Nyelson, boa tarde!!

Como solicitado no email anterior. Encaminho novo documento com as seguinte modificações:

1- Devem ser declarados os endereços profissionais de todos os autores.

Feito

2- Um trecho do artigo carece de referência.

Feito

3- A revista não permite nota de rodapé.

Corrigido

4- Referências citadas não foram listadas.

Corrigido

5- A revista não permite a citação cruzada, o apud.

Retiramos o apud citado, pois não encontramos o arquivo do artigo da citação primária e o trecho retirado não irá trazer nenhum prejuízo ao nosso artigo.

Por favor, informe também a abreviatura dos nomes de todos os autores, e não altere a formatação do arquivo.

Nome completo: Francisco Tiago Carvalho Silva

Abreviatura: Carvalho Silva, F. T.

Nome completo: Cleverson Ramon Carvalho Silva

Abreviatura: Carvalho Silva, C. R.

Nome completo: Bernat Vinolas Prat

Abreviatura: Vinolas Prat, B.

Você saberia me informar se o artigo foi aceito pela revista de vocês?

Fico à disposição para qualquer esclarecimento. Atenciosamente,

<https://mail.google.com/mail/u/1/?ik=068dfb61d6&view=pt&search=all&permmsgid=msg-f%3A1690133260662254597&dsqt=1&simpl=msg-f%3A1690...> 1/4