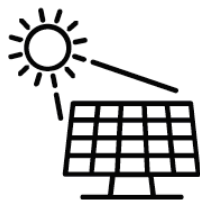




**III Congresso  
Ibero-Americano de  
Empreendedorismo, Energia,  
Ambiente e Tecnologia:  
Livro de atas**

*12 a 14 de julho de 2017*



Instituto Politécnico de Bragança

## DROOd<sup>®</sup>

### Desidratação de fruta e vegetais por ar seco

Joana Fernandes  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a29423@alunos.ipb.pt

Ricardo Lamas  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a27233@alunos.ipb.pt

Anáisa Pinto  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a27715@alunos.ipb.pt

Rúben Martins  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a30307@alunos.ipb.pt

Carlos Oliveira  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a29518@alunos.ipb.pt

Tânia Cerdeira  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a31011@alunos.ipb.pt

Felipe Teixeira  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a26171@alunos.ipb.pt

Tiago Vila Franca  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a30313@alunos.ipb.pt

Pedro Borges  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a29510@alunos.ipb.pt

Tiago Fitas  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a27887@alunos.ipb.pt

Pedro Gouveia  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a29325@alunos.ipb.pt

Luís Frölen Ribeiro  
Departamento de Tecnologia Mecânica  
ESTIG, IPB  
Bragança  
frolen@ipb.pt

**Resumo** — Apresenta-se um equipamento capaz de desidratar alimentos que poderá ser adquirido por pequenos agricultores. A proposta de um equipamento que consegue desidratar os produtos produzidos através de ar seco com uma potência equivalente à de um eletrodoméstico, 1,4 kW, tendo a capacidade de desidratar até 4 kg de frutas ou vegetais. Apresenta-se a simulação do funcionamento do equipamento a secar o equivalente a 23 tomates ou 24 bananas ou 21 laranjas simultaneamente distribuídos em 7 tabuleiros individuais, demorando 10, 8 e 9h, respetivamente, a serem desidratados.

**Palavras-Chave** — Alimentos; ar seco; desidratação.

#### I. INTRODUÇÃO

Portugal é um país em que as pessoas produzem cada vez mais legumes e frutas para consumo próprio, e que muitas vezes essa produção ultrapassa o que cada família consegue consumir, levantando a questão da conservação doméstica atendendo,

contudo à manutenção das características dos produtos produzidos [1].

Para se ter mais ou menos uma noção sobre o mercado que seria abrangido por este equipamento, fez-se uma estimativa e teve-se em conta que Portugal tem cerca de 10 milhões de habitantes, que em cada família existem 3 pessoas com uma horta, cuja maior concentração de hortas é no interior. Considerando que apenas metade das famílias possuem pequenas hortas, obtém-se um valor de aproximadamente 1,7 milhões de pequenas hortas o que poderá equivaler ao valor estimado do mercado de máquinas de ar seco [1].

A conservação de alimentos surgiu com a necessidade de manter os alimentos dentro de todas as normas de qualidade, durante períodos de tempo cada vez mais longos. Para tal, nasceu a indústria e a tecnologia de conservação de alimentos [2].

Os processos de conservação de alimentos são baseados na eliminação total ou parcial dos agentes que alteram os produtos, sejam de natureza biológica (microrganismos), sejam de natureza química (enzimas). Os métodos de conservação consistem na aplicação de alguns princípios físicos ou químicos tais como: o uso de altas e baixas temperaturas, eliminação de água, aplicação de aditivos conservantes, armazenamento em atmosfera controlada, o uso de certas radiações e filtração [3].

Devido à significativa perda de qualidade observada nas técnicas de conservação convencionais, têm-se vindo a desenvolver técnicas de secagem mais avançadas. Estas técnicas podem ser utilizadas isoladas ou combinadas com outros métodos de secagem [4].

Uma das técnicas de conservação de alimentos é a liofilização que consiste na secagem de alimentos removendo a água através da sublimação. Esta técnica ocorre quando o alimento congelado, isto é, quando toda a água que constitui o alimento está sob a forma de gelo, é submetido a condições de pressões muito baixas. O alimento é colocado em câmaras herméticas e o ar que está dentro da câmara é removido através de bombas de vácuo, criando condições para que ocorra a sublimação da água. A água passa do estado sólido para o gasoso a temperaturas muito baixas e sem a presença de oxigénio. A desvantagem desta técnica é o fator económico, visto ser um processo bastante caro [5]. Na Figura 1 é possível observar o processo de liofilização. Pois baixando a temperatura, a uma pressão constante, a água presente nos alimentos vai solidificar. Seguidamente, baixa-se a pressão, mantendo-se a temperatura constante, e vai passar do estado sólido para o estado gasoso.

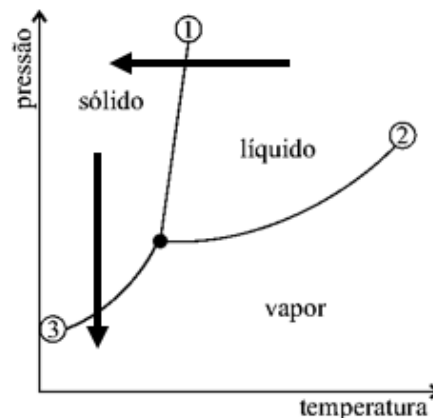


Figura 1 – Diagrama de Estados com as Etapas da Liofilização [6]

Está a tentar-se experimentar uma nova técnica que é a secagem por ar seco frio. Esta técnica consiste em fazer circular ar seco dentro da câmara hermética fazendo com que a água presente nos alimentos seja transferida para o ar devido à diferença de concentração de água entre o alimento e o ar. Esta técnica é indicada para produtos como as proteínas e vitaminas, uma vez que, conserva as propriedades nutritivas, pois a membrana celular não rompe com a perda do vapor de água. Esta técnica comparando com a liofilização, a nível de alimentos, obtém-se o mesmo resultado, a diferença é o fator económico, visto que, esta técnica é muito mais barata [5].

Como se pode verificar na Figura 2, quando secamos estamos a deslocar para a esquerda, na horizontal, até a humidade relativa ser 100% (condensa). Caso se tenha uma temperatura ambiente de 25°C e uma humidade relativa de 60%, ao baixar-se a temperatura para 10°C a quantidade de água reduz de 12 gH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> para 5 gH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>, sendo retirados 7 gH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>.

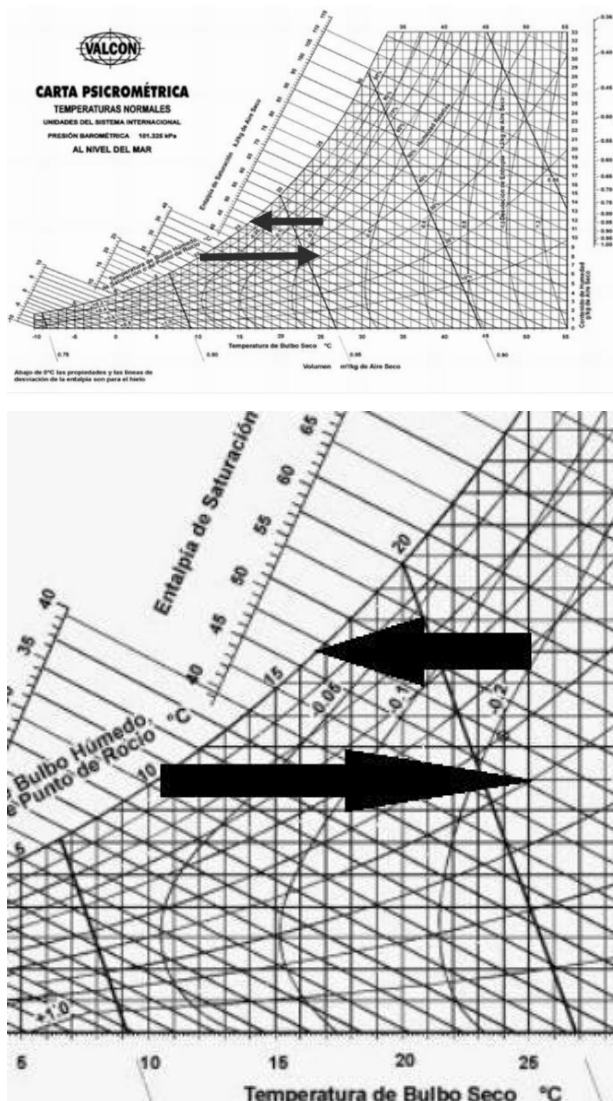


Figura 2 - Carta Psicrométrica. Estão Representados Pontos Exemplificativos do Funcionamento da Máquina [7]

## II. MODELO MATEMÁTICO

Ao longo deste estudo foram tidos em conta vários parâmetros. Sendo projetado para pequenos agricultores, pretende-se um eletrodoméstico com boa estética, de fácil arrumação e um preço acessível.

A estrutura física do equipamento é composta por 7 tabuleiros com 290 mm de diâmetro.

Tendo em conta que um tomate médio tem cerca de 8 cm de diâmetro [7] é possível colocar 13 rodela de tomate em cada tabuleiro. Havendo 7 tabuleiros consegue-se desidratar 23

tomates de cada vez, isto, se cada rodela de tomate for cortada anteriormente com 2 cm de espessura.

Foi feita uma aproximação do problema a um modelo físico para calcular a transferência de massa entre um fluido em movimento e uma superfície estacionária. Considerou-se o modelo de transferência de massa por convecção numa placa plana, tratando-se apenas de uma primeira aproximação, pois neste modelo o fluido em movimento desloca-se paralelamente à superfície estacionária. A seguinte equação (1) permite calcular a taxa dessa transferência:

$$W_A = A \times \bar{K}_c \times (C_{AS} - C_{A\infty}) \quad (1)$$

A equação (1), relaciona a área da superfície plana  $A$  (tomates laminados) com o coeficiente de transferência de massa por convecção,  $K_c$  (2), e a diferença entre a concentração de vapor de água à superfície da placa,  $C_{AS}$  (3) e a concentração de vapor de água presente no ar,  $C_{A\infty}$ , sendo que, a concentração de vapor de água no ar seco é 0.

$$\bar{K}_c = \frac{\int_A k_{cx} dA}{\int_A dA} \quad (2)$$

$$C_{AS} = \frac{P_A^*}{RT} \quad (3)$$

A taxa de transferência de massa por convecção calculada foi de 0,0145 g/s. Sabendo que, 94% da massa do tomate é água, valor consultado em tabelas termodinâmicas, é possível desidratá-los em 2 dias e 14 horas. Na Figura 3, pode-se observar a relação entre a taxa de transferência de massa com o tempo, podendo-se concluir que ao fim de 10h a quantidade de água é residual, não se justificando continuar com a desidratação.

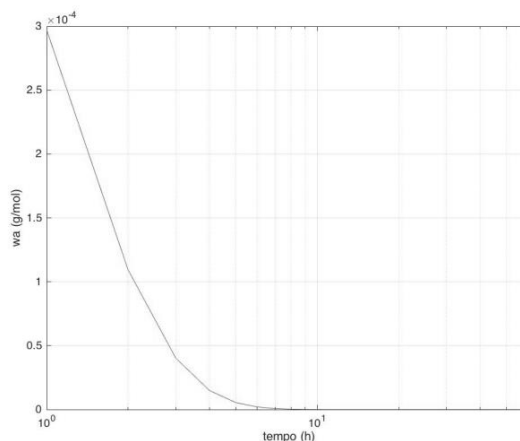


Figura 3 - Evolução da Desidratação dos Tomates ao Longo do Tempo.

Foi calculado para mais dois frutos o tempo de desidratação. Para o calculo destes frutos utilizou-se o mesmo método que para os tomates. Esses tempos e frutos podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Taxa de humidade e tempo de desidratação

Alimentos	Nº de Alimentos na Droid	Taxa de Humidade (%)	Tempo de Desidratação (h)
Tomates	23	94	10
Banana	24	75	8
Laranjas	21	87	9

Para se calcular a capacidade de refrigeração necessária aplicou-se a seguinte equação (4):

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_1 - T_2) + \dot{m}(\Delta H) \quad (4)$$

$$\dot{v} = A \times v \quad (5)$$

Com um caudal volúmico,  $\dot{v}$ , de 0,0176 m<sup>3</sup>/s pode calcular-se o caudal mássico, 0,022 kg/s. Assim sendo, determinou-se que a capacidade é de 900 W. A Potência máxima do equipamento é a soma das potências da equação (4) com 100W do ventilador e 400 W da resistência, que é 1400 W, P<sub>max</sub>.

### III. FUNCIONAMENTO

Este equipamento está a ser desenvolvido para secar alimentos no âmbito doméstico.

Considerou-se que este eletrodoméstico funciona em temperaturas ambiente entre 15 a 25°C. Assim sendo, é necessário que a serpentina fria esteja a cerca de 10°C para ocorrer condensação. Para fazer circular o ar é utilizado um ventilador capaz de o fazer circular a uma velocidade 0.8m/s.

O sistema funciona em circuito fechado. O ar presente na câmara é forçado a passar por uma serpentina fria, obrigando a água presente no ar a condensar, escorrendo para uma gaveta. Através da sucção criada pelo ventilador o ar é obrigado a subir e a atravessar por uma resistência quente. Voltando a aquecer até à temperatura ambiente e atravessar os alimentos. Uma vez que, o ar contém menor percentagem de humidade relativa, vai ocorrer transferência da água presente nos alimentos para o ar. O ar torna-se húmido novamente, sendo necessário que se repita de novo o ciclo até o alimento estar seco.

Na Figura 4 é possível ver-se o esquema da circulação do ar.

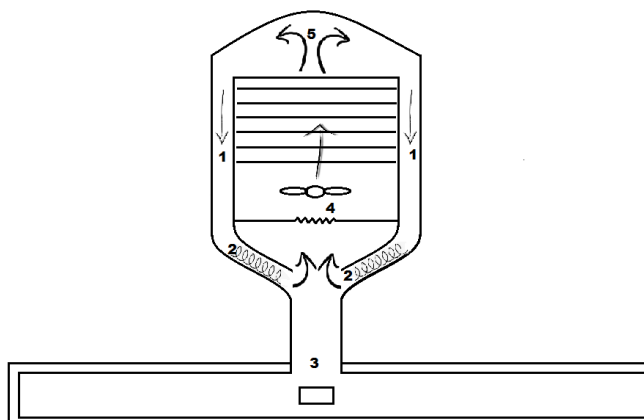


Figura 4 - Esquema de Circulação do Ar. 1 – Entrada de ar na câmara exterior; 2 – Serpentina fria/ condensação; 3 – Condensados; 4 – Aquecimento do ar e ventilação do ar; 5 – Saída de ar da câmara interior.

Este processo será repetido até que a diferença do valor atual medido seja inferior a 0,1% em relação ao anterior.

Na Figura 5 é possível observar o esquema de funcionamento do eletrodoméstico.

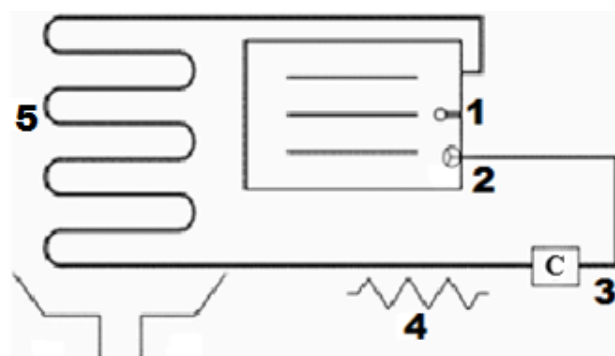


Figura 5 - Esquema de Funcionamento. 1- Sensor de humidade e temperatura; 2 – Ventilador de circulação do ar; 3 – Compressor do gás refrigerante; 4 – Resistência de Aquecimento; 5 - Serpentina Fria.

### IV. ALGORITMO

A fim de ligar a máquina, faz-se um teste para verificar se esta se encontra bem fechada, garantindo que não exista qualquer fuga de ar (não pretendida) durante o seu funcionamento. Assim, por leitura de um sensor de contacto, caso a tampa esteja fechada, um LED vermelho acende, desligando o LED verde. Esta combinação de cores tem como propósito avisar o utilizador que este não deve de abrir a máquina. Seguidamente, o ventilador liga, começando o ar a circular no interior da máquina. É ativado, então, o sensor de humidade e temperatura. Enquanto o valor destes continuar superior a 0,1% , comparativamente ao valor registado anteriormente, a máquina continua ligada, caso o valor seja inferior, o LED vermelho e a ventoinha desligam.

Todo este processo está sumariado no seguinte fluxograma representado na Figura 6.

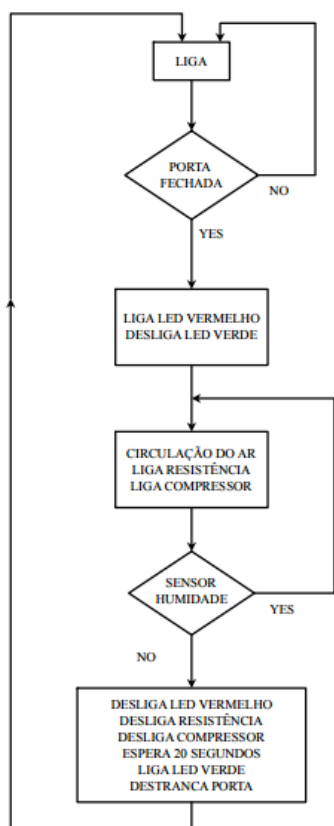


Figura 6 - Fluxograma de Funcionamento

## V. MATERIAL E ESTRUTURA

Foi necessário obter informações sobre a forma mais adequada para o equipamento e o material a utilizar para a construção. Percebeu-se que a melhor forma para a câmara interna era cilíndrica para mitigar a ocorrência de diferentes pressões em pontos distintos da câmara interna e permitir uma circulação mais uniforme de ar. Relativamente ao material a ser utilizado será um plástico termoendurecível, visto a produção em série com conseqüente redução de custos. Este material não está sujeito à corrosão e suporta as temperaturas de operação, é leve e permite um acabamento mais estético

Para a modelação do equipamento foi necessário ter em conta o espaço que os circuitos elétricos iriam ocupar, a forma interior e a exterior. Foi, também, tido em conta que este equipamento é para uso doméstico e que não poderia ser muito grande, teria de ser semelhante, em tamanho, a um forno. Na Figura 7 é possível observar-se o modelo do equipamento.

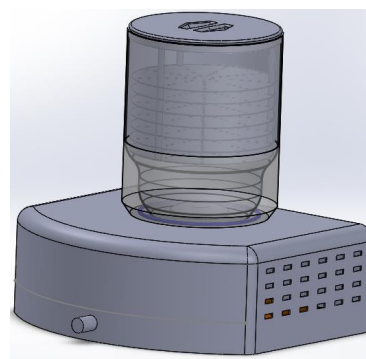


Figura 7 - Desenho 3D do Equipamento

Para uma maior facilidade ao retirar os tabuleiros, estes foram acoplados uns aos outros e à tampa através de varetas. Assim, quando a tampa é aberta e removida (na vertical) o conjunto de tabuleiros sai agarrado a ela. Os tabuleiros possuem pequenas aberturas na sua base, a fim de, facilitar a passagem de ar entre eles, facilitando ainda a absorção de água por parte do ar. A Figura 8 representa a tampa com os respetivos tabuleiros acoplados.

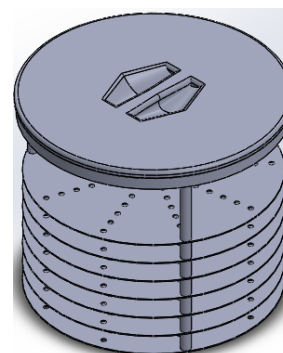


Figura 8 - Esquema de Representativo da Tampa e Tabuleiros

A parede exterior da câmara é feita de vidro para que o utilizador possa observar o processo de secagem do alimento. A toda a volta da base encontram-se pequenas entradas de ar para proporcionar ventilação para o compressor. Nas paredes laterais da base, verifica-se a existência de portas, para que, a manutenção do equipamento seja possível.

Relativamente à tampa do equipamento, esta possui um encaixe simples (que só se encontra realmente vedada após a rotação da mesma em 90 graus no sentido horário). Esta possui ainda uma forma ergonómica para tornar confortável a sua utilização e, ao mesmo tempo, não reduzir o seu propósito prático.

Por fim, a base da estrutura apresenta uma forma retangular com um acabamento (na parte frontal) em meia-lua, de forma a torna-la prática e agradável.

VI. CONCLUSÕES

Apresenta-se uma proposta de modelo de um equipamento doméstico de desidratação de frutas e vegetais com o objetivo de estar presente no quotidiano de uma família. A este equipamento foi-lhe atribuído o nome de Drood, pois é a junção de *Dry* e *Food* (inglês), que em português significa alimento seco.

Este equipamento realiza o seu ciclo de trabalho em 12 horas e tem uma potência de 1400W.

Devido ao facto de ser produzida com materiais de baixo custo, contudo, eficientes, o seu preço será reduzido, o que favorece a implementação da máquina no dia-a-dia. O seu preço rondará os 200€. As suas dimensões reduzidas permitem a sua incorporação em qualquer ambiente que o consumidor pretenda, como, por exemplo, numa cozinha.

A baixa velocidade de circulação do ar, não causa incómodo para o utilizador e garante que os alimentos não percam as suas qualidades.

Por outro lado, possui uma fácil interação entre o utilizador e a máquina, garantindo a segurança do utilizador e um simples manuseamento.

Por último, este equipamento traz benefícios ao consumidor, uma vez que, consegue conservar os alimentos durante um longo período de tempo, permitindo, assim, que não haja desperdício dos alimentos produzidos, e que o consumidor consiga comer alimentos com qualidade durante todo o ano, fora da época de colheita.

REFERÊNCIAS

- [1] "PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo," Fundação Francisco Manuel Dos Santos, [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Portugal>. [Acedido em 15 Maio 2017].
- [2] A. Freitas e P. Figueiredo, *Conservação de Alimentos*, Lisboa, 2000.
- [3] R. Lopes, "Conservação de alimentos," 2007.
- [4] S. R. D. a. V. G. Raghavan, "Advancements in Drying Techniques for Food, Fiber, and Fuel," Taylor & Francis Group, Canada, 2012.
- [5] H. Terroni, J. D. Jesus, L. Artuzo, L. Ventura e R. Santos, "Liofilização," *Revista Científica Unilago*.
- [6] "Química e Vestibular," [Online]. Available: <http://quimicaevestibular.com.br/caderno-bom/lista-de-exercicios-1-parte-2/>. [Acedido em 15 Maio 2017].
- [7] S. Ferreira, R. Freitas e E. Lazzari, "Padrão de Identidade e Qualidade do tomate de mesa," *Ciência Rural*, vol. 34, 2004.