

Adaptação, instrumentação, simulação e ensaio de uma secadora para macroalga *Kappaphycus alvarezii*

Tiago José Griebeler Carvalho¹, Alberto Kazushi Nagaoka².

¹ - Acadêmico do curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina. Email: tiago.carva@hotmail.com

² - Professor Adjunto, Depto de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Rod. Admar Gonzaga, 1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.

Resumo

A *Kappaphycus alvarezii* (Doty) vem sendo produzida e testada das mais variadas formas, por ser uma excelente produtora de carragenana. Este trabalho teve como objetivo avaliar os parâmetros de secagem de algas do gênero *Kappaphycus*, para atingir o padrão comercial de 30% de umidade no menor tempo e consumo de energia possível.

. Uma simulação com pacotes de tecido e um ensaio com as algas do gênero *Kappaphycus* foram realizados. A simulação e o ensaio consistiram na adaptação estrutural de uma secadora de roupas para haver a variação da renovação do ar mantendo o fluxo total. Em ambos os casos, foram avaliados o peso a cada 30 minutos das amostras, para obter a umidade e o consumo de energia elétrica. Os resultados indicaram haver influência da renovação do ar de secagem, bem como a posição das amostras dentro da secadora. Houve menor consumo elétrico para secagem total da alga a 60°C em relação a secagem a 30°C.

Palavras chave: Fluxo de ar, pós-colheita de macroalgas, processamento de algas.

Adaptation, Instrumentation, Simulation and Testing of a dryer for macroalgae *Kappaphycus alvarezii*

Abstract

This study aimed to evaluate the parameters of the drying algae of the genus *Kappaphycus*, depending on the renovation of the drying air and drying time within an adapted dryer. A simulation using tissue packages and a test with algae of the genus *Kappaphycus* was made. The simulation and tests were based on the structural adaptation of a clothes dryer to promote variation of fresh air, keeping

the total flow. In these tests the samples weight was checked every 30 minutes to calculate the humidity and the electric consumption. Results indicate that there is influence at the drying recirculation at the and at the position within the dryer. There was also a lower overall power consumption for drying seaweed for treatment at 60°C compared to 30°C.

Key words: Air flow, Post-harvest macroalgae, processing seaweed.

Introdução

A *Kappaphycus alvarezii* (Doty) vem sendo produzida e testada das mais variadas formas, por ser uma excelente produtora de carragenana. A carragenana é um ficocolóide proveniente de algas, que é muito utilizado em inúmeras indústrias como a alimentícia, cosmética e farmacológica, e é extraído das algas vermelhas como a *Kappaphycus*, *Eucheuma*, *Chondrus*, *Iridaea*, *Hypnea*, *Gigartina*, etc (BINDU, 2011). A *Kappaphycus* chamou atenção pela sua adaptabilidade a novos ambientes e a qualidade da carragenana extraída (BINDU, 2011). A produção mundial anual de *Kappaphycus* é de 183 mil toneladas de produto seco, proveniente apenas de cultivos (BIXLER & PORSE, 2011). Como esta alga possui um bom valor agregado, segundo Poeloengasih et al. (2014) o quilograma da alga seca rende entre US\$ 0,31 e US\$1,5 dependendo do ano referência, neste caso respectivamente 2013 e 2008. Esta espécie foi inserida no Brasil em 1998 na baía de Ubatuba-SP (HAYASHI et al., 2011). Em pesquisas científicas realizadas em Florianópolis foram encontrados problemas na aplicação das técnicas de produção originárias das Filipinas para o Brasil, tanto técnicas de cultivo, processos de pós-colheita, e particularmente no processo de secagem (FARIA et al, 2013), que sofre influência das condições climáticas de zonas subtropicais, onde chove muito.

O processo de secagem das algas consiste na redução da umidade para aproximadamente 30-35% e 3 a 5 dias, a sol pleno por 8-9 horas por dia. No entanto este tipo de secagem é extremamente dependente do clima, e gera problemas de contaminação do material(SARBATLY et al. 2010). O principal problema no descontrole da secagem é a perda de qualidade da alga, como a cor e alguns componentes internos (SARBATLY et al. 2010). Revendo as publicações relativas ao tema, apenas foram encontradas dois estudos sobre a cinética de

secagem de algas: SABARTLY et al, (2010) e Faria et al (2013). Ambos os trabalhos fazem referência à redução de tempo de secagem com o aumento de temperatura.

Objetivos

O objetivo deste trabalho foi delimitar parâmetros de secagem de algas do gênero *Kappaphycus*, para atingir o padrão comercial de 30% de umidade no menor tempo e consumo de energia possível.

Metodologia

A secadora adaptada foi constituído a partir da estrutura de uma secadora de roupas marca Enxuta, modelo Master, capacidade de secagem de 4 kg de roupas centrifugadas, potência nominal 1290W/1400W, tensão de 110V/220V (bivolt), corrente nominal de 11/6,5 A, dimensões da câmara de secagem (49 cm x 53 cm x 60 cm)(Figura 1). As alterações realizadas na estrutura da secadora de roupas foram: mudança do duto de recirculação do ar construção de três prateleiras internas de alumínio distanciadas a 190, 350 e 510 mm da entrada de ar de secagem (Figura 1A); instalação de um controlador externo de temperatura marca Ageon modelo G101, de medidor de consumo de energia elétrica Landis+Gyr, modelo E22a com sensibilidade de 0,01KWh e de dois termoanemômetros, um na entrada externa de ar, e outro no duto de recirculação e termo higrômetros, com capacidade para 21mil pontos de coleta de dados, instalados em cinco posições em cada prateleira.

Material de secagem

Nas simulações de secagem foram utilizados pacotes de tecido 100% algodão, tipo morin, medindo 100 mm x 100 mm x1,74 mm, composto de oito camadas de tecido sobrepostas. No ensaio com as macroalgas foi utilizada uma mistura de tetraesporófitos verde e marrom de *Kappaphycus. alvarezii*, proveniente de cultivo da Seção de Macroalgas do Laboratório de Camarões Marinhos da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. As algas foram retiradas do tanque de cultivo e transportadas em caixa térmica para utilização imediata para os experimentos de secagem.

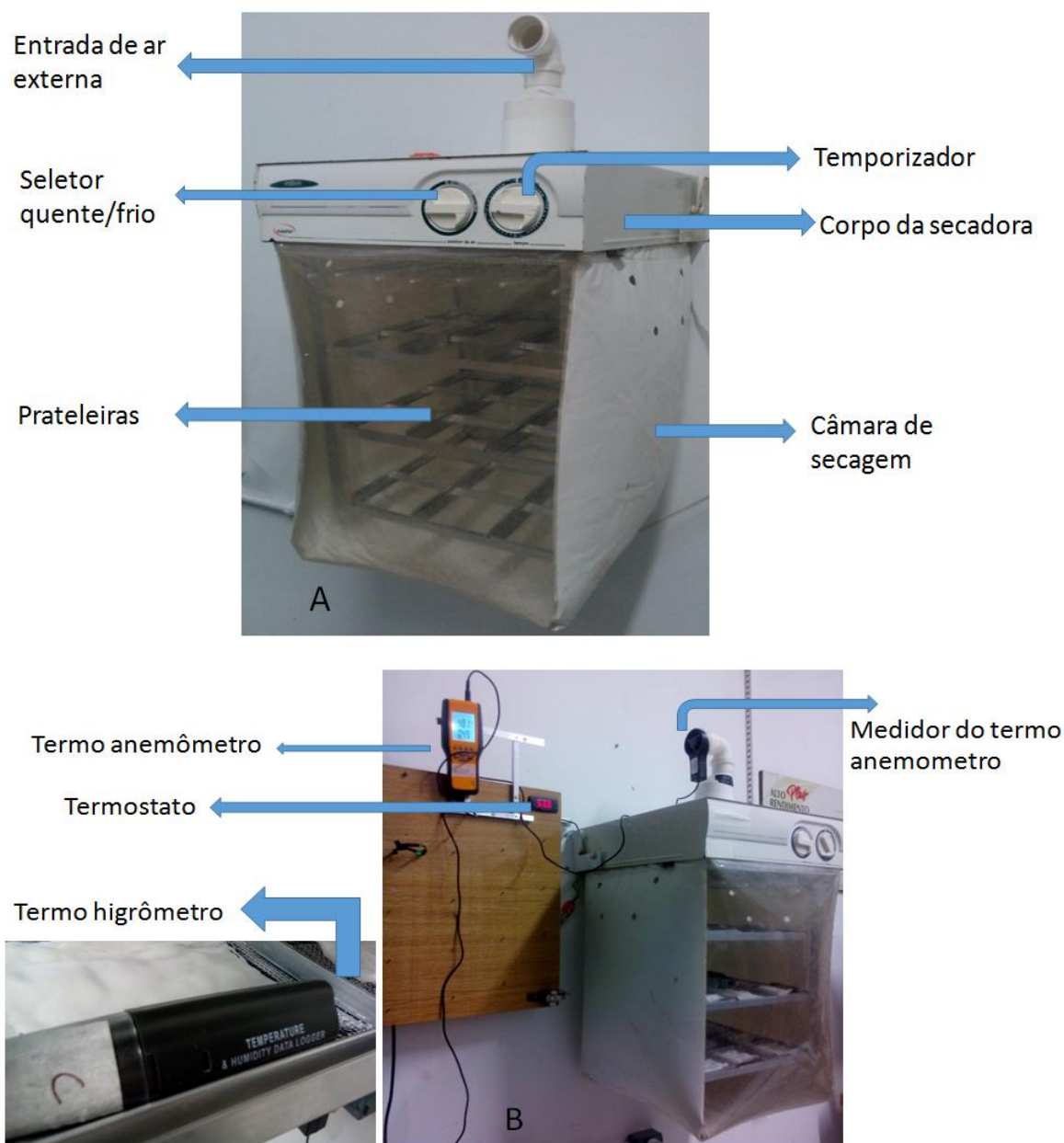


Figura 1: A: Esquema de montagem da secadora adaptada e B esquema da secadora instrumentada para os ensaios

Procedimentos de secagem

A secagem foi realizada utilizando-se velocidade constante de 4m/s na saída do ar de secagem e temperaturas de 30°C e 60°C. As avaliações da umidade e perda de água foram realizadas a cada 30 minutos pela pesagem das amostras até que estas apresentassem peso inferior ao padrão comercial (30% de umidade para algas), e valor restritivo de 2% de umidade para os pacotes de

tecido. Para obter a umidade das amostras, os valores de pesos foram submetidos na equação:

$$\text{Umidade \%}(t) = \frac{\text{Peso da amostra}(g) - \text{Peso da Matéria seca}(g)}{\text{Peso da amostra}(g)} \times 100$$

A matéria seca foi verificada pela secagem em triplicata de amostra de 10g de alga fresca em estufa para esterilização e secagem, marca Olidef, por 24 h a 60°C e após este período, a 105°C por duas horas (HAYASHI et al. 2011). O índice de secagem foi calculado de acordo com a fórmula:

$$\text{Índice de secagem \%}(t) = \frac{NS}{NT} \times 100, \text{ onde:}$$

Em que:

NS - Número de amostras secas;

NT - Número total de amostras para o tratamento,

Também foi medida a energia consumida para cada tratamento, pela leitura do medidor de consumo de energia elétrica.

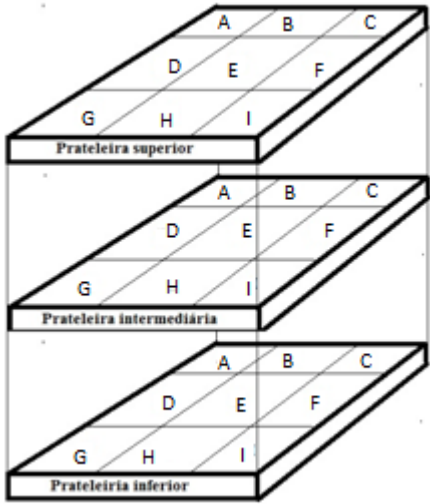
Simulações

- O experimento foi conduzido de forma fatorial (5 x 3 x 9), sendo o primeiro fator a variação na taxa de renovação do ar de secagem na secadora (Figura 2), sendo que o padrão de fábrica da secadora é a taxa de renovação de 55%, o segundo a distância entre as algas e a entrada do ar de secagem da secadora e o terceiro fator a posição dos pacotes de tecidos em cada prateleira conforme a Tabela 1:



Figura 2: Esquema de renovação de ar, e recirculação de ar.

Tabela 1: Fatores avaliados na simulação com pacote de tecido.

Taxa de Renovação de ar	Prateleira	Posição na Prateleira
55%	Superior 190mm	
66%	Centro 350mm	
77%	Inferior 510mm	
88%		
100%		

Ensaio com *Kappaphycus alvarezii*

O ensaio foi realizado com as algas utilizando o melhor resultado obtido nas simulações com pacotes de tecido, de mesma forma que o ensaio foi conduzido em delineamento fatorial, com os seguintes fatores: Constituição da alga, se inteira ou picada e Posição na prateleira (A, B e C), na prateleira superior, localizada a 190mm da fonte de ar de secagem (A, B e C).

As algas inteiras, apenas passaram por processo de lavagem com água corrente, já as algas que foram picadas, além do processo de lavagem, foram picadas em pedaços de 40mm, para então serem colocadas na secadora.

Análise estatística

Todos os testes foram realizados em triplicata. Foi utilizado a ANOVA de duas vias para verificar se houve interações entre os tratamentos usando Unweighted Means - Wilks lambda. Para os testes de separação de média, foi utilizado teste Tukey HSD para grupos homogêneos com probabilidade menor que 5%. O software utilizado foi o Statistica v.10.

Resultados e Discussão

O peso da matéria seca para os pacotes de tecidos, foi de 5,6g. A simulação com os pacotes de tecidos demonstraram que ocorreu diferença na interação entre a taxa de renovação do ar de secagem e a prateleira utilizada, sendo que os tratamentos com a maior renovação (88% e 100%) obtiveram o melhor desempenho na secagem como demonstrado no Apêndice 1. Houve diferença na secagem a partir dos 30 minutos, demonstrando maior perda de água nos tratamentos assinalados com a letra "a". Para tempo de secagem de 60 minutos, todos os tratamentos da prateleira superior estavam diferenciados do restante, exceto para o tratamento 55%. Aos 90 minutos todas as amostras da prateleira superior estão abaixo de 10% de umidade, e não apresentam diferença estatística entre os tratamentos. Já aos 120 minutos apenas o tratamento 55% não estava totalmente seco, ao contrário dos demais tratamentos para esta prateleira.

As curvas de secagem (Figura 3) demonstram as diferenças entre a média das três prateleiras, para cada mistura simulada, assim ficando evidente que, com a redução da recirculação do ar, ocorre a redução no percentual de umidade para o mesmo tempo.

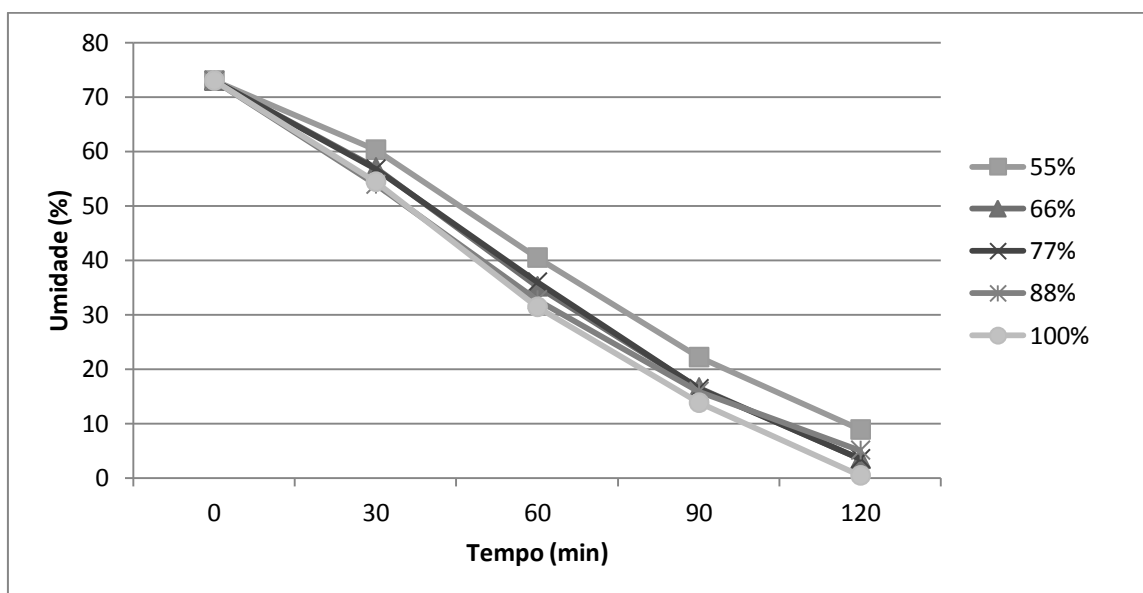


Figura 3: Curva de secagem para cada tratamento de mistura em função do tempo para a simulação com pacote de tecido.

De forma similar o índice de secagem (Figura 4), aponta o tratamento com 100% de taxa de renovação como sendo o que demanda menor tempo para realizar a secagem na maioria das amostras.

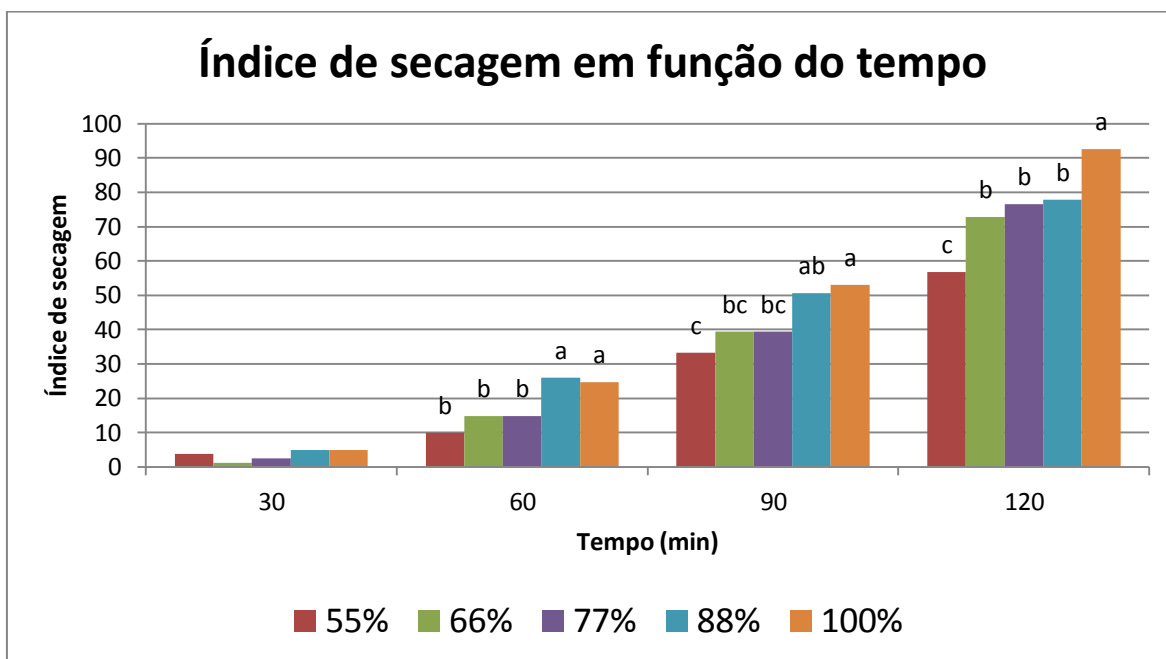


Figura 4: Índice de secagem, número de amostras secas ($U < 2\%$), para o tratamento fluxo em função do tempo (Agrupamentos por tempo, as letras diferentes demonstram diferença estatística. Tukey HSD test; variable Índice secagem para cada tempo Homogenous Groups, $\alpha = 0,05000$ (Non-Exhaustive Search))

O apêndice 2, mostra a interação entre os fatores renovação do ar e as prateleiras para o índice de secagem, demonstrado pelas curvas de secagem, em que houve diferença estatística. A melhor eficiência na secagem ocorreu para o tratamento com maior taxa de renovação de ar e para a prateleira superior, chegando a 100% de amostras secas em 120 minutos, em comparação com amostras da prateleira central, com a configuração de fábrica para a renovação onde apenas 44% das amostras foram consideradas secas.

Ensaio da secadora adaptada para secagem de algas inteiras e picadas

Os cálculos da matéria seca para as algas resultaram em uma média de 10% da matéria fresca.

No que diz respeito a secagem de algas, pode-se observar que há muita semelhança entre as curvas de secagem tanto para as algas picadas, quanto para algas inteiras, tendo maior interferência a posição em que estas estão no secador (Figura 5).

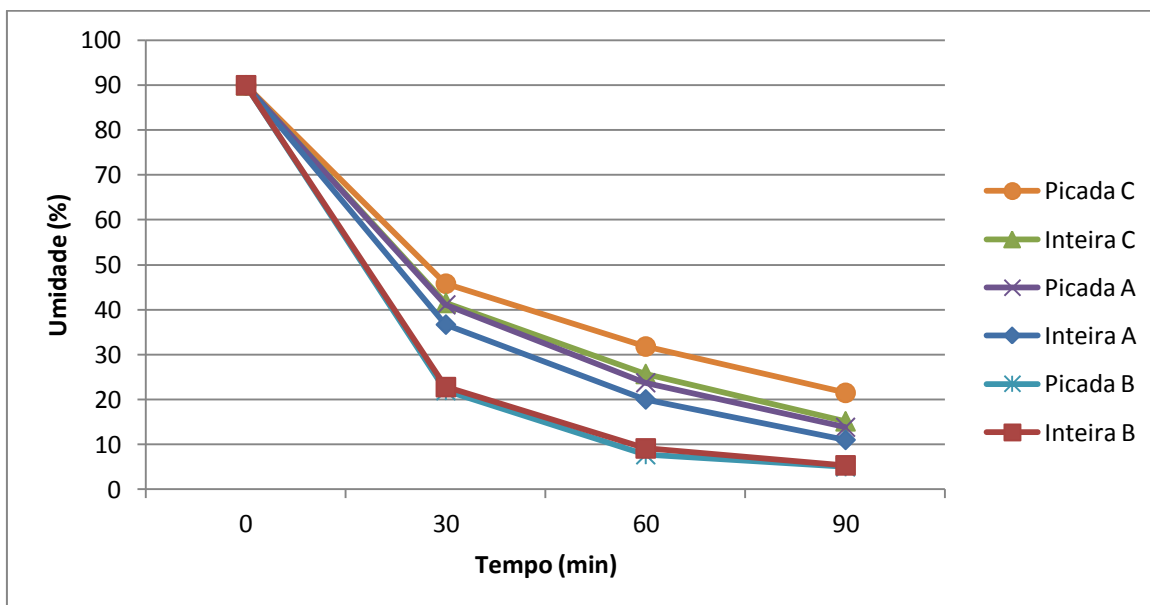


Figura 5: Curvas de secagem em função do tempo para tipo de alga e diferentes posições, com ar forçado em protótipo a 60°C, conforme as posições na secadora.

Sem a alteração de temperatura, pode-se observar a influência que o aumento desta tem no tempo de secagem, bem como no formato da curva, que com o uso de temperatura de 60°C tem um maior decréscimo na umidade nos 30 minutos iniciais, demonstrado pela comparação entre as figuras 5 e 6. Com o uso do secador, aquecido e com circulação forçada de ar, houve a secagem em um menor tempo. A figura 7 exemplifica as curvas de secagem tanto da simulação com pacote de tecido, quanto com ensaio com algas, sem o uso da temperatura, mantendo os demais parâmetros. Relacionando os dados apresentados na Figura 5, com os dados apresentados na figura 4, segundo Sarbatly et al. (2010) em experimento similar, observou que com o aumento gradativo da temperatura, há a aceleração na secagem, pelo fato de haver o aumento do gradiente de umidade, entre o ar e a superfície da alga, desta forma favorecendo a secagem acelerada. Faria et al. (2013) também afirma haver forte relação entre a redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura, este também afirma que a 60°C há uma menor degradação da carragenana.

De mesma forma, Sarbatly et al. (2010) afirma que há relação da velocidade do ar que incide sobre as amostras com o tempo de secagem, por haver um aumento na convecção e na transferência da massa de água da alga para o ar. Tal resultado também foi encontrado no presente experimento (Tabela 4), onde a velocidade do ar que atingia as amostras foi: A=1,77m/s ; B=2,90m/s e C=1,02m/s . Por este fato, houve aceleração na desidratação das amostras na posição D dentro da secadora, atingindo padrão comercial de umidade a partir dos 30 minutos. O tempo de secagem foi muito inferior aos citados por Sarbatly et al, (2010) e por Faria et al, (2013) onde o tempo de secagem no ambiente, sem aquecimento foi de 3 a 5 dias, e o tempo de secagem nos parâmetros utilizados por eles variam de 120 a 420 minutos, na mesma faixa de temperatura.

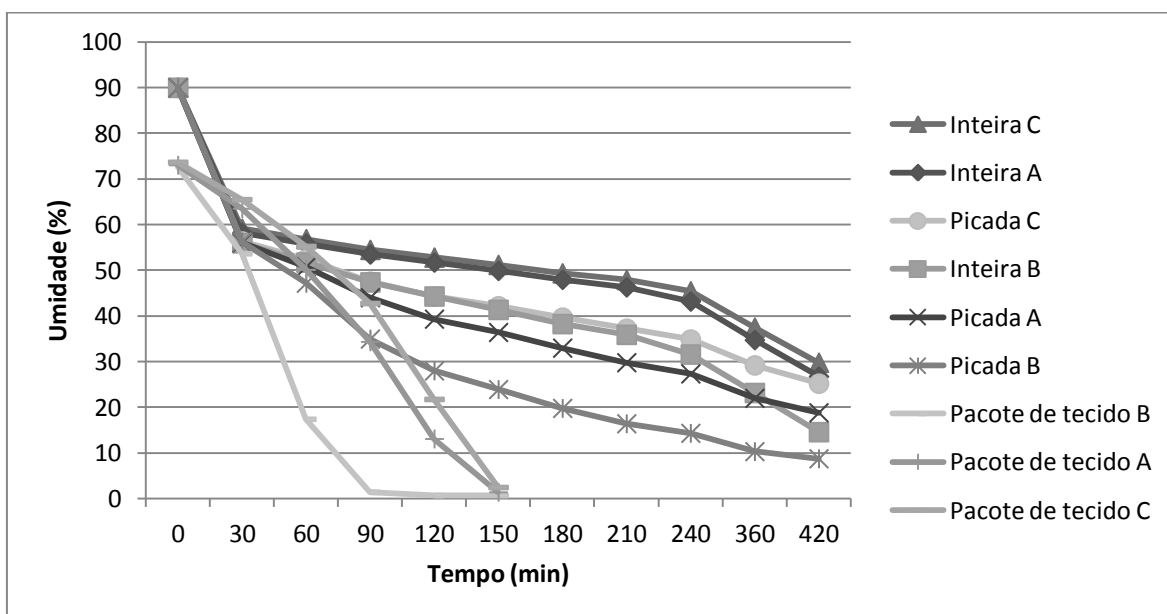


Figura 7: Curvas de secagem em função do tempo para tipo de alga e simulação com pacote de tecido, com ar forçado a 30°C no protótipo, conforme a posição na secadora.

A taxa de renovação e a temperatura do ar de secagem interferiu significativamente no consumo de energia elétrica da secadora (Tabela 5). Observa-se que a menor taxa de recirculação, apresentou maior consumo de energia elétrica. Verificou-se também que para taxa 100% de renovação de ar e temperatura de 60°C, proporcionou menor consumo de energia, demonstrando que pode ser viável, em nível de consumo de energia fazer a secagem utilizando aquecimento e ar forçado.

Tabela 4: Teores de umidade em função do tempo para a interação Tipo de alga versus Posição no interior da secadora.

Tipo	Posição	Tempo (min)			
		0	30*	60*	90*
Inteira	A	90	36,71897 b	20,07288 c	11,05845 ab
Inteira	B	90	22,80838 a	9,16027 a	5,38776 a
Inteira	C	90	41,54753 cd	25,73545 bc	15,19945 bc
Picada	A	90	41,12613 bc	23,78462 bc	13,86941 bc
Picada	B	90	22,01381 a	7,74961 a	5,04300 a
Picada	C	90	45,82480 d	31,84010 b	21,53162 c
Tukey HSD test; variable umidade para cada tempo Homogenous Groups, alpha = ,05000					
MS			2,87310	9,38730	6,35740
df			12,00000	12,00000	12,00000
Tipo*Prateleira; Unweighted Means Wilks lambda=0,44797, F(6, 20)=1,6470, p=0,18620 Effective hypothesis decomposition					

*Colunas acompanhadas de letras referem-se a diferença estatística em cada tempo.

Tabela 5: Consumo em KWh em função da renovação do ar de secagem.

Renovação de ar	Temperatura	ENERGIA(KWh)
55%	60°C	0,78
66%	60°C	0,79
77%	60°C	0,82
88%	60°C	0,83
100%	60°C	1,08
100%	30°C	0,21

Conclusões

- A taxa de renovação do ar de secagem influencia diretamente no tempo de secagem, sendo a renovação de 100% do ar o melhor desempenho;
- Tanto a altura da prateleira como a posição dentro da prateleira influenciam a secagem durante a simulação com pacote de tecido, como no ensaio com as algas;
- A secadora modificada teve a capacidade de secar algas em até 30 minutos utilizando 60°C.
- A variação máxima de consumo de energia entre os diferentes tratamentos foi de 0,87KWh ou 26%.

Utilizando-se temperatura de secagem de 60°C, taxa de renovação do ar de secagem de 100%, distância da entrada de ar igual a 190mm, e velocidade do ar 2,9 m/s, é possível secar algas do gênero *Kappaphycus* em 30 minutos.

Referências

BINDU, M. S. **Empowerment of coastal communities in cultivation and processing of *Kappaphycus alvarezii* - a case study at Vizhinjam village, Kerala, India.** Springer Science Business Media Dordrecht. JAppl Phycol 23:157–163. 2011.

BIXLER, H. J., PORSE, H. **A decade of change in the seaweed hydrocoloids industry.** Springer Science Business Media Dordrecht. JAppl Phycol 23:321–335. 2011.

FARIA, G. S. M., HAYASHI, L., MONTEIRO, A. R. **Effect of drying temperature on carrageenan yield and quality of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) cultivated in Brazil.** Springer Science Business Media Dordrecht. JAppl Phycol 8:431–437. 2013.

HAYASHI, L., SANTOS, A. A., FARIA, G. S. M., NUNES, B. G., SOUZA, S. M., FONSECA, A. L. D., BARRETO, P. L. M. , OLIVEIRA, E. C., BOUZON, Z. L. ***Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Areschougiaceae) cultivated in subtropical waters in Southern Brazil.** Springer Science Business Media Dordrecht. JAppl Phycol 23:337–343. 2011

POELOENGASIH, C. D., BARDANT, T. B., ROSYIDA, V. T. , MARYANA, R., WAHONO, S. K. **Coastal community empowerment in processing *Kappaphycus alvarezii*: a case study in Ceningan island, Bali, Indonesia.** Springer Science Business Media Dordrecht. JAppl Phycol 26:1539–1546. 2014.

SARBATLY, R., WONG, T., BONO, A., KRISHNAIAH, D., **Kinetic and thermodynamic characteristics of seaweed dried in the convective air drier.** International Journal of Food Engineering. V. 6. 2010.

Apêndice

Apêndice 1: Umidade em porcentagem da interação mistura de ar versus posição na prateleira, em função do tempo, para simulação com pacote de tecido.

		Tempo(min)							
Renovação de ar		30*	60*	90*	120*				
	PRATELEIRA								
55%	Centro	65,13331 e	47,37985 g	27,84372 cd	13,13546 de				
66%	Centro	63,00976 de	43,54692 defg	21,94748 bcd	5,88829 bc				
77%	Centro	63,16419 de	45,40368 efg	22,78041 bcd	5,91253 bc				
88%	Centro	60,56368 de	40,18761 cdef	20,78260 bc	7,42395 cd				
100%	Centro	61,42844 de	38,85079 cde	19,63702 b	0,55049 ab				
55%	Inferior	64,79163 e	45,73220 fg	28,95366 def	13,21496 e				
66%	Inferior	60,91397 de	40,64962 cdefg	23,63276 bcd	4,48340 abc				
77%	Inferior	62,12923 de	42,44309 cdefg	22,93217 bcd	4,58607 abc				
88%	Inferior	58,92837 d	37,84269 cd	21,64783 bcd	7,76260 cde				
100%	Inferior	59,50448 d	35,94654 c	19,08593 b	0,68085 ab				
55%	Superior	50,94241 c	28,26031 b	9,66787 a	0,19521 ab				
66%	Superior	47,17962 bc	21,32054 a	4,17585 a	0,00000 a				
77%	Superior	44,89094 ab	20,03797 a	3,37638 a	0,00000 a				
88%	Superior	42,30488 a	20,10999 a	5,20934 a	0,00000 a				
100%	Superior	42,26665 a	19,37482 a	2,60434 a	0,00000 a				

Tukey HSD test; variable % umidade em cada tempo Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search)

Erro Padrão	0,995294	1,414315	1,691142	1,207426
MS	26,746	54,008	77,219	39,363
DF	270	270	270	270

MISTURA*PRATELEIRA; Unweighted Means Wilks lambda=,77328, F(32, 986,24)=2,2254, p=,00013 Effective hypothesis decomposition

*Colunas acompanhadas de letras referem-se a diferença estatística em cada tempo.

Apêndice 2: Índice de secagem em porcentagem, na interação mistura de ar versus Prateleira, em função do tempo, para a simulação com pacote de tecido.

Renovação de ar	Prateleira	Tempo							
		30*	60*	90*	120*				
55%	Centro	0,00	c	0,00	d	25,93	e	44,44	ef
66%	Centro	0,00	c	0,00	d	25,93	e	62,96	de
77%	Centro	0,00	c	0,00	d	29,63	e	62,96	de
88%	Centro	0,00	c	14,81	cd	40,74	cde	70,37	bcd
100%	Centro	0,00	c	14,81	cd	44,44	cde	88,89	abc
55%	Inferior	0,00	c	0,00	d	25,93	e	33,33	f
66%	Inferior	0,00	c	3,70	d	33,33	de	55,56	def
77%	Inferior	0,00	c	0,00	d	33,33	de	66,67	cde
88%	Inferior	0,00	c	14,81	cd	40,74	cde	62,96	de
100%	Inferior	0,00	c	14,81	cd	40,74	cde	88,89	abc
55%	superior	11,11	ab	29,63	bc	48,15	bcde	92,59	ab
66%	superior	3,70	bc	40,74	ab	59,26	abc	100,00	a
77%	superior	7,41	abc	44,44	ab	55,56	abcd	100,00	a
88%	superior	14,81	a	48,15	a	70,37	a	100,00	a
100%	superior	14,81	a	44,44	ab	74,07	a	100,00	a
Erro Padrão		1,91		3,83		5,24		5,32	
Tukey HSD test; variable Índice secagem para cada tempo Homogenous Groups, alpha = 0,05000 (Non-Exhaustive Search)									
MS		0,99		3,95		7,41		7,65	
df		270,00		270,00		270,00		270,00	

Interação MISTURA*PRATELEIRA; LS Means Wilks lambda=0,82634, F(32, 986,24)=1,6361, p=0,01490 Effective hypothesis decomposition

*Colunas acompanhadas de letras referem-se a diferença estatística em cada tempo.