

MERCOFRIO 2000 – CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL

RESFRIAMENTO RÁPIDO A VÁCUO DE ALFACES (*LACTUCA SATIVA L.*)

Marcos R. A. Afonso – marcos@ceres.fea.unicamp.br

Vivaldo Silveira Jr. – vivaldo@ceres.fea.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia de Alimentos

Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - Distrito Barão Geraldo - CEP 13083-970 Cx. P. 6121
Campinas - SP - Brasil

RESUMO. *A temperatura é um fator ambiental muito importante e afeta diretamente nos processos fisiológicos das hortaliças. A refrigeração é o primeiro passo para a conservação das hortaliças pós colheita. Quanto mais rapidamente a hortaliça for resfriada, maior será seu tempo de comercialização e menores serão as perdas durante a estocagem e comercialização. O resfriamento a vácuo é um método de resfriamento rápido indicado para hortaliças folhosas. As vantagens sobre outros métodos são a rapidez no resfriamento e uniformidade da temperatura final do produto. O objetivo principal deste trabalho foi o de estudar a utilização da técnica de resfriamento a vácuo em cabeças de alfaces (*Lactuca Sativa L.*). Uma câmara de vácuo foi montada e instrumentalizada em sensores de pressão, de temperatura e de massa, a fim de que fossem monitoradas as condições do processo durante todos os experimentos. Foram realizados planejamentos experimentais para avaliar as influências do tempo de resfriamento, massa de alface, taxa de bombeamento e pré-umedecimento das alfaces sobre a pressão final, temperatura final e perda de massa das alfaces. As menores temperaturas atingidas pelas alfaces foram 4,7 e 5,0 °C, com perda de massa de 4,5% nas não pré-umedecidas e 1,7% nas pré-umedecidas, em 40 minutos de processo.*

Palavras chave: *Resfriamento a vácuo, Resfriamento rápido, alface*

1. INTRODUÇÃO

A partir do momento em que uma hortaliça é colhida, ocorre uma série de processos fisiológicos que levam à perda de qualidade do produto e, conseqüentemente, à redução da sua vida de prateleira. Conseguir uma diminuição na velocidade desses processos traz inúmeras vantagens tanto para os produtores quanto para os consumidores.

Segundo TURK & CELIK (1993) e SHEWFELT (1986), a temperatura é o fator mais importante a ser controlado na pós-colheita dos produtos hortifrutícolas. O tempo de espera na refrigeração desses produtos influi diretamente no tempo de prateleira e na qualidade dos mesmos. Portanto, quanto mais rápido ela for resfriada, mais tempo ela se conservará em condições de comercialização. Além disso, quanto mais a hortaliça for perecível, mais rápido ela deve ser resfriada.

As perdas pós colheita de frutos e vegetais frescos é estimada entre 5 a 25% em países desenvolvidos e entre 20 a 50% nos países em desenvolvimento (FAO, 1991 citado por NEVES F^o *et al*, 1997). Ainda segundo NEVES F^o *et al* (1997), as perdas para produtos hortifrutícolas no Estado de São Paulo em 1992 foram da ordem de 35%, representando um prejuízo de aproximadamente US\$ 1 bilhão para o estado. No Brasil, estima-se que a perda de hortaliças folhosas seja de 40,6% com base na média dos anos de 1990 a 1992, o que representou uma perda de 1786 mil toneladas anuais e um prejuízo de US\$ 519,5 milhões (BLISKA, 1998).

A refrigeração a vácuo vem atender a necessidade de um método rápido e eficiente no resfriamento rápido de hortaliças folhosas. Trata-se de um método, cuja rapidez e uniformidade final de temperatura, trazem grandes vantagens na conservação desses produtos. Tal rapidez e uniformidade são conseguidas pelo princípio de funcionamento do resfriamento a vácuo, que é o de retirar calor do produto pela evaporação de parte da água do próprio produto e/ou da água, intencionalmente aspergida em sua superfície. A evaporação da água é conseguida com a diminuição da pressão dentro de uma câmara, onde o produto é colocado. Segundo CORTEZ & LEAL (1997), o objetivo principal do resfriamento rápido é fornecer o rápido resfriamento das frutas e hortaliças, logo após a colheita, a fim de proporcionar rápida retirada do “calor de campo”. Trata-se de um processo em batelada, onde o produto é colocado na câmara e, após atingida a temperatura desejada, é retirado e transferido para câmaras convencionais de estocagem e distribuição.

A tecnologia de refrigeração a vácuo foi inicialmente usada comercialmente em 1948 nos EUA. No início da década de 80, praticamente toda alface produzida nos EUA já era refrigerada a vácuo (BELZILE, 1982).

O resfriamento rápido a vácuo tem sido aplicado com sucesso em alface, repolho, couve-flor, cogumelos, espinafre, aipo, aspargo, milho-doce (MALPAS, 1972). Desses vegetais, somente couve-flor, aipo, repolho e cogumelos são resfriados a vácuo comercialmente na Califórnia, EUA, (ASHRAE, 1994). Este método não se mostrou eficiente quando aplicado à frutas devido, principalmente, a sua baixa relação de área superficial por volume. Também foram encontradas aplicações na indústria de panificação (GUEST, 1979 e BRADSHAW, 1976). MONCRIEFF *et al*, (1990) utilizaram o resfriamento a vácuo em peito de frango após seu cozimento.

1.1 Alface

Originária da Ásia e trazida para o país pelos portugueses, no século XVI, a alface, *Lactuca Sativa L.*, é a hortaliça folhosa de maior consumo no Brasil. Cada paulistano consome quase dois quilos por ano, 40% dos seus gastos totais com verduras, são destinados à compra da alface. No Estado de São Paulo, a alface ocupa 7.859 hectares, produz 137 mil toneladas/ano e gera mais de 6.000 empregos. A cultura da alface apresenta alto grau tecnológico, sendo comuns as práticas de produção em estufa, hidroponia e cultivo orgânico, que permitem obter verduras de qualidade durante o ano todo. A alface é um produto rico em Vitaminas A e C, Cálcio e Fósforo; na medicina popular é recomendada como calmante. Hortaliça tipicamente folhosa é consumida *in natura*, frescor e limpeza são as características mais valorizadas pelo consumidor (CEASA-CAMPINAS, 1999).

1.2 Princípio do Resfriamento a Vácuo

No resfriamento a vácuo a água naturalmente presente no produto e/ou intencionalmente aspergida sobre ele, é que atua como refrigerante primário, sendo evaporada dentro de uma câmara a baixa pressão. O calor requerido para essa evaporação (calor latente de vaporização) é fornecido, principalmente, pelo produto (calor sensível). Portanto, o princípio básico é extrair calor do produto pela evaporação da água (MALPAS, 1972).

O processo termodinâmico envolvido na refrigeração a vácuo pode ser dividido em duas fases distintas. Na primeira, com o produto carregado dentro da câmara à temperatura ambiente, a bomba de vácuo é acionada para reduzir a pressão interna da câmara. A temperatura do produto permanece constante até a câmara atingir a pressão de saturação, isto é, até a pressão na câmara atingir a pressão de vapor de água do produto. Com a temperatura de ebulição atingida, começa-se a evaporação e o vapor de água começa a ocupar o espaço do ar na câmara. A segunda fase começa simultaneamente com o fim da primeira, onde a saturação continua até o produto ser resfriado à temperatura desejada (ASHRAE, 1994).

O vapor de água retirado do produto não deve atingir a bomba de vácuo, devendo ser excluído da linha de bombeamento. Outra razão para eliminá-lo é o seu elevado volume específico a baixas pressões. É necessário, portanto, em plantas comerciais de refrigeração a vácuo, a utilização de um sistema de refrigeração auxiliar na condensação e remoção desse vapor de água. A Fig. (1) apresenta em exemplo geral de um resfriador a vácuo.

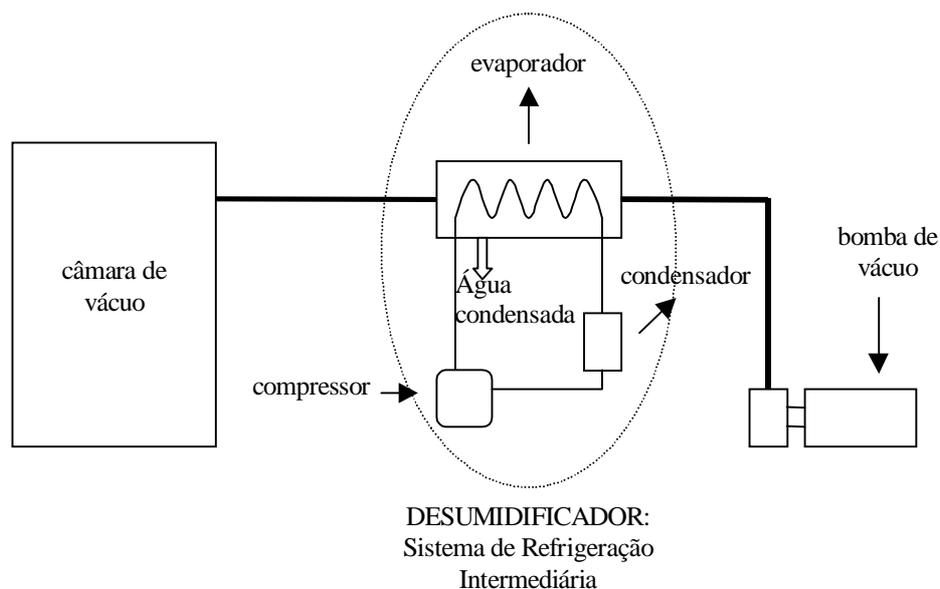


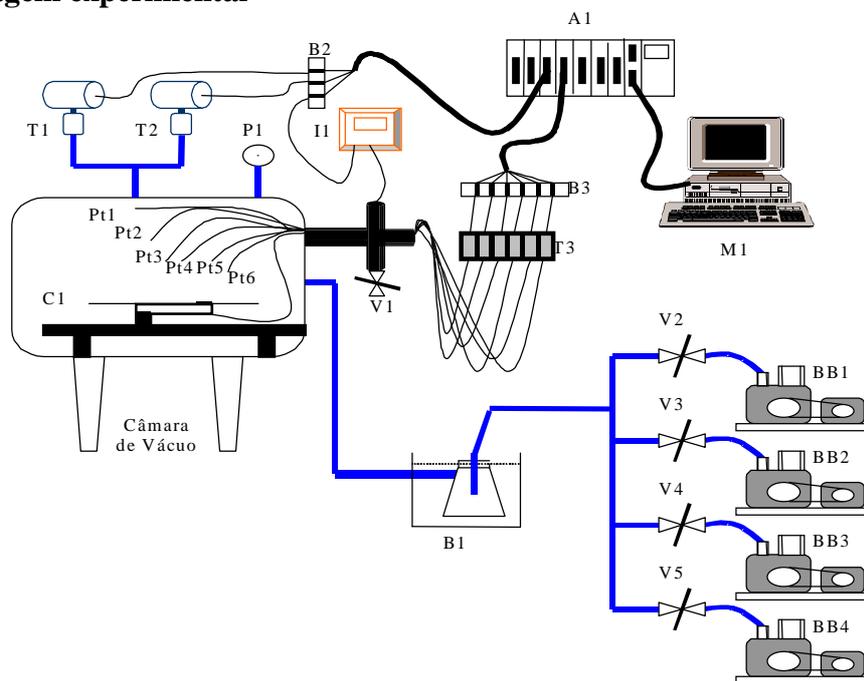
Figura 1 - Esquema simplificado de um resfriador a vácuo.

A quantidade de água evaporada aceitável no resfriamento a vácuo de hortaliças folhosas representa entre 1 a 4% do seu peso. Tais quantidades, segundo HAAS & GUR (1986) vão depender da temperatura final e inicial do produto, sendo que a cada 5,5 a 6°C de resfriamento, tem-se aproximadamente 1% da perda do peso para hortaliças folhosas, estes valores também foram encontrados por OGAWA (1978), VANDIEVOET & FOURNIER (1983) e GEESON (1988-1989). Para BARLETT (1980), a cada 10°C de resfriamento, 1,8% do peso do produto é perdido. Em peitos de frango, segundo MONCRIEFF *et al* (1990), as perdas são da ordem de 1,2% de peso para cada 7°C.

Uma forma de reduzir a perda de peso durante o resfriamento a vácuo é umedecer os produtos antes de colocá-los dentro da câmara (SHAW & KUO, 1987). O umedecimento do produto resulta, algumas vezes, em um resfriamento mais rápido, mas sua principal vantagem é o de minimizar a perda de peso (CORTEZ & LEAL, 1997).

2. MATERIAIS E MÉTODOS.

2.1 Montagem experimental



- | | |
|--|--|
| A1 – Aquisição de Dados (MCI) | I1 – Transmissor e Indicador de Massa |
| B1 – Banho de gelo ou a -7°C | M1 – Microcomputador SX 386-33,3MHz |
| B2 e B3 – Bornes de conexão | P1 – Vacuômetro. |
| BB1 – Bomba de Vácuo ($5\text{ m}^3/\text{h}$) | Pt1 a Pt6 – Sensores de Temperatura |
| BB2 – Bomba de Vácuo ($6,5\text{ m}^3/\text{h}$) | T1 – Transdutor de Pressão (0 a 40kPa) |
| BB3 – Bomba de Vácuo ($7\text{ m}^3/\text{h}$) | T2 – Transdutor de Pressão (0 a 95,7kPa) |
| BB4 – Bomba de Vácuo ($13\text{ m}^3/\text{h}$) | T3 – Transmissores de temperatura |
| C1 – Célula de Carga | V1 a V5 – Válvulas Esfera ($1/2''$) |

Figura 2 – Montagem experimental

2.2 Planejamento dos experimentos

As cabeças de alface crespa foram colhidas sempre por volta das 7:30 horas, em horta de cultivo tradicional, e tiveram um tempo de espera para o resfriamento de 1,5 hora.

Os sensores de temperatura utilizados foram do tipo Pt 100. Foram colocados nas folhas das alfaces (centro e folha externa), e um no caule. A média da temperatura das folhas foi tomada como referência para a análise dos experimentos.

Foram realizados dois planejamentos fatoriais completos de dois níveis e 3 variáveis independentes, resultando em 2^3 ensaios e mais três pontos centrais e seis axiais, totalizando 17 experimentos para cada planejamento com alfaces crespas. Um planejamento para alfaces pré-umedecidas e outro para alfaces pré-umedecidas. As variáveis independentes nos planejamentos dos ensaios com alfaces foram as seguintes: razão de bombeamento (h^{-1}), massa de produto (kg) e tempo de bombeamento do processo (min). A razão de bombeamento é a taxa de bombeamento do sistema dividida pelo volume da câmara ($0,324\text{ m}^3$). Os níveis estão na Tab. (1).

As variáveis-respostas estudadas foram: a temperatura final das alfaces ($^{\circ}\text{C}$), a perda de massa (%) e a pressão final atingida (Pa).

Tabela 1 – Variáveis independentes e níveis utilizados.

Variáveis independentes:	Níveis				
	-1.68	-1	0	1	1.68
Razão de Bombeamento (h^{-1}) – X_1	15,44	35,50	55,56	75,62	95,68*
Massa de alface [kg] – X_2	0,796	1,0	1,3	1,6	1,80
Tempo [min] - X_3	13,2	20	30	40	46,8

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos planejamentos propostos, são apresentados nas Tab. (2) e (3). A temperatura inicial média das alfaces foi de $21,2^{\circ}\text{C}$ nas não pré-umedecidas e $21,9^{\circ}\text{C}$ nas pré-umedecidas.

O pré-umedecimento consistiu em aspergir água sobre a superfície das alfaces. A quantidade de água aspergida foi pesada em cada ensaio, cujos valores foram em média 3,5% do valor da massa total das alfaces.

Para o cálculo da perda de água das alfaces, a água aspergida foi descontada para que se tivesse a real perda de água por parte das alfaces. Como consequência, em alguns ensaios, as condições do processo não foram suficientes para evaporar toda a água aspergida e as alfaces tiveram um aumento de massa. Para esses casos foi considerado um valor negativo para a variável-resposta perda de massa.

Tabela 2 - Resultados dos experimentos com alfaces não pré-umedecidas.

	Variáveis Independentes			Variáveis-resposta		
	Razão de Bombeamento (h^{-1}) X_1	Massa (kg) X_2	Tempo (min) X_3	Temperatura final ($^{\circ}\text{C}$) T_f	Perda de Peso (%) Pe	Pressão Final (Pa) P_f
1	35,50	1,00	20,00	13,1	2,87	1641
2	75,62	1,00	20,00	8,7	2,95	1133
3	35,50	1,60	20,00	15,2	1,60	1837
4	75,62	1,60	20,00	10,9	2,15	1291
5	35,50	1,00	40,00	9,3	3,94	1368
6	75,62	1,00	40,00	4,7	4,46	1095
7	35,50	1,60	40,00	10,0	3,14	1447
8	75,62	1,60	40,00	7,9	4,53	1133
9	15,44	1,30	30,00	17,5	1,64	1827
10	95,68	1,30	30,00	7,1	3,40	1095
11	55,56	0,80	30,00	9,0	3,84	1251
12	55,56	1,80	30,00	11,1	2,44	1447
13	55,56	1,30	13,20	14,7	0,88	1760
14	55,56	1,30	46,80	7,2	4,27	1095
15	55,56	1,30	30,00	9,0	3,21	1291
16	55,56	1,30	30,00	9,2	3,08	1329
17	55,56	1,30	30,00	9,3	3,22	1368

Os resultados foram analisados através do software Statistica 5.01, que forneceu modelos empíricos satisfatórios para todas as variáveis-resposta. As Tab. (4) e (5) apresentam os modelos obtidos, juntamente com os coeficientes de correlação e o Teste F dos modelos comparando os valores calculados com os tabelados.

Tabela 3 – Resultados dos experimentos com alfaces pré-umedecidas.

	Variáveis Independentes			Variáveis-resposta		
	Razão de	Massa	Tempo	Temperatura.	Perda de	Pressão Final
	Bombeamento (h ⁻¹)	(kg)	(min)	final (°C)	Peso	(Pa)
	X ₁	X ₂	X ₃	T _f	(%)	P _f
					Pe	
1	35,50	1,00	20,00	12,8	-3,34	1720
2	75,62	1,00	20,00	9,0	-0,48	1212
3	35,50	1,60	20,00	14,5	-2,64	1720
4	75,62	1,60	20,00	11,6	-0,62	1368
5	35,50	1,00	40,00	8,8	0,34	1447
6	75,62	1,00	40,00	5,0	1,71	1095
7	35,50	1,60	40,00	10,3	0,66	1447
8	75,62	1,60	40,00	6,8	0,16	1095
9	15,44	1,30	30,00	17,2	-1,33	1760
10	95,68	1,30	30,00	8,5	0,05	1095
11	55,56	0,80	30,00	7,4	0,07	1291
12	55,56	1,80	30,00	9,5	1,03	1291
13	55,56	1,30	13,20	15,0	-4,13	1837
14	55,56	1,30	46,80	7,6	0,62	1291
15	55,56	1,30	30,00	8,4	0,66	1251
16	55,56	1,30	30,00	8,7	0,51	1291
17	55,56	1,30	30,00	9,0	0,54	1291

Tabela 4 – Modelos empíricos das variáveis-resposta dos ensaios com alfaces não pré-umedecidas.

Modelos	Coef. Correlação (R ²)	Teste F (95%)	
		F _{calc}	F _{tab}
Temperatura Final (°C)			
<i>Quadrático:</i>			
$T_f = 33.23 - 0.44X_1 + 0.002X_1^2 + 0.51X_3 + 0.004X_3^2 + 0.05X_1.X_2 + 0.001X_1X_3$	0,9617	19.54	3.68
Pressão Final (mmHg):			
<i>Quadrático:</i>			
$P_f = 2616 - 18,67X_1 + 185,3X_2 - 32X_3 + 0.27X_1X_3$	0,9400	12.23	3,68
Perda de Massa (%):			
<i>Quadrático:</i>			
$Pe = 4.29 + 4.10^{-4} X_1^2 - 4.85X_2 - 0.001X_3^2 + 0.024X_1X_2 + 9.10^{-4}X_1X_3 + 0.076X_2X_3$	0,9430	14.00	3,68

Tabela 5 – Modelos empíricos das variáveis-resposta dos ensaios com alfaces pré-umedecidas.

Modelos	Coef. Correlação (R^2)	Teste F (95%)	
		F_{calc}	F_{tab}
Temperatura Final (°C)			
<i>Quadrático:</i> $T_f = 32.18 - 0.38X_1 + 0.003X_1^2 + 2.69X_2 - 0.72X_3 + 0.008X_3^2$	0.9741	29.13	3.68
Pressão Final (mmHg):			
<i>Quadrático:</i> $P_f = 3281 - 17,33X_1 + 0,08X_1^2 - 70,67X_3 + 0,93X_3^2$	0,9652	21.28	3,68
Perda de Massa (%):			
<i>Quadrático:</i> $P_e = -25.97 + 0.26X_1 - 7.10^{-4} X_1^2 + 5.63X_2 + 0.86X_3 - 0.008X_3^2 - 0.057X_1X_2 - 0.003X_1X_3 - 0.08X_2X_3$	0,9694	23.32	3,68

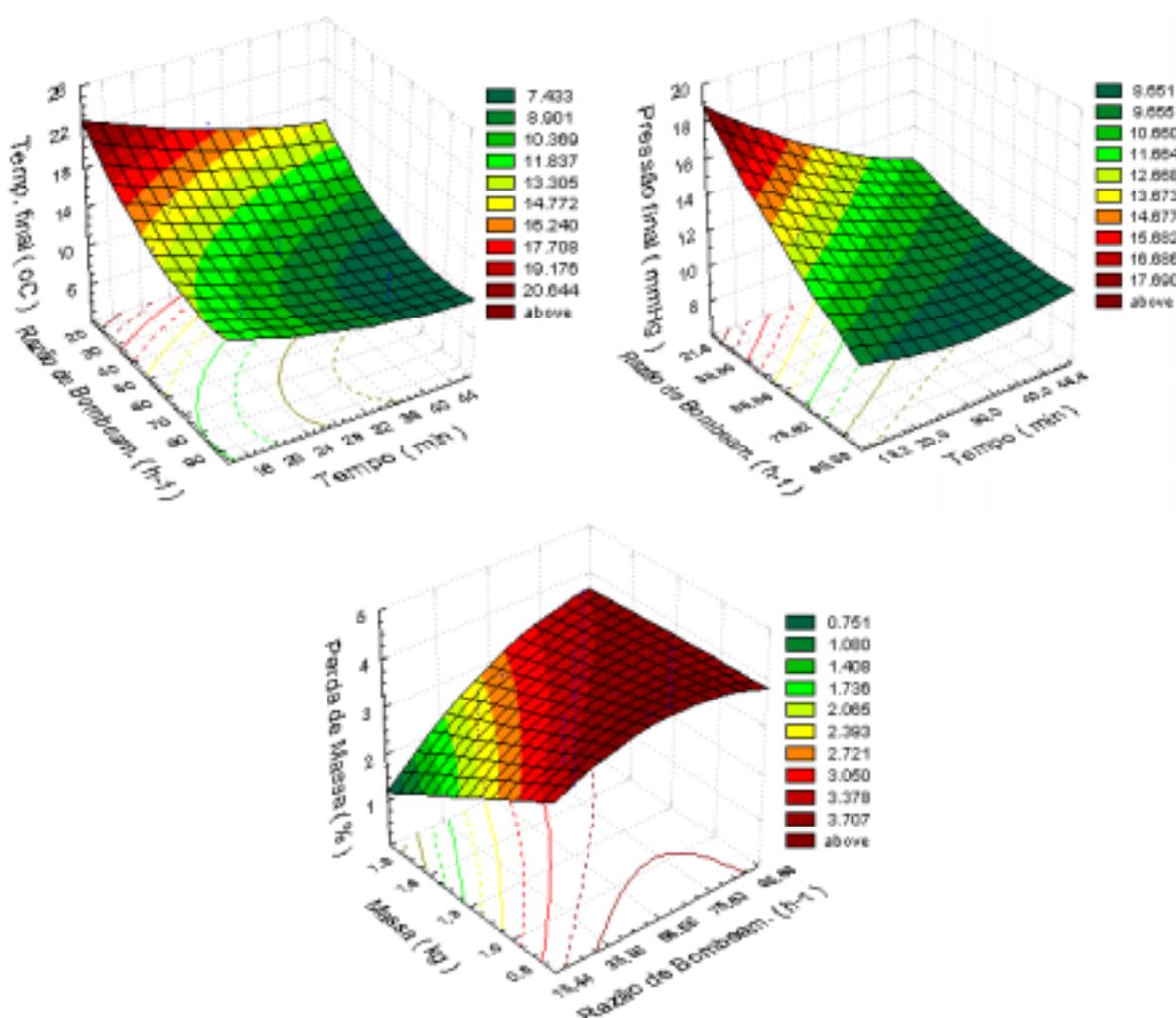


Figura 4 – Superfícies de resposta das variáveis temperatura final, pressão final e perda de massa para o planejamento das alfaces não pré-umedecidas.

Em ambos os planejamentos as variáveis independentes, razão de bombeamento e tempo de processo, foram as mais significativas, isto é, apresentaram maior influência sobre as

variáveis-resposta. Quanto maiores as razões de bombeamento e maiores os tempos de processo, menores foram as temperaturas atingidas. Exceção para a variável independente massa de alface, que influenciou significativamente a variável-resposta perda de massa no planejamento das alfaces não pré-umedecidas. Esse comportamento não foi observado no planejamento das alfaces pré-umedecidas, pois a água aspergida uniformizou os experimentos. As Fig. (4) e (5) apresentam as superfícies de resposta dos planejamentos.

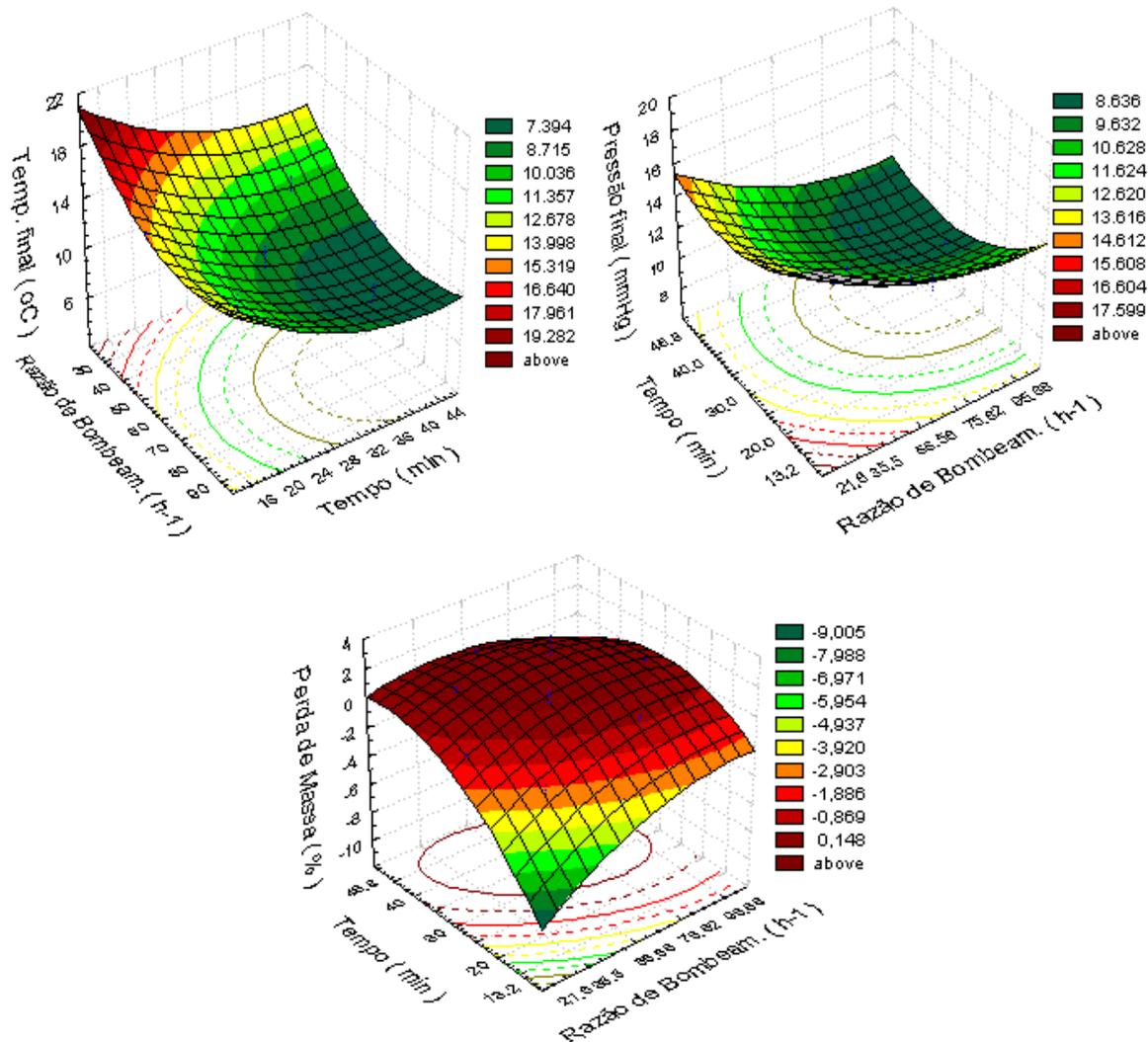


Figura 5 – Superfícies de resposta das variáveis temperatura final, pressão final e perda de massa para o planejamento das alfaces pré-umedecidas.

Durante todos os experimentos as temperaturas das alfaces e da câmara foram monitoradas e tiveram os mesmos comportamentos apresentados na Fig. (6).

Notou-se que, a diferença entre as temperaturas finais em ambos os planejamentos não foi significativa. Um exemplo pode ser visto na Fig. (6).

A perda de massa, foi consideravelmente maior no planejamento sem pré-umedecimento, chegando a valores que podem prejudicar a qualidade das alfaces. A Fig. (7) exemplifica a perda de massa entre os planejamentos.

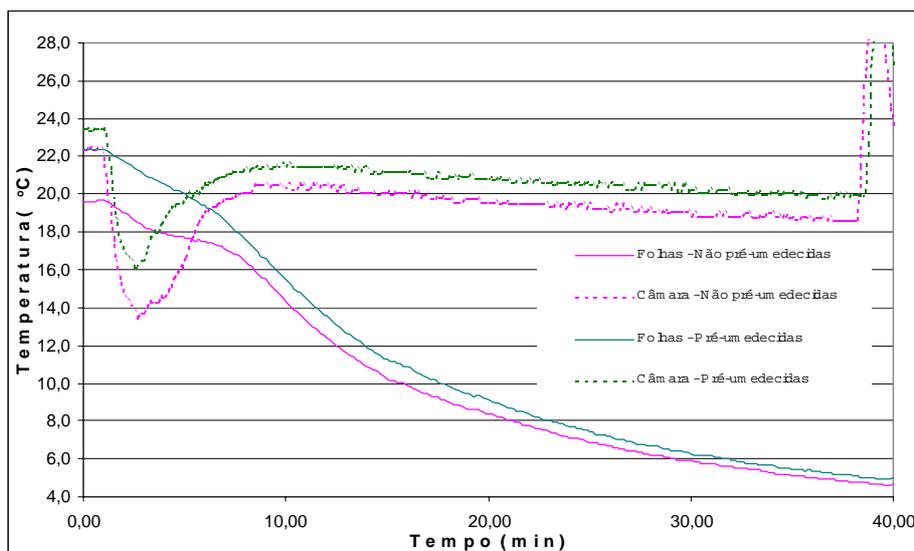


Figura 6 – Histórico da temperatura no resfriamento rápido a vácuo de alfaces com e sem pré-umedecimento. Razão de bombeamento: 75.62 h^{-1} e Massa de alface: 1kg.

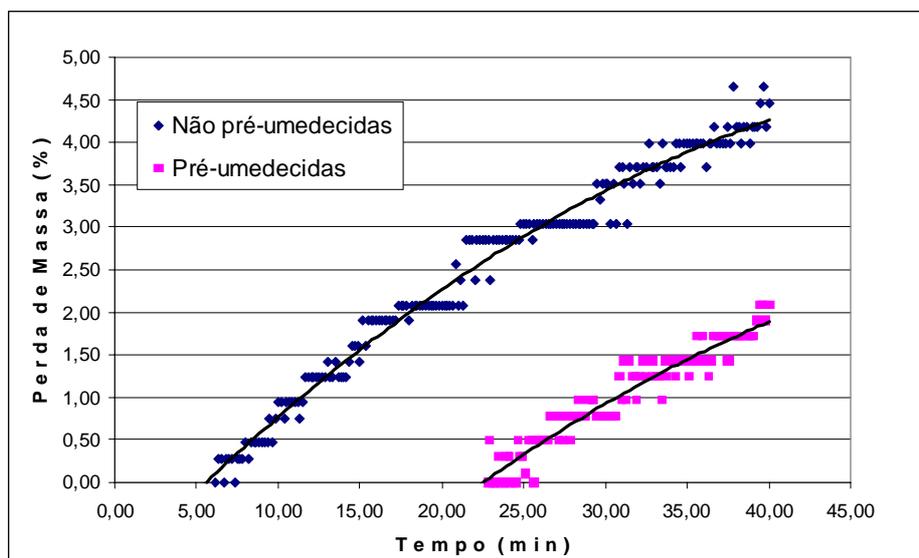


Figura 7 – Histórico da perda de massa no resfriamento rápido a vácuo de alfaces com e sem pré-umedecimento. Razão de bombeamento: 75.62 h^{-1} ; Massa de alface: 1kg.

4. CONCLUSÕES

- Não houve vantagens significativas no abaixamento da temperatura final quando as alfaces foram pré-umedecidas;
- Nas condições mais drásticas dos experimentos, os valores de perda de peso chegaram a 4.53% do peso inicial nas alfaces sem pré-umedecimento, enquanto que nas pré-umedecidas chegaram a 1.71%. Portanto, a pré-umidificação foi importante para diminuir a perda de peso das alfaces;
- A quantidade de massa de alface influenciou pouco o processo, uma vez que a faixa de massa de produto utilizado neste trabalho foi estreita. Mas, pelos experimentos realizados neste trabalho, notou-se que a quantidade de produto pode ser importante para a pressão final de vácuo, principalmente se a quantidade de produto for elevada;

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE. Methods of precooling fruits, vegetables and cut flowers. **Refrigeration Systems and Applications Handbook**, Chapter 10, Atlanta, Georgia (USA), 1994.
- BARROS Neto, B. ; SCARMINIO, I. S. ; BRUNS, E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**, Editora UNICAMP, Campinas, 1995.
- BARTLETT, D. Practical temperature control and cooling methods in relation to crop preservation. **Progress in Food and Nutrition Science**, v.4, n.3-4, p. 47-53, 1980.
- BELZILE, G. Le refroidissement des legumes. **10^e Colóquio de Génie Rural**, Université Laval, janvier, 1982.
- BLISKA Jr, A. Alface (*Lactuca sativa* L.): distintos sistemas de produção, conservação e avaliação pós-colheita. Tese de Mestrado, UNICAMP, 1998.
- BRADSHAW, W. Modulated vacuum cooling for bakery products. **The Bakers Digest**, v.50, n.1, p.26-31, February 1976.
- CEASA-CAMPINAS; Características da Alface, INTERNET: www.ceasacampinas.br, 1999
- CORTEZ, L. A. B. & LEAL, P. A. M. Métodos de pré-resfriamento de frutas e hortaliças. **II Curso de Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças**, Campinas, Brasil, 1997.
- GEESON, J. D. Cooling and storage of fruits and vegetables. **The Proceedings of The Institute of Refrigeration**, v.85, p.65-74, 1988-1989.
- GUEST, E. The pro's and cons of vacuum cooling. **Food Manufacture**, p.21-25, October 1979.
- HAAS, E. & GUR, G. Factors affecting the cooling rate of lettuce in vacuum cooling installations. **International journal of Refrigeration**, v.10, n.2, p.82-86, March 1987.
- MALPAS, E. W. Vacuum equipment for evaporative cooling. **Process Biochemistry**, v.7, n.10, p.15-17, October 1972.
- MONCRIEFF, C. B. ; BURFOOT, D. ; NUTE, G. R. ; SELF, K. P. Effect of pressure cooking and pressure rate change during cooling in vacuum on chicken breast quality and yield. **Journal of Food Science**, v.55, n.6, p.1531-1535, 1551, 1990.
- NEVES Fo, L. C. ; VIGNEAULT, C. ; CORTEZ, L. A. B. Análise econômica preliminar de uma unidade de resfriamento a vácuo de alface. **XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola-CONBEA**, Campinã Grande, PB, julho 1997.
- OGAWA, K. Precooling before shipment for preserving post-harvest quality of vegetables in Japan. **Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ)**, v.12, n.1, p.14-16, 1978.
- SHAW, J. & KUO, C. Vacuum precooling green onion and celery. **American Society of Agricultural Engineers-ASAE**, Paper 87-5522, St. Joseph, MI. USA, 1987.
- SHEWFELT, R. L. ; Postharvest treatment for extending the shelf life of fruits and vegetables. **Food Technology**, v.40, n.5, May, 1986.
- TURK, R. & CELIK E. The effect of vacuum precooling on the half cooling period and quality characteristic of Iceberg lettuce. **ACTA Horticulturae**, n.343, p.321-324, June, 1993.
- VANDIEVOET, A. C. & FOURNIER P. La pré-réfrigération rapide par le vide à la convergence des tests aéronautiques et de l'agro-alimentaire. **Industries Alimentaires et Agricoles**, v.10, n.100, p.691-695, 1983.