

SECADORA À VACUO COM RECUPERAÇÃO DE CALOR

Felipe Rodrigues de Castro – felipedecastror@gmail.com

Prof. José Henrique Martins Neto – henrique@des.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica,
www.em.cefetmg.br

F3 - Cálculos Térmicos e Energéticos

Resumo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e avaliação da viabilidade técnica de uma secadora termodinâmica para uso doméstico, que opera por meio da manutenção da pressão e temperatura de seu compartimento de secagem para evaporar e extrair o líquido contido no sistema, procedimento este, alternativo ao das secadoras convencionais que utilizam o ar atmosférico aquecido como meio de retirar a umidade dos objetos e materiais. Tendo em vista que as secadoras disponíveis no mercado possuem alto consumo energético, esse trabalho propõe um meio mais econômico e eficiente. O estudo busca comprovar que o gasto energético no processo de redução da pressão, fornecimento de calor para vaporização da água, seguido do bombeamento desse vapor do interior câmara para a atmosfera é menor e mais eficiente, conforme demonstrado pelos valores obtidos, em comparação com as secadoras convencionais de maior eficiência existentes no mercado.

Palavras-chave: Secadora, Eficiência, Redução da pressão.

1. INTRODUÇÃO

As secadoras são máquinas utilizadas para remover substâncias no estado líquido, geralmente água, que está agregada em materiais sólidos, tais como tecidos e derivados. Existem diversos tipos destes equipamentos no mercado, que utilizam como fontes de energia proveniente da queima de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, ou energia elétrica. Entretanto, essas máquinas geralmente apresentam um alto consumo de energia, devido ao processo que utilizado na secagem. Por consequência destas circunstâncias é fácil perceber que a maior parte da população do país abre mão dos benefícios e conforto que as secadoras do mercado podem oferecer, optando pela secagem das suas roupas pelo processo natural, ou seja, ao “tempo”, já que o Brasil é um país de clima tropical. Porém nem sempre se tem espaço suficiente nas moradias, clima favorável ao longo de todo o ano, ou até mesmo tempo disponível para esperar a secagem completa das roupas.

Partindo dessa realidade, este trabalho tem como objetivo avaliar um equipamento de secagem alternativo desenvolvido a partir dos conceitos termodinâmicos e de transferência de calor e massa, e assim, comparar o seu consumo energético com um dos equipamentos de maior eficiência disponíveis no mercado atual.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção são apresentados inicialmente os conceitos e os processos inerentes ao funcionamento dos vários tipos de secadoras disponíveis comercialmente, visando compreender o seu funcionamento e a energia consumida pelas mesmas para, posteriormente, comparar a eficiência térmica dessas secadoras com o novo tipo de secadora proposto.

2.1. Secadoras Comerciais

As secadoras de roupas são máquinas utilizadas para remover a água agregada aos tecidos após a lavagem dos mesmos. Estas máquinas podem utilizar como fonte de energia térmica a queima de combustíveis líquidos, sólidos, gasosos ou energia elétrica por meio do efeito Joule. O princípio de secagem é basicamente o mesmo para os diferentes tipos de secadoras, consistindo dos mecanismos de transferência de calor e massa. Ar quente com baixa umidade absoluta é introduzido na câmara de secagem, transferindo seu calor sensível para a água agregada à roupa, o que força gradativamente a sua evaporação. A água retirada do tecido é a massa de vapor de água evaporada que incorpora à corrente de ar que se movimenta através da superfície da roupa. Consequentemente, o ar é resfriado e aumenta a sua umidade absoluta e relativa, umidade essa limitada ao estado de saturação do ar, que chega ao máximo quando se tem 100 % de umidade relativa. A fração de líquido evaporada é exaurida para atmosfera juntamente com o ar que percorreu na secadora. Os ciclos de secagem podem ser realizados com renovação do ar (i.e., sistema aberto) ou recirculação do ar (i.e., sistema fechado) dependendo do tipo da secadora. Em ambos os casos pode-se recuperar a energia sensível e latente do ar úmido por meio de trocador de calor no caso de circuito aberto, ou evaporador de uma bomba de calor no caso de circuito fechado. O calor latente do ar úmido pode ser retirado na condensação do vapor de água, que acontece quando o mesmo é resfriado abaixo da sua temperatura do ponto de orvalho. Também é comum encontrar equipamentos que utilizam mecanismos de centrifugação, sendo o líquido removido mecanicamente do material a ser secado. Os três tipos de secadoras de roupa mais utilizadas e disponíveis comercialmente, são apresentadas na Fig.1.

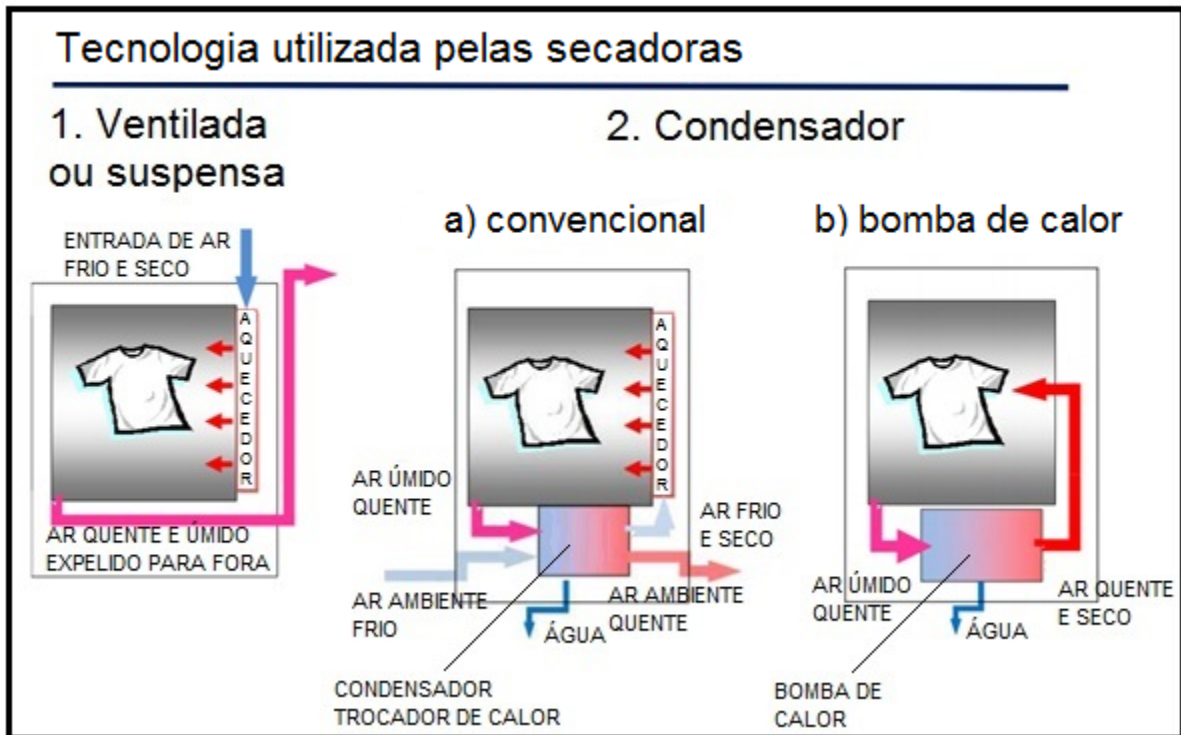


Figura 1. Tipos de secadoras disponíveis comercialmente para secagem de roupas.

Secadoras Ventiladas

As secadoras ventiladas, conforme mostra a Fig. 1, são as secadoras mais antigas e disponíveis comercialmente em lavanderias comerciais. Os componentes básicos dessa secadora são o ventilador e o aquecedor. Ar externo ambiente é aspirado por um ventilador e aquecido por um aquecedor antes de ser introduzido na câmara de secagem. O processo de aquecimento promove o aumento da temperatura do ar e a redução da umidade absoluta, possibilitando a evaporação da água contida na roupa e incorporação do vapor de água na corrente de ar. O ar aumenta a sua umidade absoluta sendo posteriormente exaurido através de dutos para o ambiente externo. A fonte de calor pode ser proveniente da queima de um combustível fóssil (e.g., gás natural ou GLP) ou mesmo energia elétrica através de resistências elétricas utilizando o efeito Joule.

Secadora por condensação convencional

As secadoras por condensação, conforme mostra a Fig. 1, são mais eficientes do ponto de vista energético, pois recuperam os calores latente e sensível proveniente da condensação do vapor de água contido no ar. Como a temperatura do ar que sai do trocador de calor é inferior à temperatura do ar que entra no sistema, se faz necessário um aquecimento complementar para se alcançar a temperatura requerida para secagem.

Secadora de condensação por bomba de calor

As secadoras de condensação por bomba de calor utilizam basicamente o mesmo princípio das secadoras de condensação convencional. A diferença é a adição de uma bomba de calor, conforme ilustrado na Fig. 2, que além de recuperar a energia térmica do ar úmido consegue extrair mais energia do que a secadora de condensação convencional. Isso é possível, pois a bomba de calor possibilita a redução da temperatura do ar abaixo da temperatura ambiente. Dessa forma essa secadora não necessita de outra fonte de calor complementar devido ao seu alto coeficiente de performance (COP), requerendo apenas pequena taxa de energia elétrica no compressor para realizar o bombeamento da energia da fonte fria para a fonte quente. Conforme mencionado por Nipkow e Bush (2008) atualmente a secadora de condensação por bomba de calor possui a maior eficiência térmica dentre as secadoras existentes, proporcionando redução pela metade da energia consumida comparada com as convencionais (e.g., ventilada e condensador convencional).

As secadoras de condensação por bomba de calor além de recuperar a energia do ar que sai da secadora não necessitam de renovação do ar como as outras secadoras convencionais. O ar úmido e morno que sai da secadora é filtrado e circulado através do evaporador da bomba de calor cujo fluido refrigerante está numa temperatura inferior a do ponto de orvalho do ar. Desta forma os calores sensível e latente são retirados pela queda de temperatura e condensação da umidade do ar (i.e., vapor de água), sendo essa água drenada para fora da máquina. O ar com baixa

umidade passa posteriormente pelo condensador do ciclo de refrigeração sendo este aquecido até a temperatura desejada para secagem.

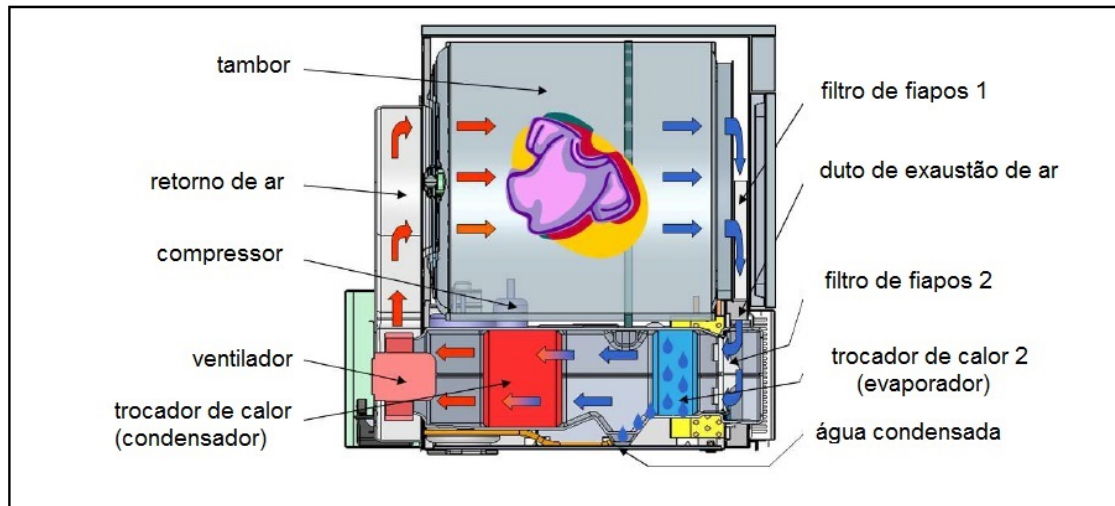


Figura 2. Esquema de funcionamento da secadora de condensação por bomba de calor.

Algumas secadoras comerciais também utilizam no processo de secagem um processo concomitante que consiste na centrifugação da roupa de forma a permitir que o ar quente seja distribuído uniformemente dentro da câmara ficando em contato com a maior parte da superfície molhada da roupa.

Este sistema, entretanto, apresenta algumas desvantagens, tais como: (i) o ar de entrada na câmara não é totalmente seco, contendo certa umidade o que limita a quantidade de água evaporada; (ii) a máquina requer a utilização dos componentes de um ciclo de refrigeração por compressão o que eleva o custo do equipamento; (iii) os componentes adicionais aumentam os requerimentos e custos de manutenção; (iv) o espaço requerido pela máquina é maior, pois suas dimensões são maiores para abrigar os componentes de refrigeração adicionais.

Secadora por redução de pressão

Outra tecnologia de secagem, que ainda não se tem muitas referências é a utilização de bombas de vácuo para reduzir a pressão interna do ar dentro de uma câmara de secagem de forma a acelerar o processo de evaporação da água. O dispositivo denominado "Maguire Low Pressure Dryer - LPD" (MAGUIRE PRODUCTS, INC), que funciona a base da formação de vácuo, foi projetado para acelerar o processo de secagem de resinas industriais. O fabricante informa que o equipamento possui grandes vantagens energéticas e econômicas comparado a sistemas de secagem que usam material dissecante, entretanto, não se tem notícia da utilização deste sistema em secadoras de roupas.

3. Secadora a vácuo com recuperação de calor

Diferentemente das secadoras convencionais, a secadora proposta neste trabalho, possibilita a extração contínua da água da câmara de secagem, evacuando a mesma e retirando o vapor de água através de uma bomba de vácuo. A evaporação da água na temperatura ambiente é possível devido à redução da pressão interna da câmara para valores de pressão de vácuo. Para manter a temperatura interna da câmara constante e igual à temperatura ambiente, de forma a se evitar temperaturas negativas do ar interno, é necessário que haja uma transferência de calor, para vaporização da água (i.e., calor latente). O calor dissipado pela bomba de vácuo durante a compressão do ar é recuperado e usado para aquecer o ar interno da câmara mantendo o mesmo na temperatura ambiente, o que possibilita, consequentemente, o aumento da eficiência energética do processo de secagem. Adicionalmente, o equipamento proposto apresenta menores perdas de calor do que os equipamentos convencionais, pois estes possuem trocadores de calor para aquecer o ar de entrada não sendo adiabáticos devido ao isolamento térmico não ser perfeito. A secadora proposta opera conforme o fluxograma mostrado na Fig. 3, consistindo dos seguintes processos sequenciais: (i) a câmara de vácuo contendo a roupa molhada é selada de forma hermética; (ii) o compressor da bomba de vácuo é ligado fazendo com que a pressão e a temperatura interna da câmara diminuam; (iii) simultaneamente o calor " Q_c ", dissipado pelo compressor da bomba de vácuo, é recuperado e direcionado para aquecer o interior da câmara, mantendo sua temperatura interna constante; (iv) a pressão interna é reduzida até que a água presente no interior da câmara se evapore na temperatura ambiente (i.e., $\approx 25^\circ\text{C}$), estando o compressor operando de forma contínua bombeando o vapor de água para fora do sistema.

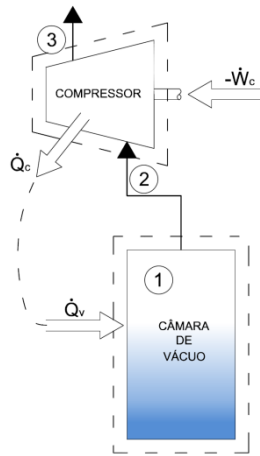


Figura 3. Fluxograma de funcionamento da secadora proposta.

3.1. Componentes da secadora a vácuo com recuperação de calor

A secadora é formada pelos seguintes componentes: (i) bomba de vácuo; (ii) recuperador de calor. A bomba de vácuo basicamente comporta-se como um compressor bombeando ar úmido da câmara interna da secadora para o ar ambiente externo à pressão atmosférica. Como a pressão de saída é levemente superior à pressão atmosférica a pressão interna é reduzida possibilitando desta forma a formação do vácuo. O bombeamento típico de uma bomba de vácuo, conforme Ciência Ilustrada (1970), provoca nos primeiros instantes de funcionamento a extração da maior parte da massa (cerca de 99 %), enquanto que, no restante do tempo apenas uma pequena parte massa remanescente (cerca de 1%) é bombeada, embora jamais se consiga atingir o vácuo absoluto.

Os compressores e bombas de vácuo que operam com grandes razões de pressão acarretam grandes variações de temperatura durante o processo de compressão. Para reduzir o trabalho mecânico de compressão as superfícies externas são geralmente aletadas ou encamisadas para circulação de água de resfriamento visando facilitar a compressão. A dissipação de calor oferece uma oportunidade para reaproveitamento dessa energia que pode ser usada para aquecimento da câmara de vácuo da secadora aumentando a eficiência do processo de secagem. O modelo utilizado para simulação da bomba de vácuo neste trabalho considera a compressão politrópica e o vapor de água como sendo gás ideal. Conforme Shirinov (2009) existem bombas de vácuo de alta eficiência e baixo consumo energético, fato que viabiliza ainda mais a investigação da utilização deste conceito para secagem de roupas.

4. SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DAS SECADORAS

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo para simulação energética da secadora proposta do tipo vácuo com recuperação de calor, visando obter resultados energéticos para comparação dos mesmos com valores disponíveis de secadoras convencionais disponíveis comercialmente.

4.1. Consumo energético da secadora do tipo “condensação por bomba de calor”

O consumo energético de uma secadora convencional do tipo “ar aquecido via queima de combustível ou resistência elétrica” pode ser modelado a partir da 1ª lei da termodinâmica e modelos de transferência de calor e massa, entretanto, devido à diversidade de variáveis e parâmetros encontrados nos diferentes tipos de secadoras optou-se por adotar como referência para este trabalho a secadora de roupa do tipo “condensação por bomba de calor”, que é considerada uma das melhores do ponto de vista de eficiência energética. A secadora escolhida foi um modelo disponível comercialmente fabricado por empresa nacional. As dimensões da câmara de secagem e os parâmetros de entrada para o teste dessa secadora, conforme a Norma Europeia (EN 61121, 2005), estão apresentados na Tab. 1, sendo o seu consumo de energia, conforme descrito no manual, igual a 2,4 kWh.

4.2. Consumo energético da secadora à vácuo com recuperação de calor

Nesta seção são apresentados os parâmetros de entrada e saída, além do modelo utilizado para simulação da secadora à vácuo com recuperação de calor visando determinar a energia consumida e eficiência térmica.

Parâmetros de entrada

O modelo utiliza parâmetros de secagem, estabelecidos na norma Europeia (EN 61121, 2005), considerando que para uma carga de roupa úmida de massa igual a 7 kg, 60 % a 70% deste peso representa a água agregada durante o processo de lavagem, ou seja, durante cada ciclo de secagem uma massa de 7 kg de carga de tecido possui de 4,2 kg a

4,9 kg de água agregada. Os parâmetros dimensionais utilizados na simulação foram os mesmos de uma secadora comercial do tipo condensação por bomba de calor, considerada a de maior eficiência energética no mercado, conforme mostrado na Tab. 1.

TABELA 1 – Parâmetros de uma secadora comercial do tipo condensação por bomba de calor.

Volume da câmara de secagem - V_c	108 litros ou 0,108 m ³
Massa da carga de tecido - m_c	7 kg
Massa de água contida na câmara - m_{H_2O}	4,2 até 4,9kg
Tempo de secagem - t_s	130 min ou 7800 s

Variáveis de saída

O sistema energético foi dividido em dois volumes de controle, sendo um para a câmara de vácuo e outro para o compressor, respectivamente. A variável de saída da câmara de vácuo foi o calor necessário para manter a temperatura do ar interno na câmara igual a 25°C. As variáveis de saída da bomba de vácuo foram o trabalho de compressão e o calor retirado para reduzir a pressão interna da câmara num determinado valor. O calor dissipado na bomba de vácuo foi reaproveitado a fim de manter a câmara de vácuo na temperatura ambiente.

Modelo para determinação do calor fornecido à câmara de vácuo

O processo é dividido em dois estágios: 1º Estágio corresponde à retirada do ar existente na câmara, considerando como volume de controle apenas o ar (i.e., ar seco). O estado inicial do ar é 101,325 kPa e 25°C e o estado final é o estado de saturação da água, ou seja 25°C e 3,169 kPa. Este processo é isotérmico consistindo de fornecimento de calor para o ar. No estado final a água está nas fases líquida e vapor em equilíbrio, ocupando todo o volume da câmara (exceto o volume ocupado pela roupa); 2º Estágio corresponde à retirada de vapor de água que está em equilíbrio com o líquido saturado no interior da câmara. Neste processo a pressão inicialmente a 3,169 kPa é reduzida pela bomba de vácuo até se atingir a pressão de 1 kPa. Este processo é também isotérmico com fornecimento de calor para a água (líquido e vapor).

Considerando o regime transiente (i.e., uniforme com escoamento uniforme) e aplicando a 1ª lei da termodinâmica e a equação da continuidade o calor transferido no 1º e 2º estágios podem ser determinado pela Eqs. (1) e (2).

$$Q_{cam} = Q_{cam,ar} + Q_{cam,vapor} \quad (1)$$

$$Q_{cam,i} = m_{s,i}h_{s,i} + m_{2,i}u_{2,i} - m_{1,i}u_{1,i} \quad (2)$$

Onde:

Q_{cam} : calor transferido total do ar (1º estágio, $i = 1$) e do vapor (2º estágio, $i = 2$) na câmara para que os processos sejam isotérmicos;

$Q_{cam,i}$: calor transferido do ar (1º estágio, $i = 1$) ou calor transferido do vapor (2º estágio, $i = 2$);

$m_{1,i}$, $m_{2,i}$: massas do ar (1º estágio, $i = 1$) e do vapor (2º estágio, $i = 2$), correspondendo aos estados inicial (1) e final (2) na câmara;

$m_{s,i}$: massas de ar (1º estágio, $i = 1$) e do vapor (2º estágio, $i = 2$) que saem da câmara, sendo $m_{s,i} = m_{1,i} - m_{2,i}$;

$h_{s,i}$: entalpia do ar (1º estágio, $i = 1$) e do vapor (2º estágio, $i = 2$) na saída da câmara;

$u_{2,i}$: energia interna do ar (1º estágio, $i = 1$) e do vapor (2º estágio, $i = 2$) no estado final (2);

$u_{1,i}$: energia interna do ar (1º estágio, $i = 1$) e vapor (2º estágio, $i = 2$) no estado inicial (1);

O calor transferido no 2º estágio ($i = 2$) é calculado pelas mesmas Eqs. (1) e (2) sendo m_1 a massa de líquido e vapor no estado inicial (25°C e 3,169 kPa) e m_2 a massa do vapor de água superaquecido no estado final (25°C, 1 kPa).

Modelo para determinação do trabalho de compressão na bomba de vácuo

O processo consiste dos mesmos dois estágios apresentados anteriormente para cálculo do calor transferido na câmara. No 1º e 2º estágios é assumido um processo de compressão politrópica ($n = 1,2$). O trabalho de compressão é calculado pela Eq. (3) que representa a soma dos trabalhos dos dois estágios, ou seja, compressão do ar e do vapor.

$$W_r = W_{r,ar} + W_{r,vapor} \quad (3)$$

O trabalho de cada estágio, respectivamente, a compressão do ar e do vapor, pode ser calculado pela Eq. (4)

$$W_{r,i} = \frac{m_s}{\eta} \left[-\frac{n}{n-1} R_i (T_s - T_e) \right] \quad (4)$$

Onde:

$W_{r,i}$: trabalho de compressão de cada estágio, sendo $i = 1$ para o ar e $i = 2$ para o vapor de água;

$m_{s,i}$: massa da substância em cada estágio, sendo $i = 1$ para o ar e $i = 2$ para o vapor de água;

η : eficiência de compressão, assumida igual a 50%;

R_i : constante universal dos gases sendo $i = 1$ para o ar e $i = 2$ para o vapor de água;

T_e : temperatura do ar na câmara igual a 25°C (298K);

$T_{s,i}$: temperatura ideal do ar (1º estágio) e do vapor (2º estágio) na saída do compressor, calculada pela Eqs. (5) e (6).

$$T_{s,i} = T_e \left(\frac{P_s}{P_e} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (5)$$

$$T_{s,r,i} = \frac{(T_{s,i} - T_e)}{\eta} + T_e \quad (6)$$

Onde: $T_{s,r,i}$ é a temperatura real do ar (1º estágio) e do vapor (2º estágio) na saída do compressor.

Modelo para determinação do calor recuperado do compressor

O processo consiste dos mesmos dois estágios apresentados anteriormente, sendo o 1º estágio referente ao calor dissipado durante a compressão do ar seco e o 2º estágio referente ao calor dissipado durante a compressão do vapor de água. O calor total dissipado pelo compressor que pode ser recuperado para atender a demanda de calor da câmara é determinado pela Eqs. (6) e (7).

$$Q_c = Q_{c,ar} + Q_{c,vapor} \quad (6)$$

$$Q_{c,i} = W_{r,i} + m_i c_{p,i} (T_{s,r,i} - T_e) \quad (7)$$

Onde:

$Q_{c,i}$: calor transferido de cada estágio, sendo $i = 1$ para o ar e $i = 2$ para o vapor de água;

m_i : massa de entrada (igual a de saída) no compressor para cada estágio, com $i = 1$ para o ar e $i = 2$ para o vapor de água;

T_e : temperatura de entrada do ar (1º estágio) e vapor de água (2º estágio) no compressor igual a 25°C;

$T_{s,r,i}$: temperatura de saída do ar (1º estágio) e vapor de água (2º estágio) no compressor calculada pelas Eqs. (5) e (6).

Modelo consumo energético da secadora termodinâmica

A secadora termodinâmica opera conforme fluxograma da Fig.3, sendo o equipamento constituído por um compressor (i.e., bomba de vácuo), uma câmara de vácuo e um recuperador de calor que transfere calor da bomba de vácuo para a câmara. O modelo determinístico para cálculo do consumo de energia deste equipamento baseia-se em balanços de energia e massa nos componentes sendo apresentado a seguir. O modelo utiliza os mesmos parâmetros de entrada da secadora comercial do tipo condensação por bomba de calor mostrados na Tab. 1 de forma que seja possível a comparação da eficiência energética dos dois equipamentos.

5. RESULTADOS

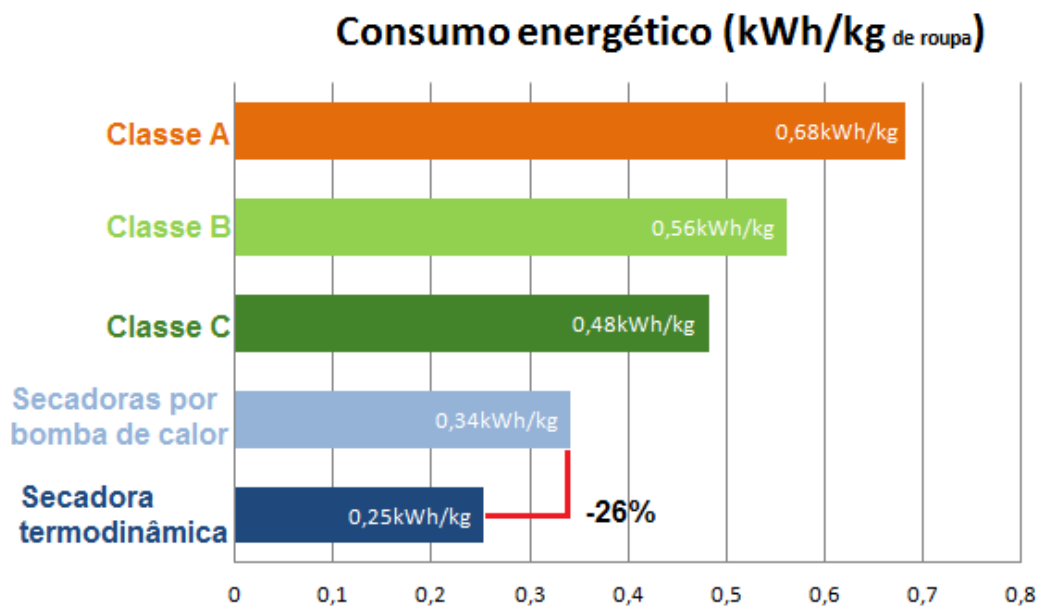
Os resultados do trabalho total requerido pelo compressor, calor dissipado pelo compressor, calor requerido pelo ar e vapor de água na câmara durante o processo de realização do vácuo, energia total requerida e energia específica requerida são apresentadas na Tab.2, considerando uma carga de roupa de 7 kg com 60 % e 70 % do seu peso em água, sendo o tempo da energia calculada para um ciclo com um período de tempo igual á 130 minutos.

TABELA 2. Desempenho da secadora a vácuo com recuperação de calor.

Desempenho da secadora a vácuo com recuperação de calor		
Carga de secagem: 7kg de algodão		
Rendimento considerado do compressor: 50%		
% de umidade na carga (conforme norma EN61121-2005)	4,2kg _{H2O} ou 60% em peso	4,9kg _{H2O} ou 70% em peso
Coeficiente "n"	n=1,2 (prox. Real)	n=1,2 (prox. Real)
Gasto energético no compressor	6326,60 kJ	7378,47 kJ
Calor dissipado no compressor	10609,67 kJ	12373,90 kJ
Calor necessário na câmara	10268,41 kJ	11978,07 kJ
Energia total consumida em kJ	6326,60 kJ	7378,47 kJ
Energia total consumida em kWh	1,76 kWh	2,05 kWh
Energia consumida por kg de água	1506,33kJ/kg _{H2O}	1505,81kJ/kg _{H2O}

Observa-se da Tab. 2 que o calor dissipado pelo compressor é aproximadamente igual ao calor requerido para manter a temperatura do ar (1º estágio) e do vapor (2º estágio) dentro da câmara constante e igual a 25°C. A energia externa necessária é praticamente igual ao trabalho de compressão (i.e., 1,76 kW). Os consumos totais e específicos de energia são maiores quando o percentual de peso de água é maior, devido a maior quantidade de energia requerida para evaporar uma maior quantidade de água.

Uma comparação dos consumos específicos energéticos de diferentes tipos de secadoras para secar 7 kg de roupa é apresentada na Fig. 4. As categorias “A”, “B” e “C” se referem aos consumos específicos de diferentes tipos de secadoras convencionais. Também são apresentados na Fig. 4 os consumos específicos da secadora do tipo “bomba de calor” e da secadora do tipo “termodinâmica” (i.e., a secadora à vácuo proposta neste trabalho) considerando um rendimento térmico do compressor igual a 50 % e desconsiderando a energia gasta na centrifugação.



*Centrifugação à 1000 rpm.

Figura 4. Consumo energético específico de diferentes secadoras (agrupamento por classe de consumo).

Observa-se da Fig. 4 que o consumo específico da secadora proposta apresenta o menor consumo específico dentre todas as categorias podendo, portanto, ser considerada competitiva e promissora. Adicionalmente, verifica-se que a energia gasta no processo de centrifugação para acionamento do motor elétrico pode ser compensada pelo decréscimo do tempo de secagem e conseqüentemente da energia para evaporação da água. Dessa forma pode-se inferir que a energia total requerida pela secadora a vácuo, sem considerar a energia da centrifugação, seria aproximadamente a mesma daquela considerando o sistema de centrifugação.

3. CONCLUSÃO

A apresentação conceitual do modelo de uma nova secadora consistiu de um modelo determinístico baseado em equações de balanço de energia e massa. O modelo permitiu simular uma secadora à vácuo com recuperação de calor com parâmetros dimensionais próximos das secadoras convencionais.

Observou-se que os consumos específicos são menores para a secadora proposta neste trabalho.

O desenvolvimento técnico do seu processo e as respectivas memórias registradas neste contexto permite concluir pela viabilidade do projeto da secadora termodinâmica, pelas seguintes razões:

- Melhor desempenho operacional em relação aos modelos utilizados no mercado;
- Projeto de natureza simplificada por apresentar menor número de componentes;
- Menor consumo energético;
- Menor desgaste das roupas, pois as mesmas são secadas à temperaturas próximas da ambiente, além de sofrerem atrito devido ao equipamento não dispor de processo de centrifugação;

4. REFERÊNCIAS

Editora Abril. Enciclopédia, bomba de vácuo, Ciência Ilustrada, Abril, 1970.

INCROPERA, F. P., 6th Edição, Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, LTC, 2008.

Nipkow e Bush (2008), IOU CASE Report: Commercial Clothes Dryers, June 18, 2013.

MAGUIRE PRODUCTS, INC., 2014,

<http://www.maguire.com/?page=shop/browse&category_id=8a6c3a1658cf16ca9d1d376f847c213b>. Acesso em 10/05/2014

Shirinov, A. Vacuum. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042207X11000777#>>. Acesso em 07/03/2013

WYLEN, V., 6th Edição, Fundamentos da Termodinâmica, Edgard Blücher, 2003.

Abstract. *This study presents the development and evaluation of the technical feasibility of a thermodynamic dryer for domestic usage, controlling the pressure and temperature of the drying chamber to evaporate and extract the liquid contained in the system, this procedure, an alternative to the conventional dryers which uses the warmed atmospheric air in order to remove the water of objects / materials.*

Given the dryers present in the market and its high energy consumption, this study develops a more economical and efficient process. The study aims to confirm that the energy consumption in the process of pressure reduction and heat supply to evaporate the water, pumping this water from chamber to the atmosphere is smaller and more efficient, as demonstrated by the results obtained compared to the driers with great efficiency present in the market.

Key words: *dryer, efficiency, pressure reduction.*