

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SECADORA VERTICAL DE USO DOMÉSTICO PARA VESTUÁRIO

Jefferson Almeida Ribeiro

Paulo Magalhães Filho

Universidade Estadual Paulista-UNESP, Faculdade de Engenharia, Departamento de Energia, 12500-000, Guaratinguetá, SP, Brasil. E-mail: pfilho@feg.unesp.br

Resumo

A desumidificação em tecidos é feita pelo processo de circulação de ar quente através destes, em secadoras. A circulação do ar é obtida por um ventilador acionado por motor elétrico, e o aumento da temperatura do ar que atravessa os tecidos, com o objetivo de arrastar a sua umidade, é feito com dissipação de calor em resistência elétrica. Este trabalho mostra os resultados de uma modelagem experimental, examinando o comportamento de diversos tecidos numa secadora vertical do tipo suspenso, como: tergal, *cotton-lycra*, flanela, *jeans-indigo* e viscose. Foi analisado o comportamento do conteúdo de umidade nestes tecidos, frente aos fluxos de ar em temperaturas controladas, determinando, com isso, o calor necessário para atingir os padrões de secagem exigidos. Os ventiladores dos aparelhos de secagem foram testados para determinação da vazão e consumo de energia, estabelecendo com isso uma relação vazão *versus* consumo. São apresentados os resultados comparativos entre os vários tipos de tecidos.

Palavras-chave: Secagem de tecidos, Secagem, Consumo de energia.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de eletrodomésticos coloca no mercado diferentes alternativas para a secagem de vestuário, não tendo um padrão, e tão poucas normas técnicas brasileiras, para padronização do produto ofertado.

O usuário deste tipo de produto normalmente não tem espaço em sua residência para a secagem do vestuário utilizando a energia solar, por residir em apartamentos, adquirindo o produto sem conhecer o seu desempenho e o seu consumo de energia.

O circuito básico de um sistema suspenso de secagem doméstica de tecidos, consiste de um fluxo de ar quente e seco que é insuflado num ambiente envolto por um filme de plástico.

Secadores elétricos são responsáveis por aproximadamente 3% do consumo de energia em residências nos países do hemisfério norte (onde o aquecimento de ar e água são responsáveis por 75% do total do consumo de energia), e cerca de 10% em regiões de clima moderado a quente.

Embora muitos estudos tenham sido realizados sobre esse assunto, é estimado que o consumo médio anual de energia elétrica em secagem de roupas numa residência típica - família com 4 pessoas - está em torno de 900 kWh, o que está próximo de um número correspondente a 1200 kWh para um forno elétrico.

Do início ao final do funcionamento de um secador elétrico de roupas, estas à temperatura do ambiente externo, a mais evidente e maior perda de energia em cada secador está na exaustão, onde uma grande quantidade de energia é conduzida e perdida para o meio externo na forma de ar quente e úmido.

Em localidades onde a calefação se faz necessária durante o inverno, esse ar pode ser filtrado e conduzido para ambientes fechados a fim de aquecer e umidificar residências, com isso economizando energia. Alternativamente, ele pode ser filtrado, desumidificado e reciclado para o secador, diminuindo a quantidade de energia elétrica necessária para aquecer o novo ar de secagem.

Isso contrasta com o procedimento atual, onde o secador retira o ar do ambiente e o aquece eletricamente, a um custo significativo, antes de descarregá-lo continuamente no meio externo. Além disso, a secagem não é uniforme numa mesma peça de roupa ou de uma peça para outra.

Em alguns tipos de secadores é necessário um aquecimento extra, ou apenas um breve aumento de temperatura para os tecidos de secagem rápida, o qual reflete tanto sobre a qualidade da secagem quanto sobre o controle da energia gasta nos secadores elétricos convencionais de roupas (Hamid,1991).

A determinação do desempenho de secadores é de vital importância, uma vez que a secagem é um processo de grande consumo de energia, como pode ser verificado em uma indústria têxtil, onde o tecido passa várias vezes por secadores durante o processo de acabamento. A produtividade dos secadores é o principal fator do qual depende a normalidade do fluxo das operações de produção. Portanto, conhecer as características de desempenho, através da determinação da eficiência térmica e da velocidade de secagem, é essencial para o estudo de secadores de tecidos.

Procedimentos devem ser desenvolvidos através de investigações teóricas e experimentais do processo básico de secagem, assim como através do estudo detalhado de secadores de diversos tipos, para obter-se uma modelagem representativa do processo para posterior simulação.

As informações obtidas podem ser de grande ajuda em estimativas quantitativas de melhoria, adquiridas em cada variação dos fatores que influenciam no desempenho. Baseado nessas grandezas e fatores selecionados pode-se decidir quais serão as variações mais benéficas para a melhoria do desempenho do secador.

Vários são os parâmetros que influenciam o desempenho dos secadores, e na maioria dos casos a natureza da influência e seu papel no mecanismo de secagem devem ser conhecidos, pelo menos nos graus de precisão requeridos para cada aplicação.

Os principais parâmetros são os seguintes: teor (ou conteúdo) de umidade do tecido na entrada e na saída do secador, conteúdo crítico de umidade do tecido, peso específico do tecido, condições de transferência de calor, temperatura do meio de fornecimento de calor, o tipo de envoltório do fluxo de ar, a velocidade e a umidade absoluta do fluxo de ar, a taxa de exaustão, taxa de secagem do sólido, dentre outros (Prabhu & Parajia, 1981).

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PERÍODOS DE SECAGEM

Na secagem de um sólido úmido, mediante um gás a uma temperatura e a uma umidade fixas, temos sempre um determinado tipo de comportamento, mostrado na Figura 1. Pode-se verificar que imediatamente após o contato entre o sólido e o meio secante a taxa de secagem do sólido (R) ajusta-se até atingir um regime permanente. No período de ajuste a taxa de secagem pode tanto crescer (AB) como diminuir (A'B).

No regime permanente a temperatura da superfície do sólido molhado é a própria temperatura de bulbo úmido do meio secante, permanece bastante estável e a taxa de secagem

também permanece constante (BC). O período termina quando o sólido atinge um teor de umidade, a partir do qual a temperatura da superfície começa a se elevar. Este ponto é chamado de teor crítico de umidade (X'_C). A partir desse ponto a temperatura da superfície do sólido eleva-se e a taxa de secagem cai.

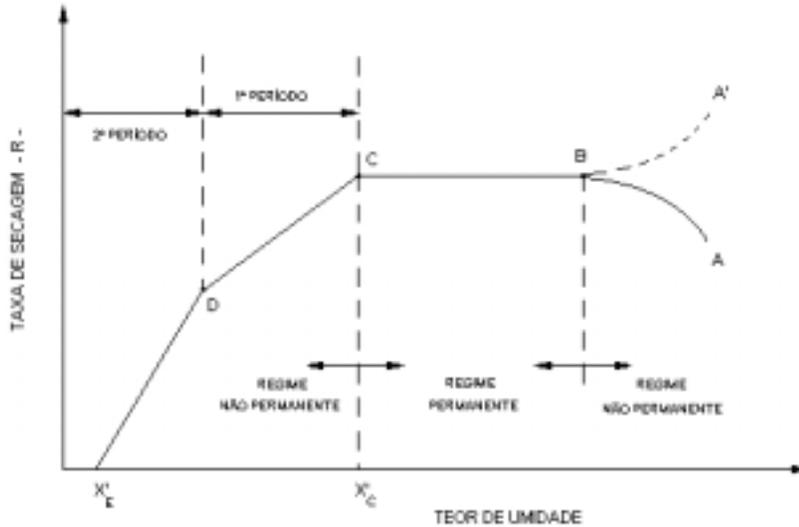


Figura 1. Taxa de secagem e o teor de umidade em condições fixas de secagem

O período de taxa decrescente pode ser bem maior que o de taxa constante, no entanto, a quantidade de líquido removido será muito menor. A taxa de secagem atinge valores próximos de zero num certo teor de umidade de equilíbrio (X'_E), que é o menor teor de umidade atingível no processo de secagem com o sólido nas condições a que está submetido.

Durante o período de secagem à taxa decrescente, entre os pontos C e D, a superfície vai ficando mais pobre em líquido, pois a velocidade do movimento do líquido do interior do sólido para a superfície é menor que a velocidade com que a massa é evaporada na superfície.

No ponto D não há na superfície qualquer região significativamente saturada de líquido. A partir do ponto D, toda a evaporação ocorre a partir do interior do sólido e começa o segundo período de taxa decrescente. Este período termina quando atinge-se o teor de umidade de equilíbrio (X'_E), e acaba a secagem.

3. COMPORTAMENTO DE TECIDOS DURANTE A SECAGEM

Os tecidos são sólidos com estruturas fibrosas que retêm a umidade como parte integrante da sua estrutura, ou então retêm a mesma no interior das fibras ou de poros delgados internos. Nestes materiais, o movimento da umidade é lento e ocorre pela difusão do líquido através de sua estrutura. As suas curvas de secagem mostram períodos de taxa constante (BC) muito curtos e conseqüentemente elevados valores de teor crítico de umidade (X'_C). O 1º período de taxa decrescente é muito reduzido, e a maior parte do processo de secagem ocorre no 2º período.

Os teores de umidade de equilíbrio (X'_E) são, em geral, elevados em virtude da água presente fazer parte da estrutura dos sólidos, e sua remoção total danificar os tecidos. As camadas superficiais tendem a secar mais rapidamente que o interior, e quando a taxa de secagem é muito elevada, ocorrem tão grandes gradientes no teor de umidade no interior do sólido, que a estrutura se rompe ou se deforma. Podem ocorrer casos com tecidos espessos em que se forma uma camada de material seco relativamente impermeável, dificultando ou

impossibilitando o prosseguimento da secagem no interior do mesmo, ou em que se acentue o gradiente do teor de umidade no sólido, e dependendo do material do tecido, causar a sua deterioração.

Em virtude destas circunstâncias, as condições da realização da secagem são relevantes e devem ser escolhidas tendo em vista os efeitos que podem ter sobre a qualidade do material (Foust *et al.*,1982).

Uma das variáveis que frequentemente devem ter seus valores conhecidos nos experimentos em secagem é a taxa de secagem . Para a determinação da mesma, a massa da amostra (material + líquido) colocada no fluxo de ar deve ser medida em função do tempo. A fim de obter-se resultados que possam ser extrapolados para o protótipo, alguns aspectos devem ser considerados na modelagem: as dimensões da amostra devem acompanhar a escala do protótipo e as condições de secagem (temperatura, superfície, coeficiente de troca de calor) devem, se possível, ser idênticas às condições do processo real (Molnár,1995).

4. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE SECADORAS

Para uma avaliação técnico-econômica realística de uma unidade secadora, certos fatores técnicos de desempenho devem ser definidos. Alguns dos seguintes fatores de desempenho são comumente utilizados: Tempo de Secagem, Eficiência Térmica, Consumo Específico de Potência, Volume Específico do Secador e Consumo Específico de Ar (Pakowski,1992).

Para efeito de estudo teórico de secadoras tem-se um conjunto de equações que devem ser resolvidas simultaneamente. Essas equações normalmente são: equações do balanço de massa e de entalpia, equações cinéticas de transferência de calor e de massa, e equação do tempo de residência. Dependendo do número de incógnitas, essas equações não serão suficientes para as suas resoluções, sendo necessário a obtenção de valores experimentais para completar a modelagem (Gopalnarayanan & Radermacher,1995), (Kesselring & Smith,1996), (Mujumdar,1995), estando neste ponto a contribuição deste trabalho.

4.1 Objetivos da avaliação experimental deste trabalho

- Encontrar as temperaturas ideais para secagem por processo convectivo de tipos diferentes de tecidos utilizados na confecção de vestuário.
- Determinar alguns fatores de desempenho de um aparelho secador do tipo suspenso existente no mercado brasileiro.

4.2 Materiais e métodos

Foi utilizada uma secadora normal de linha disponível no mercado, do tipo suspenso, marca Enxuta. O ventilador responsável pelo insuflamento do ar de secagem foi ensaiado em bando de teste segundo AMCA/ANSI – Standard 210-74, tendo apresentado para o ponto nominal de funcionamento, valores constantes de 3,0 mCAr para a pressão estática e 0,0368 Nm³/s de vazão em 2400 rpm, consumindo uma potência de 96 W. O sistema de aquecimento do ar de secagem é constituído de resistência elétrica dissipando uma potência de 1200 W, com tensão de alimentação regulada em 120 V. Este tipo de secadora, contém 7 suportes para que as roupas sejam penduradas, numa câmara envoltória de filme plástico de 0,105 m³, tendo orifícios laterais para a saída do ar úmido.

As amostras foram confeccionadas nas dimensões 0,465 x 0,340 m, que representaram as áreas de exposição dos vestuários ao fluxo do meio secante, em diversos tecidos normalmente utilizados para sua manufatura: tergal, *cotton-lycra*, flanela, *jeans-indigo*, e viscose.

Com o objetivo de verificar o comportamento da temperatura das superfícies e teor de

umidade das amostras, e o tempo necessário para a desumidificação dessas, foi montada uma bancada de testes cujos instrumentos de medida, aferidos, foram: termopares, termômetros de haste e bulbo, placa de orifício, aparelhos para determinação de grandezas elétricas, balança eletrônica, barômetro, cronômetro, escalas, e sistema de aquisição e armazenamento de dados programado para registrar a cada 120 s.

Na Figura 2, mostra-se a secadora do tipo suspenso, colocada numa balança, através de cintas de *nylon*, de tal forma que durante os testes de secagem fosse registrada a variação do peso do conjunto em função do tempo, devido à massa de líquido evaporada.

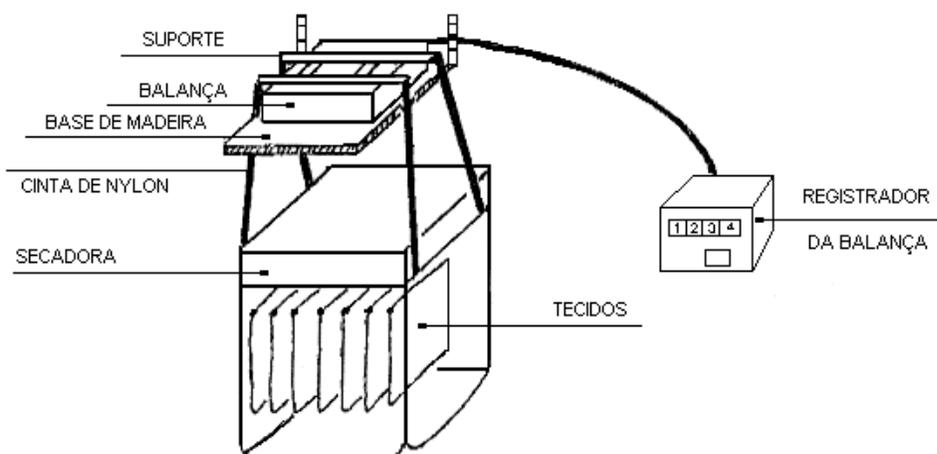


Figura 2. Esquema da bancada de testes

Ao mesmo tempo, a temperatura da superfície dos tecidos colocados na secadora foi determinada em diversos pontos, como mostrado na Figura 3, através de termopares fixados por velcros no próprio tecido e introduzidos no mesmo através de orifícios.

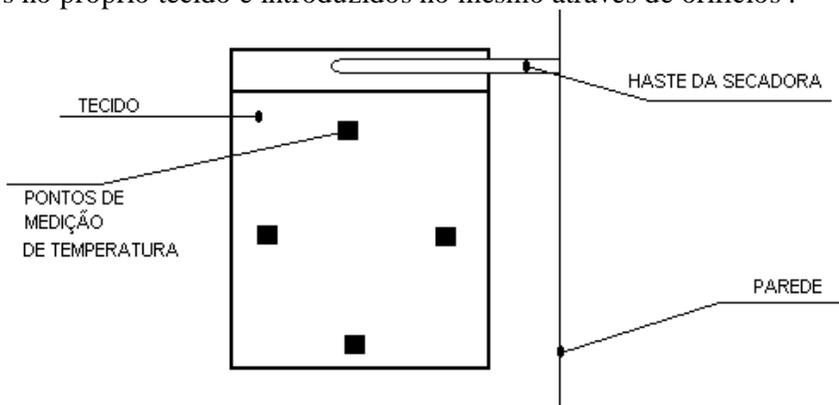


Figura 3. Localização dos termopares nas amostras de tecidos

Conjuntos de 7 amostras para cada tecido, após terem sido lavados e centrifugados em lavadora automática, foram imediatamente colocados na bancada de testes, fechando-se o envoltório de filme plástico. Foram realizados um número de testes suficientes para que se tivesse uma confiabilidade nos resultados de cada conjunto de amostras. A variação entre os pesos iniciais das amostras úmidas de cada tipo de tecido, por bateria de testes, foi estabelecida em um valor máximo de 3%. Cada bateria de testes se encerrava no momento em que se estabilizava o peso do conjunto secador, isto é, ou com a repetição do valor de duas ou mais medidas consecutivas registradas, ou quando a diferença entre essas fosse desprezível.

4.4 Resultados

Para a apresentação dos resultados, definimos que o teor de umidade dos tecidos (X') é a razão entre a massa de líquido no tecido num determinado instante e a massa do tecido seco. Definimos também que a taxa de secagem do tecido (R) é a razão entre a vazão mássica de líquido evaporado em determinado instante e a área das superfícies dos tecidos expostas ao fluxo de ar. A Tabela 1 mostra os valores médios da massa de cada conjunto de amostras secas dos tecidos.

Tabela 1. Valores médios da massa de cada conjunto de amostras secas [kg]

Tergal	Cotton-lycra	Flanela	Jeans-indigo	Viscose
0,2770	0,4927	0,2701	0,5608	0,1686

Os resultados do comportamento do teor de umidade médio de cada conjunto de amostras em função do tempo de secagem são mostrados para cada tipo de tecido na Figura 4, e os do comportamento da taxa de secagem de cada tipo de tecido em função do respectivo teor de umidade são mostrados na Figura 5.

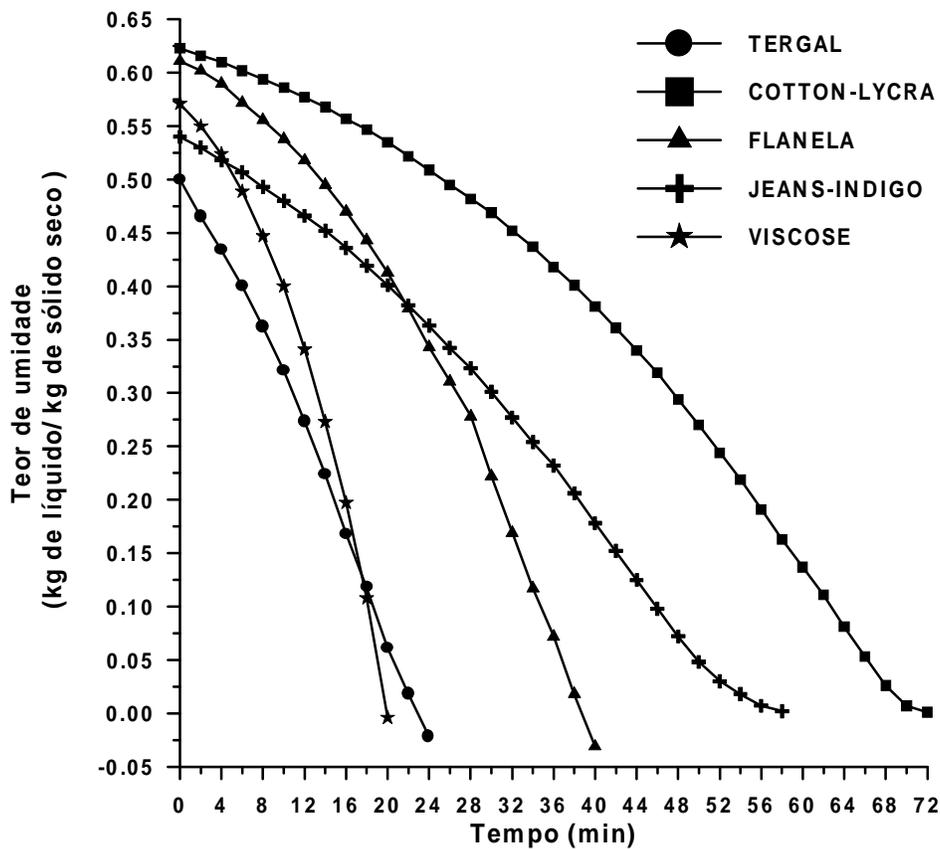


Figura 4. Teor de umidade médio dos conjuntos de amostras de cada tecido em função do tempo

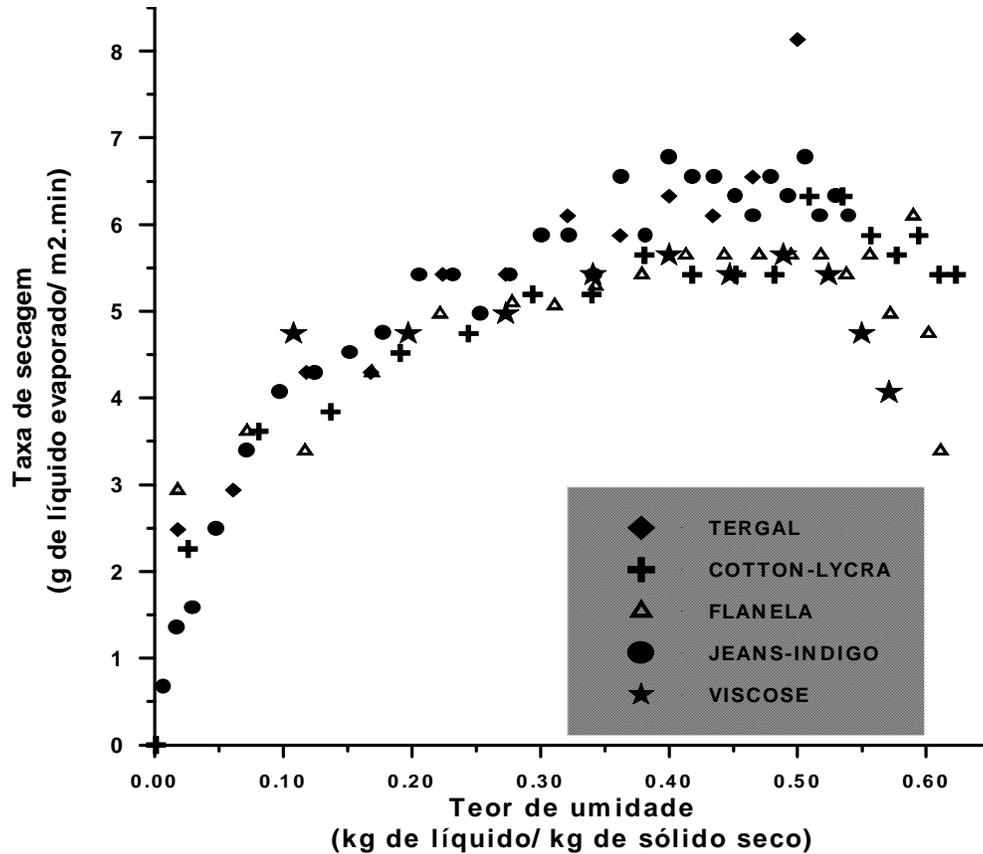


Figura 5. Taxa de secagem dos conjuntos de amostras de cada tecido em função do seu respetivo teor de umidade

Devido a disposição dos termopares na superfície das amostras, e ao insuflamento de ar ser descendente, ilustramos na Figura 6 o comportamento das temperaturas médias dessas superfícies, nas regiões superior, mediana e inferior, no conjunto de amostras de flanela.

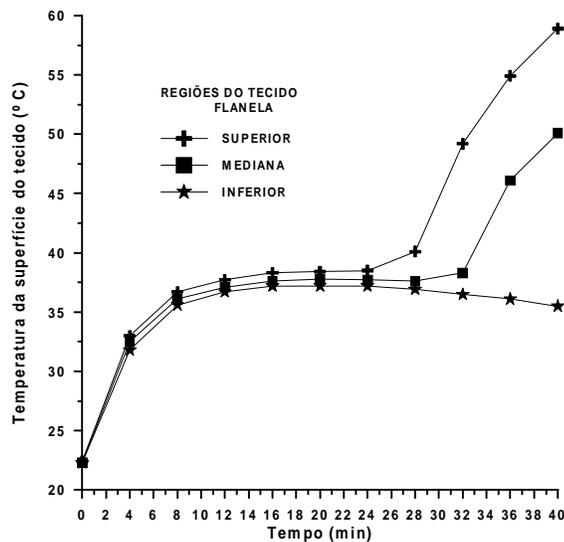


Figura 6. Comportamento típico das temperaturas das superfícies do conjunto de amostras de flanela nas suas diferentes regiões

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO

As curvas do comportamento do teor de umidade para cada tecido durante a secagem indicam a necessidade de diferentes tempos de exposição dos mesmos ao meio secante. Isto mostra que deve haver uma seleção das peças de vestuário segundo o material de que são confeccionadas para cada carregamento da secadora, permitindo assim haver um melhor controle da qualidade e dos tempos de secagem.

Confirmou-se a previsão teórica, com os tecidos escolhidos para análise neste trabalho, haver um curto período de taxa de secagem constante em comparação com os seus respectivos períodos de taxa decrescente, para condições fixas de secagem.

Os valores obtidos para os parâmetros escolhidos para avaliação do desempenho da secadora, mostrados na Tabela 2, indicam a necessidade de equipar tais aparelhos com dispositivos para variação da temperatura e fluxo do meio secante, e do volume da câmara de secagem, com o objetivo de reduzir o consumo de energia no processo.

Tabela 2. Resultados dos parâmetros de avaliação de desempenho da secadora

	unidade	Tergal	Cotton-Lycra	Flanela	Jeans-Indigo	Viscose
Tempo de Secagem	min	22	72	38	56	18
Eficiência Térmica	g água evap. / kJ	0,172	0,157	0,153	0,162	0,157
Cons.Espec. de Potência	W/ g tecido seco	4,677	2,631	4,798	2,311	7,686
Vol.Espec. da Secadora	m ³ / kg tecido seco	0,379	0,213	0,389	0,187	0,623
Cons.Espec. de Ar	Nm ³ / s.kg tecido seco	0,133	0,075	0,136	0,066	0,218

6. REFERÊNCIAS

- Foust, A S., Wenzel, L.A, Clump, C.W., Maus, L., Andersen, L.B.,1982, "Princípios das Operações Unitárias", 2º Ed., Guanabara Dois, Rio de Janeiro.
- Gopalnarayanan, S., Radermacher, R.,1995," Simulation of a Vapor Compression Dehumidification System for Batch Drying Processes", Proceedings of the 30th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Orlando, Vol. 2.
- Hamid, M.,1991," Microwave Drying of Clothes", Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, Vol. 26. Nº 2.
- Kesselring, J. P., Smith, R. D.,1996, "Development of a Microwave Clothes Dryer", Transactions on Industry Applications, Vol.32, Nº 1.
- Molnár, K.,1995 " Experimental Techniques in Drying", In: Handbook of Industrial Drying, 2º Ed., Marcel Dekker, Inc.
- Mujumdar, AS.,1995, "Handbook of Industrial Drying", Vol. 1 e 2, 2º Ed., Marcel Dekker, Inc.
- Pakowski, Z.,1992, " Advances in Drying", Vol. 5, Ed. Hemisphere, New York.
- Prabhu, M. R., Parajia, J. S.,1981," Performance Relations and Norms for Textile Contact and Convection Dryers", Ahmedabad Textile Industry's Research Association, Ahmedabad, India.