

ANÁLISE TRIDIMENSIONAL E SENSORIAMENTO EM TEMPO REAL DO PROCESSO DE SECAGEM EM ESTUFAS

Paulo Ignácio Fonseca de Almeida – pignacio@power.ufscar.br
Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química
13565-905 São Carlos , SP – Brasil

Carlos Henrique Novaga Alves – chna@hotmail.com
Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química
13565-905 São Carlos , SP – Brasil

***Resumo.** A secagem natural através da evaporação atmosférica é pouco eficiente e produz muitos inconvenientes. Na produção alimentícia a tendência é confinar os insumos em estufas ou esteiras fechadas que evitam a perda e a contaminação atmosférica do produto. No presente trabalho um sistema de “visão” monitorou em tempo real o “encolhimento” do produto (cubos de batata) sendo secado em uma estufa de convecção natural. Um sistema de iluminação a laser permitiu a obtenção de imagens tridimensionais e possibilitou a análise dos resultados tridimensionais obtidos em computador. Os dados foram correlacionados com os resultados da pesagem “on-line” obtidos através de uma célula de carga especialmente montada sobre a estufa. A adoção das imagens tridimensionais busca superar o problema causado pela sobreposição de áreas na imagem normalmente obtida quando os materiais sendo seco não se encontram ordenados. Os resultados experimentais obtidos permitem verificar a validade de utilização do sistema de iluminação laser para estimar a dimensão de sombreamento do produto sendo secado além da imagem bidimensional normalmente obtida.*

***Palavras-chave:** Secagem em estufa, Análise de Imagens, Sensoriamento em Tempo Real*

1. INTRODUÇÃO

O processo de secagem industrial realizado em ambientes confinados, feito em condições mais higiênicas do que a secagem ao sol, permite um controle mais refinado da qualidade do produto final. Na rehidratação, a semelhança entre o alimento original e o seco não é mais recuperada em ambas as alternativas de secagem, sendo esta uma principais desvantagens deste método de conservação de alimentos.

A secagem industrial se realiza pelo controle da transferência de calor, umidade e pelo controle da qualidade do meio de secagem (geralmente o ar), resultando num produto a ser conservado com maior qualidade e homogeneidade. O ar é geralmente o meio mais utilizado no processo de secagem porque, além de sua disponibilidade abundante, os equipamentos, as instalações e suas propriedades como meio de transporte de calor e massa são bem conhecidas. Controlando seu aquecimento e vazão para o transporte de calor remove-se a umidade presente no produto gradativamente, evitando que o produto se deteriore por superaquecimento e por contato excessivo com superfícies aquecidas.

O acompanhamento automatizado do processo de secagem, através de sistemas de pesagem, facilita a tomada de decisão a partir da análise de resultados obtidos e registrados em tempo real, acelerando as conclusões a respeito dos dados experimentais. Em situações onde a pesagem direta não é viável, como no caso de medições dinâmicas na secagem em esteiras transportadoras, Lewicki e Piechinick (1996) propuseram a utilização de sistemas de visão computadorizados para monitorizar a alteração dos alimentos durante a secagem. Uma das principais alterações físicas no material que está sendo secado é o encolhimento. Teoricamente, o volume devido ao encolhimento deveria ser igual ao volume de água evaporado. Porém os vegetais são constituídos por células com paredes espessas que formam tecidos com uma resistência mecânica que limita o grau de encolhimento durante a secagem. A remoção de água aumenta a rigidez do material e, usualmente, o grau de encolhimento é menor do que o previsto pela teoria. Portanto, informações sobre a evolução do volume do material sendo seco são fundamentais para acompanhar a perda da umidade no produto.

A monitorização do encolhimento do material através da aquisição de imagens produzidas por uma câmera de vídeo foi realizada por Prox, Nishioka e Almeida (1999) e Nishioka e Almeida (1999) para verificar a eficiência da utilização do sistema de imagens computadorizadas para o controle do processo de secagem de cubos de batata em estufas de convecção natural. No presente trabalho a utilização de uma iluminação a laser no processo de secagem de cubos de batatas permitiu obter dados tridimensionais (através de uma dimensão do sombreamento dos cubos de batatas) além das imagens bidimensionais obtidas anteriormente.

O objetivo do trabalho, portanto, é encontrar uma relação suficientemente satisfatória entre o grau de encolhimento (através das imagens adquiridas) e da umidade (através da pesagem “on line”) para que em processos de secagem onde a pesagem do material a ser seco não seja viável, em esteiras por exemplo, o acompanhamento do peso possa ser substituído pelo acompanhamento “on line” do encolhimento do material através da aquisição de imagens. No presente trabalho busca-se verificar a adequação da iluminação a laser para caracterização tridimensional das imagens durante o processo de encolhimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para comunicação entre os equipamentos, computador e operador, foi desenvolvido um sistema supervisor. O supervisor é uma interface no computador que rastreia (executa a varredura) os dados nos sensores e neles pode interferir para efeito de controle.

O “software” que supervisiona o experimento (Fig. 1) foi desenvolvido em um interface gráfica (ambiente Windows) utilizando o compilador Microsoft® Visual Basic 6.0 Professional Edition. O “software” realiza a aquisição das imagens, processa-as e juntamente com os valores da massa medidos “on-line”, apresenta um gráfico de ambos os valores em relação ao tempo decorrido desde o início da experiência.

2.1 Equipamento de medição de peso utilizado

Um esquema do equipamento utilizado é ilustrado na Fig. 2. Normalmente em processos automatizados para se acompanhar variações no peso utiliza-se uma célula de carga. A célula de carga consiste de uma resistência de material rígido, que devido à aplicação de uma força, é deformada proporcionalmente à força aplicada. Essa deformação é medida através de um medidor de esforços, que se utiliza do fato dessa deformação causar uma variação na

resistência à passagem de corrente elétrica nesse material e, através desse diferencial, é possível determinar qual a força aplicada, o que resulta na informação do peso.

A célula utilizada no experimento é a célula de carga por flexão de viga, consistindo numa montagem horizontal, fixada em um suporte praticamente inflexível (fixação na parede). Na outra extremidade, coloca-se a carga em balanço a ser medida a partir da deformação da viga pelo seu peso.

O fabricante da célula é a Hardy Instruments, Inc e o modelo HI2151/30WC, com capacidade máxima de $(1000,0 \pm 0,1)g$.

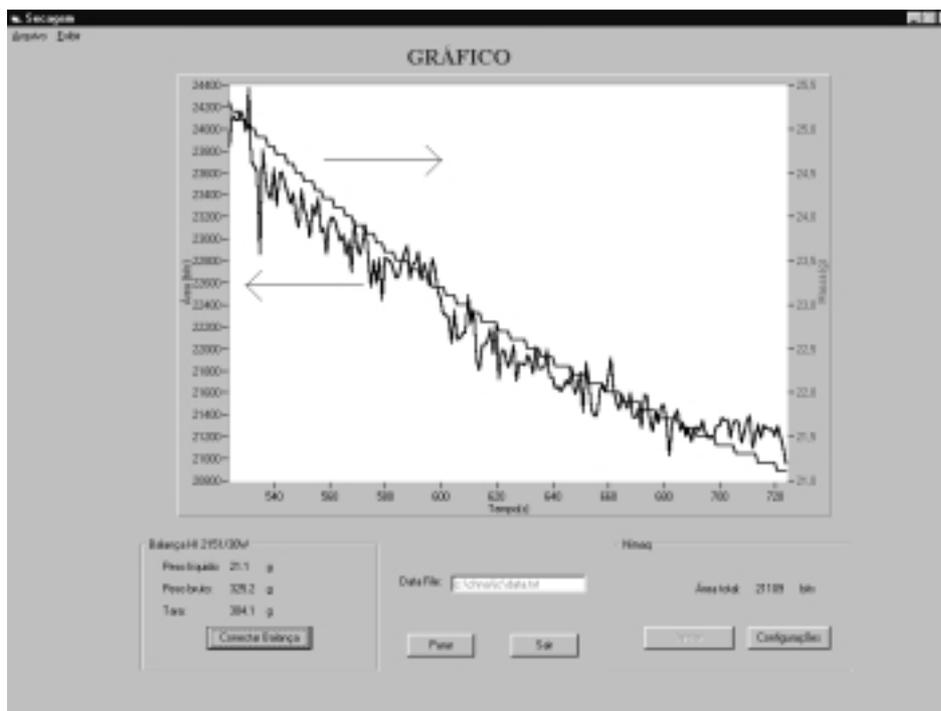


Figura 1 – Tela principal do “software” supervisor

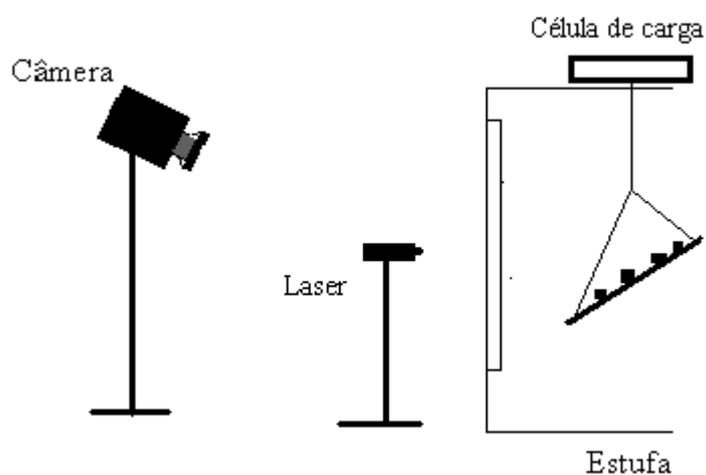


Figura 2 – Esquema do equipamento utilizado para medição de peso

2.2 Aquisição e Análise de Imagens

Uma câmera de vídeo é constituída por vários sensores fotosensitivos capazes de captar e enviar sinais elétricos quando atingidos por um raio luminoso. O sensor possui um circuito que armazena e transfere a carga para um registrador, que converte o conjunto total de cargas em um sinal analógico. Os dois formatos de sinal de vídeo analógico mais comuns são: NTSC (National Television Systems Committee) e PAL (Phase Alternate Line).

No microcomputador, os sinais de vídeo são capturados por uma placa de aquisição de imagens. Um "Software" adequado fornece a interface de comunicação e os métodos para análise e processamento das imagens ao ambiente de programação do sistema supervisorio.

Uma imagem é uma função da intensidade luminosa que varia o grau de luminosidade e suas coordenadas, cuja unidade é definida como pixel ("picture element").

No processamento de imagens digitais, a placa de aquisição converte a imagem em um conjunto de pixels. A definição de uma imagem indica o número de tonalidades ou de cores em que a imagem pode ser vista. A definição depende do número de "bits" utilizados para armazenar o valor do pixel. Uma imagem em tons de cinza possui apenas o valor de luminosidade – graus de cinza – do pixel na sua respectiva coordenada, enquanto uma imagem colorida possui luminosidade no padrão RGB: vermelho ("red"), verde ("green") e azul ("blue").

O cálculo da área em uma imagem só pode ser efetuado sobre uma imagem binária, que é uma imagem onde os pixels podem adquirir somente dois valores: valor um para branco ou valor zero para preto. O cálculo da área é, então, processado contando-se o número de pixels que possuem valor um.

Para isso as imagens que estão sendo adquiridas pela câmera em tons de cinza precisam ser processadas e transformadas em imagens binárias através de uma técnica denominada "thresholding".

"Thresholding" consiste em segmentar uma imagem em duas regiões: uma região branca (pixels iguais a um) e uma região preta (pixels iguais a zero). Esta segmentação pode ser executada manualmente simplesmente definindo um intervalo de valores para qual os pixels assumirão valor um, e o restante assumirá valor zero. Por exemplo, todos os pixels que possuem valor de tons de cinza entre 100 e 166 assumirão valor um, e os pixels com valor inferior a 100 ou superior a 166 assumirão valor zero.

Porém existem métodos automáticos de "thresholding" que, através de análises estatísticas encontram o melhor intervalo de valores para se detectar os objetos em estudo.

Ao utilizar o "thresholding" para transformar em imagem binária, pixels que não pertencem ao objeto a ser analisado podem assumir valor um e necessitam ser removidos. Com esta finalidade são utilizados os filtros espaciais.

Os filtros espaciais alteram os valores dos pixels conforme as variações da intensidade luminosa nas suas vizinhanças. A vizinhança de um pixel é definida pelo tamanho de uma matriz centrada no próprio pixel. Estes filtros podem ser sensíveis à presença ou ausência de variações na intensidade luminosa. Os filtros espaciais podem ser usados para uma série de propósitos, tais como a detecção de bordas, padrões de contorno, redução de "ruído", redução ou aumento de detalhes.

Luz estruturada é o processo de iluminação de um objeto (de um ângulo conhecido) com um padrão de luz específico. Observando a posição lateral da imagem é possível a determinação de sua profundidade.

Na iluminação laser, se uma linha de luz é gerada, e vista obliquamente, as descontinuidades na linha podem ser entendidas como variações de altura. Este é o princípio

básico para a percepção de profundidades para máquinas computadoradas, ou uma câmera de visão 3D. Iluminando um objeto com luz estruturada e observando o modo que a luz estruturada muda pela presença do objeto, esta verificação fornece informações sobre a forma tridimensional deste objeto

2.3 Equipamento de secagem e sistema de visão utilizado

Para se obter uma evolução temporal da área do material sendo seco comparativamente em relação à massa, utilizou-se uma estufa (ELKA® modelo SE 310) onde foi realizada a secagem, um sistema de visão (conjunto de visão da National Instruments® - Câmera Sony®, modelo DXC-107A e a placa de aquisição IMAQ® PCI-1408) e uma célula de carga para acompanhar do peso do material sendo seco (Hardy Instruments, Inc. – modelo HI 2151/30WC).

Um sistema de iluminação na parte interna da estufa composto por cinco lâmpadas paralelas (usadas em estufas), um sistema de iluminação laser (LASIRIS, Inc. – modelo SNF 505) e um microcomputador. A análise das imagens foi efetuada utilizando as ferramentas de análise do ComponentWorks™ IMAQ Vision da National Instruments®.

2.4 Métodos

Inicialmente a batata foi cortada em cubos com dimensões de aproximadamente 1 cm e colocados em água fervente por 2 min (para evitar escurecimento). Seca-se o excesso de água com um papel absorvente e coloca-se no ambiente por um tempo para que se atinja o equilíbrio. Posicionou-se a célula de carga sobre a estufa e colocou-se a plataforma de suporte (de modo que o ângulo entre ela e a câmera fossem complementares, para o ajuste do foco da imagem captada). Ajustou-se a iluminação laser de forma que incidisse a 45° na plataforma. Nesta plataforma foram dispostas as amostras de batata, como mostrado em destaque na Fig.3.

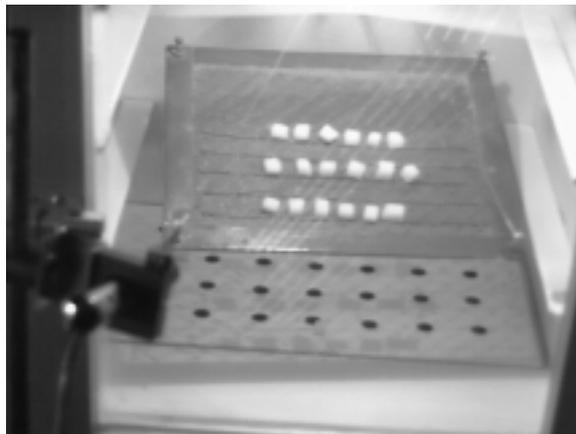


Figura 3 – Disposição das amostras na plataforma de suporte

Ligou-se a estufa para controle de temperatura em 75°C. Instalou-se o equipamento de visão executando-se o início do “software” de supervisão. Através da captação de uma imagem da estufa iluminada mas sem o material a ser seco, foi possível calcular a área da plataforma iluminada pelos raios laser. Com os cubos de batata dentro da estufa sobre a

plataforma pode-se medir sua massa inicial e adquirir uma imagem das amostras iluminadas com o raio laser em que é possível notar a sombra projetada pelo raio. A partir deste início a aquisição das imagens é realizada a cada 10 segundos e a aquisição da massa “on-line” é feita com a mesma frequência de aquisição, todas acompanhadas no interior da sala de controle, como é mostrado na Fig. 4.



Figura 4 – Acompanhamento do interior da sala de controle

3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente determinou-se a área ocupada somente pelos raios laser como é mostrado na Fig. 5.

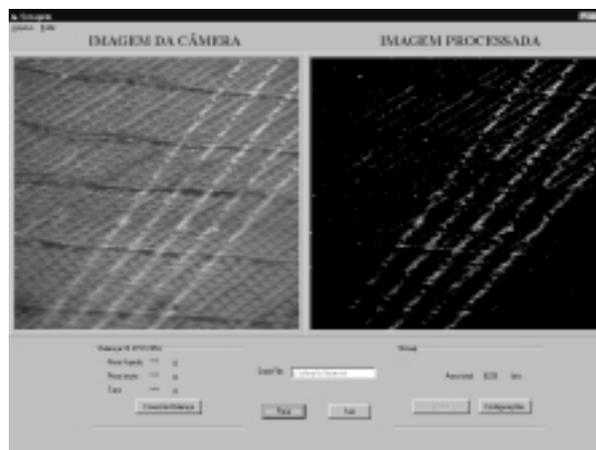


Figura 5 – Área ocupada pela iluminação laser

Em seguida, iniciou-se o processo de secagem armazenando o valor da área ocupada pelas batatas mais o laser (em bits) e a massa (em gramas) das batatas, como é mostrado nas Figuras 6 e 7.

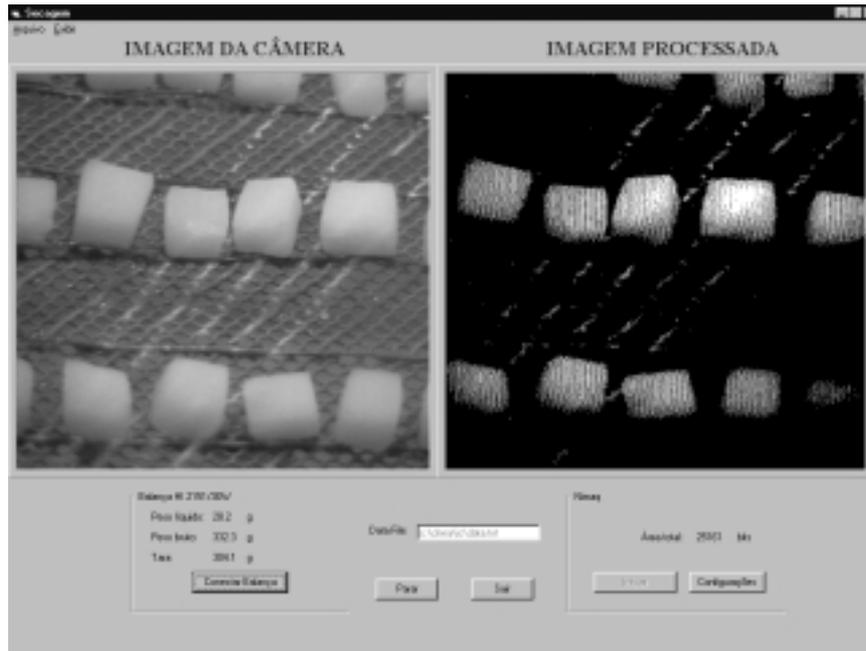


Figura 6 – Imagem obtida no início do processo de secagem

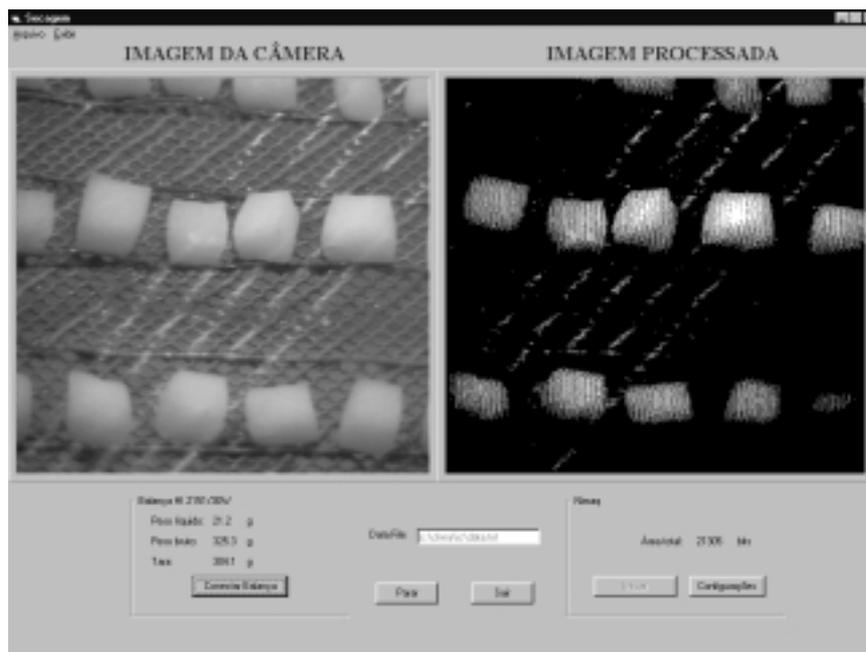


Figura 7 – Imagem obtida no final do processo de secagem

Subtraiu-se o valor da área obtida somente com a iluminação laser dos dados obtidos durante a secagem. Portanto, para o cálculo da área relativa, levou-se em conta apenas a área da batata e da interrupção dos raios do laser devido à sombra formada pela batata. Por fim, dividiram-se todos os valores pelo valor inicial, obtendo-se o valor relativo. O mesmo foi feito para a massa. Na Fig. 8, está representado o decaimento da área e massa relativa durante o tempo de secagem.

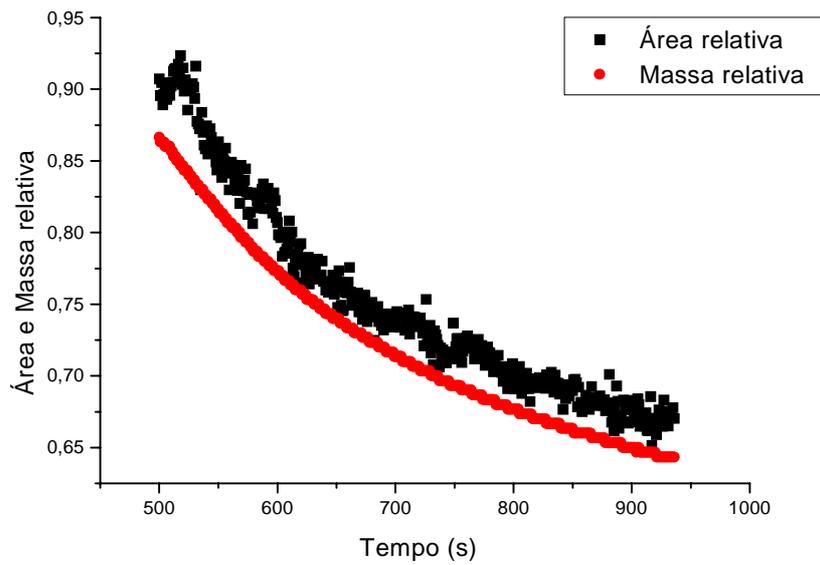


Figura 8 – Gráfico da Área e Massa relativa em função do tempo

Com os dados da área e massa relativa buscou-se estabelecer a correlação linear entre os dados experimentais, determinando-se a melhor relação entre eles, conforme mostrado na Fig. 9.

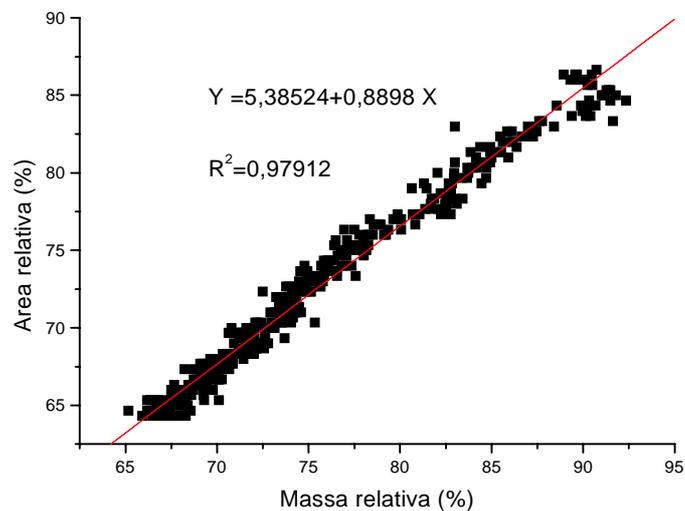


Figura 9 – Relação entre Área e Massa relativa

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados na Fig. 9 indicam a boa correlação linear ($R^2=0,97912$) entre o grau de encolhimento estimado pela área relativa obtida através do processamento da

imagem, com o efeito tridimensional computado, e a diminuição de massa (massa relativa) obtida através do sinal produzido pela célula de carga, embora ainda não estejam totalmente superadas as dificuldades na obtenção das imagens.

As oscilações observadas no cálculo da área relativa estão relacionadas com as oscilações da corrente elétrica. A lâmpada utilizada no experimento para iluminação foi ligada em apenas uma fase. Com o uso de três lâmpadas ligadas uma em cada duas fases num sistema trifásico em triângulo certamente as oscilações observadas diminuiriam. Não foi possível até o momento adotar este procedimento pela baixa potência de iluminação do laser disponível. Com a necessidade de baixa iluminação interna, pelo uso de somente uma lâmpada em conjunto com a iluminação laser, as oscilações da rede elétrica são inevitavelmente captadas pela câmera. Soluções possíveis para este problema, seriam a utilização de uma iluminação baseada em uma fonte de tensão de corrente contínua (por exemplo fornecida por uma bateria) e/ou o uso de programas para a filtragem das oscilações e dos ruídos observados, prática tradicionalmente utilizada em sistemas de aquisição de imagens.

Com a utilização do laser verificou-se a formação da sombra projetada que manteve-se coerentemente durante todo o processo de secagem (aproximadamente duas horas de acompanhamento, sem que a secagem fosse totalmente completada). Estudos a respeito da geometria do sombreado produzido pela iluminação laser deverão ser realizados na continuidade do presente trabalho, para indicar a viabilização deste instrumento na caracterização tridimensional do processo de encolhimento observado

5 CONCLUSÕES

Foi realizado o acompanhamento “on line” do processo de encolhimento associado à secagem de amostras de batata monalisa cortadas em cubo.

O presente trabalho indicou a adequação da iluminação a laser para a caracterização tridimensional do processo de encolhimento através do sombreado projetado associado a profundidade do sólido sendo visualizado pelo sistema de aquisição de imagens.

Os resultados apresentados indicaram uma alta correlação entre o grau de encolhimento (a área relativa) e a diminuição de massa (a massa relativa) durante o início do processo de secagem. Procedimentos para a filtração do ruído e das oscilações observadas no sinal da imagem adquirida deverão ser adotados.

A utilização da iluminação laser auxilia na avaliação do volume do material sendo seco ao longo do processo de secagem, necessitando-se entretanto que estudos da geometria do sombreado produzido sejam desenvolvidos. Procedimentos para estimar a variação do volume dos cubos de batata ao longo do processo de secagem serão desenvolvidos posteriormente.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio concedido ao projeto de pesquisa e a bolsa de iniciação científica de um dos autores.

REFERÊNCIAS

- Lewicki, P.P., Piechnik, H., 1996, Computer Image Analysis of Shrinkage during Food Dehydration, Proceedings of the 10th International Drying Symposium, vol. B, pp. 793-800.
- Nishioka, R. H. e Almeida, P. I. F., 1999, Modelagem e Monitoramento “on-line” do Processo de Encolhimento Durante a Secagem, Programação e Resumos do 3^o Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, COBEQ-IC, pp. 401, Belo Horizonte, MG.
- Prox, L. R. B., Nishioka, R. H. e Almeida, P. I. F., 1999, Sensoriamento Automático do Processo de Encolhimento Durante a Secagem, XX CILAMCE, 20th Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 1st Brazilian Congress on Computational Mechanics, 3-5 de Novembro, São Paulo, SP, CD-ROM.
- Laser da marca LASIRIS especificações na página www.lasiris.com

ON LINE SUPERVISION AND THREE-DIMENSIONAL ANALYSIS OF A STOVE DRYING PROCESS

Abstract. *Natural drying by atmosphere evaporation is not efficient or convenient for industrial process. In alimentary production the tendency is to confine the products in stoves or in closed carriers for protect the product against atmosphere contamination and minimize its losses. In the present work an on line vision system supervises the product shrinkage (potato cubes) during drying process in a natural convective stove. A laser illumination system permitted three-dimensional images and its computer analysis. The results were correlated with data from an on-line strain gage specially mounted over the stove. The use of three-dimensional images is adopted to overcome the error produced by two-dimensional area coincidence in the images obtained from an orderliness product drying process. The result show to be valid uses the laser illumination system for estimates the shadow dimension of the products together to the traditional two-dimensional image obtained by on line vision systems.*