

APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO QUE CONTEMPLA CUSTOS DA MÁ QUALIDADE E DE FABRICAÇÃO PARA UM PROCESSO DE SECAGEM

Carlos Eduardo Appollo Unterleider

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Praça Argentina, nº 9 - 90040020 - Porto Alegre, RS - Brasil, eduardo@pirisa.ind.br

Carla Schwengber ten Caten

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Praça Argentina, nº 9 – 90040020 - Porto Alegre, RS - Brasil, tencaten@producao.ufrgs.br

Resumo. Este artigo apresenta a aplicação de um método para otimização multivariada de um processo de secagem, onde são utilizadas técnicas de projetos de experimentos, modelos de regressão e função de perda quadrática de Taguchi para identificar o ajuste ótimo global dos fatores controláveis a um custo de pesquisa mínimo considerando múltiplas variáveis de resposta simultaneamente. Os fatores controláveis selecionados para o experimento foram: temperatura máxima do secador, aproveitamento vertical das bandejas, aproveitamento horizontal das bandejas e secador utilizado. As variáveis de resposta do processo de secagem foram: produtividade, perda de princípio ativo e umidade final do produto. Um projeto fatorial 2^K foi escolhido para realização dos experimentos e os dados foram tratados estatisticamente através de modelos de regressão. Utilizou-se para a otimização multivariada uma função objetivo que considerou, além dos custos da má qualidade também os custos de fabricação. Através dos resultados obtidos, com a aplicação do método de otimização multivariada proposto, foi alcançada uma economia anual no processo de secagem de R\$445.280,00.

Palavras-chave: Projeto de Experimentos, Otimização Multivariada, Secagem.

1. INTRODUÇÃO

O processo de secagem de materiais porosos é considerado a operação unitária mais antiga e mais comum, dentre os diferentes processos encontrados nas indústrias: química, alimentícia, têxtil, cerâmica, etc. Também é uma classificação atribuída aos processos de secagem, serem os menos compreendidos e mais complexos (ZHANG et al.⁽¹⁾).

Conforme descreve Foust et al.⁽²⁾, o termo secagem aplica-se à transferência de um líquido que está num sólido molhado para uma fase gasosa não saturada. A investigação da secagem e o cálculo das dimensões do equipamento de secagem devem levar em conta uma variedade imensa de problemas nas áreas da mecânica dos fluidos, da química das superfícies e da estrutura dos sólidos. Em muitos casos, o projeto do secador perfeito é impossível, pois os fenômenos físico-químicos envolvidos são de enorme complexidade e imperfeitamente compreendidos.

É fato que um secador projetado para um determinado material dificilmente apresentará o mesmo rendimento e *performance* na secagem de outro material com características diferentes, a menos que modificações sejam realizadas. Algumas características iniciais, do material a ser secado, que devem ser levadas em consideração quando se busca projetar um secador são: percentual de umidade inicial, percentual de umidade final, e temperatura máxima que o material pode ser submetido durante o processo de secagem. É importante verificar que a temperatura

máxima pode estar relacionada com o tempo de residência no secador, ou seja, um produto que é mantido a 5 horas sob uma temperatura de 75°C, poderá ter mais modificações indesejáveis em suas características do que o mesmo produto mantido a 150°C por 1 hora.

2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM

2.1. Comportamento geral

De acordo com Foust et al.⁽²⁾, na secagem de um material sólido, mediante a passagem de um gás a uma temperatura e uma umidade fixas, há um certo comportamento inerente. Imediatamente após o contato entre a amostra e o meio secante, a temperatura do material sólido ajusta-se até atingir um regime permanente. A temperatura do sólido e a velocidade de secagem podem aumentar ou diminuir para chegarem as condições de regime permanente. Neste regime permanente, a medida da temperatura mostra que a temperatura da superfície do sólido molhado é a temperatura de bulbo úmido do meio secante. A temperatura no interior do sólido tende a ser igual à temperatura de bulbo úmido do gás, mas a concordância entre elas é imperfeita em virtude das defasagens entre o movimento de massa e o calor. Uma vez que as temperaturas do sólido tenham atingido a temperatura de bulbo úmido do gás, elas permanecem bastante estáveis e a taxa de secagem também permanece constante. O período termina quando o sólido atinge o teor de umidade crítico. Além deste ponto, a temperatura da superfície eleva-se e a taxa de secagem cai rapidamente. O período de taxa decrescente pode ser maior que o período de taxa constante, embora a remoção de umidade seja menor. A taxa de umidade aproxima-se de zero, num certo teor de umidade de equilíbrio, que é o menor teor de umidade atingível no processo de secagem com o sólido nas condições a que está submetido.

A Figura 1 mostra a curva típica de secagem, representando a velocidade de secagem em função do teor de umidade. O primeiro período de secagem é o de regime permanente, representado pelo segmento AB, durante este período a temperatura do sólido atinge o seu valor de regime permanente. O segundo segmento, BC, representa o período de secagem a uma taxa constante, onde toda a superfície exposta do sólido está saturada de água. No ponto C, o teor de umidade do sólido é mínimo para suprir a totalidade da superfície. Durante o primeiro período de taxa de secagem decrescente, entre os pontos C e D, a superfície vai tendo sua quantidade de líquido na superfície reduzida, pois a velocidade do movimento do líquido para a superfície é menor que a velocidade com que a massa é transferida da superfície. Já no ponto D não existe na superfície qualquer área significativamente saturada no líquido. A parte da superfície que está saturada seca pela transferência convectiva de calor para a corrente gasosa e pela transferência de massa para a corrente do gás secante. O vapor, nos níveis mais internos da amostra sólida, difunde-se para a parte da superfície que não está saturada e continua a difundir-se para a corrente gasosa. Este mecanismo é muito lento em comparação com a transferência convectiva que ocorre na superfície saturada. Nos teores de umidade mais baixos que os do ponto D, toda a evaporação ocorre a partir do interior do sólido. À medida que o teor de umidade continua a cair, a distância a ser coberta na difusão do calor e da massa aumenta até que, em X_E , o teor de umidade de equilíbrio cessa a secagem. O teor de umidade de equilíbrio é atingido quando a pressão de vapor sobre o sólido é igual à pressão parcial do vapor no gás secante afluente. Este período é denominado o segundo período de taxa decrescente (FOUST et al.⁽²⁾).

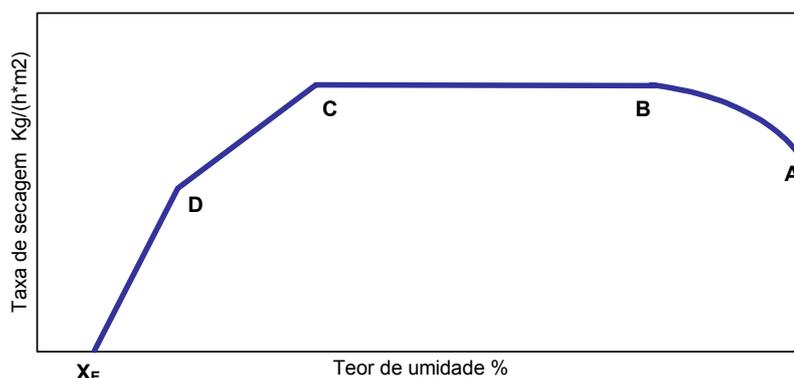


Figura 1. Curva típica de secagem

3. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO

3.1. Otimização multivariada

O método para otimização multivariada contempla as seguintes etapas (adaptado a partir de CATEN⁽³⁾; ECHEVESTE⁽⁴⁾ e RIBEIRO et al.⁽⁵⁾): (i) caracterização do problema; (ii) Planejamento do experimento; (iii) execução do experimento; (iv) análise individual das variáveis de resposta; (v) otimização multivariada integrando qualidade e custos. As etapas do método estão detalhadas na seqüência.

Etapa 1 – Caracterização do problema:

Neste trabalho é analisado um sistema de secagem, onde a produtividade deve ser melhorada aumentando a disponibilidade dos secadores, diminuindo o custo produtivo e mantendo-se a umidade final do produto menor que 13%. Outro problema que também é analisado refere-se à perda de um componente do produto (princípio ativo - PA) durante a secagem. Este componente tem grande valor agregado no produto e sofre perdas devido ao arraste natural no processo.

O processo produtivo atualmente reduz a umidade inicial do produto de 50% para um limite máximo de 13%, em um espaço de tempo que varia entre 4,5 e 6 horas. A secagem ocorre de maneira contínua, com ar ambiente entrando no sistema para transferência de massa. A produtividade média atual é de 48 peças por segundo.

Existe uma pequena circulação de ar, movimentada por ventiladores no centro do secador (entre dois paletes de bandejas), que também carregam o calor dos radiadores para fornecer energia ao processo. O ar é renovado através de uma abertura superior no secador e retirado embaixo por sucção de um exaustor.

A Tabela 1 apresenta as variáveis de resposta que avaliam quantitativamente as características de qualidade definindo, para estas variáveis de resposta, seu tipo, seu valor alvo, suas especificações e a importância relativa (IR) que cada variável de resposta representa dentro do processo.

Tabela 1. Variáveis de resposta do processo de secagem

Variáveis de resposta	Tipo	Alvo	Especificações		IR
			Min	Max	
Y1: Produtividade (peças/s)	Maior-é-melhor	60	30	-	2,0
Y2: Perda de PA (mg)	Menor-é-melhor	5,5	-	20	2,0
Y3: Umidade (%)	Nominal-é-melhor	8	2	13	1,0

Etapa 2 – Planejamento do experimento:

São considerados parâmetros de processo todas as variáveis de processo que podem ser alteradas e que talvez tenham efeito sobre as variáveis de resposta. Visando minimizar o número de experimentos, é necessário priorizar alguns parâmetros de processo para serem estudados no

experimento. Os parâmetros de processo eleitos para serem alterados propositalmente no experimento são chamados de fatores controláveis.

A escolha dos fatores controláveis é realizada baseada em uma matriz semelhante a casa da qualidade do QFD. Como resultado da matriz, calcula-se um índice de priorização que prioriza os parâmetros do processo com maior influência sobre as variáveis de respostas com maiores importâncias relativas. A facilidade de atuação sobre os parâmetros também é considerada. A Figura 2 apresenta o gráfico de Pareto com os parâmetros de processo em ordem decrescente de índices de priorização.

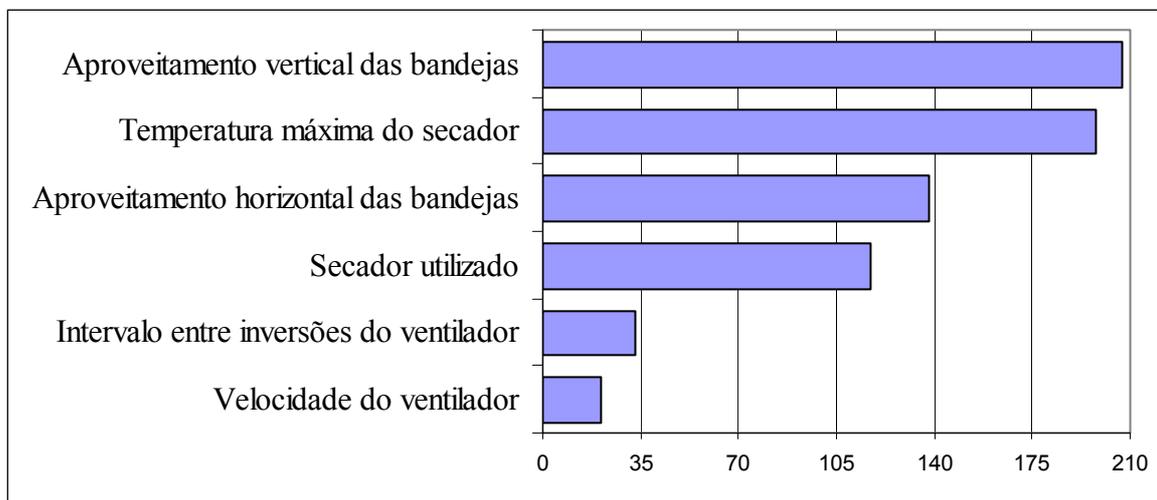


Figura 2. Pareto de priorização dos parâmetros de processo

A Tabela 2 apresenta os fatores controláveis selecionados para serem estudados no experimento. Os fatores controláveis são identificados pelas letras A, B, C e D, e os níveis de cada um destes fatores são representados pela letra de identificação do fator acrescida dos numerais.

Tabela 2. Fatores controláveis e seus respectivos níveis

Fatores controláveis	Intervalo de investigação		Ajuste atual
A: Aproveitamento vertical das bandejas	A1: 50%	A2: 100%	100%
B: Aproveitamento horizontal das bandejas	B1: 50%	B2: 100%	100%
C: Temperatura máxima do secador	C1: 70°C	C2: 95°C	70°C
D: Secador utilizado	D1: n°1	D2: n°2	n°1

Os fatores controláveis A, B e D são variáveis discretas, e o fator controlável C é uma variável contínua. Variáveis são consideradas discretas quando todos os ajustes possíveis são finitos ou contáveis infinitos, e variáveis contínuas são aquelas variáveis que podem ser ajustadas em qualquer valor dentro de um intervalo, podendo variar continuamente.

O planejamento experimental é constituído de 4 fatores controláveis a 2 níveis. Foi adotado um projeto fatorial do tipo 2^k , com apenas uma repetição, totalizando $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ tratamentos.

Etapa 3 – Execução do experimento:

A realização dos experimentos foi aleatória e os dados foram coletados ao longo de 4 semanas. Para cada um dos 16 tratamentos foram medidas 3 variáveis de resposta: produtividade, perda de PA e umidade %.

Etapa 4 – Análise individual das variáveis de resposta:

A análise dos dados coletados foi realizada de maneira individual para cada variável de resposta. Através de uma análise de modelos de regressão identificaram-se os fatores que têm efeitos significativos sobre as variáveis de resposta. Foram considerados efeitos significativos aqueles cujo

valor-p foi menor que $\alpha = 0,05$. O *software* Minitab versão 13.20 foi utilizado nesta etapa de análise de dados. Uma vez conhecidos os efeitos significativos foram estabelecidas as Equações para geração dos valores previstos para as variáveis de resposta e seus respectivos valores de coeficiente de determinação R^2 . Este coeficiente representa o percentual da variabilidade da variável de resposta que é explicado pela equação de regressão.

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 33,3 + 7,50 \times \text{Aproveitamento vertical das bandejas} + 4,50 \times \text{Aproveitamento horizontal das bandejas} + 3,00 \times \text{Temperatura máxima do secador} \quad (1)$$

$$R^2 = 94,2\%$$

$$\text{PERDA DE PA} = 17,0 + 2,49 \times \text{Aproveitamento horizontal das bandejas} + 1,62 \times \text{Temperatura máxima do secador} - 0,877 \times \text{Aproveitamento horizontal das bandejas} \times \text{Temperatura máxima do secador} \quad (2)$$

$$R^2 = 80,4\%$$

$$\text{UMIDADE} = 3,69 - 0,644 \times \text{Aproveitamento vertical das bandejas} - 0,646 \times \text{Temperatura máxima do secador} \quad (3)$$

$$R^2 = 43,6\%$$

As Figuras 3, 4 e 5, apresentam a análise de resíduos, respectivamente para as variáveis de resposta produtividade, perda de PA e umidade %. Através da análise de resíduos é possível verificar uma natureza aleatória na sua distribuição, confirmando o bom ajuste dos modelos obtidos na regressão.

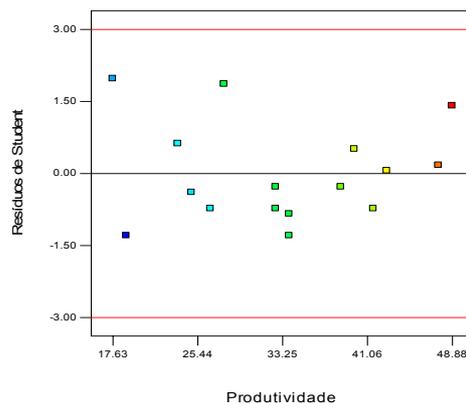


Figura 3 – Gráfico da análise de resíduos para a variável de resposta Produtividade

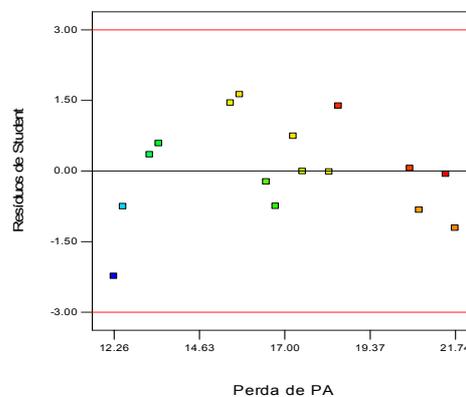


Figura 4 – Gráfico da análise de resíduos para a variável de resposta Perda de PA

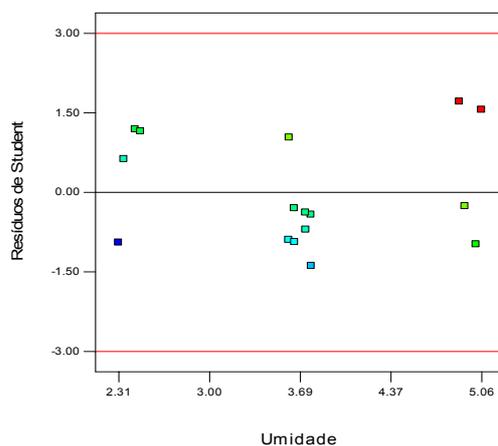


Figura 5 – Gráfico da análise de resíduos para a variável de resposta Umidade %

No entanto, o ajuste ótimo individual dos fatores controláveis foi diferente para cada uma das três variáveis de resposta necessitando uma otimização multivariada. Na Tabela 3, são apresentados os valores previstos para as variáveis de resposta e os valores para a perda multivariada Z, obtidos através das Equações de regressão para produtividade, perda de PA e umidade, respectivamente, Equações 1, 2 e 3.

Tabela 3. Valores previstos para as variáveis de resposta

Fatores controláveis				Produtividade	Perda de PA	Umidade	Perda
A	B	C	D	(peças/s)	(mg)	(%)	multivariada Z
-1	-1	-1,00	-1	18	12,01	4,98	4,57
1	-1	-1,00	-1	33	12,01	3,69	2,60
-1	1	-1,00	-1	27	18,75	4,98	4,35
1	1	-1,00	-1	42	18,75	3,69	2,98
-1	-1	1,00	-1	24	17,01	3,69	4,71
1	-1	1,00	-1	39	17,01	2,40	3,25
-1	1	1,00	-1	33	20,23	3,69	4,26
1	1	1,00	-1	48	20,23	2,40	3,41
-1	-1	-1,00	1	18	12,01	4,98	4,57
1	-1	-1,00	1	33	12,01	3,69	2,60
-1	1	-1,00	1	27	18,75	4,98	4,35
1	1	-1,00	1	42	18,75	3,69	2,98
-1	-1	1,00	1	24	17,01	3,69	4,71
1	-1	1,00	1	39	17,01	2,40	3,25
-1	1	1,00	1	33	20,23	3,69	4,26
1	1	1,00	1	48	20,23	2,40	3,41

Etapa 5 – Otimização multivariada:

A otimização multivariada foi realizada utilizando-se a função de perda quadrática multivariada de Taguchi.

Segundo Taguchi, a perda é aproximadamente proporcional ao quadrado do desvio da meta estabelecida para a variável de resposta, conforme a Equação 4.

$$\hat{Z}(\mathbf{i}) = \sum_{j=1}^J \left[\mathbf{K}_j \times (\hat{Y}_j - T_j)^2 \right] \quad (4)$$

Em que:

$\hat{Z}(\mathbf{i})$ é o valor que a função de perda Z assume para um dado ajuste i dos fatores controláveis;

K_j é a ponderação atribuída à variável de resposta j ;

\hat{Y}_j é o modelo matemático que fornece uma estimativa da média da variável de resposta j em função do ajuste dos parâmetros controláveis;

T_j é o valor alvo para a variável de resposta j .

O valor de K_j é determinado de acordo com o tipo de variável de resposta, de acordo com as Equações 5, 6 e 7.

$$K_j = \frac{IR_j}{\left(\frac{LSE - LIE}{2}\right)^2} \quad \text{Nominal-é-melhor} \quad (5)$$

$$K_j = \frac{IR_j}{(Alvo - LIE)^2} \quad \text{Maior-é-melhor} \quad (6)$$

$$K_j = \frac{IR_j}{(LSE - Alvo)^2} \quad \text{Menor-é-melhor} \quad (7)$$

Em que:

IR_j é a importância relativa da variável de resposta j ;

LSE representa o limite superior de especificação;

LIE representa o limite inferior de especificação.

A perda Z calculada para cada combinação dos fatores controláveis representa a perda de qualidade quando se produz uma peça cujas variáveis de resposta estão longe dos seus respectivos valores alvo. Esta perda de qualidade pode ser convertida em custos da má qualidade através de uma constante que relaciona unidades de perda (Z) com unidade monetária (reais). No entanto, a otimização deve considerar além dos custos da má qualidade também os custos de fabricação de uma determinada combinação dos fatores controláveis.

A função objetivo adotada para a otimização multivariada do processo de secagem foi a função de perda multivariada (Z^*), que integra custos da má qualidade e custos de fabricação, conforme a Equação 8. Maiores detalhes podem ser vistos em CATEN⁽³⁾; RIBEIRO et al.⁽⁵⁾; UNTERLEIDER⁽⁶⁾.

A otimização é obtida pela adoção do ajuste dos fatores controláveis que minimiza os custos totais (Z^*) representados pela soma dos custos da má qualidade (Z) e custos de fabricação (C_M).

$$Z^* = (p \times Z) + C_M \quad (8)$$

Em que:

Z^* = função de perda que integra qualidade e custos;

p = constante de proporcionalidade;

Z = função de perda quadrática multivariada;

C_M = equação dos custos envolvidos na fabricação.

A seguir apresenta-se o procedimento para cálculo da constante p .

De acordo com os produtos que são secados no processo, definiu-se que um produto final de alta qualidade, denominado produto classe A, tem um custo ($\$A$) de R\$ 14,31/caixa e um valor de perda multivariada Z_A de 2,60, e um produto final de baixa qualidade, denominado produto de classe B, tem um custo ($\$B$) de R\$19,31/caixa e um valor de perda multivariada Z_B de 4,71. Os valores para

Z_A e Z_B foram obtidos através da equação de perda quadrática multivariada de Taguchi (Equação 4).

Através destes valores definiu-se o valor da constante p , conforme apresentado na Equação 9.

$$p = \frac{(\$B - \$A)}{(Z_B - Z_A)} = \frac{(19,31 - 14,31)}{(4,71 - 2,60)} = 2,37 \quad (9)$$

Uma vez encontrado o valor da constante p , modelaram-se os custos envolvidos na fabricação do produto em função dos fatores controláveis (C_M), conforme a Equação 10.

$$C_M = 19,3 + 2,49 \times \text{Aproveitamento horizontal das bandejas} + 1,62 \times \text{Temperatura máxima do secador} - 0,877 \times \text{Aproveitamento horizontal das bandejas} \times \text{Temperatura máxima do secador} \quad (10)$$

Com essas informações foi possível calcular a função objetivo Z^* , que integra qualidade e custos, conforme a Equação 8.

Identificou-se, com auxílio da ferramenta *solver* disponível no *software excel* versão 2000, o ajuste ótimo global que minimiza os custos totais Z^* , conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4. Ajuste ótimo para os fatores controláveis

Fatores controláveis	Ajuste atual	Ajuste ótimo
A: Aproveitamento vertical das bandejas	100%	100%
B: Aproveitamento horizontal das bandejas	100%	50%
C: Temperatura máxima do secador	70°C	70°C
D: Secador utilizado	nº1	nº1 ou nº2
Custos totais Z^*	R\$ 30,60	R\$ 20,48

Os custos totais (Z^*) para o ajuste ótimo dos fatores controláveis apresentaram um valor de R\$ 20,48/caixa de produto produzido, esse valor é 33,07% menor que os custos totais do produto com o ajuste atual dos fatores controláveis (R\$30,60/caixa). Essa diferença no custo representa um ganho em 220 dias de trabalho para uma produção de 200 caixas por dia de R\$ 445.280,00 ($[30,60 - 20,48] \times 200 \times 220$).

A Tabela 5 apresenta os resultados encontrados para as variáveis de resposta após a otimização, onde é possível verificar que o ajuste ótimo encontrado apresentou uma produtividade 31,25% menor que a produtividade atual, a perda de PA foi reduzida em 40,63% e a umidade final do produto melhorou, ficando mais próxima ao valor alvo.

Atualmente, existem dez secadores na empresa, cada secador custa R\$30.000,00, um investimento na construção de cinco novos secadores manteria a produtividade no patamar atual e o valor investido, de R\$ 150.000,00, seria amortizado em 74 dias ($150.000 / [(30,60 - 20,48) \times 200]$).

Tabela 5. Comparativo entre os resultados encontrados para as variáveis de resposta

Variáveis de resposta	Ajuste atual	Ajuste ótimo	Tipo	Alvo	Especificações		IR
					Min	Max	
Y1: Produtividade (peças/s)	48	33	Maior-é-melhor	60	30	-	2,0
Y2: Perda de PA (mg)	20,23	12,01	Menor-é-melhor	5,5	-	20	2,0
Y3: Umidade (%)	2,40	3,69	Nominal-é-melhor	8	2	13	1,0

4. CONCLUSÕES

A aplicação do método de otimização multivariada realizada neste trabalho conseguiu atingir seu objetivo específico que era identificar o ajuste ótimo global dos fatores controláveis para ser utilizado no processo de secagem.

Os fatores controláveis selecionados para o experimento foram: aproveitamento vertical das bandejas, aproveitamento horizontal das bandejas, temperatura máxima do secador e secador utilizado. As variáveis de resposta do processo de secagem foram: produtividade, perda de PA e umidade %. Um projeto fatorial do tipo 2^k foi escolhido para realização dos experimentos.

Inicialmente utilizou-se equações de regressão para modelar as variáveis de resposta em função dos fatores controláveis. Como o ajuste ótimo individual foi diferente para cada variável de resposta, realizou-se uma otimização multivariada para definição do ajuste ótimo global considerando simultaneamente todas as variáveis de resposta. A otimização multivariada foi realizada considerando a função de perda Z^* , que contempla a soma dos custos da má qualidade e os custos de fabricação para uma determinada combinação de fatores controláveis.

O ajuste ótimo global dos fatores controláveis, identificados no estudo, foi: aproveitamento vertical das bandejas 100%, aproveitamento horizontal das bandejas 50%, temperatura máxima do secador 70°C e secador utilizado qualquer, nº1 ou nº2.

A variável de resposta umidade ficou mais próxima ao valor alvo após a otimização e a perda de PA foi reduzida em 40,63%.

A produtividade no ajuste ótimo é menor, em comparação com o ajuste atual, porém um investimento na construção de cinco novos secadores manteria a produtividade no mesmo patamar do ajuste atual e o valor investido na construção dos novos secadores seria amortizado rapidamente.

Através do método de otimização multivariada foi possível obter uma redução no custo do processo de secagem de 33,07%, o que representa um ganho anual para a empresa de R\$445.280,00.

Recomenda-se que o ajuste ótimo, identificado na otimização, seja implantado na empresa onde foi realizada a pesquisa.

5. REFERÊNCIAS

- 1.ZHANG, Z.; YANG, S.; LIU, D. **Mechanism and Mathematical Model of Heat and Mass Transfer During Convective Drying of Porous Materials**. Heat Transfer – Asian Research, v. 28, n. 5, p. 337-351, 1999.
- 2.FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das Operações Unitárias**. Rio de Janeiro: Editora LTC S.A., 1982. 670 p.
- 3.CATEN, C. S. **Método de Otimização de Produtos e Processos Medidos por Múltiplas Características de Qualidade**. 1995. 154 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995.
- 4.ECHEVESTE, M. E. S. **Planejamento da Otimização Experimental de Processos Industriais**. 1997. 166 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.
- 5.RIBEIRO, J. L. D.; FOGLIATTO, F. S.; CATEN, C. S. **Steps for Multiresponse Optimization in Product Development**. VI International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2000, São Paulo/SP.

6. UNTERLEIDER, C. E. A. **Otimização Multivariada de um Processo Químico Através do Uso de Projeto de Experimentos**. 2006. 122 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

APPLICATION OF A METHOD FOR OPTIMIZATION CONSIDERING COSTS OF BAD QUALITY AND MANUFACTURING FOR A DRYING PROCESS

Carlos Eduardo Appollo Unterleider

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Praça Argentina, nº 9 - 90040020 - Porto Alegre, RS - Brasil, eduardo@pirisa.ind.br

Carla Schwengber ten Caten

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Praça Argentina, nº 9 – 90040020 - Porto Alegre, RS - Brasil, tencaten@producao.ufrgs.br

***Abstract.** This paper presents the application of a method for multivariate optimization in a drying process, emphasizing techniques to design experiments, models of regression and Taguchi's quadratic loss function for identifying excellent process adjustment, with the lowest research cost considering multiple quality characteristics simultaneously. The propose of the research is to find the optimum adjustment for the controllable factors: maximum temperature of dry chamber, vertical disposition, horizontal disposition and dry chamber used. The responses of process were: productivity, loss of active ingredient and final humidity. A 2^k factorial project was chosen for the experiments, and the data were treated statistically by models of regression. Using the method, it was possible to find an optimum adjustment. With the results, found with the proposed method, an economy of R\$445,280.00 per year was possible.*

***Keywords.** Design of Experiments, Multivaried Optimization, Drying.*