



# ANÁLISE DO PLANEJAMENTO FATORIAL DA SECAGEM DAS PARTÍCULAS DO RESÍDUO DE LEITE DE SOJA “OKARA” EM SECADOR DE CILINDRO ROTATIVO ASSISTIDO A MICRO-ONDAS

J. B. B. Pin<sup>1</sup>; C. A. A. Lescano<sup>2</sup>; S. C. S. Rocha<sup>3</sup>

Laboratório de Fluidodinâmica e Secagem – Faculdade de Engenharia Química

UNICAMP, Campinas, São Paulo, BRASIL

[janayna@fea.unicamp.br](mailto:janayna@fea.unicamp.br)<sup>1</sup> [agules@feq.unicamp.br](mailto:agules@feq.unicamp.br)<sup>2</sup> [rocha@feq.unicamp.br](mailto:rocha@feq.unicamp.br)<sup>3</sup>

Palavras-Chave: Secagem, Okara, Cilindro Rotativo, Micro-ondas



## INTRODUÇÃO

Segundo LESCANO (2009), o aproveitamento do resíduo Okara - denominação do resíduo do processamento de leite de soja, rico em proteínas e isoflavonas - através de novas metodologias, ajuda a desenvolver os três grandes temas de interesse dentro da engenharia química e de alimentos: a saúde humana (relacionada com as características nutricionais e de prevenção de doenças, associadas à soja); energia (relacionado ao aumento da eficiência dos processos de secagem convencionais associados à aplicação de micro-ondas) e os problemas ambientais (relacionado com o aproveitamento de resíduos industriais através de sua secagem).

O presente projeto estudou, a partir de um planejamento experimental, a secagem do Okara em secador de cilindro rotativo com aplicação de micro-ondas.

## METODOLOGIA

### EQUIPAMENTO

Para a realização das secagens, utilizou-se o secador de cilindro rotativo com circulação de ar quente assistido a micro-ondas, desenvolvido por MARSALOLI Jr. (1991).

### METODOLOGIA DA SECAGEM

As secagens do material foram realizadas segundo planejamento fatorial completo baseado na metodologia denominada Planejamento Completo com Pontos Axiais e Centrais, descrito por BARROS NETO *et al.* (2002), composto por 17 experimentos. As variáveis estudadas foram a vazão de ar, a temperatura do ar e a potência das micro-ondas.

A Tabela 1 mostra os níveis e valores codificados do planejamento fatorial completo. Esta tabela foi baseada em testes preliminares realizados para obter-se Okara seco com uma umidade final entre 3% e 12% em base úmida. Esta (X%, b.u.) foi considerada a resposta deste planejamento experimental.

**Tabela 1.** Planejamento experimental para o cilindro rotativo com aplicação de micro-ondas

FATORES	NÍVEIS				
	-1,68	-1	0	1	1,68
Vazão do ar de secagem [m <sup>3</sup> /min]	0,67	0,70	0,75	0,80	0,83
X <sub>1</sub>					
Temperatura do ar de secagem [°C]	53	60	70	80	87
X <sub>2</sub>					
Potência das micro-ondas [W]	860	1000	1200	1400	1540
X <sub>3</sub>					

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a obtenção dos dados das secagens, iniciou-se o tratamento destes no programa STATISTICA® v.7.1.

Na Tabela 2, apresenta-se os valores dos coeficientes de regressão significativos, para análise de regressão baseada no erro puro e um intervalo de confiança de 95% para as variáveis reais, com ponto axiais.

**Tabela 2.** Planejamento experimental para o cilindro rotativo com aplicação de micro-ondas

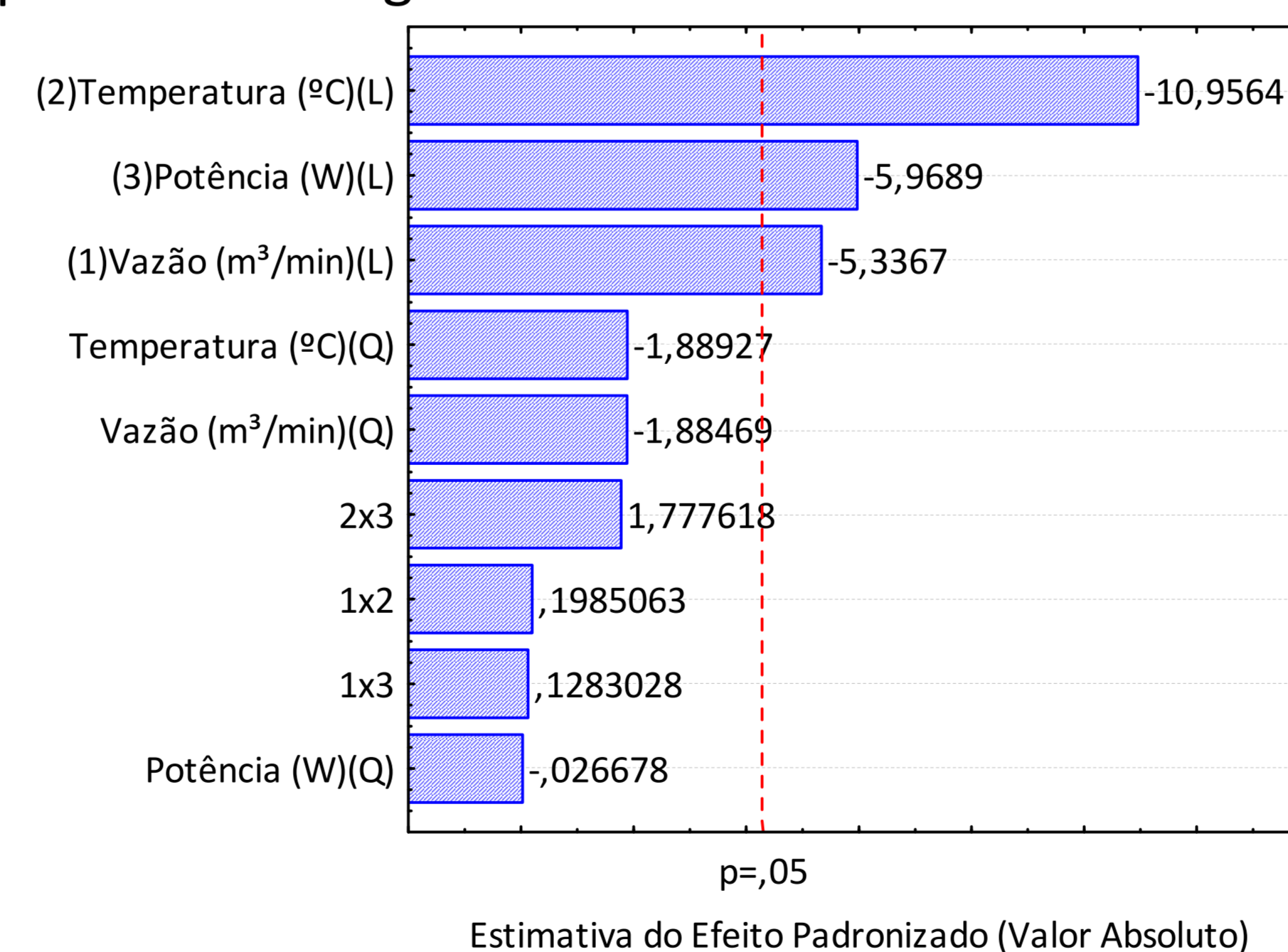
Termo/Interação	Coefficientes de regressão	Desvio padrão	t (2)	p
Média	32,209	2,295	14,040	0,005
(1) Vazão (m <sup>3</sup> /min)	-13,987	2,621	-5,340	0,033
(2) Temperatura (°C)	-0,140	0,013	-10,960	0,008
(3) Potência (W)	-0,004	0,001	-5,970	0,027

Pela Tabela 2, pode-se notar que todas as variáveis lineares foram significativas (p<0,05). Pelo valor de t(2) da Tabela 3, a temperatura do ar foi a variável que se mostrou mais significativa. As interações das variáveis e seus efeitos quadráticos não apresentaram significância.

A Equação 1, onde a vazão (V) é dada em m<sup>3</sup>/min, a temperatura (T) é dada em °C e a potência (P) em W, apresenta o modelo estatístico real ajustado para a resposta analisada:

$$X\% (\text{b.u.}) = 32,209 - 13,987(V) - 0,104(T) - 0,004(P) \quad [1]$$

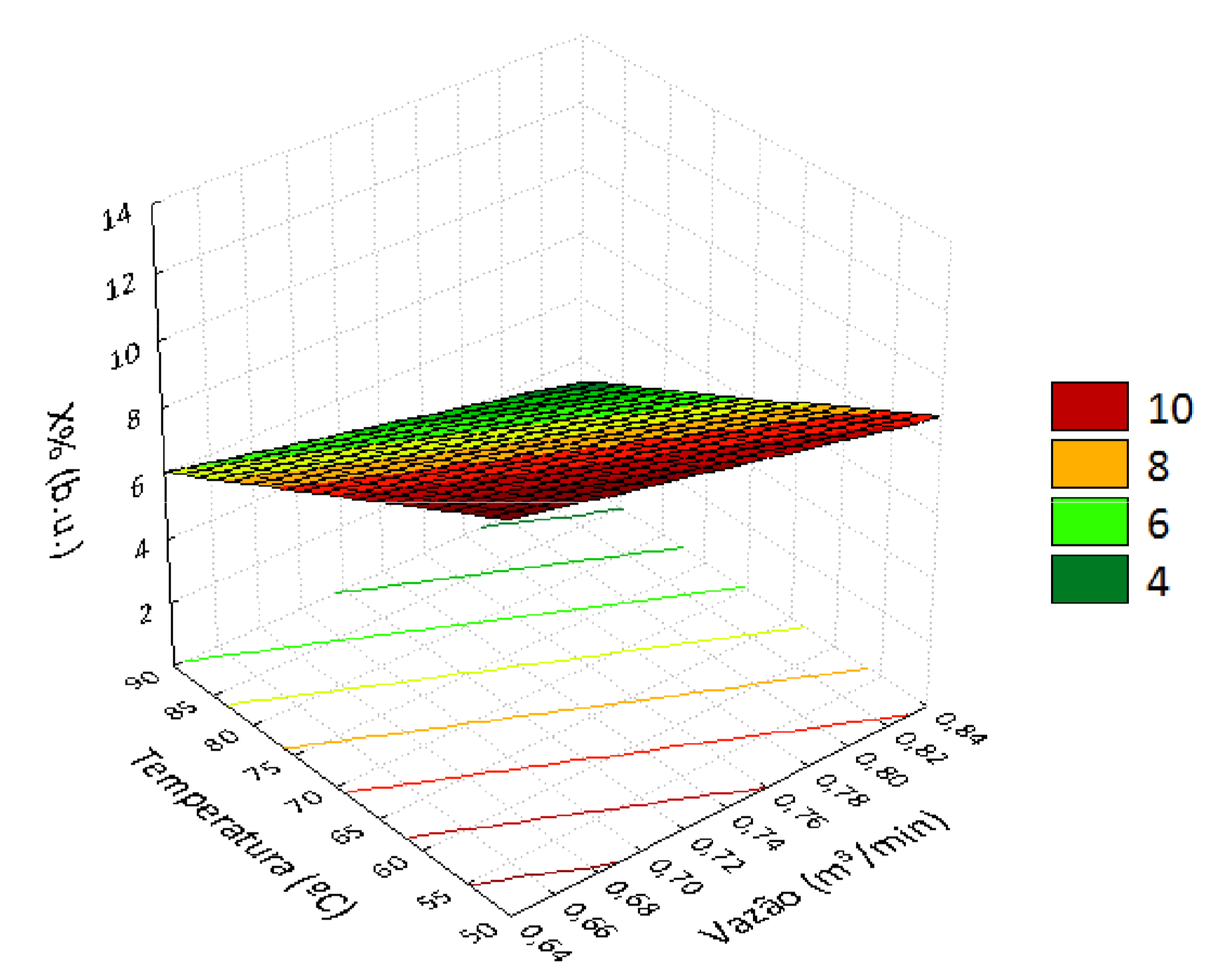
O diagrama de Pareto da análise, disponível na Figura 1, mostra que, de fato, a temperatura do ar apresentou maior efeito, seguido pelo efeito da potência de micro-ondas e da vazão do ar, sendo que esta apresentou menor efeito. As interações das variáveis, assim como seus efeitos quadráticos, não apresentaram significância



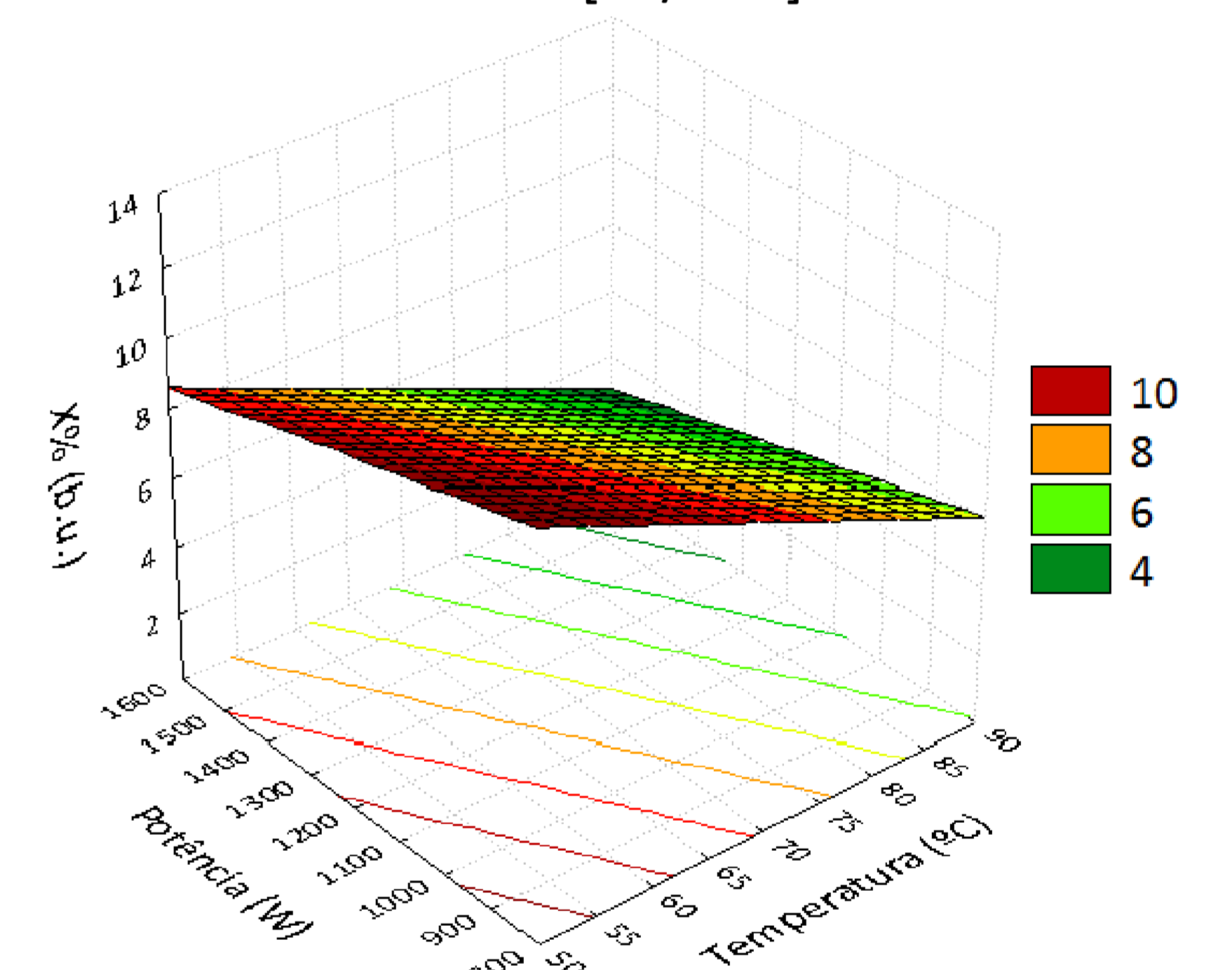
**Figura 1.** Diagrama de Pareto

Pela análise de variância, obteve-se que o modelo é completamente preditivo.

Gerou-se, com este modelo matemático, superfícies de resposta. Nas Figuras 2 e 3, apresenta-se duas superfícies, relacionando a variável de maior significância com as outras duas variáveis.



**Figura 2.** Superfície de resposta relacionando T [°C] com V [m<sup>3</sup>/min]



**Figura 3.** Superfície de resposta relacionando P [W] com T [°C]

Também obteve-se o digrama de valores observados por valores preditos. Como era de se esperar, pela análise de variância, os valores preditos pelo modelo se aproximaram muito bem dos valores experimentais obtidos.

## CONCLUSÕES

Depois de seco no cilindro rotativo com aplicação de micro-ondas, o Okara apresentou características físicas dentro do padrão exigido para material orgânico farináceo apto para o consumo humano, segundo a legislação brasileira, tendo como vantagens a facilidade de transporte e controle de estocagem, assim como alto tempo de vida de prateleira. A partir de todos os resultados obtidos, portanto, é possível concluir que o secador de cilindro rotativo com aplicação de micro-ondas mostra-se factível e reprodutivo para a obtenção, de forma contínua, de Okara seco apto para o consumo.