

Determinação dos parâmetros operacionais de uma inovação tecnológica através da utilização do *Design of Experiments* – DOE

Mariela Haidée Aranda¹

Carlos Fernando Jung²

Carla Schwengber ten Caten³

Resumo

Este artigo apresenta os resultados da aplicação da técnica de planejamento e análise de experimentos para definição dos parâmetros operacionais de uma inovação tecnológica. A inovação é uma churrasqueira portátil, construída a partir da reutilização de um botijão de gás para refrigeração, considerado como resíduo após a utilização do gás. No estudo, foram analisados cinco fatores controláveis que poderiam influenciar na variável de resposta “tempo para assar a carne”, sendo eles: (i) os níveis de carvão; (ii) a quantidade de espetinhos a serem assados; (iii) o tipo de carne a ser assada; (iv) a altura na qual são colocados os espetos e (v) o estado de cocção da carne. Os resultados foram analisados utilizando-se a análise de regressão onde foram investigados, além dos fatores principais, as interações de dois fatores. Com a equação de regressão, é possível prever o tempo para assar a carne para cada uma das combinações dos níveis dos fatores controláveis.

Palavras-chave: projeto de experimento, inovação, regressão linear, projetos 2^{k-p} , otimização.

Abstract

This paper presents the results of the application of the design and analysis of experiments (DOE) in a technological innovation, constructed from the reutilization of a bottle of gas for refrigeration equipment considered as residue after the use of the gas. In the study were analyzed five control factors that can influence the variable time to bake the meat. The results were analyzed using a regression analysis considering linear and interaction terms of the control factors.

Keywords: design of experiments, innovation, linear regression, project 2^{k-p} , optimization.

1 Introdução

A utilização do planejamento de experimentos pode contribuir com o desenvolvimento industrial pela otimização das grandezas de interesse, pela determinação dos fatores influentes sobre essas grandezas e, eventualmente, pelas suas interações e minimização dos efeitos da variabilidade sobre o desempenho de um processo ou produto (BONDUELLE, 1994).

O Planejamento de Experimentos (*Design of Experiments*, DOE) é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletadas durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a precisão estatística possível na resposta e o menor

custo. Atualmente, essa técnica vem sendo utilizada em grande escala. Através dela, pesquisadores podem determinar as variáveis que exercem maior influência no desempenho de um determinado processo, tendo como resultados: (i) redução da variação do processo e melhor concordância entre os valores nominais obtidos e os valores pretendidos; (ii) redução do tempo do processo; (iii) redução do custo operacional e (iv) melhoria no rendimento do processo.

Este artigo apresenta os resultados da aplicação da técnica de planejamento e análise de experimentos em uma inovação tecnológica, churrasqueira portátil construída a partir da reutilização de um botijão de gás para refrigeração que é considerado um resíduo

¹ Engenheira Industrial, Mestranda em Engenharia no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFRGS. E-mail: mariela@producao.ufrgs.br

² Professor e coordenador do curso de Engenharia de Produção da FACCAT, RS, doutorando em Engenharia no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFRGS. E-mail: jung@faccat.br

³ Doutora em Engenharia, Professora e Pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFRGS e Avaliadora da CAPES. E-mail: tencaten@producao.ufrgs.br

após a utilização do gás. O objetivo do trabalho foi a utilização do projeto de experimentos para analisar as variáveis mais pertinentes que possuem influência na variável de resposta *tempo para assar a carne* dessa churrasqueira portátil, no momento de serem utilizados distintos tipos de carne.

2 Referencial teórico

2.1 Inovações tecnológicas

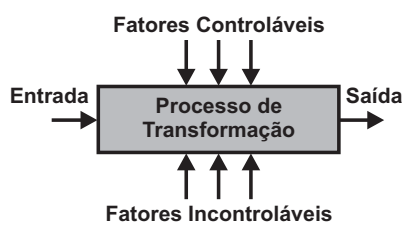
Há diferentes concepções sobre o que é uma inovação. Hord (1987) afirma que uma inovação é qualquer aspecto novo para um indivíduo dentro de um sistema. Para Hernández *et al.* (2000), uma inovação pode não ser considerada como tal por determinada pessoa e, por outra, ser vista como uma coisa nova, dentro do mesmo sistema. Por esta razão, o problema na hora de aproximar-se da temática da inovação não é tanto a definição, mas a interpretação, ou seja, o reconhecimento do ponto de vista do qual parte a inovação e a quem esta se destina. Os autores referem, ainda, que a inovação não é a mesma coisa para quem a desenvolve, para quem a distribui e para quem a recebe. Portanto, a definição do que constitui uma inovação resulta da confluência de uma pluralidade de opiniões que procedem dos que têm algum tipo de relação com a inovação.

Tushman e Nadler (1997) afirmam que existem dois tipos de inovação: a inovação de produto e a inovação de processo. A inovação de produto consiste em alterações morfológicas, estruturais, em relação ao uso ou ao *design*, já a inovação do processo está relacionada à mudança da forma (processo) com que o produto é fabricado ou em se tratando de serviço de como é fornecido e gerenciado.

Conforme Streit (2001), a inovação em produto e a em processo podem resultar em: (i) inovação incremental que se baseia em melhoramentos; (ii) inovação sintética, onde são realizadas importantes melhorias no processo ou a combinação criativa de idéias e tecnologias já existentes; (iii) inovação descontínua, que é desenvolvida a partir da aplicação de tecnologias totalmente novas ou, até mesmo, de novos meios e formas de produção.

2.2 Projeto de experimentos

Galdámez (2007) afirma que o experimento projetado ou planejado é um teste ou uma série de testes nos quais se induzem mudanças deliberadas nas variáveis de entrada do processo ou sistema, de maneira que seja possível observar e identificar as causas das mudanças nas respostas ou variáveis de saída (figura 1).



Fonte: Galdámez (2007)

Figura 1 – Modelo geral de um processo ou sistema

Os três princípios básicos do planejamento de experimentos são representados por replicação, aleatoriedade e blocagem. Fazer um experimento com réplicas é importante por dois motivos: (i) permite a obtenção do erro experimental, a estimativa desse erro é básica para verificar se as diferenças observadas nos dados são estatisticamente significativas e (ii) pelo fato de que, se a média de uma amostra for utilizada para estimar o efeito de um fator no experimento, a replicação permite a obtenção de uma estimativa mais precisa desse fator.

Os experimentos com suas réplicas devem ser realizados de forma aleatória, de modo a garantir a mesma distribuição de todos os fatores não considerados. Além disso, as réplicas contribuem para obtenção do erro experimental, quando o número de variáveis em estudo aumenta, o experimento torna-se custoso para seu desenvolvimento é, então, quando se utilizam outras técnicas a partir das quais se podem realizar experimentos blocados ou fracionados a dois níveis sem repetição, tendo em conta um grande número de fatores a estudar.

O planejamento de experimentos possui como principais vantagens: (i) a diminuição do número de ensaios; (ii) o estudo de um número considerável de fatores; (iii) a detecção das interações entre fatores; (iv) a detecção dos níveis ótimos; (v) a melhoria de precisão dos resultados e (vi) a otimização dos resultados.

O princípio básico do projeto de experimento permite variar de uma só vez todos os níveis de todas as variáveis, discretas ou contínuas, chamadas de fatores, a cada experiência de maneira programada e racional. O planejamento de experimento permite o estudo de numerosos fatores, mantendo-se o número de ensaios em níveis razoáveis, pois uma de suas aplicações principais está na procura dos fatores influentes. O experimentador pode reduzir o tempo de trabalho, diminuindo o número de pontos de experiência por fator, sem ser obrigado a limitar o número de fatores, como ocorre no método clássico da experimentação (BONDUELLE, 1994).

3 A inovação objeto do estudo experimental

Bittencourt (2001) afirma que o projeto de um novo produto inicia pelo estabelecimento de um problema, cuja origem mais comum é um conjunto de necessidades que se inter-relacionam. A partir desse pressuposto, um produto é projetado, fabricado, distribuído, utilizado e, posteriormente, descartado. O autor refere ao reprojeito desse mesmo produto que pode ser realizado a partir de outra necessidade de mercado e que pode surgir em qualquer fase do ciclo de vida do produto.

A busca detalhada de informações, objetivando detectar necessidades no contexto local produtivo de uma região ou município de maneira a serem identificadas possíveis demandas específicas de grupos ou segmentos empresariais (comerciais ou industriais), bem como de consumidores, constitui-se em uma alternativa para a obtenção de um produto inovador.

Necessidades que possam gerar um novo produto podem ser identificadas no próprio contexto diário de trabalho, em ambientes de lazer, supermercados, livrarias e lojas em geral, do mesmo modo, problemas gerados por descarte de produtos, após sua utilização, considerados como resíduos, representam excelentes oportunidades à inovação. Bonsiepe (1978) afirma que a observação de atividades, como fundamento para o descobrimento de uma necessidade, significa o momento em que se registra uma situação em forma de uma necessidade insatisfeita num grupo ou numa coletividade.

A inovação, objeto deste estudo experimental, foi desenvolvida por um aluno do Curso de Engenharia de Produção da FACCAT (Faculdades de Taquara), que identificou um problema de ordem ambiental e, ao mesmo tempo, visualizou uma nova oportunidade de negócio. O aluno percebeu que os recipientes (botijões), figura 2, que acondicionam gás destinado a equipamentos de refrigeração eram descartados em depósitos de resíduos, ocasionando um sério problema ambiental.



Figura 2 – Recipiente (botijão) que acondiciona gás para equipamentos de refrigeração

A partir disso, o aluno teve a idéia de aproveitar esse resíduo para desenvolver um novo produto, uma inovadora churrasqueira portátil, figura 3. Esse produto passou a ser desenvolvido e fabricado pelo próprio aluno que, além de aproveitar os resíduos existentes em grande quantidade na região, aumentou sua renda mensal pela comercialização desse produto.



Figura 3 – Churrasqueira portátil desenvolvida a partir do resíduo

4 Estudo aplicado

4.1 Determinação dos parâmetros do experimento

Montgomery (1991) observa que antes de iniciar a experimentação, é importante estabelecer o planejamento dos experimentos. Este autor ressalta a importância do domínio do problema por parte de todas as pessoas envolvidas no experimento e recomenda que, durante a execução, o processo seja cuidadosamente monitorado para garantir que tudo seja realizado de acordo com o planejado. Todo processo de planejamento experimental inicia com uma série de experimentos com o objetivo de se definirem as variáveis e os níveis importantes. Na figura 4, observa-se a estratégia inicial utilizada para o planejamento do experimento.

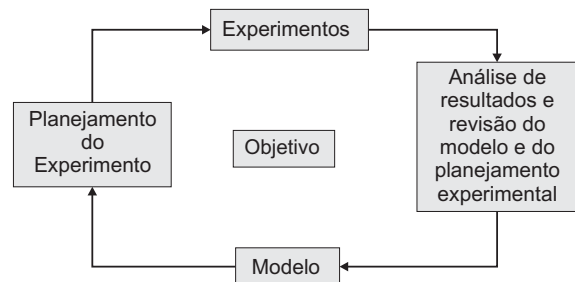


Figura 4 – Estratégia inicial para o planejamento de um experimento

Os fatores controláveis considerados importantes para realizar a análise de otimização do experimento foram: (a) nível de carvão; (b) quantidade de espetos; (c) tipo de carne; (d) altura dos espetos; (e) ponto de cocção. A variável de resposta de saída é representada pelo tempo de cocção do produto. Foram fixados dois níveis (baixo e alto) para cada fator controlável, conforme tabela 1.

Fatores	Fatores	Níveis	
		Baixo	Alto
A	Nível de Carvão	1	2
B	Número de Espetos	4	6
C	Tipo de Carne	Carne Bovina	Carne de Frango
D	Altura dos espetos	Baixo	Alto
E	Estado da Carne	Mal Passado	Cozido
VR	Tempo para assar		

Tabela 1 – Fatores controláveis e respectivos níveis

Os fatores que não foram controlados, durante o experimento, foram mantidos constantes para a redução do erro experimental. Foram utilizados o mesmo corte e a mesma marca de carne bovina, o mesmo produto para acender o carvão, neste caso, o álcool sólido marca LUMIX, e a mesma marca de carvão, RAIOSUL (carvão vegetal, lenha nativa mista procedente do estado do Paraná). Os experimentos foram realizados no mesmo ambiente para que o fator climático fosse mantido de

forma inalterável. O auxiliar de pesquisa que fez o acendimento do carvão foi sempre o mesmo, evitando assim, a alteração dos procedimentos operacionais no experimento. A contagem de tempo foi iniciada no momento em que começaram a aparecer as primeiras chamas.

Determinada a primeira parte de caracterização dos fatores controláveis do experimento, o passo seguinte foi a escolha do tipo de planejamento que se adaptasse melhor às quantidades de fatores e restrições experimentais. Quando existem muitos fatores, um experimento fatorial completo com todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores envolve um grande número de ensaios, mesmo quando somente dois níveis de cada fator estão sendo pesquisados. Nesses casos, faz-se útil um plano que exija menos ensaios do que o experimento fatorial completo chamado de projeto fatorial fracionado. A fração é um subgrupo, cuidadosamente prescrito, de todas as combinações possíveis. A análise dos projetos fatoriais fracionários é relativamente direta, e a utilização de um fatorial fracionário não impede a possibilidade de uma complementação posterior de todo o experimento fatorial (SILVA, 2007).

Um projeto fatorial completo permite estudar os efeitos principais e todas as interações entre os fatores controláveis. Com o aumento do número de fatores, o número de interações entre eles aumenta rapidamente. No entanto, as interações de alta ordem são difíceis de interpretar e, em geral, não são significativas. Desta forma pode-se optar por rodar um projeto fatorial fracionado, executando apenas uma fração dos ensaios e obtendo quase a mesma informação do projeto fatorial completo. As informações que são perdidas no projeto fatorial fracionado são as interações de mais alta ordem, mas que, em princípio, não são significativas (RIBEIRO e CATEN, 2003).

A técnica de planejamento fatorial fracionado 2^{k-p} (k é o número de fatores de controle do experimento e p é o número de colunas inseridas na matriz experimental) tem grande potencial de aplicação em problemas industriais, já que, com essa técnica e com uma pequena quantidade de ensaios, consegue-se analisar a influência de um número grande de fatores.

Neste estudo, utilizou-se um *projeto fatorial fracionado* 2^{5-1} com os fatores já mencionados. O projeto fatorial completo 2^5 envolve 32 ensaios, os quais foram fracionados em dois blocos com 16 ensaios cada um para obter-se o projeto fatorial fracionado 2^{5-1} . Para a blocagem e posterior fracionamento, foi utilizado o contraste da interação de mais alta ordem ABCDE. A tabela 2 apresenta a matriz experimental do projeto fatorial fracionado 2^{5-1} e a variável de resposta tempo de cocção na última coluna.

Trat	A	B	C	D	E	VR
1	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	10
a	1	(1)	(1)	(1)	(1)	5
b	(1)	1	(1)	(1)	(1)	10
ab	1	1	(1)	(1)	(1)	5
c	(1)	(1)	1	(1)	(1)	10
ac	1	(1)	1	(1)	(1)	18
bc	(1)	1	1	(1)	(1)	11
abc	1	1	1	(1)	(1)	18
d	(1)	(1)	(1)	1	(1)	16
ad	1	(1)	(1)	1	(1)	7
bd	(1)	1	(1)	1	(1)	15
abd	1	1	(1)	1	(1)	7
cd	(1)	(1)	1	1	(1)	16
acd	1	(1)	1	1	(1)	35
bcd	(1)	1	1	1	(1)	16
abcd	1	1	1	1	(1)	18
e	(1)	(1)	(1)	(1)	1	30
ae	1	(1)	(1)	(1)	1	9
be	(1)	1	(1)	(1)	1	30
abe	1	1	(1)	(1)	1	10
ce	(1)	(1)	1	(1)	1	11
ace	1	(1)	1	(1)	1	28
bce	(1)	1	1	(1)	1	11
abce	1	1	1	(1)	1	28
de	(1)	(1)	(1)	1	1	25
ade	1	(1)	(1)	1	1	10
bde	(1)	1	(1)	1	1	25
abde	1	1	(1)	1	1	10
cde	(1)	(1)	1	1	1	25
acde	1	(1)	1	1	1	35
bcde	(1)	1	1	1	1	25
abcde	1	1	1	1	1	25

Tabela 2 – Matriz experimental do projeto

4.2 Execução e análise do experimento

Uma vez executados os ensaios e mensurada a variável de resposta tempo de cocção, realizou-se a análise do experimento.

Os resultados foram analisados utilizando-se a ferramenta de análise de regressão. Análise de regressão é uma metodologia estatística que utiliza as *relações* entre duas ou mais variáveis quantitativas (ou qualitativas) de tal forma que uma variável pode ser predita a partir da outra ou outras. A análise de regressão representa os dados através de um modelo linear aditivo que inclui um componente sistemático e um aleatório.

$$Y = f(X) + \varepsilon$$

Em que:

f descreve a relação entre X e Y ;

ε são os erros aleatórios;

Y = variável resposta ou dependente;

X = variável independente ou variável regressora.

Os dados podem ser obtidos a partir de duas situações: (i) *dados experimentais* – as observações X e Y são planejadas como o resultado de um experimento – e (ii) *dados observacionais* – observam-se os valores de X e Y , nenhuma delas sob controle.

Os dados são coletados (pares de valores) associando uma variável de resposta Y (variável dependente) a uma variável regressora X (variável independente). Supondo uma relação linear entre a variável dependente e a regressora, o valor esperado de Y , para cada valor de X , é dado pela seguinte equação:

$$E\left(\frac{X}{Y}\right) = \beta_0 + \beta_1 X$$

em que os parâmetros da relação linear, β_0 e β_1 são desconhecidos. O suposto geral responde à situação em que a variável de resposta Y pode ser descrita pelo seguinte modelo: $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$, onde ε representa o termo de erro aleatório, com média zero e variância (RIBEIRO e CATEN, 2003).

Na análise de regressão, foram estudados os efeitos principais dos fatores controláveis e as interações de dois fatores. Foram considerados dados atípicos aqueles que apresentam uma variável Z padronizada maior que $\pm 1,96$, correspondente a um nível de significância de 5%.

A equação de regressão é representada na tabela 3, na qual se pode observar que os efeitos significativos foram os efeitos principais C (tipo de carne), D (altura dos espetos), E (estado da carne) e as interações

de dois fatores AC (nível de carvão e tipo de carne) e CD (tipo de carne e altura dos espetos). A tabela 3 apresenta os efeitos considerados significativos, ou seja, aqueles cujos valor-p foram menores do que 5%.

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p
Interseção	17,052	0,479	35,630	0,0000000000000000
C	4,345	0,470	9,246	0,000000007510525
AC	5,302	0,479	11,078	0,000000000313325
D	3,095	0,470	6,586	0,000001601563803
CD	1,427	0,479	2,981	0,007122670936912
E	3,313	0,464	7,146	0,000000479224123

Tabela 3 – Valor de P

A equação que relaciona a variável de resposta tempo de cocção com os fatores controláveis significativos é:

$$Y = 17,052 + 4,345 \times C + 5,302 \times AC + 3,095 \times D + 1,427 \times CD + 3,313 \times E$$

Na tabela 4, são apresentados os resultados obtidos para o coeficiente de determinação R^2 e R^2 ajustado.

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9651
R-Quadrado	0,9314
R-quadrado ajustado	0,9150
Erro padrão	2,3683
Observações	27

Tabela 4 – Cálculo do fator de determinação R^2

O fator de determinação R^2 é igual a 0,9314, ou seja, 93,14% da variabilidade nos resultados do tempo de cocção da carne podem ser devidos ao tipo de carne (bovino ou frango), a altura dos espetos (baixo e alto) e ao estado da carne (passado ou mal passado) e às interações AC e CD, e 6,86% da variabilidade dos tempos são devidos a outros fatores que não foram estudados neste experimento. Na tabela 5, apresentam-se os valores da variável de resposta tempo obtida experimentalmente e os valores previstos, utilizando a equação de regressão. Pode-se observar que os dados são bastante ajustados, corroborando o alto valor do coeficiente de determinação R^2 .

Trat	C	AC	D	CD	E	VR	Equação
1	(1)	1	(1)	1	(1)	10	13
a	(1)	(1)	(1)	1	(1)	5	2
b	(1)	1	(1)	1	(1)	10	13
ab	(1)	(1)	(1)	1	(1)	5	2
c	1	(1)	(1)	(1)	(1)	10	8
ac	1	1	(1)	(1)	(1)	18	19
bc	1	(1)	(1)	(1)	(1)	11	8
abc	1	1	(1)	(1)	(1)	18	19
d	(1)	1	1	(1)	(1)	16	16
ad	(1)	(1)	1	(1)	(1)	7	6
bd	(1)	1	1	(1)	(1)	15	16
abd	(1)	(1)	1	(1)	(1)	7	6
cd	1	(1)	1	1	(1)	16	17
bcd	1	(1)	1	1	(1)	16	17
ae	(1)	(1)	(1)	1	1	9	9
abe	(1)	(1)	(1)	1	1	10	9
ce	1	(1)	(1)	(1)	1	11	15
ace	1	1	(1)	(1)	1	28	25
bce	1	(1)	(1)	(1)	1	11	15
abce	1	1	(1)	(1)	1	28	25
de	(1)	1	1	(1)	1	25	23
ade	(1)	(1)	1	(1)	1	10	12
bde	(1)	1	1	(1)	1	25	23
abde	(1)	(1)	1	(1)	1	10	12
cde	1	(1)	1	1	1	25	24
acde	1	1	1	1	1	35	35
bcde	1	(1)	1	1	1	25	24

Tabela 5 – Valores previstos usando a equação da regressão linear

Na seqüência, apresenta-se o gráfico dos fatores que resultaram significativos na análise realizada. Na figura 5, pode-se observar o efeito do fator tipo de carne sobre a variável de resposta tempo de cocção, onde se pode concluir que a carne de frango demora mais tempo para cozer.

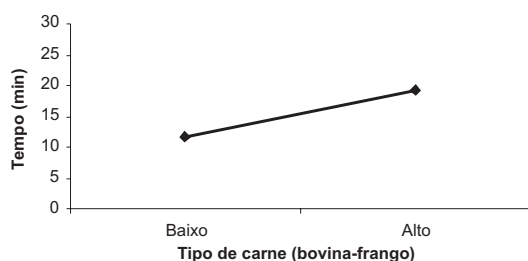


Figura 5 – Plotagem do Fator C em função da V.R.

A figura 6 apresenta o efeito de interação AC, onde se pode verificar que para o nível baixo de carvão não existe diferença de tempo de cozimento entre os dois tipos de carne. No entanto, no nível alto de carvão, a carne de frango cozinha em menor tempo do que a carne bovina.

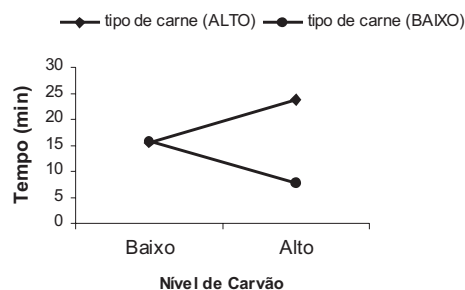


Figura 6 – Plotagem do Fator AC em função da V.R

Na figura 7, verifica-se que o tempo de cocção aumenta dependendo da altura em que são colocados os espetos. Em altura maior, o tempo para que a carne asse também é maior.

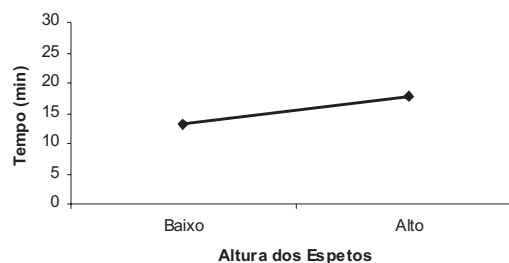


Figura 7 – Plotagem do Fator D em função da V.R

A figura 8 apresenta o efeito de interação CD, onde se pode verificar que a diferença no tempo de cozimento entre o tipo de carne é amplificada quando os espetos estão no nível alto.

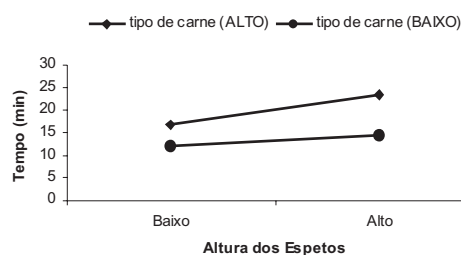


Figura 8 – Plotagem do Fator CD em função da V.R

A figura 9 apresenta o efeito principal do fator E, estado da carne. Pode-se verificar que quanto maior a altura dos espetos, maior o tempo de cocção.

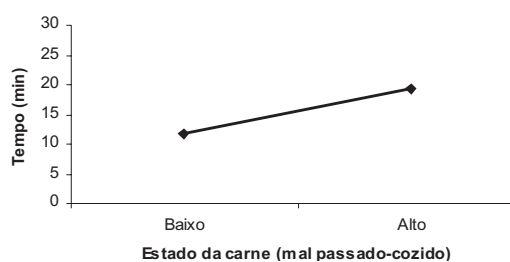


Figura 9 – Plotagem do Fator E em função da V.R

4.3 Análise de validade do modelo

Segundo Ribeiro e Caten (2003), a adequação do ajuste e as suposições do modelo podem ser verificadas através de uma análise dos resíduos. Os resíduos padronizados são calculados como segue:

$$R_i = \frac{Y_i - (b_0 + b_1 X_i)}{S}$$

Onde:

$$S = \sqrt{\frac{SQR}{n-2}}$$

$$SQR = SYY - b_1 SXY$$

R_i = resíduos padronizados

SYY = Soma quadrada do fator da variável de resposta Y.

SXY = Soma quadrada das interações entre a variável dependente e independente.

SQR = Soma quadrada dos resíduos

A adequação do ajuste é testada plotando os resíduos padronizados em função de X, como pode ser visto nas figuras 10 a 12.

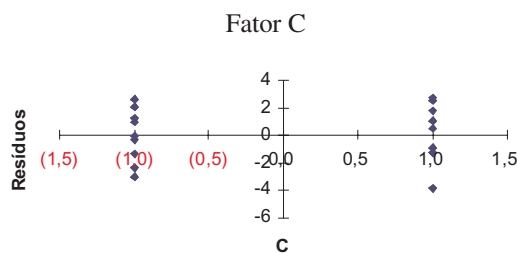


Figura 10 – Plotagem de resíduos Fator C

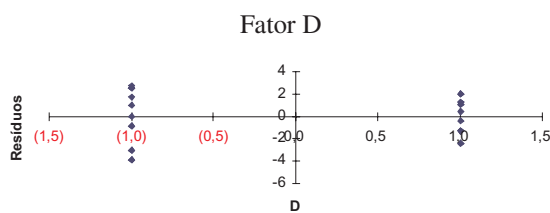


Figura 11 – Plotagem de resíduos Fator D

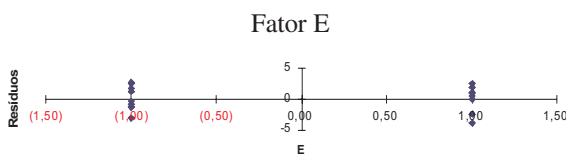


Figura 12 – Plotagem de resíduos Fator E

Como se pode observar, nos gráficos anteriores, os resíduos encontram-se distribuídos aleatoriamente em torno do zero, o que representa um ajuste adequado do modelo.

5 Considerações finais

Este artigo apresentou os resultados da aplicação da técnica de planejamento e análise de experimentos a uma inovação tecnológica, churrasqueira portátil, construída a partir da reutilização de um botijão de gás para refrigeração, que é considerado um resíduo após a utilização do gás. Utilizou-se o projeto de experimentos para analisar os fatores controláveis mais pertinentes que possuem influência na variável de resposta *tempo de assar* dessa churrasqueira portátil no momento de assar distintos tipos de carne.

Os fatores controláveis investigados neste estudo foram: (a) nível de carvão; (b) quantidade de espetos a serem assados; (c) tipo de carne; (d) altura dos espetos; (e) ponto de cocção. A variável de resposta de saída é representada pelo tempo de cocção do produto. Para cada fator controlável, foram investigados os dois níveis: baixo e alto.

O planejamento de experimentos é uma importante ferramenta de apoio para a análise de decisão e otimização de produtos e permite o estudo de múltiplos fatores controláveis e a variabilidade da resposta, em função das mudanças que se produzem no experimento, com o objetivo da melhoria da qualidade do produto analisado.

Foi utilizado um projeto fatorial fracionado 2^{5-1} sem repetições, contemplando 16 ensaios. Os resultados foram analisados utilizando-se a análise de regressão em que foram investigadas, além dos fatores principais, as interações de dois fatores.

Os fatores considerados significativos foram os efeitos principais C (tipo de carne), D (altura dos espetos) e E (estado da carne) e as interações de dois fatores AC (nível de carvão e tipo de carne) e CD (tipo de carne e altura dos espetos).

Com a equação de regressão é possível prever os tempos de cocção para cada uma das combinações dos níveis dos fatores controláveis.

Referências

BITTENCOURT, A. C. P. **Desenvolvimento de uma metodologia para reprojeto de produto para o meio ambiente.** Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

BONDUELLE, Arnaud. **Caractérisation du panneau de particules surface mélaminé par son aptitude a l'usabilité.** Tese de Doutorado, 205p., Université de Nancy I. Nancy, 1994.

BONSIEPE, Gui. **Teoria y Práctica del Diseño Industrial.** Barcelona: Gustavo Gili, 1978.

GALDÁMEZ, Edwin V. Cardoza. **Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de injeção plástica.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em 22 junho de 2007.

HERNÁNDEZ, Fernando *et al.* **Aprendendo com as inovações nas escolas.** Trad. Ernani Rosa. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

HORD. **Evaluating educational innovation.** New York: Croom Helm, 1987.

MONTGOMERY, D. C. **Diseño y análisis de experimentos.** Trad. Jaime Delgado Saldivar. México, DF: Grupo Ed. Iberoamérica, 1991.

RIBEIRO, José L.; CATEN, Carla ten. **Projeto de experimentos.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2003.

SILVA, Messias B. **Projeto de experimentos.** Disponível em: <http://www.eel.usp.br/copg/des_arq/messias/IntroduoProjeto%20Experimentos.pdf>. Acesso em: 22 de junho de 2007.

STREIT, Clenir S. **Desenvolvimento de competências gerenciais associadas a inovação na gestão:** a contribuição da aprendizagem organizacional. 175 p. Dissertação (Mestrado em Administração) Escola de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

TUSHMAN, M.; NADLER, D. Organizando-se para a inovação. In: STARKEY, K. **Como as organizações aprendem.** São Paulo: Futura, 1997.