



## **PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS: UM EXEMPLO DIDÁTICO**

**Gabriela da Fonseca de Amorim** – gabi@unifei.edu.br

**Pedro Paulo Balestrassi** – ppbalestrassi@gmail.com

Universidade Federal de Itajubá, IEPG – Instituto de Produção e Gestão

Av. BPS, 1303, bairro Pinheirinho

37500-903 – Itajubá – Minas Gerais

**Resumo:** *A proposta deste trabalho é sugerir um exemplo didático com o uso do software Minitab® para introduzir o ensino em sala de aula do Delineamento de Experimentos, do inglês, Design of Experiments (DoE). Partindo de um processo simples do cotidiano, a ideia é fazer com que os alunos interajam e consigam perceber os conceitos do Planejamento e da Otimização de experimentos de maneira natural e intuitiva seguindo quatro etapas: definição de variáveis, desenvolvimento do projeto experimental, realização dos experimentos e análise dos resultados. Dando sequência ao processo de aprendizagem, ao final da aula alguns exercícios são propostos aos alunos a fim de fixar o conteúdo ministrado. Para garantir a eficácia do ensino a partir do exemplo proposto, os exercícios foram elaborados com base na Taxonomia dos Objetivos Educacionais, também denominada Taxonomia de Bloom, e abordam o conteúdo em todos os níveis do domínio cognitivo. A metodologia de Pesquisa usada neste estudo foi a Pesquisa-ação e o exemplo em questão foi aplicado tanto para turmas de graduação em Engenharia quanto para turmas de mestrado e mostrou um resultado significativo em ambos os casos, servindo de base para o aprofundamento do assunto nas aulas posteriores.*

**Palavras-chave:** *ensino, exemplo didático, Planejamento de Experimentos, Design of Experiments, DoE, Taxonomia de Bloom.*

1.

## INTRODUÇÃO

Ensinar exige reflexão crítica sobre a prática docente. O professor deve estar atento ao fato de que ensinar não é apenas transferir conhecimento, mas criar possibilidades para produção e construção próprias (FREIRE, 1996). Partindo deste pressuposto, a ideia do trabalho é fazer com que os alunos interajam e percebam os conceitos introdutórios da disciplina de maneira natural e intuitiva, o que servirá de base para o aprofundamento do assunto nas aulas posteriores.

Um processo simples do cotidiano como fazer pipocas no micro-ondas pode servir de exemplo para iniciar em sala de aula o ensino do Delineamento de Experimentos, do inglês, Design of Experiments (DoE) com o uso do *software Minitab*®. Para isso, serão seguidas quatro etapas bem estruturadas: definição de variáveis, desenvolvimento do projeto experimental, realização dos experimentos e análise dos resultados.

Realizar experimentos e analisar os dados é parte integrante do trabalho do engenheiro e, portanto, a estatística está presente no seu dia-a-dia. Embora o DoE seja ainda insuficientemente utilizado no ambiente industrial, sabe-se que seu uso aumenta a eficácia dos engenheiros e a eficiência dos processos (TANCO *et al.*, 2009).

O uso da metodologia Seis Sigma tornou o DoE ainda mais necessário, pois este é uma ferramenta-chave que visa amenizar o desperdício de tempo e recurso ao mesmo tempo que promove um resultado mais confiável para a experimentação.

Em uma busca no banco de dados do *ISI Web of Science* é possível observar que o termo “Design of experiments” aparece em aproximadamente seis mil artigos nas mais diversas áreas do conhecimento e tanto a quantidade de publicações quanto a quantidade de citações a respeito deste assunto vêm crescendo, conforme ilustrado na Figura 1.

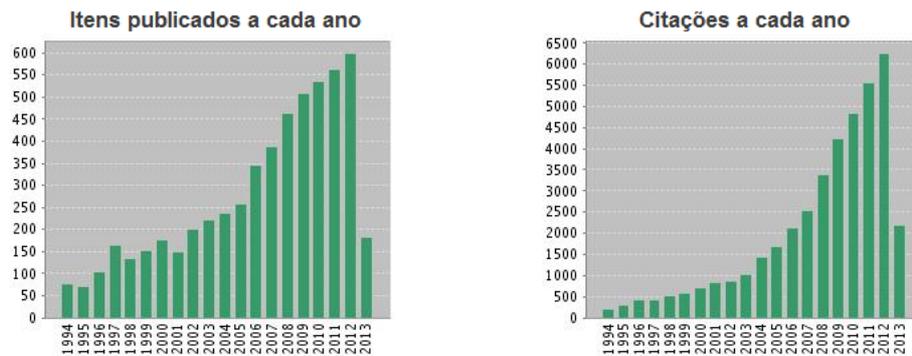


Figura 1 - Publicações e Citações a respeito do termo "Design of experiments"

Dando sequência ao processo de aprendizagem, ao final da aula alguns exercícios são propostos aos alunos a fim de fixar o conteúdo ministrado. Para garantir a eficácia do ensino a partir do exemplo proposto, os exercícios foram elaborados com base na Taxonomia dos Objetivos Educacionais, também denominada Taxonomia de Bloom, e abordam o conteúdo em todos os níveis do domínio cognitivo.

Esta Taxonomia é uma estrutura para classificar o que se deve esperar do aprendizado dos alunos como resultados das aulas que originalmente publicada em 1956, mas foi reescrita 45 anos depois e passou a ser chamada Taxonomia de Bloom revisada (KRATHWOHL, 2002).

A metodologia de pesquisa usada na condução deste trabalho foi a pesquisa-ação uma vez que método foca na pesquisa em ação ao invés de ser uma pesquisa sobre a ação. A ideia central da pesquisa-ação é usar uma abordagem científica para estudar os

problemas em conjunto com aqueles que estão diretamente ligados a ele (COUGHLAN & COGHLAN, 2002). Este trabalho é uma proposta didática para introduzir o ensino do DoE em sala de aula e é aplicado na Universidade Federal de Itajubá.

A fim de cumprir os objetivos propostos, este artigo foi escrito em sete seções sendo a primeira delas a Introdução e as quatro seguintes as etapas do planejamento de experimentos, a saber, seção 2: Definição de variáveis, seção 3: Desenvolvimento do projeto experimental, seção 4: Realização dos experimentos e seção 5: Análise dos resultados. A seção 6 diz respeito à construção dos exercícios baseados na Taxonomia de Bloom e a última seção apresenta as conclusões deste estudo.

## 2. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Esta é a primeira etapa do processo de planejamento e otimização de experimentos e cabe neste momento introduzir o processo aos alunos. O modelo geral de um processo é ilustrado na Figura 2 e o exemplo a ser abordado é “fazer pipoca no micro-ondas”, um exemplo de experimento simples que pode ser facilmente reproduzido pelo aluno em casa pois está relacionado a uma atividade do cotidiano.

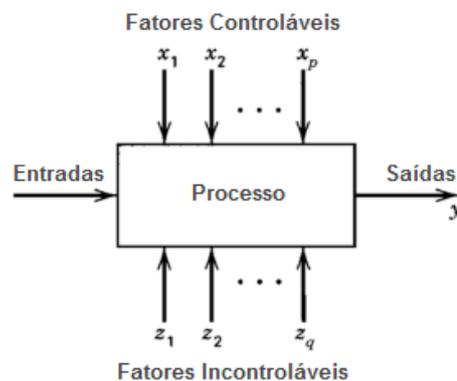


Figura 2 - Modelo geral de um processo ou sistema (MONTGOMERY, 2001)

Antes de iniciar a explicação de como deve ser realizado o processo experimental, é necessário considerar três recomendações sobre o uso eficiente do Delineamento de experimentos: usar também conhecimentos não-estatísticos sobre o problema, manter o planejamento e a análise o mais simples possível e reconhecer as diferenças entre o significado prático e estatístico (MONTGOMERY, 2001).

Os alunos devem ser indagados quanto às variáveis do processo para que participem ativamente da construção do DoE. Os dados deste artigo são resultantes da aplicação deste exemplo na turma de graduação em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Itajubá.

### 2.1. Entradas

A única entrada é um pacote de pipoca apropriada para micro-ondas para cada vez que o processo usado como exemplo neste artigo for realizado.

### 2.2. Saídas

São duas as saídas do processo em questão:



### ***Qualidade da pipoca***

Os valores desta saída podem ser definidos através de uma pesquisa de opinião e representados de maneira quantitativa, com notas de 0 (zero) a 10 (dez), ou de maneira qualitativa, seguindo uma Escala de Likert para o nível de concordância com a afirmação “Esta pipoca está boa” com respostas variando de “Discordo Totalmente” até “Concordo Totalmente”. Em ambos os casos, quanto mais aproximada do limite superior, melhor é o processo.

### ***Quantidade de piruás***

Esta saída está relacionada à produtividade e pode ser medida contando a presença de milhos que eventualmente não estouraram no processo. É possível considerar que os valores desta saída estejam entre 0 e 200 piruás. Neste caso, quanto mais próximo do limite inferior, melhor é o processo.

## **2.3. Fatores controláveis**

São cinco os fatores controláveis do processo:

### ***Tempo***

Conforme indicam as instruções nos pacotes de pipoca para micro-ondas, o tempo de preparo pode variar entre 3 e 5 minutos.

### ***Potência***

Em geral, a potência do micro-ondas pode ser programável e nesta caso vamos trabalhar com potências entre 70% e 100%.

### ***Marca da pipoca***

As marcas de pipoca para micro-ondas mais conhecidas e disponíveis no mercado são Yoki e Hikari, mas podem haver variações de acordo com o local onde este exemplo é aplicado.

### ***Marca do micro-ondas***

As marcas mais populares no mercado brasileiro são LG e Brastemp, mas esta variável pode ser alterada conforme o palpite dos alunos.

### ***Lado do pacote***

Os pacotes de pipoca para micro-ondas vêm com indicações do lado correto que deve ser posicionada e a influência desta variável no resultado final do processo também pode ser investigada no experimento.

## **2.4. Fatores incontroláveis**

Os fatores incontroláveis são aqueles que o experimentador não pode manipular e provavelmente seus efeitos podem ser desconsiderados no experimento, por exemplo, o tempo de uso do micro-ondas, quantidade de milho na embalagem de pipoca, o tempo passado desde a colheita do milho até o seu uso no experimento, etc.

## **2.5. Quadro de resumo**

Um processo experimental busca manipular os fatores controláveis e analisar seus efeitos nas saídas do processo. Assim, as variáveis definidas em conjunto com os alunos a respeito do processo que serão efetivamente consideradas no Planejamento e na Otimização do experimento são resumidas no Quadro 1.

Quadro 1 - Resumo das variáveis de interesse no planejamento do experimento

<b>Entradas</b>	x = pacotes de pipoca para micro-ondas
<b>Fatores controláveis</b>	x <sub>1</sub> = tempo [3; 5] x <sub>2</sub> = potência [70; 100] x <sub>3</sub> = marca [LG; Brastemp] x <sub>4</sub> = pipoca [Yoki; Hikari] x <sub>5</sub> = lado [certo; errado]
<b>Saídas</b>	y <sub>1</sub> = quantidade de piruás [0-200] y <sub>2</sub> = qualidade da pipoca [0-10]

### 3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO EXPERIMENTAL

O projeto experimental será desenvolvido com o auxílio do *Minitab®* e todos os alunos devem acompanhar o procedimento em seus computadores e fazer as anotações necessárias a fim de reproduzi-lo ou replica-lo.

Primeiramente é preciso definir a quantidade de pacotes de pipoca (entrada) para micro-ondas que devem ser comprados para realização do experimento. Para isso, deve-se iniciar o *Minitab®* e acessar no menu as opções *Stat / DOE / Factorial / Create a Factorial Design*.

Uma caixa de diálogo será aberta e deve-se completar o “Number of factors” com 5 pois essa é a quantidade de fatores controláveis a serem considerados no experimento. Em seguida é possível verificar a quantidade de experimentos suficiente ou necessária referente à quantidade de fatores controláveis no botão “*Display Available Designs*”. Como pode ser observado na Figura 3, para cinco fatores oito experimentos são inconclusivos e 16 ou 32 experimentos são suficientes. Assim, 16 experimentos serão realizados, ou seja, serão necessários 16 pacotes de pipoca para realizar o procedimento experimental.

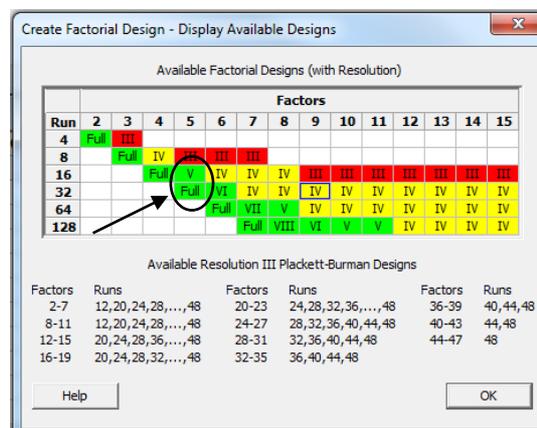


Figura 3 – Caixa de diálogo “*Display Available Designs*”

Esta caixa de diálogo pode ser fechada para no botão “*Design*” ser definida a quantidade de experimentos, conforme ilustração da Figura 4. Para prosseguir com a criação do projeto experimental, a alteração nesta caixa de diálogo deve ser confirmada.

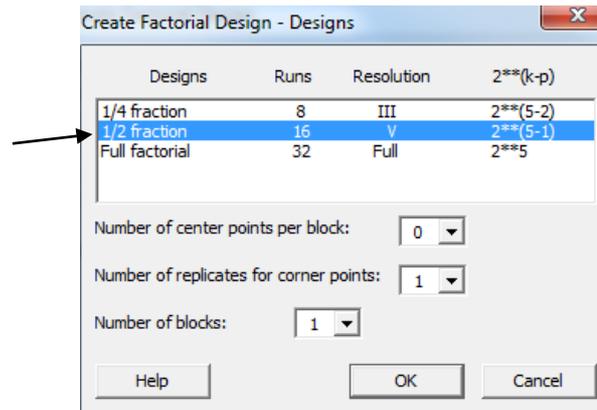


Figura 4 – Caixa de diálogo “*Designs*”

No botão “*Factors*”, os fatores controláveis devem ser preenchidos. A Figura 5 ilustra a tabela de fatores. O *software Minitab*® permite, para cada processo, um máximo de cinco fatores controláveis com dois níveis, sendo eles valores numéricos, como no caso do tempo de preparo ou da potência do micro-ondas ou textos, como no caso da marca do micro-ondas ou da pipoca e do lado que será colocado o pacote.

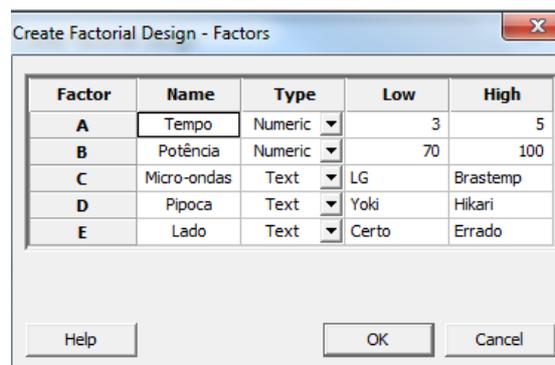


Figura 5 – Caixa de diálogo “*Factors*”

Os experimentos podem estar aleatorizados ou em sequência e esta escolha é realizada no botão “*Options*”, marcando ou não a opção “*Randomize runs*”. A Figura 6 mostra a caixa de diálogo com essa opção. Como no caso deste artigo, o exemplo de processo no qual serão feitos experimentos é apenas didático e os resultados serão simulados, a ordem não interfere, mas no caso de experimentos reais, deixar os dados em sequência facilita o preenchimento dos dados.

Após seguir todas as instruções acima, a caixa de diálogo pode ser confirmada e o *Minitab*® disponibilizara na aba “*Worksheet*” o delineamento do experimento para o processo em questão. Esta aba é mostrada na Figura 7. Com isso, a segunda etapa do processo de planejamento e otimização de experimentos é concluída.

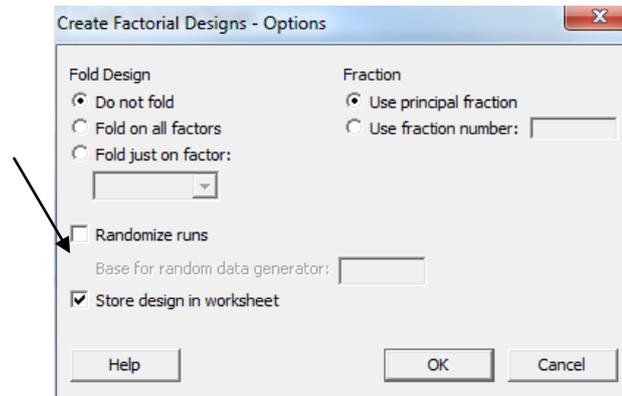


Figura 6 – Caixa de diálogo “Options”

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8-T	C9-T
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Tempo	Potência	Micro-ondas	Pipoca	Lado
2	2	2	1	1	5	70	LG	Yoki	Certo
3	8	3	1	1	5	100	Brastemp	Yoki	Certo
4	16	4	1	1	5	100	Brastemp	Hikari	Errado
5	7	5	1	1	3	100	Brastemp	Yoki	Errado
6	1	6	1	1	3	70	LG	Yoki	Errado
7	5	7	1	1	3	70	Brastemp	Yoki	Certo
8	12	8	1	1	5	100	LG	Hikari	Certo
9	4	9	1	1	5	100	LG	Yoki	Errado
10	3	10	1	1	3	100	LG	Yoki	Certo
11	13	11	1	1	3	70	Brastemp	Hikari	Errado
12	6	12	1	1	5	70	Brastemp	Yoki	Errado
13	11	13	1	1	3	100	LG	Hikari	Errado
14	15	14	1	1	3	100	Brastemp	Hikari	Certo
15	10	15	1	1	5	70	LG	Hikari	Errado
16	14	16	1	1	5	70	Brastemp	Hikari	Certo
17									

Figura 7 - Delineamento do experimento "Pipoca no Micro-ondas"

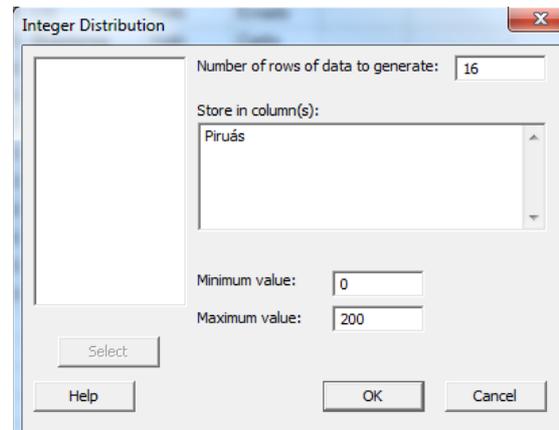
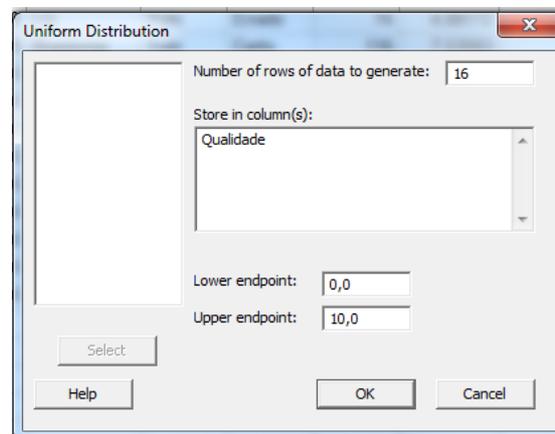
#### 4. REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O foco deste estudo não é de fato o resultado da experimentação, mas sim o ensino dos procedimentos necessários ao realizar um delineamento de experimento e a análise dos seus resultados, por isso, quanto às saídas do processo, os alunos devem ser instruídos a atribuir valores simulados.

No caso deste experimento, duas saídas são esperadas para o processo: a qualidade da pipoca e a quantidade de piruás. Para que os resultados gerados em todos os computadores dos alunos sejam iguais, recomenda-se usar um *Set Base*.

Para a quantidade de piruás foi usado um *Set Base* = 4. Neste caso, é possível considerar que o resultado seja um valor inteiro e aleatório entre 0 e 200, ou seja, 0 se todos os milhos estouraram e 200 caso nenhum tenha estourado no pacote. Esses valores podem ser gerados no *Minitab*® seguindo as opções *Calc / Set Base* e preenchendo com o valor 4, em seguida *Calc / Random Data / Integer* e preenchendo a caixa de dialogo como na Figura 8.

No caso da qualidade da pipoca foi usado um *Set Base* = 3 e para os valores simulados para o resultado da pesquisa de opinião pode ser considerado uma Distribuição Uniforme entre 0 e 10. Estes valores também podem ser gerados no *Minitab*® seguindo as opções *Calc / Set Base* e preenchendo com o valor 3, em seguida *Calc / Random Data / Uniform* e preenchendo a caixa de dialogo como na Figura 9.


 Figura 8 – Geração dos resultados da saída  $y_1$ : Quantidade de Piruás

 Figura 9 – Geração dos resultados da saída  $y_2$ : Qualidade das pipocas

A nova tabela referente aos dados e resultados do experimento deve estar disposta na aba “*worksheet*” do *Minitab*® como na Figura 10.

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8-T	C9-T	C10	C11
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Tempo	Potência	Micro-ondas	Pipoca	Lado	Piruás	Qualidade
2	2	2	1	1	5	70	LG	Yoki	Certo	124	9.81307
3	8	3	1	1	5	100	Brastemp	Yoki	Certo	181	4.57711
4	16	4	1	1	5	100	Brastemp	Hikari	Errado	106	0.24829
5	7	5	1	1	3	100	Brastemp	Yoki	Errado	33	1.97852
6	1	6	1	1	3	70	LG	Yoki	Errado	74	4.68172
7	5	7	1	1	3	70	Brastemp	Yoki	Certo	116	7.53563
8	12	8	1	1	5	100	LG	Hikari	Certo	32	9.33078
9	4	9	1	1	5	100	LG	Yoki	Errado	88	6.91885
10	3	10	1	1	3	100	LG	Yoki	Certo	75	9.87946
11	13	11	1	1	3	70	Brastemp	Hikari	Errado	200	7.63152
12	6	12	1	1	5	70	Brastemp	Yoki	Errado	66	8.97583
13	11	13	1	1	3	100	LG	Hikari	Errado	141	4.99539
14	15	14	1	1	3	100	Brastemp	Hikari	Certo	126	4.16059
15	10	15	1	1	5	70	LG	Hikari	Errado	95	0.04112
16	14	16	1	1	5	70	Brastemp	Hikari	Certo	133	8.45650

 Figura 10 - Aba “*worksheet*” do *Minitab*® com os Dados do experimento

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO DOE

A partir dos dados experimentais simulados, pode-se fazer conclusões a respeito da interferência dos fatores controláveis nas saídas do processo.

ccc

## 6. EXERCÍCIOS USANDO A TAXONOMIA DE BLOOM

Esta proposta foi baseada na Taxonomia dos Objetivos Educacionais popularmente conhecida como Taxonomia de Bloom que foi criada a pedido da American Society of Psychology por Bloom et al. (1956) e revisada por Anderson

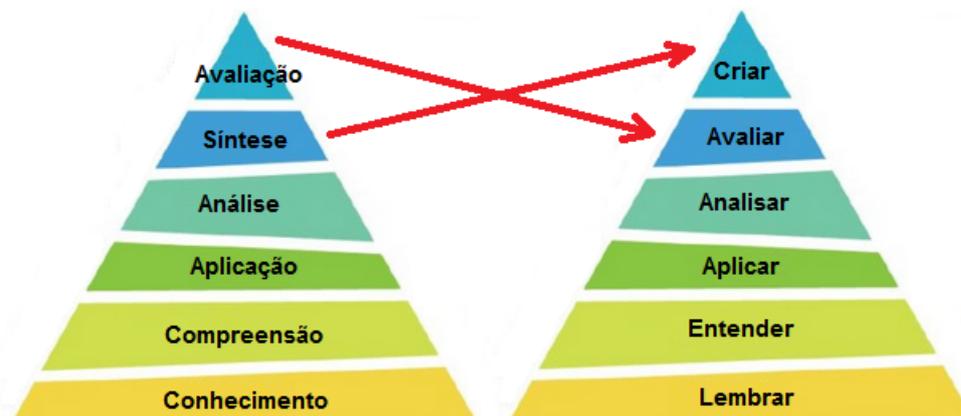


Figura 11 - Diferença principal entre a Taxonomia de Bloom original e a Taxonomia de Bloom revisada

### 6.1. Lembrar

### 6.2. Entender

### 6.3. Aplicar

### 6.4. Analisar

### 6.5. Avaliar

### 6.6. Criar

Proposta para a aula seguinte: descrever um processo diferente e seguir os passos trabalhados em aula para Planejar um novo experimento.

## 7. CONCLUSÕES

O exemplo em questão foi aplicado tanto para turmas de graduação em Engenharia de Produção quanto para turmas de mestrado na Universidade Federal de Itajubá e mostrou um resultado significativo em ambos os casos.

*Agradecimentos*

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Coughlan, P., & Coghlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2), 220–240. doi:10.1108/01443570210417515

Freire, P. (1996). *Pedagogia da Autonomia - Saberes necessários à prática educativa* (25ª edição., p. 168). São Paulo, SP: Paz e Terra (Coleção Leitura).

Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218. doi:10.1207/s15430421tip4104\_2

Montgomery, D. C. (2001). *Design and Analysis of Experiments* (5a. edição., p. 684). Arizona State University: John Wiley & Sons, INC.

Tanco, M., Viles, E., Ilzarbe, L., & Alvarez, M. J. (2009). Implementation of Design of Experiments projects in industry, (May), 478–505. doi:10.1002/asmb

## DESIGN AND OPTIMIZATION OF EXPERIMENTS: AN DIDACTIC EXAMPLE

**Abstract:** *The purpose of this paper is to suggest a didactic example using the software Minitab® to introduce in the classroom the subject Design of Experiments (DOE). Starting from a simple process of everyday life, the idea is to make students able to interact and understand the concepts of the planning and optimizing experiments in a natural and intuitive way following four steps: defining variables, development of experimental design, experiments and analysis of results. Continuing the learning process, in the end of class some exercises are offered to students in order to improve the learning of content taught. To ensure the effectiveness of learning from the example proposed, the exercises were designed based on the Taxonomy of Educational Objectives, also called Bloom's Taxonomy, and discuss the content at all levels of the cognitive domain. The action research methodology was used in this study and the example in question was applied to undergraduate classes in Industrial Engineering and to master classes and showed a significant result in both cases, providing the basis for the deepening of the subject in later lessons.*

**Key-words:** *teaching, didactic example, Design of Experiments, DOE, Bloom's Taxonomy.*