



**Simpósio de Métodos
Numéricos em Engenharia**

25 a 27 de outubro, 2017

Aplicativo Computacional para Delineamento de Experimento de Taguchi

Lucas Lamy¹

Anselmo Chaves Neto²

Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia (PPGMNE)

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Curitiba-PR, Brasil

lucas_lamy@yahoo.com.br¹, anselmo@ufpr.br²

Resumo — Todo processo/produto deve passar por uma fase de projeto e adequação de parâmetros se o objetivo é a melhor qualidade possível. O método de Taguchi para delineamento de experimentos apresenta vantagens em relação aos delineamentos de experimento tradicionais, como número de ensaios reduzidos, gerando uma grande economia sem perda de eficiência na análise. Esse trabalho apresenta um aplicativo desenvolvido para a metodologia de Taguchi através do programa MATLAB. O aplicativo fornece uma interface gráfica simples e direta, que exhibe todos os passos realizados e permite uma escolha automática da matriz ortogonal para a realização do experimento com uma rápida análise de dados.

Palavras-chave — Projeto de experimento; Método de Taguchi; Matlab.

I. INTRODUÇÃO

Genichi Taguchi trabalhou quase toda a sua vida na área de controle de qualidade e com esse trabalho, inspirado por outras grandes mentes da área como W. Edwards Deming, buscou criar e aprimorar métodos para o controle e aumento de qualidade. Taguchi divide o processo de controle de qualidade em duas etapas: “on-line”, ou seja, na linha de produção onde é aplicada as técnicas do controle estatístico do processo (CEP) e “off-line”, fora da linha de produção, onde tem as fases de projeto e otimização. Com o entendimento que um produto/processo de baixa qualidade não prejudicava apenas o consumidor final, mas toda a sociedade, trouxe um novo método para a área de qualidade com a introdução da função perda de qualidade quadrática, matrizes ortogonais e a razão sinal-ruído. Desenvolveu um

delineamento de experimento utilizando as matrizes ortogonais para avaliar a característica do processo e achar a melhor combinação de fatores para alcançar o melhor índice de qualidade. Esse método de Taguchi permite uma economia de recursos, tempo e dinheiro pois é uma estratégia experimental mais aperfeiçoada.

Nos dias atuais, onde a competitividade no mercado é cada vez maior é necessário aliar a tecnologia ao conhecimento para sempre estar à frente dos concorrentes. Nesse cenário, o desenvolvimento de um aplicativo para um objetivo específico torna-se vantajoso. Um bom aplicativo faz com que suas metas sejam alcançadas de maneira mais rápida e precisa, ou seja, de maneira mais eficiente tornando sua empresa mais competitiva.

Com esse pretexto foi desenvolvido o aplicativo “Experimento Taguchi” com o objetivo de disponibilizar um aplicativo para análise de delineamento de experimentos. O aplicativo é destinado a estudantes, profissionais e pesquisadores. O aplicativo tem como função fornecer uma maneira rápida e fácil de utilização da metodologia, para todos que desejam utilizar o delineamento de experimento de Taguchi.

II. MÉTODOS

O desenvolvimento do aplicativo “Experimento Taguchi”, foi realizado no período de janeiro a julho de 2017, em ambiente Windows, utilizando a linguagem de programação MATLAB pois permite a criação de interfaces

gráficas e é um dos mais poderosos sistemas computacionais de matemática e engenharia da atualidade.

O aplicativo utiliza os conceitos clássicos da estatística e os novos apresentados por Taguchi brevemente descritos nos índices abaixo.

A. Função perda de qualidade quadrática

A função perda de qualidade quadrática de Taguchi representa a perda gerada quando uma característica de qualidade tem um desvio do valor alvo. A função quadrática avalia a perda ocasionada pelo desvio. Essa perda é causada por custos de produção e custos sofridos pelos consumidores (reparos, perda de negócios e etc....) [1].

A função perda pode ser calculada para cada observação ou através do erro médio quadrático da amostra, neste caso temos a função perda média.

São três os tipos da função perda e que estão de acordo com o tipo da característica funcional analisada. Esses tipos são: Nominal-é-Melhor (NTB)

$$\overline{L(y)} = \frac{P}{\Delta^2} [S^2 + (\bar{y} - T)^2], \quad (1)$$

Menor-é-Melhor (STB)

$$\overline{L(y)} = \frac{P}{\Delta^2} [S^2 + \bar{y}^2] \quad (2)$$

e Maior-é-Melhor (LBT)

$$\overline{L(y)} = P\Delta^2 \left[\frac{1}{y^2} \right]. \quad (3)$$

Onde P representa o valor de perda máxima, Δ a tolerância do desvio do alvo, T o valor alvo, S^2 a variância da amostra e \bar{y} a média da amostra.

A função tem alguns aspectos interessantes, ela expõe ao mesmo tempo a qualidade e custo, permitindo uma compreensão melhor da importância do aperfeiçoamento do processo, assim como trata de aspectos econômicos e de engenharia [2].

B. Razão sinal-ruído

A razão sinal-ruído (S/N) é um procedimento utilizado para aperfeiçoar a robustez do produto ou processo. Ela reflete a variabilidade das respostas do sistema causadas pelos ruídos, não depende dos ajustes na média, é utilizada para comparar as propostas e não precisa levar em conta as interações entre os fatores analisados. A razão S/N possui as características funcionais: Nominal-é-Melhor I (NTB-I)

$$S/N_{NTB-I} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right), \quad (4)$$

Nominal-é-Melhor II (NTB-II)

$$S/N_{NTB-II} = -10 \log(S^2), \quad (5)$$

Menor-é-Melhor (STB)

$$S/N_{STB} = -10 \log(S^2 + \bar{y}^2) \quad (6)$$

e Maior-é-Melhor (LBT)

$$S/N_{LBT} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i^2} \right) \right]. \quad (7)$$

C. Matriz ortogonal e gráficos lineares

A matriz ortogonal é utilizada nos métodos desenvolvidos por Taguchi, pois apresenta algumas vantagens em relação às matrizes empregadas em outras metodologias de delineamento de experimento. As matrizes ortogonais são balanceadas, ou seja, todos os níveis de todos os fatores são avaliados exatamente com o mesmo número de observações. Elas requerem um número reduzido de experimentos, pois não exige que todas as combinações possíveis entre os fatores sejam analisadas.

Os gráficos lineares fornecem um modo fácil para a atribuição dos fatores nas colunas da matriz e mais importante, uma atribuição de maneira de se estudar o efeito dos fatores principais e as interações dos fatores sem confusão entre eles.

D. Bootstrap

O bootstrap é indicado para problemas onde os procedimentos estatísticos padrões não existam ou sejam de difícil aplicação. A proposta do método é que através do uso computacional se obtenha o desvio padrão, intervalo de confiança, estimação de distribuição de probabilidade e cálculo de estatísticas. Os intervalos de confiança *bootstrap* utilizados foram o padrão (Z), t, percentílico (p), *bias corrected* (Bc) e *bias corrected and accelerated* (Bca).

E. Razão capacidade do processo

Índices que classificam a qualidade são muito úteis quando se deseja medir, comparar e aprimorar a qualidade. A razão da capacidade potencial do processo é um desses índices. Ela mede a razão entre a dispersão da especificação do processo e dispersão real do processo, é uma razão altamente influenciada pela variabilidade que o processo apresenta [3]. Quando o valor é menor que 1, dizemos que o processo é incapaz de produzir aquilo que ele se propôs, se o

valor da razão for entre 1 e 1,33 o processo é razoavelmente capaz e acima de 1,33 ele é capaz. Os índices apresentados nesse aplicativo são os Cp, Cpk e Cpmk.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (8)$$

$$C_{pk} = \text{Min} \left[\frac{\mu - LIE}{3\sigma}, \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \right] \quad (9)$$

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (10)$$

Onde LSE representa o limite superior de especificação, LIE o limite inferior de especificação, T o valor alto.

III. DESCRIÇÃO DO APLICATIVO COMPUTACIONAL

O objetivo foi a construção de uma interface simples para o usuário, sem informações desnecessárias à vista e que concentre todas as informações em um único local de forma a não tornar confusa a análise de dados, de maneira que todo o processo possa ocorrer de modo mais simples possível.

A tela inicial do aplicativo, Fig. 1, possui campos para selecionar o número de fatores, os respectivos níveis, o grau de interação entre os níveis dos fatores, a entrada ou importação de dados (via arquivo .xls), número de reamostras *bootstrap* e valor nominal. Assim como botões para cálculo da análise da variância (ANOVA), opções gráficas, seleção das características do processo e exportação de resultados. A janela principal também possui abas individuais para exibição de dados e resultados de cada etapa efetuada. São elas: Matriz experimento, Amostra, ANOM (análise da média), ANOM-SN (análise da média razão sinal/ruído), ANOVA, ANOVA-SN (análise da variância da razão sinal/ruído), Geral.

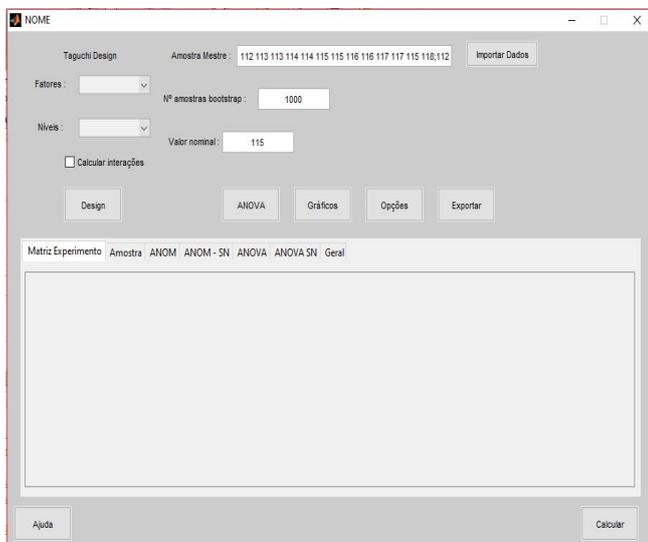


Figura 1. Janela principal.

Para a escolha da matriz ortogonal, Fig.2, o programa se baseia no nível e número de fatores desejado pelo usuário que são escolhidas na página inicial do programa. Utilizando os gráficos lineares e matrizes de interações [1], [4], o aplicativo “Experimento Taguchi” seleciona a melhor atribuição de fatores para colunas da matriz ortogonal sempre tentando garantir nenhuma confusão entre fatores e interações. Aqui a automatização das escolhas gera uma otimização do tempo para a escolha de qual modelo deve ser usado.

As colunas atribuídas a algum fator terão a nomenclatura, como exemplo: para fator principal, “Fator 1”; para interações “1x2”, representando a interação entre o fator 1 e o fator 2; colunas sem atribuição são representadas por “e”, o erro amostral.

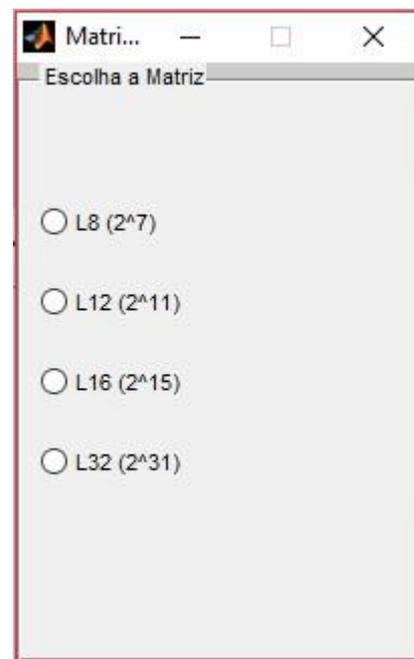


Figura 2. Janela para escolha da matriz ortogonal.

Para avaliação de interações, se o usuário as desejar, Fig.3, a atribuição é realizada de modo automático guiado também pelos gráficos lineares e matrizes de interações [1], [4].

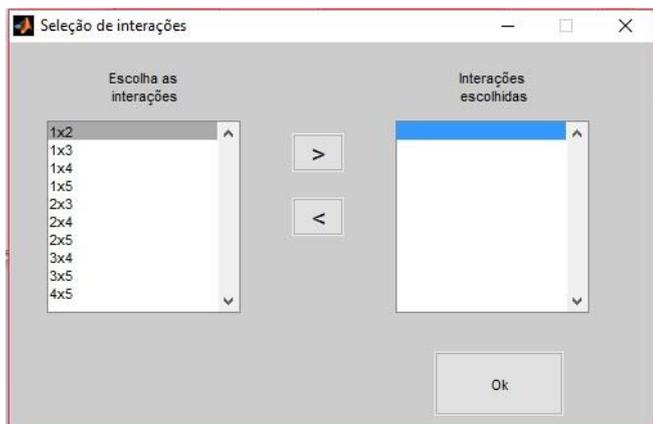


Figura 3. Janela de escolha das interações.

Na janela seleção de opções, Fig.4, é apresentado a escolha da característica do processo (NTB-I, NTB-II, STB, LTB) e que será aplicada a todas às análises. Como opção tem-se a função perda média (que exige a entrada da constante de proporcionalidade k , ou parâmetros de perda P e desvio do alvo δ), C_p , C_{pk} , C_{pkm} (que exigem a entrada dos limites de especificação LIE e LSE). Os intervalos de confiança dos parâmetros são calculados a partir das amostras *bootstrap* geradas, com os níveis de confiança 95% e 99%, tendo as seguintes opções de escolha: intervalo de confiança Z, intervalo de confiança t, intervalo de confiança percentílico, intervalo de confiança Bc, intervalo de confiança Bca e modo automático, no qual o programa faz a melhor escolha para cada situação [5]. Os intervalos de confiança só serão calculados para aqueles parâmetros que forem selecionados.

A exibição de resultado é realizada na última aba de exibição da janela principal, na aba denominada “Geral”, Fig. 5.

A aba apresenta: a matriz ortogonal selecionada junto com as atribuições de fatores e interações, média da amostra, variância da amostra, S/N, intervalos de confiança nível 95% da razão sinal/ruído da forma limite inferior (SN-LI95%) e limite superior (SN-LS95%), intervalos de confiança nível 99% da razão sinal/ruído da forma limite inferior (SN-LI99%) e limite superior (SN-LS99%), função perda média, intervalos de confiança nível 95% da função perda média da forma limite inferior (FP-LI95%) e limite superior (FP-LS95%), intervalos de confiança nível 99% da função perda média da forma limite inferior (FP-LI99%) e limite superior (FP-LS99%). Também mostra a C_p , intervalos de confiança nível 95% do índice C_p da forma limite inferior (C_p -LI95%) e limite superior (C_p -LS95%) e intervalos de confiança nível 99% do índice C_p da forma limite inferior (C_p -LI99%) e limite superior (C_p -LS99%), C_{pk} , intervalos de confiança nível 95% do índice C_{pk} da forma limite inferior (C_{pk} -LI95%) e limite superior (C_{pk} -LS95%) e intervalos de confiança nível 99% do índice C_{pk} da forma limite inferior (C_{pk} -LI99%) e limite superior (C_{pk} -LS99%), C_{pm} , intervalos de confiança nível 95% do índice C_{pm} da forma limite inferior (C_{pm} -LI95%) e limite superior (C_{pm} -LS95%) e intervalos de confiança nível 99% do índice C_{pm} da forma limite inferior (C_{pm} -LI99%) e limite superior (C_{pm} -LS99%).

Os gráficos utilizados na análise de Taguchi são os: efeitos principais e efeitos das interações. A janela das opções gráficas, Fig. 6, mostra a escolha de até três opções, média, desvio padrão e razão sinal/ruído. Podendo ter a exibição apenas dos efeitos principais, Fig. 7, ou caso o usuário queira o gráfico de interação e tenha selecionado as interações de interesse na janela principal, obrigatoriamente, elas também serão exibidas sem nenhum comando adicional, Fig. 8. Os gráficos podem ser exportados de suas próprias janelas.

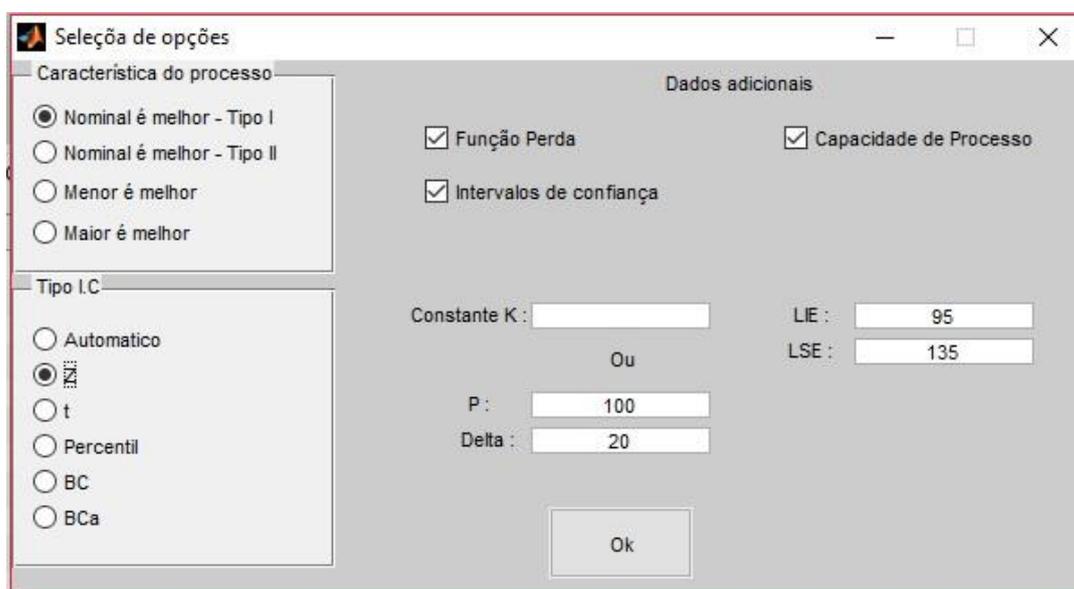


Figura 4. Janela de opções para escolha das características fundamentais na análise.

	Fator 1	Fator 2	e	Média	Variância	S/N	SN-LI95%	SN-LS95%	SN-LI99%	SN-LS99%
1	1	1	1	115	3.1667	36.2079	33.3241	44.3631	31.5303	44.3631
2	1	2	2	113	1	41.0616	36.2465	44.3242	36.2465	45.6278
	Função Perda	FP-LI95%	FP-LS95%	FP-LI99%	FP-LS99%	Cp	Cp-LI95%	Cp-LS95%	Cp-LI99%	Cp-LS99%
1	0.7917	0.4808	1.3809	0.3846	1.5385	3.7463	2.9532	5.2874	2.7931	7.0293
2	1.2500	0.7885	1.7308	0.6538	1.9158	6.6667	5.2662	10.2494	5.1247	14.5896
	Cpk	Cpk-LI95%	Cpk-LS95%	Cpk-LI99%	Cpk-LS99%	Cpm	Cpm -LI95%	Cpm -LS95%	Cpm -LI99%	Cpm -LS99%
1	3.7463	2.7180	4.8050	2.7115	5.1640	3.7463	2.9814	5.5635	2.8886	7.6285
2	6	4.5233	7.5580	4.5233	8.1680	2.9814	2.8165	3.1699	2.7912	3.2374

Figura 5. Exemplo de exibição de todos os resultados (imagem diferente da exibição do aplicativo).

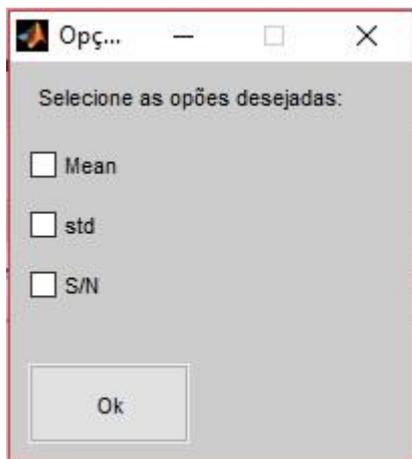


Figura 6. Janela seleção de opções gráficas.

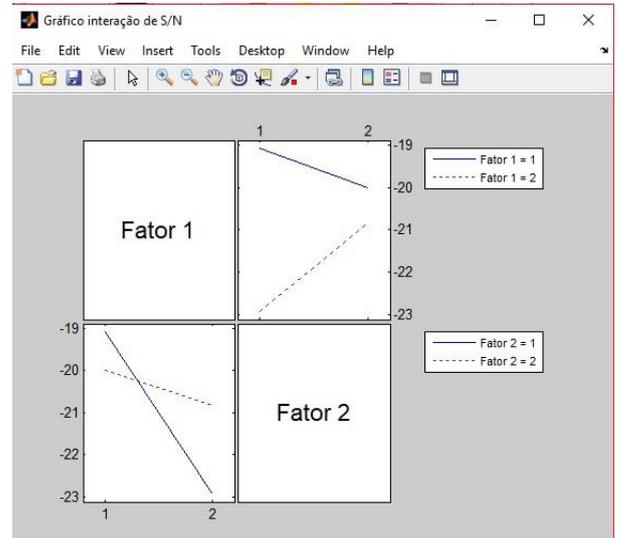


Figura 8. Gráfico das interações entre efeitos.

A aba “ANOM” e “ANOM – SN” apresenta os resultados da análise das médias, Fig. 9. Os resultados são gerados de maneira automática sem a necessidade selecionar essa análise. A aba apresenta o “Delta” que é a diferença entre o maior e menor valor entre os níveis e a respectiva classificação entre todos os fatores. Caso seja de interesse do usuário, as interações também serão exibidas na aba ANOM.

Matriz Experimento	Amostra	ANOM	ANOM - SN	ANOVA	ANOVA SN	Geral
		fator 1	fator 2	fator 3	fator 4	
nivel 1		248.1500	249.5000	244.9500	256.6750	
nivel 2		247.7000	246.3500	250.9000	239.1750	
Delta		0.4500	3.1500	5.9500	17.5000	
Classificação		4	3	2	1	

Figura 9. ANOM

É também possível realizar a ANOVA dos dados estudados, Fig. 11, permitindo a identificação dos fatores mais influentes no experimento. Pode ser realizado para os dados da amostra assim como para a razão sinal/ruído, Fig. 10. Os resultados são exibidos nas abas “ANOM” e “ANOM – SN” da janela principal.

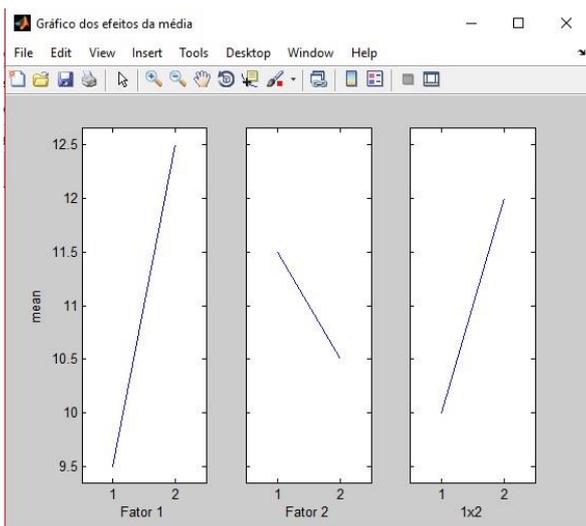


Figura 7. Gráfico dos efeitos principais.

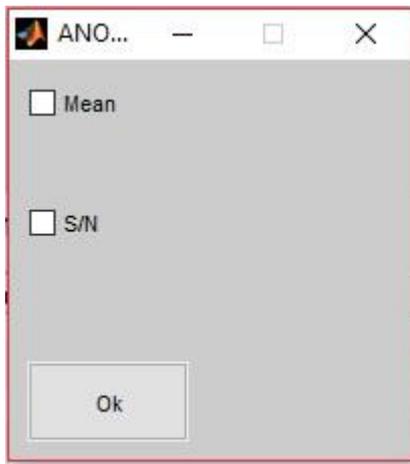


Figura 10. Janela de opção de análise da variância.

	1	2	3	4	5	6
1	Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
2	Fator 1	0.3973	1	0.3973	0.1851	0.6692
3	Fator 2	51.0289	1	51.0289	23.7794	1.5886e-05
4	Error	90.1290	42	2.1459		
5	Total	141.6444	44			

Figura 11. ANOVA.

Para que os resultados possam ser salvos e acessados posteriormente da melhor maneira possível, o aplicativo “Experimento Taguchi” permite a exportação das janelas selecionadas para um arquivo .xls, facilitando o compartilhamento e leitura dos dados, Fig. 12.

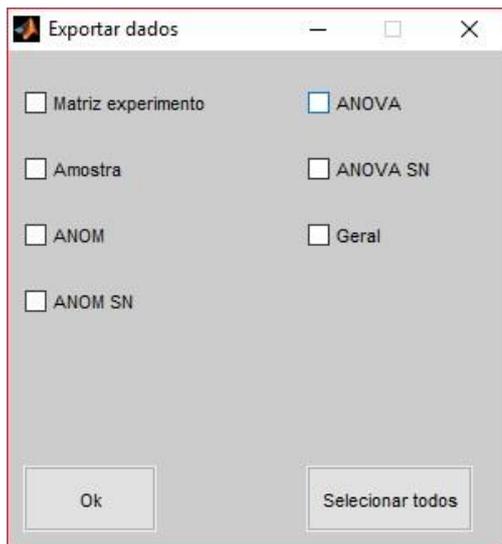


Figura 12. Janela de exportação dos dados.

Para qualquer dúvida do funcionamento do aplicativo, o usuário poderá acessar a aba “ajuda”, Fig. 13 e Fig. 14, e tirar todas as dúvidas sobre a teoria bem como o funcionamento do aplicativo.

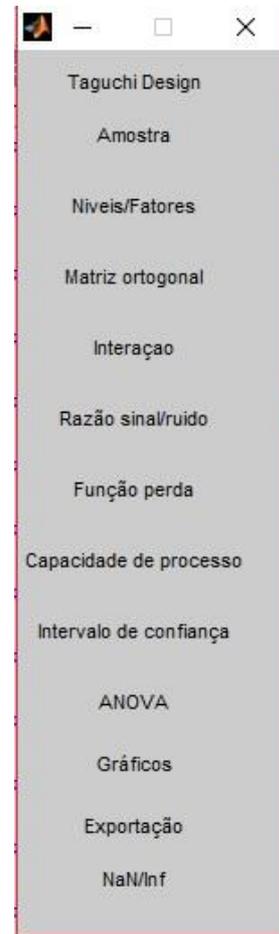


Figura 13. Menu ajuda do aplicativo.

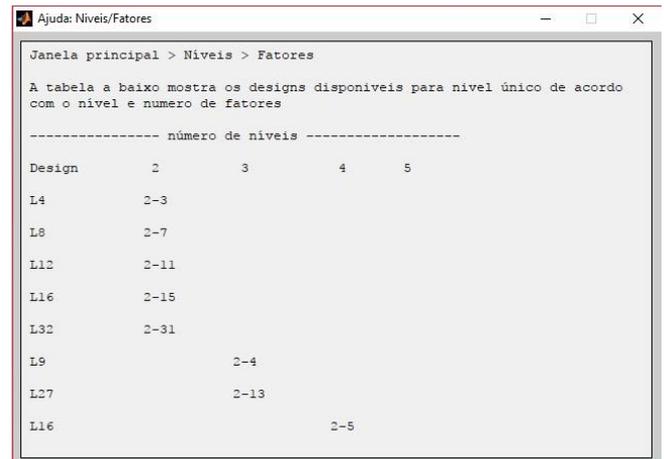


Figura 14. Exemplo da janela ajuda sobre um dos tópicos disponíveis.

IV. RESULTADOS

O aplicativo *Experimento Taguchi* foi testado com problemas da literatura [1, 2, 6, 7] e em comparação com outros programas similares, já existentes no mercado, ele apresentou respostas idênticas nas análises.

AGRADECIMENTOS

A todos os envolvidos direta ou indiretamente nesse trabalho e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- [1] Phadke M.S, Quality Engineering Using Robust Design, Prentice Hall, NJ, US, 1989.
- [2] C. M. Creveling, W. Y. Fowlkes, Engineering methods for robust product design. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
- [3] A. Chaves Neto, Técnicas estatísticas aplicadas a Engenharia de Qualidade. UFPR-PPGMNE, Curitiba, 2017.
- [4] G. Taguchi, Taguchi's quality engineering handbook / Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yuin Wu, 1924.
- [5] M. A. M. Marques, Estimação dos intervalos de confiança para a função perda de Taguchi, Razão Sinal Ruído e dos índices de capacidade potencial de processo, por meio de método de reamostragem. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná – Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Curitiba, 2015.
- [6] K. Krishnaiah, P. Shahabudeen, Applied design of experiments and taguchi methods, PHI Learning Private Limited, New Delhi, 2012.
- [7] Ross, P. J, Aplicações das técnicas Taguchi na engenharia de qualidade, São Paulo : Makron, McGraw-Hill, 1991.