

UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS COMPETITIVAS PARA ACEITAÇÃO DE COMPRESSORES EM LINHA DE MONTAGEM

Júlia Bertelli Duarte, juliabduarte@gmail.com
Marlipe Garcia Fagundes Neto, marlipeg@yahoo.com.br
Marcus Antonio Viana Duarte, mvduarte@mecanica.ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica
Avenida João Naves de Ávila, 2121 B1. 1M – Campus Santa Mônica – Uberlândia-MG – 38400-902

Resumo: Compressores rotativos são equipamentos largamente utilizados em instalações industriais, refrigeradores e sistemas de ar condicionado. Por outro lado, o mecanismo de geração de ruído destes compressores é bastante complexa, abrangendo quase todo o espectro audível. O controle de qualidade do produto, no que diz respeito à rumorosidade, ainda é subjetivo e depende da experiência de um operador. Neste trabalho, utilizou-se uma rede neural competitiva, treinada utilizando sintomas vibratórios, de forma a tirar a subjetividade do processo. Monta-se um conjunto de compressores com defeitos de fabricação, os quais são recusados pelos clientes no quesito ruído, e um conjunto de compressores que foram considerados bons pelo cliente final para testar a metodologia. Resultados mostram que a rede competitiva, quando bem treinada, considerando os dados medidos no ponto 1 (solda), pode ser utilizada com um sistema de controle de qualidade.

Palavras-chave: rede neural competitiva, compressores rotativos, controle de qualidade, vibração.

1. INTRODUÇÃO

Compressores são equipamentos largamente utilizados em instalações industriais, uma vez que servem para aumentar a pressão de um gás através de sua compressão, gerando o ar comprimido, por exemplo. Os compressores rotativos são compressores do tipo alternativos e volumétricos, ou seja, reduzem o volume de ocupação de gás para conseguir um aumento da pressão. São normalmente utilizados para aplicações que não necessitem de grande quantidade de fluxo, como ar condicionado e geladeiras.

De acordo com Crocker, 2007, o som gerado por compressores rotativos depende da frequência de rotação e seus múltiplos, do número de elementos rotativos, da capacidade de fluxo e outros fatores relacionados ao fluxo, sendo a principal gerada pela variação da pressão criada entre a sucção e a descarga do compressor. Já a ASHRAE, 2008, define como principais fontes de ruído de um compressor rotativo a turbulência interna, o impacto das válvulas, a fricção e o motor elétrico.

A indústria moderna tem como um dos principais desafios o estabelecimento de critérios confiáveis para o controle de qualidade de seus produtos e serviços. O ouvido humano apesar de ser uma ferramenta altamente sensível e largamente utilizada em controle de qualidade, é sensível a problemas emocionais e ambientais (ruídos de fundo), além de não resultar em valores mensuráveis, tanto solicitados e exigidos pelas normas atuais de padronização como pelas normas ISO(9000) e QS(9000).

O controle de qualidade atualmente usado nas indústrias tem-se deficiências e parâmetros subjetivos para se classificar e definir a qualidade do produto final, tendo como parâmetro a sensibilidade dos peritos para esta decisão.

Devido a sua popularidade atribuída ao fato de que tem sido aplicada com sucesso a uma grande variedade de problemas. As redes neurais competitivas que são um tipo de rede neural artificial, não supervisionada, são usadas para construir uma representação estatística compacta de um conjunto de dados de entrada não rotulados, ou seja, é capaz de reconhecer padrões e extrair características comuns e estatisticamente relevantes dos dados de entrada.

Assim, com auxílio destas ferramentas, deseja-se desenvolver procedimentos analítico-computacionais e experimentais para serem utilizados como ferramenta de apoio na quantificação e identificação das possíveis fontes de ruídos nos compressores. Para tanto, tem-se um banco de dados com sinais de vibração medidos em dois pontos distintos e de interesse nos compressores rotativos.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, procurou-se observar se existe alguma correlação entre a percepção subjetiva dos clientes ao ruído gerado pelos compressores e os Níveis de Potência Sonora (NWS) medidos na câmara semi-aneecóica. Caso isto fosse afirmativo, seria possível definir sintomas vibroacústicos objetivos para serem utilizados como critério “passa não-passa” na sala prova.

Para isto, selecionam-se dois lotes de compressores, sendo que em um deles foram introduzidos defeitos de fabricação, e que após a análise dos clientes finais foram divididos num lote composto de compressores considerados bons e um lote composto por compressores considerados ruins. De posse dos dois lotes, os níveis de potência sonoras dos mesmos foram medidos numa câmara semi-aneecóica, em conformidade com a ISO 3744 - Acoustics - Determination of Sound Power Levels of Noise Sources Using Sound Pressure - Engineering Method in an Essential Free Field over a Reflecting Plane.

2.1. Medição dos Níveis de Potência Sonora NWS

Os níveis de potência sonora NWS foram medidos em bandas de 1/3 de oitava centradas entre 100 a 10000 Hz. Os valores de NWS nas bandas de 1/3 de oitava, os valores globais em dBL, os valores globais em dBA e os valores médios de corrente elétrica, resultaram em 24 sintomas para serem comparados.

2.2. Estimativa das Médias e Desvios Padrões Amostrais

Medidos os sintomas dos compressores classificados como Bons e Ruins pelos clientes, foram estimados os valores médios, e respectivos desvios padrões, de cada sintoma dos dois grupos.

2.3. Critério de Chauvenet

O critério de Chauvenet é um critério de eliminação utilizado para eliminar valores que extrapolem a tendência dominante de uma amostra, garantindo que os resultados sigam uma distribuição Gaussiana. Para aplicar o critério, inicialmente, calculam-se a média das amostras e o desvio padrão do conjunto de dados. O desvio das amostras extremas (maior e menor) é comparado com o desvio padrão, conforme os valores da Tab. (1), para se eliminar os pontos duvidosos (caso necessário, repetir os cálculos para as amostras subsequentes). Para a apresentação dos dados finais, um novo valor médio e um novo desvio padrão deverão ser calculados, sem incluir as amostras eliminadas.

Tal critério teve resultado somente para o grupo considerado bom de compressores, e consistiram em eliminar do grupo os compressores para os quais vários valores de sintoma eram maiores do que a razão $d/s_{\text{crítico}}$. O critério foi utilizado somente para valores de d acima do valor médio amostral.

Tabela 1. Tabela de Chauvenet, onde n é o tamanho da amostra, d é o desvio padrão calculado e s crítico é o desvio padrão crítico de Chauvenet.

n	d / s crítico	n	d / s crítico
1	---	16	2,16
2	---	17	2,18
3	---	18	2,20
4	1,54	19	2,22
5	1,65	20	2,24
6	1,73	21	2,26
7	1,80	22	2,28
8	1,85	23	2,30
9	1,91	24	2,31
10	1,96	25	2,33
11	1,99	26	2,35
12	2,03	27	2,36
13	2,06	28	2,37
14	2,10	29	2,38
15	2,13	30	2,39

Fonte: http://www.anvisa.gov.br/reblas/cursos/qualidade6/apostila_estatistica.pdf

Para a comparação dos valores médios das duas populações (Compressores Bons e Compressores Ruins) realiza-se um teste de homocedasticidade para definir qual o teste de hipótese sobre igualdade de populações a ser utilizado.

Para testar a alternativa bilateral $H_0: \sigma_1 = \sigma_2$ e $H_1: \sigma_1 \neq \sigma_2$, utiliza-se do fato de que a estatística, mostrada pela Eq. (1), é distribuída como uma distribuição F, com n_1-1 e n_2-1 graus de liberdade, se a hipótese nula H_0 for verdadeira.

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (1)$$

Portanto, H_0 será rejeitada se a Eq. (2) for válida.

$$F_0 > F_{1-\alpha/2, n_1-1, n_2-1} \quad (2)$$

Ressalta-se que um nível de significância (α) de 5% é utilizado no teste de hipóteses.

2.4. Comparação de Médias Populacionais

Afim de definir se um sintoma vibro-acústico pode ser utilizado ou não na classificação dos compressores no quesito ruído, foi utilizado um teste para a diferença entre médias populacionais que corresponde a um teste de hipóteses com hipótese nula de $\mu_1 - \mu_2 = 0$.

Se a hipótese nula for válida, as variáveis t_{homo} e t_{hetero} , calculadas pelas Eq. (3) e Eq. (4), têm uma distribuição t-Student para $\mu_1 = \mu_2$.

$$t_{\text{homo}} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (3)$$

$$t_{\text{hetero}} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (4)$$

Onde:

n_1 e n_2 são os tamanhos das amostras 1 e 2, respectivamente; $\bar{X}_1$ e $\bar{X}_2$ são os valores médios amostrais; s_1 e s_2 são os valores dos desvios padrões amostrais; t_{homo} é utilizado para testes com amostras homocedásticas com n_1+n_2-2 graus de liberdade; e t_{hetero} é utilizado para testes com amostras heterocedásticas com g graus de liberdade.

$$g = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} \right)^2}{n_1 + 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{n_2 + 1}} - 2 \quad (5)$$

Após verificar se existe, ou não, correlação entre a percepção subjetiva do cliente e as NWS medidas em câmaras semi-anecoicas, adquiriu-se os sinais de vibração, em dois pontos distintos dos compressores, conforme Fig. (1). Consideraremos neste trabalho o ponto 1 como sendo a medição na solda e o ponto 2 como sendo a medição na tampa.



Figura 1. Pontos de medição da vibração nos compressores.

Os sintomas analisados neste trabalho foram:

- 16 sintomas para análise de harmônicos do motor elétrico;
- 25 sintomas para análise em bandas de 1/3 de oitava entre 40 e 12500 Hz;
- 18 sintomas para análise envelope;
- 17 sintomas para análise da média no domínio do tempo, utilizando sinal de aceleração;
- 16 sintomas para análise da média no domínio do tempo, utilizando sinal de velocidade;
- 13 sintomas para análise no domínio do tempo, utilizando sinal de aceleração;
- 13 sintomas para análise no domínio do tempo, utilizando sinal de velocidade.

O procedimento de análise de sinais consistiu de:

- Análise visual de gráficos boxplot com os sinais dos compressores bons e ruins para a definição inicial dos melhores sintomas vibroacústicos a serem utilizados como critério “passa-não-passa” no quesito rumorosidade. Vale ressaltar que ao analisar o gráfico do tipo boxplot, a caixa e a mediana dos sintomas dos compressores considerados bons devem se localizar preferencialmente abaixo da caixa dos compressores considerados ruins;
- Comparação, através de teste de hipótese nula e homocedasticidade, de médias dos conjuntos de dados para a escolha dos melhores parâmetros de vibração e ruído a serem utilizados como sintoma para os compressores rotativos.

2.5. Utilização de Redes Competitivas

De posse dos valores dos sintomas calculados, utiliza-se uma rotina em MATLAB® para a rede neural competitiva, em que os dados de entrada são os próprios sintomas. Após criar a rede via comando *newc* com dois neurônios na camada competitiva, a mesma deve ser treinada. Simulando a rede, avalia-se primeiro se os sintomas dos compressores bons são classificados como um grupo, e posteriormente o mesmo é realizado para os sintomas dos compressores ruins.

Para os sintomas em que a rede reconhece como um grupo de características determinantes é proposto uma análise das médias populacionais para então escolher os melhores parâmetros a serem utilizados como sintomas.

Finalmente, comparara-se os dois métodos de análise (análise de sinais e redes neurais) a fim de escolher o melhor ponto para medição e verificar a eficácia da rede na definição dos sintomas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação da correlação entre a percepção subjetiva do cliente e os valores NWS dos compressores.

Utilizando o critério de Chauvenet (apenas para os valores muito acima da média) para o conjunto de dados considerados bons pelos clientes, foram eliminados os dados de um compressor, resultando em dois conjuntos: os bons com onze dados e os ruins com quatorze dados.

Na Tab. (2) estão listados os 24 sintomas estudados e respectivas razões $F/F_{0,975,12,12}$ utilizados no teste de homocedasticidade.

Tabela 2. Teste de Homocedasticidade para os sintomas estudados

Sintoma	$F/F_{0,975,12,12}$	Sintoma	$F/F_{0,975,12,12}$
100 Hz	4,39	1600 Hz	2,48
125 Hz	2,16	2000 Hz	1,12
160 Hz	2,03	2500 Hz	2,14
200 Hz	2,68	3150 Hz	2,62
250 Hz	2,00	4000 Hz	1,48
315 Hz	1,22	5000 Hz	1,86
400 Hz	1,62	6300 Hz	1,99
500 Hz	6,71	8000 Hz	1,90
630 Hz	10,34	10000 Hz	0,46
800 Hz	2,78	dB	3,29
1000 Hz	1,19	dB	2,99
1250 Hz	0,96	Corrente	1,52

Da análise da Tab. (2), observa-se que, apenas para duas bandas de frequência (1250 e 10000 Hz), as amostras não são heterocedásticas, ou seja, a razão $F/F_{0,975,12,12} < 1$. Nas bandas de 500 e 630 Hz, observa-se uma grande diferença entre os desvios padrões estimados para a amostra dos compressores Bons ($s_{500} = 1,35$ e $s_{630} = 1,31$) e os estimados para os compressores Ruins ($s_{500} = 3,51$ e $s_{630} = 4,30$), uma vez que ambas as bandas apresentaram razões $F/F_{0,975,12,12}$ muito maiores do que um. Isto é um forte indício de falta de conformidade dos compressores Ruins.

Na Tab. (3) estão listados os 24 sintomas estudados e respectivas razões $t/t_{0,95,24}$ utilizados no teste para comparação de médias. Pode-se observar que as maiores diferenças entre as médias foram para as bandas de frequência centradas entre 315 e 500 Hz, e as bandas centradas em 800 e 6300 Hz. É interessante observar também, que o teste de hipóteses foi recusado para os valores globais dB e dBA, sendo que o último é um bom estimador da sensação auditiva do ouvido humano.

Somando-se os níveis de energia sonora nas bandas de 315 a 500 Hz, resultou num sintoma cujo valor $t/t_{0,95,24}$ é de 4,35, ou seja, é um excelente sintoma para avaliar a qualidade acústica dos compressores estudados.

Tabela 3. Comparação das Médias dos sintomas estudados

Sintoma	$t/t_{0,95,24}$	Sintoma	$t/t_{0,95,24}$
100 Hz	0,14	1600 Hz	1,75
125 Hz	0,81	2000 Hz	0,43
160 Hz	0,08	2500 Hz	1,22
200 Hz	0,21	3150 Hz	0,98
250 Hz	1,30	4000 Hz	2,08
315 Hz	2,23	5000 Hz	1,65
400 Hz	2,54	6300 Hz	2,15
500 Hz	2,51	8000 Hz	1,49
630 Hz	1,51	10000 Hz	0,70
800 Hz	2,56	Db	1,75
1000 Hz	0,24	dBA	1,62
1250 Hz	0,68	Corrente	0,48

3.2. Avaliação dos sintomas e do melhor ponto para colocação do acelerômetro

Na Tab. (4) estão listados os melhores sintomas analisados e respectivas razões $t/t_{0,95,n}$ utilizados no teste para comparação de médias, para o ponto 1. Todos os valores estão em dB (Referência 1).

Tabela 4. Comparação das médias dos melhores sintomas estudados para o ponto 1.

Sintoma	Descrição	$t/t_{0,95,n}$
Motor 2	Segundo conjunto de harmônicos de passagem das ranhuras do estator.	2,08
Motor 16	Oitavo conjunto de harmônicos de passagem das ranhuras do rotor	2,16
Envelope 12	Diferença entre máximo e mínimo do envelope filtrado acima de 6000 Hz	1,99
Envelope 14	Diferença entre máximo e mínimo do envelope filtrado acima de 8000 Hz	2,15
Envelope 16	Diferença entre máximo e mínimo do envelope filtrado acima de 10000 Hz	2,42
Envelope 17	Nível de energia do envelope filtrado acima de 12000 Hz	2,54
Envelope 18	Diferença entre máximo e mínimo do envelope filtrado acima de 12000 Hz	2,79
Tempo 3	Curtose	1,78
Tempo 4	Fator de Crista	1,68
Tempo 5	$K4 (10\log_{10}(\text{RMS}*\text{Curtose}))$	1,80

O melhor resultado para os sintomas de envelope, conforme tabela acima, é o sintoma Envelope 18. Na Fig. (2) está mostrado o diagrama boxplot para tal sintoma.

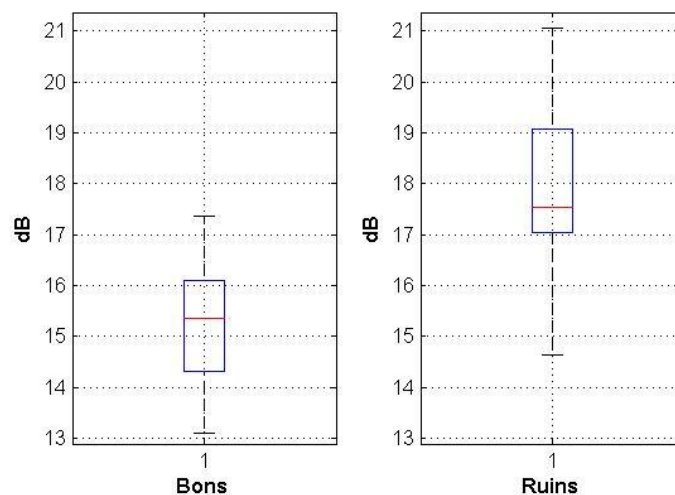


Figura 2. Diagrama boxplot para o sintoma Envelope 18.

Observa-se na Fig. (2) uma diferença de 2 dB entre as medianas, além de não existir valores fora do bigode, ou seja, não existe nenhuma cruz vermelha. Observa-se que o interquartil (caixa azul que mostra a variância da amostra) é mais estreito e estão distantes entre si, o que torna este sintoma muito bom para ser utilizado na montagem de uma máscara passa não passa.

Vale ressaltar que as medianas de alguns sintomas possuíam boa diferença no diagrama boxplot, porém, por possuírem valores fora do bigode, foram reprovados quando feita as comparações das médias amostrais.

Na Fig. (3) é mostrado o diagrama boxplot para o melhor sintoma calculado para os harmônicos superiores do motor, ou seja, o sintoma Motor 16.

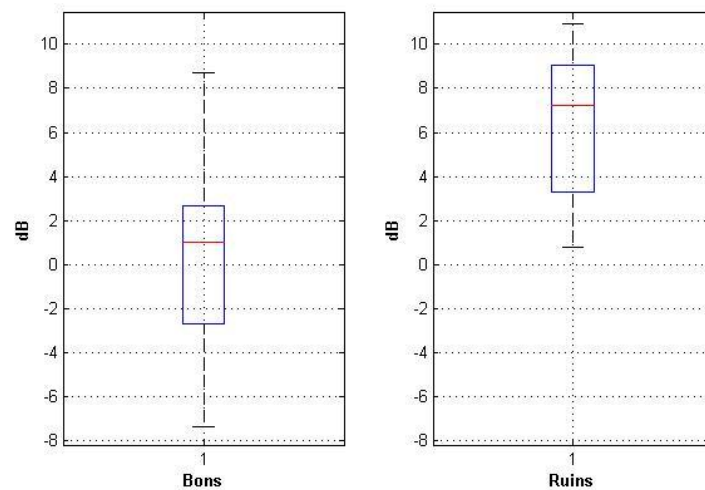


Figura 3. Diagrama boxplot para o sintoma Motor 17.

Ao analisar a figura, nota-se que a diferença das medianas é de 6 dB, sendo que o terceiro quartil do conjunto Bons não cruza com o primeiro quartil do conjunto Ruins, o que torna este sintoma excelente como critério “passa-não-passa”.

Na Fig. (3) é mostrado o diagrama boxplot para o melhor sintoma calculado para os sintomas no domínio do tempo, utilizando os sinais de aceleração, ou seja, Tempo 5.

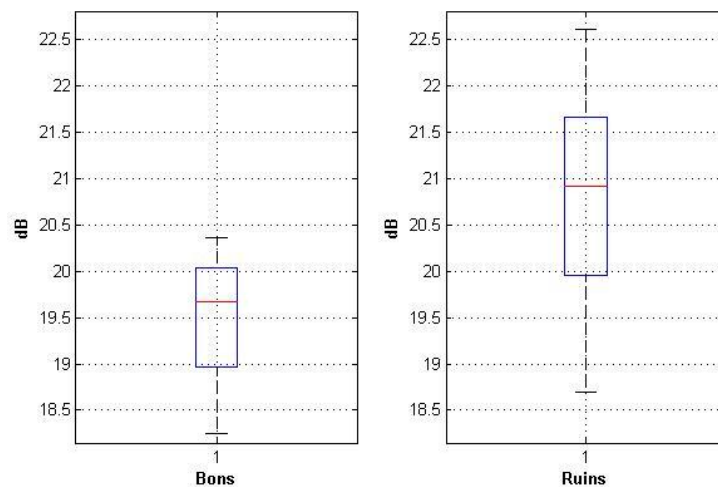


Figura 4. Diagrama boxplot para o sintoma Tempo 5.

Ao analisar a Fig. (4), percebe-se que a variação da mediana é muito pequena, da ordem de 1 dB. A diferença das médias é então explicada analisando o interquartil dos dados considerados bons, que possui pouca variação, da ordem de 1 dB.

Na Tab. (5) estão listados os melhores sintomas indicados pela rede neural, para o ponto 1.

Ao comparar as Tab. (4) e (5), nota-se que muitos sintomas foram identificados pelas duas técnicas. Isso mostra que a rede neural consegue detectar, para o ponto 1, os melhores sintomas a serem utilizados como critério “passa-não-passa”.

Tabela 5. Comparação das médias dos melhores sintomas selecionados pela rede para o ponto 1.

Sintoma	Descrição	$t/t_{0,95,n}$
Motor 2	Segundo conjunto de harmônicos de passagem das ranhuras do estator.	2,08
Motor 16	Oitavo conjunto de harmônicos de passagem das ranhuras do rotor	2,16
Envelope 10	Diferença entre máximo e mínimo do envelope filtrado acima de 4000 Hz	1,68
Envelope 14	Diferença entre máximo e mínimo do envelope filtrado acima de 8000 Hz	2,15
Envelope 16	Diferença entre máximo e mínimo do envelope filtrado acima de 10000 Hz	2,42
Envelope 17	Nível de energia do envelope filtrado acima de 12000 Hz	2,54
Envelope 18	Diferença entre máximo e mínimo do envelope filtrado acima de 12000 Hz	2,79
Tempo 3	Curtose	1,78
Tempo 5	$K4 (10\log_{10}(RMS * Curtose))$	1,80

Já na Tab. (6) estão listados os melhores sintomas analisados e respectivas razões $t/t_{0,95,n}$ utilizados no teste para comparação de médias, para o ponto 2.

Tabela 6. Comparação das médias dos melhores sintomas estudados para o ponto 2.

Sintoma	Descrição	$t/t_{0,95,n}$
Terço oitava 17	Filtro de 1/3 de oitava centrado em 2000 Hz	2,39
Terço oitava 18	Filtro de 1/3 de oitava centrado em 2500 Hz	1,43
TDA 5	TDA filtrado na banda de 1000 a 4000 Hz, do sinal de aceleração	1,95
TDA V 1	TDA filtrado abaixo de 40 Hz, do sinal de velocidade	2,09
TDA V 5	TDA filtrado na banda de 1000 a 4000 Hz, do sinal de velocidade	2,06
TDA V 6	TDA filtrado acima de 500 Hz, do sinal de velocidade	2,01

O melhor resultado, para o ponto 2, é o sintoma Terço Oitava 17. Na Fig. (5) está mostrado o diagrama boxplot para tal sintoma.

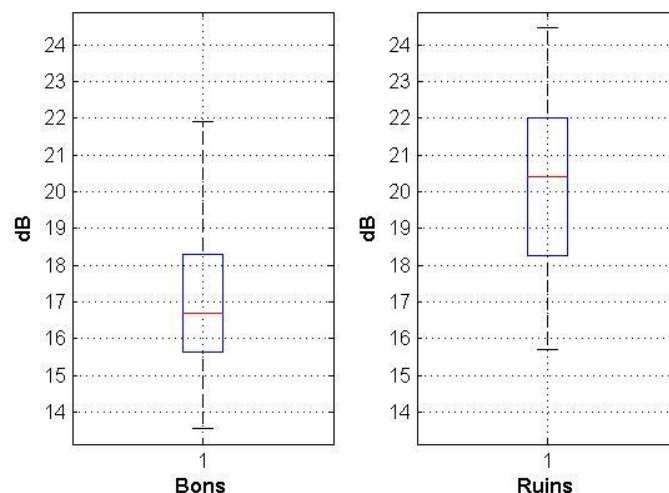


Figura 5. Diagrama boxplot para o sintoma Terço Oitava 17.

A diferença entre as medianas, observada na Fig. (5), é da ordem de 3 dB, que em conjunto com a não interseção do terceiro com o primeiro quartil torna este sintoma como um bom critério “passa não-passa”.

Em relação a rede competitiva, nota-se que os sintomas tendo como referência o ponto de medição 2 não são eficientes, pois a mesma seleciona todos os sintomas e não apenas os mais classificatórios.

Comparando os resultados, observa-se que o melhor ponto para realizar as medições e coletar dados é o ponto 1, na solda, uma vez que a rede neural foi eficiente e também devido ao ponto 1 ter uma maior quantidade de sintomas válidos para serem utilizados como sintomas de rumorosidade do compressor estudado.

4. CONCLUSÕES

As principais conclusões tiradas neste trabalho foram:

- Existe uma boa correlação entre a percepção subjetiva de ruído do cliente com os valores de NWS nas bandas de 315 a 500 Hz e de 800 a 6300 Hz.
- Os principais sintomas analisados para o ponto 1 de medição (próximo ao ponto de solda) foram: Motor 2, Motor 16, Envelope 12, Envelope 14, Envelope 16, Envelope 17, Envelope 18, Tempo 3, Tempo 4 e Tempo 5, com os valores de $t/t_{0,95,n}$ de 2,08; 2,16; 1,99; 2,15; 2,42; 2,54; 2,79; 1,78; 1,68 e 1,80, respectivamente.
- Os principais sintomas analisados para o ponto 2 de medição (tampa do compressor) foram: Terço oitava 17, Terço oitava 18, TDA 5, TDA V 1, TDA V 5, com os valores de $t/t_{0,95,n}$ de 2,39; 1,43; 1,95; 2,09 e 2,06, respectivamente.
- O ponto 1 é mais interessante para se obter as medições que o ponto 2, uma vez que possui maior número e variação de sintomas válidos, além de a rede neural competitiva ser mais eficiente neste ponto.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior), a CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a FEMEC (Faculdade de Engenharia Mecânica) da UFU (Universidade Federal de Uberlândia) pelo suporte financeiro. Como também a TECUMSEH por fornecerem os compressores.

6. REFERÊNCIAS

- ASHRAE Handbook, Chapter 37 – Compressor, 2008, HVAC Systems and Equipment (SI).
- Braun, S., 1986, “Mechanical Signature Analysis: theory and applications”, Academic Press, London.
- Barreto, R. A., 2003, “Definição de Parâmetros de Vibração e Ruído para Aceitação de Câmbios Automotivos em Linhas de Montagem”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 116p.
- Crocker, M. J., 2007, “Handbook of noise and Vibration Control”. John &Wiley Inc, New Jersey.
- Duarte, M. A. V., 2005, “Apostila de Análise de Sinais.”, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.
- Hines, W. W., Montgomery, D. C., Goldsman, D. M., Borror, C. M., 2006, “Probabilidade e Estatística na Engenharia.”, 4ª Ed., LTC Editora, Rio de Janeiro.
- ISO 3744 - Acoustics - Determination of Sound Power Levels of Noise Sources Using Sound Pressure - Engineering Method in an Essential Free Field over a Reflecting Plane.