

DEFINIÇÃO DE SINTOMAS PARA ENSAIOS DE MANOBRABILIDADE EM CÂMBIOS AUTOMOTIVOS

Meola, T.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
tatianameola@bol.com.br

Duarte, M. A. V.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mvduarte@mecanica.ufu.br

Nunes, M. A. A.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mariaalziranunes@yahoo.com.br

Resumo. *Um banco de manobrabilidade de câmbios é constituído de um sistema de acionamento e de uma alavanca de câmbio instrumentada de maneira a medir o esforço aplicado sobre a mesma e o percurso entre o desengate e o pós-engate das marchas. Num teste de manobrabilidade, o operador desengata uma marcha e engata a outra repetidamente com o sistema girando na rotação usual da manobra. O controle de qualidade de câmbios no que diz respeito à manobra consiste na comparação dos esforços médios medidos nas várias fases do ciclo de desengate e engate com valores padrões pré definidos. O grande inconveniente desse procedimento reside no fato de que o mesmo é altamente dependente do operador e, por conseguinte, impreciso e difícil de normalizar. Neste trabalho é estudada a utilização dos parâmetros de força, trabalho, impulso e respectivos desvios padrões com intuito de se determinar quais deles são menos sensíveis à mudança de operador e, ao mesmo tempo, quais são os melhores indicativos de problemas em manobrabilidade. Foram utilizados métodos estatísticos para realização do processo de seleção dos sintomas, podendo-se constatar que os parâmetros de impulso e de trabalho tiveram melhor preformance, principalmente nos engate, desengate e sincronização. Para o controle de qualidade fixaram-se os valores máximos dos sintomas eleitos, utilizando-se uma metodologia de manutenção preditiva para grandes grupos de máquinas. Posteriormente, realizaram-se ensaios de câmbios com defeitos induzidos para a validação da sistemática de análise proposta.*

Palavras-chave: manobrabilidade, câmbios, controle de qualidade.

1. INTRODUÇÃO

O banco de manobrabilidade é um sistema constituído de um motor, o qual gera a rotação transmitida para o câmbio, um volante de inércia, com o intuito de armazenar energia cinética, um cardã, que transmite o movimento para o câmbio, um sistema para o condicionamento dos vários tipos de câmbios testados, dois sensores de posição para a determinação do curso da alavanca de câmbio, um sensor de força tri-axial baseado em Strain - Gages, um encoder (roda dentada de 60 dentes) no primário para a leitura da rotação neste eixo. O zero do sistema é calibrado através do engate de todas as marchas no início de cada teste. Para cada ensaio realizado, são feitas dez repetições.

As curvas de rotação em função do Curso são utilizadas pelo operador para observar se a velocidade do engate está sendo feita de forma homogênea. Caso não esteja, o operador pode eliminar o ensaio mais tarde.

Na curva de carga em função do curso, mostrada de forma aberta na Fig. (1), existem seis regiões importantes que deverão ser demarcadas pelo operador para que um software dedicado possa determinar as cargas máximas, respectivamente, nas regiões denominadas: Início da Manobra (y_i); Ponto Neutro (y_0); Início da Sincronização (y_1); Término da Carga de Sincronização (y_2); Início do Duplo Engate (y_3); Fim do Duplo Engate (y_4); Interseção a 3 kgf (y_5); Fim da Manobra (y_6).

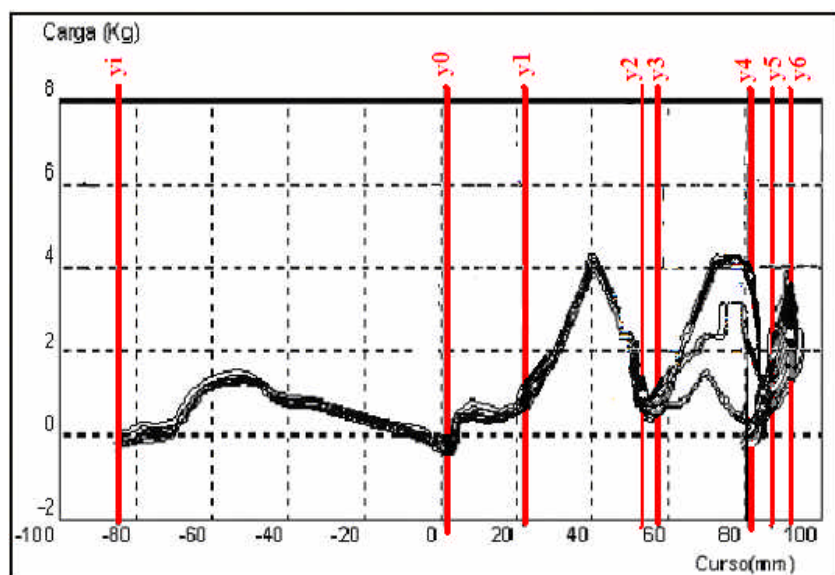


Figura 1. Diagrama Carga x curso para ensaio executado.

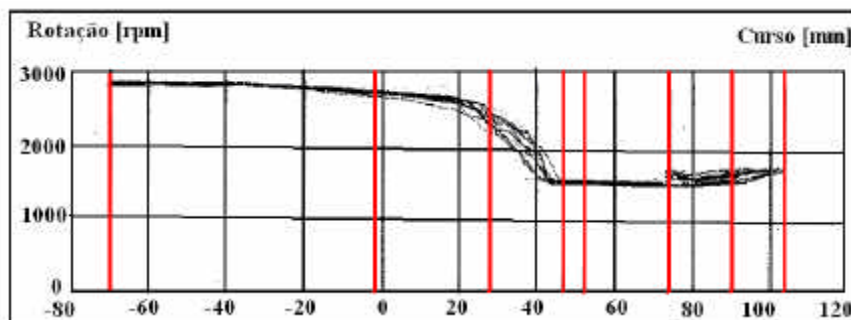


Figura 2. Diagrama rotação x curso para ensaio feito.

Os tempos de sincronização são utilizados para a verificação da ocorrência de impuntamento, ou seja, a impossibilidade ou a dificuldade de engrenamento. Tal fato é normalmente caracterizado por um aumento do tempo de sincronização do engate com relação aos valores médios de tempo de sincronização.

Valores altos de carga de duplo engate também são sintomas indicativos de problemas de impuntamento. Em nível de exemplo, a razão (carga média de sincronização)/(carga média de duplo engate) $> 1,2$ é o limite máximo aceitável como critério passa não-passa para os câmbios Fiat C – 514 em MINAFIORI na Itália. O valor de 1,2 foi determinado estatisticamente para o câmbio em questão.

Os valores médios da carga de sincronização são um indicativo do esforço necessário para a realização do engate. Valores médios altos de carga de sincronização implicam na reprovação do câmbio no teste de manobrabilidade. Para o C – 514, um valor médio de carga de sincronização de 9 kgf é o limite aceitável para a aprovação de um câmbio, para um tempo de sincronização de aproximadamente 0,2 segundos.

Todos estes valores limites dos sintomas de manobrabilidade apresentados, dizem respeito aos testes de engate da primeira, mudança da primeira para a segunda e mudança da segunda para a primeira (Duarte, 1999).

A definição de um sintoma de manobrabilidade envolve além das cargas atuantes, o tempo como uma variável importante. Para controle da mesma, recomenda-se que os ensaios sejam realizados sempre com o mesmo operador (Duarte, 1999), sendo os valores limites para os sintomas gerados pelo banco de prova dependentes do operador do banco prova.

A dificuldade em estender a análise para as operações de desengate/engate das marchas superiores, reside no fato de que os eixos secundários dos câmbios trabalham em rotações maiores, o que dificulta sobremaneira a repetibilidade das forças máximas medidas nas sete regiões da curva de manobrabilidade Fig. (1) (Humberte, Meola e Duarte, 2002).

Trabalhos experimentais realizados em MINAFIORI resultaram na curva “teórica” de carga de sincronização vs tempo, mostrada na Fig. (2), em volta da qual as cargas de sincronização deverão se concentrar para que um câmbio possa ser classificado como bom.

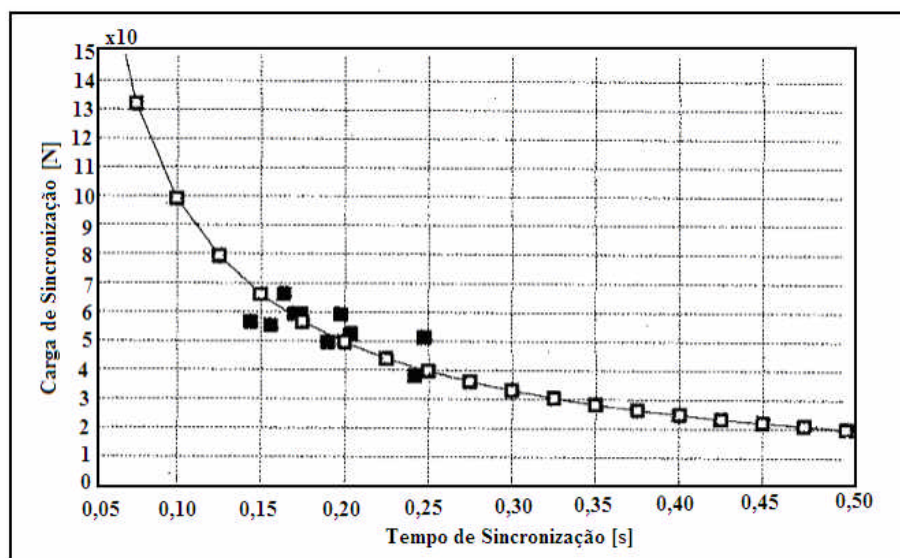


Figura 3. Curva “teórica” (— —) de carga de sincronização vs tempo de sincronização, em volta da qual devem estar concentradas as cargas de sincronização (□ □ □) para que um câmbio seja considerado bom.

Uma explicação para a curva “teórica” desenvolvida em MIRAFIORI pode ser obtida através da análise de um impulso aplicado sobre um sistema de um grau de liberdade, com as seguintes hipóteses simplificadoras:

1. A carga $f(t)$ é aplicada sobre o sistema durante todo o tempo de sincronização, podendo ser representada pela Eq. (1), onde T é o tempo de sincronização, F_0 é a amplitude (valor máximo) da carga de sincronização e t é o tempo.
2. O sistema de um grau de liberdade é super amortecido, devido ao efeito da mão do operador, sendo que a sua função de transferência $h(t)$ é dada pela Eq. (2), onde: α é o fator de decaimento do modelo de um grau de liberdade e A_0 é o fator de amplificação do modelo.
3. A velocidade na direção do engate na posição de ponto morto é nula.
4. O impulso I aplicado durante a sincronização só depende do câmbio e portanto é estatisticamente constante para um dado câmbio.

$$f(t) = F_0 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot t}{2 \cdot T}\right) \quad (1)$$

$$h(t) = A_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} \quad (2)$$

Com as hipóteses assumidas acima, o valor da velocidade v_f no final do tempo de sincronização pode ser calculado pela Eq. (3).

$$v_f = \frac{A_0 \cdot F_0}{\left[1 - \left(\frac{\pi}{2 \cdot T \cdot \alpha}\right)^2\right]} \cdot \left\{ \frac{4 \cdot T \cdot \alpha + 2}{2 \cdot T \cdot \alpha} + \frac{\pi}{2 \cdot T} \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) \cdot e^{-\alpha \cdot T} \right\} \quad (3)$$

Consequentemente, ao se colocar a amplitude da força de sincronização F_0 em função da velocidade final, obtém-se a Eq. (4).

$$F_0 = \frac{\left[1 - \left(\frac{\pi}{2 \cdot T \cdot \alpha}\right)^2\right]}{A_0} \cdot \left\{ \frac{4 \cdot T \cdot \alpha + 2}{2 \cdot T \cdot \alpha} + \frac{\pi}{2 \cdot T} \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) \cdot e^{-\alpha \cdot T} \right\}^{-1} \quad (4)$$

Pelo princípio do Impulso e da Quantidade do Movimento, tem-se que:

$$I = m \cdot v_f$$

Por conseguinte,

$$F_0 = m \cdot \frac{\left[1 - \left(\frac{\pi}{2 \cdot T \cdot \alpha}\right)^2\right]}{A_0} \cdot \left\{ \frac{4 \cdot T \cdot \alpha + 2}{2 \cdot T \cdot \alpha} + \frac{\pi}{2 \cdot T} \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) \cdot e^{-\alpha \cdot T} \right\}^{-1} \quad (5)$$

Na Figura (4) são mostradas a curva teórica de carga de sincronização vs. tempo de sincronização (—) e a curva de F_0 vs. Tempo de sincronização (—), onde os coeficientes m/A_0 e α da Eq. (5) foram ajustadas via mínimos quadrados, a partir dos valores da curva “teórica”.

A qualidade do ajuste, principalmente na região compreendida entre 0,15 a 0,30 s, onde encontra-se o maior número de dados experimentais, faz crer que a hipótese de impulso aproximadamente constante durante o período de sincronização é bastante válida e deve ser estudada. Uma análise similar pode ser realizada para o trabalho dispendido durante as várias fases da manobra de desengate/engate.

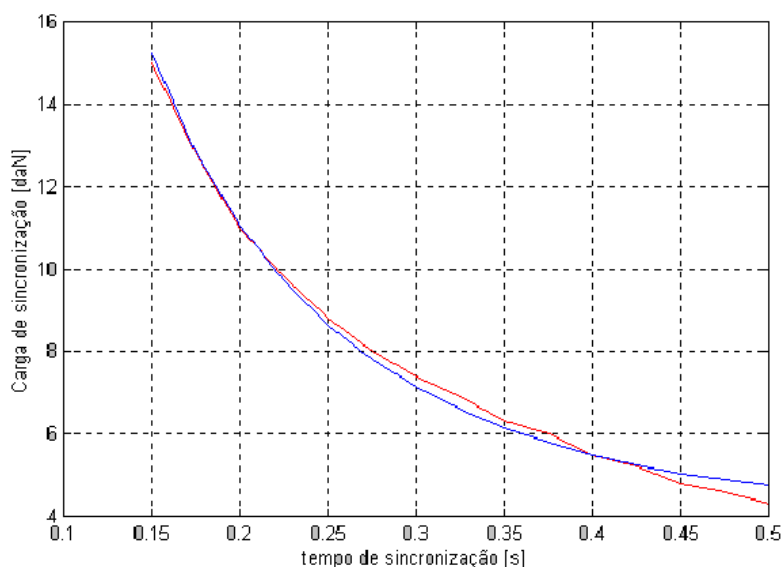


Figura 4. Curva teórica de carga de sincronização (azul) e curva de F_0 (vermelho) vs. tempo de sincronização.

2. METODOLOGIA

Foram realizados 233 testes de manobrabilidade executados por um operador e 201 por outro operador, utilizando-se câmbios considerados bons e câmbios com problemas de manobrabilidade (ruins). Desses testes, 57 são do engate de 1^a-2^a, 57 de 2^a-1^a, 30 de 2^a-3^a, 56 de 3^a-2^a, 59 de 3^a-4^a, 60 de 4^a-3^a, 59 de 4^a-5^a e 55 de 5^a-4^a.

Os ensaios desenvolvidos para os câmbios com problemas de manobrabilidade se deram num total de 3 testes cada engate, exceto para o de 4^a-5^a e de 5^a-4^a, em que aquele teve 2 testes e este apenas 1 realizado. As falhas referentes aos câmbios defeituosos são as seguintes: Falta de chanfro nas 3^a e 4^a marchas; As hastes das 3^a, 4^a e 5^a marchas têm erros dimensionais; A 4^a marcha não engata.

Os 26 parâmetros analisados nos testes foram 2 de tempo, 4 de força, 4 de impulso, 4 de trabalho, 4 de desvio padrão de força, 4 de desvio padrão de impulso e por fim, 4 de desvio padrão de trabalho. Esses quatro sintomas de cada grandeza física consiste de desengate, sincronização, engate e razão engate/sincronização. Destaca-se que os 1^o e 14^o parâmetros são sintomas de tempo e os demais, de quatro em quatro são, na ordem apresentada anteriormente, das demais grandezas. Os números para seus respectivos sintomas estão mostrados na Tab (1).

Primeiramente, desenvolveu-se um critério de repetibilidade para se determinar quais parâmetros são mais sensíveis à mudança de operador. Isso foi feito utilizando-se o teste de hipótese nula via comparação de médias, ou seja, os sintomas com razão $t_0/t\alpha < 1$ são os menos sensíveis e, portanto, os melhores indicadores de repetibilidade. O método utilizado foi o mesmo apresentado no relatório técnico “Determinação Estatística dos Limites para os Sintomas de Manobrabilidade dos Bancos

ASCONCEA.” (Humberto, R, et all, 2003,). Os parâmetros estão apresentados na Tab. (2), sendo os números são a representação dos mesmos, organizados para cada grandeza física. Tal seleção foi feita para uma repetição mínima de 50% dos parâmetros em todos os engates, ou seja, de oito engates, a repetência mínima do parâmetro deve ser de quatro. Ressalta-se também, que os sintomas de tempo não são inclusos nas análises devido ao fato de não se ter observado variação dos mesmos.

Tabela 1. Número dos sintomas de cada grandeza física

Nº	Sintoma	Nº	Sintoma
1	Tempo	14	Tempo
2	Desengate de força	15	Desengate de desvio padrão de força
3	Sincronização de força	16	Sincronização de desvio padrão de força
4	Engate de força	17	Engate de desvio padrão de força
5	Razão Engate/Sincron. de força	18	Razão Engate/Sincron. de desvio padrão de força
6	Desengate de impulso	19	Desengate de desvio padrão de impulso
7	Sincronização de impulso	20	Sincronização de desvio padrão de impulso
8	Engate de impulso	21	Engate de desvio padrão de impulso
9	Razão Engate/Sincron. de impulso	22	Razão Engate/Sincron. de desvio padrão de impulso
10	Desengate de trabalho	23	Desengate de desvio padrão de trabalho
11	Sincronização de trabalho	24	Sincronização de desvio padrão de trabalho
12	Engate de trabalho	25	Engate de desvio padrão de trabalho
13	Razão Engate/Sincron. de trabalho	26	Razão Engate/Sincron. de desvio padrão de trabalho

Tabela 2. Parâmetros com menor sensibilidade à mudança de operador.

Força	2
Impulso	-
Trabalho	10, 11
Desvio padrão dos Valores de Força	15, 18
Desvio padrão dos Valores de Impulso	21
Desvio padrão dos Valores de Trabalho	23, 24

Paralelamente, fez-se uma análise estatística utilizando-se média e desvio percentual dos valores dos sintomas para os câmbios considerados bons, dando-se primazia para os parâmetros com variação pequena em relação à média (desvio percentual máximo de 60%). Isso foi realizado para os testes dos dois operadores separadamente. Os parâmetros escolhidos por este critério tiveram uma repetição mínima de 88% em todos os engates, ou seja, de oito engates, a repetência mínima do parâmetro deve ser de sete. Posteriormente, selecionaram-se os sintomas que repetiram para os dois operadores, como mostrados na Tab. (3).

Tabela 3. Parâmetros com pequena variação dos valores em relação à média.

Força	2, 3
Impulso	6, 7
Trabalho	10, 11
Desvio padrão dos Valores de Força	17
Desvio padrão dos Valores de Impulso	-
Desvio padrão dos Valores de Trabalho	24, 25

Tomando-se os testes realizados para os câmbios com falhas de manobrabilidade, como outro critério de seleção, escolheram-se os parâmetros com valores significativamente superiores aos das médias dos câmbios bons, e que tiveram repetição para ambos os operadores. Isso foi feito para os parâmetros com uma repetição mínima de 60% (de cinco engates, a repetência mínima do parâmetro deve ser de três) nos engates 3^a-2^a, 3^a-4^a, 4^a-3^a, 4^a-5^a e 5^a-4^a, uma vez que os defeitos estão nas marchas 3^a, 4^a e 5^a. Tais sintomas estão mostrados na Tab. (4).

Tabela 4. Parâmetros com valores dos sintomas dos câmbios ruins consideravelmente maiores do que os valores das médias dos câmbios bons.

Força	2, 3, 4
Impulso	6, 7, 8
Trabalho	10, 11, 12
Desvio padrão dos Valores de Força	15, 16, 17
Desvio padrão dos Valores de Impulso	19, 20, 21
Desvio padrão dos Valores de Trabalho	23, 24, 25

Por fim, fizeram-se os gráficos boxplot dos valores coletados pelos dois operadores para ambos os tipos de câmbios, comparando-os.

Para montar o critério de seleção dos sintomas via boxplot, o segundo quartil dos sintomas dos câmbios ruins devem estar acima da mediana dos câmbios bons. Isso foi feito para os parâmetros com uma repetição mínima de 75% (de quatro engates, a repetência mínima do parâmetro deve ser de três) nos engates 3^a-2^a, 3^a-4^a, 4^a-3^a e 4^a-5^a, uma vez que os defeitos estão nas marchas 3^a, 4^a e 5^a e o engate de 5^a para 4^a marcha não tiveram dados suficientes para serem analisados. A Tab. (5) apresenta os sintomas selecionados.

Tabela 5. Parâmetros eleitos pelo critério geral dos gráficos boxplot.

Força	2, 3, 4, 5
Impulso	5, 6, 8
Trabalho	10, 12
Desvio padrão dos Valores de Força	-
Desvio padrão dos Valores de Impulso	19
Desvio padrão dos Valores de Trabalho	23

Finalmente, para se chegar em um resultado coerente dos dados analisados, desenvolveu-se um critério para selecionar os parâmetros que além de terem repetibilidade, serem sensíveis à falhas de manobrabilidade. Isso para se poder realizar posterior análise via gráficos boxplot, seguindo as seguintes regras:

- ⇒ A mediana dos sintomas dos câmbios ruins deve estar acima da mediana dos sintomas dos câmbios bons
- ⇒ O primeiro quartil dos sintomas de câmbios ruins deve estar próximo à mediana, visando minimizar a probabilidade de um câmbio com problema de manobrabilidade ser aprovado.
- ⇒ O terceiro quartil dos sintomas dos câmbios bons deve estar próximo da mediana, de forma a evitar que um câmbio bom no critério manobrabilidade seja recusado no banco de prova.

A Tabela (6) apresenta os parâmetros selecionados segundo os quatro critérios mencionados anteriormente, lembrando que os sintomas escolhidos tiveram uma repetição mínima de 50% (de quatro

critérios, a repetência mínima do parâmetro deve ser para dois critérios).

Tabela 6. Parâmetros representativos de repetibilidade quanto à troca de operador e sensibilidade em relação aos defeitos.

Força	2,3,4
Impulso	6,7,8
Trabalho	10,11,12
Desvio padrão dos Valores de Força	15,17
Desvio padrão dos Valores de Impulso	19,21
Desvio padrão dos Valores de Trabalho	23,24,25

3. RESULTADOS

Foram feitas análises via gráficos boxplot para se ter uma melhor exposição do comportamento dos 16 parâmetros em relação às falhas nas 3^a, 4^a e 5^a marchas. Vale destacar que não se realizaram os gráficos para o engate de 5^a para 4^a devido à escassez de dados e de 1^a-2^a e de 2^a-1^a devido ao fato de não haver 1^a e 2^a marchas com problemas de manobrabilidade.

Na Figura (5) é apresentado um desses gráficos boxplot, representando os valores dos desvios padrões de impulso para o engate 3^a – 2^a. Nota-se que ambos os parâmetros, desengate (19) e engate (21), têm valores de medianas dos câmbios defeituosos superiores aos valores das medianas dos câmbios bons, sendo de aproximadamente 3dB para o desengate e 4dB para o engate. É de se verificar que tanto o sintoma 19 como o 21 dos dois tipos de câmbios possuem 50% dos eventos distantes do 1o quartil.

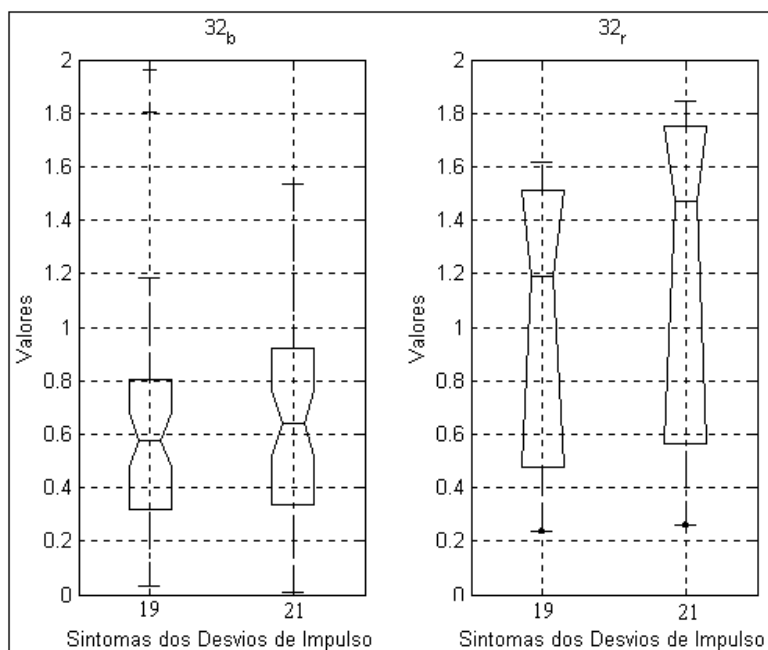


Figura 5. Gráficos Boxplot dos valores dos desvios padrões do impulso para o engate 3^a – 2^a dos câmbios bons e ruins.

De acordo análises dos gráficos boxplot, os melhores sintomas indicativos de falhas de manobrabilidade e menos sensíveis à mudança de operador são o desengate para todas as grandezas

físicas e o engate para o impulso desvios padrões de força e de impulso. Tais parâmetros são nitidamente destacados na Tab. (6).

Tabela 6. Melhores parâmetros indicativos de repetibilidade e falhas de manobrabilidade em câmbios.

Força	2,3,
Impulso	6,8
Trabalho	10
Desvio padrão dos Valores de Força	17
Desvio padrão dos Valores de Impulso	19,21
Desvio padrão dos Valores de Trabalho	23

Segundo a Tab. (6), o impulso e seus desvios são as grandezas físicas que mais estão relacionadas com as anomalias de manobrabilidade.

4.CONCLUSÃO

Por meio dos critérios de seleção apresentados, pôde-se inferir que os parâmetros de desengate e engate tiveram maior destaque na indicação de problemas de manobrabilidade e insensibilidade perante a troca de operador.

Com relação às grandezas físicas, conclui-se que o impulso e seus respectivos desvios padrões puderam ser considerados como sintomas de manobrabilidade. Por outro lado, as grandezas relacionadas com o trabalho não apresentaram os resultados esperados.

5. AGRADECIMENTOS

- FA –Powertrain
- Cnpq

6. REFERÊNCIAS

- Braun, S. and Lenz, E., 1986, “Mechanical Signature Analyses, Academic Press”, London.
- Bendat, J.S. and Piersol, A.G., 1986, Random Data Analysis and Measurements Procedure, Interciencia, 1986.
- Diamont, William J.(1989), Practical Experiment Designs for Engineers and Scientists, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Duarte, M.A.V.,1999, Estudo da Máquina de Testes de Manobrabilidade ASCONCEA, Relatório Técnico FIASA, Betim, 48 pg.
- Humberto, R., Meola, T. e Duarte, M.A.V., 2003, Determinação Estatística dos Limites para os Sintomas de Manobrabilidade dos Bancos ASCONCEA. Relatório Técnico FA-Powertrain, Betim, 98 pg.
- Nepomuceno, L.X., 1989, Técnicas de Manutenção Preditiva, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo.

SYMPTOMS' DEFINITION TO MANEUVERABILITY TESTS IN AUTOMOTIVE GEARBOX

Meola, T.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
tatianameola@bol.com.br

Duarte, M. A. V.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mvduarte@mecanica.ufu.br

Nunes, M. A. A.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mariaalziranunes@yahoo.com.br

Abstract. *A bank of maneuverability of exchanges is constituted of a system of drive and a handspike of exchange instrumented in way to measure the effort applied on same and the passage between the trip and the after-hook of the marches. In a maneuverability test, the operator unlimbers a march and hooks repetidamente to another one with the system turning in the usual rotation of the maneuver. The quality control of exchanges in that it says respect to the maneuver consists of the comparison of the average efforts measured in the some phases of the cycle of trip and hook with values definite standards daily pay. The great inconvenience of this procedure inhabits in the fact of that the same it is highly dependent of the operator and, therefore, inexact and difficult to normalize. In this work the use of the force parameters, work, impulse and respective shunting lines standards are studied with intention of if determining which of them are less sensible to the operator and, at the same time, which are the best indicative of maneuverability. Statistical methods for accomplishment of the process of election of the symptoms had been used, being able themselves to evidence mainly that the parameters of impulse and work had had preformance better, in the hook, trip and synchronization. For the quality control the maximum values of the elect symptoms had been fixed, using a methodology of preditiva maintenance for great groups of machines. Later, assays of exchanges with induced defects for the validation of the analysis systematics had been become fullfilled proposal.*

Word-key: *maneuverability, exchanges, quality control.*