

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO - TIMON 2.5

Laboratório de Robótica e Sistemas Autônomos - RoSA

Jéssica Lima Motta

Leonardo Mendes de Souza Lima

Miguel Felipe Nery Vieira

Vinícius José Gomes de Araujo Felismino

Introdução

Este documento tem como objetivo analisar o sistema de medição de dados coletados durante os testes realizados na etapa de corrida de revezamento do desafio 2.5C, utilizando o método de análise de variância (ANOVA).

Coleta dos Dados

Foram realizados 3 testes consecutivos em 4 máquinas diferentes, exibidas na Tabela 1.

Tabela 1: Máquina utilizadas por operador

| | Máquina 1 | Máquina 2 | Máquina 3 | Máquina 4 |
|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|
| Nome | Jéssica | Leonardo | Miguel | Vinícius |
| Processador | i7-950H | FX 6300 | i7-4790 | i7-8550U |
| Memória | 8 GB RAM | 4 GB RAM | 16 GB RAM | 8 GB RAM |
| GPU | GTX 1660 Ti | GTX 750 Ti | GT 730 | GeF MX150 |

Cada operador tornou-se responsável em registrar o tempo que cada robô Darwin-OP levava para realizar o seu percurso na corrida de revezamento. Os dados medidos encontram-se exibidos na Tabela 2.

Tabela 2: Dados Medidos por Operadores

| Máquina | Robô | Teste | Tempo (s) | Máquina | Robô | Teste | Tempo (s) |
|---------|------|-------|-----------|---------|------|-------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 62.210 | 3 | 1 | 1 | 66.589 |
| 1 | 1 | 2 | 67.055 | 3 | 1 | 2 | 67.673 |
| 1 | 1 | 3 | 65.496 | 3 | 1 | 3 | 66.132 |
| 1 | 2 | 1 | 68.529 | 3 | 2 | 1 | 68.500 |
| 1 | 2 | 2 | 64.352 | 3 | 2 | 2 | 63.283 |
| 1 | 2 | 3 | 67.405 | 3 | 2 | 3 | 68.312 |
| 1 | 3 | 1 | 68.063 | 3 | 3 | 1 | 64.767 |
| 1 | 3 | 2 | 69.005 | 3 | 3 | 2 | 69.628 |
| 1 | 3 | 3 | 64.155 | 3 | 3 | 3 | 63.055 |
| 1 | 4 | 1 | 66.685 | 3 | 4 | 1 | 66.536 |
| 1 | 4 | 2 | 65.966 | 3 | 4 | 2 | 66.139 |
| 1 | 4 | 3 | 67.553 | 3 | 4 | 3 | 68.835 |
| 2 | 1 | 1 | 66.311 | 4 | 1 | 1 | 62.480 |
| 2 | 1 | 2 | 67.995 | 4 | 1 | 2 | 65.503 |
| 2 | 1 | 3 | 65.864 | 4 | 1 | 3 | 64.498 |
| 2 | 2 | 1 | 67.928 | 4 | 2 | 1 | 69.168 |
| 2 | 2 | 2 | 62.444 | 4 | 2 | 2 | 63.142 |
| 2 | 2 | 3 | 66.577 | 4 | 2 | 3 | 67.336 |
| 2 | 3 | 1 | 65.796 | 4 | 3 | 1 | 65.806 |
| 2 | 3 | 2 | 68.764 | 4 | 3 | 2 | 68.634 |
| 2 | 3 | 3 | 66.984 | 4 | 3 | 3 | 62.443 |
| 2 | 4 | 1 | 66.772 | 4 | 4 | 1 | 67.633 |
| 2 | 4 | 2 | 64.137 | 4 | 4 | 2 | 65.668 |
| 2 | 4 | 3 | 68.172 | 4 | 4 | 3 | 67.806 |

Para avaliar a precisão do sistema de medição foi realizado um estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R) do sistema. Esse estudo compara a variação do sistema de medição com a variação total do processo. Se a variação do sistema de medição for grande em relação à variação das peças, o sistema provavelmente não proverá informações úteis e consequentemente não poderá fazer a distinção correta entre as mesmas.

Interpretação dos resultados obtidos

Para o cálculo dos componentes de variância é utilizado o procedimento ANOVA. A Tabela 3 exibe os graus de liberdade (Df), soma dos quadrados (Sum Sq), média dos quadrados (Mean Sq), valor da distribuição F, e o P-valor para cada uma das fontes.

Tabela 3: ANOVA com Dois Fatores com Interação

| | Df | Sum Sq | Mean SQ | F value | Pr(>F) |
|----------------|----|--------|---------|---------|----------|
| Robô | 3 | 137.67 | 45.89 | 37.216 | 2.12e-05 |
| Máquina | 3 | 4.31 | 1.44 | 1.165 | 0.376 |
| Robô:Máquina | 9 | 11.10 | 1.23 | 0.963 | 0.487 |
| Repetibilidade | 32 | 40.95 | 1.28 | | |
| Total | 47 | 194.02 | | | |

Caso o P-valor seja maior do que 0.05, o termo será considerado estatisticamente irrelevante. Desta forma, como o P-valor de Robô:Máquina é igual a 0.487, é gerada a Tabela 4 desconsiderando a interação. O elevado p-valor de Máquina (0.348) indica que essa fonte do sistema não é estatisticamente significativa e portanto pode ser desconsiderada caso haja o interesse em reduzir a variabilidade do sistema de medição (COMO..., 2020). Pode-se verificar também a quantidade de graus de liberdade disponível para estimar a repetibilidade do medidor, sendo recomendado um valor que esteja de 30 a 45 e no nosso caso igual a 41.

Tabela 4: ANOVA com Dois Fatores sem Interação

| | Df | Sum Sq | Mean | F Value | Pr>F |
|----------------|----|--------|-------|---------|-----------|
| Robô | 3 | 137.67 | 45.89 | 36.147 | 1.37 e-11 |
| Máquina | 3 | 4.31 | 1.44 | 1.131 | 0.348 |
| Repetibilidade | 41 | 52.05 | 1.27 | | |
| Total | 47 | 194.02 | | | |

Na tabela 5, chamada Gage R&R, temos a coluna de componentes da variância (Varcomp) e a coluna que representa o percentual de contribuição da variância do respectivo componente (%Contrib). Nota-se que a soma da repetibilidade com a reprodutibilidade corresponde a um total de 25.66% de variabilidade do sistema e isso permite concluir que o sistema de medição pode está comprometido, uma vez que, este percentual deveria ser muito pequeno. O %Contrib peça a peça é de 74.34% e é responsável pela maior parte da variabilidade do sistema, quanto maior esse valor mais facilmente o sistema conseguiria distinguir as peças.

A %Contrib é baseada nas estimativas dos componentes da variância. Cada valor em Varcomp é dividido pela variação total e depois multiplicado por 100 (ESTUDOS..., 2020).

Tabela 5: Gage R&R

| | Varcomp | %Contrib |
|--------------------|------------|----------|
| Total Gage R&R | 1.28339665 | 25.66 |
| —Repetibilidade | 1.26949803 | 25.38 |
| —Reprodutibilidade | 0.01389862 | 0.28 |
| —Máquina | 0.01389862 | 0.28 |
| Peça a Peça | 3.71826828 | 74.34 |
| Variação Total | 5.00166493 | 100 |

A tabela 6 nos fornece a referência final para aprovar ou rejeitar o sistema de medição. Esta tabela informa os valores calculados para as fontes de variação, desvios padrão e variáveis do estudo. Para encontrar os valores que estão na coluna variável do estudo, seguimos a recomendação da *Automotive Industry Action Group* (AIAG): multiplicamos o valor do desvio padrão por 6 em uma distribuição normal, já que dentro de 6 desvios padrão estão cerca de 99,73% dos dados (ESTUDOS... , 2020). Por fim, a coluna %Var do estudo divide a variável do estudo pela variação total para descobrir quanto da variação do sistema de medição representa da variação total do sistema. Abaixo da tabela, o número de categorias distintas informa quantas categorias diferentes o sistema de medição foi capaz de discriminar de acordo com as variações apresentadas.

Tabela 6: Avaliação das medições

| | Desvio padrão | Var do estudo | %Var do estudo |
|--------------------|---------------|---------------|----------------|
| Total Gage R&R | 1.1328710 | 6.7972259 | 50.66 |
| —Repetibilidade | 1.1267200 | 6.7603202 | 50.38 |
| —Reprodutibilidade | 0.1178924 | 0.7073545 | 5.27 |
| —Máquina | 0.1178924 | 0.7073545 | 5.27 |
| Peça a Peça | 1.9282812 | 11.5696870 | 86.22 |
| Variação Total | 2.2364402 | 13.4186414 | 100 |

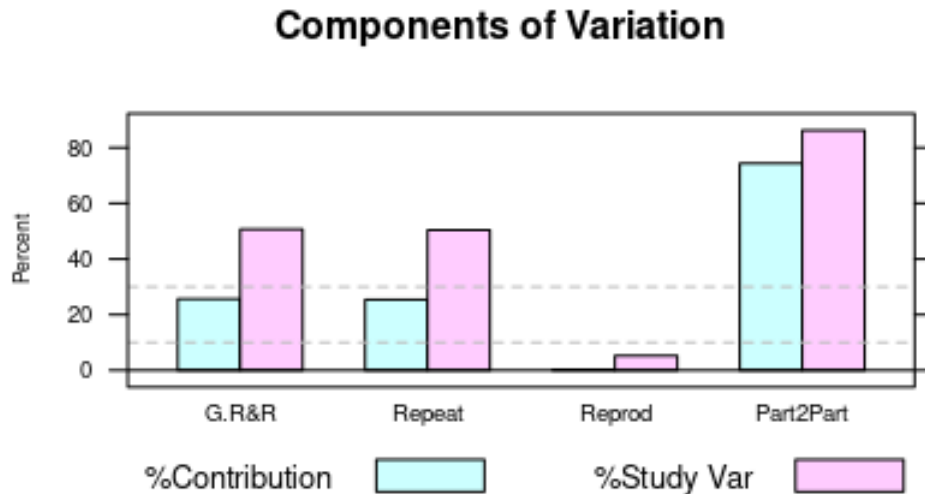
Número de categorias distintas - 2

Para que o sistema de medição seja considerado aceitável, é esperado que o mesmo possua valor menor que 10% em seu Gage R&R. O sistema de medição analisado neste documento está acima de 50% em seu Gage R&R total, logo, é classificado como inaceitável e deve ser melhorado. É recomendado pela AIAG que o numero de categorias distintas seja maior ou igual a 5 para uma ideal diferenciação. O valor calculado de 2, é considerado insuficiente.

A Figura 1 representa o gráfico dos componentes da variação onde cada agrupamento de barras representa uma origem de variação. A altura das barras, representa percentualmente, o quanto cada componente é responsável. As barras azuis representam o percentual de contribuição para a variação geral e as rosas a contribuição para a variação no estudo.

Em um bom sistema de medição, a maior parte de variação está em *Part-to-Part*(Peça a Peça). No nosso caso, há uma grande variação atribuída ao percentual do sistema de medição (G.R&R) e por isso será necessário corrigir o sistema de medição.

Figura 1: Componentes da variação



Já na figura 2 podemos verificar a amplitude da amostra por operador. Observe que segundo a tabela 1 temos quatro operadores diferentes e é exatamente isto que encontra-se disposto aqui. Cada ponto representa a diferença entre a maior e a menor leitura observada para cada uma das três medições realizadas em cada robô. Embora haja um certo padrão comportamental entre os quatro gráficos, valores muito distantes como o do robô 1 no operador 2 indicam a existência de dificuldades nesta medição.

Figura 2: Amplitude da Amostra por Máquina

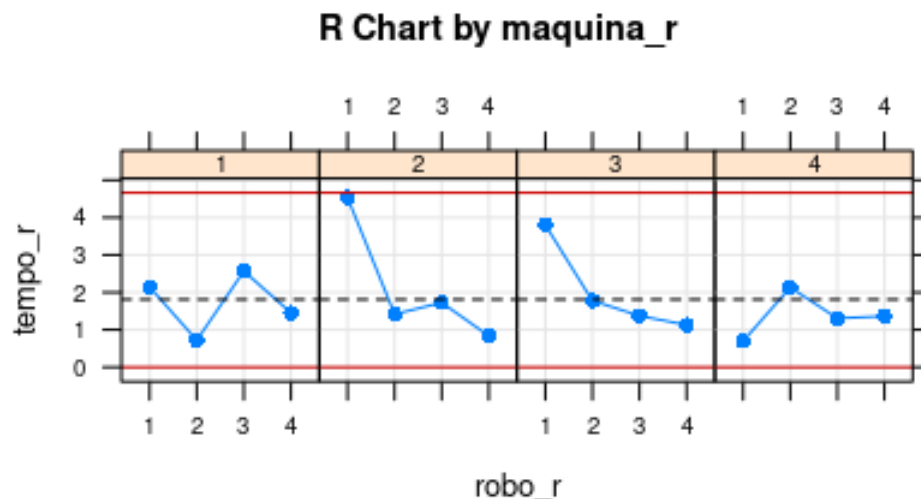
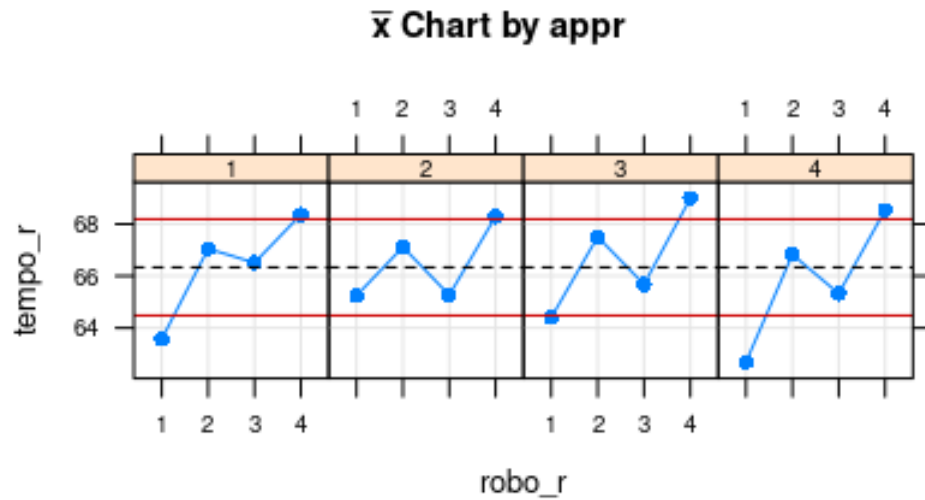


Figura 3: Média da amostra por máquina



Na Figura 3 é plotada a média das medições com o mesmo intuito do gráfico exibido na Figura 2. Mas neste caso a média é utilizada. Neste gráfico estão exibidas as médias do tempo para cada robô. Podemos observar que há um comportamento similar entre as máquinas 2 e 3, porém as máquinas 1 e 4 exibem médias diferentes do que se esperava para o sistema.

Na seção *tempo_r by robo_r* exibida na figura 4 encontram-se distribuídas em torno do ponto central (média) as leituras efetuadas para cada robô, sendo traçada uma reta ligando estas médias. Pode-se notar que existem alguns pontos distantes do ponto central, o que pode significar um erro de medição, uma medição ruim ou errada.

Figura 4: Tempo por Robô

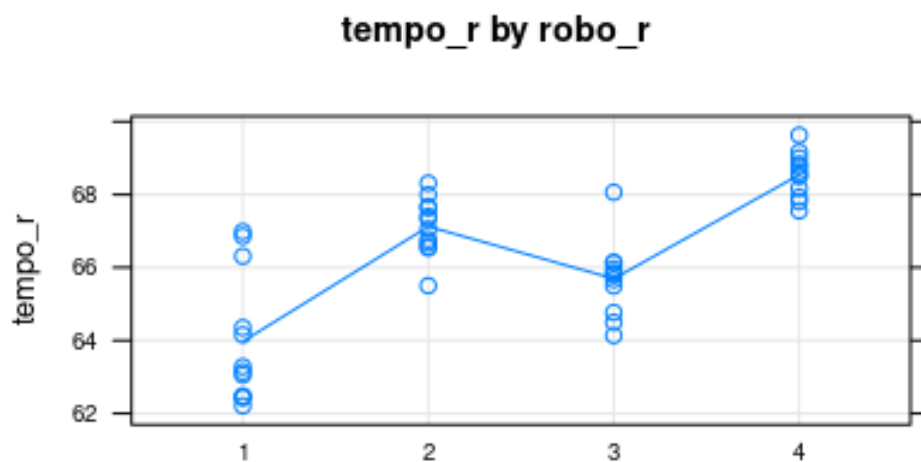
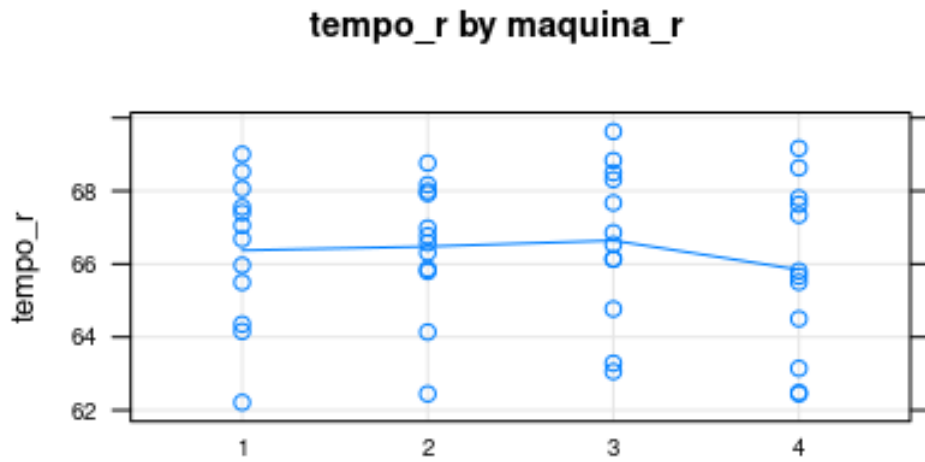
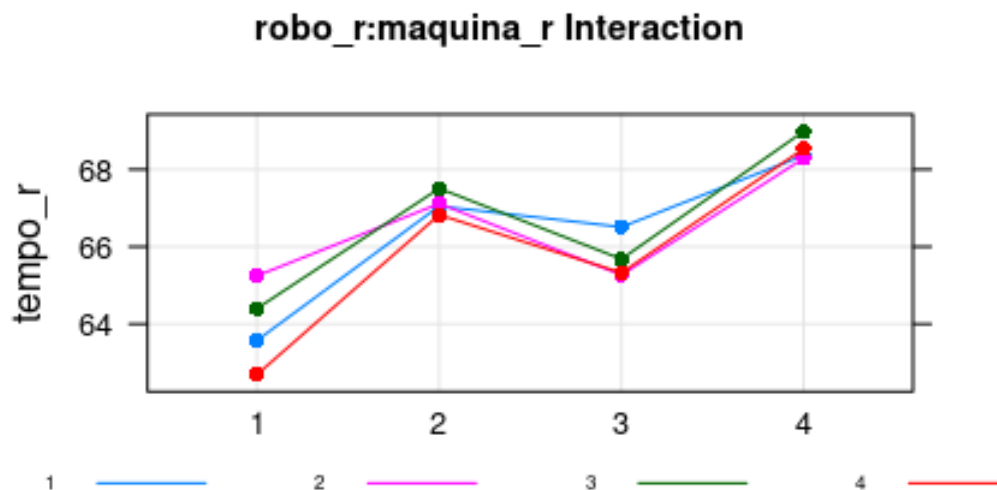


Figura 5: Tempo por máquina



Na Figura 5 cada um dos testes têm distribuídos em torno da linha azul central (a média) as leituras efetuadas. Note que as leituras se distribuem em torno das leituras em azul, o que significa que estão muito distantes do alvo o que representa um erro de leitura, uma leitura ruim ou errada. As medidas de tempo encontradas para cada um dos operadores encontram-se exibidos nesse gráfico, onde cada valor encontrado é representado por um círculo e uma reta passa por seus valores médios. Quanto menor o ângulo entre cada uma das máquinas melhor para o sistema, pois significa que não há grande diferença entre as capacidades de operação das máquinas.

Figura 6: Média da amostra por máquina



Na seção 6 está apresentada uma junção dos gráficos exibidos na Figura 3 a fim de fazer uma comparação entre as médias encontradas para cada robô. É usado para checar se existe uma relação entre máquina e um robô específico. Caso alguma máquina tenha

uma dificuldade com algum tipo de robô, será possível observar uma discrepância entre as linhas em determinado robô. No gráfico apresentado, verifica-se que há muita diferença entre cada máquina.

Conclusão

O valor encontrado na porcentagem de variação do estudo classifica o sistema de medição como inaceitável e a não conformidade com o número de categorias distintas também é um fator que contribui negativamente com os resultados encontrados nos levando a concluir que algum dos operadores deve ter cometido algum erro durante as suas medições. É recomendada como possível solução a retomada dos dados com realização de novos testes.

REFERÊNCIAS

COMO Planejar, Analisar e Interpretar os Resultados de um Estudo de Gage RR Expandido. 2020. <<https://www.minitab.com/pt-br/Published-Articles/Como-Planejar,-Analisar-e-Interpretar-os-Resultados-de-um-Estudo-de-Gage-R-R-Expandido/>>, note = Accessed: 2020-07-20. Citado na página 3.

ESTUDOS de medição para dados contínuos. 2020. <<https://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/sample-materials/FuelInjectorNozzles-PT.pdf>>, note = Accessed: 2020-07-20. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 4.