

Jorge Bertoldo Junior

Universidade de Taubaté
jorgeengmecanico@yahoo.com.br

**Pedro Marcelo Alves Ferreira
Pinto**

Universidade de Taubaté
pmarcelo.aero@hotmail.com

Adilho Teixeira de Souza

Universidade de Taubaté
adilhoteixeira@hotmail.com

Guilherme Apoena Silva Vieira

Universidade de Taubaté
guilhermeapoena@hotmail.com

Correspondência/Contato

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193

Editores responsáveis

Prof. Dr. Evandro Luis Nohara
evandro@unitau.br

Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br

Profa. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br

BRAÇO MECÂNICO HIDRÁULICO PARA TRANSPORTE DE PRODUTOS E OPERAÇÃO DE PINTURA SIMULTANEAMENTE

RESUMO

O presente trabalho irá apresentar a adição de uma operação ao processo de transporte realizado por um braço mecânico. Normalmente, esse tipo de equipamento só realiza uma operação por vez o que o deixa subaproveitado. Nesse trabalho iremos fazer a inserção da atividade de pintura do item transportado. Será construído um protótipo com estrutura de madeira com um sistema hidráulico fabricado por meio do uso de seringas médicas para realização das operações de transporte e de pintura. As diferentes performances do equipamento serão apresentadas, quando o mesmo utiliza em seu sistema hidráulico três fluidos de trabalho diferentes: água, detergente e óleo vegetal. A eficiência do sistema hidráulico está diretamente ligada ao fluido de trabalho escolhido para ser inserido no sistema hidráulico que movimenta o braço mecânico.

Palavras-chave: Sistemas de fluidos mecânicos; Teorema de Stevin; Teorema de Pascal.

INTRODUÇÃO

Desde o fordismo os empresários e líderes veem à grande necessidade de aproveitar melhor o tempo gasto para produzir um determinado produto além de diminuir a demanda de recursos humanos e naturais. Esta situação gera a necessidade da automatização dos processos de fabricação, e um dos itens mais pesquisados e que possui um papel fundamental na indústria são os braços mecânicos hidráulicos, equipamentos que realizam o transporte de materiais de um ponto para outro da linha de produção.

A incorporação de uma atividade específica durante o transporte de um produto em qualquer etapa do processo de manufatura tem por objetivo reduzir o tempo necessário para que um ciclo de produção seja completado.

REVISÃO DA LITERATURA

O princípio de Pascal representa uma das mais significativas contribuições práticas para a mecânica dos fluidos no que tange a problemas que envolvem a transmissão e a ampliação de forças através da pressão aplicada a um fluido.

Conforme apresentado por HALLIDAY, RESNICK e MERRILL HALLIDAY (2002) quando se aperta uma extremidade de um tubo de pasta de dentes para fazer a pasta sair na outra extremidade estamos vendo o princípio de pascal em ação. Este princípio também é a base da manobra de Heimlich, na qual um aumento brusco de pressão adequadamente aplicada ao abdome é transmitido à garganta, expulsando a força a comida ali alojada.

Uma mudança na pressão aplicada a um fluido incompressível confinado é transmitida integralmente a todas as partes do fluido. Considerando o caso no qual o fluido incompressível é um líquido contido em um cilindro alto, conforme a figura 1, coloca-se um pistão sem folgas no cilindro e sobre ele um recipiente de granalha de chumbo. O recipiente e a granalha exercem uma pressão P_{ext} sobre o pistão e conseqüentemente sobre o líquido. A pressão P em qualquer ponto P do líquido é:

$$P = P_{ext} + \rho gh \quad (1)$$

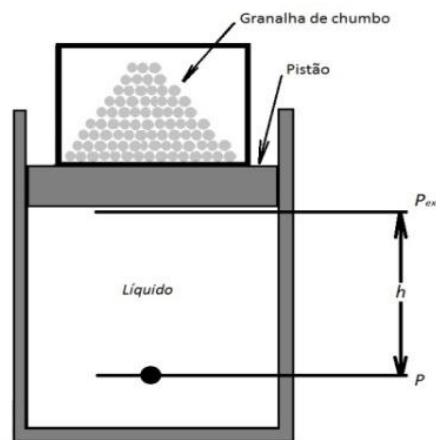


Figura 1. Teoria de Pascal

Fonte: HALLIDAY, RESNICK e MERRILL HALLIDAY, 2002.

Considere que acrescentemos um pouco mais de granalha de chumbo ao recipiente para aumentarmos P_{ext} de uma quantidade ΔP_{ext} . As grandezas ρ , g e h na equação (1) não se alteram, logo a variação de pressão em P é, equação (2):

$$\Delta P = \Delta P_{ext} \quad (2)$$

Está variação de pressão independe de h , logo ela deve valer para todos os pontos no interior do fluido, como estabelece o princípio de pascal, uma vez que consideremos um o fluido como um fluido incompressível.

A figura 2 mostra como o princípio de Pascal serve de base para uma alavanca hidráulica. Considere uma força externa com intensidade F_e dirigida para baixo aplicada sobre o pistão esquerdo (de entrada) cuja área é A_e . Um fluido incompressível atuando no interior do dispositivo produz então uma força para cima de intensidade F_s sobre o pistão direito (de saída), cuja área é A_s . Para manter o sistema em equilíbrio, deve existir uma força F_s no

pistão de saída oriunda de uma carga externa. A força \vec{F}_s para baixo, vinda da carga na direita, produz uma variação ΔP na pressão do líquido que é dada pela equação (3):

$$\Delta P = \frac{F_e}{A_e} = \frac{F_s}{A_s} \quad (3)$$

Então,

$$F_s = F_e \frac{A_s}{A_e} \quad (4)$$

A equação (4) mostra que a força de saída \vec{F}_s sobre a carga tem que ser maior do que a força de entrada \vec{F}_e , se $A_s > A_e$, como é o caso da figura 2.

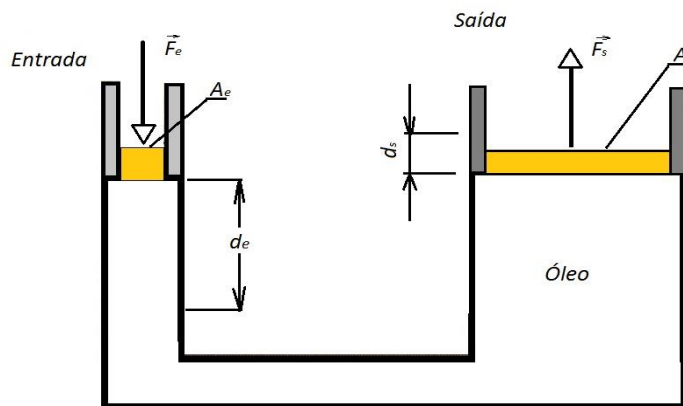


Figura 2. Teoria de Pascal

Fonte: HALLIDAY, RESNICK e MERRILL, 2002.

Se deslocarmos o pistão de entrada para baixo segundo uma distância d_e , o pistão de saída se move para cima segundo uma distância d_s , de modo que o mesmo volume V do fluido incompressível é deslocado nos dois pistões. Então podemos escrever a equação (5):

$$V = A_e d_e = A_s d_s \quad (5)$$

Que podemos reescrever na forma da equação (6).

$$d_s = d_e \frac{A_e}{A_s} \quad (6)$$

Isto mostra que, se $A_s > A_e$ (conforme a figura 2), o pistão de saída se move uma distância menor do que se move o pistão de entrada.

Das equações (4) e (6) podemos escrever o trabalho de saída como, equação (7):

$$W = F_s d_s = \left(F_e \frac{A_s}{A_e} \right) \left(d_e \frac{A_e}{A_s} \right) = F_e d_e \quad (7)$$

O que mostra que o trabalho W realizado sobre o pistão de entrada pela força aplicada é igual ao trabalho W realizado pelo pistão de saída ao levantar a carga colocada sobre o mesmo.

Conforme apresentado por BRUNETTI (2005), o teorema de Stevin também é conhecido por teorema fundamental da hidrostática e sua definição é de grande importância para a determinação da pressão atuante em qualquer ponto de uma coluna de líquido. Este teorema afirma que a diferença de pressão entre dois pontos de um fluido em repouso é igual ao produto do peso específico do fluido pela diferença de cotas dos dois pontos, como por exemplo, um recipiente que contém um fluido e dois pontos genéricos M e N. A união entre os pontos M e N da forma a um cilindro, cuja área da base é de A , entorno do eixo MN, conforme mostrado na figura 3.

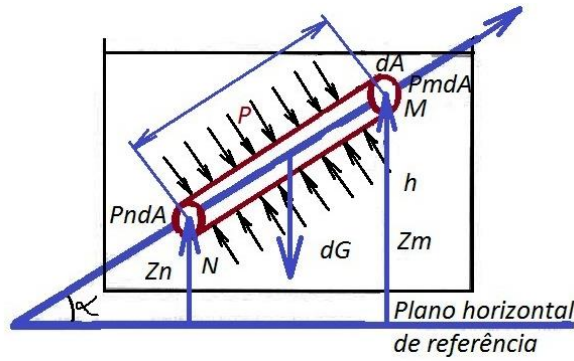


Figura 3. Teoria de Stevin
 Fonte: BRUNETTI, 2005.

Orienta – se o eixo MN de N para M e seja α o ângulo formado com a horizontal. Seja Z_N a cota do ponto N e Z_M a cota do ponto M, em relação a um plano horizontal qualquer, adotado como referência.

Seja h a diferença de cotas dos dois pontos, isto é, equação (8):

$$h = Z_M - Z_N \tag{8}$$

Como por hipótese, o fluido está em repouso, a resultante das forças que agem sobre o cilindro em qualquer direção deve ser nula, ou haveria um deslocamento nessa direção, contrariando a hipótese.

As forças que agem são:

$$dF_N = P_N dA \text{ no ponto N.}$$

$$dF_M = P_M dA \text{ no ponto M.}$$

$$F = P dA_\ell \text{ na superfície lateral.}$$

$$dG = \text{peso do fluido contido no cilindro} = \text{volume de fluido} \times \text{peso específico} = \ell \cdot dA \cdot \gamma$$

Todas essas forças são projetadas na direção do eixo NM. Deve-se lembrar de que, como as forças devidas a pressão são normais à superfície, então as que agem na superfície lateral terão componente nula sobre o eixo.

O equacionamento das demais forças existentes, respeitando o sentido do eixo, resulta, equações (9) – (12):

$$P_n dA - P_m dA - dG \sin \alpha = 0 \tag{9}$$

$$P_n dA - P_m dA - \gamma \ell dA \sin \alpha = 0 \tag{10}$$

$$P_n - P_m = \gamma \ell \sin \alpha = 0 \tag{11}$$

$$\ell \sin \alpha = h_n = Z_m - Z_n \tag{12}$$

Logo a diferença de pressão entre dois pontos genéricos é igual ao produto do peso específico do fluido pela diferença de cotas entre os dois pontos. Assim o ponto importante da teoria é:

Na diferença de pressão entre dois pontos não interessa a distância entre eles, mas a diferença de cotas;

A pressão dos pontos em um mesmo plano ou nível horizontal é a mesma;

O formato do recipiente não é importante para o cálculo da pressão em algum ponto. Na figura 4 em qualquer ponto do nível A, tem-se a mesma pressão P_A , em qualquer ponto do nível B, tem-se a pressão P_B , desde que o fluido seja o mesmo em todos os ramos.

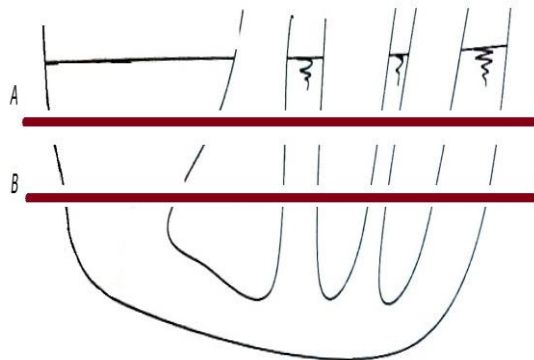


Figura 4. Teoria de Stevin
 Fonte: BRUNETTI, 2005.

Se a pressão na superfície livre de um líquido contido em um recipiente for nula, a pressão num ponto à profundidade h dentro do líquido será dada por, ver equação (13) e exemplo na figura 5.

$$p = \gamma h \tag{13}$$

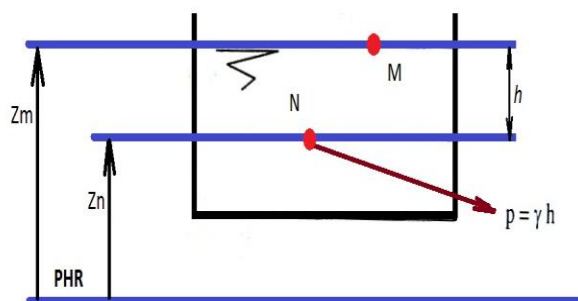


Figura 5. Teoria de Stevin
 Fonte: BRUNETTI, 2005.

O braço mecânico é um manipulador projetado para realizar diferentes tarefas repetidamente. O robô move partes, objetos, ferramentas, e dispositivos especiais segundo movimentos e pontos pré – programados, executa movimentos no espaço, transferindo objetos e ferramentas de um ponto para outro, instruído pelo controlador e informado sobre o ambiente por sensores, para realizar determinadas tarefas.

Na extremidade do braço existe um atuador usado pelo robô na execução de suas tarefas. Todo braço de robô é composto de uma série de vínculos e juntas ou articulações, onde a junta ou a articulação conecta dois vínculos permitindo o movimento relativo entre eles, como pode ser visualizado na figura 6.

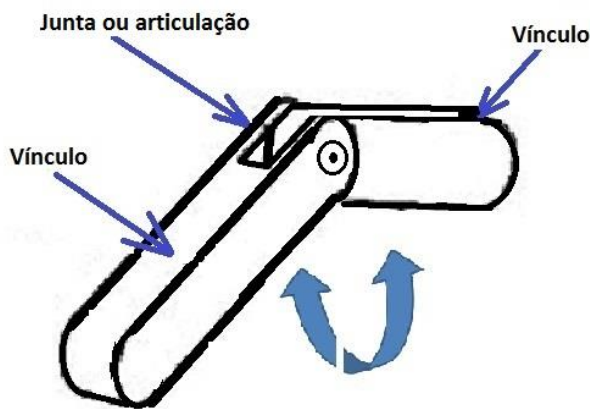


Figura 6 - Junta e vínculos em um braço de robô
 Fonte: Modificado de FRANCHIN, 2005.

Os robôs em geral possuem uma base fixa e o primeiro vínculo está preso a esta base.

Na tabela 1 a seguir são apresentadas as principais categorias de aplicação de robôs na indústria, bem como as suas capacidades e os principais benefícios gerados pelo seu uso, principalmente em células de trabalho (ou de produção).

Tabela 1: Principais aplicações de robôs na indústria e suas vantagens.

Fonte: FRANCHIN, 2005.

Movimento
Manipulação de materiais
Carga e descarga de maquinas
Trabalho com spray
Solda
Maquinário de acabamento
Montagem
Inspeção

Capacidades

X = transporte

Y = manipulação

Z = sensoreamento

Principais benefícios

A = Melhoria do produto

B = Aumento da produtividade

C = Redução de custos

D = Eliminação do trabalho perigoso

Os robôs manipuladores simulam de forma satisfatória o comportamento do braço humano. Os mesmos são constituídos por um conjunto de componentes, montados segundo uma sequência de juntas hidráulicas para orientar e manipular o elemento terminal, responsável por efetuar a tarefa requerida (MARTINS, 2008).

Em robótica de manipulação, existem cinco tipos principais de braços: cartesiano, cilíndrico, polar, antropomórfico e SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) (MARTINS, 2008).

Como pode ser visto na figura 7 o braço mecânico hidráulico é composto de várias partes como punho, braço, ombro, garra, articulações e base sistema de movimentação.

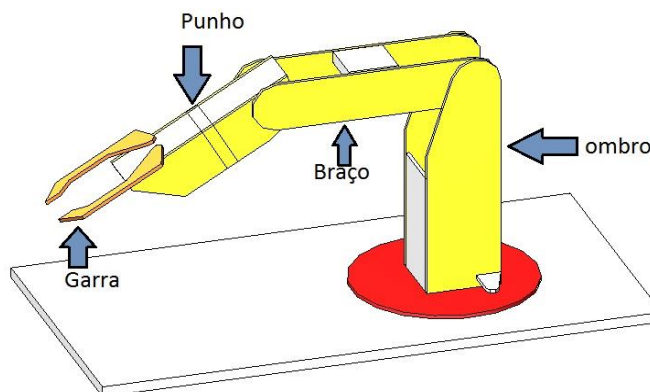


Figura 7: Partes do braço mecânico

Fonte: Dos autores.

As partes apresentadas na figura 7 têm a finalidade de operar como um braço humano, sendo capaz de realizar os movimentos próximos ao do real. Contudo a grande vantagem é a capacidade de realizar os movimentos com grande precisão e repetição dos movimentos.

2. Os três tipos de fluidos que serão estudados nesse trabalho tem a sua massa específica mostrada na tabela

Tabela 2 – Massa específica, kg/m³

Fluido	Massa específica
Detergente	1020 kg/m ³
Óleo	891 kg/m ³
Água	1000 kg/m ³

Os três tipos de fluidos que serão estudados nesse trabalho tem a sua viscosidade dinâmica apresentada na tabela 3.

Tabela 3 – Viscosidade Dinâmica

Fluido	Viscosidade
Detergente	0,25 PA.s
Óleo	0,06 PA.s
Água	$9,81 \times 10^{-4}$ PA.s

MATERIAS E MÉTODOS

Um protótipo foi construído conforme apresentado nas figuras 8, 9 e 10 com isopor comum para definirmos os pontos de articulação, verificar se as dimensões estipuladas estavam de acordo, e onde seria posicionado o sistema hidráulico.

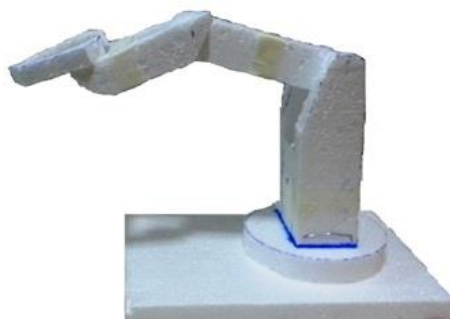


Figura 8: Protótipo em isopor (vista lateral)

Fonte: Dos autores.



Figura 9: Protótipo em isopor (frontal)

Fonte: Dos autores.

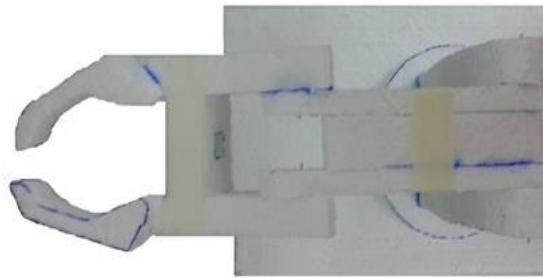


Figura 10: Protótipo em isopor (vista superior)

Fonte: Dos autores.

Após a verificação do protótipo foi construído um modelo definitivo em madeira com espessura de 5,0 mm, sobre o mesmo foi acoplado um sistema hidráulico constituído por seringas médicas com diâmetros de 16,0 mm, 13,0 mm e 9,0 mm e tubos flexíveis com diâmetro de 4,0 mm de diâmetro.

O sistema hidráulico foi carregado com três fluídos: água, óleo de cozinha e detergente.

A eficiência do sistema hidráulico foi verificada por meio de testes em que o sistema necessita transportar uma determinada massa de um ponto a outro.

Logo após a conclusão dos itens dimensionais e hidráulicos foi inserido um sistema com mais uma seringa e tubos para realizar uma atividade extra do braço mecânico. Esse sistema irá desenvolver um processo de pintura o que apresentará uma nova função no braço mecânico.

Foram desenvolvidos dois testes para avaliar primeiramente qual o tipo de fluido se adequa melhor ao sistema apresentado e em segundo a avaliação na redução do tempo.

A primeira avaliação era o braço mecânico levantar 3 objetos diferentes (trena, alicate e uma chave de boca 1”), durante um tempo determinado. Para esse trabalho foi determinado que para cada fluido testado, o braço deveria suportar o objeto em questão por 4 tempos distintos, que eram cinco, quinze, trinta e sessenta segundos. Portanto, como por exemplo, para o teste que o sistema hidráulico estava carregado com água e o item a ser erguido era a trena o braço foi testado no tempo de cinco, quinze, trinta e sessenta segundos. Com isso serão realizados quatro verificações por tipo de fluido, nos três tipos de objetos previamente determinados.

A segunda avaliação era realizar uma comparação entre duas operações. As operações que serão comparadas têm como similaridade o transporte de um produto qualquer e uma operação de pintura, diferenciando se no local de realização da pintura. Iremos verificar o tempo gasto para se transportar um item qualquer de um ponto A até o ponto B e após a chegada ao ponto final à realização do processo de pintura. Esse tempo gasto será confrontado com o processo de transporte do mesmo ponto A até o ponto B, no entanto ao invés de se realizar o processo de pintura após a chegada ao ponto B, ele aconteceria durante o transporte entre A e B, sendo realizado pelo próprio braço mecânico durante o transporte.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro teste realizado foi verificar qual era o melhor fluido de trabalho. Cada fluido foi inserido no sistema hidráulico, e mediu – se o tempo que cada fluido suportava sem nenhuma oscilação. Os resultados foram obtidos através da comparação do levantamento de uma massa de 3 objetos diferentes (trena, alicate e uma chave de boca 1”). O procedimento que foi utilizado para o teste considerou a possibilidade de o equipamento levantar os objetos solicitados e mantê – los suspensos, pelos períodos de tempos de 5 segundos, 15 segundos, 30 segundos, e por último o tempo de 60 segundos.

Os resultados obtidos foram inseridos na tabela 4 e posteriormente em formato de gráfico para orientar a análise, conforme pode ser visto na figura 11.

Tabela 4. Resultados obtidos no levantamento de peso

Fluido	1º teste 5 segundos	2º teste 15 segundos	3º teste 30 segundos	4º teste Máximo
Óleo vegetal	5	15	30	60
Detergente	5	15	30	60
Água	5	15	30	60

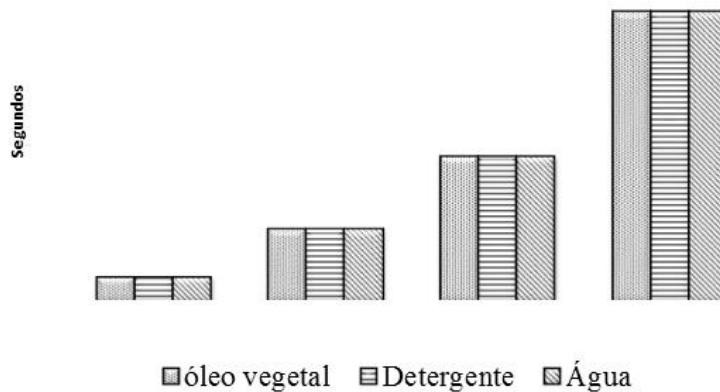


Figura 11: Gráfico com os resultados obtidos no levantamento de peso

A análise tinha como objetivo principal a comparação dos três fluidos e os seus desempenhos em situações iguais de uso e os resultado podem ser visto na figura 11. Em relação ao tempo de sustentação dos objetos os três fluidos apresentaram o mesmo desempenho, para esse sistema hidráulico.

O segundo teste realizado foi cronometrar o tempo necessário para realizar o transporte de um ponto até outro. O teste foi dividido em duas etapas: na primeira etapa do teste o ciclo de operação do equipamento se desenvolveu conforme o equipamento está alocado dentro das empresas atualmente e na segunda etapa o equipamento realiza o mesmo ciclo, mas neste caso a operação de pintura foi realizada durante o transporte da peça. O 1º teste é levantar a peça e transportar para o ponto onde será realizada a pintura, já o 2º teste a pintura é realizada durante o processo de transporte.

Essa atividade foi feita por duas pessoas seguindo os mesmos procedimentos para que os resultados fossem comparados.

Os resultados obtidos foram plotados no gráfico apresentado na figura 12.

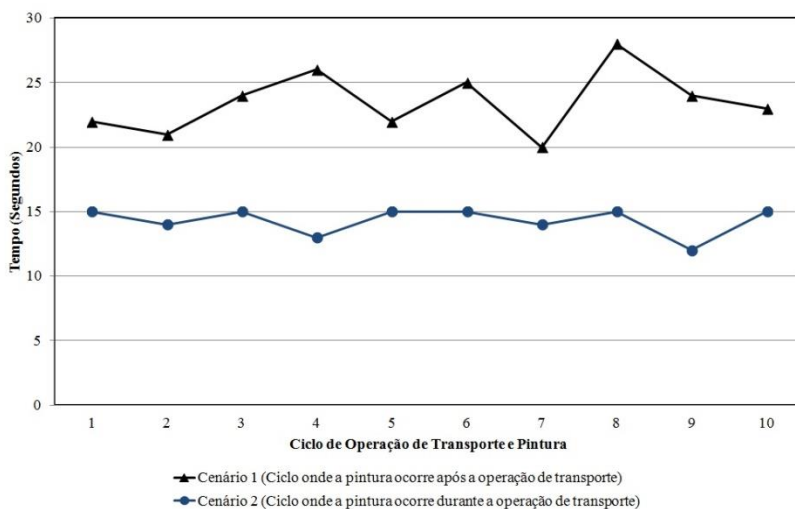


Figura 12: Tempo decorrido para a realização de cada ciclo, adicionando a operação de pintura e não adicionando a operação de pintura. Nota: Tempo em segundos

Na tabela 5 são apresentados os valores de tempo máximo, tempo mínimo e desvio padrão e em todos esses itens o 1º teste apresentou valores maiores. Os resultados do 2º teste foram menores do que o do 1º teste.

Tabela 5. Análise estatística dos dados obtidos

Teste	Máx	Mín	Média	Desvio Padrão
1º teste	24,90	18,87	21,69	2,34
2º teste	15,67	8,53	11,72	2,19

Nota: Tempo em segundos

Como pode ser observado na tabela 5, o tempo médio para realização do teste 1º (teste com pintura no final do processo) foi de 21,69 segundos e o do 2º teste (teste com pintura durante o transporte) foi de 11,72 segundos.

Para realização dos testes foi utilizado o braço mecânico definitivo conforme mostrado na figura 13.

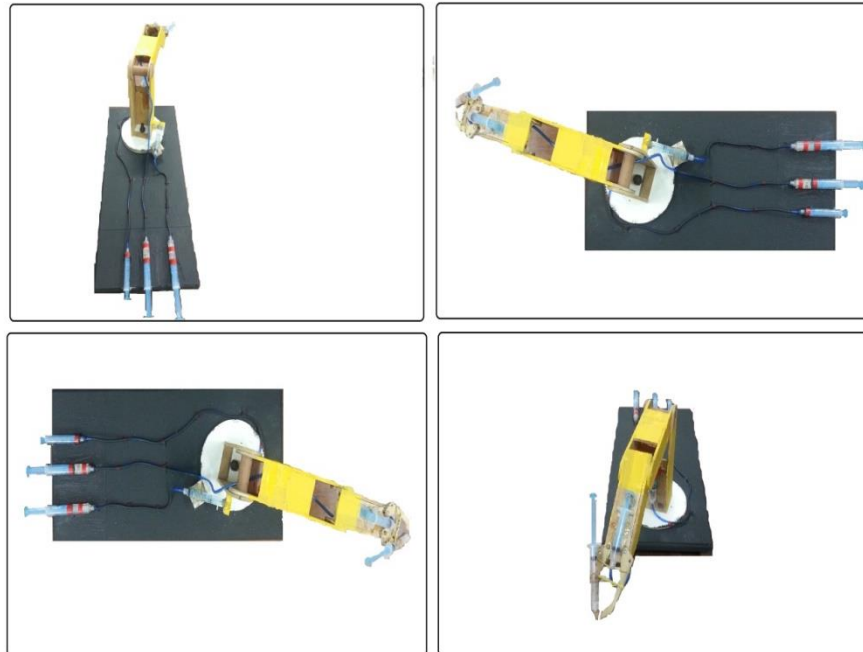


Figura 13: Equipamento pronto (vista superior)

Fonte: Dos autores.

CONCLUSÕES

Apesar dos valores de massa específica e viscosidade dinâmica para os fluidos estudados, serem diferentes, para o sistema avaliado, o desempenho deles foi igual conforme pode ser visto na figura 11. Portanto não houve diferença. Como não houve diferença foi definido que para efeito de estudos futuros que o detergente será o fluido utilizado para mover o braço mecânico.

Para a segunda avaliação constatou – se que existe um grande potencial de melhoria em respeito a melhor utilização desse equipamento. Assim foi possível concluir que se esse equipamento fosse utilizado para realizar uma operação simples que não exige precisão dimensional, os ganhos seriam satisfatórios na redução de tempo de produção. Utilizando os números de média dos testes realizados, sendo o 1º teste com 21,96 segundos de média e o teste 2º com 11,72 segundos foi possível validar que se pode melhorar significativamente a utilização dos braços mecânicos na indústria, pois foi possível constatar com esse teste uma redução de 45,96% no tempo de realização de uma operação e esse valor dentro de um ciclo produtivo, propiciará uma melhor utilização de recursos na organização além de aperfeiçoar o processo.

REFERÊNCIAS

BRUNETTI, F. *Mecânica dos fluidos*. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

FRANCHIN N. M. *Apostila da disciplina de Elementos de Robótica*. Disponível em: <http://www.dee.feb.unesp.br/~marcelo/robotica/conteudo.html>. Acesso em: 05 de maio de 2013.

MARTINS. H, R. *Projeto de um protótipo de um manipulador tele operado*, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Computação) – Universidade do Vale do Itajaí, São José. 2008.

RESNICK R.; HALLIDAY D.; J. MERRILL. *Fundamentos de Física*. 6 ed. São Paulo: LTC, 2002. vol. 2.

ZERBONE. E.; BASTOS, S. *Robótica aplicada a sistemas produtivos de fabricação*. Centro Federal de Educação Tecnológico do Rio de Janeiro, 2005.