

INTRODUÇÃO À ANÁLISES HIDRÁULICAS ATRAVÉS DO ESTUDO DO COMPRIMENTO CARACTERÍSTICO EM TUBULAÇÕES

Rafael Costa Da Silva

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Resende – Rio de Janeiro

Luiz Carlos Cordeiro Junior

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Resende – Rio de Janeiro

RESUMO: A visualização e o conhecimento e a percepção do aluno no dimensionamento hidráulico para análise do comprimento característico em tubulações nem sempre é realizada de forma clara e efetiva. Uma atividade experimental visa o contato físico, a aplicação prática dos conceitos que são abordados em sala de aula. Nessa perspectiva, as atividades experimentais realizadas têm como finalidade superação destas dificuldades nas disciplinas teóricas, sendo a contribuição destes circuitos muito enriquecedora para o conteúdo do curso, visto que os alunos são estimulados a desenvolver análise experimental na solução do problema prático proposto. Para atender a este objetivo foi construído dois circuitos hidráulicos de baixa pressão (PVC e Ferro Galvanizado), sendo que a maior parte dos materiais utilizados são provenientes de material reciclado. Além desta bancada, por meio de uma parceria realizada com uma empresa ligada a utilização de circuitos hidráulicos de alta pressão, obteve-

se uma bancada na qual possibilitou estender o desenvolvimento de estudos e mapeamento para atividades didáticas em hidráulica. Os experimentos foram projetados para serem bem compreensíveis e terem uma boa área de interação, buscando maior entendimento e permitindo análise comparativa entre os circuitos de diferentes materiais submetidos às mesmas condições. Além disso, é possível explorar ainda mais as variadas funções dos arranjos hidráulicos em um experimento de alta pressão.

PAVAVRAS-CHAVE: Hidráulica, Circuitos Hidráulicos, Altura Manométrica

ABSTRACT: The visualization and the student's perception in the hydraulic dimensioning for analysis of the characteristic length in pipes is not always performed in a clear and effective way. An experimental activity aims at the physical contact, the practical application of the concepts that are approached in the classroom. In this perspective, the experimental activities carried out aim to overcome these difficulties in the theoretical disciplines, the contribution of these circuits being very enriching for the course content, since the students are stimulated to develop experimental analysis in the solution of the proposed practical problem. In order to meet this objective, two hydraulic circuits (PVC

and Galvanized Iron) were constructed, most of the materials used being recycled. In addition, through a partnership with a company, a bench was obtained in which it enabled the development of studies and mapping for didactic activities. The experiments were designed to be very understandable and have a good area of graphic interaction, seeking greater understanding and allowing comparative analysis between the circuits of different materials submitted to the same conditions. In addition, it is possible to explore the most varied functions of the valves in a high pressure experiment.

KEYWORDS: Hydraulics, hydraulic circuits, manometric head

1 | INTRODUÇÃO

O estudo da perda de carga em tubulações é de suma importância para o correto dimensionamento de sistemas de bombas. O fluido ao escoar em um conduto é submetido a forças resistentes exercidas pelas paredes da tubulação e por uma região do próprio líquido, denominada camada limite. Assim, há o surgimento de forças cisalhantes (atritos) que dissipam energia principalmente em forma de calor. Essa energia não é mais recuperada e por isso, denomina-se perda de carga (Δp). A perda de carga ocorre ao longo do trecho da tubulação (distribuída) e nas singularidades (localizada) representada pelas válvulas e acessórios de montagem.

Na primeira bancada analisada (Figura 1), os circuitos hidráulicos são pressurizados através de uma bomba centrífuga de água, e ambos os circuitos são analisados através das medições registradas nos manômetros de pressões, nos tipos de conexões, nos comprimentos característicos, na altura manométrica total, nos diversos acessórios que compõem os circuitos, e nas devidas análise de rugosidades das paredes destes tubos e perda da carga que isto representa.

A segunda bancada (Figuras – 2, 3,4) diferencia do outro sistema hidráulico devido a ser um sistema de alta pressão e o fluido hidráulico de alta viscosidade, onde esse fluido tem a função de transmitir força em um circuito de alta pressão para os atuadores hidráulicos promoverem o movimento retilíneo de avanço ou retorno.

Através das duas atividades práticas, os alunos conseguem desenvolver uma melhor compreensão e aplicação dos conceitos teóricos.



(Figura 1- Bancada Hidráulica)



(Figura 2 – Bancada Hidráulica "2") (Figura 3 – Bancada Hidráulica "2") (Figura 4 – Bancada Hidráulica "2")

2 | METODOLOGIA

Materiais e Métodos

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Motores, Hidráulica e Pneumática da UERJ (Resende). No experimento, foram utilizados na primeira bancada: Uma bomba centrífuga (CP-4R 1/4CV), dois reservatórios, tubos de PVC e ferro galvanizado, cotovelos de 90°, tê de passagem direta e de saída lateral, reduções, válvulas esférica, uniões, válvulas de retenção, válvula de pé com crivo, todos com diâmetro de $\frac{3}{4}$ ". Ademais, utilizamos tubos de PVC de 1" com bolsas de conexão que serviram para haver uma redução para tubulação de $\frac{3}{4}$ " ao confeccionarmos o Tubo de Venturi, nele também utilizamos tê de 1" e manômetros para registrarem as pressões.

Na primeira bancada é possível calcular a vazão pelo método de galonagem e por diferencial de pressão (exercido pelo Tubo de Venturi) e com isso comparar os valores encontrados. As pressões são registradas nos manômetros e comparadas com os valores calculados. Aliado a isso com as perdas de carga dos acessórios e o comprimento linear do circuito, podemos calcular a altura manométrica total, energia por unidade de peso que o sistema solicita para transportar o fluido do reservatório de sucção para o reservatório de descarga com uma determinada vazão. A energia encontrada serve de parâmetro para especificação da potência de bomba, e é fundamental para a especificação da mesma.

Na segunda bancada o material utilizado fora: uma bomba de engrenagem (especificação), mangueiras hidráulicas de alta pressão, válvulas controladoras de fluxo, válvula sequencial, válvula de retenção pilotada germinada, válvula direcional, tê de passagem direta e saída lateral, união, curvas de 90°, cotovelos de 90°, manômetros e atuadores hidráulicos lineares, além de conter um reservatório hidráulico. Todos os

acessórios utilizados na bancada são no diâmetro de 5/8". Nessa segunda bancada foi possível calcular a velocidade recomendada do fluido, o número de Reynolds, o fator de atrito, determinar a perda de carga na linha de pressão e no sistema. Através dos resultados medidos nos manômetros, é possível fazer um comparativo com os valores teóricos.

Procedimento experimental

A transferência de um fluido através de uma tubulação requer uma análise técnica da variação de suas propriedades (pressão, vazão, viscosidade, etc). Na atividade de Hidráulica, é analisado um Circuito (vide figura abaixo) dividido em parte PVC e de outra em ferro galvanizado, sendo ambos pressurizados através de uma bomba centrífuga. Para compor este estudo os circuitos são analisados através das medições registradas nos manômetros de pressão e através do mapeamento dos diversos tipos de conexões, válvulas e acessórios. Foram consideradas quatro condições distintas:

a) Circuito simples, sendo o fluido succionado do reservatório inferior e seu descarte feito logo após o primeiro manômetro (reservatório superior).

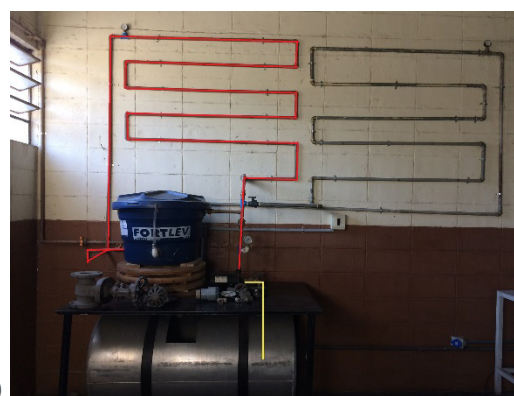
b) Com o fluido sendo succionado do reservatório inferior e seu descarte sendo feito no reservatório superior, percorrendo toda e somente as instalações de PVC.

c) Com o fluido sendo succionado do reservatório inferior e seu descarte sendo feito no próprio reservatório, percorrendo toda e somente as instalações de PVC.

d) Com o fluido sendo succionado do reservatório inferior e seu descarte sendo feito no próprio reservatório, percorrendo toda e somente as instalações de ferro galvanizado.



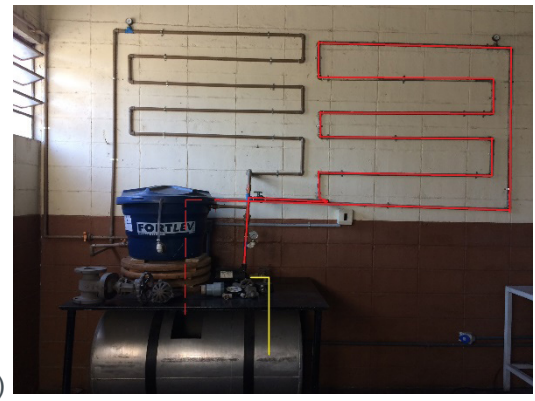
(Figura 5- Bancada Hidráulica 1 "caso a")



(Figura 6- Bancada Hidráulica 1 "caso b")



(Figura 7- Bancada Hidráulica 1 “caso c”)



(Figura 8- Bancada Hidráulica 1 “caso d”)

Em todos os casos propostos o fluido é succionado pela bomba centrífuga, passando pela parte de sucção do circuito. Após realizar esse trajeto o fluido é bombeado passando pela parte de recalque percorrendo esse circuito até chegar ao reservatório final. Os manômetros ao longo do percurso marcam as pressões no sistema.

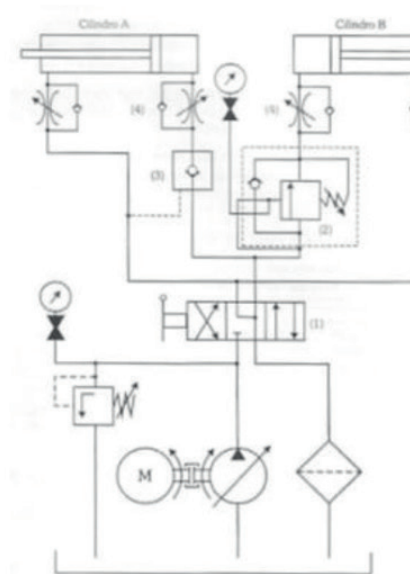
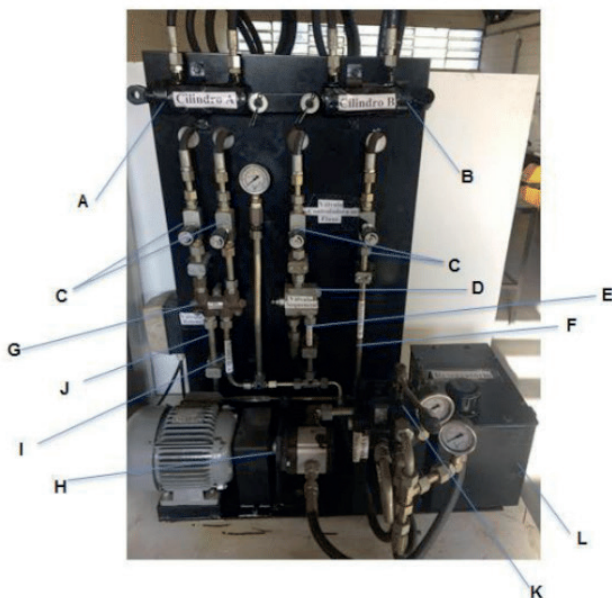
Em busca de um valor mais exato para a vazão no circuito foi projetado e adicionado ao sistema o Tubo de Venturi, equipamento que indica a variação de pressão de um fluido em escoamento em regiões com áreas transversais diferentes. A constricção causa uma variação da pressão do fluido que se desloca no tubo. Indicadores de pressão, ligados aos tubos dispostos nos diferentes diâmetros, permitem medir a variação de pressão, que é utilizada para medir a velocidade de escoamento do fluido. Onde a área é menor, haverá maior velocidade, assim a pressão será maior. Por meio da diferença de pressão é possível calcular a velocidade do fluido e a vazão sucessivamente, utilizando a equação de Bernoulli.

Com a utilização de válvulas esféricas é possível direcionar o fluxo à parte em que foi adicionada o Tubo de Venturi, podendo desta forma avaliar a velocidade e a vazão do fluido para análise do experimento, como mostra a (Figura 9) a seguir.



(Figura 9- Tubo de Venturi)

Na segunda bancada é representado um modelo de circuito hidráulico de aplicação móbil e similar ao modelo apresentado por Bustamante (Automação Hidráulica-2003), como pode ser observado nas figuras 10 e 11. Os atuadores (cilindros hidráulicos) funcionam sob alta pressão e por intermédio da atuação de uma válvula sequencial permite a aplicação destes em série. Nesta proposta de bancada hidráulica aplica-se o desenvolvimento conceitual para o dimensionamento das linhas hidráulicas de sucção, pressão e retorno. Ao utilizar a bancada, a bomba de engrenagem succiona o óleo do reservatório (parte de sucção), bombeando o mesmo até a válvula direcional (linha de pressão de pressão). Ao acionar a válvula para o avanço, a mesma irá liberar o fluido para o sistema. O fluido liberado fará pressão em B (assim denominada a parte em que se encontra o sistema para avanço e retorno do cilindro B), porém o mesmo não ultrapassa a válvula sequencial, pois não tem pressão suficiente. Sendo assim, o fluido segue para A (assim denominada a parte em que se encontra o sistema para avanço e retorno do cilindro A), passando pela válvula de retenção pilotada germinada. Quando o fluido termina o avanço em (A), atinge a pressão desejada para ultrapassar a válvula sequencial em (B). Desta forma, aciona o cilindro também em (B). Por fim, quando acionado o comando de retorno, ambos os atuadores (A) e (B) retornam ao mesmo tempo, devido à ausência de válvula sequencial no circuito hidráulico de retorno.



(Figura 10- Bancada Hidráulica "2") (Figura 11- Modelo de Bancada, Bustamante)

layout do Circuito:

- a. Cilindro A (atuador A)
- b. Cilindro B (atuador B)
- c. Válvula controladora de fluxo: Esse circuito é composto por quatro válvulas localizadas nas linhas de avanço e retorno dos atuadores A e B. Estas válvu-

las permitem o controle com alta precisão do fluxo em um sentido. Também permitem fechar completamente o fluxo em um sentido e, ao mesmo tempo, liberar o fluxo do sentido oposto.

- d. Válvula Sequencial: Localizada na linha de avanço do atuador B, tendo um “by pass” ligado à mesma. É uma válvula diretamente operada. Ela é utilizada para ligar em sequência um segundo sistema em função da pressão ajustada.
- e. Tubulação de avanço do fluido do atuador B
- f. Tubulação de retorno do fluido do atuador B
- g. Válvula de retenção: Localizada na linha de avanço e retorno do atuador A, essas válvulas são utilizadas para o bloqueio de circuitos operacionais que estejam sob pressão, como segurança contra a descida de uma carga no caso de ruptura na tubulação ou contra movimentos descontínuos de consumidores tensionados hidráulicamente.
- h. Bomba de engrenagem
- i. Tubulação de avanço do fluido do atuador A
- j. Tubulação de retorno do fluido do atuador A
- k. Válvula direcional: Localizada na linha de pressão, tem por função orientar a direção que o fluxo deve seguir, a fim de realizar um trabalho proposto (atuadores duplo efeito).
- l. Reservatório Hidráulico.

3 | EQUAÇÕES GOVERNANTES

Na primeira bancada são utilizadas duas equações governantes como é apresentado por Bustamante (Automação Hidráulica-2003). Primeiramente, para calcular a vazão utilizando o recurso experimental do Tubo de Venturi, e mais a equação de Bernoulli, como é mostrada abaixo:

Equação (1):

$$P_1 + \frac{V_1^2}{2g} = P_2 + \frac{V_2^2}{2g} + K \left(\frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (1)$$

Sendo, “K” o coeficiente de perda de carga, “V” a velocidade no ponto 1 e 2, “A” a área no ponto 1 e 2, “g” a gravidade, “P” as pressões dos pontos “1” e “2”.

Para o cálculo da altura manométrica total a partir do fator de correção referente à vazão encontrada aplica-se a seguinte equação:

Equação (2)

$$H = (H_s + H_r) + (C_{ls} \times F_c) + (C_{lr} \times F_c) + P_{ca} \quad (2)$$

Sendo, “H” a altura manométrica total, “H_s” a altura de sucção, “H_r” a altura de recalque, “C_{ls}” o comprimento linear de sucção, “C_{lr}” o comprimento linear de recalque, “F_c” o fator de correção referente a vazão encontrada e “P_{ca}” a perda de carga dos acessórios.

Devido a uma maior complexidade do segundo circuito hidráulico (bancada “2”), é exigida uma gama maior de equações governantes, entre elas pode-se destacar o dimensionamento e análise da velocidade recomendada para o fluido para diferentes dimensões de tubulações, o número de Reynolds, o fator de atrito, a perda de carga nas linhas de sucção, pressão e retorno e a perda de carga total do sistema apresentadas por Macintyre (Equipamentos Industriais e de Processo-1997) e por Munson, Okiishi, Young (Fundamentos Da Mecânica Dos Fluidos -1997).

Equação (3) Ao encontrar a velocidade é possível calcular o número de Reynolds com a equação a seguir, onde “V” é a velocidade característica, “D_i” é o comprimento característico e “ν” é a viscosidade cinemática.

$$Re = \frac{V \times D_i}{\nu} \quad (3)$$

Equação (4) Considerando o modelo como de tubos rígidos e temperatura constante, o fator de atrito adequado a este regime de escoamento (laminar), para este modelo de bancada foi:

$$\Psi = \frac{64}{Re} \quad (4)$$

Equação (5) Para calcular a perda de carga na linha de pressão utiliza se o fator de atrito encontrado anteriormente, aplicando o mesmo na seguinte equação:

$$\Delta P = \Psi \times \frac{5 \times L T \times \rho \times v^2}{d t \times 10^{10}} \quad (5)$$

Equação (6) Com isso, para determinar a perda de carga total do sistema somamos a perda de carga das válvulas “D_p” com a perda de carga na linha de pressão, ou seja:

$$\Delta P T = \Delta P + D p \quad (6)$$

4 | RESUMOS E DISCUSSÕES

Ao colocar na prática o funcionamento do Tubo de Venturi (Figura 9), para a bancada “1”, com os valores medidos a partir da diferença de pressão feita pelos manômetros, adotou-se o critério de realização de uma média de valores registrados, para evitar qualquer erro de paralaxe. A partir da relação de Bernoulli, obtêm-se analiticamente a velocidade e a vazão nesta tubulação.

Para definir os valores das velocidades, foram considerados as relações de diâmetros $D_1 (1') = 0,025\text{m}$ e $D_2 (3/4) = 0,019\text{m}$ que envolvem o seguimento do tubo de Venturi. O coeficiente de perda de carga “K” foi obtido através da relação entre os diâmetros dos tubos e similar ao modelo apresentado por Fox e McDonald (Introdução à Mecânica dos Fluidos - 1988), conforme tabela abaixo.

K	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,5	3	4	5	10	∞
D/d	0,15	0,25	0,34	0,38	0,41	0,44	0,46	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,5

Tabela 1. Coeficiente de Perda de Carga

Identificado o valor do coeficiente de perda de carga “K”, utiliza-se a Equação “1” para a definição das velocidades ($V_2 = 2,684376\text{ m/s}$) e a vazão ($Q = 2,8\text{ m}^3/\text{h}$).

A altura manométrica para as propostas em destaque são apresentadas na tabela abaixo:

	Vazão	Altura Manométrica Total	Pressões (manômetros)
Caso a)	2,8m ³ /h	8,68 PSI	9 PSI
Caso b)	2,8m ³ /h	13,65 PSI	14 PSI
Caso c)	2,8m ³ /h	14,83 PSI	15 PSI
Caso d)	2,8m ³ /h	15,49 PSI	16 PSI

Tabela 2. Altura Manométrica Total x Pressão (manômetros)

Diferentemente do procedimento anterior, no qual todo o embasamento foi desenvolvido a partir tubo de Venturi, fez-se outra avaliação do mesmo circuito hidráulico, na definição da vazão pelo método da galonagem, e desta forma os valores conforme mostrados abaixo e conseqüentemente uma nova altura manométrica total. Os novos valores obtidos foram:

	Vazão	Altura Manométrica Total	Pressões (manômetros)
Caso a)	3,5m ³ /h	11 PSI	9 PSI
Caso b)	3,5m ³ /h	17,86 PSI	14 PSI
Caso c)	3,5m ³ /h	19,30 PSI	15 PSI
Caso d)	3,5m ³ /h	20,80 PSI	16 PSI

Tabela 3. Altura Manométrica Total x Pressão (manômetros)

É possível notar que o método de galonagem é mais suscetível ao erro humano, paralaxe. Com a introdução do Tubo de Venturi no experimento, os valores calculados são muito mais próximos e satisfatórios para as pressões calculadas e registradas nos manômetros.

O experimento pôde ser comprovado com uma pequena margem de erro de 0,5 PSI que pode ser explicada por falhas visuais ao observar as pressões registradas nos manômetros.

A mesma base técnica de solução foi desenvolvida para a bancada “2” (Figuras 10 e 11), conforme apresentada por Bustamante (Automação Hidráulica-2003), embora conhecido a vazão. A técnica para a bancada de alta pressão obteve valores teóricos próximos aos registrados nos manômetros. Conforme mostrado na tabela abaixo:

	Avanço 1	Avanço 2	Retorno 1	Retorno 2
Reynolds	1191,5	1191,5	551,5	551,5
Fator de Atrito	0,06	0,06	0,14	0,14
Perda de carga na Linha de Pressão	3,6 bar	3,8 bar	1,7 bar	1,82 bar
Perda de Carga Total Calculada	13,5 bar	22,2 bar	10,2 bar	8,4 bar
Pressões Registradas nos Manômetros	11 bar	20 bar	10 bar	10 bar

Tabela 4. Resultados - Bancada Hidráulica “2” (Alta Pressão)

5 | CONCI USÃO

Inicialmente analisando a bancada hidráulica “1”, conclui-se que o circuito hidráulico (com bomba centrífuga) que ao utilizarmos a equação de Bernoulli para calcular a vazão no sistema utilizando o Tubo de Venturi chegou-se à um valor mais robusto para a própria vazão e conseqüentemente para o resultado final da altura manométrica total. Através do comparativo apresentado pelas tabelas “2” e “3” é possível concluir que a utilização da presente proposta é enriquecedora para os alunos de Engenharia, visto que é possível calcular a vazão de formas distintas e obter uma margem de erro entre os devidos resultados apresentados. Outra informação a destacar, são os efeitos da degradação do sistema que para a tubulação em PVC são desprezíveis, enquanto que para os tubos de ferro galvanizado é possível constatar que os efeitos desta degradação por intermédio da corrosão interna aumentam suscetivelmente a rugosidade e conseqüentemente a perda de carga. Esta constatação fica evidente quando comparado os circuitos (PVC x Galvanizado) por serem dimensionalmente similares.

Ao analisar um sistema de alta pressão, bancada hidráulica “2” (com bomba de engrenagem), foi mapeado toda a bancada e seus diversos tipos de acessórios e válvulas conforme proposta desenvolvida por Bustamante. O modelo teórico proposto mostrou-se eficiente e robusto quando comparado com a análise experimental deste trabalho. O resultado de todo este desenvolvimento, é refletido no modelo de

formatação de aula prática junto aos alunos de Engenharia na análise experimental de todo o dimensionamento hidráulico do sistema como perda de carga, escoamento, velocidades, fator de atrito entre outros, validados experimentalmente através dos manômetros.

Analisando o trabalho desenvolvido em ambos os circuitos hidráulicos, é possível entender o quanto se faz importante a conciliação teórica e experimental no desenvolvimento intelectual do aluno. A oportunidade de pensar, executar, checar e validar trás uma responsabilidade, amadurecimento e conseqüentemente um sentimento de estar fazendo o certo para o autoconhecimento e também como legado para os demais estudantes. Em continuidade como contribuição para atividades futuras, são recomendadas as seguintes sugestões, como: inserir um rotâmetro na saída de bomba centrífuga combinado com um circuito de “by-pass”, para possibilitar o estudo da perda de carga e do coeficiente de atrito sob variação da vazão e continuar o desenvolvimento de know-how na área móbil que permita mapear e detalhar não somente uma bancada referente a esta como também um equipamento sobre um veículo por completo. Além disso, a construção de uma nova bancada hidráulica visando estudo de um circuito onde exista análises de fluídos hidráulicos e suas influencias na perda de carga do circuito, além de testes com simulações.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Motores, Hidráulica e Pneumática da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, (Campus Resende), companheiros e técnicos. Este trabalho foi desenvolvido e montado graças aos esforços e compreensão do professor (orientador e coautor) Luiz Cordeiro, atual diretor do Centro de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica. Com a ajuda da atual direção do Campus que entendeu a importância do projeto e sempre que pôde ajudou financeiramente. Além da confiança depositada na Faculdade de Tecnologia e em nós do Lab de Motores, Hidráulica e Pneumática pela empresa USIMECA, doadora da bancada hidráulica de alta pressão utilizada no projeto. Ademais, um agradecimento especial aos meus pais que sempre buscaram me incentivar em minha caminhada além de prover recursos para que eu possa estar realizando esse sonho.

AUTORIZAÇÕES/RECONHECIMENTO

Ao submeter o trabalho, os autores tornam-se responsáveis por todo o conteúdo da obra.

REFERÊNCIAS

Azevedo Netto, Eiji Ito, De Araujo, Fernandez, 2015, “**MANUAL DE HIDRÁULICA**”, Editora Edgard Blucher Ltda. 8º Ed, São Paulo, Brasil

Bustamante, 2003, “**AUTOMAÇÃO HIDRÁULICA**”, Érica Ltda., 2ª Ed, São Paulo, Brasil.

Fox, McDonald, 1988, “**INTRODUÇÃO À MECÂNICA DOS FLUIDOS**”, Editora Guanabara S.A., 3ª Ed, Rio de Janeiro, Brasil.

Macintyre, 1997, “**EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS E DE PROCESSO**”, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, Brasil.

Munson, Okiishi, Young, 1997, “**FUNDAMENTOS DA MECÂNICA DOS FLUIDOS**”, Editora Edgard Blucher Ltda., Vol.2, 2ª Ed, São Paulo, Brasil.

ȘCHEAUA, 2016, “**THEORETICAL APPROACHES REGARDING THE VENTURI EFFECT**”, Galați, Romênia

Zorzan, Daronch, Dal Molin, 2013, “**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE HIDRÁULICA**”, Horizontina-RS, Brasil.