

ANÁLISE PARA OTIMIZAÇÃO DO PROJETO HIDRÁULICO DE UM TOMBADOR DE GRÃOS COM AUXÍLIO DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DINÂMICOS

Carlos Israel Binatti¹

Richard de Medeiros Castro²

Resumo: Buscando sempre agilizar o atendimento ao cliente ou até mesmo o processo em si, o ser humano tende a encontrar maneiras diferenciadas para auxiliar no seu dia-a-dia, com a finalidade de otimizar o tempo, esforço e reduzir consideravelmente o número de pessoas para uma determinada função. Essa é a função de um tombador de grãos, que serve justamente para facilitar e agilizar o processo de descarga. No caso desta pesquisa, foi utilizado um modelo de tombador de plataforma de 11 metros para caminhão *truck* de até 15 toneladas carregado. O presente estudo visa propor uma otimização do sistema hidráulico usado na movimentação de toda a estrutura metálica neste equipamento. Nesta pesquisa em si serão avaliados os principais componentes do sistema hidráulico por meio de um *software* computacional chamado AMESim e equações, modelando, simulando e validando um sistema já existente, buscando alcançar algum dos pontos para a substituição de componentes. Tal proposta pode ofertar uma redução de até R\$ 8.600,00 no valor de aquisição inicial do equipamento. Por meio da simulação e equações foi possível ofertar uma redução de até 70% no tempo de avanço do cilindro, por meio de um aumento de 72% na velocidade do cilindro. A modelagem e validação seguiu o procedimento padrão de verificação, cujo qual está apresentado no decorrer da pesquisa, assim como os resultados que foram todos validados por equações e cálculos descritos, que por sua vez apresenta que o objetivo inicial é alcançado. Ao longo da pesquisa será possível verificar que a ideia inicial de alterar somente na bomba, pode não ser o melhor caminho a ser seguido.

Palavras-chave: Otimização. Redução de custos. Modelagem e simulação. AMESim. Economia.

1. INTRODUÇÃO

Plataformas de descarga de grãos ou tombadores de grãos, como são comumente conhecidos, são de equipamentos que auxiliam a descarga de veículos de grande porte como carretas, por meio do uso da hidráulica, facilitando e principalmente agilizando o processo de descarga. Por este motivo as empresas que atuam neste setor optam normalmente em instalar plataformas de descarga para

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. E-mail: carlos.binatti@hotmail.com

² Prof. MSc. Richard de Medeiros Castro. E-mail: richard.castro@satc.edu.br

granéis. Além da agilidade da descarga de grandes cargas graneleiras, tal tipo de plataforma dispõe de outra vantagem: a descarga ocorre diretamente em um dispositivo destinado a dosagem dos grãos no nível do subsolo, chamado de moega, que posteriormente já encaminha os grãos para o destino correto (silo).

A forma utilizada atualmente se dá por meio de sistemas hidráulicos, em que o funcionamento parte de uma unidade hidráulica de potência, que é disposta por alguns dos seguintes itens: reservatório, bomba, válvulas direcionais, alívio e de segurança. A segurança nesse tipo de equipamento é de suma importância, principalmente por ser tratar de um processo de elevação de uma plataforma que irá comportar um veículo de grande porte, como por exemplo uma carreta carregada. Desta forma, é necessário garantir que o sistema funcione perfeitamente com dispositivos de segurança prontos para serem atuados sem falha, caso haja necessidade.

Um ponto importante a ser levado em conta como todos os projetos, refere-se em parte econômica, ou seja, o cliente deseja sempre um produto funcional, de qualidade e com o menor valor possível. Para isso, é de extrema importância que haja uma validação via simulação para comprovar que o projeto está próximo ao que se deseja obter como resultado, relacionando potência de entrada com a potência de saída, tudo isso em conjunto com a eficiência do equipamento completo. O mesmo ocorre a uma atualização do sistema, visando a melhoria para a vendas futuras.

A otimização de um sistema hidráulico de um tombador de grãos será efetuada por meio da modelagem e simulação computacional, utilizando o *software AMESim* e baseando-se nos componentes dimensionados em conjunto com as informações de aplicação com as cargas definidas. A pesquisa visa justamente validar o que já está pronto e posteriormente aplicar possíveis alterações e coletar novos dados a fim de buscar a possível alteração de certos componentes, dentro das diretrizes impostas pelo cliente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os conteúdos necessários para o compreender a pesquisa. Nos subcapítulos seguintes serão apresentados trabalhos de outros pesquisadores realizados de forma similar ao que é proposto no objetivo

deste, tomando como base alguns autores que serão citados.

2.1. TOMBADORES

Tombadores utilizam princípio hidráulico com o intuito de realizar trabalhos com cargas extremas a fim de agilizar o processo e garantir maior segurança e com a capacidade de suportar tais objetos que não poderiam ser suportados com um trabalho manual (Mocelin, 2012).

Figura 1: Tombador em funcionamento



Fonte: Saur (2012).

A Fig. 1 apresenta um tombador de grãos em funcionamento, onde encontra-se uma carreta carregada em elevação máxima. O equipamento em questão trata-se de um sistema movido pela hidráulica, onde a unidade de potência fornece energia para que possa atuar o cilindro (Saur, 2013).

2.2. SIMULAÇÃO

A simulação vem ocupando um espaço considerável com o avanço da tecnologia. Existem projeções para que tal espaço esteja em constante crescente na indústria e em vários segmentos distintos. Com uma alta gama de aplicações em

vários segmentos distintos e com alguns pontos em comum, a simulação de componentes hidráulicos, possuem paralelismo entre si (Teixeira, 2015).

A simulação computacional possui pontos importantes a serem analisados e levados em conta quando o assunto se trata de validação de projeto. Com a crescente do mercado em relação a indústria e principalmente a hidráulica vem exigindo um profundo conhecimento dos projetistas, tanto em relação aos equipamentos fluido-mecânico quanto em outras áreas, e a simulação visa a redução de tempo e esclarecer alguns pontos cegos no projeto (Szpak, 2008).

A prevenção de erros de projeto é um ponto que é mencionado como um dos mais importantes a ser levado em conta em uma simulação e validação de um projeto, pois por meio desta etapa torna-se possível a comprovação de que o equipamento em questão atenderá a demanda necessária. É possível efetuar estudos se o sistema está superdimensionado, podendo obter redução de alguns componentes, e conseqüentemente refletir nos custos do valor final do equipamento (Muraro, 2006).

Buscando a viabilidade e aprovação do projeto por meio de uma confirmação de veracidade, é necessário obter um parâmetro similar para efetuar uma comparação e assim validar a pesquisa. Uma forma de simulação utilizada em pesquisas é chamada de 'Modo local de simulação (detalhado)', onde o pesquisador não analisa o projeto completo, mas foca em um ponto específico em que deseja obter resultados. Caso necessite analisar mais de um ponto é possível fazer o mesmo em todos e posteriormente confrontar as informações. Desta forma o projeto fica simplificado para poder modelar, analisar e otimizar (Macedo, 2017).

Outra forma de buscar validação é por meio de uma comprovação física de um projeto modelado. As etapas são basicamente duas: realizar a modelagem e simulação computacional e posteriormente a efetuar a comparação com o sistema convencional. Uma comparação neste aspecto pode ser muito assertiva em relação aos resultados encontrados, mesmo que fiquem dispares entre eles. Essa forma de validação nem sempre é viável, tudo depende da pesquisa que está sendo realizada (Mise, 2018).

Uma das estratégias mais seguras em relação a validação de um projeto é efetuar uma comparação entre o modelo digital, convencional e ainda comparar com equações e cálculos manuais, pois desta forma é possível garantir que a pesquisa

estaria dentro de um padrão aceitável, caso os três pontos citados estejam com resultados próximos entre eles (Mantovani, 2019). Os passos são basicamente os mesmos quando o assunto se trata de otimização, como: coletar os dados pertinentes do equipamento para posteriormente trabalhar com estes mesmos dados em todas as etapas; selecionar as equações a serem utilizadas já tendo em vista os componentes a serem analisados; efetuar os cálculos manuais com as equações selecionadas e os dados coletados; selecionar um *software* que atenda a demanda a ser solicitada na pesquisa; efetuar a modelagem no *software* e posteriormente simular e coletar os dados; coletar dados no modelo convencional; efetuar uma comparação entre os resultados obtidos; e em caso de os dados estarem com um desvio padrão aceitável significa que o for efetuado dentro dos mesmos parâmetros no *software* estará de acordo com uma possível otimização.

2.3. CONCEITO E SELEÇÃO DO SOFTWARE

Se tratando de simulação, é possível encontrar dois conceitos relacionados a modelagem na área, que são: Fluxo de sinal e Multiportas. Fluxo de sinal é utilizado em processos que há disponível apenas uma via de sinal, ou apenas uma emissão de sinal sem retorno, que pode ser entendido como um vetor com sentido único (Torres, 2012). Porém, para o caso de modelagem de transferência de potência há necessidade de emissão e recepção de sinal em ambos os sentidos, que por sua vez é atendido utilizando o conceito Multiportas (Silva, 2005).

Mundialmente utilizado por universidades e pesquisadores, o *software* AMESim, trata-se de um programa criado com a finalidade de modelagem e simulação de sistemas diversos, dentre estes: elétrica, mecânica, hidráulica e entre outros (Peplow, 2010). Dispõe de uma interface simples, com um *layout* de fácil compreensão na parte de simulação e modelagem de sistemas hidráulicos em geral, porém ainda assim necessita de um bom conhecimento na área de atuação e empenho por parte do pesquisador para desenvolver o projeto.

2.4. METODOLOGIA E COLETA DE DADOS

A simulação deve ser efetuada após uma seleção de dados que servem como parâmetro de validação, tais dados normalmente são indicados pelos

fabricantes dos componentes e estão disponíveis em seus respectivos catálogos. Uma das dificuldades no momento da seleção dos itens encontra-se justamente na extração dos dados dos catálogos, pois os fabricantes normalmente inserem informações unificadas da caracterização dos seus produtos (Furst, 2001).

A forma correta de se iniciar uma simulação é equipando-se com muito conhecimento sobre a área em que será feita a tarefa, que somente por meio da base de conhecimento será obtido um resultado satisfatório. A pesquisa em áreas específicas intensifica e contribui para a melhoria na coleta de dados e aplicação em *softwares* de simulação, independente da área de aplicação (Peplow, 2010).

Os *softwares* de simulação em geral, utilizam algumas técnicas em comum quanto aos componentes analisados. Com o avanço da a tendência é que haja cada vez mais a presença de inteligência artificial, cujo qual são alimentados com informações que servem para base de conhecimento. As metodologias proporcionam melhorias e principalmente no aprendizado dos pesquisadores (Sanchez, 2010).

Dispondo dos dados conforme indicado, é possível iniciar a modelagem do sistema, começando pela seleção dos componentes a serem modelados e simulados. No caso da unidade de potência analisada nesta pesquisa, optou-se por analisar os principais componentes que são essenciais para o funcionamento, e desta forma, afunilar o conteúdo analisado e assim aumentar a assertividade da pesquisa. (Teixeira, 2015).

2.5. EQUAÇÕES E DADOS DE CATÁLOGOS

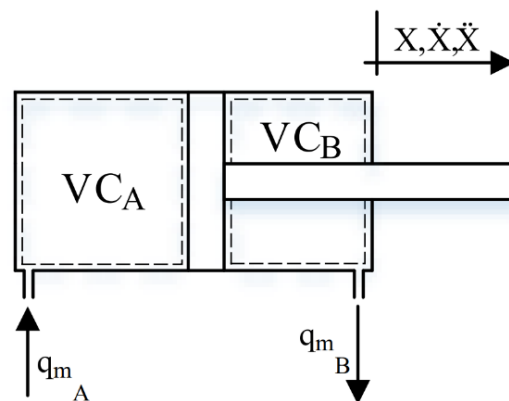
As equações visam ampliar a compreensão dos princípios fundamentais da hidráulica como um todo, aplicando-as especificamente em cada item analisado. Quando se dispõe de um sistema complexo, a forma mais simples de analisá-lo seria basicamente identificar individualmente cada item, e posteriormente aplicá-los em conjunto com seus dados devidamente calculados (Durfee, 2009).

Em pesquisa, foi analisado que em casos similares a deste trabalho as equações utilizadas são basicamente as mesmas ou similares. Desta forma, as equações a serem trabalhadas foram retiradas do 'Manual de hidráulica básica, Albarus, Palmieri' 1997.

2.5.1. Cilindro

Com a finalidade de analisar o comportamento de um atuador, é necessário que seja desenvolvido um modelo matemático para que seja possível representar o seu comportamento. Para efetuar tal tarefa, é requerido que sejam avaliados alguns pontos, como: deslocamento, velocidade, vazão e pressão. Grande parte destas soluções partem das equações de conservação de energia e conservação de movimento, onde são posteriormente adaptadas a cada caso (Vigolo, 2018).

Figura 2: Volume de controle de um cilindro



Fonte: (Vigolo, 2018).

Obtém-se Por meio da equação da continuidade as seguintes equações, baseadas na figura 06, que quando são derivadas com relação ao tempo é possível extrair outras equações simplificadas e que podem ser aplicadas na pesquisa. A equação 01 e 02 apresenta-se o modelo para as câmaras A e B do cilindro.

$$-q_{m_A} + (dp_A dp_A / (dt \cdot V_{C_A}) + (dV_{C_A} / (dt \cdot \rho_A)) \quad (01)$$

$$-q_{m_B} + (dp_B dt \cdot V_B) + (dV_B / dt \cdot \rho_B) = 0 \quad (02)$$

Outros autores também tratam a equação do volume de controle como ponto de partida, para que sejam definidas as demais equações (Furst, 2001). Na equação 03 é apresentada essa definição.

$$qv + C_{in} \cdot (p_s - p_c) = (dV_h / dt) + V_h / \beta_e \cdot dp_c / dt \quad (03)$$

A força necessária para movimentar o cilindro é dada pela segunda lei de Newton. As equações simplificadas por sua vez são uma definição que parte da equação do movimento (de Negri, 1987). A equação 04 apresenta o conceito da segunda lei de Newton aplicada a um cilindro hidráulico.

$$(p_c \cdot A_h) - (p_s \cdot A_r) = M \cdot d^2 \cdot \frac{x^{cd}}{dt^2} + B_c \cdot \frac{dx^{cd}}{dt} + K_x \cdot X^{cd} \quad (04)$$

2.5.2. Bomba hidráulica

A bomba hidráulica é compreendida como o coração do equipamento, cujo qual tem a função de coletar o óleo do reservatório onde transfere movimento linear aos cilindros. Para calcular algumas etapas de tal item, são necessárias algumas equações, como:

2.5.2.1. Vazão de saída da bomba

A vazão da saída da bomba é encontrada em litros de óleo por minuto e pode ser obtida por meio da equação 05.

$$q_v = n \cdot V_g \cdot \eta_{vol} \quad (05)$$

2.5.3. Potência de acionamento

As bombas são acionadas normalmente por motores elétricos, onde eles necessitam de uma potência de acionamento (N_a). Deve ser garantido que o motor elétrico atenda a demanda solicitada do sistema, e pode ser obtida pela equação 06.

$$N_a = p \cdot \frac{q_v}{600 \cdot \eta_{ges}} \quad (06)$$

2.5.4. Torque de acionamento

Assim como na potência, o motor necessita também de um torque mínimo para atender a demanda. Esse torque está diretamente associado a potência e ao rendimento mecânico da bomba. Com equação 07 é possível determinar o torque.

$$M = 1,59 \cdot Vg \cdot \frac{p}{100} \cdot \frac{1}{\eta_{mh}} \quad (07)$$

2.5.5. Rendimento total

Tanto motor quanto a bomba dispõe de um rendimento, o qual pode ser encontrado com a equação abaixo.

$$\eta_{ges} = \eta_{vol} \cdot \eta_{mh} \quad (08)$$

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesta seção serão apresentados os procedimentos experimentais executados para elaboração deste estudo, onde os mesmos encontram-se em ordem cronológica.

3.1. ANÁLISE DO DIAGRAMA HIDRÁULICO

A análise do diagrama na parte inicial da pesquisa foi de imensa importância, pois após o entendimento do funcionamento do equipamento foi possível formular critérios para poder selecionar o *software* e habituar-se com o equipamento a ser estudado.

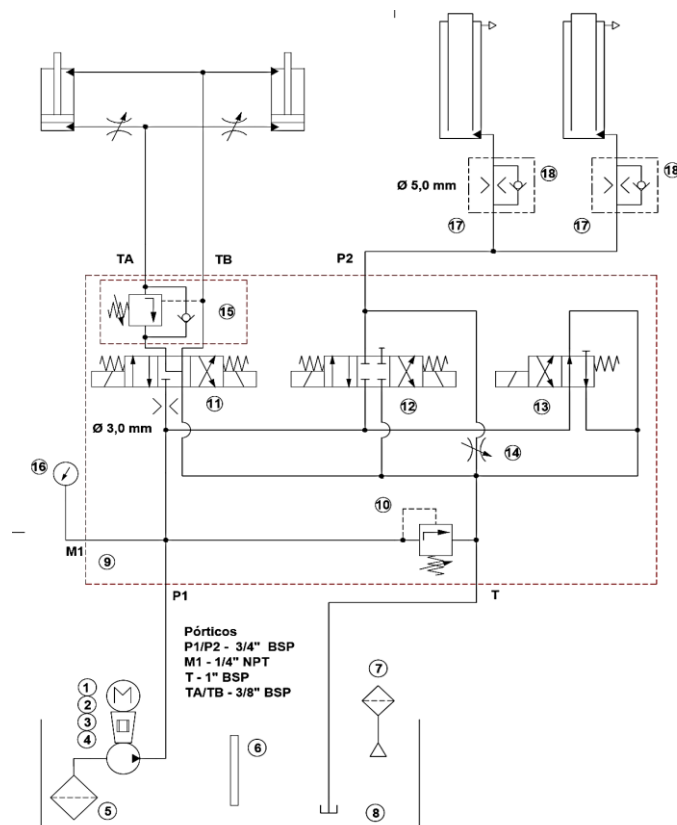
A fig. 3 apresenta o diagrama original do equipamento, cujo qual foi modelado para o *software* AMESim, apresentado na fig. 4 e posteriormente simplificado na fig. 5. No diagrama original podemos verificar a presença do conjunto moto bomba ligados pelo acoplamento de ligação e flange de fixação, possui também visor de nível, filtro de sucção e filtro de retorno.

É possível fazer uma análise prévia do conjunto antes mesmo de poder modelá-lo no *software* AMESim e posteriormente reconhecer quais são os componentes mais importantes e quais realmente farão alguma alteração válida no sistema como um todo. Conhecer o equipamento que está sendo analisado é tão importante quanto saber efetuar o procedimento experimental e prático, pois a trata-se da teoria, a base de toda a pesquisa.

Para o acionamento dos cilindros 'trava roda' (na esquerda) o direcionamento é efetuado por uma válvula direcional de carretel deslizante, item 11, 4/3 vias, o que significa que possui 4 vias (A, B, P, T) com 3 funções, conforme mostrado pelas flechas, onde a centragem desta válvula é de centro aberto negativo (A e B para reservatório). Neste circuito há também uma de contra balanço ligada diretamente ao reservatório, item 15.

Para acionar os cilindros principais o processo é um pouco mais complexo principalmente por conta da segurança necessária no processo. O acionamento é efetuado também por uma válvula direcional, item 12, 4/3 vias, porém neste caso possui um centro fechado, e por este motivo há necessidade de utilizar uma válvula de ventagem, item 13, para evitar que a bomba continue trabalhando pressurizando o sistema na centragem da válvula 12. Em resumo a válvula de ventagem serve para que a bomba continue trabalhando livre, retornando o óleo para o reservatório enquanto o sistema está acionado e assim evitando o desgaste desnecessário dos componentes.

Figura 3: Diagrama hidráulico original do equipamento



Fonte: Tecdráulica (2018)

A ventagem é um artifício utilizado em momentos que o processo é relativamente rápido e que se prefere manter o motor acionado e a bomba succionando óleo, então utiliza-se uma válvula como o item 13 para efetuar tal função. Os itens 18 trata-se de válvulas de retenção que tem função de proporcionar segurança.

3.2. SELEÇÃO DO SOFTWARE

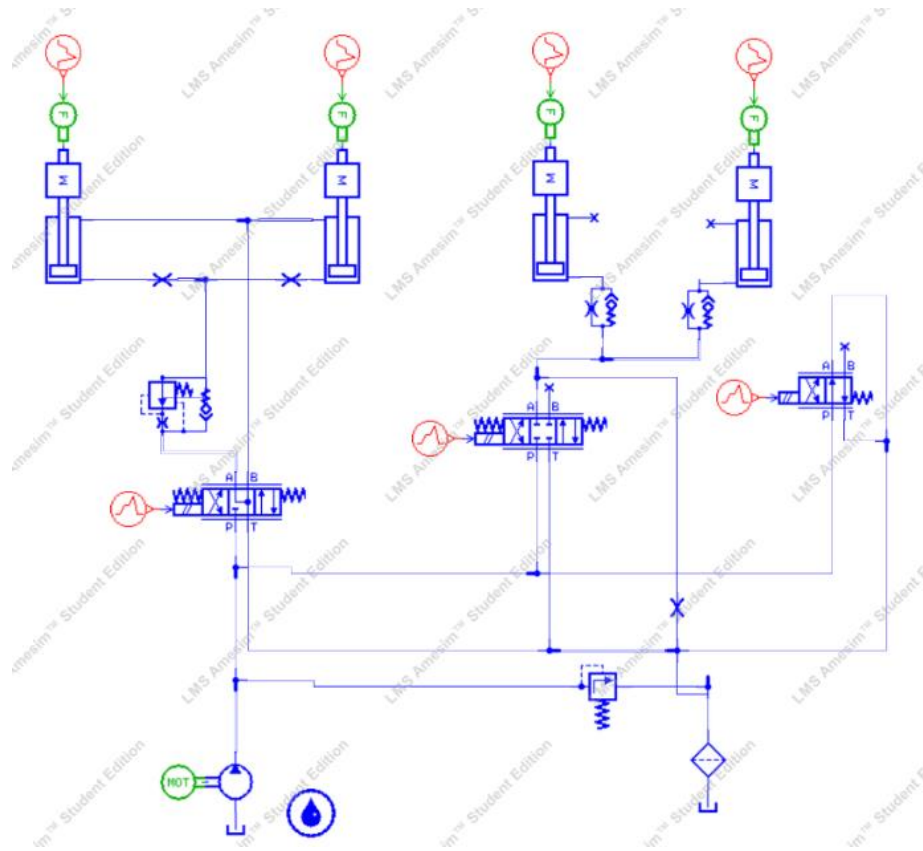
Possuindo o conhecimento necessário do procedimento tornou-se possível escolher um programa de interface não tão complexa, que possibilitasse o aprendizado dentro do tempo estimado e que atendesse a demanda. Por estes motivos o programa que atendeu estes requisitos e que foi selecionado foi o AMESim. É importante comentar que anteriormente a este foi testado e modelado no *software* HOPSAN, porém, não atendeu as necessidades da pesquisa.

3.3. MODELAGEM INICIAL

O primeiro passo após selecionar o *software* foi modelar o diagrama do equipamento dentro do próprio AMESim. Inicialmente houve uma fase de aprendizado inicial para habituar-se ao layout do programa. Após alguns tutoriais recomendados e passados pelo professor orientador foi possível finalizar a modelagem inicial do diagrama. Esta modelagem se tratou de uma cópia digna do diagrama original do equipamento.

Inicialmente foi necessário procurar entender o diagrama original para que pudessem ser selecionados os componentes corretos no *software*, visando efetuar a modelagem correta. A etapa de entendimento foi importante também para a simulação efetuada após a modelagem, pois alguns componentes necessitam de considerações para que o programa pudesse rodar de forma integral e sem erros durante a fase de testes.

Figura 4: Diagrama inicial modelado no Software



Fonte: Do autor (2020)

A fig. 4 apresenta o diagrama do equipamento original, cujo qual será simplificado posteriormente. Neste, é possível verificar vários componentes da hidráulica trabalhando em conjunto.

3.4. SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULOS

Esta etapa foi necessária para futuramente poder comparar os resultados obtidos por meio da simulação com os resultados dos cálculos, e assim efetuar uma análise entre eles. As equações foram obtidas na literatura da área e também em catálogos de fornecedores de componentes hidráulicos.

Os cálculos foram iniciados pela bomba, onde foi possível encontrar a vazão de operação. Foi possível encontrar este dado pois já possuía os dados de rotação do motor elétrico e o deslocamento volumétrico da bomba.

O segundo passo na etapa de cálculos foi encontrar alguns dados do cilindro principal do equipamento. O primeiro dado encontrado foi a força resultante

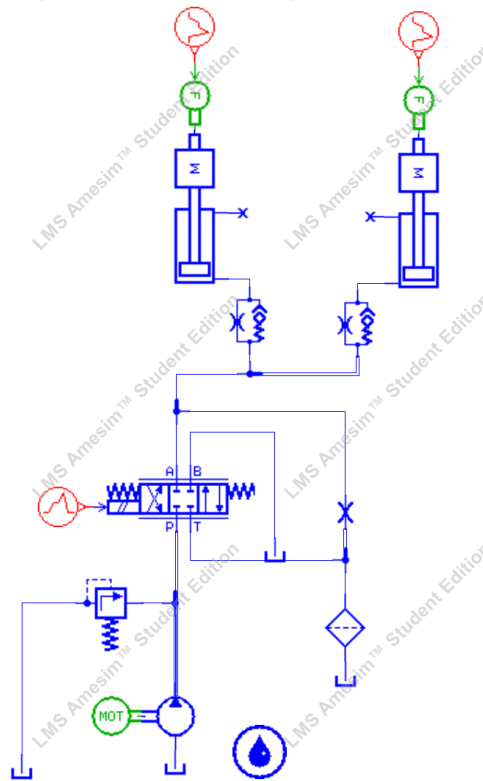
do cilindro, ou seja, a força máxima que o cilindro suporta, encontrado Por meio do somatório de forças do próprio cilindro. O próximo dado extraído das equações foi a velocidade do cilindro, utilizando os dados já conhecidos de vazão na entrada do cilindro e a área do êmbolo dele.

A terceira etapa na seleção de equações é considerada tão crucial quanto as anteriores, mesmo não se tratando de um componente hidráulico. Esta etapa contou com a seleção da potência de acionamento, ou seja, do motor elétrico que é responsável por transmitir torque e rotação a bomba hidráulica. Vale ressaltar que um motor sub dimensionado influencia diretamente no funcionamento do equipamento e um motor super dimensionado pode elevar muito o custo do equipamento, e assim podendo eliminar a chance de uma venda. Os dados encontrados nesta etapa foram: potência de acionamento e torque de acionamento.

3.5. SIMPLIFICAÇÃO DO DIAGRAMA

Após selecionar os principais componentes que seriam analisados no equipamento foi necessário simplificar o diagrama e dividir o mesmo em uma parte com menos itens, para que fosse possível analisa-lo pontualmente, facilitando tanto na modelagem quanto no controle de resultados obtidos pelos *Software* e também dessa forma fica mais fácil de comparar resultados. Na figura 3 é possível verificar os principais componentes que serão analisados com a finalidade de redimensionar algo relacionado a estes. A modelagem apresentada foi resumida do diagrama completo apresentado na fig. 4, onde na fig. 5 já está simplificado e modelado no AMESim pronto para ser simulado com os dados do equipamento.

O diagrama foi reduzido ao sistema principal do equipamento, onde os atuadores lineares (cilindros) têm como função movimentar e suportar a rampa de descarga. O pesquisador optou trabalhar desta forma pois simplifica a simulação e afunila no ponto crítico do sistema, exatamente como indicado pelos autores na revisão bibliográfica. Os dados de entrada nos componentes são fidedignos ao diagrama original do equipamento.

Figura 5: Diagrama simplificado no *software*

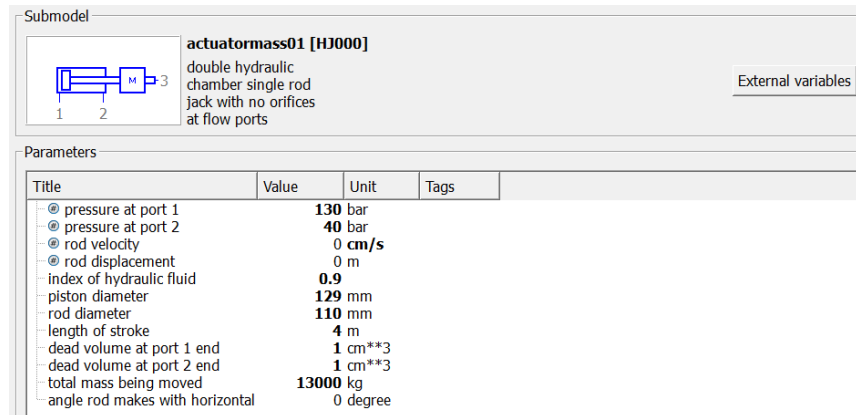
Fonte: Do autor (2020)

3.6. ENTRADA DE DADOS NO *SOFTWARE* E COMPATIVO COM OS CÁLCULOS MANUAIS

Os dados de entrada do *software* foram coletados no projeto original do equipamento e esta etapa visou comprovar que os dados coletados como resultados no *software* estavam caminhando corretamente, ou seja, se os resultados coletados no AMESim chegariam com uma proximidade aceitável da realidade. Foi possível efetuar esse comparativo devido aos cálculos manuais feitos também baseando-se nas informações originais do equipamento.

Esta parte da pesquisa foi crucial para poder garantir que o que estava sendo feito estava de acordo com o planejado, e assim poder seguir com uma possível melhoria no equipamento. Nas fig. 6 e 7 pode-se verificar os dados de entrada preenchidos no *software* AMESim dos cilindros e da bomba, respectivamente.

Figura 6: Valores de entrada do cilindro hidráulico

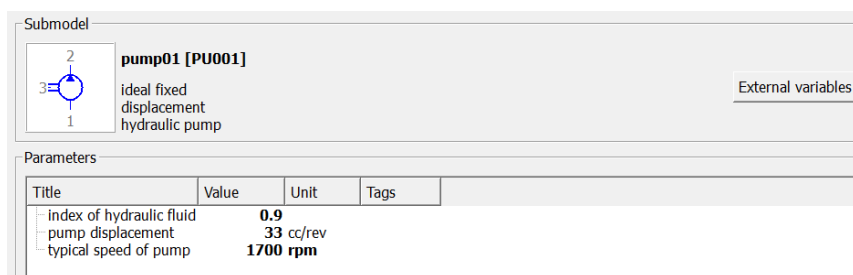


Title	Value	Unit	Tags
pressure at port 1	130	bar	
pressure at port 2	40	bar	
rod velocity	0	cm/s	
rod displacement	0	m	
index of hydraulic fluid	0.9		
piston diameter	129	mm	
rod diameter	110	mm	
length of stroke	4	m	
dead volume at port 1 end	1	cm**3	
dead volume at port 2 end	1	cm**3	
total mass being moved	13000	kg	
angle rod makes with horizontal	0	degree	

Fonte: Do autor (2020)

Na Fig. 6 apresenta os dados alimentados no *software* antes de iniciar a simulação. Os dados já são pré-definidos no diagrama original do equipamento. O objetivo inicial foi fazer com que o *software* se comporte próximo a realidade, ou seja, que seja possível obter dados de saída similares aos resultados obtidos na prática com, alimentando o programa com os dados de entrada citados acima. É possível analisar que o cilindro hidráulico possui muitas variáveis como dados de entrada.

Figura 7: Valores de entrada da bomba hidráulica



Title	Value	Unit	Tags
index of hydraulic fluid	0.9		
pump displacement	33	cc/rev	
typical speed of pump	1700	rpm	

Fonte: Do autor (2020)

Assim como citado anteriormente, a Fig. 7 também conta com algumas variáveis a serem preenchidas conforme a necessidade do pesquisador. A bomba conta com uma quantidade menor quando relacionado ao cilindro, porém são informações que fazem muita diferença no dimensionamento e seleção.

Posteriormente ao preenchimento dos dados foi colocado o *software* em simulação para obter os dados de saída, ou seja, os dados finais que seriam

comparados aos cálculos manuais. Em resultados e discussões será possível verificar tal comparação entre ambas as partes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados por meio da simulação via *software* ou pelas equações serão apresentados, comparados entre si, discutidos e por fim selecionado aquele que mais se adequa ao objetivo de otimizar o processo.

Tabela 1: Valores do equipamento original

Componente	Cilindro	Bomba	Motor elétrico
Diâmetro	129mm	-	-
Curso	4m	-	-
Carga	15t	-	-
Deslocamento	-	33cm ³ /rev	-
Potência	-	-	36,77Kw
Rotação	-	-	1700Rpm

Fonte: Do autor (2020).

A tab. 01 representa os valores originais do equipamento, ou seja, os que são utilizados nos dias de hoje antes da possível otimização do mesmo.

4.1. CÁLCULO DE VAZÃO DA BOMBA

O resultando apresentado é referente ao volume de óleo relacionado com tempo em que a bomba succiona do reservatório e coloca no sistema, tendo como finalidade neste caso de acionar os cilindros hidráulico (tanto os principais quanto os cilindros secundários). Neste caso trata-se de uma bomba de engrenagens, cujo seu coeficiente é de 0,9, designado pelo próprio fabricante. Para determinar a vazão, utilizou-se a equação 05.

$$q_v = 1700.33.0,90$$

$$q_v = 50,5 \text{ [Lpm]}$$

Essa vazão está relacionada diretamente com a velocidade de avanço do cilindro, tendo relação com a área do mesmo e a carga que está sendo aplicada.

4.2. CÁLCULOS DO CILINDRO PRINCIPAL

As equações apresentadas a seguir estão todas relacionadas ao cilindro hidráulico, onde serão apresentados os seguintes cálculos: área, força resultante e velocidade de avanço do cilindro. A área do cilindro é importante para posteriormente entrar outras variáveis, como a velocidade e força resultante, que são pontos importantes no momento da comparação com a simulação computacional.

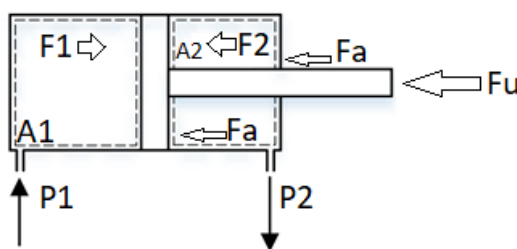
$$A = \pi \cdot R^2 / 100 \tag{9}$$

$$A = \pi \cdot 64,5^2 / 100$$

$$A = 131 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Esta área relacionada é referente ao interno do cilindro, ou seja, é calculada baseada nas informações do êmbolo que é usado na camisa do cilindro hidráulico por meio da vazão de óleo gerada pela bomba. A força resultante e velocidade de avanço do cilindro, baseado nas equações 01 e 02, onde as mesmas são adaptadas e resumidas para o caso necessário.

Figura 8: Atuador linear no somatório de forças



Fonte: do autor (2020)

$$F_u = 130.131.0,9 \tag{10}$$

$$F_u = 15.3270 \text{ [kg]}$$

No caso da equação da força resultante, pelo motivo do cilindro trabalhar por retorno pela gravidade, foi utilizado P2 com o valor igual a zero, por estar aberto a atmosfera e desta forma não gerando pressão. Neste caso, foi adotado um

coeficiente de atrito de 0,1 baseado nos materiais borracha / metal lubrificado, tendo em vista que a vedação é de borracha nitrílica e a camisa em aço cromado, segundo a tabela de Kurt, 1976.

$$v = Q_s/A \cdot 1000 \quad (11)$$

$$v = 0,935/130,7 \cdot 1000 \cdot 2$$

$$v = 3,56 \text{ [cm/s]}$$

A velocidade encontrada é referente encontrada por meio das outras variáveis calculadas anteriormente. É crucial saber esta velocidade a fim de poder mexer na simulação buscando a otimização neste aspecto, pois se tivermos uma velocidade maior logo teremos um processo mais rápido e ágil, e assim teremos uma redução de tempo entre uma descarga e outra.

Com os dados calculados torna-se possível encontrar o tempo total de avanço dos cilindros, baseado na velocidade dos mesmos.

$$t = (c \div 10) \div v \quad (12)$$

$$t = (4000 \div 10) \div 3,56$$

$$t = 112,35 \text{ [s]}$$

Os equipamentos hidráulicos utilizados na indústria normalmente são aplicados em casos que necessitam suportar ou efetuar grandes esforços, onde os mesmos são submetidos a grandes pressões internas. Para isto, é necessário que haja um dimensionamento correto e preciso, evitando problemas de funcionamento e principalmente visando a segurança (Soares, 2017).

4.3. ACIONAMENTO (MOTOR ELÉTRICO)

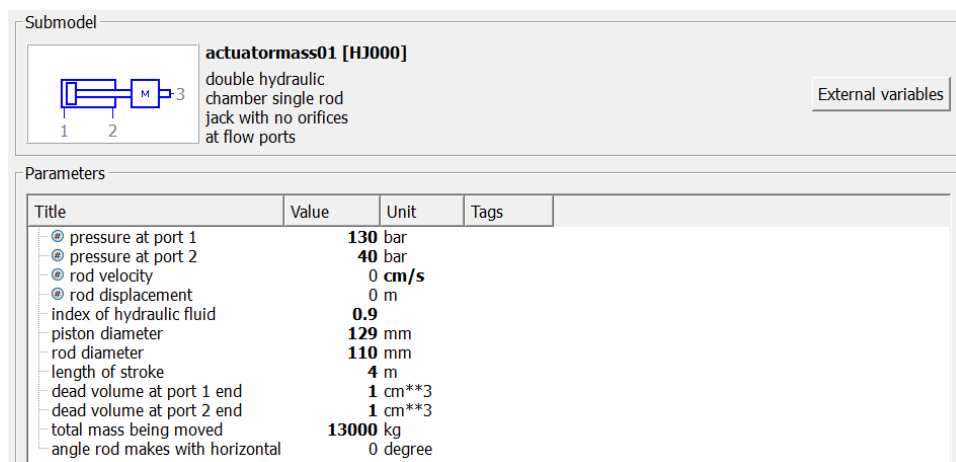
As bombas são acionadas normalmente por motores elétricos, onde eles necessitam de uma potência de acionamento. Deve ser garantido que o motor elétrico atenda a demanda solicitada do sistema, Por meio da equação 06. Assim como na potência, o motor necessita também de um torque mínimo para atender a demanda,

por meio da equação 07. Tanto motor quanto a bomba dispõem de um rendimento, o qual pode ser encontrado utilizando a equação 08.

4.4. SIMULAÇÃO ORIGINAL DO SISTEMA DINÂMICO E COLETA DE RESULTADO

A simulação do sistema foi baseada na modelagem efetuada e apresentada na fig. 02, onde os dados de entrada foram retirados do projeto original do equipamento. O objetivo desta etapa foi validar o sistema dinâmico modelado no AMESim, tendo em vista que caso o resultado seja positivo, o sistema está confiável para efetuar uma possível otimização. Uma vez em que ficou comprovado o resultado coerente em comparação com os dados práticos e calculados nas equações apresentadas. Primeiramente foi necessário introduzir (fig. 9) os dados de entrada da bomba e dos cilindros, coletados no projeto original do equipamento.

Figura 9: Valores de entrada do cilindro hidráulico

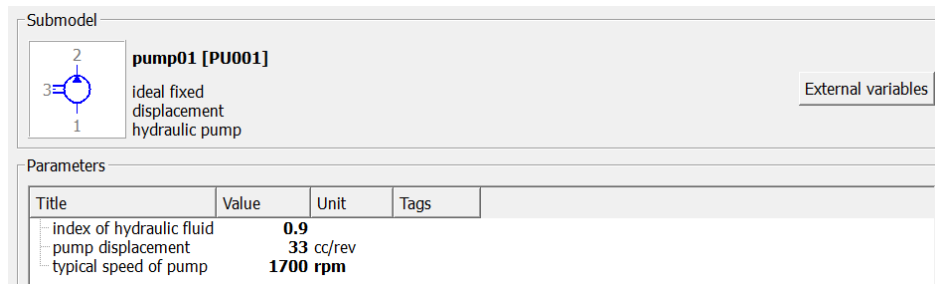


Title	Value	Unit	Tags
pressure at port 1	130	bar	
pressure at port 2	40	bar	
rod velocity	0	cm/s	
rod displacement	0	m	
index of hydraulic fluid	0.9		
piston diameter	129	mm	
rod diameter	110	mm	
length of stroke	4	m	
dead volume at port 1 end	1	cm**3	
dead volume at port 2 end	1	cm**3	
total mass being moved	13000	kg	
angle rod makes with horizontal	0	degree	

Fonte: Do autor (2020)

Os dados já são pré-definidos no diagrama original do equipamento. O objetivo inicial será fazer com que o *software* se comporte próximo a realidade, ou seja, que seja possível obter dados de saída similares aos resultados obtidos na prática, alimentando o programa com os dados de entrada citados acima. É possível analisar que o cilindro hidráulico possui muitas variáveis como dados de entrada.

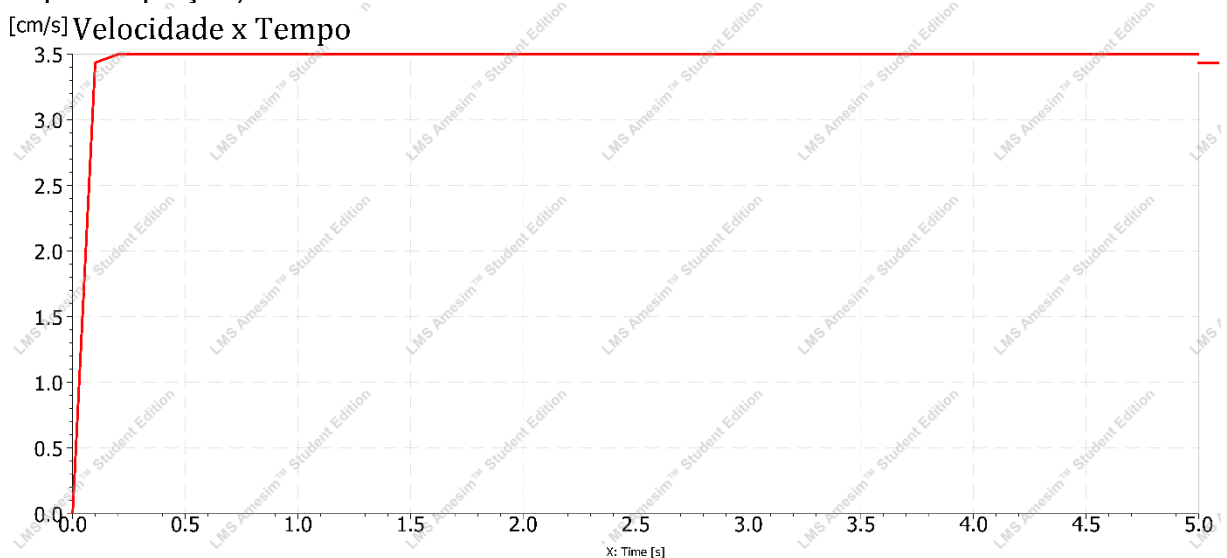
Figura 10: Dados de entrada da bomba hidráulica



Fonte: Do autor (2020)

Assim como citado anteriormente, a fig. 10 também conta com algumas variáveis preenchidas conforme a necessidade. A bomba conta com uma quantidade menor quando relacionado ao cilindro, porém, tal questão não está associada a a realidade, mas sim com informações que farão alguma diferença no conjunto quando entra em acionamento. Após a modelagem do sistema e com dados preenchidos finalmente, foi possível executar a simulação via *software*.

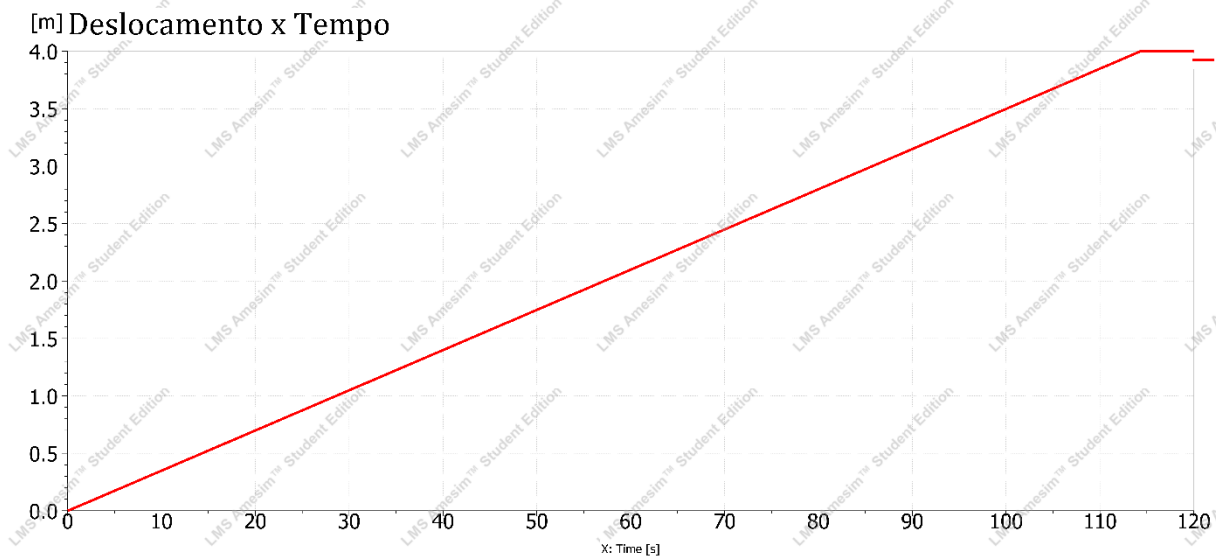
Figura 11: Velocidade de avanço do cilindro x tempo (muito próxima da encontrada pela equação)



Fonte: Do autor (2020)

Por meio da fig. 11 é possível perceber que o sistema apresentou um resultado dentro do desvio padrão esperado (conforme apresentado na eq. 11), partindo do pressuposto que os dados de entrada estão de acordo com a aplicação, que prevê uma carga máxima de 13.300 kg, segundo a equação da força resultante para cada cilindro aplicado.

Figura 12: Deslocamento do cilindro x tempo



Fonte: Do autor (2020)

Analisando a fig.12 é possível verificar o a relação do cilindro pelo tempo. Neste caso, o cilindro avança os 4 metros em cerca de 112 segundos, conforme apresentado na eq. 12. Após selecionar o modelo a ser simulado foi necessário implementar o mesmo visando resultados como demonstrados nas figs. 11 e 12, buscando a validação das equações por meio de uma simulação de um sistema dinâmico (Peplow, 2010).

4.5. COMPARATIVO DAS EQUAÇÕES, TESTES PRÁTICOS E SIMULAÇÃO

Buscando validar o que foi feito no AMESim até então, foi comparado os valores encontrados nas equações. Conforme pode ser verificado na fig. 12, os resultados são similares entre os testes práticos e o resultado da simulação, desta forma foi possível confirmar se o desvio padrão foi aceitável ou não. Tendo uma comparação com resultados próximos, pode-se considerar que o sistema modelado se torna confiável para propor mudanças para simular um novo equipamento.

Figura 13: Medições experimentais no circuito hidráulico: a) medição de vazão volumétrica e b) medição de pressão.



Fonte: Do autor (2020)

O teste prático de vazão foi efetuado por meio do aparelho chamado *senso control*, da Parker conforme fig. 13, onde o aparelho capaz de medir algumas unidades de bombas de diversos modelos. Neste caso em específico o resultado encontrado foi dado em Lpm. No mesmo teste foi simulado com uma pressão aproximada de 130 bar, cujo qual é a mesma pressão de trabalho do sistema.

Tabela 2: Comparativo da velocidade de avanço e deslocamento total

Método	Equação	Simulado	Unidade
Velocidade de avanço	3,56	~ 3,5	cm/s
Tempo de deslocamento total	112,35	~112	s

Fonte: Do autor (2020).

O comparativo apresentado na tab. 02 resgata os valores encontrados anteriormente por meio da equação de velocidade do cilindro e do resultado da simulação tendo como base os dados de entrada da bomba e do cilindro, conforme figuras 06 e 07. Lembrando que estes dados foram retirados do projeto original do equipamento e desta forma apresentam a realidade.

Tendo em vista que os resultados coincidiram, o próximo passo será efetuar mudanças na simulação, buscando a otimização do processo. Lembrando que as opções de otimização, necessitam de viabilidade financeira e de fornecimento.

4.6. SELEÇÃO DOS PONTOS A SEREM OTIMIZADOS

Desde o início da pesquisa e do projeto e ideia foi buscar uma melhoria no equipamento hidráulico visando a redução de custo direta ou indireta. A redução direta seria a substituição de algum equipamento no sistema por algum outro que possua um valor reduzido sem comprometer a segurança e funcionamento do conjunto. A redução indireta poder ser por exemplo a redução do tempo de processo de descarga, podendo assim admitir mais descargas no mesmo dia ou então a redução do consumo de energia elétrica, por exemplo.

Com o objetivo de reduzir custos ou valor agregado, os componentes que serão analisados e modificados serão o motor elétrico e a bomba, onde serão submetidos a valores de modelos comerciais e que estejam dentro da faixa de uso. Tais alterações servirão para comparação de resultados.

4.6.1. ALTERANDO OS DADOS DE ENTRADA DA BOMBA MANTENDO O MOTOR

Para poder aumentar o deslocamento volumétrico da bomba primeiramente é necessário verificar até onde podemos seguir, tendo em vista que o motor elétrico possui limites a serem respeitados. Para isto será utilizada a eq. 06 para determinar o deslocamento máximo que a bomba pode atingir mantendo um coeficiente de segurança no motor.

$$qv = (36,77.600) \div (130.0,85)$$

$$qv = \sim 200 \text{ [Lpm]}$$

$$Vg = 117,64 \text{ [cm}^3\text{/rev]}$$

Posteriormente a vazão da bomba que o motor elétrico suporta, é necessário encontrar a nova velocidade de avanço dos cilindros, por meio da eq. 11.

$$v = 3,33/130,7.1000.2$$

$$v = 12,7 \text{ [cm/s]}$$

Com os dados calculados torna-se possível encontrar o tempo total de avanço dos cilindros, baseado na alteração do deslocamento da bomba, utilizando a eq. 12.

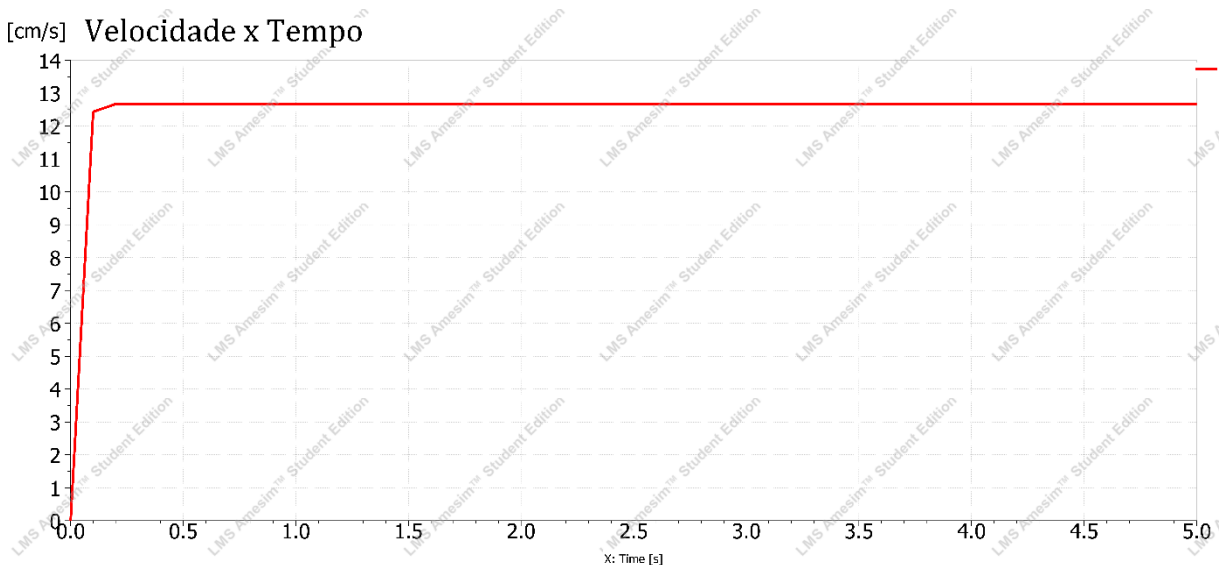
$$t = (4000 \div 10) \div 12,7$$

$$t = 31,5 \text{ [s]}$$

Após encontrar os novos valores para a bomba sem que seja alterado o motor elétrico é necessário entrar com o novo dado da bomba no sistema modelado no AMESim, mantendo os dados nos outros itens (válvulas e cilindros) para que somente a bomba seja alterada neste primeiro momento.

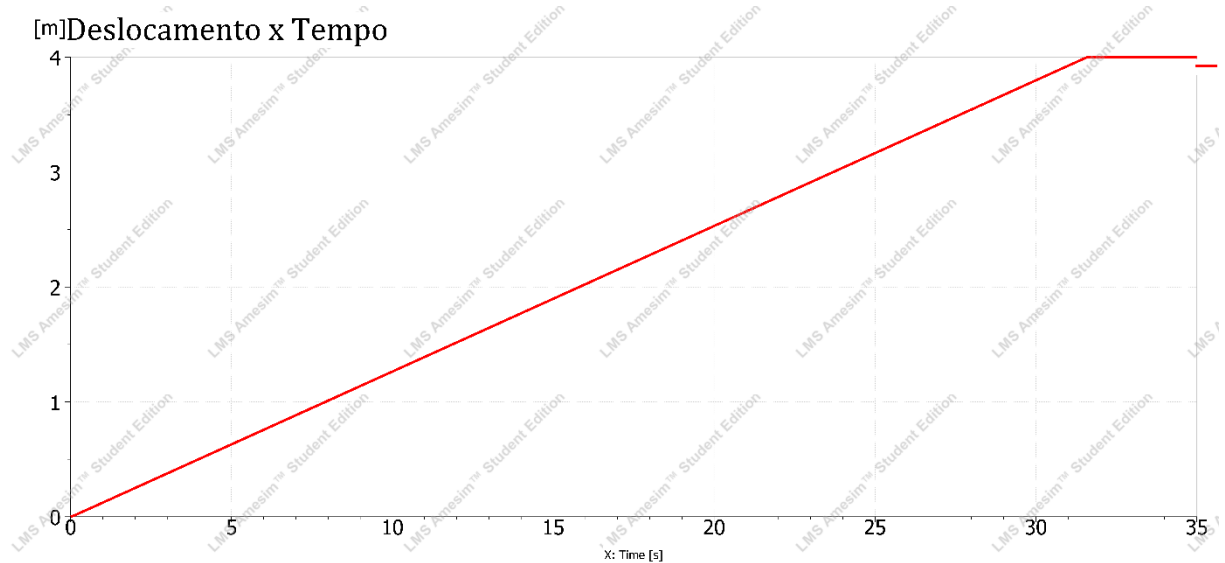
Seguindo o mesmo passo a passo que foi feito na primeira simulação de validação, a próxima etapa será simular o modelo e conseguir o resultado da nova velocidade do cilindro e posteriormente é necessário efetuar uma comparação com a original.

Figura 14: Nova velocidade de avanço do cilindro



Fonte: Do autor (2020)

Figura 15: Novo deslocamento x tempo do cilindro



Fonte: Do autor (2020)

As figs. 14 e 15 representam respectivamente a simulação da velocidade do cilindro assim como o deslocamento do mesmo, utilizando o novo deslocamento volumétrico da bomba. A modelagem de dados e a simulação buscando a otimização são formas de reduzir o tempo no processo industrial, visando um atendimento amplo aos clientes, com qualidade e alcançando maior número de atendimentos diários. Para isso, se torna necessário ter em mãos os valores originais e posteriormente compara-los aqueles que serão simulados (Cassel, 2007).

4.6.2. AUMENTANDO A VAZÃO DA BOMBA E REDUZINDO O MOTOR ELETRICO

A última alteração a ser testada será a de reduzir o motor elétrico de tal modo que atenda a demanda de uma bomba hidráulica com capacidade de reduzir o tempo de operação, o que deve ser feito Por meio da velocidade de avanço do cilindro, ou seja, de 3,56 cm/s para aproximadamente 7 cm/s. Para isto, iniciamos calculando a vazão e deslocamento da bomba a ser requisitada neste caso, utilizando a eq. 11.

$$qv = 7.131$$

$$qv = 917.2$$

$$qv = 110 \text{ [Lpm]}$$

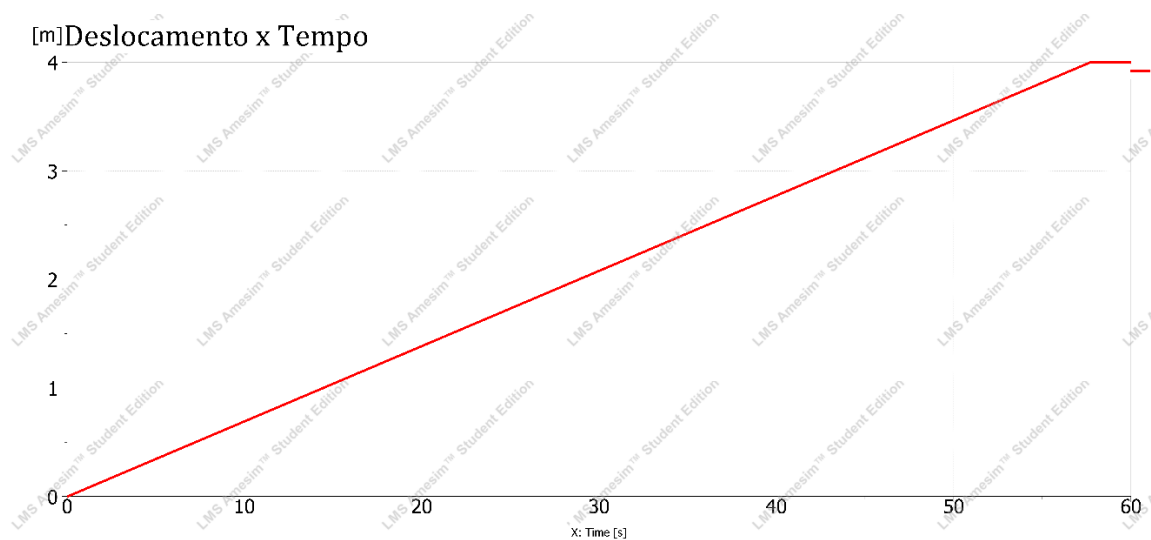
$$Vg = 64,7 \text{ [cm}^3\text{/rev]}$$

Dispondo da nova velocidade de avanço do cilindro, é possível encontrar o novo tempo de processo, que antes era de 112 segundos e com a nova velocidade o tempo reduziu para 57 segundos de processo, por meio da eq. 12.

$$t = (4000 \div 10) \div 7$$

$$t = 57,14 \text{ [s]}$$

Figura 16: Deslocamento x tempo do cilindro



Fonte: Do autor (2020)

A fig. 16 representa o deslocamento encontrado através da eq. 12, que resulta em um tempo de 57 segundos para completar os 4 metros do curso do cilindro.

Com a informação da vazão da bomba e mantendo as demais informações, será calculado mais uma vez a potência do motor elétrico, utilizando o coeficiente mecânico de 0,85, necessário para este caso, utilizando a eq. 06.

$$N_a = 130.112.0,85 \div 600$$

$$N_a = 19,3 \text{ [Kw]}$$

A potência necessária do motor elétrico supondo uma bomba que supra a necessidade é de no mínimo 19,3 kW. Neste caso será considerado um motor de 30 cv, equivalente a 22,1 kW.

A economia gerada a partir da redução de um componente elétrico pode parecer irrisória quando o número está ‘sozinho’, porém quando é levado em conta os dias da semana, do mês e do ano, esse número se torna muitas vezes assustador. O motor elétrico é um exemplo clássico, onde a economia do mesmo está ligada diretamente a sua potência, que assim que reduzida pode trazer grandes benefício para a indústria quando o assunto é economia de energia elétrica (Gaspar, 2018).

4.6.3. REDUZINDO O MOTOR ELÉTRICO E MANTENDO A BOMBA ORIGINAL

O objetivo desta alteração é basicamente comparar o consumo do motor elétrico original e calcula se é possível substituir por um motor de menor consumo. Caso seja possível, qual a economia será gerada. Para isso, é necessário encontrar o motor com menor potência necessária para atender a demanda da bomba mantendo o coeficiente dos mesmos e a vazão de 57 Lpm (33 cm³/ver) referente a vazão utilizada originalmente, utilizando a eq. 06.

$$N_a = 130.57.0,85 \div 600$$

$$N_a = 10,5 \text{ [Kw]}$$

Neste caso será considerado um motor de 15 Cv, equivalente a 11,1 kW. A substituição de motores elétricos na rede de armazenamento de grãos é um processo relativamente simples de ser efetuado quando há um estudo por trás do processo. Como já comentado, a redução na potência ‘extra’ de tal componente gera um número final muito expressivo quando levado em conta os 12 meses do ano. Seja este no acionamento da descarga ou até mesmo na própria armazenagem dos grãos (Pereira, 2007).

4.6.4. PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO

Tendo atingido o objetivo de propor alterações e melhorias no equipamento chegou o momento de selecionar o melhor caso entre os 3 propostos anteriormente. Para isto, serão levados em consideração 3 pontos:

- Novo consumo elétrico
- Aumento ou redução de custo inicial

- Aumento ou redução no tempo de processo

Tabela 3: Consumo de energia elétrica dos motores elétricos

01	Valor kW x Hora R\$1,80	Motor 36,77 kW	Motor 22,1 kW	Motor 11 kW
02	Valor por hora em R\$	65,99	39,78	19,80
03	Valor por dia de trabalho (12h) em R\$	791,86	477,36	237,60
04	Valor de um mês de trabalho em R\$	23.755,68	14.320,80	7.128,00

Fonte: Do autor

Na tab. 3 constam os valores teóricos de consumo de energia elétrica de cada motor. Não necessariamente os valores citados representam o consumo, pois este valor varia de acordo com a demanda, então vale ressaltar que tais valores foram utilizados com a carga máxima dos motores, ou seja, para este caso foi adotado cada motor utilizando sua potência máxima e baseado no valor de R\$ 1,80 de kW x hora.

Tabela 4: Comparativos em R\$ dos motores elétricos e bombas hidráulicas

Item	Componente	Valores	Unidade	Valor em R\$
01	Motor elétrico 1	37	Kw	17573,00
02	Motor elétrico 2	22	Kw	8900,00
03	Motor elétrico 2	11	Kw	4900,00
04	Bomba hidráulica 01	200	LPM	6800,00
05	Bomba hidráulica 02	110	LPM	5200,00
06	Bomba hidráulica 03	50,5	LPM	3900,00

Fonte: Do autor

A tab. 4 refere-se aos valores de venda ao cliente dos motores elétricos, ou seja, esse é o valor que constaria na cotação individual do equipamento, assim como refere-se aos valores das bombas e segue o mesmo padrão mencionado anteriormente, com valores de venda do produto.

Tabela 5: Tempos e diferenças entre o tempo de avanço original do cilindro

Item	Variáveis	Solução 01	Solução 02	Solução 03
01	Tempo de avanço [s]	31	57	112
02	Diferença [s]	- 81	- 55	0

Fonte: Do autor

A tab.5 conta dispõe dos resultados de tempos de avanço de cada caso. Neste caso as diferenças encontram-se no deslocamento da bomba ou potência do motor elétrico e toma-se como valor de comparação o ciclo original de 57 segundos de avanço dos cilindros.

Há uma necessidade de efetuar uma comparação de resultados pois por meio desta forma é possível visualizar com mais facilidade qual é a melhor opção a ser selecionada. Por meio de tabelas fica simples de verificar o resultado, porém, é verdade que é preciso um conhecimento técnico e também conhecimento do processo que está sendo estudado para pode escolher o melhor caso dentre os apresentados (Button, 2012).

Fazendo uma análise inicial, percebe-se que a solução 01 apresenta uma redução considerável de 72 % no tempo de avanço dos cilindros, porém este mesmo caso possui um aumento de consumo de energia elétrica e o custo inicial também aumenta. A solução 02 apresentou uma redução de 50% e possui consumo e valor inicial menores em relação a primeira solução apresentada. Já o terceiro caso o consumo e valor inicial são os menores da análise, porém não há ganho no tempo de processo, e isso também há de ser levado em consideração.

Levando em consideração que o grão começa a escoar quando a plataforma se encontra em 10° (Mocelin, 2012) que é cerca de 25 % do tempo total de avanço do cilindro, torna-se necessário levar esse dado em consideração frente as opções de otimização. Isso significa que não há necessidade de a plataforma subir de forma muito rápida sendo que o grão possui um tempo de escoamento. Traduzindo para outras palavras, não necessita chegar ao fim de curso e o grão ainda estar escoando, isso seria considerado perda de energia.

Tendo em vista que hoje o processo todo leva em torno de 2 minutos para ocorrer, a melhor opção dentre as 3 apresentadas é a opção de número 2, onde é proposto que seja aumentado a vazão da bomba em 56 % e reduzido a potência do motor elétrico para atender a demanda da nova bomba. Desta forma, há uma redução em todos os pontos originais, pois a redução de consumo de energia elétrica, redução de custo inicial do motor e aumento do tempo de avanço do cilindro.

A opção selecionada possui um ponto negativo que é o valor maior inicial da bomba, pois o deslocamento é maior em relação ao projeto original. Nesse caso

vale ressaltar que não há necessidade de mexer no tamanho do reservatório pois se trata de um regime intermitente, onde há um alto tempo de execução entre um avanço e outro do cilindro hidráulico, e desta forma não há problemas com o aquecimento.

5. CONCLUSÃO

Com os valores encontrados e comparados entre o processo original e o otimizado, pode-se inferir as seguintes conclusões:

- Como o consumo de energia elétrica está ligada diretamente a potência do motor elétrico, muitas vezes a melhor solução para a economia é alterar este componente, desde que isso não prejudique o funcionamento e segurança do conjunto.
- A bomba hidráulica está ligada diretamente a velocidade de avanço do cilindro, ou seja, caso for alterada a vazão da bomba, influenciará na velocidade. Isso significa que a bomba em conjunto com o motor elétrico torna-se um componente em possibilidade de alteração, visando a otimização.
- A ideia inicial (antes de efetuar a simulação) seria de aumentar a bomba hidráulica até o limite de segurança do motor, porém no decorrer da pesquisa foi visualizado que talvez esse não seja o melhor caminho para a otimização do projeto, pois conforme apresentado o sistema possui algumas relevâncias a serem levadas em consideração na seleção dos componentes do circuito.
- A primeira opção propõe que seja mantido o motor elétrico de 50 CV e que seja elevada a vazão da bomba até o limite de segurança do motor, buscando um aumento na velocidade de avanço do cilindro e conseqüentemente a redução do tempo de processo. Porém, este caso não foi selecionado por ter um maior custo inicial e maior consumo de energia elétrica, e por conta do escoamento do grão não há uma redução do tempo que justifique os aumentos dos custos citados.
- Na segunda opção, citada como a melhor das 3 soluções, tendo com proposta a redução da potência do motor elétrico e aumento da vazão da bomba, equalizando ambos em um coeficiente de segurança. Essa se torna a melhor opção pois além de reduzir o tempo de avanço em relação ao original, há uma redução considerável no consumo de energia e uma pequena redução no custo inicial do equipamento.
- Já na terceira e última opção, propõe que seja reduzida a potência do motor elétrico e seja mantida a vazão da bomba do projeto original, visando uma redução de custo

inicial e energia elétrica. Esta opção também se torna viável por conta da grande redução no consumo, porém levando em consideração que o equipamento não opera em um período integral no ano, a opção de reduzir o tempo de processo torna-se mais agradável.

- A simulação via *software* foi de grande importância para que fosse possível visualizar que nem sempre o melhor caminho para otimizar um processo visando custos, é alterar diretamente na bomba de um equipamento hidráulico por conta das variáveis existentes. O *software* auxiliou também a visualizar o modelo do diagrama de uma forma mais simplificada, sendo possível definir os principais pontos do equipamento que poderiam ser alterados visando a otimização.
- O aprendizado obtido por meio do software, sem dúvida proporcionará uma diferença no futuro para futuros projetos. Por meio deste é possível modelar diagramas com mais facilidade e obter resultados de forma mais eficaz e veloz, tendo em vista que há um entendimento um pouco mais aprofundado no mesmo.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Richard de Medeiros Castro, pelo aprendizado compartilhado que foi de suma importância para a execução da pesquisa e que ficará por todo o tempo me acompanhando na jornada de engenharia, ao colega de trabalho Everton Zanatta pelas dúvidas sobre o processo pesquisado e dúvidas técnicas. Também agradeço a minha família e namorada pelo incentivo durante toda a jornada e paciência nos momentos difíceis.

6. BIBLIOGRAFIA

BUTTON, S. T. (2005). Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados. São Paulo.

Cassel, G. L., & Vaccaro, G. L. R. (2007). A Aplicação de simulação-otimização para a definição do mix ótimo de produção de uma indústria metal-mecânica. XXVII Encontro Nacional de Engenharia–ENEGEG. Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu.

CATÁLOGO ELETRÔNICO: Hatami, H. (2006). Coletânea de fórmulas hidráulicas.

De Negri, V. J. (1987). Modelagem de servomecanismos hidráulicos e simulação de um servomecanismo mecânico-hidráulico.

Durfee, W., Sun, Z., & Van de Ven, J. (2009). Fluid power system dynamics. *Center for Compact and Efficient Fluid Power*.

FATEC. Simulação de operação de descarga de soja numa possível super safra (2008)

Furst, F. L. (2001). Sistematização do projeto preliminar de circuitos hidráulicos com controle de posição.

Gaspar, C. (2004). Eficiência energética na indústria. Cursos de eficiência Energética, ADENE.

MOCELIN, Luis Gustavo. MOCELIN, Daline Andressa Scheida. Dimensionamento de um Tombador Hidráulico. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 03, Ed. 11, Vol. 08, pp. 82-92 Novembro de 2018. ISSN:2448-0959

MURARO, I. Verificação dos princípios hidrostáticos em controle de posição em malha fechada para acionamentos hidráulicos. 2006. 134 p. p. Monografia (Projeto de Fim de Curso) Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Palmieri, A.C. "Manual de hidráulica básica" Albarus sistemas hidráulicos 10 ed., 329p

Rigoni, E., Sanches, P., & da Silva, J. C. Peplow, L. A., (2010). Base de Conhecimento para Aplicação no Ensino de Modelagem e Simulação de Sistemas de Engenharia. In *Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*.

Sanches, P. da Silva, J. C. ABORDAGEM WEB PARA ORIENTAR A MODELAGEM E SIMULAÇÃO DINÂMICA UNIDIMENSIONAL DE SISTEMAS DE ENGENHARIA.

SAUR, 2013, Plataforma de descarga de grãos.

SILVA, J. C. D. Virtual Environment for Dynamic Modelling of Multi-Domain Systems. 18th International Congress of Mechanical Engineering. Ouro Preto: ABCM. 1 2005.

Szpak, R. (2008). Análise teórico-experimental do comportamento das pressões em posicionadores hidráulicos.

Teixeira, C. A., Oliveira Filho, D., Martins, J. H., Lacerda Filho, A. F., & Pereira, H. A. (2007). Racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos. *Revista Engenharia na Agricultura*, 15, 81-95.

Teixeira, P. L. (2015). Análise teórico experimental de prensa dobradeira hidráulica controlada por bomba-motor com velocidade variável.

Vale, A. F. D. (2017). Dimensionamento de uma unidade de potência hidráulica para uma bancada de conformação mecânica.

Vigolo, V. (2018). Estudo teórico-experimental para auxílio no dimensionamento de sistemas de atuação pneumáticos.

LISTA DE SÍMBOLOS

$(V_h/Be.pc/dt).d$	[---]	Efeito da compressibilidade no fluido
A	[cm ²]	Área
A_1	[cm ²]	Área do êmbolo
c	[mm]	Curso do cilindro
F_1	[N]	Força de avanço
F_2	[N]	Força de retorno
F_a	[μ]	Força de atrito
F_u	[N]	Carga máxima suportada pelo cilindro
M	[N.m]	Torque de acionamento
n	[RPM]	Rotações por minuto
N_a	[kW]	Potência de acionamento
p	[bar]	Pressão operacional
Q_s	[Lps]	Vazão em Litros por segundo
q_v	[Lpm]	Vazão da bomba hidráulica
R	[mm]	Raio
t	[s]	Tempo
v	[cm/s]	Velocidade
V_g	[cm ³ /rev]	Deslocamento volumétrico
η_{ges}	[---]	Rendimento total
η_{mh}	[---]	Rendimento hidráulico mecânico
η_{vol}	[---]	Rendimento volumétrico
A_2	[cm ²]	Área da coroa
$Cin. (p_s - p_c)$	[---]	Vazamento para a câmara do volume de controle
V	[m ³]	Volume
dV_h/dt	[---]	Variação do volume no lado do êmbolo
q_{m_A}	[Lpm]	Vazão de entrada
q_{m_B}	[Lpm]	Vazão de saída
ρ	[kg/m ³]	Massa específica do fluido