

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA E MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

MARCELO BRESSAN DE SOUZA
MARCUS MAESTRELLI

**ESTUDO DE UMA MINI VÁLVULA HIDRÁULICA DIRECIONAL
PROPORCIONAL ACIONADA POR SERVO MOTOR RÁDIO
CONTROLADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2015

MARCELO BRESSAN DE SOUZA
MARCUS MAESTRELLI

**ESTUDO DE UMA MINI VÁLVULA HIDRÁULICA DIRECIONAL
PROPORCIONAL ACIONADA POR SERVO MOTOR RÁDIO
CONTROLADO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Celso Salamon

CURITIBA
2015

TERMO DE APROVAÇÃO

MARCELO BRESSAN DE SOUZA
MARCUS MAESTRELLI

ESTUDO DE UMA MINI VÁLVULA HIDRÁULICA DIRECIONAL PROPORCIONAL ACIONADA POR SERVO MOTOR RÁDIO CONTROLADO

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 27 de maio de 2015, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Esp. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Gilmar Lunardon
UTFPR

Prof. Esp. Sidney Carlos Gasoto
UTFPR

Prof. Dr. Celso Salamon
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

*À minha família que,
amando-me, se priva da minha companhia
para que eu alcance minhas próprias conquistas.*

AGRADECIMENTO

Agradeço à UTFPR pelo apoio, pela oportunidade de utilização liberada dos laboratórios e materiais necessários para a realização deste Trabalho.

Ao Prof. Dr. Celso Salamon que, com boas ideias e belos “puxões de orelha”, imprimiu à palavra orientação o seu verdadeiro significado.

À minha família a confiança que sempre depositaram na minha capacidade e competência e principalmente, por me ensinar que amor, caráter, educação e valores são elementos indispensáveis na vida de um homem. Amo vocês!

Estudo de uma mini válvula hidráulica direcional proporcional acionada por servo motor rádio controlado.
Orientador, Prof. Dr. Celso Salamon. – Curitiba-PR, 2015.

RESUMO

BRESSAN, Marcelo / MAESTRELLI, Marcus. **Estudo de uma mini válvula hidráulica direcional proporcional acionada por servo motor rádio controlado.** 2015. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Este trabalho trata do estudo de uma válvula proporcional de baixo custo comandada por um rádio controle.

Inicialmente fez-se uma revisão bibliográfica das válvulas direcionais proporcionais industriais e das opções alternativas.

Na sequencia importou-se uma válvula tripla acionada por um servomotor rádio controlado.

Montou-se um experimento conforme ilustração, (figura 7), para obtenção de dados sobre a resposta do atuador hidráulico com relação aos sinais de entrada comandados pelo rádio controle. As informações foram compiladas, analisadas e expostas através de dois gráficos.

Ao final do trabalho verificou-se que a válvula importada substitui em partes em algumas aplicações a válvula industrial, abrindo caminho para inúmeras aplicações, tais como brinquedos, modelismo, fins didáticos e também um leque muito grande para o estudo e aperfeiçoamento desta.

Palavras-chave:

Sistemas proporcionais. Rádio controle. Válvulas proporcionais. Sistemas hidráulicos.

ABSTRACT

BRESSAN, Marcelo / MAESTRELLI, Marcus. **Study of small hydraulic proportional directional valve actuated by servo motor radio controlled.** 2015. 36 f. Term paper (Degree in Industrial Technology in Mechatronics), Electronics and Mechanical Academic Departments of, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2015.

This work is about the study of a low cost proportional valve.

First of all, was made a literature review of industrial proportional directional valves and alternative options.

After that, one triple valve actuated by servo motor radio controlled was imported.

An experiment it was assembled as (figure 7), to obtain data on the response of the hydraulic actuator with respect to inputted signals commanded by radio control, all this information was compiled, analyzed and shown by two graphs.

At the end of the work was found that the imported valve replaces partially some applications of the industrial valve, it could be the start for many applications such as toys, modeling, teaching purposes and also a very large range for the study and improvement of this technique.

Key-words:

Proportional systems. Radio control. Proportional valves. Hydraulic systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metodologia aplicada neste projeto	15
Figura 2 – Esquema de montagem do experimento.....	16
Figura 3 – Orientação em sala de aula, Prof. Orientador Celso Salamon	17
Figura 4 – Válvula direcional proporcional de carretel com dois solenoides	19
Figura 5 – Modelos construtivos das válvulas servo-proporcionais utilizadas.....	20
Figura 6 – Micro servomotor.....	22
Figura 7 – Experimento montado	26
Figura 8 – Detalhes da troca de conexões importadas por nacionais	30
Figura 9 – Válvula proporcional com acionamento elétrico	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela das médias dos valores dos dados coletados	27
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de proporcionalidade do conjunto testado.....	28
Gráfico 2 – Curva de vazão da válvula testada.....	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVO GERAL.....	14
1.2.1	Objetivos específicos.....	14
2	METODOLOGIA	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
4	RECURSOS E RISCOS	24
5	EXPERIMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	25
5.1	CARACTERIZAÇÃO TEÓRICA – EXPERIMENTAL	25
5.2	ESTUDO DE CASO.....	27
5.3	ANÁLISE E ALTERAÇÕES MECÂNICAS.....	30
5.4	ANÁLISE DOS CUSTOS.....	31
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Para atender as necessidades e perspectivas de novos projetos há uma demanda crescente de novas tecnologias e novos produtos. Neste contexto a união da eletrônica e hidráulica tem originado sistemas de controle de força, velocidade e pressão que permitem o desenvolvimento de equipamentos e máquinas mais versáteis e eficientes.

O termo “hidráulica” é uma palavra que vem do grego, e é a união de hydra = água, e aulos = condução / tubo, que surgiu há centenas de anos. Esta é, portanto, uma parte da física que se dedica a estudar o comportamento dos fluidos em movimento e em repouso. É responsável pelo conhecimento das leis que regem o transporte, a conversão de energia, a regulação e o controle do fluido agindo sobre suas variáveis (pressão, vazão, temperatura, viscosidade, etc.).

A hidráulica pode ser dividida em hidrostática que trata dos fluidos pressurizados e a hidro cinética, que estuda os fluidos em movimento.

A hidráulica (hidrostática) por suas características passou a ser usada largamente no setor industrial e móbil, em produtos ou nas fábricas que usam máquinas de médio e grande porte para processar e movimentar os mais variados materiais. O desenvolvimento de indústrias como a automobilística que utiliza a hidráulica tanto no produto como na sua fabricação, estão intrinsecamente associados à evolução do conhecimento e aplicação desta tecnologia. Na indústria sempre que sejam necessários, força, robustez e precisão a hidráulica se mostra como opção muito favorável.

Os sistemas hidráulicos de controle de posição têm uma enorme aplicabilidade nos mais diversos campos da engenharia, sendo destinados principalmente para o controle de grandes potências onde sejam requeridas confiabilidade, rapidez e eficiência (VON LINSINGEN, 2008).

Uma das vertentes recentes de acionamentos hidráulicos é o desenvolvimento de equipamentos miniaturizados para aplicações em modelismo e em sistemas de tecnologia assistiva dentre outros.

Este trabalho está focado no estudo para o desenvolvimento de um produto hidráulico de pequeno porte explorando a força e potência da hidráulica com o controle e precisão proporcionados pela eletrônica.

Outra vertente deste trabalho é a possibilidade de popularização da tecnologia proporcional devido ao baixo custo de acionamento desta tecnologia em estudo, através do uso de servomotores utilizados em modelismo que são produzidos em larga escala.

1.1 JUSTIFICATIVA

A realização deste trabalho é baseada e fundamentada na necessidade de inovações em Micro Sistemas Hidráulicos Rádio Controlado muito pouco explorado no Brasil. Nestas tecnologias há uma tendência do uso destes sistemas em modelismo e tecnologias assistivas, porém, uma das limitações é o custo, que no sistema industrial é muito caro. O estudo e desenvolvimento de um micro sistema hidráulico direcional proporcional usando como acionamento, servomotores e controle de aeromodelismo produzido em larga escala e baixo custo, pode vir a ser um vetor de popularização da aplicação desta tecnologia. Este trabalho além do estudo de caso que será apresentado propiciará um enriquecimento intelectual aos autores na área de hidráulica através do desenvolvimento deste projeto.

1.2 OBJETIVO GERAL

Estudar as variações da proporcionalidade de uma válvula Direcional Proporcional de pequeno porte, 4/3 vias com centro fechado, acionada por servomotor rádio controlado, levantando dados para um futuro projeto.

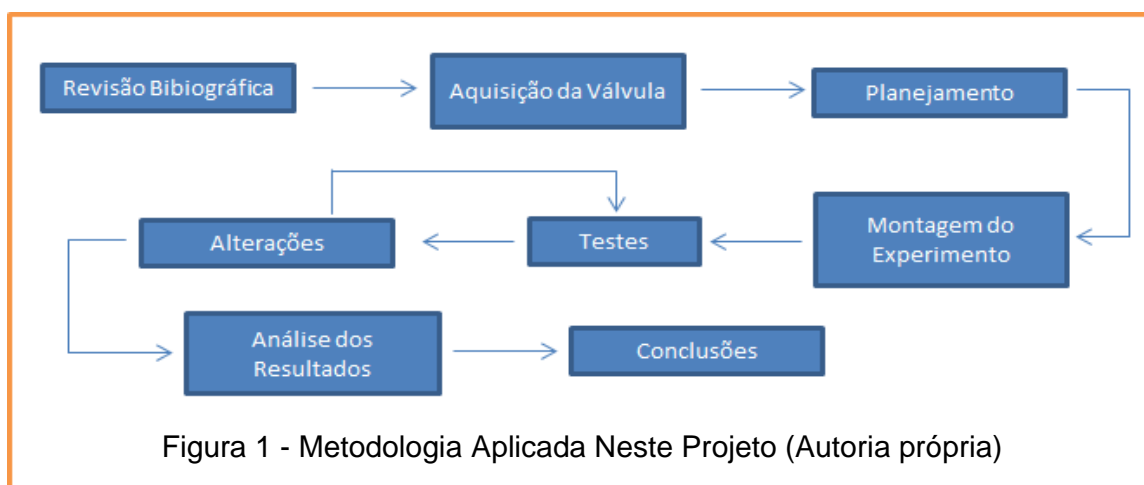
1.2.1 Objetivos Específicos

- Revisar a Tecnologia em questão.
- Testar uma válvula de mercado.
- Estudar suas funções.
- Construir os gráficos de resposta com relação aos sinais de entrada.
- Fazer eventual alteração na válvula em questão.

2 METODOLOGIA

Do ponto de vista da abordagem ela é qualitativa, pois envolve apenas um estudo de caso. Em relação aos objetivos específicos, ela é predominantemente descritiva. Quanto aos procedimentos técnicos ela se utiliza de pesquisas bibliográficas, experimentais e documentais (SILVA; MENEZES, 2005).

Este trabalho será desenvolvido conforme sequencia abaixo apresentada (figura 1).



A partir de uma válvula direcional proporcional com acionamento por servo motor radio controlado, serão realizados testes funcionais, levantamento de dados bem como eventuais alterações necessárias para melhorias de suas funcionalidades.

O experimento consistirá em acionar um mini atuador usando inúmeros sinais de entrada, através do controle remoto do servomotor acoplado à válvula em estudo (figura 2). Para cada sinal de entrada aplicado será analisado e registrado a velocidade de resposta do atuador. Para este experimento será utilizado uma mini unidade hidráulica do laboratório de Hidráulica da UTFPR.

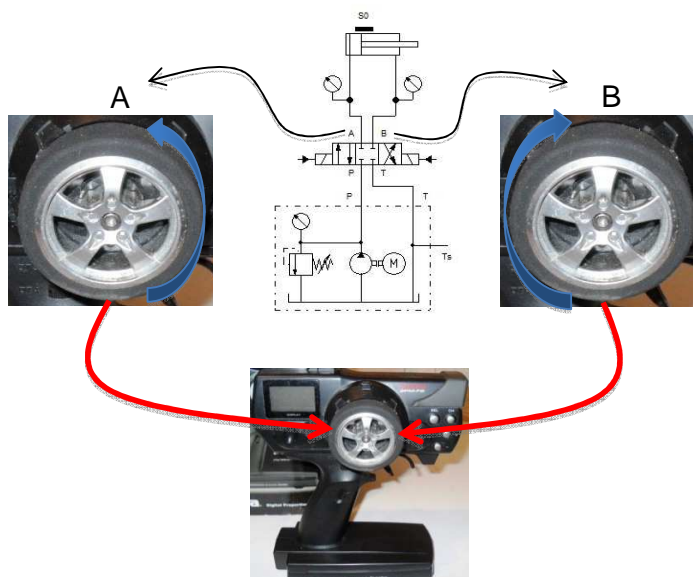


Figura 2 – Esquema de Montagem do Experimento (Autoria própria)

Os dados adquiridos serão plotados em um gráfico representando a correlação entre o sinal de comando e a resposta da válvula, o que possibilitará quantificar e analisar as características de proporcionalidade de válvula em questão.

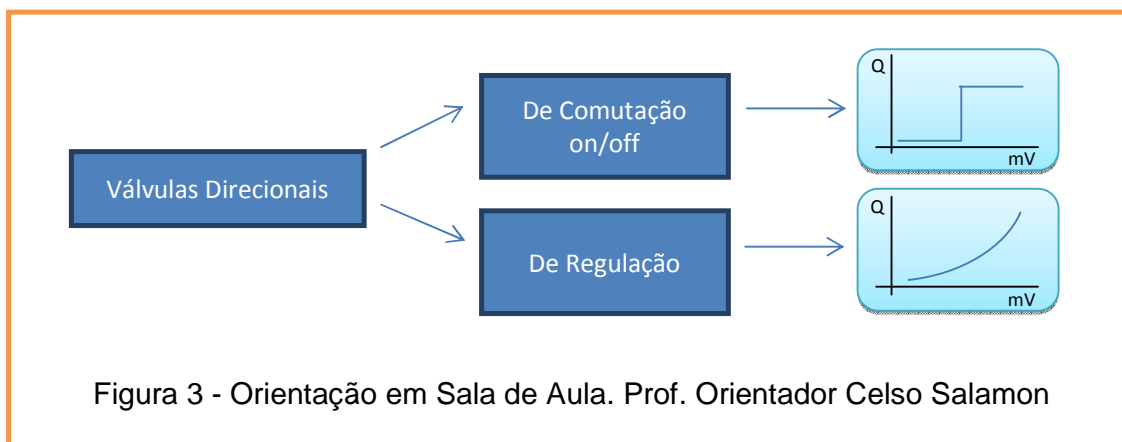
Também serão analisados aspectos construtivos, conexões e possibilidades de adquirir os diversos componentes no mercado nacional.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tendo em vista a competitividade de mercado e a demanda cada vez maior de formas de controlar forças e torques com precisão, faz-se necessário a união de áreas distintas para alcançar um mesmo fim, suprimindo essas exigências. A precisão de movimentos, forças e torques agregados aos respectivos pontos operacionais, representam a solução ideal para essa questão. Tais características figuram como grandes vantagens da hidráulica. (FURST; DE NEGRI, 2002).

As evoluções tecnológicas dos setores elétrico, eletrônico e de informática, contribuem decisivamente para a concepção de máquinas e de equipamentos hidráulicos cada vez mais precisos, culminando em processos de automatização nas mais diversas áreas, que aliam perfeição, segurança e principalmente qualidade.

Quanto às Válvulas Direcionais aplicadas em hidráulica, comumente encontram-se válvulas de comutação (*on/off*) e de regulação (Proporcionais e Servoválvulas), conforme (figura 3), abaixo indicada.



A evolução da técnica da automatização com comandos hidráulicos iniciou-se no âmbito das válvulas direcionais proporcionais, como as válvulas de comando (função *on/off*), cujos carretéis não podem assumir posições intermediárias.

Com a evolução da tecnologia (mecânica, eletrônica e sensores), foram desenvolvidas e aplicadas nas indústrias e na hidráulica de aviação, as válvulas de ação permanente ou servoválvulas, conforme descrito no parágrafo abaixo, com função linear. Porém, o elevado custo e sensibilidade desse tipo de válvula limitou sua aplicação somente onde não se podia mais utilizar as válvulas de comando. (MANRING, 2005).

Assim surge a necessidade de se desenvolver um grupo de válvulas que ocupassem a posição intermediária entre as válvulas de comando e servoválvulas, essas válvulas são denominadas de válvulas proporcionais. Pertencente ao grupo das válvulas de ação permanente, as válvulas direcionais proporcionais têm características de tempo ajustável que permite qualquer posição intermediária, dependendo do sinal de entrada. (MANRING, 2005).

As válvulas de controle proporcionais são usadas em sistemas hidráulicos para garantir uma precisa modulação e controle de todo o sistema, provendo a interface entre o elemento gerador de potência hidráulica e o dispositivo de atuação (cilindro). A válvula é o componente que recebe o comando do operador ou de outra fonte automática de controle e ajusta o sistema adequadamente. Este comando é utilizado para proporcionar uma saída controlável do circuito hidráulico, posição do cilindro, ou simplesmente fornecer a segurança necessária ao trabalhar-se com sistemas hidráulicos de alta pressão (MANRING, 2005).

As válvulas de controle contínuo direcionais permitem o controle do direcionamento do fluido de um modo contínuo em resposta a um sinal contínuo de entrada, podendo este ser de natureza mecânica, hidráulica, pneumática ou, seguindo a tendência atual, elétrica (corrente ou tensão) (SZPAK, 2008 e DE NEGRI, 2002).

A classificação destas válvulas se dá primeiramente pelo número de linhas de vazão (2, 3 ou 4) disponíveis para utilização. Destaca-se a utilização das válvulas de

4 vias em sistemas de controle de posição, pois permite o controle do sentido de movimentação em cilindros de dupla ação (ANDRIGHETTO, 1996).

As válvulas proporcionais movem seu carretel de maneira diretamente proporcional a um sinal de comando. Diferentemente das servoválvulas, as proporcionais podem ou não possuir meio automático de correção de erro de posicionamento (realimentação) internamente à válvula. Elas apenas usam um ou dois solenoides (figura 4), para mover o carretel em oposição a um conjunto de molas balanceadas. A repetibilidade do posicionamento do carretel é uma função da simetria das molas e da habilidade do projeto em minimizar efeitos não lineares como histerese e atrito (RAMOS FILHO, 2007).

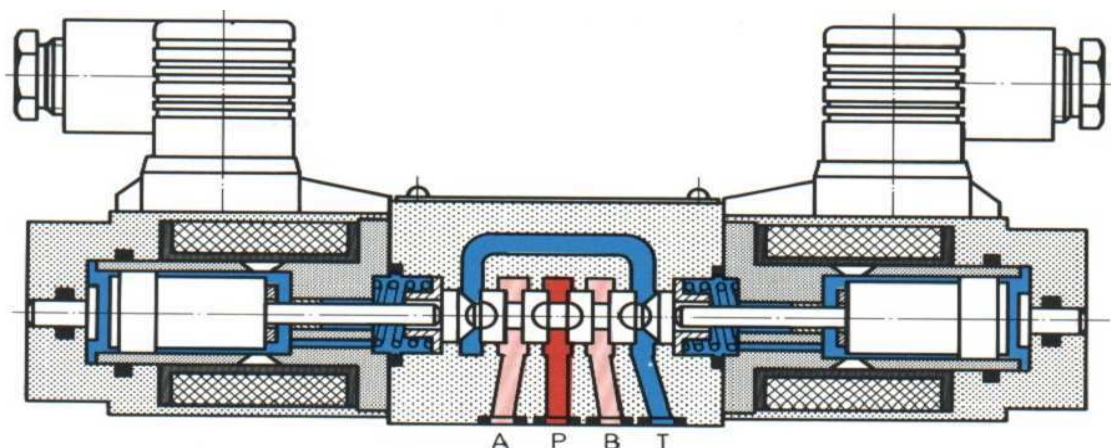


Figura 4 – Válvula direcional proporcional de carretel com 2 solenoides (RAMOS FILHO, 2007)

As válvulas servoproporcionais utilizam também um transdutor de posição cuja função é medir continuamente a posição do núcleo do solenoide, permitindo o controle do deslocamento do carretel por meio de realimentação elétrica. Com isto é possível eliminar o erro associado produzido por fatores variáveis, como perturbações causadas por forças resistivas de escoamento, atrito, etc., aumentando a repetibilidade e a exatidão da válvula, necessárias para aplicações de controle de alto desempenho. Além disto, tais válvulas usualmente possuem camisa para melhorar suas características dimensionais. Com isto as válvulas servoproporcionais conseguem competir com as servoválvulas, apesar de alguns exemplares destas últimas ainda apresentarem uma resposta dinâmica superior à das válvulas servoproporcionais de mesmas características de vazão. Esta diferença se dá

devido à grande massa da armadura do solenoide e à elevada constante de tempo associada ao solenoide, que é uma função da indutância e resistência de sua bobina. (RAMOS FILHO, 2007).

As válvulas que atualmente são utilizadas e objetos em questão deste trabalho, que se propõe em miniaturizá-las além da implementação de um servocontrole eletroeletrônico em sua função de controle proporcional, apresentam a configuração conforme imagem mostrada abaixo, (figura 5).



Figura 5 – Modelos construtivos das válvulas servoproporcionais utilizadas (NACHTWEY, 2006).

Apesar de apresentar uma melhor resposta dinâmica, as servoválvulas são mais caras e apresentam algumas desvantagens em relação às válvulas servoproporcionais, tais como alta sensibilidade a contaminantes e grandes vazamentos internos. Em sistemas de controle de posição, a aplicação de servoválvulas é indicada quando ocorrem grandes vazões no sistema. (NACHTWEY, 2006).

Em relação à simetria, as válvulas podem ser classificadas como simétricas ou assimétricas. As válvulas simétricas fornecem o mesmo valor de vazão independentemente se o sinal de entrada for positivo ou negativo, e seu emprego está associado a cilindros também simétricos. Já as válvulas assimétricas diferem na

vazão fornecida de acordo com o posicionadores eletro-hidráulicos de sinal de entrada, positivo ou negativo, e seu emprego esta associado a cilindros assimétricos, onde a relação de área da válvula deve ser igual a relação de área do cilindro (FURST; DE NEGRI, 2002).

As válvulas de controle contínuo direcionais são classificadas também de acordo com a sua forma construtiva, podendo apresentar tipo de acionamento com solenoides proporcionais (válvulas proporcionais), solenoides proporcionais com realimentação de posição (válvulas servoproporcionais ou servosolenoides) e acionamento com motor-torque (servoválvulas). Estas diferentes nomenclaturas são originárias do tipo de acionamento e também devido às características comportamentais (DE NEGRI, 2001).

Outro item fundamental para a viabilidade deste projeto é o servo motor. O servo motor é muito empregado como recurso na otimização de máquinas e equipamentos. A história desse mecanismo se iniciou antigamente, onde em navios o regulador do motor a vapor foi considerado como sendo o primeiro servo motor. O servo motor foi utilizado em um dispositivo de controle de posição na direção de navios, onde foi projetado e desenvolvido para mover o leme do SSGreat Eastern em 1866, o motor de vapor tinha característica de um servomecanismo moderno, ou seja, uma entrada, uma saída, um sinal de erro, e um dispositivo de reação negativa para corrigir o erro a zero (FIALHO, Arivelto 2006).

Outros registros interessantes relacionados à evolução histórica do servo motor foram constatados no século XIX. O estudo do emprego de servomotores vem desde a Segunda Guerra Mundial, quando buscavam evolução em tudo que era feito. Nesse processo de melhoria estava diretamente relacionado o aumento de demanda Industrial, e conseqüentemente a melhoria das máquinas até então utilizadas. A melhor maneira encontrada foi executar o *Retrofitting* das mesmas utilizando servo motores, os quais são muito utilizados nesse sentido de melhoria, devido a sua dinâmica, controle e precisão. Depois desse fato, em 1888, foram aplicados e desenvolvidos servomecanismos elétricos no tele autografo (pequeno aparelho telegráfico) de Elisha Gray, importante engenheiro elétrico estadunidense.

Durante a Segunda Guerra Mundial, eles foram aplicados em controladores de fogo, ajustando o ângulo de tiro e a proporção ar-combustível. Além de aplicações de cunho bélico na Segunda Guerra Mundial, foram desenvolvidos servomecanismos de controle de incêndio elétrico, usando no controle em válvulas de vácuo. Após aplicações na Segunda Guerra Mundial, foi registrado o maciço uso do servo motor na área de informática, (figura 6), em seus primeiros estágios de desenvolvimento.

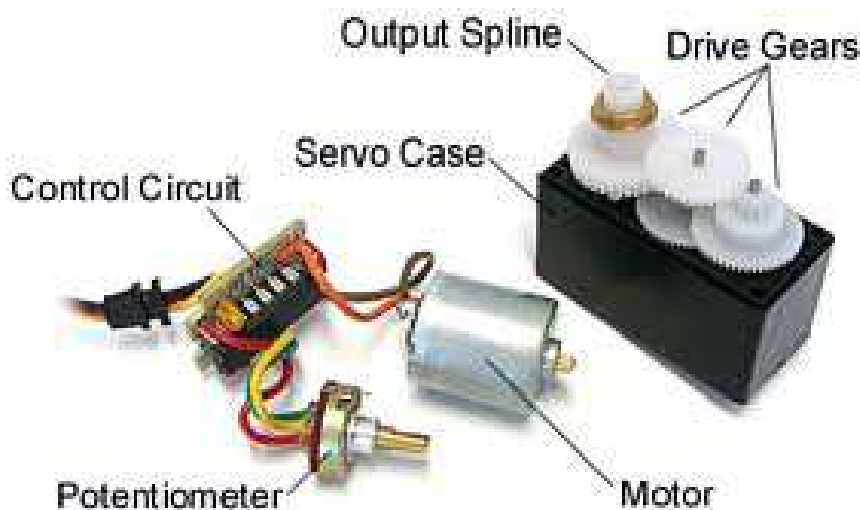


Figura 6 - Micro Servomotor (FIALHO, Arivelto 2006)

A constante busca por melhoria trouxe a necessidade de controle de processo, esse foi possível através de atuadores com realimentação e como monitoramento de posição, velocidade e torque. Tal controle depende de uma série de requisitos como a dependência de um servo conversor dedicado a cada servo motor. Uma das principais vantagens do servo motor é a possibilidade de controlar o torque no eixo, de forma constante e em larga faixa de rotação. Os servomotores podem ser classificados como AC Síncrono, o qual depende da realimentação a partir de um resolver, ou AC Assíncrono que se assemelha a um motor trifásico gaiola de esquilo convencional, dependendo da realimentação obtida por um encoder e o Servo motor DC, esse bastante semelhante a um motor DC comum. (FIALHO, Arivelto 2006).

O Servomotor é um dispositivo eletromecânico que possui uma parte fixa (estator) e outra móvel (rotor), como muitas outras máquinas síncronas. O estator

possui bastante semelhança ao de uma máquina elétrica convencional, porém com restrições quanto à alimentação, como será verificado posteriormente. O rotor é composto por ímãs permanentes, os quais são posicionados alinhadamente sobre o rotor e com o controlador, ou gerador de sinais, chamado de resolver. (FIALHO, Arivelto 2006).

Este trabalho propõe-se ao estudo de válvulas com características das válvulas proporcionais conforme apresentadas anteriormente porém com a utilização de um servomotor de baixo custo como apresentado ao final da revisão.

4 RECURSOS E RISCOS

Para o desenvolvimento deste projeto, serão utilizados os recursos do laboratório de hidráulica da UTFPR e eventualmente alguns recursos de outros laboratórios do DAMEC.

Os riscos materiais de implementação deste projeto são mínimos considerando que os componentes já foram adquiridos ou já estão disponibilizados no laboratório de hidráulica da Instituição.

5 EXPERIMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO TEÓRICA – EXPERIMENTAL

A implementação prática e a verificação experimental da proporcionalidade da mini válvula hidráulica direcional proporcional acionada por um servomotor radio controlado (figura 2), foram realizados utilizando uma das bancadas hidráulicas disponíveis na UTFPR. Laboratório de hidráulica, conforme ilustração, (figura 7). Esta bancada é composta pelos componentes abaixo ilustrados:

1. Bancada de Trabalho;
2. Mini Unidade Hidráulica;
3. Tomador de Pressão com Manômetro Glicerinado;
4. Mini Mangueiras Hidráulicas com \varnothing 4 mm;
5. Mini Válvula Hidráulica Direcional Proporcional;
6. Conexões e Engates Rápidos;
7. Mini atuador Hidráulico \varnothing do embolo 16 mm com curso de 50 mm;
8. Mini atuador Hidráulico \varnothing do embolo 8 mm com curso de 80 mm;
9. Servomotor Rádio Controlado;
10. Rádio Controle de 27 MHz;
11. Receptor de Sinal com Cristal de 27.095 MHz;
12. Conjunto de Baterias para Alimentação do Sistema 12 Vcc + 6 Vcc;
13. Escala, passiva de calibração, de 400 mm, e
14. Cronômetro, passivo de Calibração.

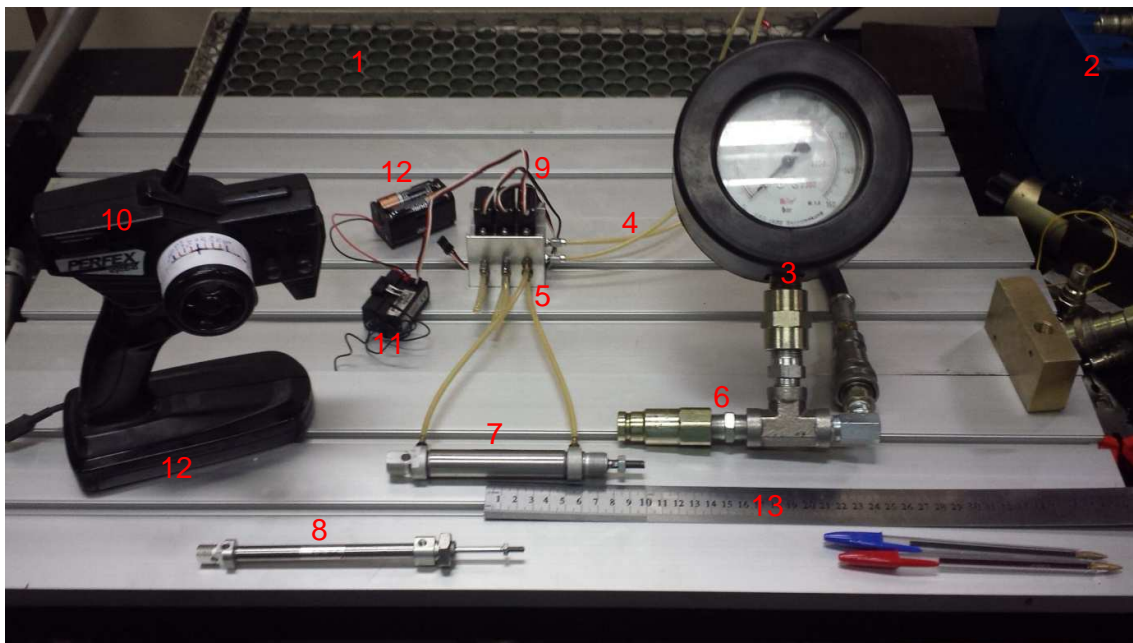


Figura 7 – Experimento Montado (Autoria própria)

O experimento consistiu-se de:

- a) Estudo das características de válvulas com acionamento por servo motor
- b) Especificação de um produto comercial
- c) Levantamento de custos
- d) Importação
- e) Experimentação
- f) Alteração do produto
- g) Análise dos resultados, comparação de custos entre os produtos nacionais existentes e os importados, além da viabilidade da aplicação didática e em brinquedos.

5.2 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso, consistiu na obtenção dos dados (tabela 1), que geraram os gráficos 1 e 2, para demonstrar a proporcionalidade da mini válvula hidráulica direcional. Os dados foram obtidos através do acionamento do comando do radio controle, partindo de 20% do range até o range total, sempre incrementando de 20%. Por consequência disto, houve a movimentação da haste do mini cilindro hidráulico de forma constante, e pela medição do deslocamento desta em função do tempo descobriu-se a velocidade média do percurso. Repetindo este procedimento com diferentes velocidades do comando do rádio controle obteve-se dados suficientes para montar a curva de proporcionalidade desta mini válvula em questão. Manteve-se a pressão da bomba constante em 10 bar de pressão, como a área do cilindro ($S1=201,062e-6 \text{ m}^2$) e a velocidade máxima da haste ($V1 = 0,0241546 \text{ m/s}$) são conhecidos, pode-se calcular a vazão máxima do sistema: $[Q = V1 * S1] = (0,3 \text{ lpm})$.

Sinal	Padrão	Cil 01	Cil 02	Cronômetro
Comando	Linear	desloc (mm)	desloc (mm)	Tempo (s)
0%	0	0	0	0
20%	10	6,5	8	0,828
40%	20	14,75	17	1,656
60%	30	24,5	26,75	2,484
80%	40	35,75	38	3,312
100%	50	50	50	4,14

Tabela 1 – Tabela das médias dos valores dos dados coletados (Autoria própria)

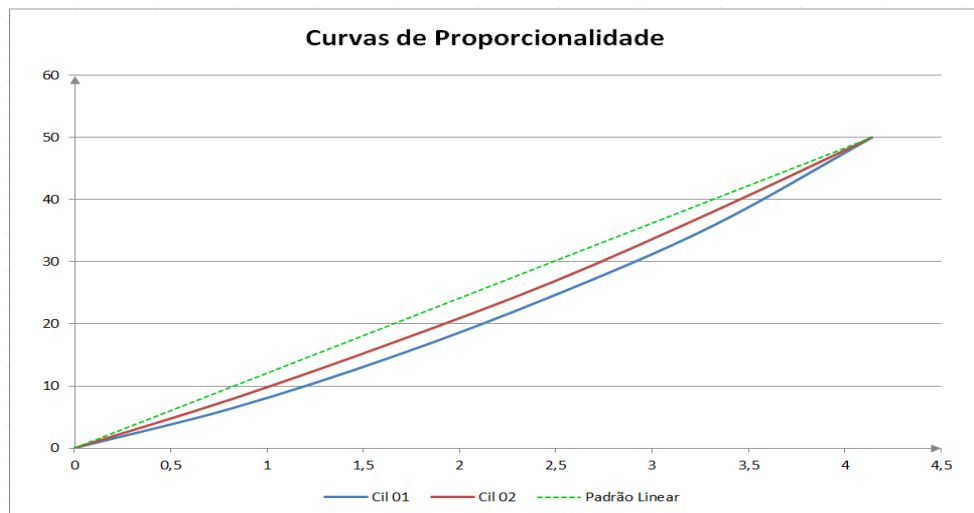


Gráfico 1 – Curva de proporcionalidade do conjunto testado (Autoria própria)

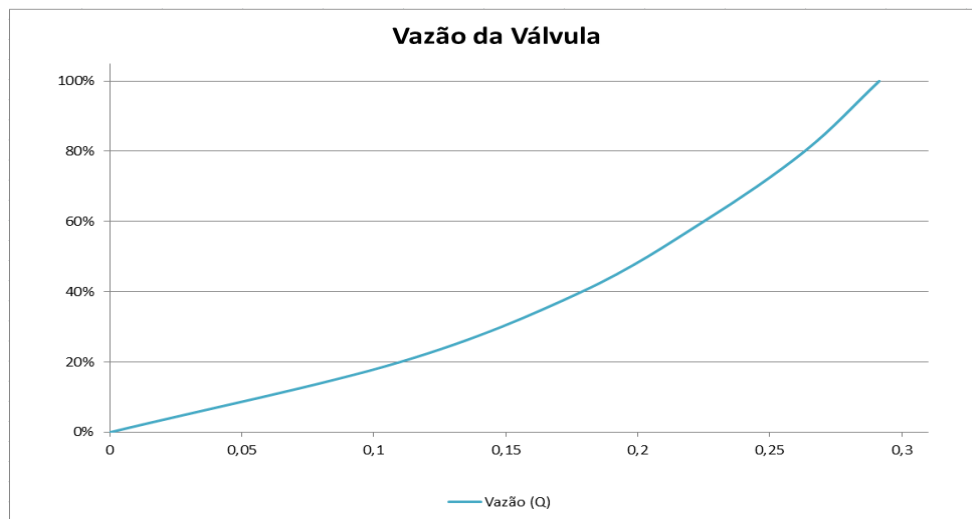


Gráfico 2 – Curva de vazão da válvula testada (Autoria própria)

Diante da importância da avaliação dos aspectos comportamentais da mini válvula direcional proporcional, faz-se necessário explicitar que os aspectos a seguir mencionados não foram levados em conta, por não serem o estudo alvo deste trabalho.

- Frequência Natural;
- Razão de Amortecimento;
- Erro de Zero (offset);
- Ganho de Pressão;
- Zona Morta (ZM) e
- Histerese.

O ajuste do centro hidráulico da válvula é fundamental para evitar erros de posicionamento em regime permanente. Muitos projetistas corrigem este erro utilizando um controlador PI, sendo que uma simples correção no *offset* da válvula já seria suficiente para garantir ótimos resultados. No caso da aplicação deste tipo de válvulas de controle o ajuste desta variação pode ser feito usando o *trimming* do rádio controle.

5.3 ANÁLISE E ALTERAÇÕES MECÂNICAS

Também fez parte do experimento, as alterações das conexões de uma das válvulas no bloco de alumínio, conforme ilustrado abaixo (figura 8), (corpo da válvula), testando a aplicação de conectores hidráulicos mais comuns do mercado nacional.

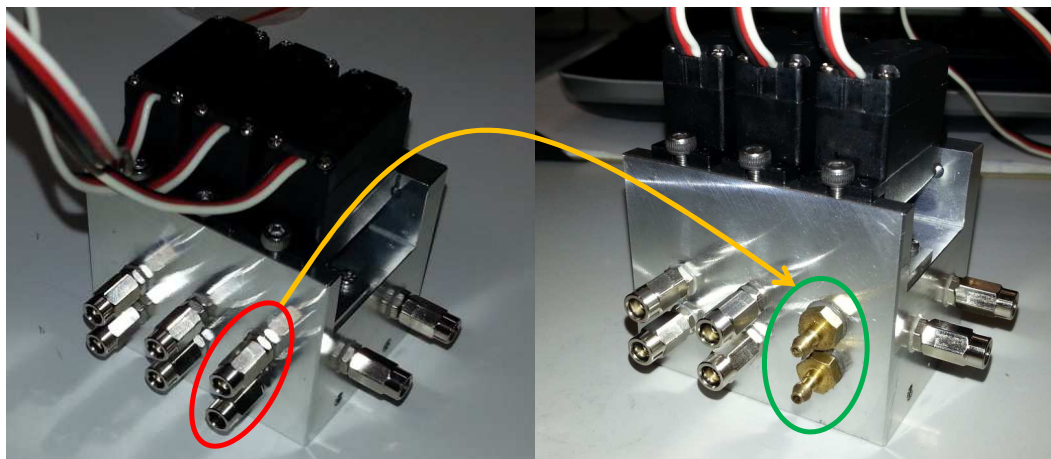


Figura 8 – Detalhes da troca de conexões importadas por nacionais (Autoria própria)

Esta substituição se fez necessária para avaliar novas possibilidades do produto, nova vazão e porque durante a desmontagem um dos conectores originais se rompeu colaborando com a ideia de fragilidade. Em dois pórtico de uma das válvulas foi aberta uma rosca M5 e instalado o conector de engate rápido nacional conforme ilustrado acima (figura 8). Tais alterações não modificaram substancialmente o desempenho da válvula.

As demais características mecânicas internas e externas observadas na válvula serviram de referência para estudos futuros.

5.4 ANÁLISE DOS CUSTOS

Analisando a viabilidade comercial do produto, (para aplicações simples ou baixo nível de desenvolvimento tecnológico), que foi o objeto de estudo deste trabalho, se comparado a uma válvula proporcional TN6, válvula direcional hidráulica com acionamento elétrico e duplo solenoide (figura 9), abaixo ilustrada.

Válvulas testadas: Custo do bloco *manifold* completo com 3 mini válvulas, 3 servomotores, todas as conexões de engate rápido além do emissor e receptor de rádio, já com a carga tributária de importação, taxas dentre outros foi de R\$920,00

Custo unitário de R\$307,00.

Já a válvula proporcional TN6 + amplificador pode ser encontrada no mercado nacional na faixa de preço entre R\$ 5500,00 a R\$ 7500,00.

Verifica-se uma expressiva diferença, onde no caso extremo pode chegar aos exorbitantes 2440% além do custo da válvula estudada neste trabalho.

Olhando deste ponto de vista, percebe-se a existência de um nicho de mercado até então pouco explorado, possivelmente muito lucrativo e com grandes possibilidades de desenvolvimentos no âmbito didático, com o devido aprimoramento, possíveis aplicações em modelismo e demais brinquedos do ramo dentre outros e numa perspectiva mais otimista no setor industrial.



Figura 9 – Válvula proporcional com acionamento elétrico (Autoria própria)
Conjunto utilizado no Laboratório de Hidráulica da UTFPR

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As respostas demonstradas, obtidas através dos modelos anteriormente apresentados como modelos lineares e proporcionais, no caso sem carga, não foram satisfatórios se comparados com o padrão linear, pois com ambos os atuadores apresentou-se oscilações que de certa forma constantes, mas não em relação à proporcionalidade linear desejada.

O estudo conduzido neste Trabalho de Conclusão de Curso apresentou de maneira sucinta e detalhada algumas das principais características de válvulas proporcionais e, por meio de experimentos e simulações, foram evidenciadas as variações de proporcionalidade, no caso, não linear, do modelo estudado.

Apesar da curva de proporcionalidade apresentada não ser 100% linear, este tipo de produto pode vir a ser viável em aplicações didáticas, brinquedos e equipamentos de baixa resolução/confiabilidade.

Este conceito de produto pode ser aprimorado à medida que o rádio controle e o servo evoluem, o que deve proporcionar aplicações com pressões maiores, um aumento significativo na confiabilidade e precisão possivelmente permitindo o uso em aplicações além de brinquedos e modelismo.

A válvula analisada e estudada além de bastante simples e barata, apresentou um curva de proporcionalidade suficiente para entendimento inicial da tecnologia proporcional.

Para aplicações simples, seu custo é significativamente menor se comparado com as válvulas industriais que encontramos no mercado nacional, possibilitando uma gama de produtos que antes eram inviáveis.

Verifica-se uma expressiva diferença, onde no caso extremo o custo pode chegar a 2440% além do custo da válvula estudada neste trabalho.

O uso deste tipo de equipamento se justifica pela possibilidade de baixo custo.

Fica claro que a válvula testada ainda não substitui a atual tecnologia empregada no meio industrial, porém há um espaço considerável para aplicações

como na didática, brinquedos, tecnologia assistiva onde a proporcionalidade apresentada já satisfaz as exigências dos problemas.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados e conclusões obtidos com este trabalho, algumas sugestões para trabalhos futuros são mencionadas a seguir:

- Verificar a influência da zona-morta de válvulas no erro de posicionamento ou de proporcionalidade de sistemas eletro-hidráulicos. Analisar a eficiência de métodos de compensação de zona morta na correção deste erro e efeitos no comportamento do sistema;

- Estudos detalhados dos possíveis erros causadores desta não linearidade na proporcionalidade da válvula estudada;

- Implementar nos modelos não-lineares características de sensibilidade e histerese em válvulas proporcionais e estudar detalhadamente os possíveis erros causados na proporcionalidade do sistema;

- Realizar experimentos de posicionadores eletro-hidráulicos com massas acopladas em condições de operações onde haverá trabalho;

- Fazer simulações e experimentos com outros tipos de controladores rádio controlados, verificando a influência destes no comportamento proporcional do sistema e comparando os resultados obtidos com aqueles descritos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDRIGHETTO, Pedro Luís. Posicionador eletro-hidráulico controlado por válvula proporcional direcional. 1996. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

DE NEGRI, Victor Juliano. Sistemas hidráulicos e pneumáticos para automação e controle – parte III – sistemas hidráulicos para controle. Apostila. Florianópolis: UFSC, 2001.

FIALHO, Arivelto Bustamante. Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos, 4ª edição. São Paulo 2006.

FURST, Fernando L., DE NEGRI, Victor J.. Projeto de sistemas hidráulicos de controle de posição. Apostila. Florianópolis: 2002.

MANRING, Noah D.. Hydraulic Control Systems. New Jersey: John Wiley ADN Sons, 2005.

NACHTWAY, Peter. Choosing the right valve. Hydraulics & Pneumatics Magazine, Cleveland, v. 59, n. 3, p. 30, 32, 34, 36. Mar. 2006.

RAMOS FILHO, José R. B.. Modelagem de um Sistema de Posicionamento Hidráulico e Análise de seu Comportamento sob Carga. 2007. 110 f. Monografia (Projeto de Fim de Curso). Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, Edna L.; MENEZES, Estera M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <http://www.eap.ap.gov.br/poseducacao/arquivo/metodologia_de_pesquisa.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2014.

SZPAK, Rodrigo. Análise Teórico-Experimental das Pressões em Posicionadores Hidráulicos. 2008. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

VON LINSINGEN, Irlan. Fundamentos de Sistemas Hidráulicos. 3. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2008. 399 p. (Didática).

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA Federal do Paraná. **Procedimento para elaboração de trabalho de conclusão de curso.** Disponível em: <
<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/electronica/cursos/tectelecom/tcc>>.
Acesso em: 05 mar. 2014

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA Federal do Paraná. **Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos/** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. - Curitiba : UTFPR, 2008.