

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS IV – ARAXÁ-MG

ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ROGER SANTOS ALVARENGA

**ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE ACIONAMENTO DE
CIRCUITOS HIDRÁULICOS**

ARAXÁ

2016

ROGER SANTOS ALVARENGA

ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE ACIONAMENTO DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador:

Prof. Me. Alexandre Dias Linhares

ARAXÁ

2016



Serviço Público Federal
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL/ ARAXÁ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC – ATA DE DEFESA

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL do aluno *Roger Santos Alvarenga*

Às 18h00 do dia 23 de junho de 2016, reuniu-se, no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG/ Unidade Araxá, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado **ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE ACIONAMENTOS DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS** como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Engenheiro de Automação Industrial. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Me. Alexandre Dias Linhares, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final.

Após a reunião da Banca Avaliadora, o candidato foi considerado: APROVADO Com nota final de: 93 / 100.

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. O aluno abaixo-assinado declara que o trabalho ora identificado é da sua autoria material e intelectual, excetuando-se eventuais elementos, tais como passagens de texto, citações, figuras e datas, desde que as mesmas identifiquem claramente a fonte original, explicitando as autorizações obtidas dos respectivos autores, quando necessárias. Declara ainda, neste âmbito, não estar a violar direitos de terceiros.

Roger Santos Alvarenga
Nome do aluno

Roger Santos Alvarenga
assinatura

Araxá, 23 de junho de 2016.
local e data

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou os trabalhos e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Araxá, 23 de junho de 2016.

Alexandre Dias Linhares
Prof. Me. Alexandre Dias Linhares(Orientador)

Alexandre Moraes de Oliveira
Prof. Dr. Alexandre Moraes de Oliveira

Marcos Cícero Faria da Silva
Prof. Me. Marcos Cícero Faria da Silva

José Lerin
Engenheiro José Lerin

DEDICO ESTE TRABALHO

*À minha mãe Ana Aprígida dos Santos (in memoriam),
que sempre me incentivou a lutar e correr atrás dos meus sonhos e que, seja onde
ela estiver, sei que ainda está olhando e torcendo por mim.*

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e saúde para poder lutar dia-a-dia em busca de meus objetivos, iluminando todos os caminhos e me fazendo percorrer sempre o caminho correto e justo.

Aos meus pais Ailton Antônio Alvarenga e Ana Aprígida dos Santos, irmão Lucas Santos Alvarenga e demais familiares que sempre me auxiliaram e nunca deixaram que as dificuldades da vida me abatessem e me fizessem desistir de lutar.

Ao meu amigo, professor e orientador (nessa ordem) Alexandre Linhares por abdicar de parte de seu tempo para poder me auxiliar na elaboração deste trabalho.

À instituição que proporciona um ambiente amigável e com perfeitas condições para o aprendizado.

À minha namorada Ana Cláudia Borges Martins que sempre foi muito companheira e compreensiva.

A todos os meus amigos e companheiros que de alguma maneira contribuíram com mais essa conquista em minha vida.

O sofrimento é passageiro, desistir é para sempre.

Lance Armstrong

RESUMO

Atualmente, o laboratório de acionamentos pneumáticos e hidráulicos do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, unidade Araxá-MG, possui, além de *softwares* de simulação computacional, bancadas dotadas de equipamentos suficientes para geração de sequências de acionamentos de atuadores hidráulicos ou pneumáticos. As sequências geradas são baseadas em lógicas a relé e sensores eletromecânicos. Este trabalho se baseia em uma lógica de programação em linguagem *Ladder* com a utilização de um Controlador Lógico Programável (CLP) tipo FC20 da FESTO para gerar tais sequências e ampliar as possibilidades de controle. Dessa forma, compararam-se as vantagens de se utilizar tais sistemas de acionamento a sistemas convencionais, como: flexibilidade, confiabilidade, agilidade, redução no número de componentes que constitui o sistema, entre outros. Espera-se que a utilização de programação em CLP poderá reduzir o número de componentes de um sistema de acionamento convencional, aumentar a confiabilidade do sistema, ampliar a disponibilidade e flexibilizar mais a produção. Um trabalho desta natureza (uso de CLP's em sistema eletrohidráulico) difunde a tecnologia na escola e posteriormente na indústria, popularizando seu uso. Além disso, acredita-se ser possível promover com maior intensidade as inter-relações entre diversos conteúdos ministrados no curso de Engenharia de Automação Industrial da instituição.

Palavras-chave: Acionamentos hidráulicos e pneumáticos. CLP. Diagrama Ladder.

ABSTRACT

Currently, the laboratory of pneumatic and hydraulic drives of the Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, Araxá-MG, besides computer simulation softwares, has stands with sufficient equipment for the generation of sequences of drives of hydraulic or pneumatic actuators. The generated sequences are based on logic relay and electromechanical sensors. This work is based on a logic programming in Ladder language with the use of a Programmable Logic Controller (PLC) type FC20 of FESTO to generate such sequences and extend the control possibilities. Therefore, the advantages of such drive systems using conventional systems, such as flexibility, reliability, responsiveness, reduction in the number of components that constitute the system, among others, have been compared. It is expected that the use of PLC programming can reduce the number of components of a conventional drive system, improve the system reliability, increase the availability and make the production more flexible. This sort of work (use of PLCs in electrohydraulic system) diffuses the technology in school and later in the industry, popularizing its use. In addition, it is believed to be possible to promote more intensively the interrelations between various contents taught in Industrial Automation Engineering course of the institution.

Keywords: Hydraulic and Pneumatic Drives. PLC. Ladder Diagram.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Engenho de cana de açúcar movido por uma roda d'água	17
Figura 2: CLP SLC 500	20
Figura 3: Princípio de Pascal.....	25
Figura 4: Atuador hidráulico de dupla ação	28
Figura 5: Atuador hidráulico rotativo.....	29
Figura 6: Bomba de engrenagens externas	30
Figura 7: Bomba de palhetas	31
Figura 8: Bomba de pistões radiais	32
Figura 9: Válvula de controle fluxo pilotada eletricamente	34
Figura 10: Simbologia de uma válvula de alívio	34
Figura 11: Representação de um reservatório	35
Figura 12: Manômetro tipo tubo de Bourdon	36
Figura 13: Filtros e elementos filtrantes	38
Figura 14: Linhas Estacionária – (a) Esmerilhadeira Cilíndrica Hidráulica e (b) Prensa Hidráulica	38
Figura 15: Linha Mobil.....	39
Figura 16: Estrutura básica de um CLP	42
Figura 17: Símbolos Ladder para bit's de entrada utilizados por alguns fabricantes de CLP's.....	43
Figura 18: Representação de bit's de saída em Ladder por alguns fabricantes de CLP's.....	44
Figura 19: Fonte de alimentação 24 Vcc.....	44
Figura 20: Bloco com 2 botões de impulso e 1 chave seletora	45
Figura 21: Bloco com 03 contatores.....	45
Figura 22: Bloco com 02 temporizadores.....	46

Figura 23: Microrruptor fim de curso	46
Figura 24: Cabos elétricos com pinos tipo banana de 4mm.....	47
Figura 25: Unidade hidráulica.....	48
Figura 26: Atuador hidráulico linear de dupla ação 38 x 300mm.....	48
Figura 27: Atuador hidráulico linear de dupla ação 38 x 200mm.....	48
Figura 28: Atuador hidráulico rotativo bidirecional.....	49
Figura 29: Válvula direcional 4/2 vias.....	49
Figura 30: Válvula direcional 4/3 vias.....	50
Figura 31: Mangueiras hidráulicas	50
Figura 32: FESTO FC20	51
Figura 33: Bancada Eletropneumática	52
Figura 34: Lista de endereços	53
Figura 35: Lógica de funcionamento seqüência A+B+A-B- contínuo	54
Figura 36: Montagem em bancada para a seqüência A+B+A-B- contínuo, acionada por CLP	54
Figura 37: Lógica de funcionamento seqüência A+B+B-A- contínuo	55
Figura 38: Montagem em bancada para a seqüência A+B+B-A- contínuo, acionada por CLP	55
Figura 39: Lógica de funcionamento seqüência A+B+C+B-A- contínuo (Parte 1).....	56
Figura 40: Lógica de funcionamento seqüência A+B+C+B-A- contínuo (Parte 2).....	56
Figura 41: Lógica de funcionamento seqüência A+B+C+B-A- contínuo (Parte 3).....	57
Figura 42: Montagem em bancada para a seqüência A+B+C+B-A- contínuo, acionada por CLP.....	57
Figura 43: Esquema de montagem para a seqüência A+B+A-B- CONTÍNUO.....	58
Figura 44: Esquema de montagem para a seqüência A+B+B-A- CONTÍNUO.....	59
Figura 45: Esquema de montagem para a seqüência A+B+C+B-A- CONTÍNUO.....	59

Figura 46: Montagem em bancada para a sequência A+B+A-B- contínuo, com acionamento Eletrohidráulico	60
Figura 47: Montagem em bancada para a sequência A+B+B-A- contínuo, com acionamento Eletrohidráulico	60
Figura 48: Montagem em bancada para a sequência A+B+C+B-A- contínuo, com acionamento Eletrohidráulico	61
Figura 49: Variação na quantidade de CLP's	62
Figura 50: Variação na quantidade de Cabos Elétricos	62
Figura 51: Variação na quantidade de contadores.....	63
Figura 52: Variação na quantidade de temporizadores.....	63
Figura 53: Sistema de acionamento por CLP para a sequência A+B+C+B-A- CONTÍNUO	64
Figura 54: Sistema de acionamento Eletrohidráulico para a sequência A+B+C+B-A- CONTÍNUO	65

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Tabela de conversão de unidades de Viscosidade Cinemática	23
Tabela 2: Classificação das bombas hidráulicas.....	33
Tabela 3: Lista de componentes	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	HIDRÁULICA.....	16
2.1.1	HISTÓRICO DA HIDRÁULICA.....	16
2.1.2	FLUIDOS HIDRÁULICOS.....	20
2.1.3	PRINCÍPIOS FÍSICOS BÁSICOS PARA COMPREENSÃO DA HIDRÁULICA.....	25
2.1.3.1	FLUIDO CONFINADO: HIDROSTÁTICA.....	25
2.1.3.2	FLUIDO EM MOVIMENTO: HIDRODINÂMICA.....	26
2.1.4	GRUPOS CONSTRUTIVOS DOS SISTEMAS HIDRÁULICOS.....	27
2.1.4.1	ATUADORES HIDRÁULICOS.....	27
2.1.4.1.1	ATUADORES LINEARES.....	27
2.1.4.1.2	ATUADORES ROTATIVOS.....	28
2.1.4.2	BOMBAS.....	29
2.1.4.2.1	BOMBAS DE ENGRENAGENS.....	29
2.1.4.2.2	BOMBAS DE PALHETAS.....	31
2.1.4.2.3	BOMBAS DE PISTÕES.....	32
2.1.4.2.4	CLASSIFICAÇÃO DAS BOMBAS HIDRÁULICAS.....	33
2.1.4.3	VÁLVULAS (CONTROLADORES E DISTRIBUIDORES).....	33
2.1.4.4	VÁLVULA DE ALÍVIO.....	34
2.1.4.5	ACESSÓRIOS.....	35
2.1.4.5.1	RESERVATÓRIO.....	35
2.1.4.5.2	TUBULAÇÕES.....	36
2.1.4.5.3	MANÔMETROS.....	36
2.1.4.5.4	FILTROS.....	37

2.1.5	DIVISÕES DA HIDRÁULICA INDUSTRIAL	38
2.1.6	SIMBOLOGIA HIDRÁULICA INDUSTRIAL	39
2.2	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLP'S).....	40
2.2.1	ARQUITETURA BÁSICA DE UM CLP	42
2.3	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO <i>LADDER</i>	43
3	MATERIAIS	44
3.1	COMPONENTES DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DO CIRCUITO HIDRÁULICO:.....	44
3.2	COMPONENTES DO SISTEMA HIDRÁULICO	47
4	METODOLOGIA	51
4.1	SEQUÊNCIAS COM ACIONAMENTO POR CLP	53
4.2	SEQUÊNCIAS COM ACIONAMENTO ELETROHIDRÁULICO	58
5	RESULTADOS	61
5.1	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	63
6	CONCLUSÃO.....	66
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

Devido à alta competitividade do mercado atual na indústria, há cada vez mais a necessidade de se produzir produtos de alta qualidade, atendendo ao cliente de maneira mais rápida e eficaz e de se reduzir os custos de produção. Em vista dessa motivação, o desenvolvimento de técnicas de produção e controle utilizando-se da junção de várias formas de transmissão de energia tem se tornado caminho viável para essas empresas. Isso porque, nas indústrias, atualmente, as formas de se produzir o movimento mais comumente encontradas são: Mecânica, Elétrica, Eletrônica, Pneumática e Hidráulica. Dessas, a “Hidráulica Industrial” é a forma de transmissão de energia que mais tem se aperfeiçoado dentro da indústria, desenvolvimento favorecido pela utilização de Controladores Lógicos Programáveis (CLP's), juntamente com a linguagem de programação *Ladder*, tornando os movimentos de elementos finais de controle mais rápidos e precisos.

Para se entender como essa forma de transmissão de energia ganhou tanto espaço na indústria, deve-se inicialmente compreender o que significa o termo Hidráulica. Conforme a Apostila Parker M1003-1 (2006, p. 4), o termo Hidráulica: “[...] derivou-se da raiz grega Hidro, que tem o significado de água, por essa razão entendem-se por Hidráulica todas as leis e comportamentos relativos à água ou outro fluido, ou seja, Hidráulica é o estudo das características e uso dos fluidos sob pressão”.

Para se ter a ideia da importância de sistemas hidráulicos na indústria, o texto introdutório da apostila de um fabricante traz a seguinte informação:

[...] um fluido confinado é um dos meios mais versáteis de modificar o movimento e transmitir força. É tão rígido quanto o aço, porém infinitamente flexível. Pode assumir instantaneamente todas as formas possíveis e introduzir-se em qualquer objeto que resista ao seu avanço. Pode se dividir em partes, cada qual realizando um trabalho de acordo com sua dimensão e, novamente, se reagrupar para trabalhar como um só corpo. Pode se movimentar rapidamente em um ponto e lento em outros. Nenhum outro meio é capaz de combinar o mesmo índice de positividade, exatidão e flexibilidade, mantendo a capacidade de transmitir um máximo de força num mínimo de espaço e peso (Prefácio do manual 935100-BR da Vickers).

Considerando essa definição, tem-se que o uso do óleo hidráulico se apresenta de forma mais adequada nos sistemas hidráulicos por permitir proteção e lubrificação

dos componentes. Além disso, como trata-se de um fluido com calor específico menor que a água, torna-se um importante elemento de dissipação do calor gerado no sistema.

Nessa medida, construir sequências de acionamentos em máquinas e dispositivos que operam baseados em circuitos hidráulicos significa ordenar a alimentação de receptores correspondentes. Baseando-se no ciclo de movimentos que se quer obter, a solução do problema consiste em obter um sistema apropriado, capaz de interligar cada receptor em questão com uma fonte de alimentação no momento e durante o tempo necessários. Portanto:

[...] é evidente que os sistemas de sequência são especialmente aptos para resolver problemas de automação programada e, portanto, muito convenientes para equipar máquinas destinadas a executar ciclos repetitivos ou com variantes, porém de todos os modos com caráter periódico (FIALHO, 2006, p.189).

A programação de sequências eletrohidráulicas é utilizada na indústria, com dispositivo e blocos de controle implementados no CLP. Atualmente, no laboratório de acionamentos pneumáticos e hidráulicos do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), campus Araxá-MG, além de *softwares* de simulação computacional, há bancadas dotadas de equipamentos suficientes para geração de sequências de acionamentos de atuadores hidráulicos ou pneumáticos. No entanto, as sequências geradas são baseadas em lógicas a relé e sensores mecânicos, eletrônicos e eletromecânicos. Este trabalho se baseia em uma lógica de programação em linguagem *Ladder* com a utilização de um CLP tipo FC20 da FESTO para gerar tais sequências de maneira a comparar as vantagens de se utilizar tais sistemas de acionamento quando comparadas a sistemas convencionais, como: flexibilidade, confiabilidade, agilidade, redução no número de componentes que constitui o sistema, entre outros. Portanto, o desenvolvimento deste trabalho se justifica, haja vista a necessidade de se comparar os modelos atuais de acionamento de sequências eletrohidráulicas, de modo a verificar a viabilidade desses modelos e de inserir essa nova forma de acionamento, com uso de CLP's, a fim de demonstrar as vantagens no uso dessa técnica.

A utilização de programação em CLP tipo FC20 da FESTO na geração de sequências complexas poderá reduzir o número de componentes de um sistema de acionamento convencional, aumentar a confiabilidade do sistema, ampliar a disponibilidade e flexibilizar mais a produção? Um trabalho desta natureza (uso de CLP's em sistema eletrohidráulico) difunde a tecnologia na escola e posteriormente na indústria, popularizando seu uso. Além disso, acredita-se ser possível promover com maior intensidade as inter-relações entre diversos conteúdos ministrados no curso de Engenharia de Automação Industrial na instituição na qual este trabalho está vinculado. O desenvolvimento deste trabalho possui como principal objetivo avaliar a confiabilidade e a flexibilidade de sistemas eletrohidráulicos acionados por CLP, comparando-os a projetos similares com outras formas de acionamento. De forma secundária, implementar sistemas eletrohidráulicos acionados por CLP em uma bancada de ensaios de eletrohidráulica e mostrar que um sistema eletrohidráulico acionado por CLP pode permitir facilidade e flexibilidade de montagem em máquinas por ser totalmente programável. Além disso, permitir a adaptação total ao ambiente industrial, contribuindo para a redução e a facilitação dos procedimentos de manutenção e alteração nas sequências de funcionamento.

Ao longo deste trabalho será mencionado um breve histórico sobre a hidráulica, fluidos hidráulicos e suas funções e propriedades, os princípios básicos para compreensão da hidráulica, os grupos construtivos dos sistemas hidráulicos e seus principais componentes, simbologia hidráulica industrial, também serão abordados os CLP's, demonstrando a estrutura básica e funções, a linguagem de programação *Ladder*, os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, os resultados obtidos e por fim, a conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HIDRÁULICA

2.1.1 HISTÓRICO DA HIDRÁULICA

Das diversas formas de transmissão de potência, a transmissão mecânica é a mais antiga delas e, por isso, a mais conhecida; começa com a invenção da roda e,

atualmente, além dessa, há muitos outros recursos mais aperfeiçoados como engrenagens, cames, correias, polias e outros. A elétrica, caracterizada pela utilização de geradores, motores elétricos, condutores e um grande número de outros componentes, é um incremento dos tempos modernos, dado que se constitui enquanto melhor forma de se transmitir energia a grandes distâncias.

Por sua vez, a força fluida teve sua origem há milhares de anos antes de Cristo. O ponto de partida para sua utilização foi o uso da potência fluida em uma roda d'água, que utiliza a energia potencial da água, retida a uma certa altura, para a geração de energia; quando essa entra em contato com as pás da roda, provoca o movimento e a geração de energia mecânica. Os romanos possuíam um sistema de armazenamento e de distribuição de água, através de canais ou dutos, para as casas de banho ou fontes ornamentais. Sobre esse aspecto, conforme salientado no Manual de Hidráulica Industrial 935100-BR da Vickers (1989, p. 1-1):

[...] Desde o início, o homem serviu-se dos fluidos para facilitar o seu trabalho. Não nos é difícil imaginar um homem das cavernas, com sua mulher, sentados em um tronco flutuando no rio e rebocando seus filhos e outros pertences num outro tronco com uma corda de cipó.

A figura 1 exemplifica a utilização da força hidráulica na realização de trabalho, onde um engenho de cana de açúcar é movido por uma roda d'água.

Figura 1: Engenho de cana de açúcar movido por uma roda d'água



Fonte: História e outras histórias (2015).

A utilização do fluido sob pressão, como forma de transmissão de potência, é uma descoberta mais recente, sendo que o seu desenvolvimento ocorreu após a Primeira Guerra Mundial. Como fatos marcantes para a evolução da força fluida, pode-se citar os seguintes acontecimentos:

- Joseph Bramah, mecânico inglês, desenvolveu a primeira prensa hidráulica, no ano de 1775, utilizando como meio fluido de transmissão de energia a água;
- Armstrong, em 1850, construiu o primeiro guindaste hidráulico e, juntamente a essa invenção, desenvolveu também o primeiro acumulador hidráulico;
- Em 1900, nos Estados Unidos, ocorre a substituição da água como meio fluido de transmissão de energia pelo óleo mineral, com a invenção da primeira bomba de pistões axiais.

A automação dos processos industriais de manufatura vem se desenvolvendo diariamente, com isso, surge a necessidade de se utilizar novas tecnologias com o objetivo, na maioria das vezes, de reduzir a participação do homem, principalmente nos trabalhos repetitivos, insalubres e ou naqueles que envolvem alto risco de acidente para o operador. São exemplos de atividades que dispensam a atuação direta do homem: o transporte de materiais a serem trabalhados em processos de manufatura, como a alimentação de material bruto em tornos, fresadoras, plainas e centros de usinagem; o transporte de uma peça a ser usinada de uma estação a outra de uma máquina operatriz; a colocação de uma peça a ser estampada em uma prensa e a retirada da peça já trabalhada; a movimentação de produtos perigoso, entre outros. Ou seja, há um número interminável de aplicações que, algumas vezes, proporcionam sérios riscos de acidentes, o que, além de provocar perdas materiais à indústria, pode ainda causar lesões graves ao trabalhador.

Em vista desse contexto, o circuito de acionamento dos sistemas hidráulicos vem evoluindo com o passar dos anos, pois, com o aumento da tecnologia e a utilização de componentes que trabalham com tolerâncias cada vez menores, houve um aumento considerável do valor da pressão de trabalho e da necessidade de movimentos mais controlados e precisos de cada elemento final de controle. Inicialmente, os circuitos de acionamento eram exclusivamente hidráulicos: o operador movimentava diretamente as válvulas de controle de fluxo através de

alavancas e/ou pedais e as sequências programadas eram feitas por válvulas fim de curso que interviam no sistema e determinavam a sequência de acionamento de cada atuador hidráulico. Esse modo de acionamento possui como desvantagens: a exposição do operador a pressões elevadas, pois ele atua diretamente na válvula de controle de fluxo que está submetida à pressão de trabalho do sistema; ademais, no caso das sequências programadas, caso seja necessário alterar a ordem de acionamento dos atuadores, o funcionamento de todo o sistema deverá ser interrompido para que sejam inseridas ou removidas válvulas fim de curso, elementos lógicos e modificação das mangueiras e conexões hidráulicas.

Com o surgimento dos sistemas mistos (eletrohidráulico e pneumohidráulico), um dos problemas relatados acima pôde ser eliminado. Nesses sistemas, o operador passa a acionar um sistema intermediário que opera pneumaticamente (pressões não superiores a 6 kgf/cm²) ou eletricamente (corrente 4 a 20mA e tensões de 12V ou 24V), ou seja, com a adoção desses novos sistemas, o operador não está mais exposto às altas pressões do sistema hidráulico. Isso resultou em um aumento significativo no que diz respeito à segurança do operador do sistema. No entanto, existe um problema ainda não solucionado: como alterar a sequência de acionamento dos atuadores sem a necessidade de manter o sistema inoperante por muito tempo, sem inserir, remover ou realocar componentes?

Uma solução eficaz encontrada para a questão acima foi a utilização dos CLP, figura 2. Com a adoção dessa nova tecnologia, toda a sequência de acionamento pode ser elaborada e testada exaustivamente em um ambiente externo ao processo industrial, ou seja, o processo produtivo será interrompido apenas no momento em que a nova programação for inserida no CLP. Isso reduz significativamente as chances de erro no funcionamento do sistema, já que a lógica foi testada previamente. Outra grande vantagem é que, mantendo o número de atuadores, caso haja a necessidade de alterar a sequência de acionamento, não será necessário inserir ou remover componentes físicos, como os elementos lógicos, pois esses existirão, porém, de maneira digital dentro da lógica do CLP. Nessa medida, com a utilização dos CLP's, os sistemas hidráulicos ganharam em flexibilidade, confiabilidade e segurança para sistema e operador.

Figura 2: CLP SLC 500

Fonte: Delgado e Soto (2010, p. 18).

2.1.2 FLUIDOS HIDRÁULICOS

A utilização de fluidos (água, óleo e gases em geral) para realização de Trabalho (ω) faz lembrar as civilizações antigas que utilizavam a roda d'água para produzir energia mecânica em um eixo ou troncos de madeira como meio de transporte sobre rios, conforme mencionado no trecho abaixo:

A utilização da hidráulica, como meio de transferência e controle de energia é antiga, e vem se aperfeiçoando no decorrer das décadas. O uso da roda d'água, por exemplo, antecede a história escrita, ao passo que o uso de fluido sob pressão para transmitir força e controlar movimentos complexos é relativamente recente (Prefácio do manual 935100-BR da Vickers).

Fluidos são substâncias constituídas de moléculas que não possuem força de atração suficientemente elevada a ponto de adquirirem posições rígidas. Por esse motivo, tais substâncias sempre assumem a forma do recipiente pelo qual ocupam. São consideradas fluidas as substâncias nas fases líquida e gasosa.

Os fluidos possuem uma importante propriedade física que é a compressibilidade, ou seja, são incapazes de manter seu volume quando submetidos a certa carga (ou comprimida). Para a maioria dos gases, a compressibilidade é considerável, portanto, ocorre redução significativa do volume ocupado pelas

moléculas do gás, quando comprimido. Por esse motivo, explica-se uma limitação da utilização de sistemas pneumáticos (uso do ar comprimido) quanto ao controle de velocidades e seu uso para deslocar cargas elevadas, por exemplo.

Em sistemas para realização de trabalho com o uso de fluidos incompressíveis, que doravante será denominada por Hidráulica, é utilizada sempre essa propriedade, pois proporciona vantagens no controle absoluto de velocidades de avanço e retorno, giro, reversibilidade etc. Conforme Linhares (2000, p. 3), quando se denomina um fluido de incompressível, quer dizer que se considera: “[...]que os óleos utilizados em sistemas hidráulicos têm sua redução de volume de 0,5% a cada 50 kgf/cm² aplicados!!!”.

Diante disso, as principais vantagens dos sistemas hidráulicos em relação a sistemas elétricos, mecânicos e pneumáticos são:

- Controle da velocidade: para atuadores hidráulicos rotativos e lineares, é possível obter diversos valores de rotação e velocidade de deslocamento, simplesmente alterando o descolamento da bomba ou utilizando válvulas reguladoras de vazão, enquanto motores elétricos de indução têm velocidades praticamente constantes;
- Reversão instantânea do sentido de movimento: pode-se alterar o sentido de movimento ou giro, basta comutar a posição das válvulas direcionais, sem desligar motores ou parar o sistema;
- Dimensões reduzidas: as dimensões de um processo podem ser muito reduzidas, pois pode-se substituir equipamentos de grande porte por equipamentos hidráulicos, compactos e capazes de realizar o mesmo trabalho;
- Limitação da carga aplicada: atualmente, a segurança tem sido um fator muito importante na indústria; nesse ponto, os sistemas hidráulicos também levam vantagem, pois possuem uma válvula de segurança que protege o sistema, direcionando o fluxo para o reservatório quando se ultrapassam os limites definidos para a força ou o torque;
- Proteção a sobrecargas sem a necessidade de interromper o funcionamento do sistema: a válvula de segurança atua, quando surge cargas com valores acima dos especificados, impedindo danos ao sistema hidráulico.

Em contrapartida, pode-se destacar como desvantagens dos sistemas hidráulicos, os seguintes pontos:

- O custo de implantação do sistema é mais elevado, quando se compara com sistemas elétricos e mecânicos;
- Perda de rendimento do sistema devido às diversas transformações de energia ocorridas no processo: energia elétrica para mecânica, mecânica para hidráulica e novamente em energia mecânica;
- Perda de energia devido aos vazamentos internos em todos os componentes;
- Perigo de incêndio, pois o óleo hidráulico é um fluido inflamável.

O óleo, derivado do petróleo, é o fluido mais usado como fluido hidráulico, apesar da sua combustibilidade. Devido a fatores ambientais, há uma tendência na utilização dos óleos vegetais e novos óleos sintéticos (éster-fosfatados) que, apesar de necessitarem de vedações especiais, garantem alguns requisitos vantajosos, como, por exemplo, poderem ser aplicados onde há riscos de incêndio.

É válido salientar que a viscosidade¹ é uma importante propriedade de um fluido. Por meio dela se classifica os fluidos em função de sua capacidade de fluir. Um fluido muito viscoso é aquele que tem dificuldade de escoar. Logo, fluidos hidráulicos com pouca viscosidade causam muito vazamento, baixa lubrificação e reduz o rendimento volumétrico da bomba, enquanto fluidos com viscosidade excessiva aumentam a resistência ao fluxo, exigem maior potência do motor, aumentam a temperatura de operação devido ao atrito e não se separam facilmente da água, resultando em corrosão. Corroborando com esses apontamentos, conforme Linhares (2000, p. 4),

A viscosidade, portanto, é uma propriedade com a qual devemos sempre preocupar em controlar, pois ela se altera com a temperatura de operação. Para sistemas hidráulicos que trabalhem em temperaturas entre 30 °C e 50 °C (trinta e cinquenta graus Celsius), utilizamos fluidos de viscosidade em torno de 150 SSU (Segundos Saybolt Universal). Finalmente, se considerarmos que o fluido hidráulico representa um custo considerável ao longo da operação, todas as especificações de manutenção, trocas, armazenagem e procedimentos de trocas dos fluidos devem ser respeitadas.

¹ Definida como a tensão de cisalhamento necessária para separar as moléculas do fluido.

A tabela 1 correlaciona os valores de viscosidade cinemática entre unidades distintas.

Tabela 1: Tabela de conversão de unidades de Viscosidade Cinemática

CENTSTOKES cSt	STANDARD AMERICANO	STANDARD OCIDENTAL	SEGUNDOS SAYBOLT UNIVERSAL SSU	SEGUNDOS SAYBOLT FUROL	REDWOOD Nº 1	REDWOOD Nº 2	ENGLER
-	2	-	30	-	-	-	-
2,91	2	-	35	-	32,2	-	-
4,25	2	200	40	-	36,2	-	-
5,8	4	200	45	-	40,6	-	1,32
7,5	4	200	50	-	45	-	1,42
8,6	4	200	55	-	49	-	1,49
10	4	-	60	-	54	-	1,57
13,0	4	-	70	-	63	-	1,71
15,7	4	-	80	-	71	-	1,84
18,5	4	-	90	-	80	-	1,98
20,9	4	-	100	-	89	-	2,1
27	4	-	125	-	110	-	2,4
32,0	5	-	150	-	134	-	2,7
37,5	5	-	175	-	155	-	3,0
43,5	5	-	200	-	177	-	3,5
54	5	300	250	-	220	-	4,2
65	5	300	300	-	270	-	4,8
86	5	300	400	-	360	-	6,1
130	5	300	600	33	530	-	8,5
174	5	300	800	40	700	140	11
195	6	-	900	45	800	145	12
360	6	400	1650	75	1500	260	21
525	6	400	2400	100	2100	400	28
825	6	400	3800	150	3400	560	42
1100	6	400	5000	200	4500	950	60
1450	6	400	6500	250	6000	1300	70
1900	6	400	8500	300	7500	1600	85

Fonte: Adaptado de Manual de Hidráulica Básica. 2ª Edição. 1979 (p. 313).

Quando se fala de fluidos em movimento, outro item importante e que não pode ser ignorado é o Número de Reynolds.

Em 1883, o engenheiro e físico inglês Osborne Reynolds executou experiências e verificou o comportamento de líquidos em escoamento. Durante uma dessas experiências, Reynolds reservou uma quantidade de corante em um recipiente cuja saída estava conectada a um tubo de vidro transparente, onde a vazão de escoamento do líquido poderia ser alterada através da abertura de uma torneira. Reynolds iniciou a experiência abrindo a torneira gradativamente e, inicialmente, observou a formação de um filamento retilíneo, onde as partículas do fluido apresentaram trajetórias bem

definidas e que não se cruzavam. À medida que a abertura da torneira foi sendo aumentada, a velocidade de escoamento do fluido também aumentava até que a partir de um determinado valor de velocidade, as partículas passavam a se movimentar de forma desordenada e com isso surgiu uma componente transversal para a velocidade. Tal regime de movimento foi denominado como regime turbulento de escoamento.

A velocidade para a qual o regime de escoamento passa de laminar para turbulento ou vice-versa, é denominada velocidade crítica inferior.

Reynolds executou a experiência considerando diferentes temperaturas e diâmetros e concluiu que apenas a velocidade de escoamento de um fluido não seria o melhor critério para determinação do regime de escoamento de um fluido por uma determinada tubulação, ele chegou a um resultado adimensional de uma expressão que deve levar em consideração a viscosidade cinemática do líquido.

$$R_e = \frac{VD}{\nu}$$

Onde:

V = velocidade do fluido (m/s);

D = diâmetro da tubulação (m);

ν = viscosidade cinemática (m²/s).

Nas condições atuais dos tubos comerciais, caso seja verificado um número de Reynolds superior a 4.000, o regime de escoamento certamente será turbulento. Para as tubulações o regime laminar de escoamento ocorre e é estável para o número de Reynolds inferior a 2.000. Entre 2.000 e 4.000, verifica-se uma zona crítica onde não se pode afirmar, com segurança, a perda de carga nas tubulações.

Vale ressaltar que nos circuitos hidráulicos, o dimensionamento das tubulações e mangueiras deve ser feito de tal forma que o regime de escoamento seja do tipo laminar.

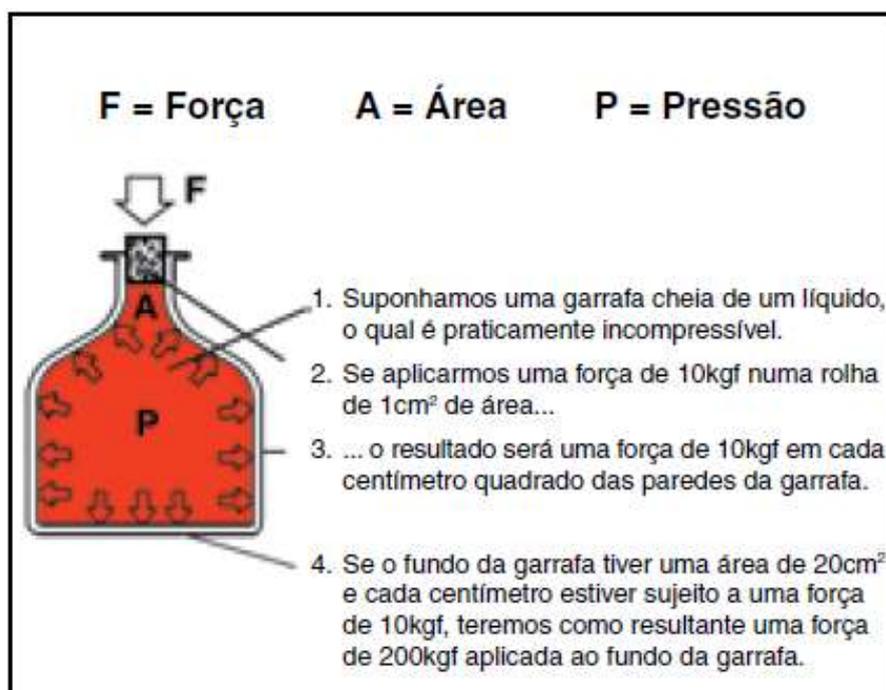
2.1.3 PRINCÍPIOS FÍSICOS BÁSICOS PARA COMPREENSÃO DA HIDRÁULICA

A hidráulica pode ser dividida em hidrostática e hidrodinâmica. Na hidrostática, estuda-se o fluido confinado, sujeito a cargas. Na hidrodinâmica, o objeto de estudo é o fluido em movimento e as suas implicações. Em um sistema hidráulico existem componentes que operam a partir do princípio da hidrostática e a partir do princípio da hidrodinâmica (ou oleodinâmica).

2.1.3.1 FLUIDO CONFINADO: HIDROSTÁTICA

A hidrostática é a ciência que estuda o fluido em repouso ou confinado em um dispositivo. Baseia-se no Princípio de Pascal². Essa ciência parte da seguinte perspectiva: “A pressão exercida em um ponto qualquer de um líquido estático é a mesma em todas as direções e exerce forças iguais em áreas iguais” (PARKER, 2006, p.5). Na sequência, a figura 3 ilustra o princípio de Pascal:

Figura 3: Princípio de Pascal



Fonte: PARKER. Tecnologia Eletrohidráulica Industrial (2006. p. 5).

² Blaise Pascal, cientista francês do século XVII.

Sendo assim, através do princípio de Pascal, definiu-se o termo PRESSÃO (P) como sendo a subdivisão da FORÇA (F) pela unidade de ÁREA (A)³:

$$P = \frac{F}{A}$$

2.1.3.2 FLUIDO EM MOVIMENTO: HIDRODINÂMICA

Quando se trabalha com sistemas hidráulicos, é muito importante estudar o movimento dos fluidos, pois esse estudo permite analisar as perdas de cargas que dificultam o escoamento desses e o sentido correto por onde haverá fluxo, além de possibilitar dimensionar e especificar tubulações. Sabendo disso, a hidrodinâmica (ou oleodinâmica) baseia-se no Princípio de Bernoulli⁴ para escoamento em regime permanente, no qual a energia será sempre conservada, ou seja, o somatório das energias cinética (velocidade) e potencial (pressão) é mantido ao longo do circuito de movimentação do fluido, somadas algumas perdas para energias térmicas e sonoras. Portanto, maior velocidade de escoamento, indica maior energia cinética e a pressão nesse ponto é menor; por outro lado, menor velocidade significa menor energia cinética e maior pressão.

Na hidrodinâmica, o conceito Pressão deve ser entendido como a resistência oferecida à passagem do fluxo. Somando todas as resistências oferecidas (ou seja, as pressões necessárias para o fluido atravessar válvulas direcionais, filtros, rugosidade das tubulações, válvulas de controle de fluxo, movimentar atuadores etc.) tem-se a pressão de regulação da válvula de alívio⁵.

³ P → Pressão (pascal - Pa) / F → Força (newton - N) / A → Área (metro quadrado – m²).

⁴ Daniel Bernoulli, cientista suíço.

⁵ Válvula de segurança tem como função principal limitar o funcionamento do sistema a um valor de pressão pré-estabelecido, com o objetivo de preservar a integridade dos componentes hidráulicos e de reduzir os riscos de acidentes com operadores.

2.1.4 GRUPOS CONSTRUTIVOS DOS SISTEMAS HIDRÁULICOS

Os grupos construtivos dos sistemas hidráulicos podem ser divididos em:

- Elementos que “consomem” energia e realizam o trabalho: são os atuadores, que se dividem em lineares (cilindros hidráulicos) e rotativos (motores hidráulicos);
- Elementos que distribuem e controlam o fluxo: são os distribuidores e reguladores, comumente chamados de válvulas;
- Elementos que “produzem” a energia hidráulica: são as bombas;
- Elementos auxiliares ou acessórios: reservatório, tubulações, filtros, válvulas auxiliares etc.

2.1.4.1 ATUADORES HIDRÁULICOS

Os atuadores são os componentes responsáveis pela produção do trabalho mecânico. Eles deslocam as cargas, movimentam válvulas, giram eixos, rodas etc. Os atuadores são divididos em duas classes de acordo com a natureza do movimento produzido, sendo elas: linear e rotativos.

2.1.4.1.1 ATUADORES LINEARES

Os atuadores lineares ou cilindros hidráulicos, figura 4, são aqueles que produzem movimento retilíneo a um determinado curso, num tempo especificado para seu avanço e/ou retorno. São constituídos de um tubo de aço sem costura com acabamento interno fino, de um ou mais pistões, de hastes em ferro fundido ou de aço, nas quais são incorporados retentores para eliminar vazamentos com a parede do tubo, e de tampas (ou cabeçotes dianteiro e traseiro), nas quais estão localizados os pórticos de montagens, fixados às extremidades, às vezes, por tirantes e porcas.

Esses atuadores são capazes de deslocar cargas no avanço e no retorno ou somente no avanço ou retorno. Os tipos principais são os de simples ação (ou simples efeito), cilindros telescópio e cilindros de dupla ação. Um atuador de dupla ação é capaz de movimentar cargas durante o seu avanço e retorno, por isso, verifica-se orifícios para entrada do fluido hidráulico tanto no cabeçote dianteiro quanto no

cabeçote traseiro desse. Quando o retorno ou avanço for realizado pela ação de uma força externa, a atuação será somente em um sentido, sendo assim, haverá somente uma entrada, por isso diz-se que esse atuador é de simples ação. Os atuadores telescópicos, por seu turno, são usados quando a camisa precisa ter um comprimento menor do que se consegue com um atuador padrão, podendo ter até 5 estágios e, normalmente, são de simples efeito.

Os atuadores são capazes de deslocar grandes cargas, no entanto é de extrema importância saber como especificá-los. Para tanto, deve ser levado em consideração que sua haste deverá ser especificada em função da carga máxima de flambagem admissível, além disso, o estilo de montagem é outro fator que não deve ser ignorado no momento da especificação.

Figura 4: Atuador hidráulico de dupla ação



Fonte: PARKER. Tecnologia Eletrohidráulica Industrial. Apostila M1003-2 BR (p. 60).

2.1.4.1.2 ATUADORES ROTATIVOS

Os atuadores rotativos ou motores hidráulicos, figura 5, são dispositivos mecânicos que produzem rotação em eixos, vencendo resistências ao torque. Possuem construção semelhante à de uma bomba, porém fornecendo energia mecânica ao eixo, inversamente a bomba, que recebe energia mecânica e produz energia hidráulica. Os tipos principais de motores hidráulicos são: motores de engrenagens, motores de palhetas e motores de pistão.

Figura 5: Atuador hidráulico rotativo

Fonte: PARKER. Tecnologia Eletrohidráulica Industrial. Apostila M1003-2 BR (p. 64).

2.1.4.2 BOMBAS

São os componentes do sistema hidráulico responsáveis pela produção da energia hidráulica, ou seja, promovem o fluxo. Recebem energia mecânica em seu eixo (através de um motor elétrico ou motor à combustão interna) e produzem a energia hidráulica. Classificam-se em turbobombas e bombas de deslocamento positivo (ou volumétricas). Para utilização em sistemas hidráulicos industriais são utilizadas as bombas de deslocamento positivo, devido à sua capacidade de vencer grandes resistências (pressões). Os tipos de bombas de deslocamento positivo mais utilizados nos sistemas hidráulicos são: bombas de engrenagens, bombas de palhetas e bombas de pistões.

2.1.4.2.1 BOMBAS DE ENGRENAGENS

Esse tipo de bomba é formado por duas engrenagens, sendo uma motriz (acionada por um eixo acoplado a um motor) e uma movida, montadas no interior de uma carcaça e fechadas por tampas laterais. Quando em funcionamento, as engrenagens giram em sentidos opostos, provocando, assim, uma depressão no orifício da câmara de sucção da bomba. O fluido hidráulico ocupa os espaços vazios entre os dentes das engrenagens e é movido até a câmara de recalque da bomba. Durante o engrenamento, o óleo é forçado a sair dos vãos entre os dentes e se mover para a tubulação de recalque do sistema.

Ressalta-se, como características das bombas de engrenagens, os seguintes aspectos:

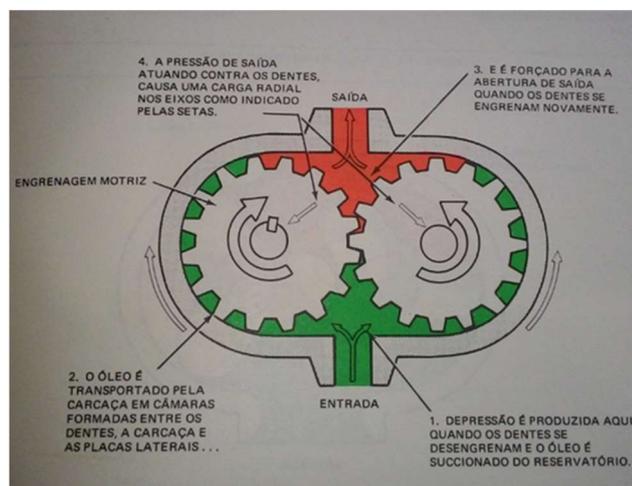
A maioria das bombas de engrenagens é de deslocamento fixo. Elas existem numa faixa de pequenas e grandes vazões. Devido ao fato de serem do tipo não balanceado, são geralmente unidades de baixa pressão, porém existem bombas de engrenagens que atingem até 200 bar. Com o desgaste, o vazamento interno aumenta. Entretanto, as unidades são razoavelmente duráveis e toleram a sujeira mais do que outros tipos. Uma bomba de engrenagens com muitas câmaras de bombeamento, gera frequências altas e, portanto, tende a fazer mais barulho, porém foram feitos muitos melhoramentos nestes últimos anos, com o intuito de diminuir o nível de ruído (Manual de Hidráulica Industrial 935100-BR da Vickers, 11ª Edição, 1989, p. 11-3 e 11-5).

Ademais, salienta-se que as bombas de engrenagens apresentam como principais vantagens as seguintes:

- eficientes e de projeto simples;
- compactas e leves para a capacidade projetada;
- eficientes a altas pressões de operação;
- resistentes aos efeitos de cavitação;
- possuem alta tolerância à contaminação dos sistemas;
- resistentes em operações a baixas temperaturas;
- construídas com mancal de apoio no eixo;
- possuem compatibilidade com vários fluidos hidráulicos.

A figura 6 representa uma bomba hidráulica de engrenagens externas.

Figura 6: Bomba de engrenagens externas



Fonte: Manual de Hidráulica Industrial 935100-BR da Vickers (1989, p. 11-3).

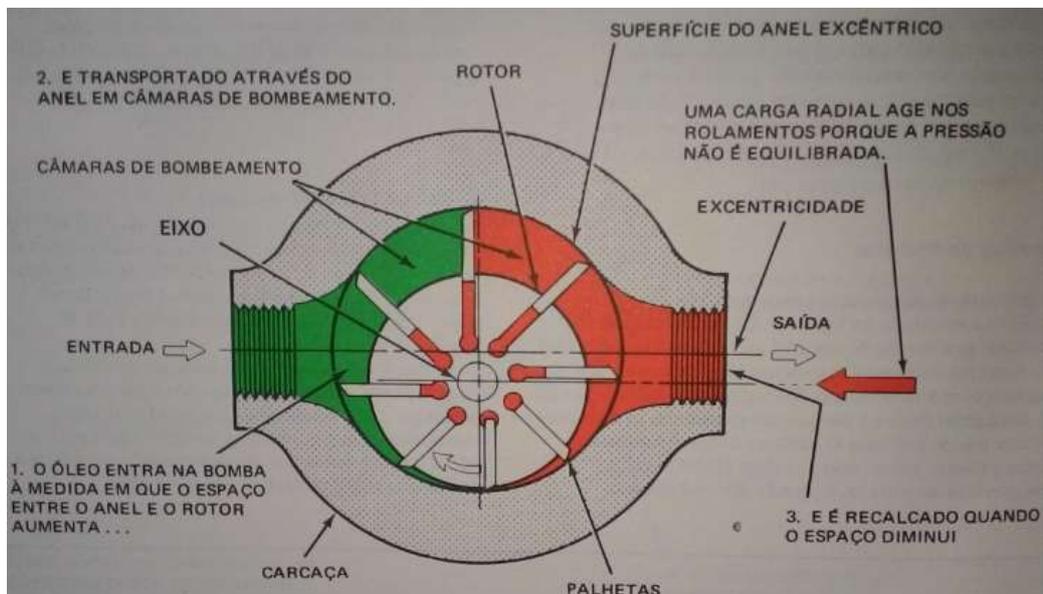
2.1.4.2.2 BOMBAS DE PALHETAS

A bomba de palheta, figura 7, possui um rotor que se movimenta no interior de um anel excêntrico. O rotor é provido de ranhuras nas quais são instaladas as palhetas. Essas tendem a se moverem em direção ao anel quando o rotor é colocado em movimento de giro. A força centrífuga provocada pelo giro do rotor mantém as palhetas pressionadas contra o anel, com isso, surge as câmaras de bombeamento. Na câmara de entrada, a pressão diminui à medida que o volume criado pelas palhetas, pelo rotor e pelo anel aumenta. O fluido hidráulico, localizado nessas câmaras, é forçado a seguir o caminho até a cavidade de saída da bomba, conforme o volume das câmaras de bombeamento vai sendo reduzido.

As vantagens no uso das bombas de palhetas são:

- baixo nível de ruído;
- fornece uma vazão mais uniforme de fluido, o que minimiza as oscilações nas linhas dos sistemas hidráulicos;
- alta tolerância à contaminação do sistema.

Figura 7: Bomba de palhetas



Fonte: Manual de Hidráulica Industrial 935100-BR da Vickers (1989, p. 11-6).

2.1.4.2.3 BOMBAS DE PISTÕES

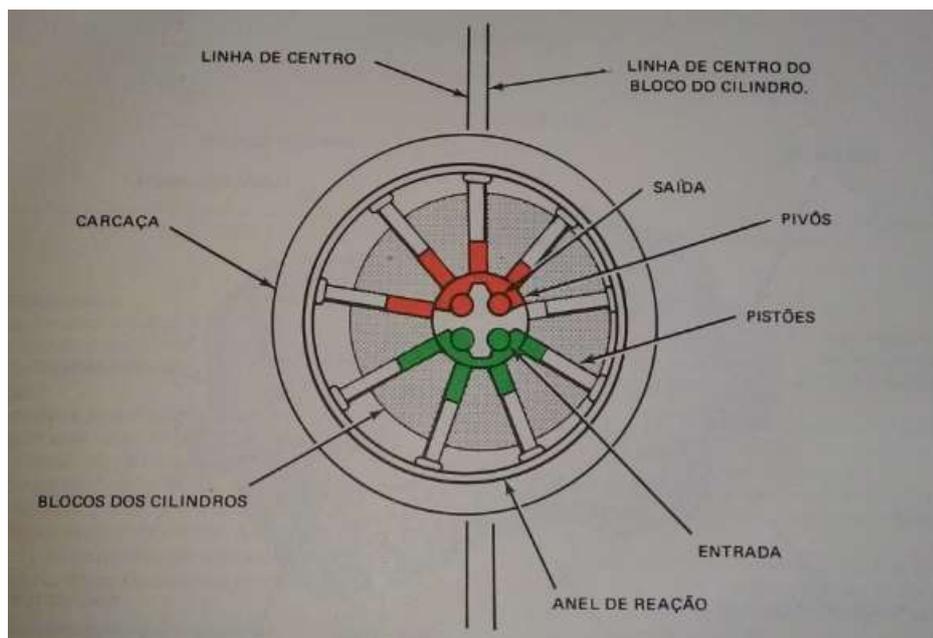
As bombas de pistões, figura 8, funcionam partindo do princípio do ciclo de movimento alternativo de cada pistão, succionando o fluido hidráulico em um dos sentidos e expelindo-o no sentido contrário.

Os tipos básicos são os de pistões radiais e de pistões axiais, os quais apresentam, em ambos os modelos, deslocamento fixo ou variável. A bomba radial possui os pistões dispostos ao longo do raio da bomba, por sua vez, a bomba axial possui cada pistão posicionado paralelamente ao outro. As principais vantagens das bombas de pistões são:

- baixo nível de ruído;
- compensação de pressão;
- compensação remota de pressão;
- sensoriamento de carga;
- baixa pressão de alívio.

Confira, na sequência, uma figura que ilustra uma bomba de pistões:

Figura 8: Bomba de pistões radiais



Fonte: Manual de Hidráulica Industrial 935100-BR da Vickers (1989, p. 11-15).

2.1.4.2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS BOMBAS HIDRÁULICAS

As bombas podem ser classificadas, conforme mencionado, em dois grandes grupos: turbobombas e bombas de deslocamento positivo. Seus princípios de funcionamento são bem distintos, assim como as faixas de atuação e suas características principais. A tabela 2 abaixo ilustra, de maneira interessante, esses dois tipos principais:

Tabela 2: Classificação das bombas hidráulicas

Grupo	Turbobombas	Volumétricas (ou de deslocamento positivo)
Princípio de funcionamento	Aceleração das moléculas pelo movimento de rotores	Redução da seção de passagem
Característica principal	Presença de rotores	Câmaras de compressão
Faixa de atuação	Altas vazões e baixas pressões	Baixas vazões e altas pressões
Tipos principais	-bombas centrífugas -bombas axiais	Alternativas: - bombas de êmbolo (ou pistão) - bombas de diafragma Rotativas: - bombas de engrenagens - bombas de palhetas

Fonte: LINHARES (2013, p. 3).

2.1.4.3 VÁLVULAS (CONTROLADORES E DISTRIBUIDORES)

As válvulas, figura 9, são os componentes dos circuitos hidráulicos capazes de controlar o fluxo no que diz respeito à vazão (controladoras de vazão), à pressão (controladoras de pressão ou válvulas de alívio) e à direção do fluxo (válvulas de controle direcional e retenção). São formadas basicamente de um corpo com passagens internas que são conectadas e desconectadas por uma parte móvel,

obedecendo um comando externo (manual, mecânico, pneumático ou por solenoides). A parte móvel pode ser um pistão ou esfera, êmbolo rotativo ou, na maioria dos casos, êmbolos deslizantes, chamados de carretel.

Figura 9: Válvula de controle fluxo pilotada eletricamente

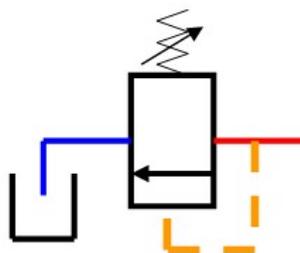


Fonte: PARKER. Tecnologia Eletrohidráulica Industrial (p. 39).

2.1.4.4 VÁLVULA DE ALÍVIO

Essa válvula deve estar presente em todos os circuitos hidráulicos devido à presença de bombas de deslocamento positivo (ou volumétricas), pois essa é capaz de vencer altas resistências (pressões) até o limite do motor de acionamento. Portanto, a regulagem da pressão máxima do sistema deve ser feita. Essa válvula funciona como uma bifurcação da linha do fluido, dado que os fluidos tendem a seguir sempre a direção de menor resistência. Ao atingir uma pressão acima da regulagem, a válvula de alívio permite que o fluido passe através de um caminho alternativo (*bypass*), liberando-o para o reservatório. A figura 10 demonstra a simbologia de uma válvula de alívio.

Figura 10: Simbologia de uma válvula de alívio



Fonte: LINHARES (2013. p. 14).

2.1.4.5 ACESSÓRIOS

Alguns componentes de um circuito hidráulico fundamental têm uma importância tão elevada que serão chamados de acessórios apenas para efeito de classificação. Esses serão aqui melhor detalhados:

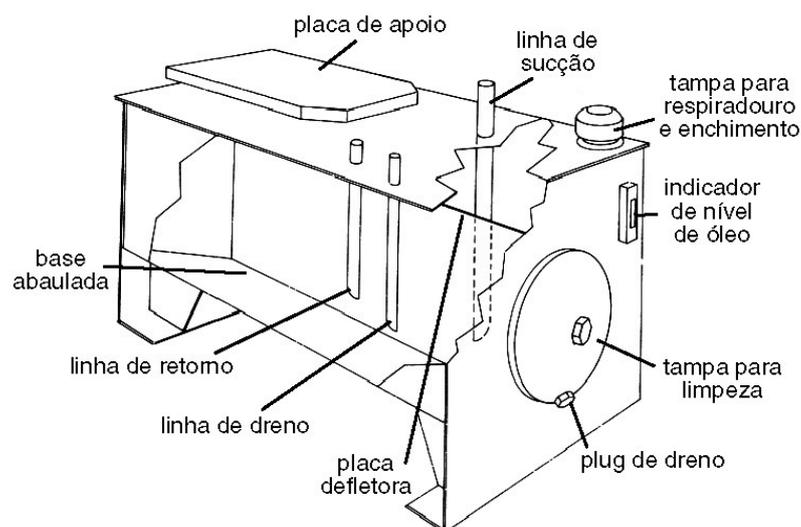
2.1.4.5.1 RESERVATÓRIO

Além de acumular o fluido hidráulico, um reservatório (figura 11), deve ser capaz de executar as seguintes funções:

- dissipar o calor gerado devido ao atrito do fluido ao passar por todos os componentes do circuito;
- separar as partículas sólidas que contaminam o fluido e desprendem dos componentes de circuito (limalhas, polímeros etc.);
- impedir que espumas geradas pelo ar retornem para o sistema.

O reservatório poderá ser equipado com visor de nível, tela filtrante no bocal de reabastecimento, dreno, respiro, sistema de chicana interna e bujões magnéticos. Poderá, em casos de extremo aquecimento, vir com um trocador de calor incorporado.

Figura 11: Representação de um reservatório



Fonte: LINHARES (2013, p. 15).

2.1.4.5.2 TUBULAÇÕES

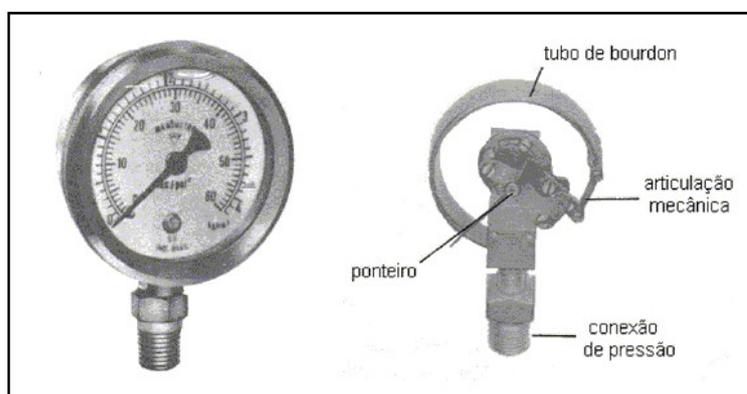
Sua função é conduzir o fluido hidráulico em todo o circuito. Entretanto, as tubulações devem oferecer segurança de operação com a menor perda de carga possível. Elas representam maiores problemas nas trocas de manutenção, pois pequenas alterações em seu diâmetro interno representam grandes variações de velocidade e, conseqüentemente, em perdas de carga, comprometendo todo o circuito.

Para especificação, além do diâmetro interno, deve-se determinar a resistência desejada em função da pressão máxima e encontrar o diâmetro externo e nominal da tubulação. Esse procedimento é especialmente importante para o dimensionamento de mangueiras flexíveis e tubos de menor resistência.

2.1.4.5.3 MANÔMETROS

Os manômetros, figura 12, são os instrumentos utilizados para indicar a pressão que atua no ponto do sistema onde estão instalados. São utilizados para regular as válvulas controladoras de pressão, informar indiretamente a força exercida por um atuador linear e o torque exercido por um motor hidráulico. Os principais tipos de manômetros utilizados nos sistemas hidráulicos são: tipo tubo de Bourdon e tipo Schrader.

Figura 12: Manômetro tipo tubo de Bourdon



Fonte: CASTELETTI (2012, p. 11).

2.1.4.5.4 FILTROS

A função desse componente é reter e impedir que retorne para o sistema o máximo possível de impurezas presentes no fluido hidráulico. Todos os fluidos hidráulicos, sem exceção, apresentam contaminantes. A necessidade de se instalar o filtro, no entanto, não é reconhecida na maioria dos casos, pois não é possível verificar, de forma aparente, os benefícios proporcionados à máquina. Porém, grande parte do pessoal de manutenção reconhece que a maioria dos casos de mau funcionamento dos sistemas é causada por contaminação. Essa presença de contaminantes causa problemas nos sistemas hidráulicos, pois interfere no fluido, que tem quatro funções, sendo elas:

- transmitir energia;
- lubrificar peças internas que estão em movimento;
- transferir calor;
- vedar folgas entre peças em movimento.

A contaminação tem influência em três dessas funções: a) interfere na transmissão de energia, obstruindo pequenos orifícios nos componentes hidráulicos, tornando a ação das válvulas, imprevisível, improdutiva e insegura; b) devido à viscosidade, atrito e alterações de direção, o fluido hidráulico produz calor durante o funcionamento do sistema; quando esse retorna ao reservatório, transfere calor às suas paredes; e c) os contaminantes impedem o resfriamento do líquido, pois forma um sedimento que dificulta a transferência de calor para as paredes do reservatório.

Em vista disso, salienta-se que, certamente, o maior problema devido à presença de contaminantes num sistema hidráulico é que eles interferem na lubrificação. A ausência de lubrificação causa desgaste excessivo, aumento de temperatura, produzindo resposta lenta, operações não-sequenciadas e falha prematura de componentes.

Os filtros hidráulicos são classificados conforme a sua posição no sistema. Os mais conhecidos são:

- Filtro de sucção interno;
- Filtro de sucção externo;
- Filtro de pressão;
- Filtro de retorno.

Alguns modelos de filtros hidráulicos e elementos filtrantes estão representados na figura 13 abaixo.

Figura 13: Filtros e elementos filtrantes



Fonte: GOMES; ANDRADE e FERRAZ (2008, p. 13).

2.1.5 DIVISÕES DA HIDRÁULICA INDUSTRIAL

Normalmente, a Hidráulica Industrial é dividida em dois grandes grupos, sendo eles:

- Linha Estacionária, figura 14a e 14b, para máquinas e equipamentos industriais fixos;

Figura 14: Linhas Estacionária – (a) Esmerilhadeira Cilíndrica Hidráulica e (b) Prensa Hidráulica



(a)



(b)

Fonte: GOMES; ANDRADE e FERRAZ (2008, p. 2).

- Linha Móvel (ou mobil ou móbile), figura 15, destinada a máquinas e equipamentos móveis, sendo essas acionadas por motores a combustão interna. As figuras a seguir ilustram aplicações gerais da Hidráulica Industrial.

Figura 15: Linha Mobil



Fonte: GOMES; ANDRADE e FERRAZ (2008, p. 2).

2.1.6 SIMBOLOGIA HIDRÁULICA INDUSTRIAL

Atualmente, devido à complexidade dos processos de manufatura, desde a ideia inicial até o produto acabado, diversas etapas e procedimentos devem ser cumpridos, fato esse que dificulta com que uma mesma pessoa idealize e execute todas as etapas do processo. Portanto, cabe a cada executante ou departamento um limitado campo de atuação, ou seja, as tarefas são distribuídas a um número cada vez maior de pessoas e grupos de trabalho, com o objetivo de otimizar o processo produtivo. Nos setores onde ocorrem o desenvolvimento de projetos, muitas pessoas participam da execução de um determinado trabalho, como: engenheiros, projetistas, desenhistas, técnicos, operadores de produção, representantes da equipe de manutenção etc., sendo que cada um possui uma visão específica do projeto. Em vista disso, para se obter um perfeito entendimento entre representantes de áreas tão

distintas, objetivando uma perfeita visão do que se pretende executar, utiliza-se uma linguagem comum – a simbologia padronizada.

No caso dos circuitos hidráulicos industriais, esses são compostos por uma infinidade de componentes, os quais são representados por uma simbologia padronizada.

2.2 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLP'S)

Os CLP's são utilizados em processos nos quais existe a necessidade de se realizar manobra, controle e supervisão, sendo que sua aplicação abrange desde processos de fabricação industrial até qualquer outro tipo de processo que envolva a transformação de matéria prima. Conforme Kopelvski (2010, p. 3),

O Controlador Lógico Programável (CLP) nasceu da indústria automobilística norte americana, especificamente na divisão hidramática da GM em 1968. Sob a liderança do engenheiro Richard Morley, foi preparada uma especificação que refletia os sentimentos de muitos usuários de comandos de relés, não só da indústria automobilística como da indústria em geral. Este sentimento resultou da grande dificuldade de alterar o processo usando comandos a relé. Cada alteração significativa no modelo de um carro exigia alterações que acrescentavam, retiravam ou modificavam alguns passos do processo e para isso era necessário alterar todos os painéis e fiação de campo. Além disso, a complexidade e grande tamanho de painéis de relé dificultava a manutenção.

Ainda de acordo com Kopelvski (2010, p. 5), a norma NEMA (National Electrical Manufacturers Association), ICS3-1978, parte ICS3-304, define um controlador programável como:

Aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementação de funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética para controlar, através de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos. Um computador digital que é utilizado para desempenhar as funções de um controlador programável é considerado dentro deste escopo. Estão excluídas as chaves tambores e outros tipos de sequenciadores mecânicos

A principal vantagem de se utilizar CLP é o fato desse possuir características de programação que o torna mais eficiente do que outros equipamentos industriais de controle. Além dessa vantagem, pode-se citar as seguintes:

- Apresenta flexibilidade e facilidade na alteração de sua programação, podendo ser totalmente reprogramado de forma a executar atividades completamente distintas;
- A programação pode ser armazenada na memória interna do CLP, para que possa ser utilizada em outro sistema ou servir como sistema reserva (*backup*);
- Possui sinais luminosos que avisam ao programador/operador que o CLP está com falha e qual a parte que acusou o problema.

Quando comparado à lógica de relés, os CLP's apresentam as seguintes desvantagens:

- Custo mais elevado;
- Necessita de um bom conhecimento de programação e lógica booleana, técnicas não muito conhecidas pela a maioria dos eletricitistas;
- Possui sensibilidade a interferência de ruídos elétricos.

Devido às características especiais de um CLP, seu campo de aplicação é bastante vasto, no entanto, se faz necessário uma constante evolução do *software* e do *hardware* para que esse equipamento possa, cada dia mais, atender às novas demandas de mercado, oferecendo maior qualidade aos processos a um custo cada vez mais reduzido.

Em vista dessas considerações, sabe-se que para o controle de sistemas hidráulicos, pode-se utilizar acionamentos manuais, mecânicos ou eletromecânicos. Acionamentos manuais têm a desvantagem de operar dispositivos de controle submetidos a altas pressões e temperaturas, com riscos de acidentes ao operador e falhas catastróficas ao sistema. Por isso, acionamentos de válvulas por solenoides torna-se uma proposta bem mais segura. Os comandos para essas válvulas podem ser por relés eletromagnéticos, comandados por sensores eletromecânicos, óticos, capacitivos, indutivos ou outros. Porém, a lógica a comandar os relés pode ser mecânica, por programação nos próprios relés (lógica de relés) e por microcontroladores. Com o desenvolvimento da microeletrônica, os controladores devem ampliar sua participação nessas formas de comando.

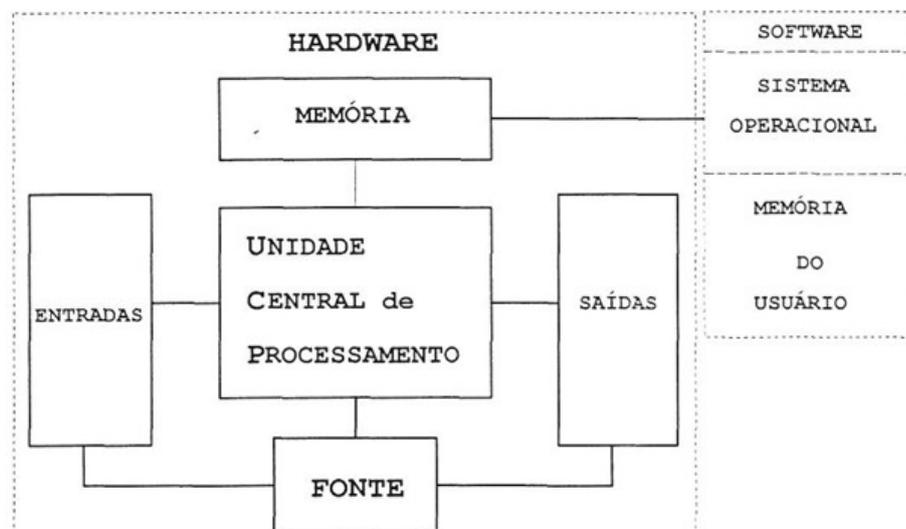
2.2.1 ARQUITETURA BÁSICA DE UM CLP

Qualquer controlador programável apresentará em sua estrutura:

- Unidade Central de Processamento (UCP): é a responsável pela tomada de decisões. Através do programa, ela analisa o estado das entradas e altera o estado das saídas, de acordo com a lógica programada;
- Memória: é responsável pelo armazenamento de todas as informações necessárias ao funcionamento do CLP;
- Entradas e saídas: são os meios de comunicação do CLP com o processo a ser controlado. As entradas recebem os sinais do campo e os transformam em sinais digitais para serem processados pela UCP. Após o processamento, os dados enviados pela UCP (digitais) são convertidos pelas saídas em sinais que possam acionar cargas externas (sinais elétricos);
- Fonte de alimentação: A fonte alimenta a UCP e as entradas e saídas. Normalmente, as fontes são projetadas para fornecer várias tensões de alimentação para os módulos. O processador normalmente necessita de uma alimentação de 5 Vcc. Cartões de entradas e saídas digitais precisam de alimentação auxiliar para os elementos de chaveamento e conversão, normalmente, de 12 Vcc ou 24 Vcc. Cartões de entradas e saídas analógicas necessitam de alimentação 24 Vcc.

A figura 16 exemplifica a estrutura básica de um CLP.

Figura 16: Estrutura básica de um CLP



Fonte: Kopelvski (2010, p. 11).

2.3 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO LADDER

Para que o CLP possa executar as ações idealizadas pelo usuário ou atividades necessárias para otimizar o processo produtivo, é necessário que as informações sejam repassadas ao CLP de uma maneira que ele possa compreender. Para tanto, existem vários tipos de linguagens utilizados para programar os CLP's, mas a forma adotada neste trabalho é a linguagem de programação *Ladder*.

Essa linguagem foi a primeira que surgiu para programação dos Controladores Lógicos Programáveis, considerando que, na época, os técnicos e os engenheiros eletricitas eram normalmente os encarregados da manutenção no chão de fábrica, logo, a linguagem *Ladder* deveria ser algo familiar para esses profissionais. Assim, ela foi desenvolvida com os mesmos conceitos dos diagramas de comandos elétricos que utilizam bobinas e contatos.

A função principal de um programa em linguagem *Ladder* é controlar o acionamento de saídas, dependendo da combinação lógica dos contatos de entrada. O diagrama de contatos *Ladder* é uma técnica adotada para descrever uma função lógica utilizando contatos e relés, sendo a notação bastante simples. Um diagrama de contatos é composto de duas barras verticais que representam os polos positivos e negativo de uma bateria.

A figura 17 demonstra a representação padrão de bit's de entrada para lógicas desenvolvidas em linguagem *Ladder*.

Figura 17: Símbolos Ladder para bit's de entrada utilizados por alguns fabricantes de CLP's

Fabricante	Contato Normalmente Fechado (NF)	Contato Normalmente Aberto (NA)
IEC 61131-3		
Allen-Bradley		
Siemens S7		
GE Fanuc		

Fonte: Franchi; Camargo (2013, p. 112).

A figura 18 demonstra a representação padrão de bit's de saída para lógicas desenvolvidas em linguagem *Ladder*.

Figura 18: Representação de bit's de saída em Ladder por alguns fabricantes de CLP's

Fabricante	Bobina	Bobina negada
IEC 61131-3	—()—	—(/)—
Allen-Bradley	—()—	Não disponível
GE Fanuc	—()—	—(/)—
Modicon Quantum	—○—	—⊘—
Siemens S7	—()—	Não disponível

Fonte: Franchi; Camargo (2013, p. 113).

3 MATERIAIS

Essa parte do trabalho foi dedicada para expor os materiais e componentes utilizados.

3.1 COMPONENTES DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DO CIRCUITO HIDRÁULICO:

Fonte, figura 19, é o componente que opera com uma tensão de saída igual a 24Vcc, com bornes de ligação rápida de cabos elétricos para pinos do tipo banana com diâmetro de 4mm. Responsável por fazer a alimentação elétrica de todo o sistema de acionamento.

Figura 19: Fonte de alimentação 24 Vcc



Bloco “STARTER”, figura 20, composto por 02 (dois) botões de impulso e 01 (uma) chave seletora, sendo cada um composto por 02 (dois) contatos NA e 02 (dois) contatos NF, com bornes de ligação rápida de cabos elétricos para pinos do tipo banana com diâmetro de 4mm. Durante a realização do trabalho, foi utilizado apenas a chave seletora. Sua função é habilitar ou desabilitar o funcionamento do sistema.

Figura 20: Bloco com 2 botões de impulso e 1 chave seletora



Bloco de contatores, figura 21, formado por 03 (três) contatores, sendo cada um composto por 04 (quatro) opções de contatos NF e 04 (quatro) contatos NA, com bornes de ligação rápida de cabos elétricos para pinos do tipo banana com diâmetro de 4mm. Sua função no sistema é energizar o grupo que deverá estar ativo.

Figura 21: Bloco com 03 contatores



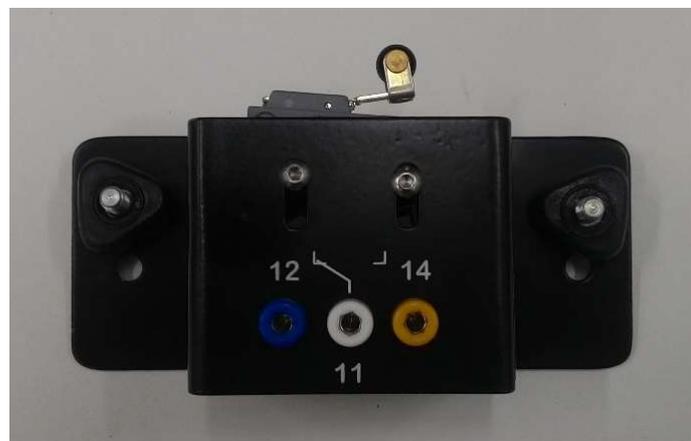
Bloco de temporizadores, figura 22, formado por 02 (dois) temporizadores, sendo cada um composto por 01 (um) contato NF e 01 (um) contato NA, com escala de 0,5 a 30s, com bornes de ligação rápida de cabos elétricos para pinos do tipo banana com diâmetro de 4mm. Sua função no sistema é energizar o grupo que deverá estar ativo.

Figura 22: Bloco com 02 temporizadores



Microrruptor fim de curso, figura 23, com 01 contato comutador, tensão de 24Vcc, acionado mecanicamente por rolete, com bornes de ligação rápida de cabos elétricos para pinos do tipo banana com diâmetro de 4mm e montado em base apropriada para fixação em painel didático com perfil de alumínio de 30 x 60mm, sem a utilização de ferramentas.

Figura 23: Microrruptor fim de curso



Cabos elétricos, figura 24, com pinos do tipo banana com diâmetro de 4mm, nas cores azul e vermelho. Sua função é conduzir a corrente elétrica entre os componentes do sistema de acionamento.

Figura 24: Cabos elétricos com pinos tipo banana de 4mm



3.2 COMPONENTES DO SISTEMA HIDRÁULICO

Unidade hidráulica, figura 25, formada por uma bomba dupla de engrenagem com vazões (mínimas) de 6 e 10 l/m acionada por motor elétrico monofásico 220 VCA com potência de cerca de 3 CV. Reservatório com capacidade de 50 litros com indicador de nível e temperatura, 02 blocos de distribuição de pressão/tanque/dreno (cada bloco possui: 04 engates rápidos, com sistema antivazamento de 3/8" para pressão de até 3000PSI, 04 engates rápidos com sistema antivazamento de 3/8" para pressão de até 3000PSI para linha de retorno, 01 engate rápido com sistema antivazamento de 3/8" para pressão de até 3000PSI para linha de dreno e 01 engate rápido com sistema antivazamento de 3/8" para pressão de até 3000PSI para linha ventagem). Com duas válvulas limitadoras de pressão pré-operada com manômetro com enchimento por glicerina e conexão para ventagem, dois botões comutadores para alívio do sistema, dois botões de emergência para despressurização do sistema hidráulico e desligamento do motor elétrico.

Figura 25: Unidade hidráulica

Atuador hidráulico linear de dupla ação, figura 26, diâmetro de 38 mm e curso de 300 mm, com conexões de engate rápido com sistema antivazamento de 3/8" para pressão até 3000PSI e montado em base apropriada para fixação no painel didático em perfil de alumínio de 30x60mm, sem a utilização de ferramentas.

Figura 26: Atuador hidráulico linear de dupla ação 38 x 300mm

Atuador hidráulico linear de dupla ação, figura 27, com diâmetro de 38 mm e curso de 200 mm, com conexões de engate rápido com sistema antivazamento de 3/8" para pressão até 3000PSI e montado em base apropriada para fixação no painel didático em perfil de alumínio de 30x60mm, sem a utilização de ferramentas.

Figura 27: Atuador hidráulico linear de dupla ação 38 x 200mm

Atuador hidráulico rotativo bidirecional, figura 28, tipo engrenagem interna com deslocamento entre 8 a 15 cm³/rot, com conexões de engate rápido com sistema antivazamento de 3/8" para pressão até 3000PSI e montado em base apropriada para fixação no painel didático em perfil de alumínio de 30x60mm, sem a utilização de ferramentas.

Figura 28: Atuador hidráulico rotativo bidirecional



Válvula direcional 4/2 vias, figura 29, com duplo solenoide, com bornes de ligação rápida de cabos elétricos para pinos do tipo banana com diâmetro de 4mm, conexões de engate rápido com sistema antivazamento de Ø3/8" para pressão até 3.000 PSI e montado em base apropriada para fixação no painel didático em perfil de alumínio de 30x60mm, sem a utilização de ferramentas.

Figura 29: Válvula direcional 4/2 vias



Válvula direcional 4/3 vias, figura 30, duplo solenoide, centrada por mola, com bornes de ligação rápida de cabos elétricos para pinos do tipo banana com diâmetro de 4mm, com conexões de engate rápido com sistema antivazamento de $\text{Ø}3/8''$ para pressão até 3.000 PSI e montado em base apropriada para fixação no painel didático em perfil de alumínio de 30 x 60mm, sem a utilização de ferramentas.

Figura 30: Válvula direcional 4/3 vias



Mangueiras hidráulicas, figura 31, com engates rápidos antivazamento fêmea de $3/8''$ para pressão até 3000PSI e conforme SAE-100R1AT, com comprimentos de 600mm, 1.000mm e 1.200mm.

Figura 31: Mangueiras hidráulicas



4 METODOLOGIA

Diante do problema apresentado, a primeira ação a ser tomada foi a busca de material teórico que fornecesse embasamento técnico-teórico para se atingir o objetivo principal deste projeto, que é: mostrar que um sistema eletrohidráulico acionado por CLP pode permitir facilidade e flexibilidade de montagem em máquinas por ser totalmente programável; permitir a adaptação total ao ambiente industrial; e contribuir para a redução e a facilitação dos procedimentos de manutenção e alteração nas sequências de funcionamento, através da criação de sequências de acionamentos de sistemas eletrohidráulicos utilizando CLP e linguagem de programação *Ladder*.

O material de estudo foi a bancada eletropneumática, equipada com um PLC, necessário para a familiarização com a forma de programar o FESTO FC20 (CLP utilizado), figura 32, e também para a identificação dos níveis de tensão adotados no controlador, memória, número de entradas e saídas, como fazer a alimentação tanto do controlador quanto dos equipamentos periféricos, entre outros.

Figura 32: FESTO FC20



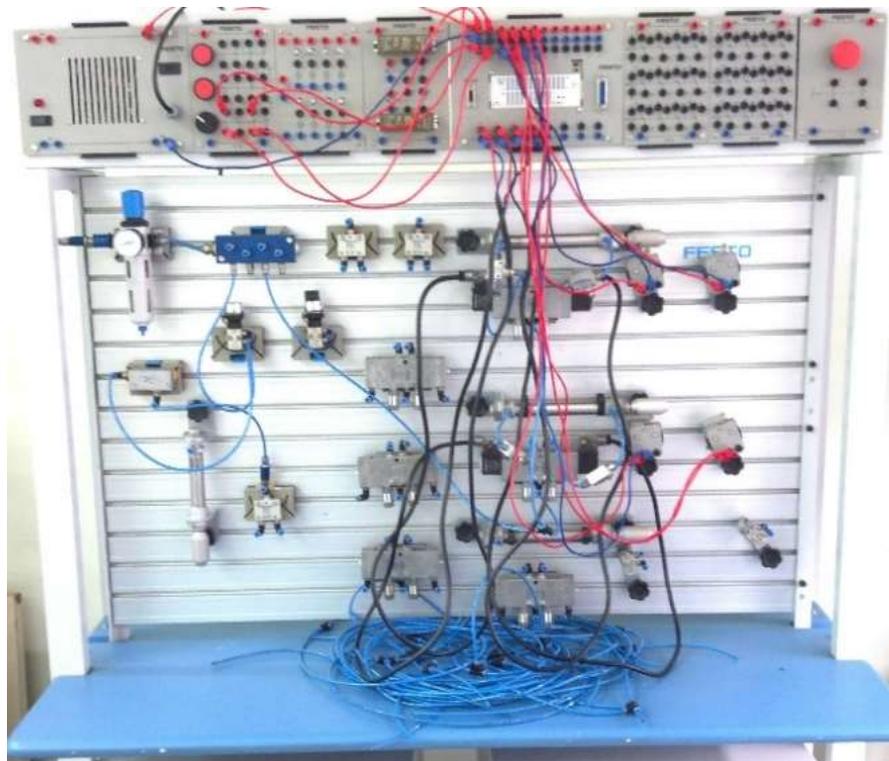
Conhecendo as características dos equipamentos de trabalho, foi possível estimar qual rumo o projeto poderia trilhar, ou seja, quais as possibilidades e até que ponto seria possível chegar devido às limitações do material disponível.

As primeiras sequências foram geradas em ambiente computacional (simulador FST 4.10 da FESTO), inicialmente sequências diretas com um número reduzido de

atuadores (2 atuadores); logo após, foram geradas sequências indiretas, sendo que o número de atuadores também foi elevado. Nesse segundo momento, foram utilizados blocos temporizadores, contadores, entre outros.

Após o período de simulações, o programa foi carregado no CLP FC20 e, com a utilização da bancada eletropneumática, figura 33, foram realizados os primeiros testes em ambiente real. A fase de implantação do sistema na bancada eletrohidráulica somente foi iniciada após o término dos testes na bancada eletropneumática e a completa eliminação de erros.

Figura 33: Bancada Eletropneumática



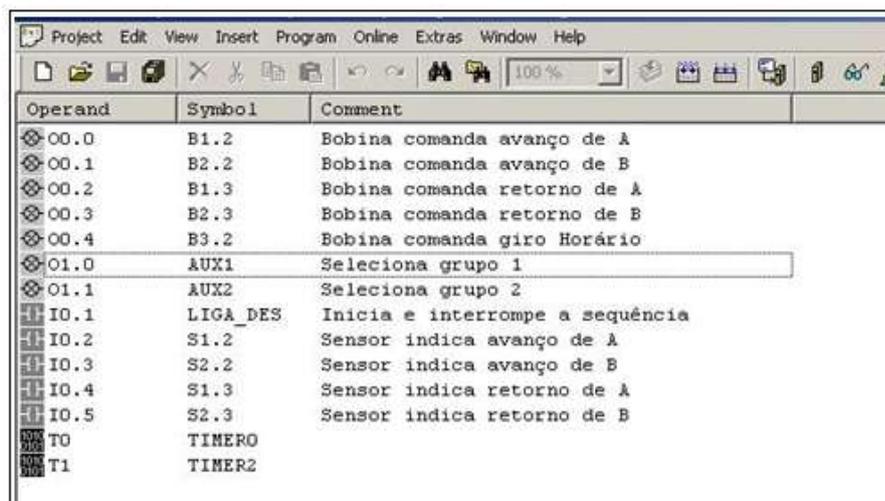
Após concluído os testes na bancada eletropneumática, foi definido que seria feita a comparação entre dois modelos de acionamento para sistemas hidráulicos, um por CLP e o outro por lógica de relés (Eletrohidráulico). Determinou-se três sequências de acionamento com nível de complexidade distinto entre elas. Para identificação, chamamos de A e B os atuadores hidráulicos lineares e C o atuador rotativo. Para avanço ou giro à direita usamos a notação “+” e recuo “-“. As sequências estabelecidas foram:

- NÍVEL 1 – A+B+A-B- (FUNCIONAMENTO CONTÍNUO);
- NÍVEL 2 – A+B+B-A- (FUNCIONAMENTO CONTÍNUO);
- NÍVEL 3 – A+B+C+B-A- (FUNCIONAMENTO CONTÍNUO). Para essa sequência, o atuador C deve ficar em movimento por 10 segundos e, após esse tempo, retornar o atuador B e continuar a sequência.

4.1 SEQUÊNCIAS COM ACIONAMENTO POR CLP

Foram desenvolvidas as lógicas de funcionamento de cada sequência no programa FST 4.10, utilizando linguagem Ladder. Nesta etapa, foi atribuído um endereçamento fixo para cada componente físico do sistema conforme representado na figura 34 abaixo.

Figura 34: Lista de endereços



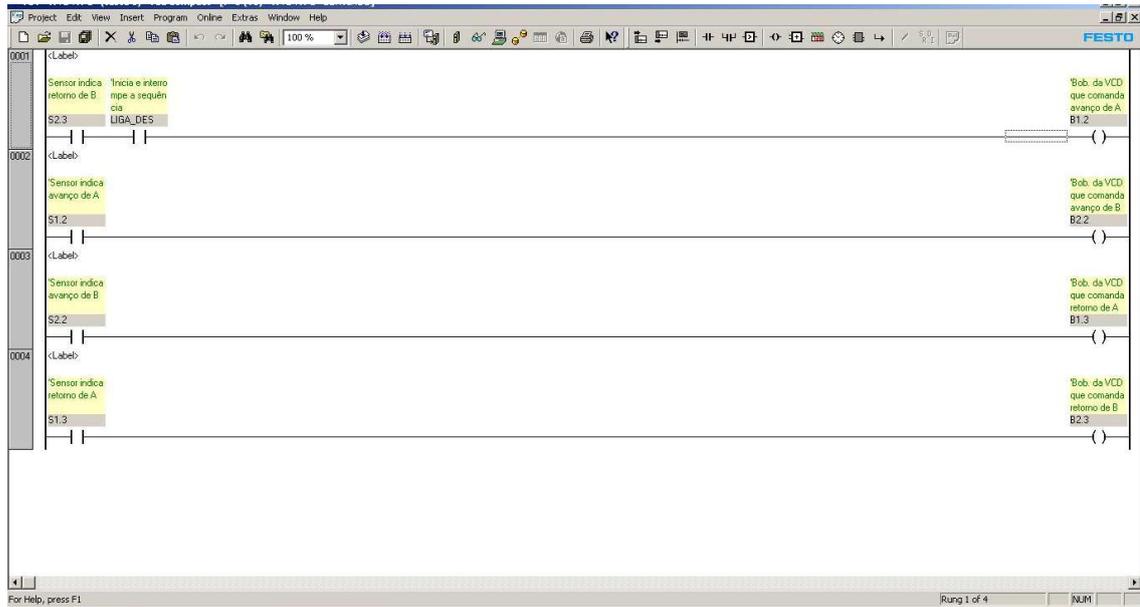
Operand	Symbol	Comment
00.0	B1.2	Bobina comanda avanço de A
00.1	B2.2	Bobina comanda avanço de B
00.2	B1.3	Bobina comanda retorno de A
00.3	B2.3	Bobina comanda retorno de B
00.4	B3.2	Bobina comanda giro Horário
01.0	AUX1	Seleciona grupo 1
01.1	AUX2	Seleciona grupo 2
IO.1	LIGA_DES	Inicia e interrompe a sequência
IO.2	S1.2	Sensor indica avanço de A
IO.3	S2.2	Sensor indica avanço de B
IO.4	S1.3	Sensor indica retorno de A
IO.5	S2.3	Sensor indica retorno de B
TO	TIMERO	
T1	TIMER2	

A importância do endereçamento fixo é que uma vez determinado, pode-se gerar inúmeras sequências distintas, sem a necessidade de alterar as configurações físicas do sistema (para a premissa de que todas as sequências tenham o mesmo número de atuadores).

Com o endereçamento definido, desenvolveu-se as lógicas de acionamento, partindo da mais simples até a mais complexa.

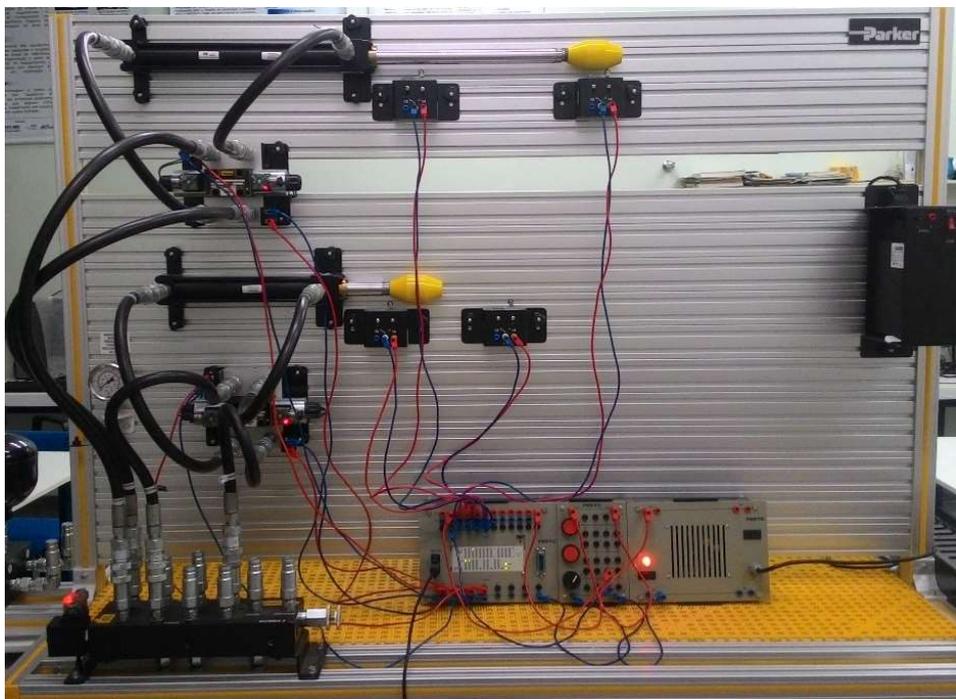
A figura 35 representa a lógica, em linguagem *Ladder*, para o funcionamento A+B+A-B- Contínuo.

Figura 35: Lógica de funcionamento seqüência A+B+A-B- contínuo



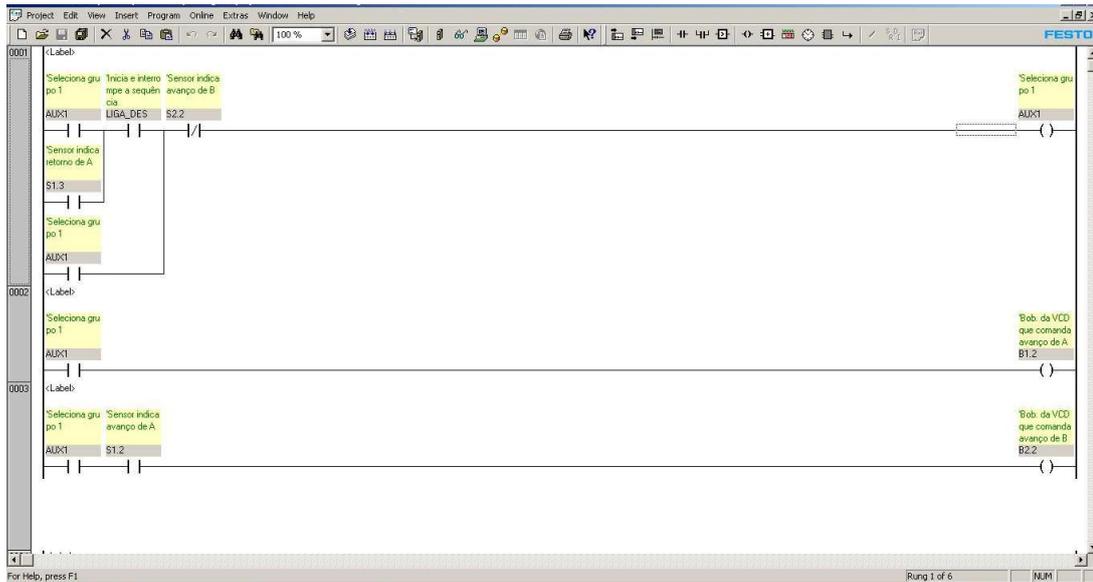
A figura 36 mostra como ficou, na bancada, a montagem dessa seqüência.

Figura 36: Montagem em bancada para a seqüência A+B+A-B- contínuo, acionada por CLP



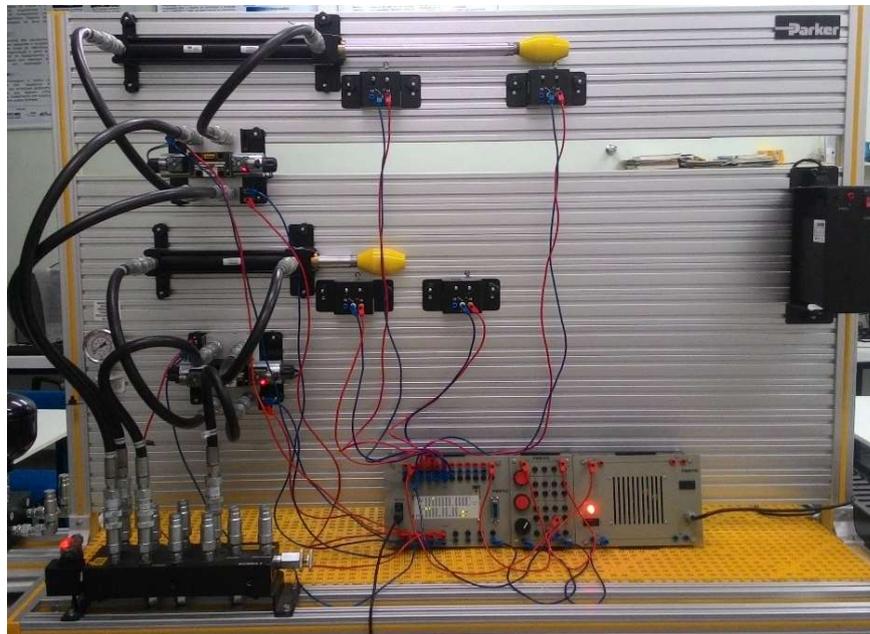
A figura 37 representa a lógica, em linguagem *Ladder*, para o funcionamento A+B+B-A- Contínuo.

Figura 37: Lógica de funcionamento seqüência A+B+B-A- contínuo



A figura 38 mostra como ficou, na bancada, a montagem dessa seqüência.

Figura 38: Montagem em bancada para a seqüência A+B+B-A- contínuo, acionada por CLP



As figuras 39, 40 e 41 representam a lógica, em linguagem *Ladder*, para o funcionamento A+B+C+B-A- Contínuo.

Figura 39: Lógica de funcionamento seqüência A+B+C+B-A- contínuo (Parte 1)

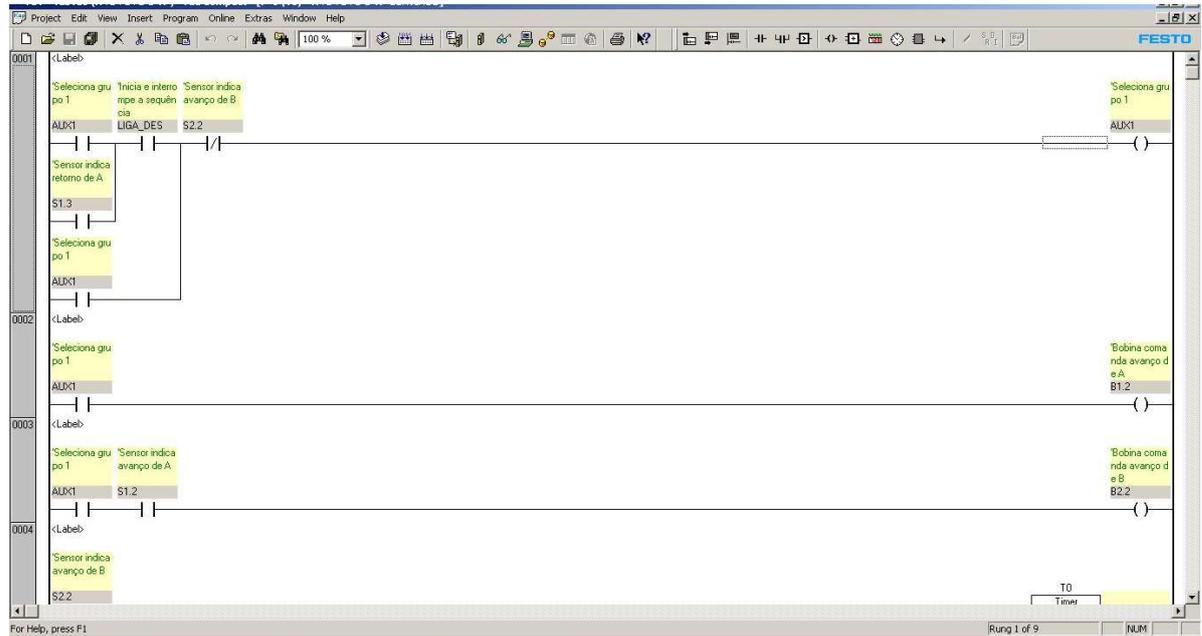


Figura 40: Lógica de funcionamento seqüência A+B+C+B-A- contínuo (Parte 2)

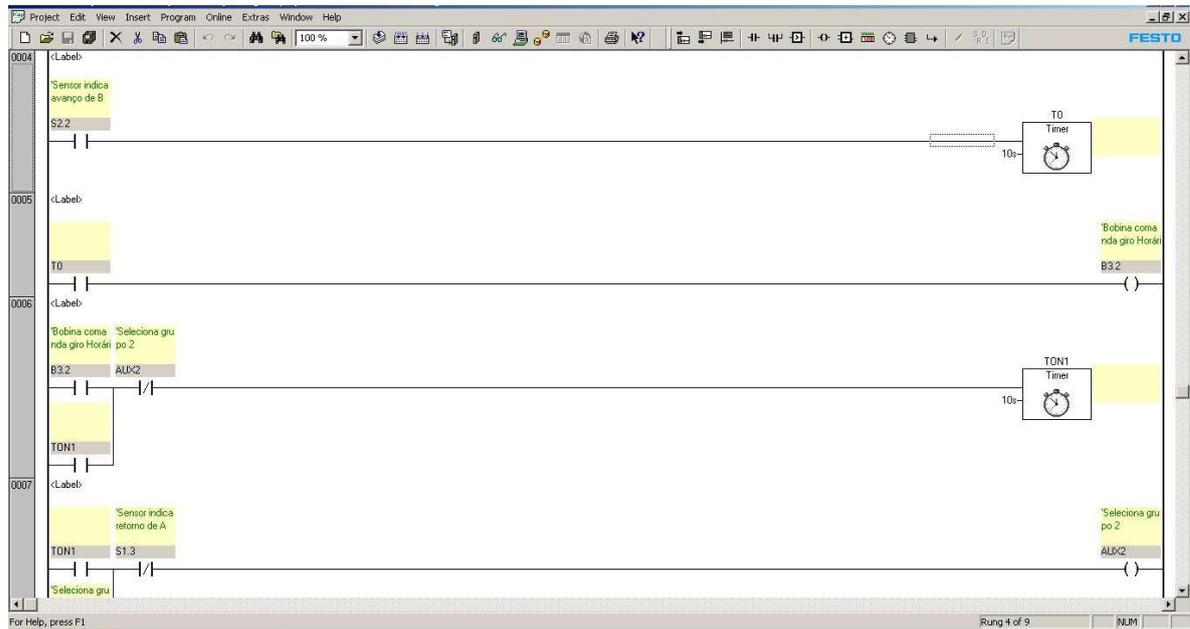
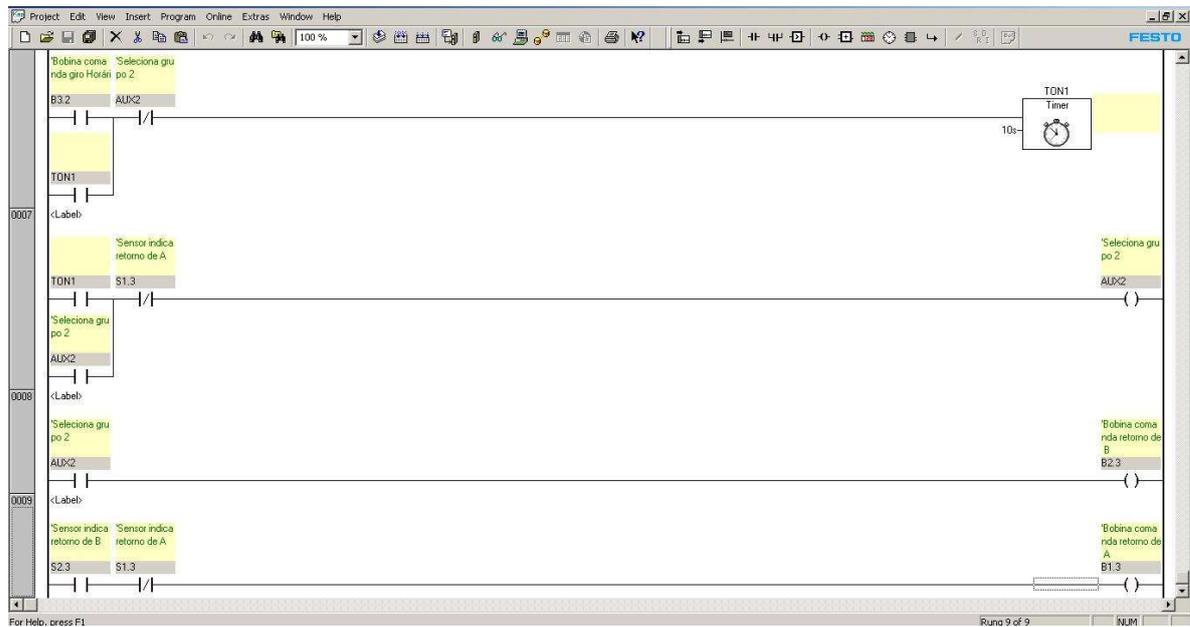
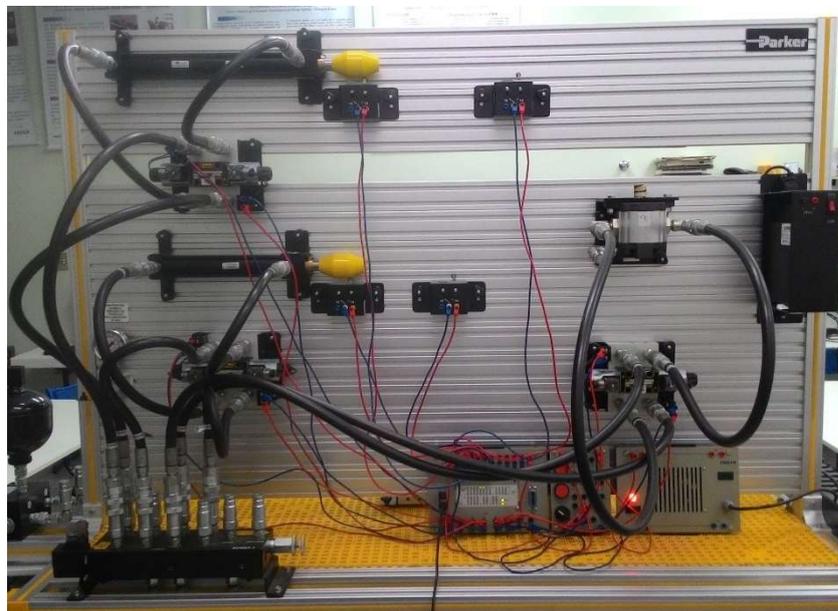


Figura 41: Lógica de funcionamento seqüência A+B+C+B-A- contínuo (Parte 3)



A figura 42 mostra como ficou, na bancada, a montagem dessa seqüência.

Figura 42: Montagem em bancada para a seqüência A+B+C+B-A- contínuo, acionada por CLP



Após a elaboração das lógicas, testes manuais de funcionamento dos finais de curso foram feitos, observando-se as respostas no CLP, antes que ele fosse colocado em modo on-line e comandasse o funcionamento do sistema hidráulico. Cada

sequência permaneceu por um período de tempo em funcionamento, para verificar se ocorreria o surgimento de falhas ou interrupção do funcionamento. Com funcionamento correto, todas foram filmadas e avaliadas.

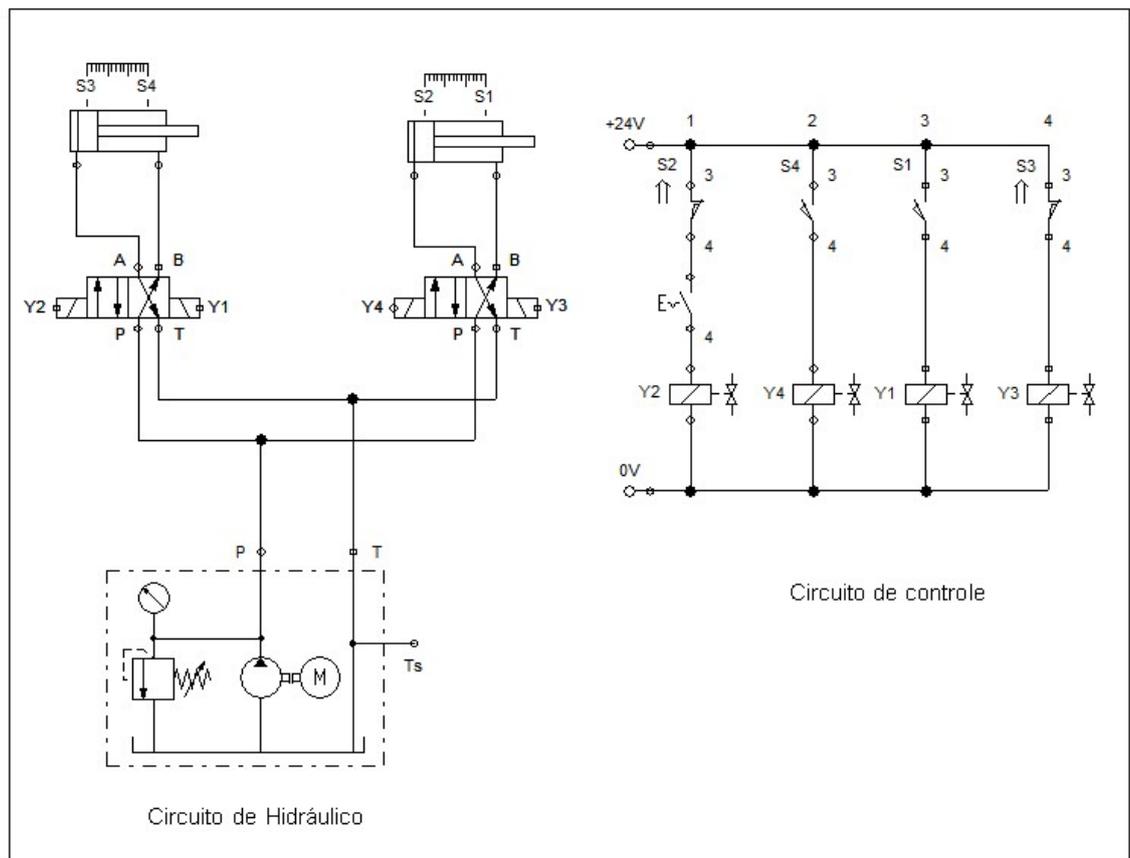
4.2 SEQUÊNCIAS COM ACIONAMENTO ELETROHIDRÁULICO

Nessa etapa, foram desenvolvidas as lógicas de funcionamento de cada sequência utilizando como sistema de acionamento o Eletrohidráulico.

Inicialmente, foram elaboradas simulações no programa FluidSIM, para auxiliar na montagem física do sistema e reduzir a probabilidade de falhas.

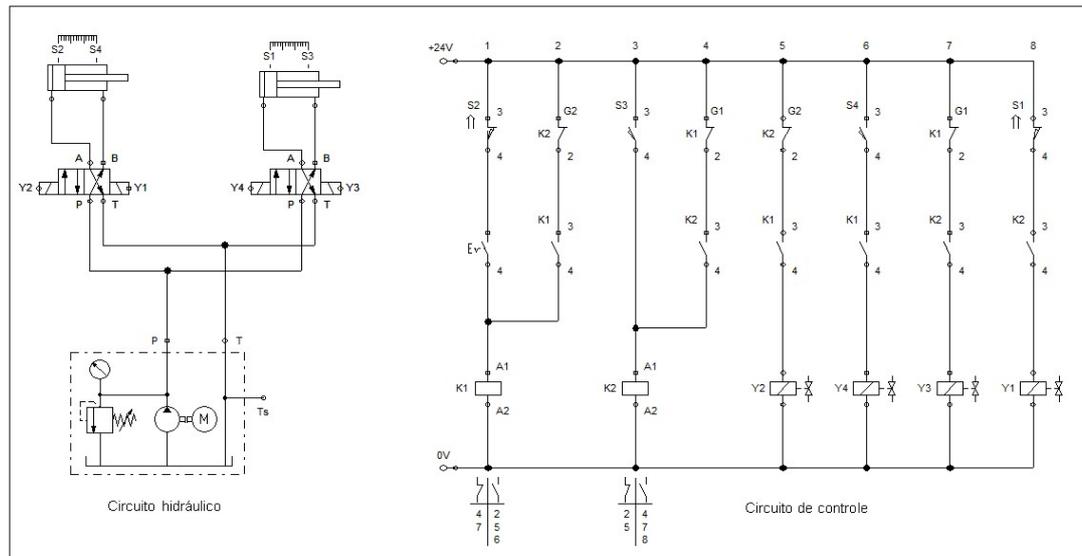
A figura 43 apresenta o esquema de montagem do sistema hidráulico e o circuito de acionamento para a sequência A+B+A-B- CONTÍNUO.

Figura 43: Esquema de montagem para a sequência A+B+A-B- CONTÍNUO.



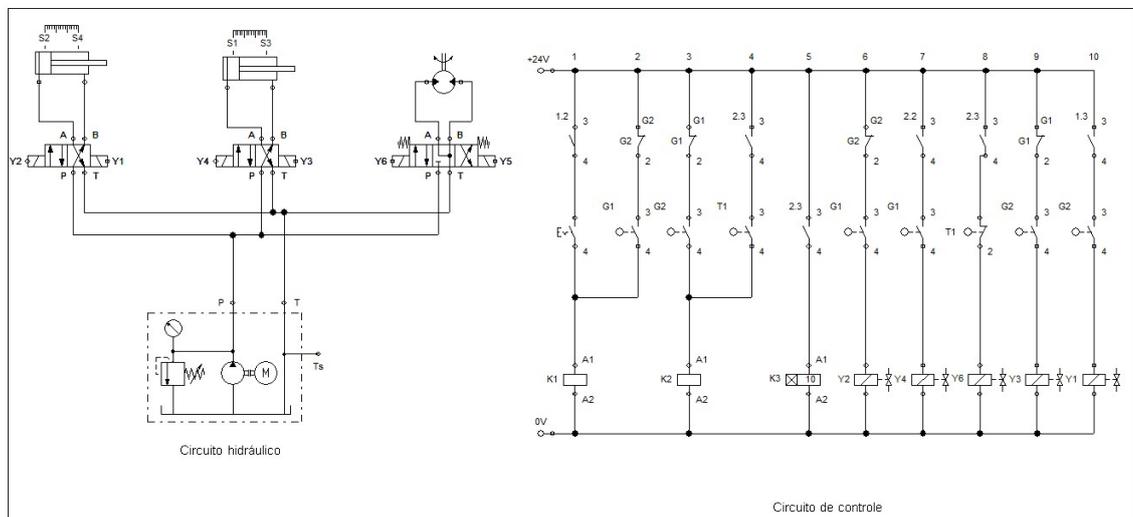
A figura 44, apresenta o esquema de montagem do sistema hidráulico e o circuito de acionamento para a sequência A+B+B-A- CONTÍNUO.

Figura 44: Esquema de montagem para a sequência A+B+B-A- CONTÍNUO.



A figura 45 apresenta o esquema de montagem do sistema hidráulico e o circuito de acionamento para a sequência A+B+C+B-A- CONTÍNUO.

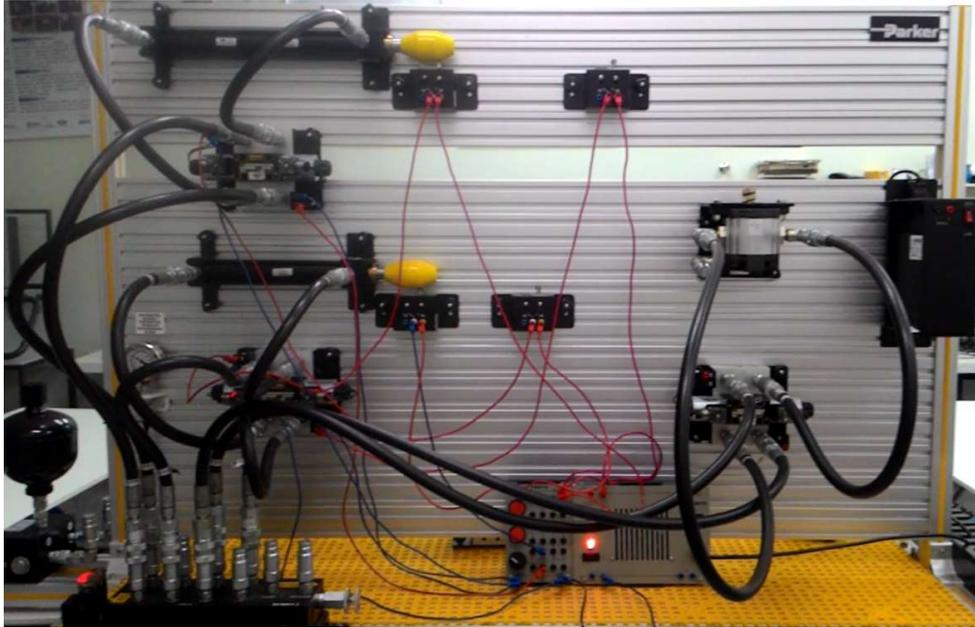
Figura 45: Esquema de montagem para a sequência A+B+C+B-A- CONTÍNUO



Com o diagrama de interligação em mãos, o próximo passo foi a montagem dos componentes do sistema de acionamento diretamente na bancada de testes.

A figura 46, apresenta como ficou a montagem, na bancada, para a sequência A+B+A-B- CONTÍNUO.

Figura 46: Montagem em bancada para a sequência A+B+A-B- contínuo, com acionamento Eletrohidráulico



A figura 47 apresenta como ficou a montagem, na bancada, para a sequência A+B+B-A- CONTÍNUO.

Figura 47: Montagem em bancada para a sequência A+B+B-A- contínuo, com acionamento Eletrohidráulico



A figura 48 apresenta como ficou a montagem, na bancada, para a sequência A+B+C+B-A- CONTÍNUO.

Figura 48: Montagem em bancada para a sequência A+B+C+B-A- contínuo, com acionamento Eletrohidráulico



5 RESULTADOS

A tabela 3, mostra a comparação de utilização de dispositivos para cada montagem.

Tabela 3: Lista de componentes

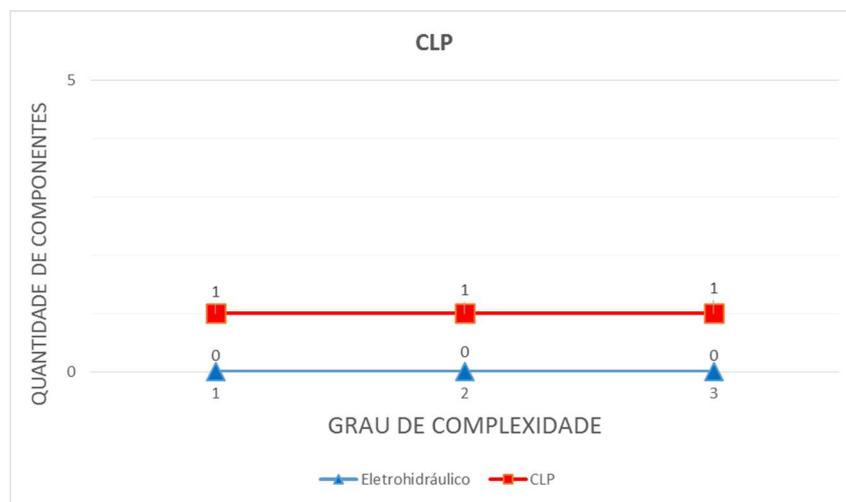
LISTA DE COMPONENTES								
		TIPO DE ACIONAMENTO	ELETROHIDRÁULICO			CLP		
			SEQUÊNCIA	A+B+A-B-CONTÍNUO	A+B+B-A-CONTÍNUO	A+B+C+B-A-CONTÍNUO	A+B+A-B-CONTÍNUO	A+B+B-A-CONTÍNUO
		GRAU DE COMPLEXIDADE	1	2	3	1	2	3
COMPONENTES	HIDRÁULICOS	ATUADOR LINEAR	2	2	2	2	2	2
		ATUADOR ROTATIVO	0	0	1	0	0	1
		MANGUEIRA HIDRÁULICA	8	8	13	8	8	13
		UNIDADE HIDRÁULICA	1	1	1	1	1	1
		VÁLVULA DE CONTROLE DIRECIONAL 4/2 VIAS	2	2	2	2	2	2
		VÁLVULA DE CONTROLE DIRECIONAL 4/3 VIAS	0	0	1	0	0	1
	ACIONAMENTO	CABO ELÉTRICO COM CONECTORES TIPO BANANA Ø4mm	13	25	33	20	20	22
		CHAVE SELETORA LIGA / DESLIGA	1	1	1	1	1	1
		CLP	0	0	0	1	1	1
		CONTATOR	0	2	2	0	0	0
		FONTE	1	1	1	1	1	1
		SENSOR	4	4	4	4	4	4
		TEMPORIZADOR	0	0	1	0	0	0

Os gráficos a seguir, representam a variação no número de componentes, considerando o nível de complexidade e o modelo de sistema de acionamento.

O sistema de acionamento que utiliza CLP e o Eletrohidráulico estão representados. O eixo das abcissas indica o nível de complexidade e o eixo das ordenadas o número de componentes.

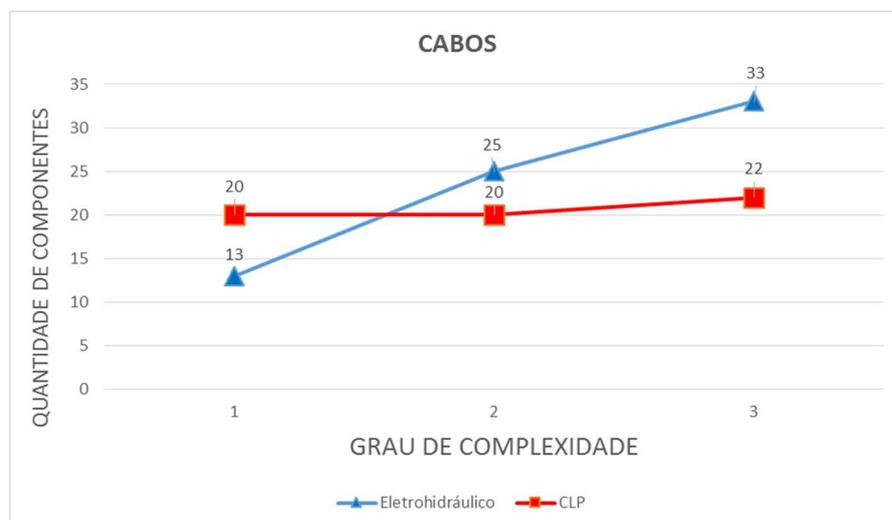
A figura 49 demonstra a variação na quantidade de CLP's, de acordo com o tipo de acionamento e grau de complexidade.

Figura 49: Variação na quantidade de CLP's



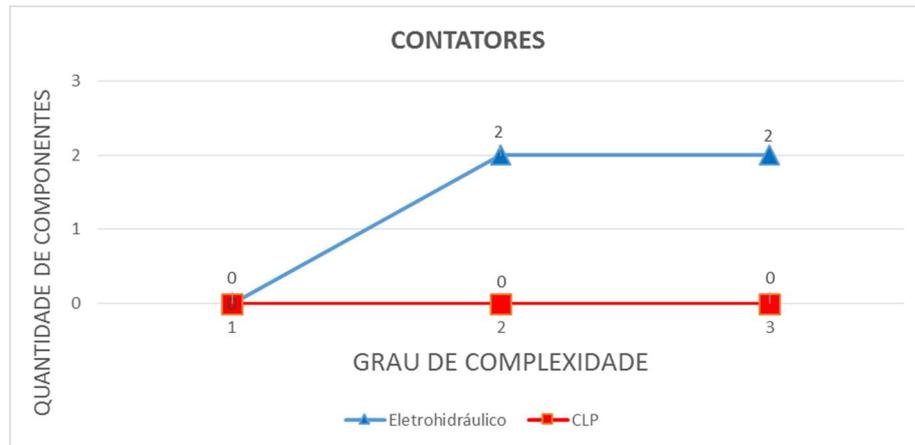
A figura 50 demonstra a variação na quantidade de cabos elétricos, de acordo com o tipo de acionamento e grau de complexidade.

Figura 50: Variação na quantidade de Cabos Elétricos



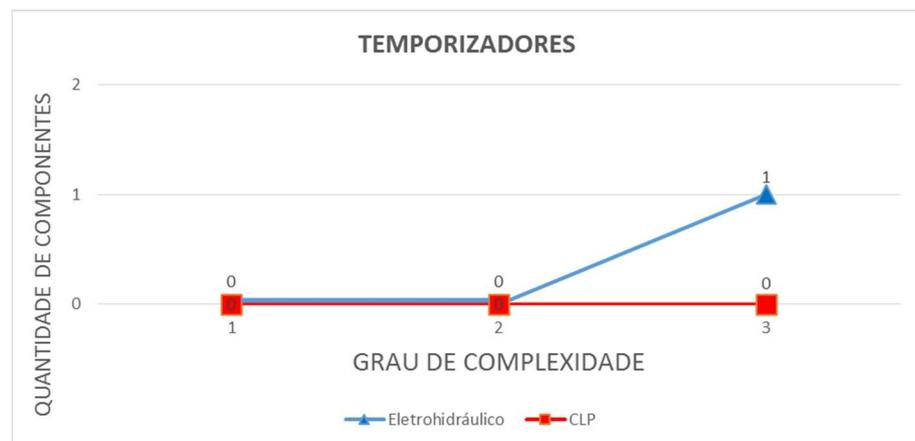
A figura 51 demonstra a variação na quantidade de contatores, de acordo com o tipo de acionamento e grau de complexidade.

Figura 51: Variação na quantidade de contatores



A figura 52 demonstra a variação na quantidade de temporizadores, de acordo com o tipo de acionamento e grau de complexidade.

Figura 52: Variação na quantidade de temporizadores



5.1 ANÁLISE DE RESULTADOS

Conforme mostra a tabela 02, para o circuito hidráulico não houve alteração na quantidade de componentes ao alternar o modelo de sistema de acionamento. Observa-se também o mesmo para alguns componentes do sistema, sendo eles: chave seletora liga / desliga; fonte 24V; microrruptores (sensores fim de curso).

Através do método acionado por CLP foi possível alternar entre uma sequência e outra com grande facilidade, sem o surgimento de falhas e sem a necessidade de modificar o posicionamento e nem a quantidade de componentes físicos, ou seja, com o computador conectado ao CLP, bastava retirar o controlador do modo RUN, carregar a sequência desejada e em seguida retornar o CLP para o modo RUN. Esta afirmação pode ser claramente comprovada quando são observadas as figuras 36 e 38, apresentadas anteriormente.

No caso do sistema Eletrohidráulico, observa-se uma simplicidade na montagem da sequência de Nível 1, figura 46, porém, à medida que o nível de complexidade aumenta, maior variedade e maior quantidade de componentes são exigidas, ou seja, quando existe a necessidade de alternar a sequência de funcionamento, certamente a disposição dos componentes físicos também deve ser alterada, mesmo em casos onde não há o aumento no número de atuadores. As figuras 46 e 47 mostram essa diferença.

Por apresentar uma montagem mais limpa quando comparada à montagem eletrohidráulica, a montagem com CLP facilita a localização de possíveis falhas de funcionamento, o que torna a correção muito mais fácil e ágil. As figuras 53 e 54 abaixo, mostram respectivamente, o sistema de acionamento utilizando CLP e o sistema de acionamento Eletrohidráulico, para comando da sequência A+B+C+B-A-CONTÍNUO.

Figura 53: Sistema de acionamento por CLP para a sequência A+B+C+B-A- CONTÍNUO

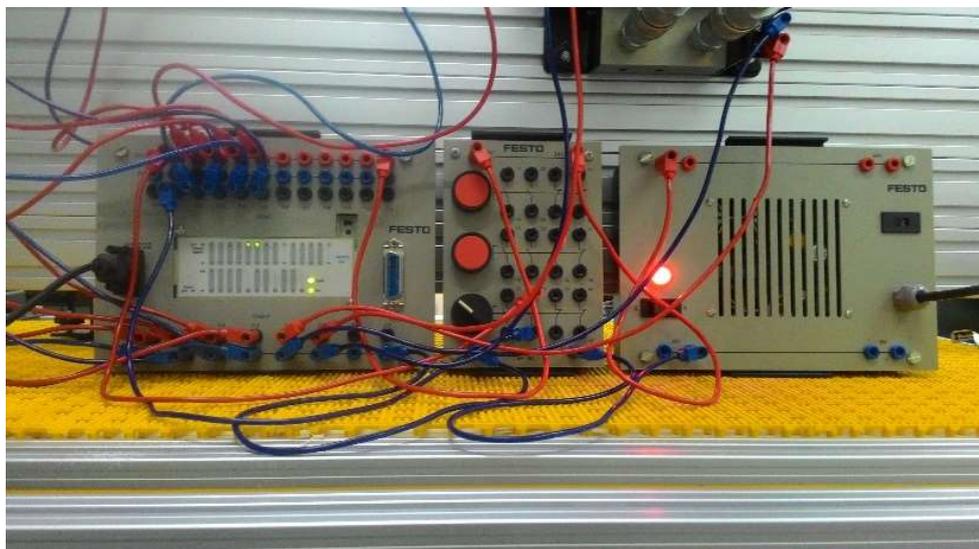
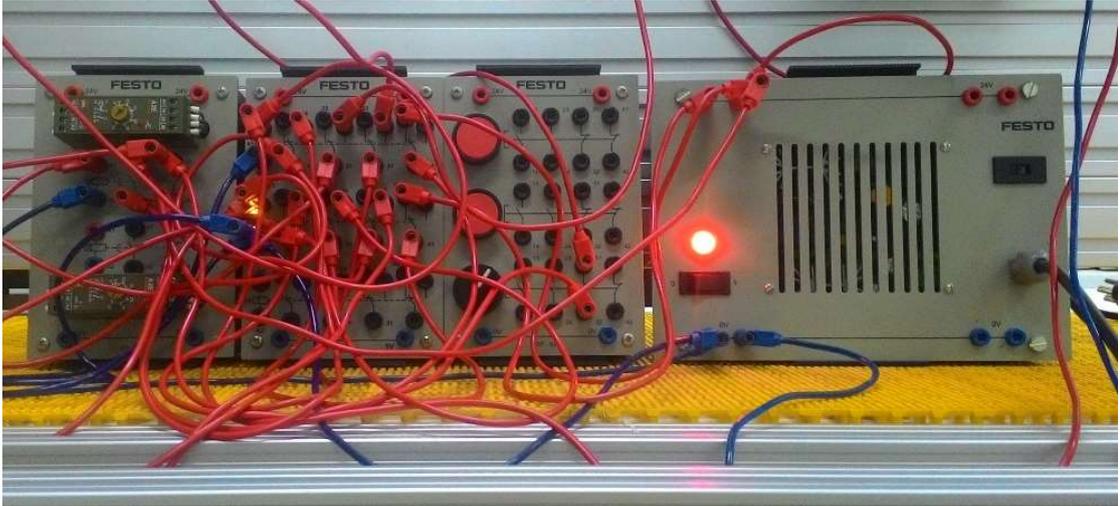


Figura 54: Sistema de acionamento Eletrohidráulico para a sequência A+B+C+B-A-CONTÍNUO



6 CONCLUSÃO

Ao final deste projeto, foi possível demonstrar algumas possibilidades e vantagens de se controlar sistemas hidráulicos utilizando CLP's. Além disso, demonstrou-se que a utilização de programação em CLP pode reduzir o número de componentes de um sistema de acionamento convencional, aumentar a confiabilidade do sistema, aumentar a disponibilidade e flexibilizar mais a produção.

Durante os ensaios foram possíveis simulações em ambiente computacional capazes de promover de forma amigável esboços das montagens, sugerindo melhorias e correções, tanto para eletrohidráulicas e com PLC. Ao montar nas bancadas, as sequências poderiam ter confirmadas seu correto funcionamento. Para montagens mais limpas (com menor número de componentes), naturalmente a localização de falhas pôde ser evidenciada de forma mais fácil. Isso ocorre de melhor forma com as montagens com o uso do CLP, comparadas às eletrohidráulicas.

Através do método acionado por CLP foi possível alternar entre as sequências com grande facilidade, sem a necessidade de modificar o posicionamento nem a quantidade de componentes físicos, ou seja, com o computador conectado ao CLP, bastava retirar o controlador do modo RUN, carregar a sequência desejada e em seguida retornar o CLP para o modo RUN. Isso sugere uma flexibilidade bastante significativa em montagens que requeiram modificações constantes. No entanto, para sistemas industriais com montagens fixas, que não requeiram modificações constantes em suas sequências de funcionamento, sistemas eletrohidráulicos podem ser preferidos, uma vez que não se utiliza a vantagem da flexibilidade das programações, com um custo mais reduzido, pois dispensa o equipamento CLP.

Na montagem de sistemas acionados com uso de CLP's, é reduzida a necessidade de mão de obra técnica mais qualificada, pois a lógica de funcionamento já foi desenvolvida por um programador (Engenheiro ou Técnico Especializado) e está concentrada na memória interna do controlador e o técnico de montagem necessita ter em mãos apenas a informação de quais as portas de entrada e saída do controlador deverão ser conectadas aos sensores e elementos finais de controle respectivamente. Já nos circuitos eletrohidráulicos, o técnico responsável pela montagem de campo deverá possuir um elevado conhecimento técnico relacionado à

lógica de relés, para garantir que a montagem e o funcionamento da sequência sejam perfeitos.

Além disso, acredita-se ter sido possível colocar em prática parte dos conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia de Automação Industrial da instituição.

REFERÊNCIAS

CASTELETTI; L. F. **Apostila de Comandos Eletrohidráulicos e Eletropneumáticos** - versão 2012.

DELGADO, Jaime Alfonso Rodriguez; SOTO, Viyils Sangregorio. **Implementación del sistema de control tecnología *Rockwell Automation* en el laboratorio de automatización industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana**. 2010. Disponível em: <http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1373/1/digital_19890.pdf>. Acesso em: 5 set. 2015.

FIALHO, A. B. **Automação Hidráulica**. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2006.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. São Paulo: Érica, 2013.

GOMES, M. R; ANDRADE. M; FERRAZ. F. **Apostila de Hidráulica**. 2008. CEFET-BA-. Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia. Santo Amaro, 2008. Disponível em: < <http://fagnerferraz.files.wordpress.com/2011/11/apostila-de-hidrc3a1ulica1.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

História e outras Histórias. Disponível em: <<http://martaiansen.blogspot.com.br/2011/09/engenhos-e-engenhocas.html>>. Acesso em: 03 nov. 2015.

KOPELVSKI, M. M. **Teoria de CLP**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.cefetsp.br/edu/maycon/arqs/ap_clp_rev00.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2014.

LINHARES, A. **Notas de Aula do Curso de Hidráulica Industrial**. Setembro 2000 – revisão fevereiro 2013.

NETTO, J. M. A.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. 669 p.

PARKER. **Tecnologia Eletrohidráulica Industrial**. Apostila M1003-BR Julho 2006.

REXNORD; RACINE HIDRÁULICA LTDA. **Manual de Hidráulica Básica**. 2ª edição, 1979.

VICKERS; TRINOVA. **Manual de hidráulica industrial 935100-BR**. 12ª edição, 1994.