

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA – UNIPAMPA

EDUARDO ALMEIDA PORTO

**AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS COM A
UTILIZAÇÃO DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS**

**Alegrete
2015**

EDUARDO ALMEIDA PORTO

**AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS COM A
UTILIZAÇÃO DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Mauricio Paz França

**Alegrete
2015**

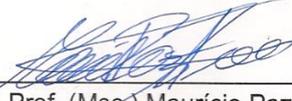
EDUARDO ALMEIDA PORTO

**AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS COM A
UTILIZAÇÃO DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS**

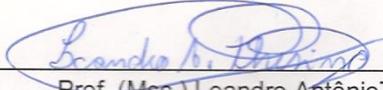
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

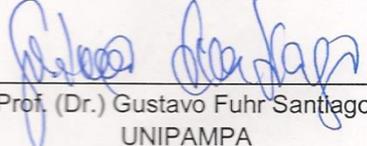
Banca examinadora:



Prof. (Msc.) Maurício Paz França.
Orientador
UNIPAMPA



Prof. (Msc.) Leandro Antônio Thesing.
UNIPAMPA



Prof. (Dr.) Gustavo Fuhr Santiago.
UNIPAMPA

Dedico este trabalho à minha mãe, Tânia,
ao meu pai, José e aos meus irmãos
Tanise, Vanessa e Leonardo.

AGRADECIMENTO

Agradeço de forma especial e carinhosa aos meus pais, José e Tânia, pelo amor, incentivo, pelo imenso esforço, crédito, determinação e luta na minha formação. Aos meus irmãos Tanise e Leonardo, por suas palavras de carinho e motivação, os quais foram de suma importância para que eu não tivesse desistido do curso, quando tudo caminhava para este fim.

A esta universidade, seu corpo docente, administração e sua direção, que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte melhor, contaminado pela confiança no mérito e ética aqui presentes.

Ao meu orientador Msc. Maurício Paz França, onde sua incomparável competência, inspiração e esforço ao trabalho me impulsionou nesta jornada.

Ao meu cunhado Guilherme Torri, por me ajudar nas traduções do resumo, inúmeras vezes.

Aos meus colegas e amigos, Cleber Taschetto Parcianello, Fabricio Goulart, Hezry Gomes e Vitor Godoy pela ajuda prestada em toda graduação, tanto dentro, quanto fora da universidade. Sem vocês a caminhada não seria possível.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, como graduando ou como ser humano, meu muito obrigado.

Por fim, agradeço em especial a minha irmã Vanessa que, mesmo hoje a anos distante, sempre me incentivou aos estudos, servindo como exemplo que através do estudo as pessoas podem ser o que quiserem, basta nos esforçarmos ao máximo, lutar pelos nossos sonhos, e que não existe sonho impossível de se concretizar, devemos sempre encarar a vida com um sorriso na alma, respeitando sempre a todos.

“Seja quem você for, seja qual for sua posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá”.

Ayrton Senna

RESUMO

Este trabalho propõe um sistema de automação utilizando válvulas eletro-hidráulicas, controladas por um Controlador Lógico Programável (CLP), que assim controla o

sistema de trabalho de implementos agrícolas. O sistema irá fornecer ao operador uma melhor precisão, conforto, versatilidade, segurança e velocidade, melhorando assim a produção da máquina adaptada e permitindo seu uso em agricultura de precisão. O principal objetivo da agricultura de precisão é maximizar a eficiência na utilização de insumos. Esta será obtida a partir da utilização de recursos eletrônicos através do uso da eletrônica embarcada. O sistema de automação proposto prevê a criação de um conjunto de programas em linguagem *Ladder* utilizados nos CLPs de baixo custo. O controle eletrônico será usado para automatizar as funções executadas em implementos agrícolas como o arado, pulverizador e plantadeiras. Este controle é realizado a partir do CLP que manda um sinal para a válvula eletro-hidráulica, e esta por sua vez comanda os atuadores que controlam as funções de subida e de descida do engate de três pontos do trator. A viabilidade econômica do sistema proposto envolve avaliar a redução dos custos de operação, seja pelo aumento de produtividade ou da redução do impacto ambiental causado pelo excesso de insumos, metas que são típicas da agricultura de precisão. O custo da implementação deste sistema na atualização de tratores e implementos antigos, é obtido pelo preço de R\$ 2500, o que contribui para a avaliação da viabilidade econômica para o produtor de baixa renda. As simulações iniciais foram obtidas através do software FluidSIM. Posteriormente, o sistema foi testado nas bancadas de hidráulica e pneumática da Unipampa.

Palavras-chaves: Máquinas; Automação; Agricultura de precisão; Sistema hidráulico.

ABSTRACT

This work proposes an automation system using electro-hydraulic valves, and a low-cost Programmable Logic Controller (PLC) to control the operation of agricultural implements. The system will provide the operator and farmers better precision, comfort, versatility, safety and speed, so improving the agricultural production of the adapted machine.

Provided that the main objective of precision agriculture is to maximize the efficiency on the usage of raw materials, efficiency will be achieved through the use of electronic resources (embedded electronics) and tools from informatics in agricultural machines.

The automation system proposed foresees the development of a set of programs in Ladder language used in the low-cost PLCs. The electronic control will be used to automate functions executed in agricultural machines such as the plow, sprayer and seeder, also allowing to perform signal processing of sensors, actuators, on-board computers, sprayer controllers, fertilizer controller and satellite mapping.

The economic viability of the proposed system takes into consideration the reduction on operational costs, either by productivity increase or by the reduction of the environmental impact caused by excessive use of raw materials, which are typical targets of precision agriculture.

The cost of implementation of this system while retrofitting old tractors and agricultural implements also contribute to the economic viability evaluation. Preliminary results were obtained by means of simulation with the FluidSIM software package. Later on the system was tested in circuits on the hydraulic and pneumatic workbenches available at Unipampa.

Keywords: Machines; Automation, Precision agriculture, Hydraulic system

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de um sistema hidráulico.....	23
Figura 2: Cilindro com haste simples de dupla ação	24
Figura 3: Representação gráfica de vias e posições.....	25
Figura 4: Representação gráfica de passagem e bloqueio de escoamento.....	26
Figura 5: Válvula 2/2	26
Figura 6: Representação do carretel deslizante	27
Figura 7: Válvula de retenção simples.....	27
Figura 8: Válvula de retenção sem mola.....	28
Figura 9: Conversores eletromecânicos.....	28
Figura 10: Esquema Interno da Válvula Proporcional.....	29
Figura 11: Transmissão e aumento da força pelo sistema hidráulico.....	30
Figura 12: Sistema de engate de três pontos.....	31
Figura 13: Partes constituintes do engate de três pontos.....	31
Figura 14: Plantadeira Knapik.....	32
Figura 15: Arado acoplado aos três pontos do trator.....	33
Figura 16: Pulverizador MONTANA.....	34
Figura 17: Arquitetura Básica do CLP.....	36
Figura 18: CLP compacto LOGO.....	39
Figura 19: CLP modular Siemens S7-300.....	40
Figura 20: Estrutura da linguagem Ladder.....	42
Figura 11: Representação de um circuito hidráulico no software FluidSim.....	43
Figura 22: Painel do operador.....	44
Figura 23: Circuito Eletro-hidráulico de um arado.....	45
Figura 24: Circuito Eletro-hidráulico de um pulverizador.....	46
Figura 25: Sistema de controle de fluxo de uma plantadeira.....	47
Figura 26: Sistema de controle do levante do trator.....	47
Figura 27: Circuito eletro-hidráulico do arado/pulverizador.....	48
Figura 28: Circuito eletro-hidráulico de uma plantadeira.....	49
Figura 29: CLP FESTO.....	50
Figura 30: Diagrama <i>Ladder</i> conjunto trator/implementos agrícolas.....	54

Figura 31: Lista de alocação do conjunto trator/implementos agrícolas.....	55
Figura 32: Circuito eletro-hidráulico trator/implementos agrícolas com o CLP.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Significado dos Símbolos mais comuns.....	41
Quadro 2: Variáveis de entrada conjunto trator-implementos agrícolas.....	52
Quadro 3: Variáveis de saída conjunto trator-implementos agrícolas.....	52
Quadro 4: Tabela de correspondência lógica.....	52
Quadro 5: Custo final do sistema.....	62

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1: Processo de execução do CLP	37
Fluxograma 2: Sequência do processo de verificação	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

a.C.: antes de Cristo

CLP: Controlador Lógico Programável

CPU: *Central Processing Unit* (Unidade Central de Processamento)

d.C.: depois de Cristo

DIN: *Deutsches Institut für Normung* (Instituto Alemão para Normalização)

EPROM: *Erasable Programmable Read-Only Memory* (Memória Programável Apagável somente de Leitura)

IEC: *International Electrotechnical Commission* (Comissão Electrotécnica Internacional)

IHM: Interface Homem Máquina

IL: *Instruction Line* (Lista de Instruções)

LED: *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)

NBR: Normas Brasileiras

PLC: *Programmable Logic Controller* (Controlador Lógico Programável)

PROM: *Programmable Read-Only Memory* (Memória programável só de Leitura)

RAM: *Random Access Memory* (Memória de Acesso Aleatório)

ROM: *Read Only Memory* (Memória Apenas de Leitura)

SFC: Sequence Function Chart (Quadro de Sequência de Função)

TIE: Tabela Imagem de Entrada

TIS: Tabela Imagem de Saída

V: *Volts*

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE QUADROS	11
LISTA DE FLUXOGRAMAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	13
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Contextualização do tema, do problema e da questão de pesquisa.....	17
1.2 Objetivos.....	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos.....	18
1.3. Justificativa	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 – Máquinas	19
2.1.1 Características	20
2.1.2 Classificação	20
2.1.2.1 Máquinas não automáticas.....	21
2.1.2.2 Máquinas automáticas.....	21
2.2 Automação.....	22
2.2.1 Automação Rígida.....	22
2.2.2 Automação Programável	23
2.2.3 Automação Flexível	23
2.3. Hidráulica	23
2.3.1 Sistemas hidráulicos de máquinas.....	24
2.3.2 Esquema geral de um sistema hidráulico	24
2.3.3 Atuador hidráulico: cilindros	25
2.3.4 Cilindro de dupla ação.....	26

	15
2.3.4.1 Haste simples	26
2.3.5 Válvulas.....	26
2.3.5.1 Válvulas de controle direcional.....	27
2.3.6.2 Válvula com carretel linear	28
2.3.6.3 Válvula reguladora de pressão.....	29
2.3.6.4 Válvulas de retenção	29
2.3.6.5 Válvula de retenção sem mola	30
2.3.6.6 Válvulas com conversores eletromecânicos.....	30
2.3.6.7 Válvulas proporcionais	31
2.4 – Sistema hidráulico dos implementos agrícolas	32
2.4.1 Trator.....	32
2.4.2 Sistema hidráulico de uma plantadeira	34
2.4.3 Sistema hidráulico de um arado.....	35
2.4.4 Sistema hidráulico de pulverizadores tratorizados	36
2.5 Controlador lógico programável.....	37
2.5.1 Componentes básicos do CLP	38
2.5.2 Operação Básica do CLP	39
2.5.3 Programação.....	39
2.5.4 Execução.....	39
2.5.5 Processo de verificação	41
2.5.6 Tipos de CLP.....	42
2.5.7 Linguagem.....	43
2.5.8 Linguagem <i>Ladder</i>	44
2.6 FluidSIM.....	45
3 METODOLOGIA.....	46
3.2. Segunda etapa: montagem do circuito dos componentes agrícolas.....	47
3.2.1 Sistema eletrohidráulico Trator/Arado	48
3.2.2 Sistema Eletrohidráulico trator/Pulverizador.....	48
3.2.3 Sistema eletrohidráulico Trator/Plantadeira.....	49

3.3 Terceira etapa: utilização do software FluidSIM	50
3.4 Quarta etapa: criação de programas <i>Ladder</i> para o CLP	53
3.5 Quinta etapa: bancada de testes	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema, do problema e da questão de pesquisa

Ao longo da história, o homem sempre se preocupou em soluções para os inúmeros problemas que foram surgindo. O trabalho braçal tinha inúmeras desvantagens como tempo, volume, precisão, conflitos, cansaço e ergonomia. As empresas que produzem máquinas investem pesado, para que satisfaçam e conquistem clientes. Elas apostam na evolução das máquinas em características como velocidade, conforto, acessórios, refrigeração, consumo de combustível, transmissão, potência, capacidade de carga e outros componentes. A automação é um dos pilares dessa evolução, proporcionando à conquista do mercado, e a melhoria contínua das ferramentas. Um componente básico para essa automação é através do uso de Controladores Lógicos Programáveis.

O objetivo deste trabalho é a automação do sistema hidráulico do conjunto trator-implemento agrícola, utilizando componentes eletro-hidráulicos comandados por um CLP de baixo custo. Para o controle e automação, o CLP utiliza programas criados a partir da linguagem *Ladder*. Logo, será criado um programa que controla as atividades do operador de forma semiautomática para cada implemento agrícola utilizado (arado, pulverizador e plantadeira), por meio de um painel de controle. Isso faz com que a máquina tenha mais precisão e segurança no trabalho, como também facilitar o trabalho do operador, minimizando erros na produção.

O trabalho foi estruturado da seguinte forma: no capítulo 2, será abordada a fundamentação teórica, onde será mostrada a importância dos conceitos de automação, hidráulica e também um dos mais importantes componentes da automação industrial, o Controlador Lógico Programável. No capítulo 3, encontra-se a metodologia que visa à utilização de softwares de lógica de programação, hidráulica e elétrica. Por fim, no capítulo 4, mostra-se os resultados obtidos com a utilização do CLP no conjunto trator-implemento agrícola e no capítulo 5, as conclusões obtidas com o projeto, bem como sugestões de trabalhos futuros com esse tema.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

A proposta deste projeto tem como objetivo a criação de um sistema automático de controle do sistema hidráulico para tratores de baixo custo, utilizando CLPs, com o intuito de automatizar as funções dos implementos agrícolas a ele conectados para o trabalho.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Simulação, projeto, e criação de um sistema hidráulico automatizado para o levante de arados e pulverizadores conectados em tratores de baixo custo.
- Criação do programa *Ladder* para os controles simulados.
- Simulação e teste dos sistemas em bancada.

1.3. Justificativa

O panorama mundial aponta claramente para um futuro em que a agricultura dependerá inevitavelmente da automação. Esta pode auxiliar profundamente na sustentabilidade do processo produtivo bem como no desenvolvimento econômico e social. Sua aplicação é ampla e existe potencial de contribuição em várias áreas. O projeto cria um sistema de automação para o controle de máquinas agrícolas. Esse tipo de equipamento já existe, mas o grande empecilho se deve ao fato de ser somente em máquinas de alto valor comercial, logo está na mão de poucos proprietários rurais, assim auxiliando apenas uma pequena parte da sociedade. Como se sabe, a grande maioria dos produtores rurais do Brasil são de pequena renda. Este estudo visa facilitar a vida desses produtores, propondo sistemas de automação para esse público.

Outra vantagem do uso de CLPs em máquinas agrícolas é que ele evita o “trancaço” (nome popularmente dado ao choque hidráulico por decompressão na linha de retorno de uma válvula) que existe em cada troca de novo implemento agrícola, devido à falha da bomba de fluxo presente no sistema hidráulico das

máquinas. Com o uso do CLP minimiza-se esse tipo de transtorno evitando a quebra da bomba hidráulica. Para se minimizar o trancaço, além do uso do CLP, se devem usar dispositivos de proteção que tenham por efeito limitar os valores da sobre pressão e da depressão do fluido. Recomenda-se reduzir a velocidade do líquido usando válvulas de alívio e de retenção.

Para atingir os objetivos gerais e específicos do projeto, foi definido um estudo de caso dos diferentes implementos agrícolas, bem como o estudo de seus sistemas hidráulicos para a criação do programa, que visa facilitar os controles do conjunto trator-implemento agrícola, substituindo as válvulas tradicionais, pelas válvulas eletro-hidráulicas, as alavancas mecânicas por botões em um painel de controle.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 – Máquinas

Conforme Giacosa (1970) máquina é um dispositivo que utiliza energia e trabalho para atingir um objetivo pré-determinado. Na física, é todo e qualquer dispositivo que muda o sentido ou a intensidade de uma força com a utilização do trabalho.

No uso comum, Pulkrabek (2004) relata que máquina é um dispositivo que tem peças para executar ou auxiliar na execução de qualquer tipo de trabalho. Uma máquina simples é um dispositivo que transforma a direção ou magnitude de uma força. As máquinas são montadas a partir de tipos normalizados de componentes. Estes elementos consistem em mecanismos que controlam o movimento de várias maneiras, tais como trens de engrenagens, transistores, comutadores, correias ou correntes de transmissão, árvores de cames, sistemas de freios e embreagens, além de componentes estruturais, tais como membros de quadro e parafusos.

Máquinas modernas incluem sensores, atuadores e controladores por computador. Historicamente, é considerado um dispositivo necessário para mover as peças a ser classificado como uma máquina, no entanto, o advento da tecnologia eletrônica tem levado ao desenvolvimento de dispositivos sem partes móveis que são considerados máquinas, o computador é o exemplo mais óbvio. As máquinas estão presentes em uma grande variedade nas indústrias, aplicações comerciais, residenciais e de transporte.

Os modelos de máquinas hidráulicas, por exemplo, são empregados, especialmente nos setores de fabricação e construção, ou seja, em aplicações que necessitam grande força e potência. Hoje, a tecnologia está presente em todos os lugares, mas o advento das máquinas começou durante a Revolução Industrial, quando o trabalho manual foi sendo substituído aos poucos por equipamentos que eram capazes de produzir com maior rapidez, segurança e precisão. As máquinas são essenciais na otimização da produção. Atualmente, existem diversos modelos utilizados na área industrial, sendo elas mecânicas, manuais, pneumáticas, hidráulicas, entre outras. Mas não é só no âmbito industrial que esses aparelhos e equipamentos imperam. Nos estabelecimentos comerciais e residenciais, podemos conviver diariamente com uma série delas, como os eletrodomésticos, as calculadoras e os aparelhos celulares.

Implemento agrícola é um equipamento mecânico que, acoplado a um trator ou a um animal, desempenha funções na agricultura, como arado, grade, plantadeira, colheitadeira, pulverizador e raspadora ou niveladora. Todos esses implementos podem ser acoplados ao conjunto de três pontos do trator, que é um tipo de máquina que exerce tração, possibilitando a execução de trabalho produtivo com conforto ao operador, multiplicando a força humana.

2.1.1 Características

A diferença preliminar entre ferramentas simples e mecanismos ou máquinas simples é uma fonte de energia e uma operação um tanto independente. O termo máquina aplica-se geralmente a um conjunto de peças que operam juntas para executar o trabalho. Geralmente estes dispositivos minimizam a intensidade de uma força aplicada, alterando o sentido da força ou transformando um tipo de movimento ou de energia em outro.

2.1.2 Classificação

As máquinas podem ser divididas em automáticas e não-automáticas (ou manuais):

2.1.2.1 Máquinas não automáticas

Segundo Zerbini (2005) são todas as máquinas que precisam da energia permanente do operador para executar o trabalho. Um bom exemplo disso é uma furadeira manual, em que o operador tem que girar continuamente uma manivela para que ela execute o trabalho.

2.1.2.2 Máquinas automáticas

São aquelas onde a energia provém de uma fonte externa, conforme analisou Zerbini (2005), como energia elétrica, térmica, entre outras. Uma furadeira elétrica em que o operador tem que somente apertar um botão para que a mesma execute o trabalho é uma máquina automática. Com isso, pode-se dizer também que as máquinas automáticas não precisam da energia permanente do operador, mas de certa forma necessitam do controle permanente do mesmo, que no caso da furadeira é apertar um botão. As máquinas automáticas podem ainda ser divididas em: programáveis e não programáveis.

A máquina automática não programável executa sempre o mesmo trabalho ao receber energia. A máquina automática programável tem como característica o fato de que o seu trabalho depende de instruções dadas pelo operador. Pode-se citar como exemplo de máquina automática programável uma máquina que realiza seu trabalho conforme a posição de chaves. Pode-se ainda introduzir instruções em uma máquina automática programável por meio de um computador ou outro tipo de processador eletrônico, como um micro controlador ligado a um teclado.

Uma máquina automática com um controle de tempo por meio de um temporizador não pode ser considerada programável, pois ela não muda seu trabalho conforme o ajuste do temporizador, muda apenas o período em que executa. Também não pode ser considerada programável uma máquina que possua um controle de intensidade que o usuário pode ajustar, pois assim ela também continua executando o mesmo trabalho apenas com uma intensidade diferente e ele não depende de programa algum.

2.2 Automação

Segundo Fialho (2003) automação pode ser definida como a “dinâmica organizada” dos automatismos, que em sentido amplo representa a mais evidente expressão de progresso quando orientada para uma economia ou potencialização cada vez maiores da intervenção humana nas diversas manifestações, não só industriais, como também gerais da vida social. Já automatismos são, em contrapartida, os meios, instrumentos, máquinas, processos de trabalho, ferramentas ou recursos, graças aos quais a ação humana, em um determinado processo, fica reduzida, eliminada ou potencializada. Em outras palavras, automatismo é um simples sistema destinado a produzir a igualdade de esforço físico e mental e um maior volume de trabalho. A automação é a associação organizada dos automatismos para a consecução dos objetivos do progresso humano.

Ou seja, se trata da área que atua nos campos da mecânica, eletrônica, elétrica e sistemas computacionais. A automação simboliza o grande avanço da tecnologia do mundo moderno. Segundo Silva (2007), o objetivo do homem desde os primórdios era à redução do esforço mecânico causado pelo trabalho, portanto a invenção da roda poderia ser considerada um dos primeiros métodos de automação em máquinas. Existem três classificações de automação: a rígida, a programável e a flexível.

2.2.1 Automação Rígida

Conforme Nardini (1999) se refere a equipamentos que seguem a configuração fixa, programada e configurada pelo homem. É geralmente utilizada para sistemas mais complexos, devido ao grande número de coordenadas, mas com operações simples. É utilizado, por exemplo, nas linhas de montagem, onde há grande demanda na fabricação dos produtos, tornando as operações repetitivas. A automação rígida não absorve as mudanças de coordenadas, assim se torna inflexível. É configurada para projetar um tipo de produto.

2.2.2 Automação Programável

Segundo Nardini (1999), esse tipo de automação é desenvolvida para absorver mudanças de coordenadas robóticas, por fabricar dois ou mais tipos de produto, adaptando diferentes configurações. É projetada para produzir de baixo a médio volume de produção. A justificativa deve-se pelo fato da mudança do produto ou introdução do novo produto, em que o sistema precisa ser reprogramado, as ferramentas carregadas e as máquinas preparadas. São adequadas para produção de lotes. Exemplo são robôs industriais e máquinas-ferramentas.

2.2.3 Automação Flexível

É a automação programável desenvolvida, sofisticada, complementada. Nardini (1999) destaca que a flexível foi projetada para que não ocorra perda de tempo em reprogramação, troca de ferramentas, preparação física da máquina, em contrapartida ao que ocorre na programável. Podem ser feitas várias combinações e sequências de uma vez para vários produtos, em vez de exigir que sejam feitos em lotes separados. É projetada para média produção, carrega grande vantagem em produzir simultaneamente e continuamente uma grande variedade de produtos.

2.3. Hidráulica

Hidráulica é uma palavra que vem do grego e é a união de *hydro*=água, e *aulos*=condução/tubo são, 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).

Ela pode ser dividida em três capítulos, para efeito de estudo apenas: a hidrostática que trata dos fluidos parados, a hidrocínética, que estuda os fluidos em movimento, levando em consideração os efeitos da velocidade e a hidrodinâmica que leva em consideração as forças envolvidas no escoamento dos fluidos (forças da gravidade, da pressão, da tensão tangencial, da viscosidade,

da compressibilidade e outras). A hidráulica pode ser também dividida em: teórica e prática. A teórica também é conhecida na física como mecânica dos fluidos e a hidráulica prática ou hidráulica aplicada é, normalmente, também intitulada de hidrotécnica.

Dentre as aplicações da hidráulica destacam-se as máquinas hidráulicas (bombas e turbinas), as grandes obras de saneamento, fluviais ou marítimas, diques, pôlderes, molhes, quebra-mares, portos, emissários submarinos, estações de tratamento de água e de esgotos, etc.

2.3.1 Sistemas hidráulicos de máquinas

Nesse projeto, trata-se apenas de óleo-hidráulico, que é o ramo da hidráulica que utiliza óleo como fluido. Ele é um dos combustíveis fósseis utilizado a mais tempo pelo ser humano, é capaz de resistir altas e baixas temperaturas sem perder suas propriedades químicas e físicas. Nesse contexto, é utilizado em uma variada gama de máquinas, tanto para a parte motorizada quanto para o sistema hidráulico do mesmo, dentre essas máquinas estão o trator e o conjunto de implementos agrícolas.

2.3.2 Esquema geral de um sistema hidráulico

Fialho (2003) cita que para cada tipo de aplicação, existe uma infinidade de tipos de circuitos hidráulicos, porém todos eles seguem sempre um mesmo esquema, os quais podem ser divididos em três partes principais: sistema de geração (reservatórios, filtros, bombas, motores, acumuladores, intensificadores de pressão), sistema de distribuição e controle (válvulas controladoras de vazão, pressão e válvulas direcionais) e o sistema de aplicações de energia (atuadores, motores hidráulicos e osciladores). Um sistema hidráulico pode ser representado conforme a figura 2.

Figura 1: Esquema de um sistema hidráulico



Fonte: Fialho,2003, pág 31.

O esquema hidráulico de um trator está ligado ao sistema de engate de três pontos. Esse esquema consiste em dois cilindros com haste simples de dupla ação. As funções deste sistema são: levantar e baixar o sistema hidráulico do trator e implementos a ele acoplados, controle de profundidade em máquinas e implementos de penetração no solo e controle de altura em máquinas e implementos de superfície.

2.3.3 Atuador hidráulico: cilindros

Tem a função de transmitir força e movimento para o equipamento através da injeção e sucção do fluido, geralmente óleo para hidráulica e ar para pneumática. A força e movimento depende das características geométricas do cilindro, pois trabalha em função da área e da pressão, como mostra a equação (1):

$$F = P \cdot A \quad (1)$$

Onde:

F = Força (N)

P = Pressão (KPa)

A = Área (mm)

Segundo Schmitt (1989), a força é constante do início até final do percurso da haste e a velocidade depende do volume do fluido fornecido em um intervalo de tempo. Existem inúmeros tipos de cilindros hidráulicos e cada um depende de sua aplicação final. Nos próximos itens serão discutidos os cilindros usados em sistemas hidráulicos de tratores.

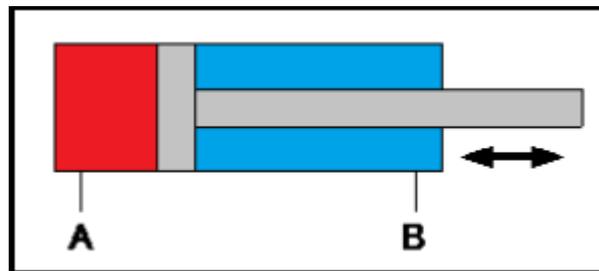
2.3.4 Cilindro de dupla ação

São os cilindros hidráulicos utilizados em sistemas hidráulicos de tratores, e implementos agrícolas. São cilindros em que os dois lados da haste são movimentados pela ação da pressurização do fluido, ou seja, contém dois conectores para injeção do mesmo. O tipo mais utilizado para simulações e projetos de sistemas hidráulico automatizado são os de haste simples.

2.3.4.1 Haste simples

A haste tem o seu avanço pela pressurização do fluido na entrada A. O mesmo acontece pelo retorno, na entrada B. Se a pressão for igual para conexão A e B, então o avanço da haste terá força maior que o retorno, devido a área útil, pois, no retorno, o êmbolo tem a área subtraída pela haste.

Figura 2: Cilindro com haste simples de dupla ação



Fonte: Schmitt, pag. 69

O princípio de funcionamento do sistema hidráulico do trator, é construído a partir desse tipo de cilindro. O sistema de engate de três pontos presente no trator é dotado de dois cilindros com haste simples de dupla ação, tudo isso para garantir um sistema de levantamento e abaixamento preciso e uniforme. A plantadeira também é dotada desse tipo de cilindro, ele garante o alinhamento da mesma com o conjunto engate de três pontos do trator.

2.3.5 Válvulas

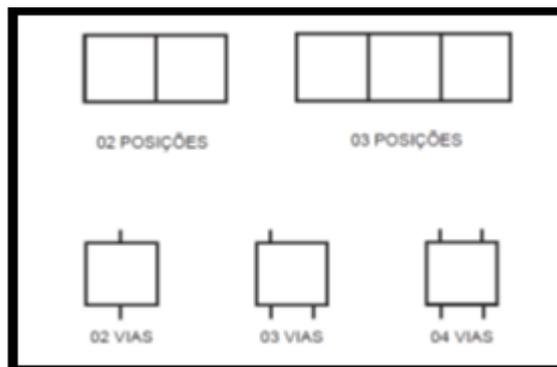
Esses componentes desempenham importante função de controle e direcionamento dos atuadores. A válvula pode segurar a sobrecarga, limitar a força e

o torque. Podem ser classificadas em válvulas de controle de direção, pressão e vazão. As válvulas, aqui citadas, serão as usadas no projeto.

2.3.5.1 Válvulas de controle direcional

Tem a função de distribuir, desviar e interromper o fluido do sistema para realizar acionamentos em atuadores. São classificadas de acordo com o número de vias, número de posições do comando e princípios de construção. O número de vias indica a quantidade de entradas e saídas conectadas às mangueiras na válvula e o número de posição indica o número de manobras diferentes que a válvula realiza. A figura 3 mostra alguns exemplos de representação e interpretação gráfica das válvulas.

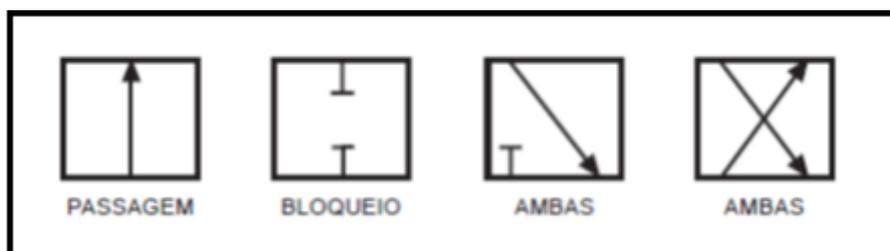
Figura 3: Representação gráfica de vias e posições



Fonte: Parker Training, 1999, pag. 72

Na figura 4, encontra-se a representação gráfica da passagem e do bloqueio de escoamento.

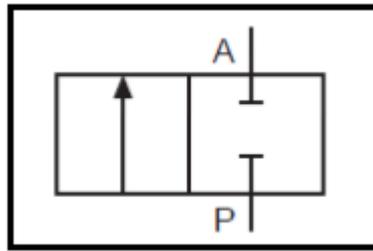
Figura 4: Representação gráfica da passagem e bloqueio de escoamento



Fonte: Parker Training, 1999, pag. 72

Para a simbologia hidráulica, segue como exemplo a figura 5.

Figura 5: Válvula 2/2



Fonte: Parker Training, 1999, pag. 73

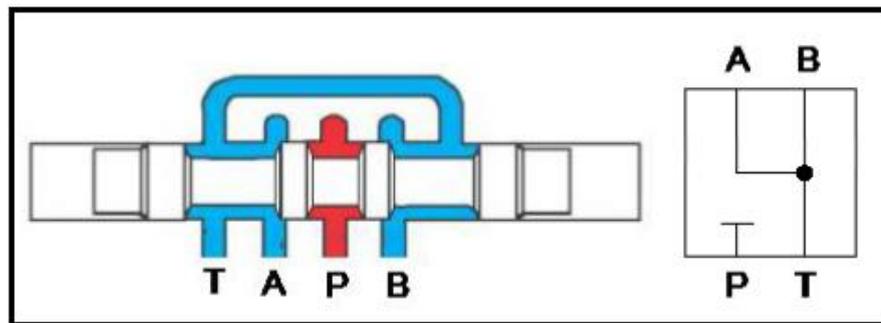
O desenho da figura 5 indica que é uma válvula bloqueada de duas vias e duas posições, abreviado para 2/2. A letra P é a conexão com a bomba e a letra A, é a conexão com o atuador. A simbologia pode ser vista através da norma NBR 10138 para construção gráfica de todo o circuito hidráulico.

2.3.6.2 Válvula com carretel linear

É a forma construtiva mais comum, o carretel trabalha com deslocamento axial dentro da furação longitudinal da carcaça da válvula com canais de passagem de fluídos, como mostra a figura 6. Os canais T (tanque), A e B (atuadores) estão livres para passagem do fluído, enquanto o canal P (bomba) está bloqueado. O carretel movimenta nessa furação para direcionar o escoamento através da movimentação de alavancas ou controles elétricos. A justificativa para o grande uso do carretel são as vantagens que apresentam:

- Facilidade na forma construtiva;
- Pequenas perdas de carga;
- Grande número e diversidade de funções.

Figura 6: Representação do carretel deslizante



Fonte: Parker Training, 1999, pag. 81

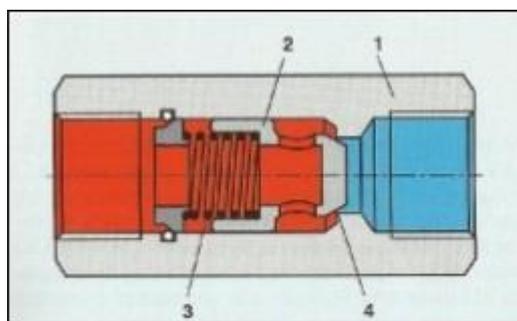
2.3.6.3 Válvula reguladora de pressão

Piveta (2009) comenta que são normalmente abertas e ajustadas pela força da mola na saída da válvula. Esse componente tem a função de manter constante a pressão de regime permanente em alguma parte do sistema por meio da redução da pressão de saída, que ocorre como consequência da perda de carga no orifício de controle da válvula, ou seja, a pressão de saída mantém-se constante, menor e independente da entrada.

2.3.6.4 Válvulas de retenção

Linsingen (2001) descreve que as válvulas de retenção são as mais simples dos tipos de válvulas direcionais, pois, tem a função de apenas permitir o escoamento estar livre de um sentido e bloqueado de outro, ou seja, de uma só via (unidirecional). A figura 7 mostra uma válvula de retenção simples.

Figura 7 – Válvula de retenção simples

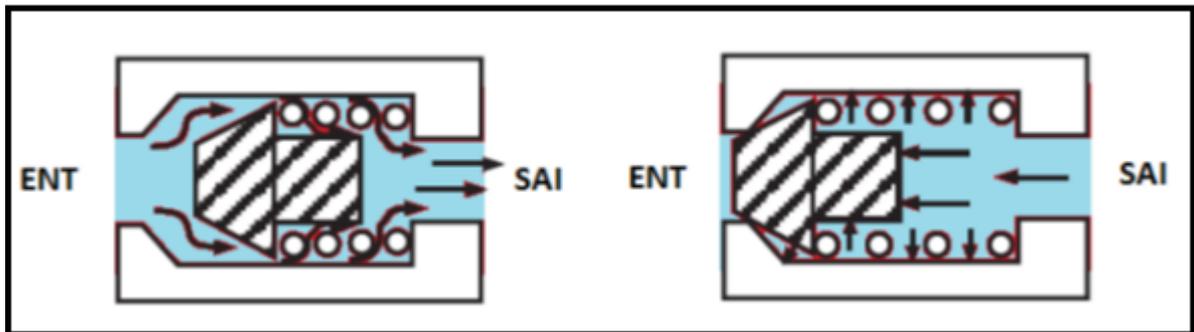


Fonte: Parker Training, 1999, pag 82

2.3.6.5 Válvula de retenção sem mola

Como mostra a figura 8, a válvula de retenção é uma combinação de válvula direcional e de pressão. É operada pelo assento móvel que pode ser esférico ou cônico. O disco é preso pela mola. Quando o fluido entra em alta pressão contra o assento, suficiente para movimentar a mola, esse assento libera a passagem do fluido.

Figura 8: Válvula de retenção sem mola

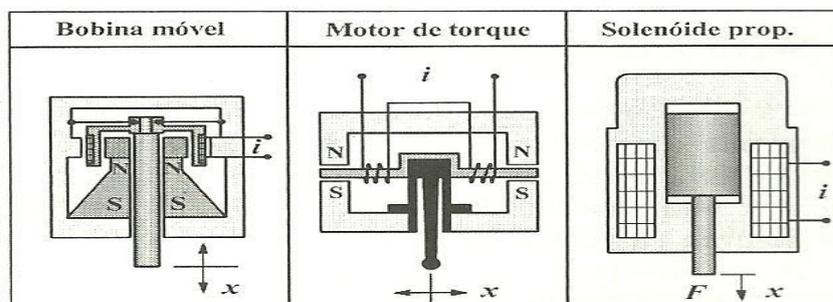


Fonte: Parker Training, 1999, pag. 86

2.3.6.6 Válvulas com conversores eletromecânicos

São as válvulas mais utilizadas na automação hidráulica industrial. Elas são acionadas através de corrente elétrica contínua ou alternada, que alimenta a bobina para realizar o deslocamento do carretel. Os tipos de conversores eletromecânicos mais comuns são: bobina, motor de torque e solenoide proporcional, como mostra a figura 9.

Figura 9: Conversores eletromecânicos



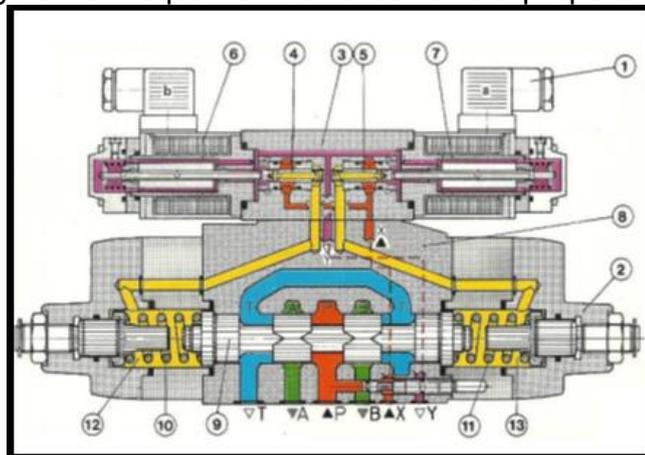
Fonte: Linsingen, 2001, pag. 329

2.3.6.7 Válvulas proporcionais

Possuem solenoides proporcionais ou reguláveis que recebem corrente elétrica para acionar a válvula. Quanto maior a corrente, maior a força do solenoide. A figura 9, mostra uma válvula direcional de quatro vias (T, A, P, B), onde o êmbolo principal (9) da válvula tem duas molas (10, 11), localizado nas suas extremidades.

Se os solenoides (6 e 7) não estiverem energizados, o êmbolo fica no centro da válvula. Se o solenoide A for energizado, o êmbolo pré-operado (5) aciona o óleo de comando, que preenche a câmara da mola A, deslocando o êmbolo principal para a direita. Quanto maior a corrente maior o deslocamento. O mesmo ocorre para o lado esquerdo.

Figura 10: Esquema interno da válvula proporcional



Fonte: Schmitt, pag. 143

- 1- Conector do solenoide
- 2- Carcaça
- 3- Carcaça do carretel pré-operado
- 4- Carretel pré-operado esquerda
- 5- Carretel pré-operado direito
- 6- Solenoide esquerdo
- 7- Solenoide direito
- 8- Carcaça do carretel principal
- 9- Carretel principal

- 10- Mola do carretel principal esquerda
- 11- Mola do carretel principal direita
- 12- Cavidade de preenchimento do fluído carretel principal esquerdo
- 13- Cavidade de preenchimento do fluído carretel principal direito

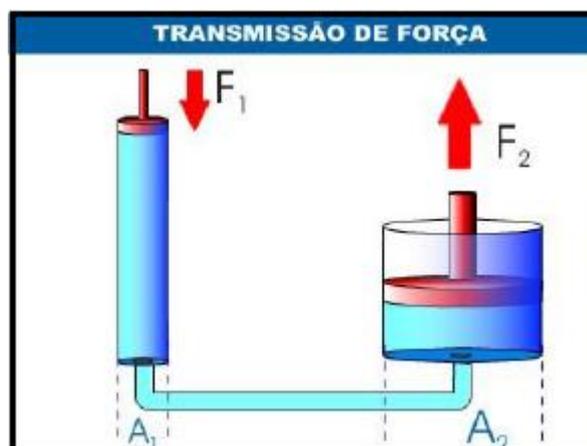
As válvulas proporcionais também regulam a pressão e vazão. É o mesmo princípio de funcionamento das válvulas mecânicas, mas os êmbolos são movimentados pela propulsão dos solenoides.

2.4 – Sistema hidráulico dos implementos agrícolas

2.4.1 Trator

O sistema hidráulico de tratores agrícolas é um conjunto de mecanismos de transmissão de força através de fluxo de óleo sob pressão. Este sistema permite transmitir força para diversos pontos do trator e para máquinas operadas a distância. Utiliza um tipo de óleo como meio transmissor de força. O óleo é incompressível e tem ação lubrificante. Como os demais líquidos toma a forma do recipiente que ocupa. Todas essas características tornam o óleo como o fluído mais indicado para transmissão de força em sistemas hidráulicos. O sistema hidráulico pode fazer a transmissão e aumento da força conforme ilustrado na figura 11. Já a figura 12, ilustra o sistema de engate de três pontos no trator.

Figura 11. Transmissão e aumento da força pelo sistema hidráulico.



Fonte: Santos, 2001, pag. 81

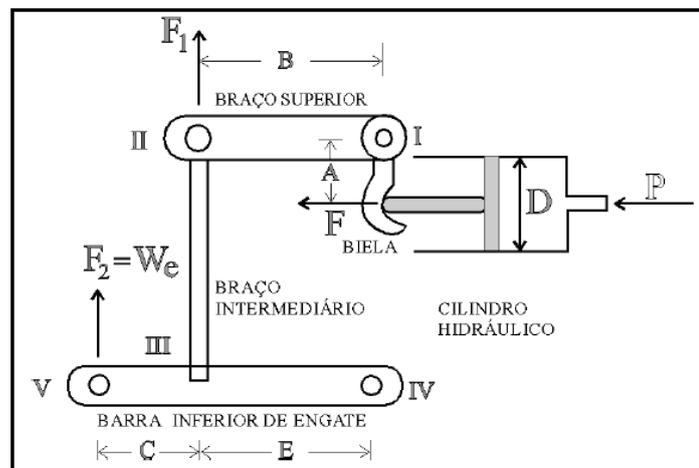
Figura 12 – Sistema de engate de três pontos



Fonte: www.maquinasagricolas.com.br

A figura 13 mostra as partes constituintes do engate de três pontos de um trator que possui sistema hidráulico.

Figura 13 – Partes Constituintes do Engate de Três Pontos



Fonte: Santos, 2001, pag.82

A = distância da haste do cilindro ao braço superior.

B = distância entre os pontos de acoplamento do braço superior com a biela e o braço intermediário.

C = distância entre o furo de acoplamento de implementos da barra inferior de engate e o furo do braço intermediário.

D = diâmetro do cilindro.

E = distância entre o furo do braço intermediário e o ponto de acoplamento ao chassi do trator da barra inferior de engate.

P = pressão do óleo.

F_1 = Força na biela.

F_2 = Força nas barras de levante.

Todas as máquinas que serão usadas no projeto: plantadeira, pulverizador e arado, usam a função engate de três pontos existente no trator. As funções deste sistema são: levantar e baixar o sistema hidráulico do trator e implementos a ele acoplados, controle de profundidade em máquinas e implementos de penetração no solo e controle de altura em máquinas e implementos de superfície.

Através do sistema de engate de três pontos, será mostrado como funciona cada implemento agrícola, bem como o sistema de controle de levante, e de controle de fluxo.

2.4.2 Sistema hidráulico de uma plantadeira

A maioria das plantadeiras utiliza o sistema de cambagem, que consiste na inclinação da roda em relação ao plano vertical, movimentando suas linhas que acompanham o declive. Desta forma, permite um melhor grau de ataque ao solo em terrenos com declive, e em plantio em curva de nível. O sistema de cambagem é montado no cabeçalho da plantadeira, e utiliza o comando hidráulico para acionar o ajuste do grau de plantio, onde é possível observar o degrau que a plantadeira forma com suas linhas. Com este degrau melhora a qualidade do plantio, pois a plantadeira não desliza o que proporciona uma melhor cobertura das sementes. O trator através do seu comando hidráulico aciona o fluxo de óleo, este por sua vez passa óleo através das mangueiras presentes na plantadeira pelo pistão hidráulico alinhando-a, deixando-a pronta para as tarefas serem executadas. A figura 14 mostra o modelo de uma plantadeira da marca Knapik.

Figura 14 – Plantadeira Knapik



Fonte: <www.knapik.com.br> acesso dezembro 2014

2.4.3 Sistema hidráulico de um arado

Os arados de discos reversíveis foram construídos de modo a permitir que o solo possa ser tombado tanto para a direita quanto para a esquerda, sempre com a mesma eficiência. Isso só foi possível graças ao fato de se ter conseguido obter uma movimentação perfeitamente simétrica dos seus órgãos ativos, com isso executa-se a aração, invertendo-se a leiva (terra lavrada) para um lado só, independente do sentido do deslocamento do trator. Assim, ficou eliminada a necessidade do trajeto improdutivo nas cabeceiras, o que tornou a aração mais rápida, mais econômica e mais eficiente. Este tipo de implemento trabalha em diferentes tipos de solos, é também recomendado para aração em curvas de nível, para construções de terraços e cordões de contorno.

Apresenta, como características básicas, os seguintes elementos acoplado aos três pontos do trator: discos com afiação interna e sistemas de reversão manual e hidráulica. Quando o arado está acoplado aos três pontos, o sistema hidráulico do trator é responsável pelo controle de ondulação. Ele também é responsável em fazer erguer o arado, quando o solo apresenta obstáculos, ou é excessivamente duro, retornando à profundidade normal de trabalho, assim que cesse o efeito. Neste caso,

deve-se regular a velocidade de reação do sistema hidráulico, de maneira que o mesmo não fique sensível a ponto de dificultar a penetração do arado. A figura 15 mostra o arado acoplado aos três pontos do trator.

Figura 15 – Arado acoplado aos três pontos do trator



Fonte: <www.knapik.com.br> acesso dezembro 2014

2.4.4 Sistema hidráulico de pulverizadores tratorizados

Segundo Santos e Santos Filho (2001), pulverizadores tratorizados são montados nos três pontos ou na barra de tração e são acionados pela tomada de potência do trator. São utilizados em áreas com cultivo de grãos e cana-de-açúcar.

Têm como componentes básicos: depósitos com agitadores, bomba, filtros, reguladores de pressão e bicos. A figura 16 mostra um modelo de pulverizador da marca Montana.

Figura 16 – Pulverizador Montana



Fonte: <www.montana.com.br> acesso janeiro 2015

2.5 Controlador lógico programável

Para Silva (2006), o Controlador Lógico Programável (CLP) pode ser definido como um equipamento eletrônico e digital que manipula o processador para realizar aplicações industriais. O primeiro CLP, também conhecido como PLC (*Programmable Logic Controller*), foi utilizado pela primeira vez na *General Motors*, em 1968.

Segundo Silva (2006), o CLP foi inventado devido a necessidade de substituir os quadros elétricos que eram comandados por vários relês, pois, todas as vezes que alterava o produto, o quadro de relês também deveria ser alterado, o que gerava custos para a fabricante de carro que chegava a ficar dias ou semanas para alterar o quadro elétrico. Melhorar o custo sempre foi a filosofia das empresas, o que caracterizou a automatização dos processos de fabricação. A implementação do CLP trouxe grandes mudanças no processo de fabricação. Entre elas são:

- Fácil diagnóstico durante o projeto;
- Economia de espaço devido ao seu tamanho reduzido;
- Não produzem faíscas;
- Podem ser programados sem interromper o processo produtivo;

- Possibilidade de criar um banco de armazenamento de programas;
- Baixo consumo de energia;
- Necessita de uma reduzida equipe de manutenção;
- Tem flexibilidade para expansão do número de entradas e saídas;
- Capacidade de comunicação com diversos outros equipamentos.

2.5.1 Componentes básicos do CLP

O CLP é formado por uma fonte de alimentação, uma unidade central de processamento (CPU), sistema de memória e circuitos elétricos de entrada e saída, mostrados na figura 17.

Fonte de alimentação: fornece energia elétrica para o CPU e os circuitos de entrada e saída. Normalmente se utiliza tensão de 24V muito utilizada na indústria.

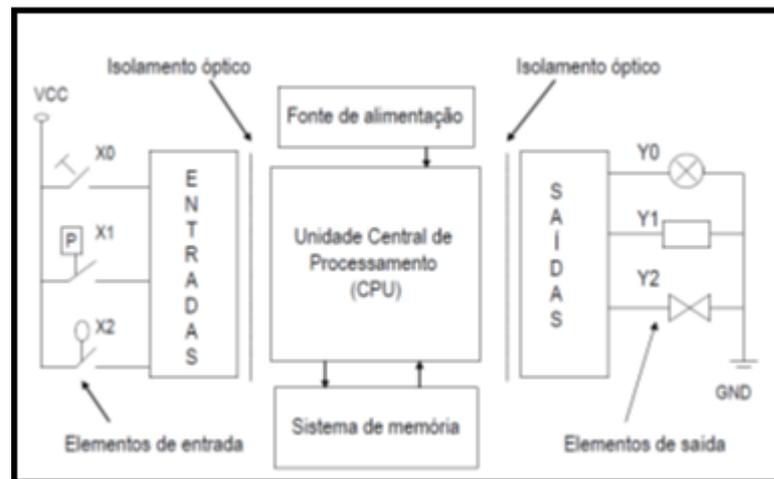
CPU: Onde fica localizado o microprocessador que é o principal articulador de controle de informações tais como: interrupção, gerenciamento de dados da memória e dos dispositivos de entrada e saída e execuções das funções, ou seja, processa os dados recebidos e os envia para as ações de controle.

Sistema de memória: local onde armazena os dados programados e manipulados pelo usuário. As memórias podem ser voláteis e não-voláteis. Memórias voláteis são aquelas que perdem o conteúdo quando é desconectada ou perdida a energia elétrica. Já memórias não-voláteis são aquelas que não perdem o conteúdo com a perda de energia. Os tipos de memória encontrado na CPU são: memória RAM, ROM, EPROM e PROM.

Circuitos de entrada: Segundo Costa (2011) são informações enviadas pelo usuário ou dispositivos como sensores, botões, controles, chave fim de curso, termostato, pressostato.

Circuitos de saída: Conforme Costa (2011) são respostas das informações enviadas pelo circuito de entrada que podem ser alarmes, válvulas, relês luzes, contadores.

Figura 17: Arquitetura básica do CLP



Fonte: C. Costa, 2011

2.5.2 Operação Básica do CLP

O usuário cria o programa para a aplicação desejada e o carrega na memória RAM, onde logo após será enviado para a memória ROM ou EPROM. O CPU coleta as informações armazenadas na memória para executar os comandos do circuito de entrada e saída, e assim realiza uma lógica de controle. Para operar o CLP, há duas maneiras: programação e execução.

2.5.3 Programação

Segundo Franchi e Camargo (2008), o CLP não executa nenhum programa, isto é, fica aguardando para ser configurado ou receber novos programas ou até receber modificações de programas já instalados. A criação do programa fora da operação é conhecida como *off-line*.

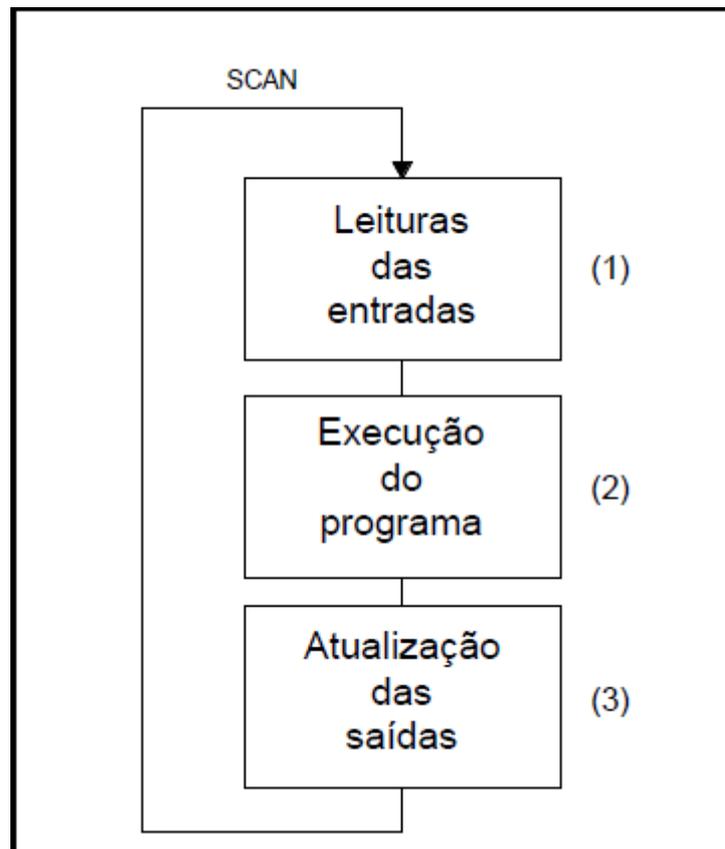
2.5.4 Execução

Conhecido como *on-line*, esse tipo de programa passa a exercer as tarefas que o usuário programou. Existem CLPs destinados a sofrer alterações durante a execução.

Franchi e Camargo (2008) descrevem os três processos de execução do CLP, estes trabalham em ciclos de leitura, chamados de *scan*, como mostra a sequência do fluxograma 1:

1. Realização da leitura, através dos dispositivos de entrada;
2. Execução do programa armazenado na memória ROM ou EPROM;
3. Reedição ou atualização dos dispositivos de saída.

Fluxograma 1: Processo de execução do CLP



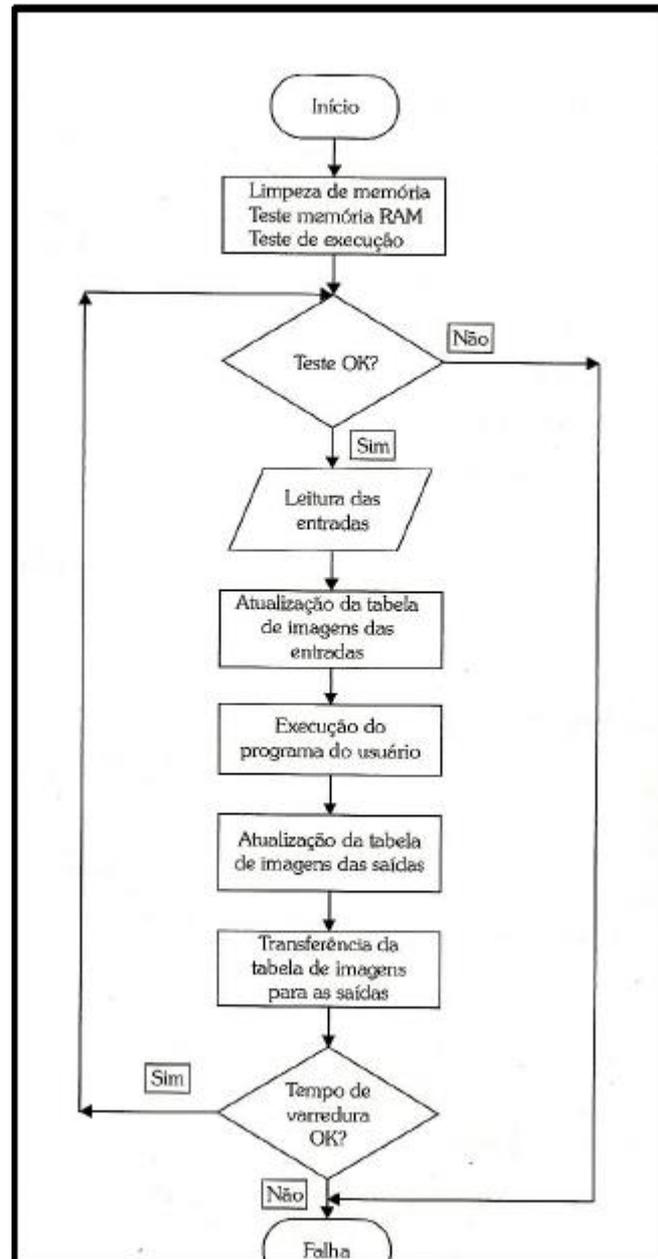
Fonte: Franchi; Camargo, 2008, pag.39

Antes de realizar o ciclo descrito acima, o CLP contém um sistema de verificação sequencial integrado no CPU, para que não possa apresentar falhas durante o processo.

2.5.5 Processo de verificação

O CLP efetua a inicialização do sistema, realizando uma espécie de varredura. A sequência abaixo, planejada por Franchi e Camargo (2008) descreve o caminho que o sistema realiza como mostrado no fluxograma 2.

Fluxograma 2: Sequência do processo de verificação



Fonte: Franchi; Camargo, 2008, pag. 41

1. Limpeza e teste: É realizada a varredura e teste da memória de imagem (RAM). Posteriormente é realizado o teste de execução do programa;

2. Leitura das entradas: O CPU detecta os dispositivos e coleta o estado do sistema de entrada.
3. Atualização tabela de imagens da entrada: As informações coletadas pelo CPU são enviadas para a memória chamada TIE (Tabela Imagem das Entradas);
4. Execução do programa do usuário: Através do resultado do TIE, é verificada uma lógica de entrada e saída interna. Essas informações de lógica são enviadas para a TIS (Tabela Imagem das Saídas);
5. Atualização tabela de imagens da saída: O CPU executa uma varredura na TIS e atualiza os valores de saídas externas (dispositivos);
6. Transferência tabelas de imagens para saída: na finalização da atualização da TIS, são transferidos os valores para o cartão de saídas, onde se comanda o envio de sinais;
7. Tempo de varredura: É o tempo gasto para completar o ciclo completo. Se o tempo ultrapassar o limite, o programa será interrompido e anunciará erro.

2.5.6 Tipos de CLP

Podem ser compactos ou modulares. O CLP compacto é aquele que o usuário tem acesso somente ao circuito de conexão de entradas e saídas, que geralmente são usados para CLP de pequeno porte. O CLP modular é aquele que contém vários módulos, permitindo a configuração da quantidade e combinação de entradas e saídas. As figuras 18 e 19, mostram esses tipos de CLPs.

Figura 18 – CLP compacto LOGO



Fonte: <www.embarcados.com.br> acesso outubro 2015

Figura 19 – CLP Modular Siemens S7-300



Fonte: <www.embarcados.com.br> acesso outubro 2015

Segundo Silva (2006), os CLPs podem ser classificados de acordo com sua capacidade. Seguindo assim a classificação:

Nano e micro CLPs: possuem 16 entradas e saídas, com um único módulo e capacidade de armazenar 512 passos na memória.

CLPs de médio porte: possuem 256 entradas e saídas, analógico e digital, com capacidade de armazenar 2048 passos na memória.

CLPs de grande porte: possui módulo com entrada e saída digital e analógica, especializadas e conexão com a rede local, tem capacidade de até 4096 entradas e saídas. O tamanho da memória é otimizado pelo operador.

2.5.7 Linguagem

Para que o CLP possa entender as necessidades do usuário, existem as funções lógicas, onde os técnicos programam na CPU para que o software reconheça os comandos e sinais. Existem linguagens gráficas e de texto. Segundo L. Costa (2010), as linguagens mais utilizadas são: linguagem gráfica: *Ladder*, Blocos Lógicos, SFC (*Sequence Function Chart*) Linguagem textual: Lista de instruções, Textos estruturados, Linguagem de alto nível (Pascal, Basic, C). O trabalho foca na linguagem *Ladder* que foi utilizada para a criação dos programas para a automação dos sistemas hidráulicos de tratores.

2.5.8 Linguagem *Ladder*

Foi a primeira linguagem criada pelo CLP, segundo Georgini (2008), esse tipo de linguagem caracteriza-se pela simbologia gráfica de comandos elétricos, como bobina, contador, relê, temporizadores, memórias, entre outros componentes. Como o CLP substituiu os comandos elétricos dos relês, os técnicos e engenheiros adotaram graficamente essa linguagem para dar continuidade ao conhecimento de lógica em comandos elétricos e evitar uma grande mudança cultural.

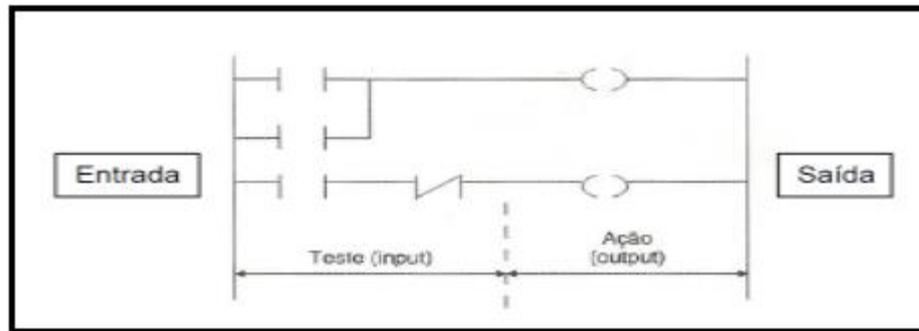
Prudente (2007) descreve que *Ladder* significa “escada”, devido à construção do circuito gráfico parecer uma escada. Para construir os comandos através de simbologias, existe a norma para padronização, entre elas, a Norma IEC 61131-3, que é a mais usada. O quadro 1, mostra o significado de alguns símbolos.

Quadro 1: Significado dos símbolos mais comuns

	Contato ON, normalmente aberto
	Contato OFF, normalmente fechado
	Contato detector de transição positiva (porta de subida)
	Contato detector de transição negativa (porta de descida)
	Variável externa ou interna (saída)

Fonte: Prudente, 2007, pag. 41

Prudente (2007) descreve o sistema da linguagem *Ladder*, como mostra a figura 20, explicando da seguinte forma: na linha vertical à esquerda, simboliza a barra de alimentação (polo positivo da fonte de energia), que comanda todos os elementos de entrada (*input*), já na linha vertical à direita (polo negativo), simboliza o retorno e comanda todos os elementos de saída (*output*). Na zona de teste (*input*), que a conexão é feita por vários elementos em série e paralelo, aberta e fechada, de acordo com o sistema, também na zona de ação (*output*), o sistema é destinado às variáveis de saída.

Figura 20: Estrutura da linguagem *Ladder*

Fonte: Prudente, 2007, pag. 40

2.6 FluidSIM

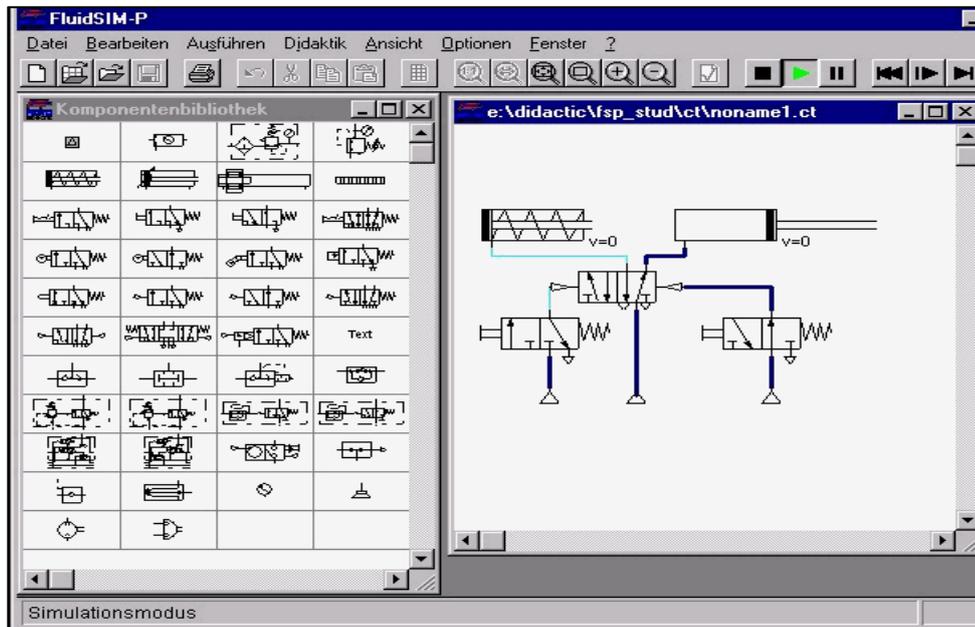
Diversas ferramentas computacionais vêm sendo empregadas em projetos de circuitos pneumáticos, hidráulicos e eletropneumáticos. O objetivo é basicamente o baixo custo o qual tem a ver com tempo, confiabilidade e precisão além de auxiliar didaticamente no treinamento de profissionais da área. O software FluidSIM é uma das ferramentas que permitem desenhar e simular circuitos de pneumática e eletropneumática, ou hidráulica e eletro-hidráulica com grande fidelidade. Ele permite a criação de desenhos segundo a norma DIN de diagramas de circuitos eletropneumáticos, ou seja, elimina a lacuna existente entre o desenho de um diagrama de circuitos e a simulação da respectiva instalação hidráulica.

A funcionalidade CAD do FluidSIM foi feita sob medida para a técnica de fluidos. Por exemplo, enquanto cria o desenho, o programa verifica se determinadas conexões entre componentes são permitidas.

Deste modo, torna-se possível simular o funcionamento de todos os circuitos desenhados, além de acompanhar os valores das principais variáveis envolvidas, tais como: pressão, vazão e posição. Com essa versatilidade, pode-se testar virtualmente diversos modelos de circuitos antes de decidir pela melhor configuração, e a partir disso fazer a montagem final do circuito desejado. Além disso, tem sido bastante viável a integração de projetos de circuitos eletro-hidráulicos com controladores lógicos programáveis. A partir da lógica do circuito eletro-hidráulico previamente simulado é possível programar um CLP tendo em vista a otimização do circuito, versatilidade, redução de custos com aquisição de componentes e maior integração com a planta industrial. Foram feitos testes

pneumáticos no software FluidSIM, visto que eles simulam com clareza o mesmo que ocorre em um circuito hidráulico. O comportamento de como funciona cada componente é o que está em questão, já que o software serve somente de base, para a programação em linguagem *Ladder*. A figura 21 mostra o exemplo de um circuito pneumático no software.

Figura 21 – Representação de um circuito pneumático no software FluidSim



Fonte: Programa FluidSim

3 METODOLOGIA

A metodologia a ser empregada para a execução deste trabalho é fundamentalmente experimental, consistindo de cinco etapas principais:

- 1ª Etapa: coleta de dados e informações sobre como se constitui um sistema hidráulico de um trator e seus respectivos implementos agrícolas;
- 2ª Etapa: montagem do circuito dos componentes agrícolas;
- 3ª Etapa: simulação da automação do sistema hidráulico utilizando o software FluidSim;
- 4ª Etapa: criação do programa em linguagem *Ladder* para utilizá-lo no CLP.
- 5ª Etapa: teste em bancada e especificação dos componentes utilizados, saber quais são as válvulas e atuadores utilizados para cada implemento agrícola.

3.1. Primeira etapa: coleta de dados e informações dos componentes agrícolas

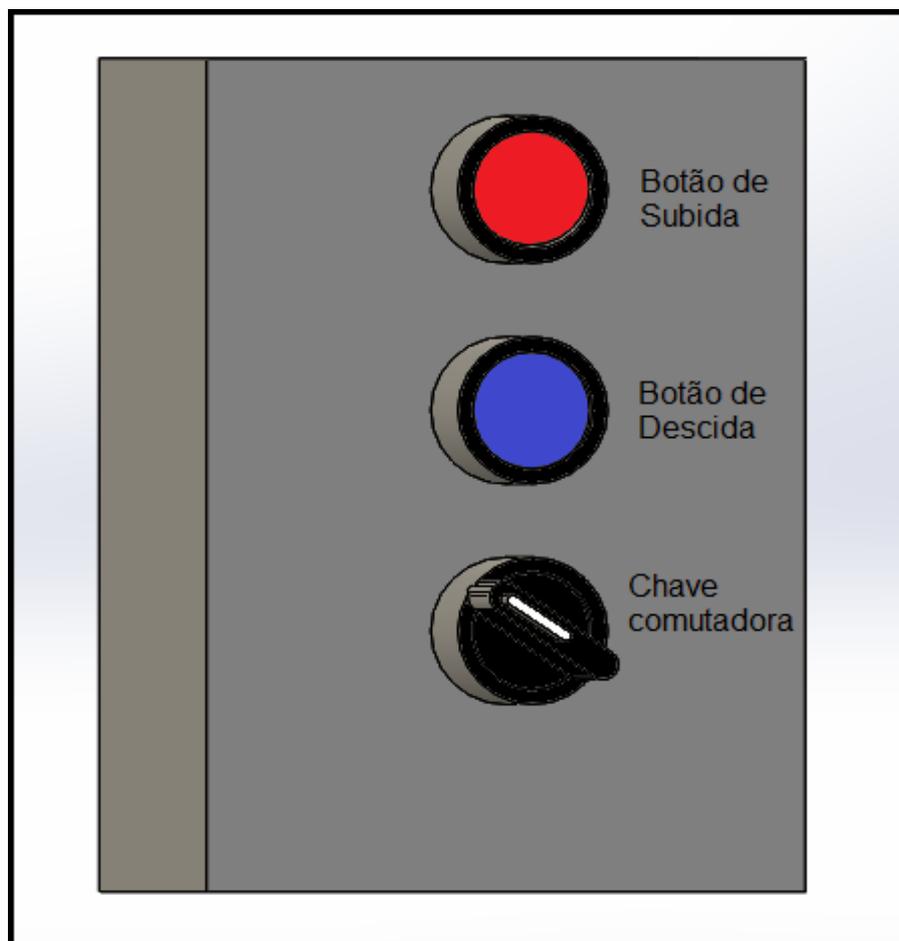
Trata da fundamentação teórica apresentada na seção 2.4 deste trabalho.

3.2. Segunda etapa: montagem do circuito dos componentes agrícolas

A figura 22 mostra um painel, onde possui somente três botões, que estão assim compostos: o botão vermelho serve para a subida, o botão azul para a descida e no botão preto, existe uma chave comutadora, para a esquerda funciona o sistema trator/arado, e comutando-se para a direita a chave, encontra-se o sistema trator/pulverizadora. O CLP atua nas válvulas de controle dos atuadores hidráulicos de cada sistema, assim adaptando qualquer estado criado a partir da programação em *Ladder*.

Os sistemas são adaptados para parar, subir ou descer a qualquer momento, pois o CLP manda um sinal para a válvula eletro-hidráulica que faz com que o cilindro suba ou recue os sistemas implementados junto aos implementos agrícolas contidos no trator.

Figura 22: Painel do operador

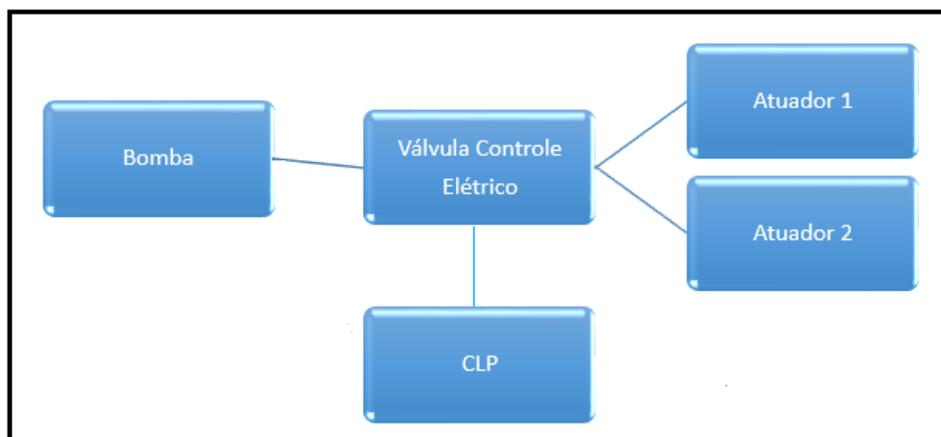


3.2.1 Sistema eletrohidráulico Trator/Arado

O arado é engatado ao sistema hidráulico de três pontos do trator. Esse sistema conecta-se ao arado e faz com que este levante ou desça, criando assim sulcos com profundidade maior ou menor na terra. O sistema de controle que foi criado visa adaptar uma regulagem de altura para o mesmo, a fim de facilitar a vida do operador, podendo usá-lo em qualquer tipo de terreno (plano, acidentado).

A figura 23, mostra como é o funcionamento de um circuito hidráulico de um arado. Basicamente o CLP manda um sinal para a válvula de controle elétrico, essa por sua vez comanda o fluxo da bomba, que envia óleo hidráulico para os atuadores, esses por fim, acionam o comando hidráulico do trator, através do sistema de engate de três pontos.

Figura 23: Circuito Eletrohidráulico de um Arado



Fonte: Próprio autor

3.2.2 Sistema Eletrohidráulico trator/Pulverizador

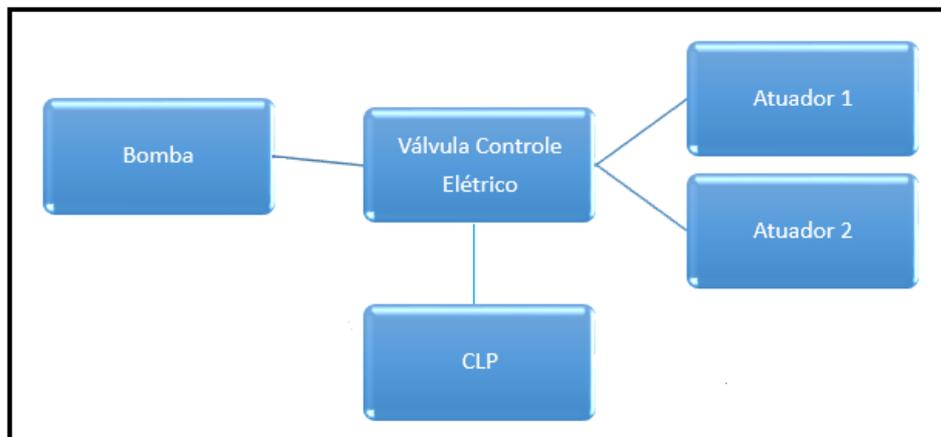
Os comandos utilizados no pulverizador, bem como o painel de controle, serão os mesmos que utilizados no arado. A diferença está em que o sistema do pulverizador é acionado pela tomada de potência do trator e não somente ao sistema de três pontos como no arado.

O pulverizador é engatado ao sistema de 3 pontos e conectado ao sistema de tomada de potência do trator. O sistema hidráulico do trator conectado ao pulverizador faz com que este levante ou desça.

O CLP atua nas válvulas de controle dos atuadores hidráulicos do trator, assim adaptando os dois estados criados para o trabalho do pulverizador (subida/descida).

A figura 24, mostra como é o funcionamento de um circuito hidráulico de um pulverizador. Basicamente o CLP manda um sinal, para a válvula de controle elétrico, a válvula por sua vez comanda o fluxo da bomba, que envia óleo hidráulico para os atuadores, esses por fim acionam o comando hidráulico do trator, através do sistema de engate de três pontos.

Figura 24: Circuito Eletrohidráulico de um Pulverizador



Fonte: Próprio autor

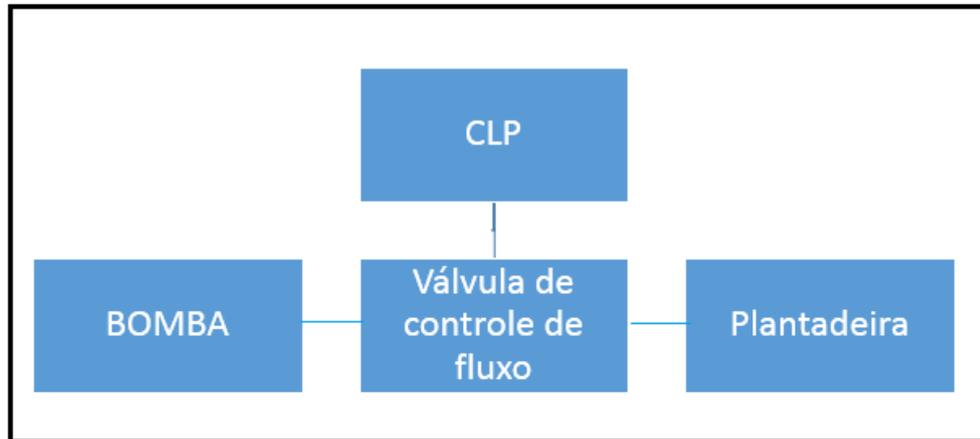
3.2.3 Sistema eletrohidráulico Trator/Plantadeira

Para a plantadeira serão usados dois sistemas hidráulicos: o sistema hidráulico de 3 pontos do trator e também o sistema hidráulico da própria plantadeira, que funciona como controle de fluxo, onde são acopladas as mangueiras do sistema hidráulico. O uso de CLP nesse componente agrícola é importantíssimo pois a válvula proporcional eletro-hidráulica tem abertura proporcional em relação a tensão aplicada e também controla o fluxo de óleo do implemento, controlando assim o choque hidráulico e a velocidade do controle de fluxo da plantadeira.

As figuras 25 e 26 mostram o sistema de controle de fluxo da plantadeira, e o sistema de controle do levante do trator, respectivamente. Esse sistema é um pouco mais complexo que os anteriores, devido agora possuir duas funções: a de levante e a de fluxo. Para esse o CLP manda um sinal, para a válvula de controle de fluxo, a válvula por sua vez comanda o fluxo da bomba, que envia óleo hidráulico para o

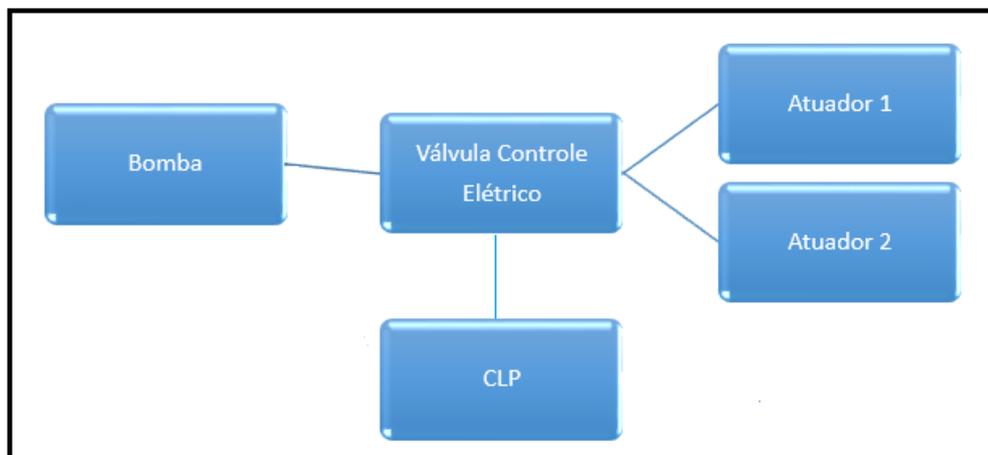
pistão que alinha a plantadeira ao trator. Já para aquele o CLP manda um sinal para a válvula de controle elétrico, ela por sua vez comanda o fluxo da bomba, que envia óleo hidráulico para os atuadores que alinham o levante do trator.

Figura 25: Sistema de controle de fluxo da plantadeira



Fonte: Próprio Autor

Figura 26: Sistema de controle do levante do trator



Fonte: Próprio autor

3.3 Terceira etapa: utilização do software FluidSIM

Depois de estudado como funciona o sistema hidráulico de cada máquina agrícola, foi criada uma simulação do sistema hidráulico necessário para a automação através do software FluidSIM, descrito na seção 2.6. Se faz necessário a criação dessa simulação, pois desenvolve perfeitamente a lógica para o circuito

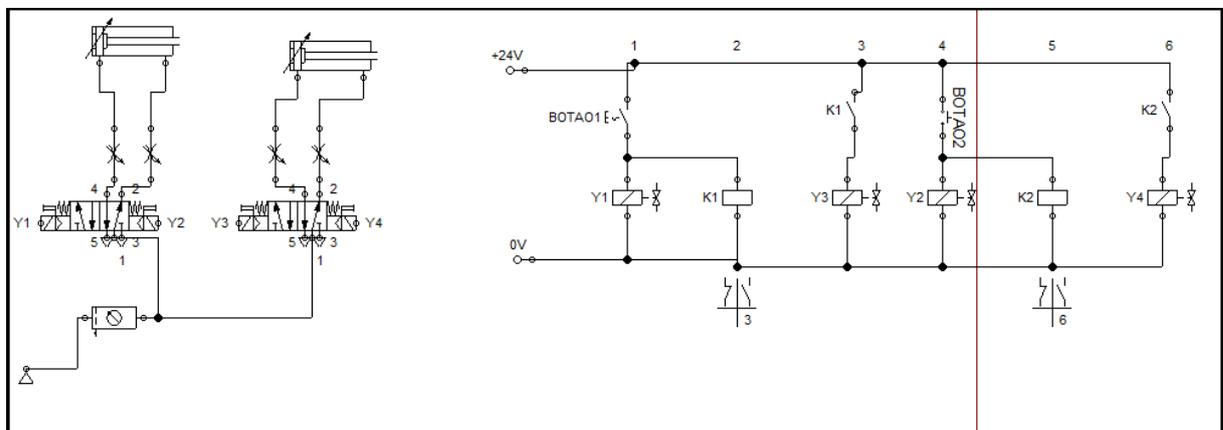
eletro-hidráulico de cada implemento agrícola. Esse circuito serve de base para a programação em Diagramas *Ladder*, que serão implementados através de um Controlador Lógico Programável (CLP).

Para caracterizar, analisar e programar o CLP para o conjunto trator/implemento agrícola, é necessário primeiramente montar o circuito eletro-hidráulico de cada máquina, e observar se o mesmo funciona através de simulações pelo programa FluidSIM. Nele observa-se todo o circuito montado, com seus atuadores, válvulas eletro-hidráulicas, relés e botões de acionamento.

3.3.1 Programação do conjunto trator/implemento agrícola

Os detalhes de como é o seu funcionamento podem ser vistos na seção 2.4.2, 2.4.3 e 2.4.4. O circuito eletro-hidráulico do conjunto trator/implemento agrícola (pulverizador/arado) obtidos através do software FluidSIM está assim composto: uma alimentação de fluxo, uma unidade de conservação de ar, duas válvulas de duplo solenoide de 5/3 vias, quatro válvulas controladoras de ar e dois cilindros de dupla ação, dois relés e quatro solenoides de válvulas, dois botões de acionamento, um com trava e um sem trava. A simulação foi feita no software com componentes pneumáticos visto que o ar e o óleo comportam-se de maneiras similares tanto na pneumática quanto na hidráulica, e que o que interessa é o circuito eletro-hidráulico, este que serve de base para a programação em linguagem *Ladder*. A figura 27 mostra o circuito eletro-pneumático do conjunto trator/pulverizador-arado.

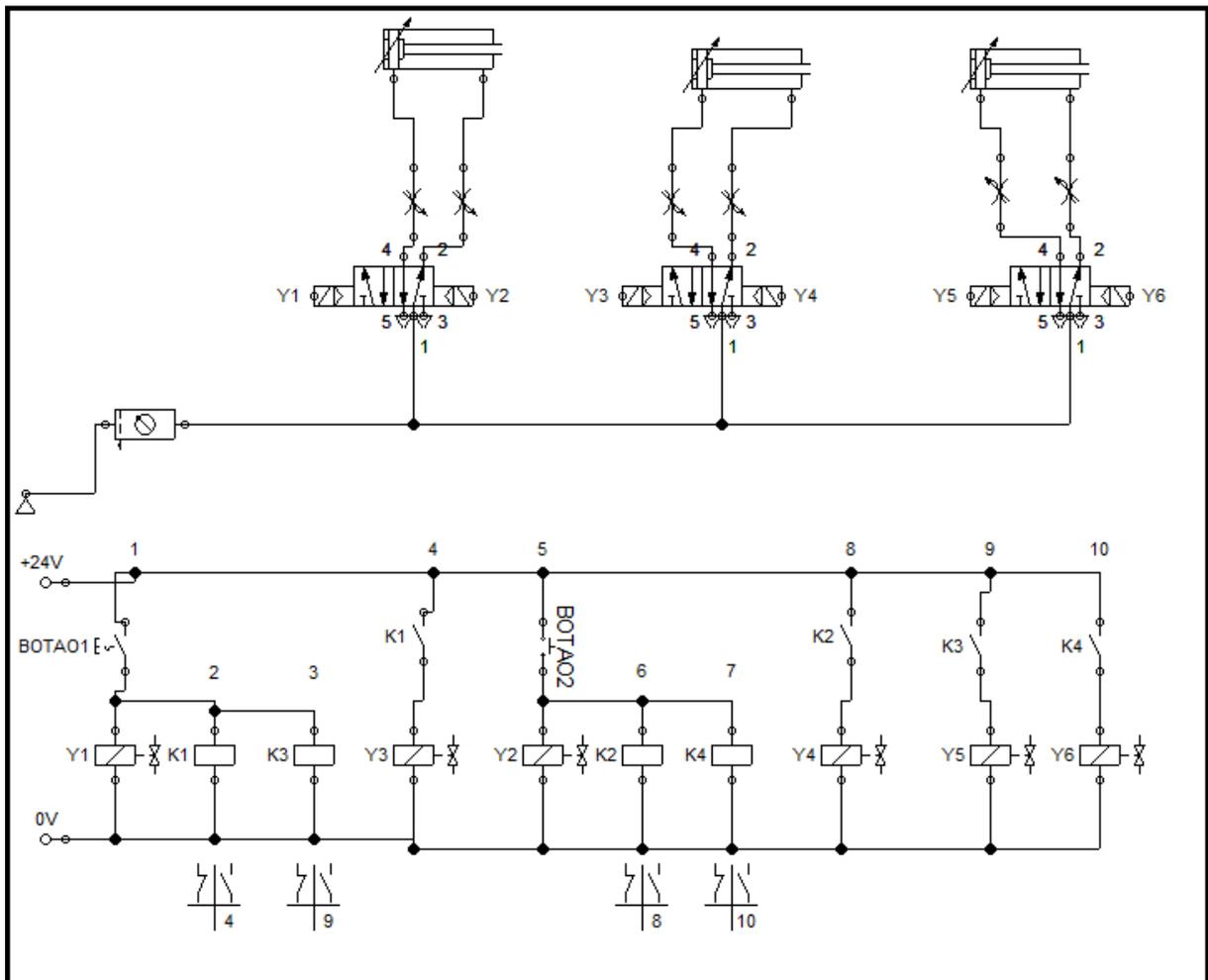
Figura 27 – Circuito eletro-hidráulico do arado/pulverizador



Fonte: autor próprio

Já para a plantadeira o circuito eletropneumático, está assim composto: uma alimentação de ar, uma unidade de conservação de ar, três válvulas de duplo solenoide de 5/3 vias, seis válvulas controladoras de ar e três cilindros de dupla ação, quatro relés e seis solenoides de válvulas, dois botões de acionamento, um com trava e um sem trava. A figura 28 mostra o circuito eletropneumático desse implemento agrícola.

Figura 28 – Circuito eletropneumático de uma plantadeira



Fonte: próprio autor

Para ambos os circuitos mostrados acima (figuras 27 e 28) o estado de avanço ou retorno dos cilindros de dupla ação dependem da energização dos solenoides que são comandados por um circuito elétrico de acionamento em 24 VCC. O cilindro de dupla ação está recuado e encostado no início do curso, o que o faz mover-se e trocar de posição quando solicitado.

Através do botão de acionamento, os solenoides serão energizados e pilotarão as válvulas fazendo o cilindro avançar até chegar no fim do seu curso. Com um novo aperto do botão de acionamento, a válvula mudará seu estado e conseqüentemente o cilindro de dupla ação voltará a sua posição inicial. Esse movimento oscilatório ocorrerá até que o botão com trava seja desabilitado. Deve ser colocado um circuito de retenção, para atingir esse comando.

3.4 Quarta etapa: criação de programas *Ladder* para o CLP

Após simular o circuito eletro-hidráulico, é possível converter sua lógica de comando para um CLP utilizando qualquer uma das quatro linguagens do padrão IEC 1131-3 (Lista de instrução (IL), Diagrama *Ladder* (LD), diagrama de bloco de funções (FBD) e Texto estruturado (ST))

Para programar o CLP, será utilizado o software FESTO SOFTWARE TOOLS que simula o trabalho do ciclo automático e manual através da montagem virtual de entradas, saídas, funções lógicas, relês e temporizadores.

O CLP contém um conector R232, comunicação serial para enviar o programa criado pelo operador utilizando um computador, isso faz com que não haja necessidade de programá-lo no IHM (interface homem máquina) do próprio aparelho. A figura 29 mostra o CLP FESTO, o modelo utilizado nos experimentos.

Figura 29 – CLP FESTO



Fonte: próprio autor

3.4.1 Automação Hidráulica Através de Comandos Combinatórios Simples

Antes da programação propriamente dita, segundo Fialho (2003) para caracterizar e analisar os sistemas hidráulicos dos componentes é necessário fazer os comandos combinatórios simples de cada circuito. Eles são caracterizados pelo fato de que cada combinação lógica de sinais de entrada corresponde a uma única saída. As saídas são funções lógicas unívocas dos sinais de entrada e não há necessidade de outros sinais para sua saída. Para delinear um exemplo de comando combinatório simples, faz-se necessário as seguintes etapas:

- Primeira etapa: formulação verbal do problema: consiste na etapa inicial em que é feito o enunciado do problema com as condições para as variáveis de entrada “E” que resultarão em uma saída “S”.

- Segunda etapa: elaboração da tabela de correspondência lógica: etapa em que é descrita cada uma das variáveis de entrada e seu respectivo estado lógico (0 ou 1) bem como a variável de saída.

- Terceira etapa: elaboração do diagrama lógico: etapa em que a partir da equação booleana minimizada e com auxílio da representação simbólica das funções lógicas, é elaborado o diagrama lógico de comando.

- Quarta etapa: execução física do comando: etapa em que é escolhida a tecnologia a ser aplicada na execução física do comando, se por hidráulica pura, eletro-hidráulica (solenoides e relés), ou hidráulica (CLP, sensores, microprocessadores, etc)

Os quadros 2 e 3 consistem em variáveis de entrada e saída. Conforme a primeira etapa (formulação verbal do problema) as variáveis foram divididas em variáveis de entrada, onde estão localizados os botões de acionamento B1, B2 e B3, com a notação I0.0, I0.1 e I0.2 respectivamente, também com a corrente, 1 para acionado e 0 para desacionado, e as variáveis de saída K1, K2, K3, K4, K1_2 e K2_2, com a notação O0.0, O0.1, O0.2 O0.3 O0.4 e O0.05 respectivamente, também com a corrente, 1 para acionado e 0 para desacionado.

Quadro 2 - Variáveis de entrada conjunto trator-implementos agrícolas

Entrada	Notação	Estado Lógico
B1	I0.0	1/0
B2	I0.1	1/0
B3	I0.2	1/0

Fonte: próprio autor

Quadro 3 - Variáveis de saída conjunto trator-implementos agrícolas

Variáveis de saída	Notação	Estado Lógico
K1	00.00	1/0
K2	00.01	1/0
K3	00.02	1/0
K4	00.03	1/0
K1_2	00.04	1/0
K2_2	00.05	1/0

Fonte: próprio autor

Fialho (2003) estabelece que na segunda etapa deve-se descrever cada uma das variáveis de entrada e seu respectivo estado lógico (0 ou 1) bem como suas variáveis de saída. O quadro 4 mostra essa correspondência lógica.

Quadro 4 - Tabela de correspondência lógica

B1	B2	B3	K1	K2	K3	K4	K1_2	K2_2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	1	0	1
1	0	1	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: Próprio autor

A terceira, a quarta e a quinta etapas são elaboradas a partir da tabela de correspondência lógica, analisadas pelo comando binário, bem como observação de como o circuito funciona, sendo assim disposta:

$$K1 = B1 \overline{B2} B3$$

$$K2 = \overline{B1} B2B3$$

$$K3 = B1 \overline{B2B3}$$

$$K4 = \overline{B1} B2B3$$

$$K1_2 = B1 \overline{B2B3}$$

$$K2_2 = \overline{B1} B2B3$$

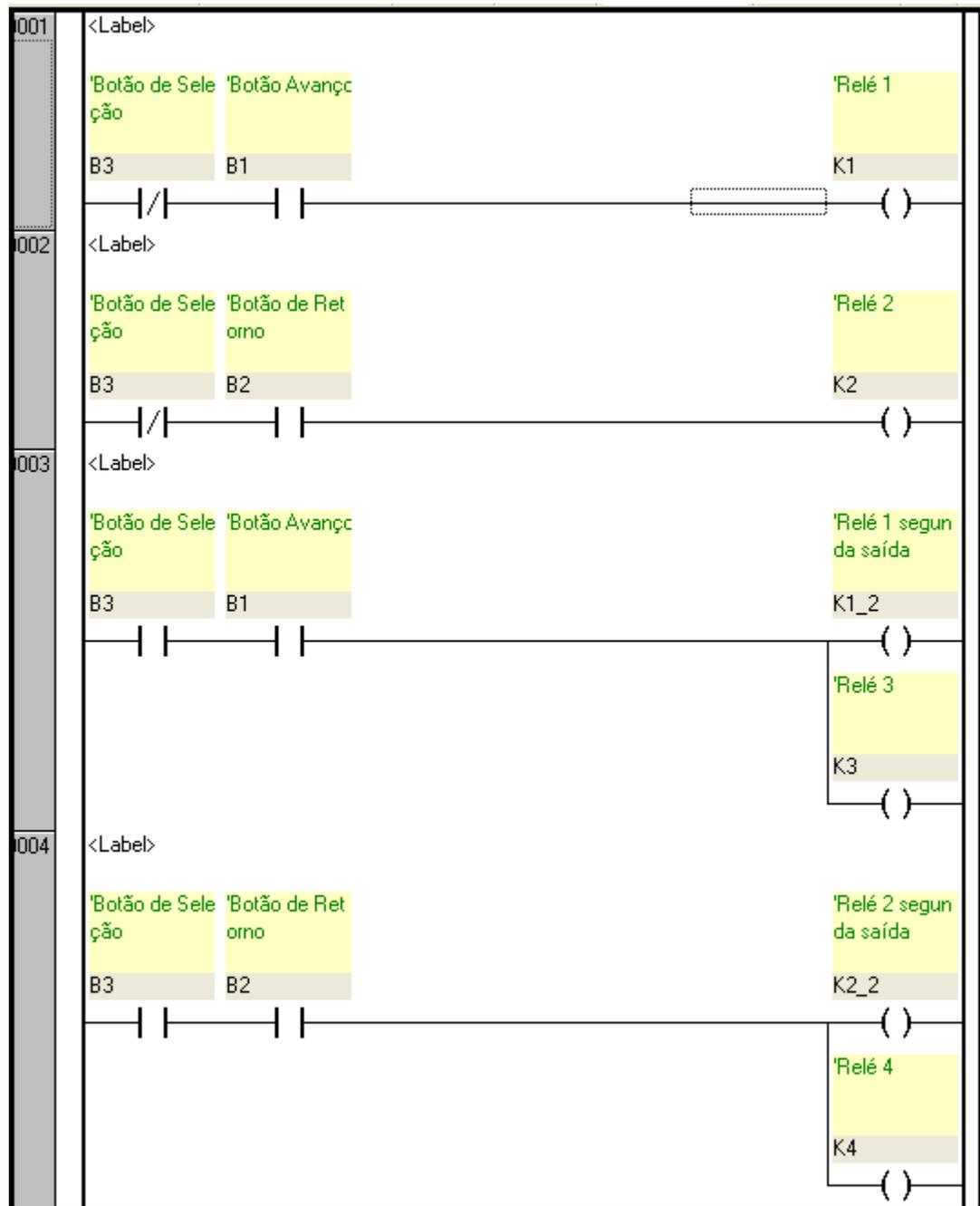
Através da correspondência lógica obtida pelas equações acima, pode-se identificar as saídas dos programas. Então pelo comando binário é possível identificar quais contatos devem ser inseridos no programa, bem como o endereço absoluto ou 'apelido' simbólico, bem como os contatos 'negados' ou não, em série ou em paralelo, para fornecerem um resultado lógico da operação para uma saída, por exemplo, e como também sua teoria lógica. Por exemplo à equação booleana $K2_2 = \overline{B1} B2B3$, significa que um dos botões de acionamento estará fechado enquanto os outros dois estiverem funcionando.

3.4.2 Programação em Diagramas *Ladder*

Para dar início à programação propriamente dita, será selecionado o controlador FEC *compact*. Este possui todos os módulos necessários (CPU, fonte de alimentação e módulos de entrada/saída) em uma única unidade, necessitando apenas da programação e a alimentação, em contrapartida têm como limitação as portas de entrada e saída. Assim, para a programação do CLP do conjunto trator/implementos agrícolas, optou-se pelo controlador tipo compacto por ser um que é mais fácil a compreensão do sentido do endereçamento em relação a versão *Standart*. A automação dos circuitos hidráulicos indica o uso de sensores, atuadores e do próprio controlador (CLP) como processador.

Sensores e atuadores têm funções distintas e, por isto, o controlador pode fazer uso destes dispositivos. A figura 30 mostra o diagrama *Ladder* do conjunto trator/implementos agrícolas.

Figura 30 – Diagrama *Ladder* conjunto trator/implementos agrícolas.



Fonte: próprio autor

Como pode ser observado na figura 30, o diagrama é dividido em linhas. Essas linhas, também chamadas de *networks* ou *rungs* que agrupam os contatos ('negados' ou não) em série ou em paralelo para fornecerem um resultado lógico da operação para uma saída, por exemplo. As linhas podem ser inseridas antes ou depois de outra linha selecionada, ou também, um ou mais contatos podem ser inseridos em série ou em paralelo. Podem-se inserir também bobinas (chamadas também de *coil*). Um contato ou uma bobina podem ser igualmente 'negados'. Ela também pode receber outros atributos especiais como *S-SET*, *R-RESET*, *I-INCREMENT* (INC incrementa) *D-DECREMENT* (DEC decrementa).

Para o CLP os sensores e os atuadores existem através do módulo de I/O (*I/O module*), em outras palavras I para *Input* (variáveis de entrada) e O para *Output* (variáveis de saída). Cada sensor e atuador é representado por um bit independente que é nomeado e pode ser acessado dentro dessas chamadas. Esta nomeação é conhecida como "endereço", podendo assim ser criada uma lista de alocação (*Allocation List*) que relaciona a lista dos componentes hidráulicos e elétricos com o endereço como um símbolo para fácil identificação.

A *Allocation List* pode ser criada antes da criação do programa, como também pode ser criada durante a edição do programa, com algumas regras:

- Deve-se endereçar os operandos de acordo com o *I/O configuration*.
- O operando simbólico deve ter no máximo 9 caracteres, excluindo números como inicial. Nenhum caracter especial ou reservado pode ser usado.
- Os comentários não têm restrições quanto ao tipo dos caracteres.

A figura 31 mostra a lista de alocação (*Allocation List*) do conjunto trator/implementos agrícolas.

Figura 31 – Lista de alocação do conjunto trator/implementos agrícolas

Operand	Symbol	Comment
⊗ 00.0	K1	Relé 1
⊗ 00.1	K2	Relé 2
⊗ 00.2	K3	Relé 3
⊗ 00.3	K4	Relé 4
⊗ 00.4	K1_2	Relé 1 segunda saída
⊗ 00.5	K2_2	Relé 2 segunda saída
⊖ I0.0	B1	Botão Avanço
⊖ I0.1	B2	Botão de Retorno
⊖ I0.2	B3	Botão de Seleção

Fonte: próprio autor

Observa-se que os módulos O (*output*=saída) são as variáveis de saída (K1, K2, K3, K4, K1_2 e K2_2 - relés). Já os módulos I (*Input*=entrada) são as variáveis de entrada (B1, B2 e B3 - Botões de avanço, retorno e seleção respectivamente).

Assim, o programa executa as funções mencionadas na seção 3.2.1, as dificuldades enfrentadas para a execução total do programa, foram as tentativas e erros até o programa ideal. Primeiramente, optou-se por fazer uma biblioteca, ou seja, um programa para cada novo implemento. Ao passar do tempo, dos testes e experimentos, verificou-se que a simples adequação e reprogramação de variáveis de entrada e saída, é possível apenas um único programa englobando todos os implementos agrícolas.

3.5 Quinta etapa: bancada de testes

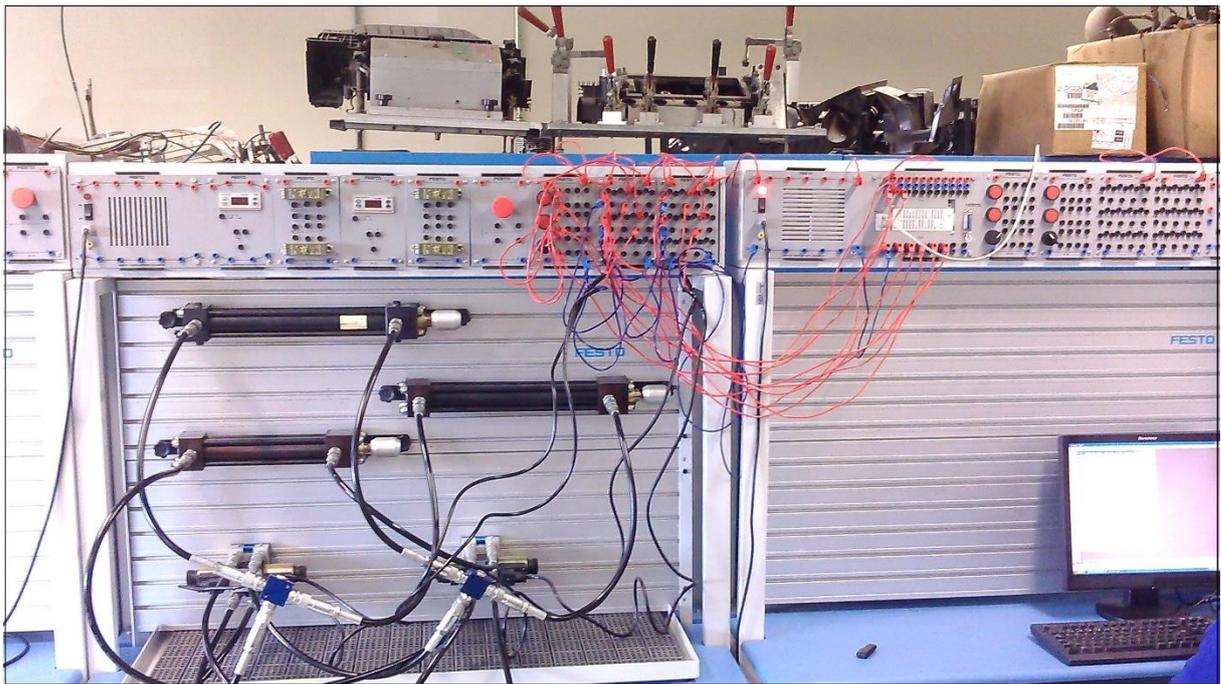
Após realizada a programação no CLP, foi construído um circuito com os componentes hidráulicos reais em uma bancada de teste com os programas devidamente compilados em linguagem *Ladder* no CLP e colocar em prática os circuitos antes somente testados no software FluidSim, agora com seus componentes hidráulicos reais. Com isso, consegue-se versatilidade, confiabilidade e uma elevada relação custo-benefício, sem antes testá-lo nos implementos agrícolas e coloca-los no campo.

4 RESULTADOS

Todos os testes foram realizados nas bancadas do laboratório de Hidráulica e Pneumática da UNIPAMPA.

A figura 32 mostra o circuito eletro-hidráulico funcionando junto ao CLP. Observa-se um painel com três botões, o primeiro de subida, o segundo de descida e a chave comutadora, abaixo dos dois, onde o usuário decide quais dos implementos agrícolas irá optar. Se escolhe o a opção “plantadeira”, três dos cilindros irão subir, os dois do sistema de engate de três pontos do trator, mais o atuador que alinha a plantadeira, já para a escolha a “pulverizador/arado” somente dois dos atuadores irão subir, os dois atuadores do sistema de engate de três pontos do trator.

Figura 32 – Circuito eletro-hidráulico trator/implementos agrícolas com o CLP



Fonte: Próprio autor

Observa-se na figura 32 que existem vários fios, que poderiam atrapalhar na hora de colocá-los no painel do trator junto ao operador. Sugere-se que se coloque uma placa de circuito impresso como *hardware* de apoio.

Também durante a montagem final, alguns dos atuadores por vezes, demoravam mais que os outros para subir, em outras palavras não subiam de maneira uniforme, isso ocorreu devido à descompressão inicial entre as mangueiras e o compressor com o fluido. Bastaram alguns movimentos para tudo estar em ordem novamente. Optou-se pelo uso de um CLP em relação a outros eletrônicos embarcados, como o arduíno por exemplo, devido a sua robustez e capacidade de aguentar as intempéries e também por possui uma programação mais simples.

As dificuldades enfrentadas para a execução total do programa foram as tentativas e erros até o programa ideal. Primeiramente, optou-se por fazer uma biblioteca, ou seja, um programa para cada novo implemento. Ao passar do tempo, dos testes e experimentos, verificou-se que a simples adequação e reprogramação de variáveis de entrada e saída, fica possível apenas um único programa englobando todos os implementos agrícolas.

O sistema felizmente funcionou, mas foram necessárias várias horas de estudo e entendimento, fez-se necessário aprender uma linguagem de programação

totalmente nova, e lembrar como utilizar programas como o FluidSIM, utilizado somente em disciplinas de cunho hidráulico. Outra aprendizagem totalmente nova, foi o conhecimento de como funcionava todo conjunto hidráulico de um trator e seus respectivos implementos agrícolas. Sem antes saber como era seu funcionamento, se tornaria difícil implementar um novo sistema hidráulico com o uso de CLP.

5 CONCLUSÕES

No decorrer da pesquisa, foi possível a criação de um sistema de controle hidráulico de tratores, a partir do uso de um CLP e do conjunto de válvulas eletro hidráulicas e atuadores. Isso viabilizou que se automatizassem as funções dos implementos agrícolas propostos (arado, pulverizador e plantadeira) a ele conectados para o trabalho.

Assim, com a elaboração de um programa em linguagem *Ladder* para os controles simulados por meio de experimentações e testes dos sistemas de bancada, verificou-se a viabilidade econômica, ergonômica e funcional do conjunto trator/implemento agrícola.

Esse trabalho atribuiu-me muito na minha formação final, devido a conhecer novas técnicas, utilizar a automação junto com a Engenharia Mecânica e também o conhecimento do sistema hidráulico de máquinas agrícolas. Aprender sobre agricultura, novas programações, ver que praticamente todo equipamento pode ser automatizado, basta pesquisar e ter um conhecimento prévio de como funcionará o equipamento, tudo isso para ajudar o agricultor ou qualquer outro setor, em que se possa implementar o uso de automação. Sugestões para trabalhos futuros, são a Implementação do CLP junto ao trator e a programação de novos implementos agrícolas, não somente restrito aos três principais propostos: plantadeira, pulverizador e arado. E por fim um maior detalhamento das funções presentes junto ao CLP, como velocidade de subida e descida e sensibilidade ao toque no botão. Então o custo final do sistema é mostrado no quadro 5.

Quadro 5 – Orçamento conjunto/CLP

CLP 14 saídas	R\$ 672,00
Caixa painel	R\$ 217,00
Kit Placa Impressa	R\$ 46,00
3 botões	R\$ 30,00
3 válvulas eletro hidráulicas	R\$ 1376,16
Eletricista (3 horas)	R\$ 138,00
Total	R\$ 2479,16

REFERÊNCIAS

- COSTA, Luiz Augusto A. **CLPs. Maxicon Automação**, Volume 2, São Paulo 2010
- FIALHO, A. Bustamante **Automação hidráulica: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 2ª Ed. São Paulo. Ed Érica. 2003
- FRANCHI, Claiton M.; CAMARGO, Valter Luis A. **Controladores Lógicos Programáveis**. São Paulo. Ed. Érica, 2008.
- GEORGINI, Marcelo. **Automação Aplicada – Descrição e Implementação de Sist. Sequenciais com PLCs**. São Paulo. Ed. Érica, 9ª edição. 2008
- GIACOSA, D. **Motores Endotérmicos**. 3 ed. Barcelona: Editora Científico-Médica, 1970.
- LINSINGEN, I. V. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.
- MORAES, Cícero Couto de Castrucci, Plínio. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2010.
- MIALHE, Luiz Geraldo. **Máquinas Motoras na Agricultura**. Volume 2, EDUSP, 1980.
- NARDINI, Jurandir Jones. **Tecnologia e Sistemas de Gestão da Produção e da Qualidade**. UNICAMP – FEM/DEF. 2 ed., Campinas 1999
- PARKER Training. **Tecnologia Hidráulica Industrial**. Apostila M2001-1 BR. São Paulo 1999.
- PIVETA, Alessandro. **Benefícios dos Comandos Eletro-Hidráulico Instalado em uma Motoniveladora**. Piracicaba, 3 ed., 2009
- PRUDENTE, Francesco. **PLC: Teoria e Aplicações**. Ed. LTC. 2007
- PULKRABEK, W.W. **Engineering fundamentals of the internal combustion engine**, 2ed. Ed. Pearson. 2004
- SILVA, Marcelo Eurípedes. **Curso de Automação Industrial**. Piracicaba. Ed. EEP. 2007.
- SPERRY VICKERS. **Manual de Hidráulica Industrial**, 8ª ed., 2006.
- SCHIMITT, Arno. **Treinamento Hidráulico**. Rexroth. Ed nº 00301/2.81, Start Criação e Planejamento Ltda. 1989.
- STONE, R. **Introduction to internal combustion engines**. 3ª ed. SAE. 1999.

SANTOS, João Eduardo Granetti Garcia dos; SANTOS FILHO, Abílio Garcia dos, Apostila de Máquinas Agrícolas. Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, 2001, pg 81,82

UYEMURA, John P. **Sistemas digitais: uma abordagem integrada**; São Paulo: Pioneira Thonson Learning, 2002.

WALKER, Joel. **Elétro – Hidropneumática: Válvulas Direcionais**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI - SC. São Miguel do Oeste. 2010.

ZERBINI, E.J.et al. **Manual de Tecnologia Automotiva BOSCH**. São Paulo: 2ª Ed. Blucher. 2005