

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PROPOSTA DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE NÍVEL
FREÁTICO E SUB-IRRIGAÇÃO**

ANTONIO TADEU PELLISON

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU - SP

Novembro – 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PROPOSTA DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE NÍVEL
FREÁTICO E SUB-IRRIGAÇÃO**

ANTONIO TADEU PELLISON

Orientador: Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU - SP
Novembro – 2001

As minhas irmãs, Bete e Rosária,
por serem minha família.

AGRADEÇO

A minha esposa Adriana, e aos
meus filhos, Rodrigo e Isabella,
por fazerem parte da minha vida

AGRADEÇO

Aos meus pais, João e Anna Yolanda,
pela amizade, amor, carinho,
motivação,...

A minha mãe, pela saudade deixada e
que mesmo ausente vive no meu
coração.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural, FCA-UNESP, e ao Coordenador do curso de pós-graduação em Agronomia, área de concentração Irrigação e Drenagem, pela amizade e conhecimentos passados.

Ao meu orientador Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim, pela paciência , orientação e amizade.

Aos colegas da escola Industrial de Botucatu, da área de Eletroeletrônica, pelo apoio.

Aos colegas do curso de pós-graduação em irrigação e drenagem, pelo companherismo.

A todos aqueles que direta e indiretamente, colaboraram para concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	4
4. REVISÃO DA LITERATURA.....	7
4.1. CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE.....	7
4.2. TRANSMISSÃO DA INFORMAÇÃO.....	13
4.2.1. TRANSMISSORES	15
4.2.2. MODULAÇÃO DOS SINAIS	18
4.3. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE.....	19
4.4. COMANDO E ACIONAMENTO.....	22
4.5. SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO RÍGIDOS E FLEXÍVEIS	25
4.6. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL - CLP	26
4.6.1. COMANDO LÓGICO DIGITAL.....	30
4.7. REDES DE COMUNICAÇÃO	37
4.7.1. REDE DE GERENCIAMENTO.....	38
4.7.2. REDE DE CONTROLE	38
4.7.3. REDE DE CAMPO.....	38
4.8. SENSORES	45
4.8.1. MEDIÇÃO DE NÍVEL.....	47
4.9. DRENAGEM AGRÍCOLA	53
4.10. CONTROLE AUTOMÁTICO DA IRRIGAÇÃO.....	62
5. MATERIAL E MÉTODOS	64
5.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL.....	64

5.2. MATERIAIS:	71
5.3. MÉTODOS	73
5.4. CLP	74
5.4.1. <i>Dispositivos de Entrada no CLP</i>	76
5.4.2. <i>Dispositivos de Saída</i>	76
5.5. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE.....	77
5.6. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO	82
5.7. MONITORAMENTO	85
5.8. PROGRAMAÇÃO.....	87
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
6.1. RESULTADOS	88
6.1.1. <i>Controle automático da água</i>	88
6.1.2. <i>Característica do sistema hidráulico</i>	89
6.2. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA PARA O CLP	90
6.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO CLP	100
7. CONCLUSÕES	104
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

Lista de Figuras

Figura 1 - Sistema de controle a) aberto b) fechado	8
Figura 2 - Sistema de malha fechada	9
Figura 3 - Sistema de controle aplicado a SI (Sub Irrigação) e DC (Drenagem Controlada) ...	10
Figura 4 - Transmissores a dois fios	16
Figura 5 - Transmissores a quatro fios	17
Figura 6 - Possíveis usos da informação obtida em campo	20
Figura 7 - Sistema de aquisição de dados acoplado ao microcomputador (Mantovani, 1993) .	21
Figura 8 - Sistema de aquisição de dados dedicado (Mantovani, 1993)	23
Figura 9 - Partes constituintes de um CLP (Natale, 1995)	27
Figura 10 - Trecho de programa nas três linguagens.....	29
Figura 11 - Organização do raciocínio na solução de problemas de lógica	32
Figura 12 - Lista de instruções básicas das três formas básicas de programação.....	33
Figura 13 - Função Sim	34
Figura 14 - Função Não (Inversor)	35
Figura 15 - Função lógica E.....	35
Figura 16 - Função OU	36
Figura 17 - Níveis de rede para sistemas de automação	39
Figura 18 - Rede Fieldbus	44
Figura 19 Sensor Capacitivo.....	50
Figura 20 - Sonda Capacitiva de Proximidade	51

Figura 21 - Ultra – som.....	53
Figura 22 - Drenagem convencional.....	56
Figura 23 - Drenagem controlada	57
Figura 24 - Subirrigação	57
Figura 25 - Utilização da fita umidecida	60
Figura 26 - Utilização de circuito elétrico	61
Figura 27 - Situação atual da área de pesquisa	65
Figura 28 - Medidas do dreno	66
Figura 29 - a) Vista superior da área b) Vista com os pontos de observação.....	67
Figura 30 - a) Vista lateral b) Vista com os pontos de observação e ao fundo o canal.....	68
Figura 31 - Esquema de aterramento TN (O condutor neutro e o condutor de proteção são distintos)	69
Figura 32 - Base de Controle	70
Figura 33 - Esquema Funcional do Quadro de Distribuição	71
Figura 34 - Diagrama de Blocos do CLP	75
Figura 35 - Ciclo de Varredura.....	75
Figura 36 - Situação proposta de instalação (Layout)	80
Figura 37 - Esquema de ligação do sistema automatizado	81
Figura 38 - Formato dos canais	83
Figura 39 Controle automático SI e DC	86
Figura 40 – Reservatório de água	89
Figura 41 - Poços de observação	91
Figura 42 - Diagrama de blocos.....	97

Figura 43 – Programação do CLP na linguagem Step 7.....98

Figura 44 - Conexões do CLP101

1. RESUMO

A drenagem do solo tem por objetivo a remoção por meios artificiais, do excesso de água acumulado, tornando o solo mais aproveitável ou adequado às atividades do homem. A ação de irrigação e drenagem subterrânea, com base em parâmetros hidrodinâmicos do solo, poderá, sem dúvida, levar a erros grosseiros. Para evitar tais erros, sempre que possível, utilizam-se dados sobre as condições obtidas em experimentos de campo, sobre as condições de flutuação do nível freático.

A instrumentação para medida do nível freático à distância, cujos dados possam ser prontamente usados para controle automático da irrigação, poderá assegurar a produção econômica no curto prazo e, no longo prazo, a proteção ambiental.

Com o avanço tecnológico na área de automação voltada às atividades agrícolas, nesta pesquisa propõe-se o desenvolvimento de um projeto para automatização de controle do nível freático da várzea, através de poços de observação instalados nesta área, que pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da FCA, utilizando-se de um Controlador Lógico Programável e sistemas de transmissão de dados.

Esta proposta fornece condições de avaliar o controle do nível do lençol freático em situações de sub-irrigação e drenagem controlada permitindo o manejo e controle racional do uso de água, evitando desperdícios, com armazenamento do excedente.

PROPOSAL OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR WATER TABLE CONTROL AND SUB-IRRIGATION.

Botucatu, 2000. 109 p. Dissertação de Mestrado em Agronomia (Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP.

Author: Antonio Tadeu Pellison

Adviser: Prof. Dr Odivaldo José Seraphim

2. SUMMARY

The soil drainage aims for the removal of the accumulated excess of water by artificial means, turning the soil more profitable or adapted to human's activities.

The irrigation system and the subsurface drainage together, in a meaning of hydrodynamic parameters of the soil, do can lead to erros. To correct such errors, when possible, is necessary to use data obtained from field experiments under flotation conditions of the water table level. The instrumentation for measurement of the water table at distance, whose data can be ready used for automated irrigation control, can assure the economic production at a short period and, at a long period, the enviromental protection.

With the tecnological progress in the automation area turned to agricultural activities, this work aims for the design of an automated project to control the floodplain (varzea) water table, through observation wells installed in that area which belong to the Rural Engineering Department of the Faculty of Agronomic Sciences, using the Programmable Logical Controller and data transmissions systems.

This proposal provides conditions to evaluate the water table at subsurface and controlled drainage conditions, allowing the management and rational control of water use, avoiding water wastage with storage of the surplus.

3. INTRODUÇÃO

O futuro da humanidade está diretamente ligado a um dos recursos mais importantes que o homem dispõe na natureza, a água. A sociedade, desde seus primórdios instalou-se e desenvolveu-se próxima de rios e lagos, fontes abundantes destes recursos. A população humana aumentou desproporcionalmente, causando modificações no uso de tal recurso. Conseqüentemente a prosperidade depende do uso eficiente de insumos agrícolas para maior produção e qualidade de alimentos.

A drenagem do solo, tem por objetivo a remoção por meios artificiais, do excesso de água acumulado, tornando o solo mais aproveitável ou adequado às atividades do homem. A ação conjugada de irrigação e drenagem subterrânea, com base em parâmetros hidrodinâmicos do solo, poderá, sem dúvida, levar a erros grosseiros. Para evitar tais erros, sempre que possível, é necessário utilizam-se dados obtidos em experimentos de campo, sobre as condições de flutuação do nível freático. A instrumentação para medição à distância do nível freático, cujos dados possam ser, prontamente usados para controle automático da irrigação, poderá assegurar a produção econômica no curto prazo e, no longo prazo, a proteção ambiental.

A operação de sistemas de manejo de lençol freático pode tornar-se uma difícil tarefa em algumas regiões de clima úmido por causa da distribuição temporária e irregular das chuvas.

O tempo necessário, para as alterações no lençol e para controlar a drenagem do subsolo ou subirrigação, é o maior problema dos sistemas manuais. Esse tempo é especialmente crítico em áreas úmidas com solos de textura fina, combinadas com eventos de chuva freqüentes, já que esta condição provoca rápidas e grandes flutuações na profundidade do lençol de água. A magnitude das flutuações dentro da zonas das raízes é geralmente mais crítica do que a profundidade média de água em termos de resposta ou produção da cultura.

O monitoramento de campo da profundidade do lençol de água entre as linhas de drenagem do subsolo é um importante parâmetro para se ajustar adequadamente o nível de passagem da água de drenagem.

As vantagens de ordem técnica de uma instalação automatizada sobre um sistema controlado manualmente são evidentes. Consegue-se uma maior flexibilidade do serviço, já que as partes móveis ou acionáveis podem ser comandadas desde um posto central, inclusive com ausência de operador. Há o aspecto do fluxo de dados que chega constantemente, constituindo valiosa fonte de informações sobre o comportamento do sistema.

As vantagens de ordem econômica também são evidentes, já que se necessita menos pessoal dedicado a manipulação diária do sistema de drenagem/irrigação e um aumento na produtividade. Apesar do desembolso inicial ser maior, a experiência, principalmente no setor industrial, mostra que este investimento é positivo e rentável.

A evidente necessidade de estudar este problema, tem trazido aos departamentos de Engenharia Rural no geral a responsabilidade de atuar no contexto

“Irrigação e Drenagem Agrícola” com a atenção voltada para o que de mais moderno existe em automação de sistemas e com esta referência partir para uma atuação de vanguarda com a clara finalidade de se obter resultados de qualidade no tocante às pesquisas empreendidas.

A automatização da operação do sistema Drenagem Controlada e Subirrigação para controle de lençol de água fornece uma alternativa aos métodos de intenso trabalho manual. O controle do nível de passagem de água no tubo de drenagem pode ser totalmente ou semi-automático. O tipo de passagem de água determinará na maioria dos casos as opções aplicáveis para controle. Por exemplo, uma vala ou um canal aberto versus uma estrutura de reservatório. A drenagem deve ser controlada a fim de que o perfil do solo não seja super drenado, e sendo assim minimizando subsequente subirrigação para manter a profundidade desejada do lençol de água.

Desenvolvimento de um sistema de controle do lençol de água, que seja ao mesmo tempo prático, de fácil manuseio pelo agricultor e confiáveis.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema para automatização e controle do nível freático de uma área agrícola, denominada de “várzea”, localizada na Fazenda Lageado sob responsabilidade do Departamento de Engenharia FCA/UNESP. Para tanto utilizar-se-á um Controlador Lógico Programável com a transmissão dos dados coletados por sensores de nível do lençol freático, dos drenos e reservatório, que serão monitorados, através da telemetria, para serem processados. Tal automatização permitirá a avaliação do lençol freático e a realização de subirrigação, com aberturas de comportas, transferência de reservatórios de água e demais processos.

4. REVISÃO DA LITERATURA

A automação é atualmente uma ferramenta fundamental para o controle na aplicação de água no momento adequado, segundo a avaliação das necessidades da cultura. Isto permite altos níveis de eficiência no uso da água, da energia elétrica gasta para conduzi-la até a área de cultivos, e na utilização adequada dos fertilizantes, propiciando uma maior produtividade.

4.1. Caracterização de um sistema de controle

De acordo com Distefano et al, (1978), um sistema de controle é uma disposição de componente físicos, conectados ou relacionados de tal maneira a comandar, dirigir ou regular a si mesmo ou a outros sistemas.

Estímulo, ou excitação, aplicado a um sistema é conhecido como entrada, e a resposta obtida de um sistema de controle é chamada de saída.

Classificam-se, também, os sistemas de controle em sistemas de malha aberta e sistemas de malha fechada, ilustrados pelos diagramas da Figura 1.

No sistema de malha aberta, a ação de controle é independente da saída. No sistema de malha fechada, a ação de controle depende, de alguma maneira, da saída.

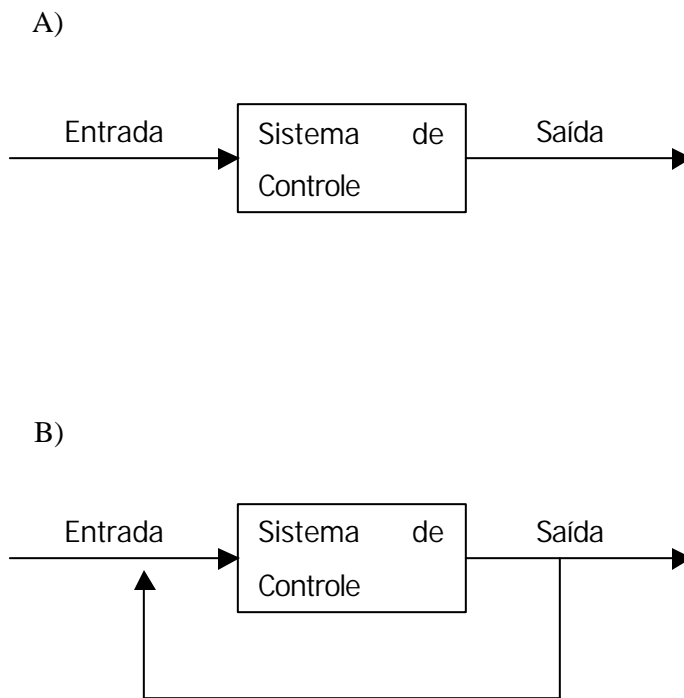


Figura 1 - Sistema de controle a) aberto b) fechado

De acordo com Bolton (1985), num sistema de controle de malha fechada há uma entrada de referência para o elemento de controle e uma malha de realimentação, esta, a saída para a entrada do elemento de controle. A diferença entre o sinal de controle e o sinal da malha de realimentação é chamada de sinal de erro, como mostrado na Figura 2.

Distefano et al (1978), define sistema de realimentação negativa e sistema de realimentação positiva.

Num sistema de realimentação negativa, o sinal de realimentação é subtraído do sinal de referência conforme Equação 1.

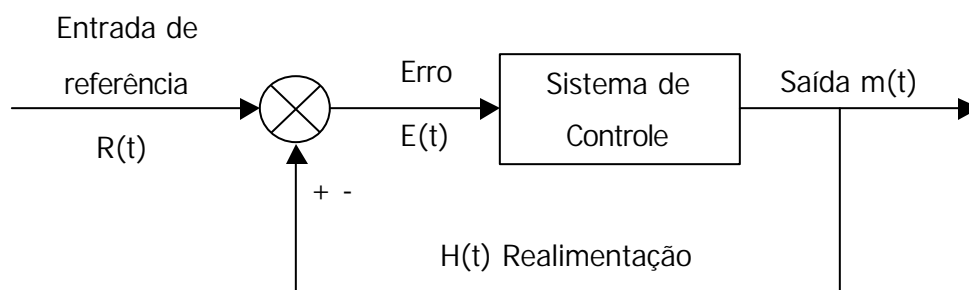


Figura 2 - Sistema de malha fechada

$$E(t) = R(t) - H(t) \quad (1)$$

Num sistema de realimentação positiva, o sinal de realimentação é somado ao sinal de referência conforme Equação 2.

$$E(t) = R(t) + H(t) \quad (2)$$

De acordo com Bolton (1985), o objetivo de um sistema de controle é manter uma saída uniforme e/ou constante para uma dada referência de entrada.

Com base nas definições de Distefano et al (1978) e Bolton(1985), pode-se caracterizar um sistema de controle aplicado em irrigação baseado no potencial mátrico de água no solo, esquematizado pela Figura 3:

$C(t)$ é a variável controlada (potencial mátrico de água no solo).

$R(t)$ é o sinal de referência (valor desejado, set-point).

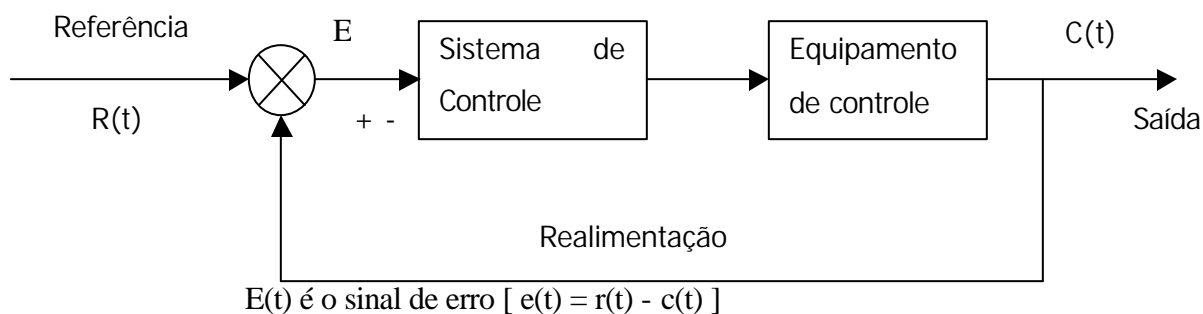


Figura 3 - Sistema de controle aplicado a SI (Sub Irrigação) e DC (Drenagem Controlada)

O sistema de controle é de realimentação, malha fechada, artificial. A variável controlada $C(t)$ é o sensor de nível de água no solo, o qual deve ter a informação convertida em um sinal elétrico. Usualmente, os transdutores fornecem sinais de 0 a 10 Vcc (curtas distâncias), 4 a 20 mA (médias distâncias) ou sinais na forma de frequência (longas distâncias).

Segundo Bolton (1985), transdutor é um dispositivo que transforma informação de uma forma em outra. Logo o sensor é transdutor, pois ira transformar a informação do nível de água (nível da coluna d'água) em um sinal elétrico.

A realimentação é o retorno do sinal gerado pelo sensor para que seja comparado com o sinal de referência ajustado.

O controle de Drenagem Controlada e Sub Irrigação será de realimentação negativa, pois sempre fará a comparação entre o valor ajustado para inicio do processo de

irrigação e o valor informado pela malha de realimentação conforme Equação 1. Para aquela equação, neste caso, tem-se que:

$R(t)$ é o valor ajustado, referente a uma cultura, para início da DC ou SI, baseado no nível do lençol de água.

$H(t)$ valor informado pelo sensor e ajustado pela malha de realimentação.

$E(t)$, sinal de erro. Se for positivo, indica que o nível de lençol de água está baixo, portanto deve-se irrigar. Se for negativo, indica que o nível de lençol de água está alto.

$R(t)$: referência, ajustado para SI.

$H(t)$: valor do nível do lençol de água informado pelo sensor.

$E(t) > 0 \rightarrow$ **IRRIGAR**

$E(t) < 0 \rightarrow$ **Drenagem Controlada**

Sistemas de controle

Segundo Natale (1996), os reguladores são partes integrantes do controle e se compõem a partir de amplificadores operacionais. A saída de um regulador é função do valor desejado $R(t)$ e do valor atual (informado) $H(t)$, ou seja, a saída varia em função do sinal de erro $E(t)$.

Sistema de controle ON-OFF

A saída $m(t)$ possui apenas dois estados: atuando ou não atuando conforme Equação 3.

$$\begin{aligned} E(t) \geq 0 &\Rightarrow m(t) = 1 && (\text{saída acionada}) \\ E(t) < 0 &\Rightarrow m(t) = 0 && (\text{saída não acionada}) \end{aligned} \quad (3)$$

Sistema de controlado Proporcional

O sinal de saída é proporcional ao erro conforme Equação 4.

$$m(t) = k \cdot E(t) = k \cdot [r(t) - h(t)] \quad (4)$$

A variável $m(t)$ é de saída do controlador e k é a constante de proporcionalidade. Controlador tipo P (Controlador Proporcional)

Sistema de controle Integral

O sinal de saída comporta-se como uma integral do erro, conforme Equação 5.

Controlador I (Controlador integral).

$$m(t) = k \int_0^t E(t) dt \quad (5)$$

Sistema de controle Proporcional e Integral

O sinal de saída é um sinal proporcional e integral do erro conforme Equação 6.

Controlador tipo P.I.C. (Controlador Proporcional - Integral)

$$m(t) = k_1 E(t) + k_2 \int_0^t E(t) dt \quad (6)$$

Sistema de controle Proporcional - Integral – Derivativo

Castrucci & Batista(1980), define o controlador Proporcional - Integral - Derivativo, aquele em que a saída é proporcional à derivada e a integral do sinal de erro conforme a Equação 7.

Controlador P.I.D.

$$m(t) = k_1 E(t) + k_2 \int_0^t E(t) dt + k_3 \frac{d \cdot E(t)}{dt} \quad (7)$$

4.2. Transmissão da informação

Segundo Scott & Aneshanley (1991), o processo de transmitir informações obtidas de um local para outro local remoto, para visualização, registro ou processamento é conhecido como telemetria.

Um dos fatores que se destaca na utilização da telemetria é a possibilidade de centralizar instrumentos e controles de um determinado processo em painéis de controle ou sala de controle, obtendo-se as seguintes vantagens:

- a) Os instrumentos agrupados podem ser consultados mais facilmente e rapidamente, possibilitando ao operador uma visão conjunta do desempenho da unidade.
- b) Redução do número de operadores com simultâneo aumento da eficiência do trabalho.
- c) Cresce consideravelmente a utilidade e a eficiência dos instrumentos face as possibilidades de pronta consulta, manutenção e inspeção, em situação mais acessível, mais protegida e mais confortável.

Em agricultura, nos sistemas de irrigação, há a necessidade de se definir o modo de transmitir a informação dos sensores de campo para o centro de controle que geralmente são afastados.

De acordo com Torre Neto (1995), as opções para o meio de comunicação, de modo geral e na área agrícola, podem ser divididas em:

- Sinais elétricos, analógicos ou digitais, através de cabos de cobre;
- Transmissões por ondas de rádio pelo ar;
- Transmissão de luz visível ou infravermelho, através do ar ou fibras ópticas.

Transmissão via cabos

A transmissão via cabo é versátil. Para que seja confiável, muitos cuidados devem ser tomados na instalação e manutenção dos condutores, principalmente em campo. Proteções contra danos físicos devem ser providenciadas (tráfego de tratores e animais), contra indução eletromagnética causada por descargas atmosféricas e contra outras interferências de ordem elétrica (rede de alta tensão).

O custo dos próprios condutores, adicionado ao custo dessas proteções, torna a transmissão via cabo uma das opções mais onerosas dentre as citadas, caso o enlace seja maior que algumas dezenas de metros.

Para grandes distâncias, deve-se analisar a viabilidade do aproveitamento de redes de distribuição de energia e linhas telefônicas.

4.2.1. Transmissores

Os transmissores são instrumentos que medem uma variável do processo e a transmitem, à certa distância, a um instrumento receptor, indicador, registrador, controlador ou a um conjunto ou grupo combinação destes.

Existem vários tipos de sinais de transmissão: pneumáticos, elétricos, hidráulicos e eletrônicos.

Cada instrumento ou função programada será identificada por um conjunto de letras que o classifica funcionalmente e um conjunto de algarismos que indica a malha à qual o instrumento ou função programada pertence, de acordo com a Tabela 1

Primeira Letra		Letras Sucessivas
C	Condutividade Elétrica	Controlador
F	Vazão	
I	Corrente Elétrica	Indicador ou Indicação
L	Nível	Lâmpada
P	Pressão	Tomada de Impulso
T	Temperatura	Transmissão / Transmissor
V	Viscosidade	Válvula
Y		Relê ou Computador

Tabela 1 - Tabela de Identificação Funcional dos Instrumentos

Transmissão Eletrônica

Os transmissores eletrônicos geram vários tipos de sinais: 4 a 20mA e 10 a 50mA e 1 a 5V em painéis, podendo ser de vários meios:

Transmissores a 2 fios, é utilizado quando usa-se o mesmo cabo, com 2 condutores e normalmente uma malha de terra, para alimentar o instrumento com 24 Vdc e, também, para transmitir o sinal de corrente de 4 à 20mA, conforme Figura 4.

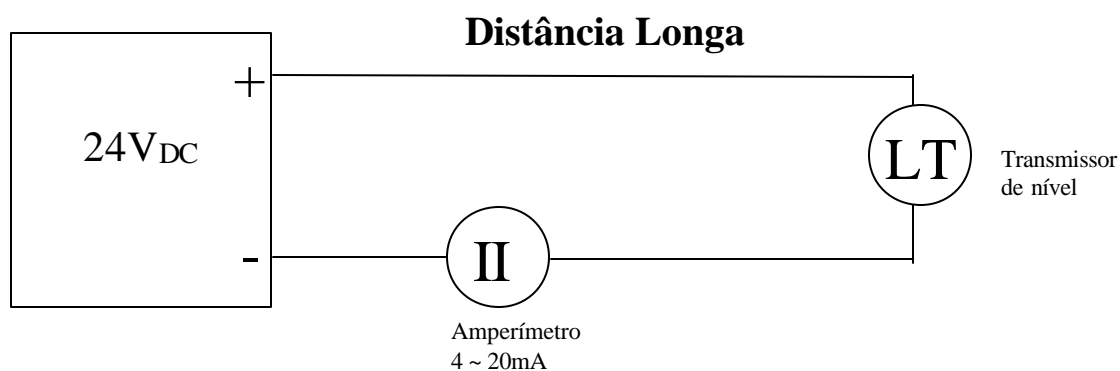


Figura 4 - Transmissores a dois fios

Transmissor 4 Fios: este tipo de transmissor é utilizado quando o transmissor é alimentado com 110Vac ou 220 Vac. Assim, é necessário um cabo de alimentação independente e daquele do sinal de corrente de 4 a 20mA, também independente, conforme Figura 5.



Figura 5 - Transmissores a quatro fios

Transmissão por ondas de rádio

Segundo Torre Neto (1995), considera-se como radiotelemetria convencional de superfície aquela que envolve pares de transceptores (transmissores receptores) na faixa de frequência que vai desde 27Mhz até alguns GHz . Ela pode ser opção de custo moderado para médias distâncias (5 a 100Km).

Segundo Burton (1987), a confiabilidade da radiotelemetria é inferior à das outras técnicas, devido à vulnerabilidade da antena e a susceptibilidade a radiointerferência. Em pequenos países, ela tem sido evitada; quando utilizada, recomendam-se enlaces de curta distância (5Km). Em sistemas de longa distância, tem a desvantagem de dificultar a alimentação via bateria, pois requer um maior consumo de energia e, conseqüentemente, maiores custos.

Meios ópticos

O emprego da comunicação por infravermelho tem sido amplamente

difundida na área agrícola.

O seu custo é o mais baixo das opções apresentadas. A radiotelemetria apresenta custo inicial e de manutenção que variam entre 40% a 70% a maiores do que aqueles dos sistemas por infravermelho, dependendo do número de estação de campo (Latiner & Reddell,1990). O alcance da comunicação por infravermelho esta em torno de 1 Km, porém, ele pode ser ampliado através de estações repetidoras. Por exigir a visibilidade entre o par transmissor e receptor, os obstáculos naturais, chuvas e nevoeiros podem causar falhas na comunicação. Todavia, ela não está sujeita a radiointerferências e não requer licença de uso.

Uma solução ousada é o emprego de sistemas de comunicação em “laser” propagando-se no ar(Allison & Land,1984). O seu alcance é restrito, em torno de 300 metros, e os custo de instalação e manutenção são elevados. As taxas de transmissão requeridas na área agrícola são bastante reduzidas e uma solução a “laser”, incluindo fibras ópticas justifica-se apenas pela imunidade a interferências e a raios. Os custos devem ser ponderados.

4.2.2. Modulação dos sinais

Segundo Gomes (1985) modulação é um processo que consiste em se alterar um característica da onda portadora, proporcionalmente ao sinal modulante.

Os sinais gerados nos sensores colocados no campo devem ser enviados a estações remotas para processamento e controle dos sistemas. Dependendo da distância e do meio utilizado para a transmissão do sinal, este deve sofrer uma modulação para seu envio.

Os sistemas de modulação podem ser divididos em dois grupos:

a) Uso de portadora senoidal.

b) Uso de portadora em trem de pulso

Torre Neto (1995) utilizou dois transceptores de rádio, marca Autel S.A, que foram configurados para operar como rádio - modem, os quais permitem a comunicação direta entre dois modems para a transmissão de dados, com potência de transmissão de 10 Watts. Isto possibilitou a transmissão de sinais de sensores se solo [tensiômetros, temperatura do solo, por uma distância de 130 Km entre uma fazenda experimental em Pindorana (SP) até São Carlos (SP)].

Condicionadores de sinais

Segundo Bolton (1985), condicionador de sinal é o elemento do controle que tem a função de modificar a dimensão e a forma dos sinais para indicação.

De acordocom Mitchell (1991), o termo “condicionador de sinal” descreve uma manipulação proposital de um sinal. Inclui filtragem, amplificação, computação, simulação e circuitos de controle.

Os condicionadores de sinais podem ser compostos de dispositivos passivos e ativos. Os dispositivos passivos são construídos com componentes que só dissipam energia. Os dispositivos ativos são construídos com dispositivos que fornecem energia ao circuito.

4.3.Sistema de aquisição de dados e controle

As informações dos sensores de campo que chegam ao centro de controle podem servir apenas para monitoramento (armazenamento das informações) ou, também, para

controle de sistemas automatizados, utilizando desde circuitos comparadores, até complexos Controladores Lógicos Programáveis (CLP), conforme indica a Figura 6.

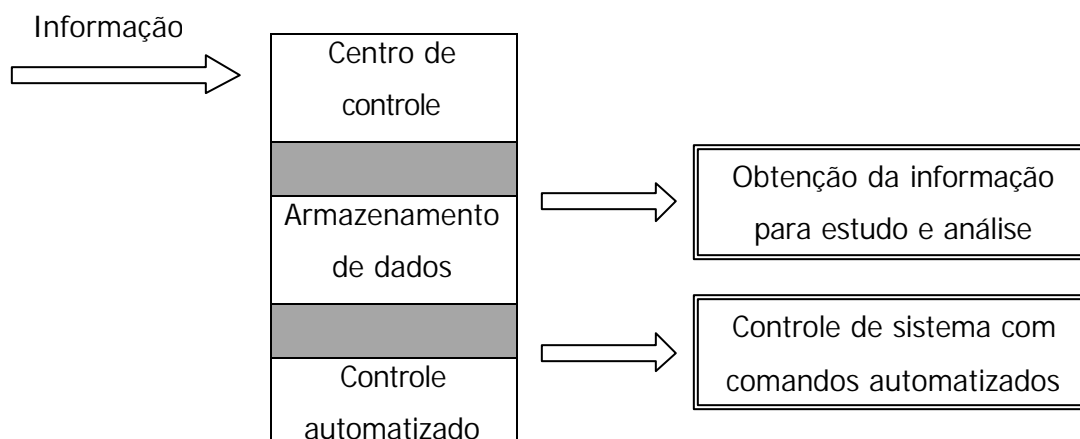


Figura 6 - Possíveis usos da informação obtida em campo

Sistema de aquisição de dados.

Segundo Mantovani (1993), ao se implementar um sistema de aquisição de dados, podemos optar por dois tipos de arquitetura:

- Placa de aquisição acoplada a microcomputador.
- Sistema dedicado a aquisição auto-suficiente.

A placa de aquisição acoplada a microcomputador possui uma placa de conversão A/D - D/A num dos “slots” de expansão de um microcomputador, aproveitando a estrutura de “Hardware” e “Software” do mesmo. O microcomputador faz todo o controle das operações de conversão e armazenamento em memória. É o meio mais econômico na

construção de um sistema de aquisição de dados, possibilitando a implementação de sistemas eficientes. Na Figura 7, temos ilustrado uma placa de aquisição de dados típica de uso geral.

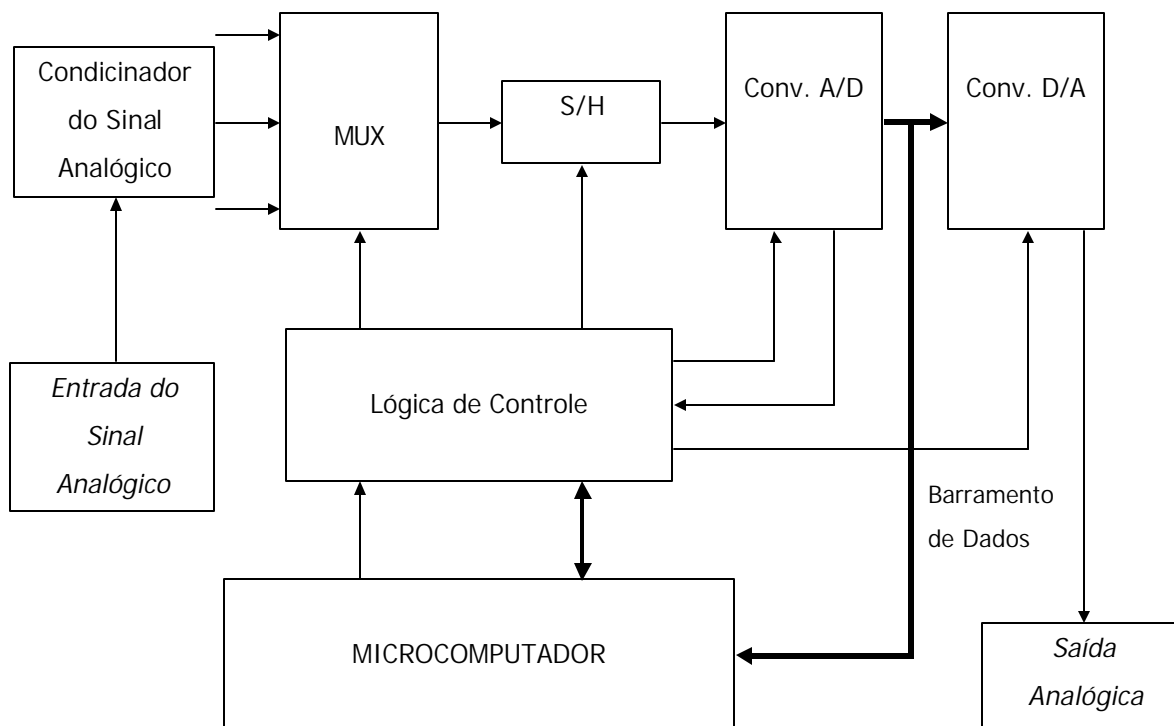


Figura 7 - Sistema de aquisição de dados acoplado ao microcomputador (Mantovani, 1993)

O inconveniente desse tipo de arquitetura no ambiente do microcomputador é a baixa imunidade ao ruído; normalmente se faz uso de amplificadores para elevar o nível de sinal, e às vezes, o resultado não é satisfatório, sendo necessário cuidados especiais, como sistema de aterramento e ambiente elétrico isolado. Outro fator limitante é a velocidade limitada da transferência de dados digitalizados entre conversor e unidades de memória do microcomputador utilizado, problema que surge por falta de memória própria nas placas de aquisição. Outra limitação é a flexibilidade que fica prejudicada por causa do espaço restrito

oferecido pelo computador. Apesar desses entraves, esse tipo de arquitetura tem grande aceitação (Mantovani, 1993).

Sistema de aquisição de dados dedicados

Os sistemas de dados dedicados podem operar independentes de microcomputadores, provendo-se, porem, interfaces de conexão com outros sistemas. Possuem sistemas próprio de controle e armazenamento, possibilitando operações de aquisição de dados com mais eficiência e flexibilidade, conforme a Figura 8.

O controle das operações pode ser feito através de circuitos lógicos convencionais, de microprocessadores ou ainda de microcontroladores. A implementação através de circuitos lógicos convencionais tem a grande limitação de reconfiguração, ou seja, a impossibilidade de mudanças. Utilizando-se de microprocessadores ou microcontroladores o sistema torna-se “inteligente”, onde um programa pode manipular suas funções, além de propiciar facilidade de comunicação com sistemas de computação maiores. Portanto, arquitetura para sistemas dedicados apresentam uma grande vantagem que é a possibilidade do sistema atuar na tarefa de aquisição de dados distantes de centros computacionais, facilitando as operações de campo e aquisição em vários pontos. A transferência de informações pode ser feita por uma interface serial padrão.

4.4. Comando e Acionamento

Comando é a possibilidade de exercer-se uma ação em um processo. Esta ação pode iniciar ou modificar um processo através de sinais recebidos e processados por um

equipamento ou uma pessoa.

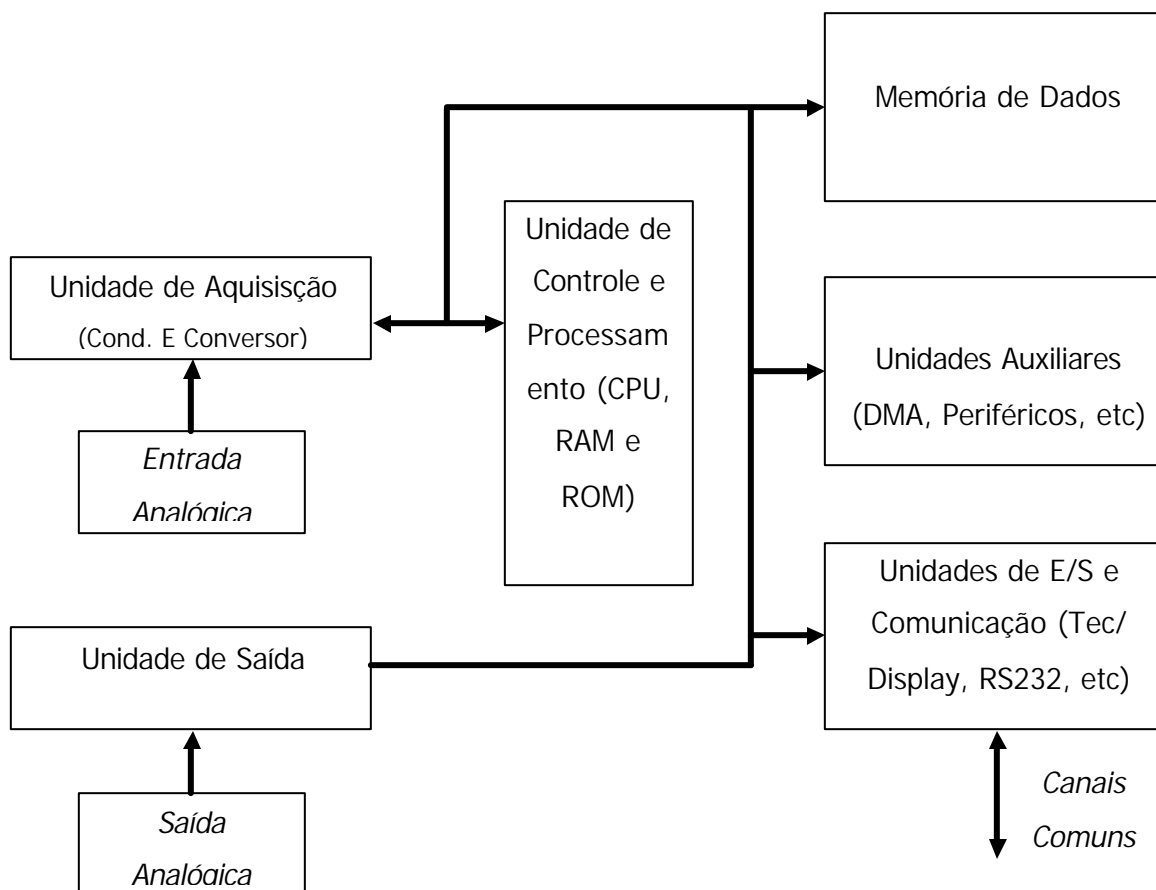


Figura 8 - Sistema de aquisição de dados dedicado (Mantovani, 1993)

Os comandos podem ser classificados em:

Analógico

Tanto as variáveis de entrada como as de saída podem assumir qualquer valor entre 0 e 100% da faixa de trabalho.

Lógico

Tanto as variáveis de entrada como as de saída somente podem assumir um entre os dois valores predefinidos: 0 ou 1.

O acionamento pode ser manual quando a ação de comando é feita pelo ser humano ou automático quando a ação de comando é feita pela própria lógica de comando, sem intervenção do ser humano.

A tecnologia pode ser: Mecânica, Elétrica, Eletrônica, Pneumática, Hidráulica e Híbrida.

Pode existir realimentação quando a estrutura de todo e qualquer comando for composta de três elementos essenciais:

Entrada de sinal, com as seguintes funções:

- Detectar validade - limite de grandeza analógica;
- Receber sinal que indica início de processo;
- Receber sinal de realimentação;
- Adaptar o sinal.

Processamento, com as seguintes funções:

- Reconhecer o sinal;
- Combinar sinais
- Comparar sinais;
- Memorizar o sinal;
- Contar o impulso, etc.

Na saída, o sinal é amplificado até o nível de potência dos estágios de acionamento.

No funcionamento no sistema de comando automático, o estágio de entrada recebe sinais vindos dos sensores (chave fim – de – curso, fotocélulas) e também do elemento de comando manual, botoeira. Passa em seguida pelo estágio de processamento, sendo depois direcionado ao estágio de saída. No estágio de saída o sinal é amplificado e direcionado ao estágio de potência e/ou estágio indicador/sinalizador para informação do operador.

4.5.Sistemas de Automação Rígidos e Flexíveis

Segundo Silveira (1998), na automação faz-se distinção entre sistemas rígidos e sistemas flexíveis. Os primeiros são formados por componentes eletromecânicos, como relês e contadores. Os sinais de sensores acoplados à máquina ou equipamento a ser automatizado acionam circuito lógicos a relês que acionam cargas e atuadores.

Com o avanço da eletrônica tornaram-se mais rápidos, compactos e capazes de receber mais informações de entrada, atuando sobre um maior número de dispositivos de saída. As unidades de memória ganharam maior capacidade, permitindo armazenar mais informações.

Os controladores lógicos programáveis (CLP's) são equipamentos eletrônicos de última geração, utilizados em sistemas de automação flexível. Permitem desenvolver e alterar facilmente a lógica para acionamento das saídas em função das entradas. Desta forma, pode-se utilizar inúmeros pontos de entrada de sinal para controlar pontos de saída de sinal(cargas).

As vantagens dos controladores lógicos programáveis em relação aos sistemas convencionais são:

- Ocupam menos espaço;
- Requerem menor potência elétrica;
- Podem ser reutilizados;
- São programáveis, permitindo alterar os parâmetros de controle;
- Tem maior confiabilidade;
- Sua manutenção é mais fácil;
- Oferecem maior flexibilidade;
- Permitem interface de comunicação com outros CLPs e computadores de controle;
- Permitem maior rapidez no projeto de sistema, etc.

4.6. Controlador lógico programável - CLP

Segundo Natale (1995), o CLP consiste em um microcomputador para aplicações dedicado à realização de tarefas específicas, para atender a uma determinada necessidade definida em projeto, ou seja, onde existir um sistema a ser controlado ou automatizado, existirá a possibilidade de seu emprego.

Partes constituintes de um CLP

O controlador programável, possui um microprocessador que realiza as seguintes funções:

- Processamento dos programas.
- Varredura das entradas e saídas.
- Programação das memórias externas.
- Atende a entrada serial quando é colocado o terminal de programação.

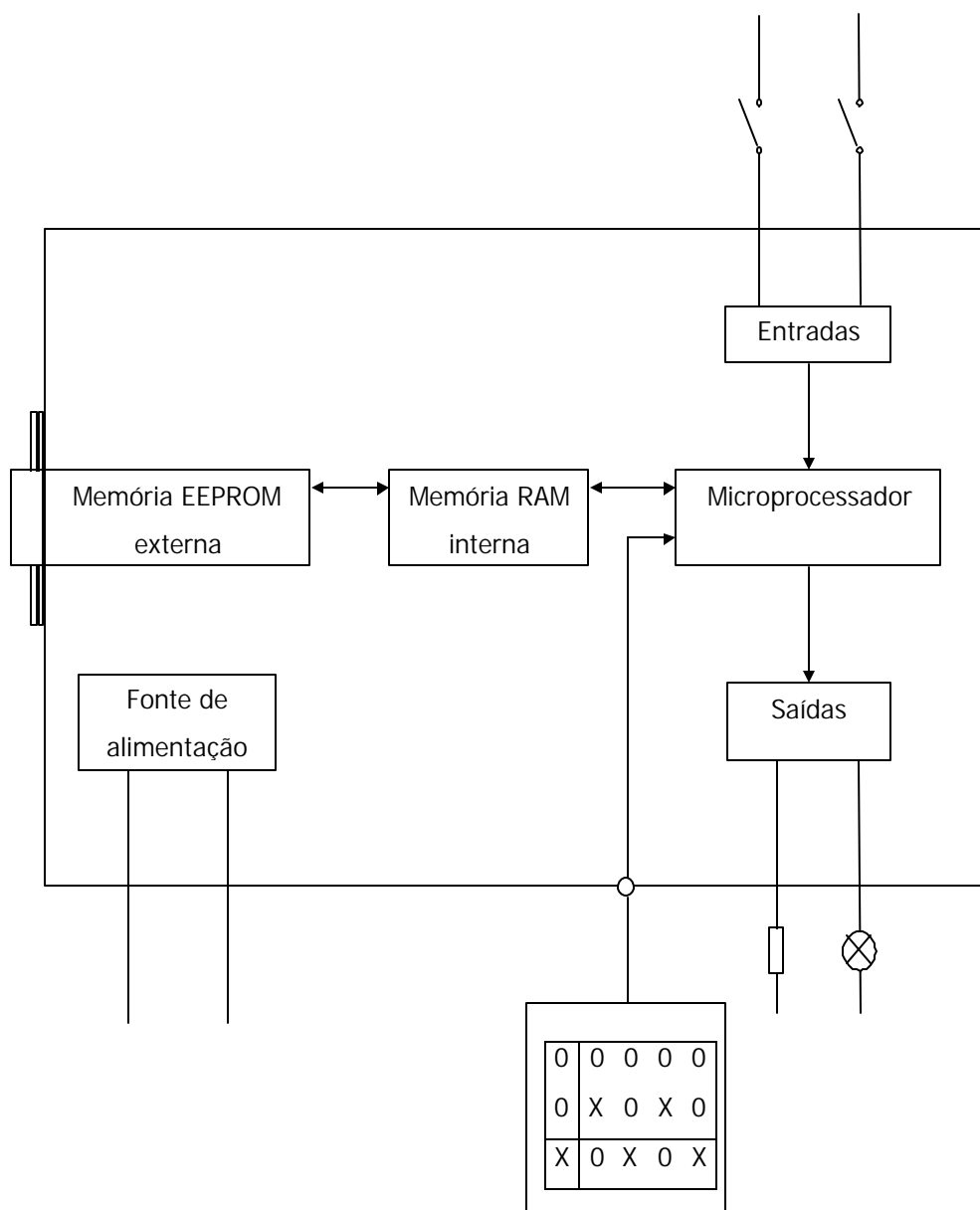


Figura 9 - Partes constituintes de um CLP (Natale, 1995)

Nos controladores programáveis, coloca-se o programa do usuário na memória EEPROM, e na RAM, cópia do programa e os dados temporários do sistema, a qual diz-se, também, que contém a imagem do processo de entrada e saída, conforme a Figura 9.

Quando a alimentação é ligada, o controlador é posto em operação, o conteúdo da memória externa (EEPROM) é copiado na memória interna (RAM) e de lá executado juntamente com os dados do sistemas ou imagem do processo de entrada e saída.

Software e Automação

Segundo Bollmann(1996), os primeiros CLP's surgiram em 1968, na General Motors e em 1971 ocorreram as primeiras aplicações fora da indústria automobilística. Pode-se dizer que a raiz do software está na automação. O software não faz a máquina “pensar”; pelo contrário, ele apenas faz a máquina trabalhar. Ao criar um software, o programador define uma seqüência de operações que levam à realização de algo. então, aquilo que um programa de computador faz, na verdade, é a execução organizada em alta velocidade de uma seqüência de operações. Por exemplo. o caso do CLP: os CLP's foram criados a partir da necessidade de substituir os painéis de controle a relés. Naquele contexto, uma linguagem de programação que fosse familiar à experiência dos técnicos e engenheiros, já acostumados com a lógica de relés, seria a escolha mais adequada ao desenvolvimento de programas CLP. Portanto, essa linguagem tem sido a forma mais comumente encontrada nos equipamentos, independente de seu porte.

Com as sofisticções oferecidas pelos processadores e seus novos algoritmos, a representação simbólica dos programas tornou-se, em alguns casos, impossível

de ser implementada por meio de um diagrama de relés. Formas alternativas de especificação de programas passaram, então a ser utilizadas. Três formas básicas de linguagem de programação predominam nos CLP's disponíveis atualmente, conforme Figura 10.

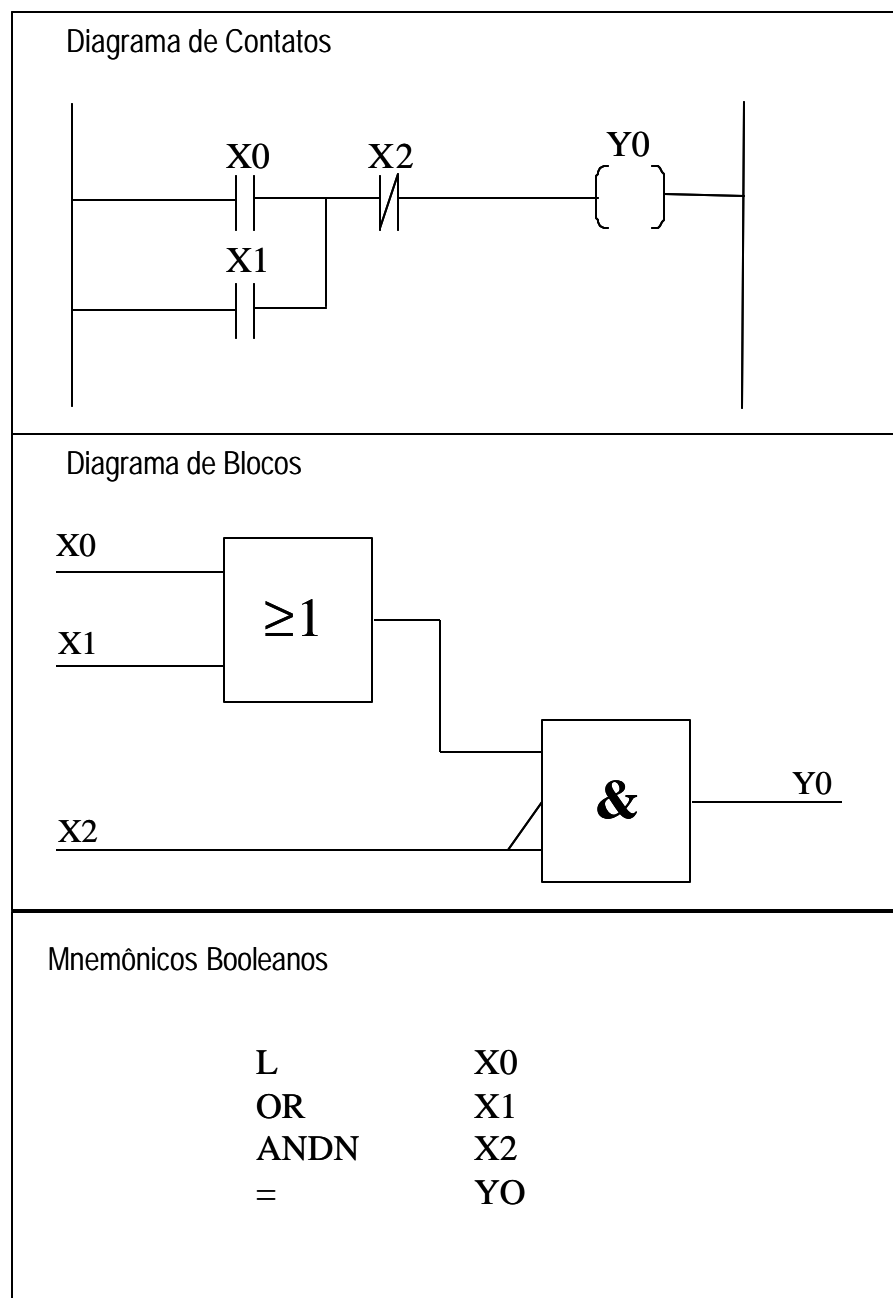


Figura 10 - Trecho de programa nas três linguagens

As três formas citadas foram adotadas por um importante fabricante de CLP, o qual passou a denominá-las STEP7, sigla esta que não deve ser confundida como a linguagem de programação em si, mas um conjunto delas.

Caracterização e linguagem de programação

Um Controlador Lógico Programável é caracterizado por sua capacidade de memória, pelo número de entradas e saídas que é função da necessidade e varia para cada fabricante.

A linguagem mais utilizada é a Step 7. Essa linguagem permite a programação desde simples funções booleanas até funções mais complexas representativas de um sistema (Natale, 1995).

4.6.1. Comando Lógico Digital

Segundo Bollmann (1996), a evolução na automação dos processos industriais tornou os comandos desses processos altamente complicados. Por esse motivo, foi necessário desenvolver uma filosofia de comando mais simples, que tivesse uma semelhança com a comunicação utilizada pelo homem (oral e escrita) e que tornasse o comando, do ponto de vista do circuito, o menor possível.

O comando lógico digital apresenta condições de comando resultantes de sinais de contagem, frequência, número de manobra, número de operações, etc. Estes sinais

são sempre zero(0) ou um(1), vindos de transmissores através de condutores ou outros portadores de informação, como por exemplo: fibra ótica, dando assim a ordem para se modificar o processo.

A estrutura do comando lógico digital é composta por circuitos lógicos combinacionais (portas lógicas), por circuitos lógicos seqüenciais (memórias, contadores) e por circuitos especiais (divisores, conversores, etc.). A Tabela 2 mostra a estrutura de nível de um circuito.

Tabela 2 - Estrutura do estágio a nível de circuito

Estágios	Possíveis Circuitos Lógicos
Entrada	Combinacional
Processamento	Combinacional, seqüencial e especiais
Saída	Somente amplificadores e conversores

Pode-se afirmar que em um comando deve haver:

- Disposição clara e distinta dos seus diversos níveis;
- Uma seqüência lógica e gradativa na montagem da instalação;
- A possibilidade de interferência manual em qualquer nível que facilite a supervisão do processo comandado e torne rápida a detecção e eliminação da falha.

Operações Lógicas

Segundo Silveira (1998), a relação entre duas ou mais variáveis que representam estados binários é estabelecida por meio de três operações lógicas, classificadas

em:

- produto lógico (função E);
- soma lógica (função OU);
- inversão (função NÃO).

Tabela da Verdade

Segundo Silveira (1998), a confecção da tabela da verdade é, em geral, o primeiro passo para a análise e compreensão de um problema de lógica.

Montar uma tabela da verdade é escrever todas as combinações possíveis dos estados lógicos de todas as variáveis da função, incluindo o estado lógico resultante de cada combinação. A Figura 11 mostra a organização do raciocínio na solução de problemas lógicos.

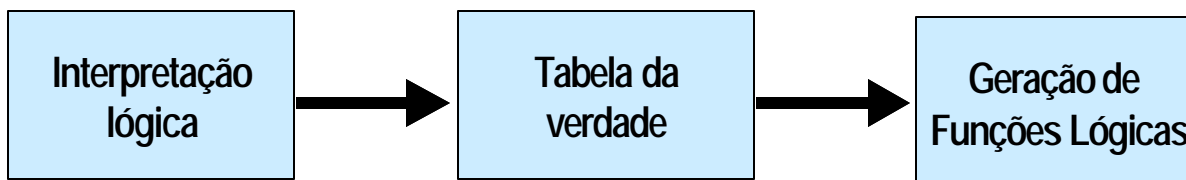


Figura 11 - Organização do raciocínio na solução de problemas de lógica

Funções Lógicas Binárias

Segundo Silveira (1998), as funções lógicas binárias mostram a relação entre as variáveis independentes de entrada e a variável dependente da saída. A Figura 12 lista as instruções básicas utilizadas nas três linguagens de programação.

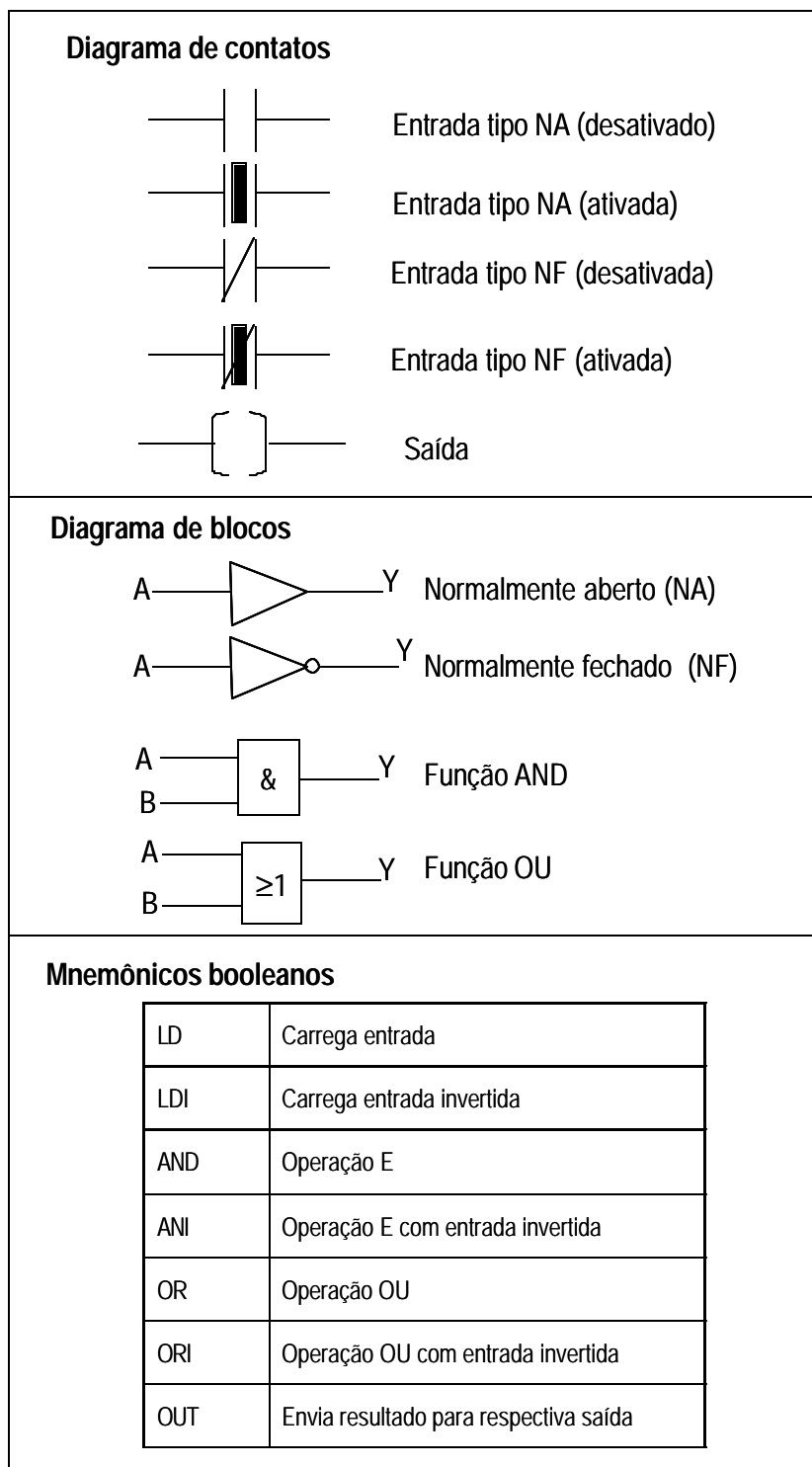


Figura 12 - Lista de instruções básicas das três formas básicas de programação

Função Lógica Sim – Identidade

Na função lógica identidade, a lâmpada acenderá ($Y=1$) se a chave estiver acionada ($A=1$), conforme Figura 13.

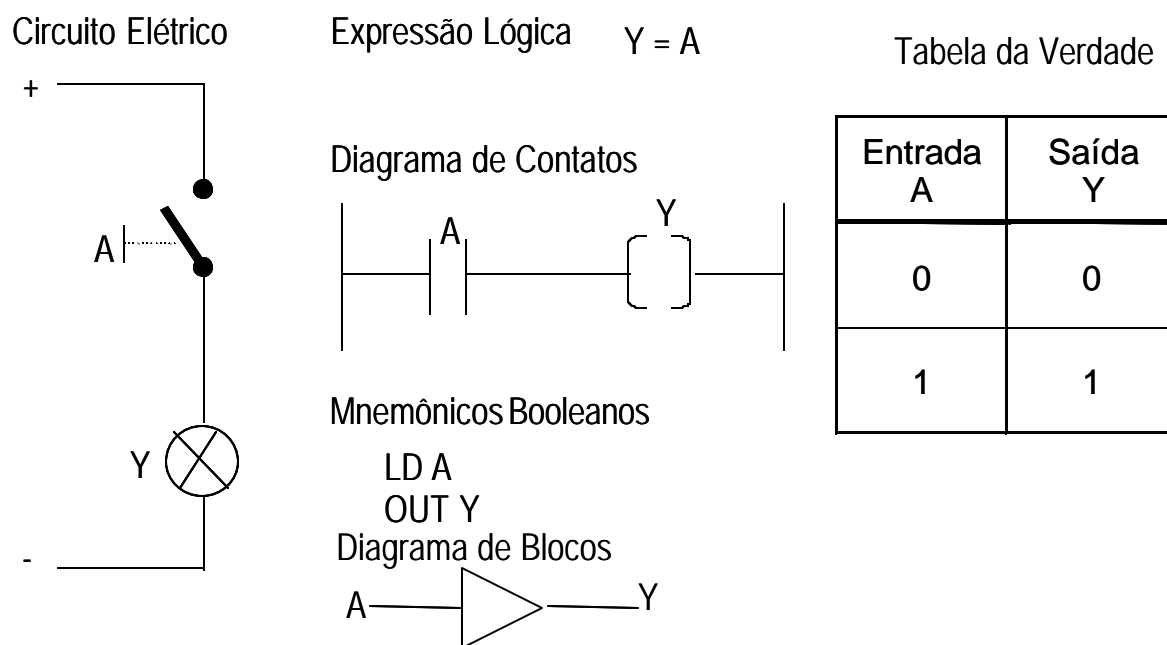


Figura 13 - Função Sim

Função Lógica Não – Inversa

Na função lógica inversa, a lâmpada acenderá ($Y=1$) se chave não estiver acionada ($A=0$), ou seja, a saída será o inverso da entrada, conforme Figura 14.

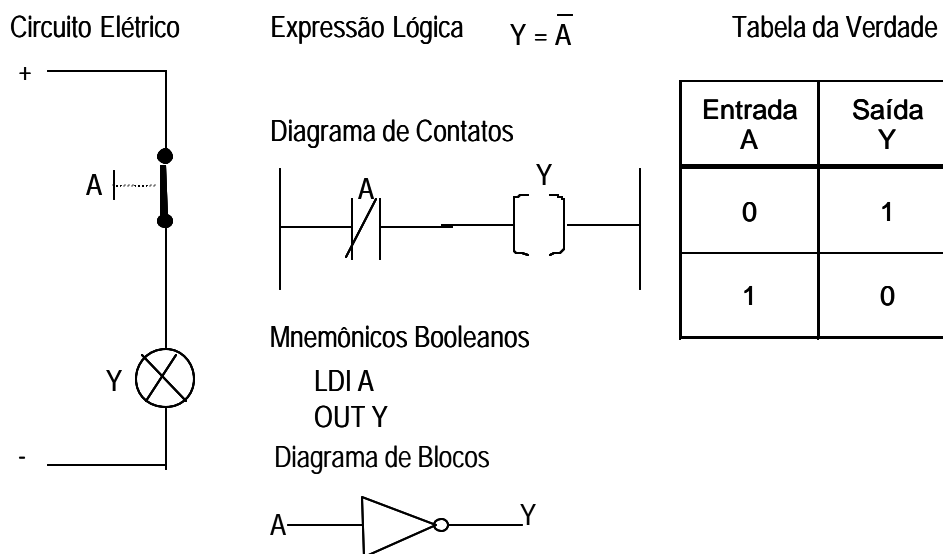


Figura 14 - Função Não (Inversor)

Função Lógica E – Associação em Série

Na função lógica E, a lâmpada acenderá ($Y=1$) se, e somente se, as chaves A e B estiverem acionadas, conforme Figura 15.

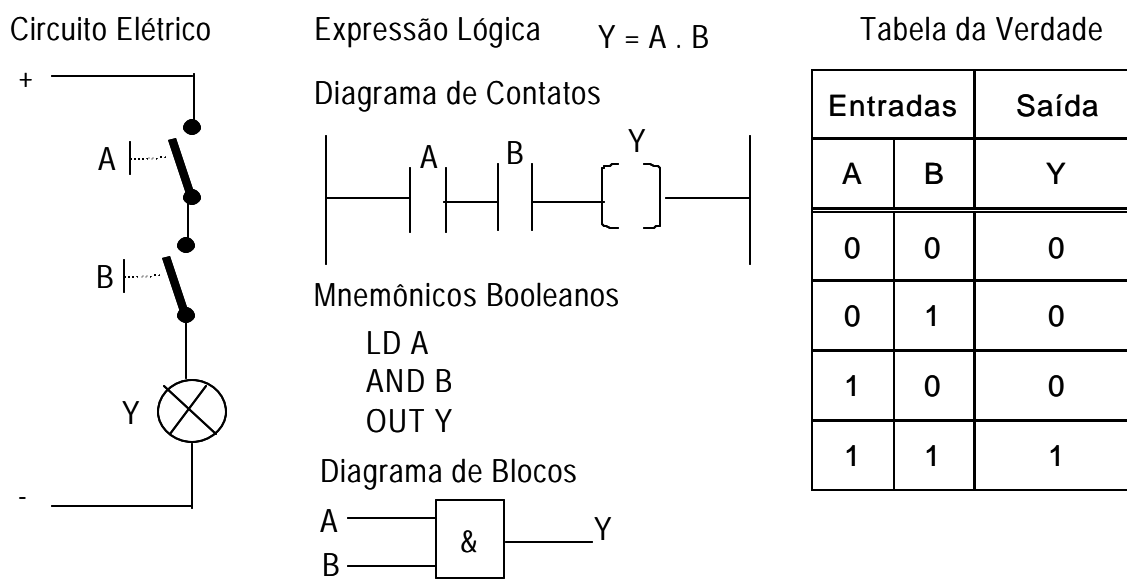


Figura 15 - Função lógica E

Função Lógica OU – Associação em Paralelo

Na função lógica OU, a lâmpada acenderá ($Y=1$) se a chave A, ou a chave B, ou ambas estiverem acionadas, conforme Figura 16.

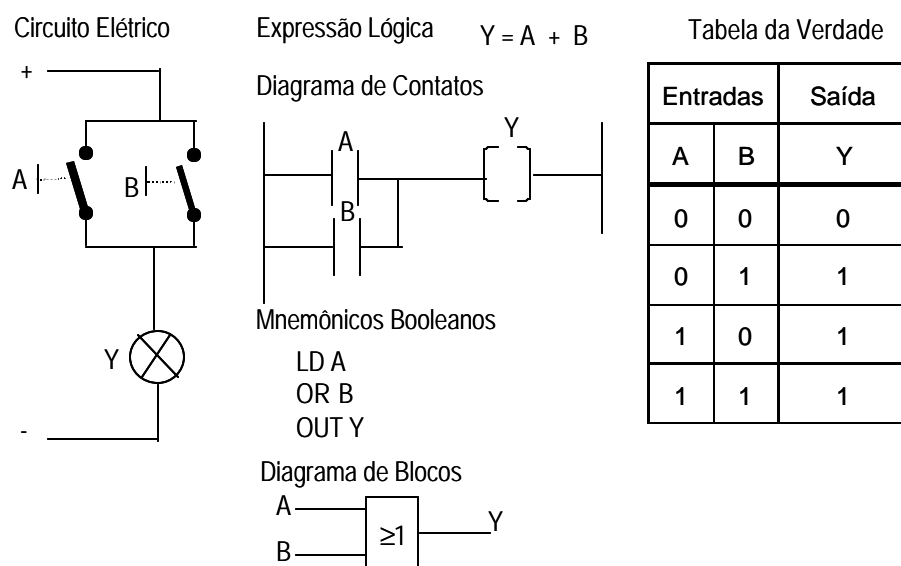


Figura 16 - Função OU

Aplicações

Segundo Natale (1995), as aplicações deste tipo de computador são inúmeras. O controle de processos industriais ou automação da manufatura é, sem dúvida, uma das aplicações de maior impacto. Foi, também, onde se alcançou o maior sucesso comercial dos microprocessadores.

Podem ser aplicados em processos agrícolas, como na automação de agroindústrias e controle de sistemas de irrigação.

O controlador programável pode automatizar uma grande quantidade de informação com mais precisão, confiabilidade, menor custo e rapidez.

Sistema de controle de um controlador programável

As variáveis de entrada do Controlador Programável, ou variáveis controladas do sistema, informam a cada instante as condições do processo. Isso é feito por um deslocamento mecânico, posição de uma haste fim de curso, temperatura, pressão etc, que fornece o sinal de entrada num controlador programável ou através de um nível lógico um ou zero (binário), ou através de um sinal analógico. De acordo com o programa armazenado na memória do controlador e esses dados de entrada, o controlador atua sobre o processo através de suas saídas, acionando relês, contadores, válvulas etc, (Natale, 1995).

Sistemas deste tipo, são ditos de tempo real, ou seja, as informações de entrada e saída são analisadas, as decisões tomadas, os comandos ou acionamentos são enviados às saídas, tudo concomitante com o desenrolar do processo. Nos sistemas de tempo real, o computador trabalha em paralelo com o sistema, controlando, processando e acionando.

4.7.Redes de Comunicação

Uma rede de comunicação para sistemas de automação industrial é um conjunto de sistemas independentes, autônomos, interconectados de forma a permitir a troca de informações entre si. Uma rede oferece os meios físicos e lógicos que permitam a integração do sistema através da troca de informações. As redes para sistemas de automação,

podem ser classificadas, conforme sua finalidade em: rede de campo, de controle e de gerenciamento. A figura 17 mostra os níveis de redes.

Segundo Silveira (1998), a necessidade de interação de todo o conjunto de informações contido na indústria, aliada à utilização do número crescente de dispositivos digitais de controle, bem como a evolução dos computadores e seus periféricos, fizeram com que surgissem as redes industriais de dados.

4.7.1. Rede de Gerenciamento

Constituído por um microcomputador, será responsável pelo arquivamento dos dados gerados, ou simplesmente arquivo histórico.

O microcomputador servirá de interface homem máquina entre o operador e o sistema de automação.

4.7.2. Rede de Controle

Concentra física e funcionalmente todo o sistema de supervisão e controle num determinado local, onde estará instalado o CLP.

4.7.3. Rede de Campo

De acordo com Torre Neto (1995), a confiabilidade dos sistemas de aquisição automática de dados na área da agricultura é relativamente baixa. Tipicamente, eles

requerem instalações em ambientes bastante agressivos e de difícil acesso. O emprego das técnicas de aquisição remota (telemetria) necessárias contribui para essa baixa confiabilidade.

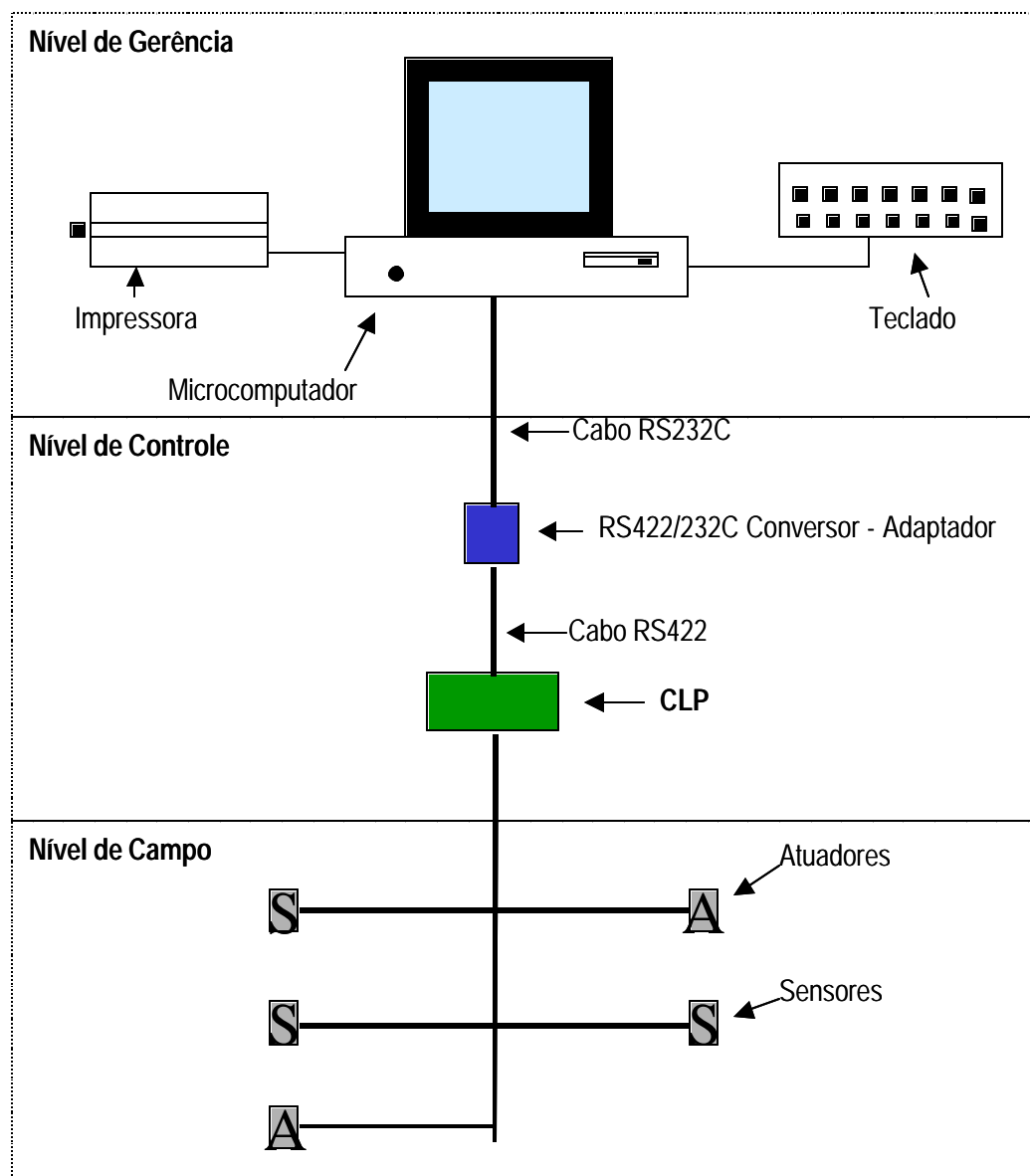


Figura 17 - Níveis de rede para sistemas de automação

De modo geral, tais sistemas estão sujeitos principalmente a problemas mecânicos, temperaturas extremas, umidades elevadas e interferências eletromagnéticas.

Estas redes têm como características:

- Redução do custo da fiação e instalação do projeto.
- Comunicação bidirecional, permitindo configuração e calibração dos dispositivos.
- Integração com diversos fabricantes.
- Possível conexão com até uma centena de dispositivos.
- Integração do controlador ao sistema de atuação do equipamento.

Podemos citar, como exemplo destas redes, os seguintes padrões:

- Hart.
- ASI – Actuator Sensor Interface
- Devicenet.
- Profibus DP e PA.
- Fieldbus Foundation.

Segundo Silveira (1998), a rede AS-i (Actuador & Sensor Interface) ou Interface Atuador / Sensor é uma sub rede para sistemas de automação do mais baixo. Os tipos mais simples de sensores e atuadores são conectados nesta rede.

A rede AS-i apresenta as seguintes características:

- cabo paralelo com dois condutores.
- Até 31 escravos.
- Cada escravo: 4 bits de I/O .
- Sistema de comunicação mestre – escravo.

A rede AS-i é composta por um módulo master, módulos AS-i, cabo AS-i, unidade de alimentação, sensores com chip AS-i integrado, dispositivo de programação AS-i e softwares de monitoramento.

A rede AS-i é composta por:

- Sensores.
- Botões.
- Módulos de Entrada e Saída.
- Monitores de válvula.
- Sinalizadores.

Segundo Silveira (1998), o DeviceNet é um protocolo de comunicação para ligar dispositivos (tais como fim de curso, sensores fotoelétricos, partidas de motor, sensores de processo, leitores de código de barras, drivers de frequência variável e interface de usuário) a uma rede, eliminando vários cabos.

A conectividade direta proporciona comunicação melhorada entre dispositivos, assim como diagnósticos importantes de dispositivos não facilmente acessíveis nem disponíveis em dispositivos de I/O convencionais.

O DeviceNet é uma rede aberta. A especificação e o protocolo podem ser obtidas na Associação Aberta de Vendedores de DeviceNet.

DeviceNet é baseado num protocolo de comunicação chamado CAN. O CAN originalmente foi desenvolvido pela BOSCH para o mercado de automóvel europeu para substituir os caros chicotes de cabo por um cabo em rede de baixo custo. Como resultado, o CAN tem resposta rápida e confiabilidade alta para aplicações como controle de freios ABS e Air Bags.

A rede DeviceNet apresenta as seguintes características:

- Cabo par – transmissores a 4 fios, trançado com 4 fios e uma blindagem: um par alimentação e outro sinal.
- Até 64 dispositivos.
- Velocidade ajustáveis em: 125, 250 e 500 Kbits / s.
- Até 500m em 125 Kbits / s.
- Sistema de comunicação mestre – escravo.

A rede DeviceNet é composta por:

- Módulos de I/O com capacidade para vários pontos digitais ou analógicos.
- Drivers para motores.
- I.H.M. (Interface Homem Máquina).
- Relês – proteção.

Rede Profibus

Segundo Silveira (1998), a tecnologia Profibus é desenvolvida e administrada pela organização de usuários Profibus. É um protocolo aberto líder na Europa e tem aceitação mundial. As áreas de aplicação incluem manufatura, processo e automação predial.

Hoje, todos os principais fabricantes da tecnologia de automação oferecem interfaces Profibus para seus dispositivos. A variedade de produtos inclui mais de 1000 dispositivos diferentes e serviços, mais de 200 são dispositivos certificados, Profibus foi usado com êxito em mais de 100000 aplicações reais ao redor do mundo.

A Rede Profibus – DP (Decentralized Peripheria) é um protocolo de comunicação otimizado para alta velocidade e conexão de baixo custo, esta versão de Profibus é projetada especialmente para comunicação entre sistemas de controle de automação e I/O distribuído a nível de dispositivo. O Profibus – DP pode ser usado para substituir transmissão de sinal em 24V ou 0 a 20mA.

Apresenta as seguintes características:

- Cabo par – transmissores a 2 fios, trançado com 2 fios e uma blindagem somente para sinal.
- Até 128 dispositivos divididos em 4 segmentos com repetidores.
- Velocidade ajustáveis de 9600 à 12Mbits / Seg.
- De 100 a 1200m conforme a velocidade.

- Sistema de comunicação mestre – escravo.

A Rede Profibus – PA (Process Automation), é a solução Profibus para automação de processo. Ela conecta sistemas de automação e sistemas de controle de processo com os dispositivos de campo tal como transmissores de pressão, temperatura e nível. Pode ser usada como substituta para a tecnologia 4 a 20mA. Profibus –PA alcança economia de custo de aproximadamente 40% em planejamento, cabeamento, partida e manutenção e oferece um aumento significativo em funcionamento e segurança.

A rede Profibus – PA apresenta as seguintes características:

- Cabo par – trançado com 2 fios e uma blindagem, trafegando sinal e alimentação.
- Até 32 dispositivos sem alimentação e 12 com alimentação.
- Velocidade de 31,25 Kbits / s.
- Máxima distância de 1900m conforme número de dispositivos.
- Permite várias topologias.

A rede Profibus – PA é composta por:

- Transmissores de: pressão, vazão, temperatura e nível.

A Rede Fieldbus Foundation é um sistema de comunicação digital bidirecional que interliga equipamentos inteligentes de campo com sistema de controle ou equipamentos localizados na sala de controle.

Este padrão permitirá comunicação entre uma variedade de equipamentos, como: transmissores, válvulas, controladores, CLP'S, etc..

A definição mais conhecida do Fieldbus é a substituição do protocolo de comunicação analógico (4 à 20mA) por um protocolo digital de comunicação entre os instrumentos do campo e os instrumentos do campo e os da sala de controle.

Da era da eletrônica microprocessada, podemos utilizar os instrumentos inteligentes, sua capacidade de controle e a tecnologia de rede de comunicação digital entre os computadores. Na Figura 18, poderemos visualizar uma rede Fieldbus.

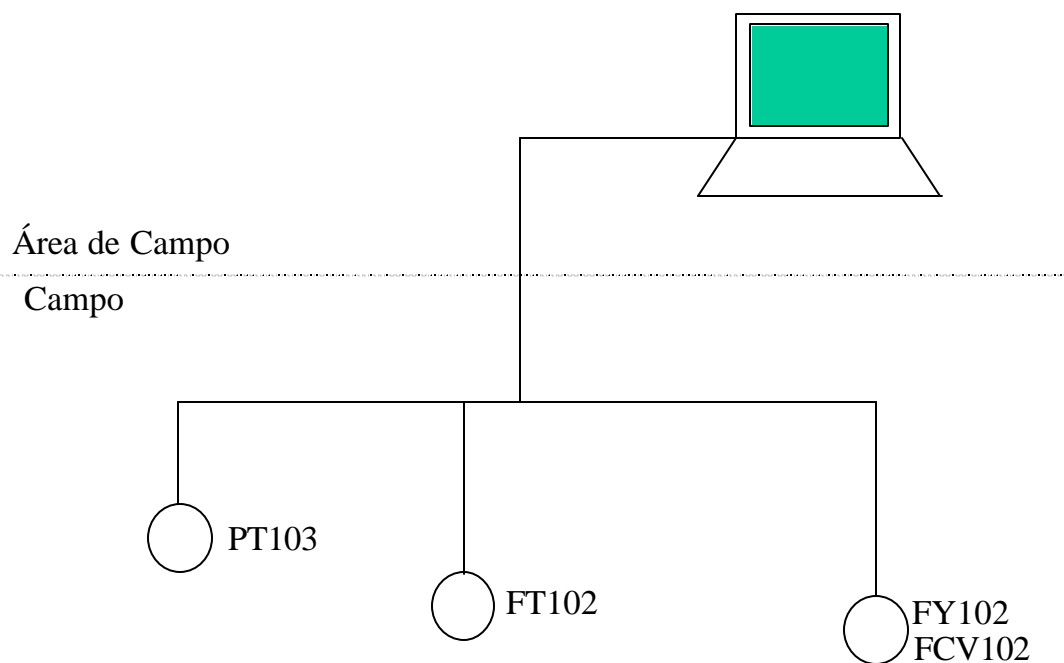


Figura 18 - Rede Fieldbus

Com o uso da comunicação somente digital e da tecnologia de rede de computadores, só precisamos de um par de fios para interligar os transmissores/controladores, o transdutor e o computador também chamado IHM (Interface Homem Máquina) ou Workstation ou simplesmente PC.

A rede Fieldbus Foundation apresenta as seguintes características:

- Cabo par - trançado com 2 fios e uma blindagem, trafegando sinal e alimentação.

- Até 32 dispositivos sem alimentação e 12 com alimentação.
- Velocidade de 31,25Kbits/s.
- Máxima distância de 1900m.
- Permite várias topologias.

A rede Fieldbus é composta por:

- Transmissores de: pressão, vazão, temperatura e nível.
- Instrumentação analítica.
- Cartões de interface para CLP'S.

4.8.Sensores

Sensores são dispositivos que mudam seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Quando operam diretamente, convertendo uma forma de energia neutra, são chamados transdutores. Os de operação indireta alteram suas propriedades, como a resistência, a capacitância ou a indutância, sob ação de uma grandeza, de forma mais ou menos proporcional.

O sinal de um sensor pode ser usado para detectar e corrigir desvios em sistemas de controle e nos instrumentos de medição, que freqüentemente estão associados aos sistema de controle de malha aberta (não automáticos), orientando o usuário.

Características

Linearidade: É o grau de proporcionalidade entre o sinal gerado e a grandeza física. Quanto maior, mais fiel é a resposta do sensor ao estímulo. Os sensores mais usados são os mais lineares, conferindo mais precisão ao sistema de controle. Os sensores não lineares são usados em faixas limitadas, em que os desvios são aceitáveis, ou com adaptadores especiais, que corrigem o sinal.

Faixa de atuação: É o intervalo de valores da grandeza em que pode ser usado o sensor, sem destruição ou imprecisão.

Sensor de Proximidade

É um circuito eletrônico capaz de detectar a aproximação de peças, fluídos, componentes, elementos de máquinas, etc.

O acionamento ocorre sem que haja o contato físico entre o acionador e o sensor, aumentando com isso a vida útil do sensor.

O estágio e saída deste tipo de sensor são um transistor PNP ou NPN, podendo-se ter, ainda, as seguintes configurações elétricas: função NA (3 terminais), função NF (3 terminais) e saída complementar (com 4 terminais acessíveis).

Na saída com transistor PNP, a carga a ser acionada pelo sensor deve ser conectada entre o terminal negativo e o terminal NA ou NF. Já, na saída com transistor NPN, a carga deve ser conectada entre o terminal positivo e o terminal NA ou NF, conforme a lógica de controle utilizada. O sensor de proximidade pode ser indutivo ou capacitivo.

Sensor de Proximidade Indutivo

Este sensor detecta a aproximação de metais. O seu princípio de funcionamento baseia-se na detecção da variação do campo magnético de alta frequência devido à aproximação de um objeto metálico.

Sensor de Proximidade Capacitivo

Este sensor detecta a aproximação de materiais orgânico, plásticos, pós, líquidos, madeiras, papéis, metais etc. O seu princípio de funcionamento baseia-se na detecção da variação do campo elétrico de alta frequência devido à aproximação do objeto.

4.8.1. Medição de Nível

Nível é a altura do conteúdo de um reservatório. O conteúdo de um reservatório pode ser sólido ou líquido.

Os métodos básicos de medição de nível são:

- Direto.
- Indireto.

Medição direta

É a medição direta que tomamos como referência em relação a posição do plano superior da substância medida. Podemos utilizar réguas ou gabaritos, visores de nível,

bóia ou flutuador.

a) Régua ou Gabarito

Consiste em uma régua graduada a qual tem um comprimento conveniente para ser introduzida dentro do reservatório a ser medido. A determinação do nível se efetuada através da leitura direta do comprimento molhado da régua pelo líquido.

b) Visores de Nível

Este medidor baseia-se no princípio dos vasos comunicantes, o nível é observado por um visor de vidro especial, podendo haver uma escala graduada acompanhando o visor.

c) Bóia ou Flutuador

Consiste numa bóia presa a um cabo que tem sua extremidade ligada a um contrapeso. No contrapeso está fixo um ponteiro que indicará diretamente o nível em uma escala.

Medição Indireta

Neste tipo de medição são usadas propriedades físicas ao nível como: pressão, empuxo, radiação e propriedade elétrica.

a) Medição de Nível por Pressão

Neste tipo de medição usa-se a pressão exercida pela altura da coluna líquida, para medição indiretamente o nível, como mostra o teorema de Stevin ($P=h.d$).

P = pressão em mmH₂O ou Pol.

h = nível em mm ou Pol.

d = densidade relativa.

b) Medição de Nível por Empuxo

“Todo o corpo mergulhado em um fluido sofre a ação de uma força vertical dirigida de baixo para cima igual ao peso do volume do fluído deslocado”. A esta força exercida pelo fluido do corpo nele submerso ou flutuante chamado de empuxo, dada Equação 8.

$$E = V \cdot \delta \quad (8)$$

E = empuxo.

V = volume.

δ = densidade ou peso específico do líquido.

Baseado no princípio de Arquimedes, usa-se um deslocador que sofre o empuxo do nível de um líquido, transmitindo para um líquido, transmitindo para um indicador este movimento. por meio de tubo de torque.

c) Medição de Nível Capacitivo

A Capacitância é uma grandeza elétrica que existe entre duas superfícies condutoras isoladas entre si.

O medidor de nível capacitivo mede as capacidades do capacitor formado pelo eletrodo submetido no líquido em relação às paredes do tanque. A capacidade do conjunto depende do nível do líquido, conforme Figura 19.

O elemento sensor, geralmente, é uma haste ou cabo flexível de metal. Em líquidos não condutores se empregam um eletrodo normal, em fluídos condutores o eletrodo é isolado normalmente com Teflon. A medida que o nível do tanque for aumentando o valor da capacitância aumenta progressivamente a medida que o dielétrico ar é substituído pelo dielétrico líquido a medir.

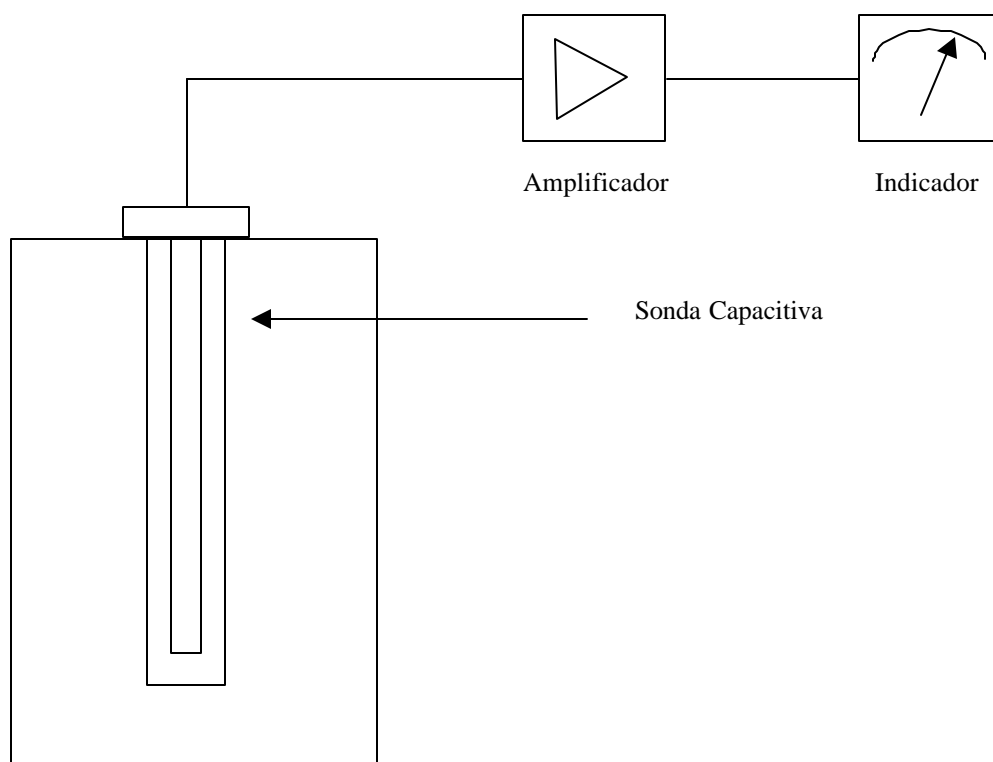


Figura 19 Sensor Capacitivo

A capacitância é convertida por um circuito eletrônico numa corrente elétrica sendo este sinal indicado em um medidor.

A medição de nível por capacitância também pode ser feita sem contato, através de sondas de proximidade. A sonda consiste de um disco compondo uma das placas do capacitor. A outra placa é a própria superfície do produto ou a base do tanque, conforme Figura 20.

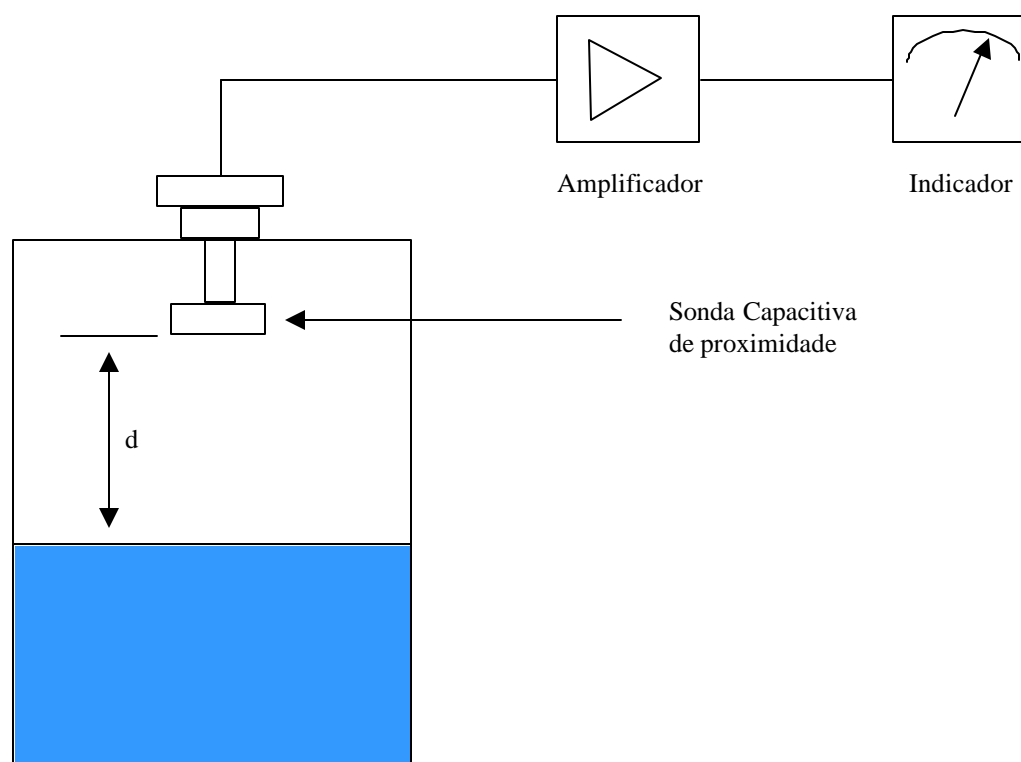


Figura 20 - Sonda Capacitiva de Proximidade

d) Medidor de nível por Ultra Som

Princípios Físicos

O ultra-som é uma onda sonora cuja frequência de oscilação é maior que

aquela sensível ao ouvido humano, isto é, acima de 20KHz.

A geração ocorre quando uma força externa excita as moléculas de um meio elástico, esta excitação é transferida de molécula a molécula do meio com uma velocidade que depende da elasticidade e inércia das moléculas. A propagação de onda do ultra-som depende, portanto, do meio.

Assim, sendo, a velocidade do som é a base para a medição através da técnica de eco, usada nos dispositivos ultra-sônicos.

Geração do Ultra - Som

As ondas de ultra –som são geradas e captadas pela excitação elétrica de materiais piezoelétricos.

A característica marcante dos materiais piezoelétricos é a produção de uma frequência quando aplica - se uma tensão elétrica. Assim sendo, eles podem ser usados como gerador de ultra – som, compondo, portanto, os transmissores.

Inversamente, quando se aplica uma força em um material piezoelétrico, ou seja, quando ele recebe um sinal de frequência, resulta o aparecimento de uma tensão elétrica no seu terminal. Nesta modalidade, o material piezoelétrico é usado como receptor do ultra – som, conforme Figura 21.

Os dispositivos do tipo ultrasônico podem ser usados para a detecção contínua de nível, além de poderem, atuar como sensores de nível pre determinado (chave de nível).

Os dispositivos destinados a detecção contínua de nível caracterizam-se, principalmente, pelo tipo de instalação, ou seja, os transdutores podem estar totalmente submersos no líquido ou instalados no topo do equipamento sem contato com o produto.

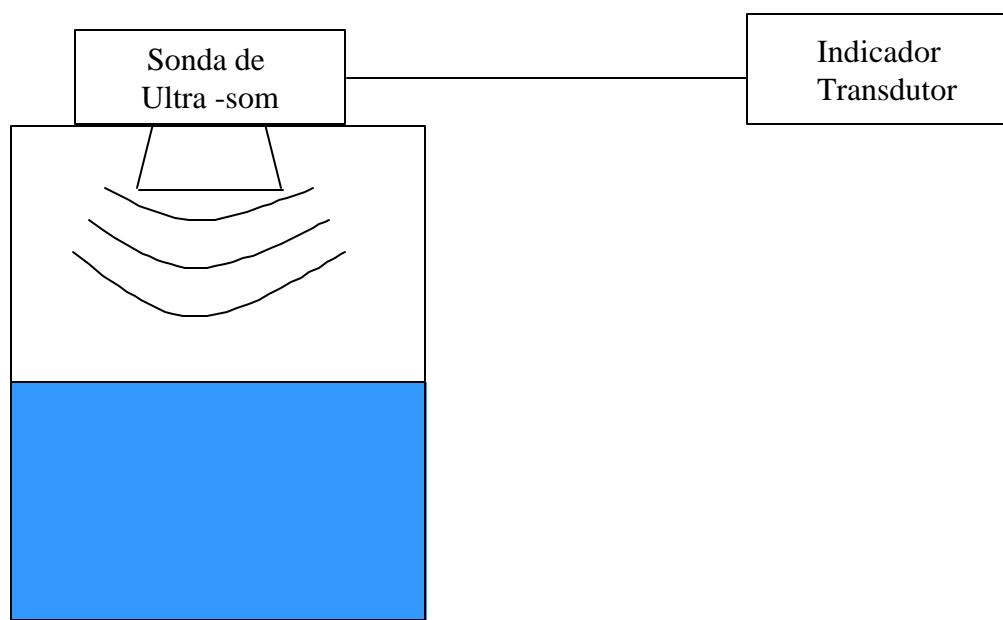


Figura 21 - Ultra – som

e) **Condutivo**

As chaves condutivas são projetadas para aplicações que envolvem o controle de nível de líquidos condutivos em tanques, reservatórios ou poços profundos. Disponibilidade em haste rígida (até 3m) e haste flexível (até 40m).

4.9.Drenagem Agrícola

A drenagem é a eliminação ou remoção de excesso de água na superfície

e/ou no perfil, visando obter condições favoráveis para o desenvolvimento das plantas cultivadas.

A palavra drenagem pode ter vários significados, porém a ação de drenar o solo agrícola, resume - se no controle da água por meio de métodos de engenharia capazes de eliminar o excesso d'água, seja através de drenos ou, ainda, por outros dispositivos que a transportem para fora da zona problema.

Os sistemas de drenagem são projetados segundo a origem do encharcamento, condições geológicas e topográficas do solo. necessidade das plantas e características especiais do agroecossistema.

A drenagem influi na temperatura do solo e, portanto, afeta o crescimento das plantas. As propriedades térmicas do solo determinam a maneira pela qual o calor se distribui no perfil do solo, após a absorção pela superfície (Cruciani, 1981).

A drenagem artificial do solo tem por finalidade básica remover o excesso da água da superfície e/ou rebaixar o nível freático, a fim de propiciar um meio adequado ao desenvolvimento normal dos cultivos (Cruciani, 1981).

Segundo Shirmohammadi, et al. (1992), as condições de solos úmidos, causados por lençol freático raso, são as razões principais para o desenvolvimento e uso dos sistemas de drenagem em solos úmidos. Na costa leste dos Estados Unidos, precipitação e evapotranspiração ocorrem em excesso durante período significativo do ano e causam elevação do lençol freático até a zona radicular. Por outro lado, condições de lençol freático raso restringem severamente a produção agrícola em aproximadamente metade da costa plana do Atlântico.

No subsolo, na região denominada zona saturada, o lençol freático preenche todos os poros com água. Quando em solos úmidos, o lençol freático é rebaixado por meio de drenagem, o perfil do solo apresenta a região superior insaturada geralmente é consequência da infiltração de água precipitada e da ascensão, por capilaridade, da capa freática.

O processo do movimento de água, na parte insaturada do perfil do solo, representa um problema importante no estudo de irrigação, drenagem, evaporação da água do solo, água captada pelas raízes, transporte de sais e fertilizantes. A zona insaturada é também de fundamental importância para o crescimento das plantas. A condição de água na parte superior do perfil do solo tem uma influência no crescimento das plantas. A condição de água na parte superior do perfil do solo tem uma significativa sobre a trafegabilidade, como apresentado em geral.

A quantificação da umidade no perfil do solo, especialmente na zona insaturada, tem recebido considerações importantes quando são aplicados os sistemas de suprimento e/ou remoção de água, subirrigação e drenagem, respectivamente, especialmente em áreas aonde se procura maximizar potencial de produtividade de uma cultura. A justificativa de uma boa distribuição de umidade no perfil do solo reflete uma drenagem adequada, com o objetivo principal de providenciar uma ótima trafegabilidade em áreas úmidas na época de plantio e colheita.

A redução do conteúdo excessivo de água na zona radicular providencia aeração adequada após as chuvas ou irrigações (Evans, 1999).

Os problemas e as preocupações resultantes da transição da drenagem convencional para sistemas de manejo do lençol freático, que providenciam drenagem durante

períodos chuvosos, mas também eliminam o excesso de drenagem porque usam estruturas de controle para manejo do nível do lençol na saída dos tubos de drenagem (Doty et al. 1982).

O manejo de drenagem convencional é usado para remover o excesso de água num canal coletor. Quando esta estrutura, ou seja, o canal coletor, é usado para regular a taxa de drenagem, colocando-se uma comporta a uma altura predeterminada, o sistema funciona como drenagem controlada. Uma outra situação de manejo é quando se eleva a altura da comporta do canal do dreno próximo a superfície do solo, e bombeia - se água dentro do canal, fazendo a água retornar através do sistema de drenos subsuperficiais, ao campo de cultivo.

O nível do lençol freático é então elevado, realizando-se assim a operação de subirrigação, situações representadas pelas Figuras 22, 23 e 24 (Evans, 1985)

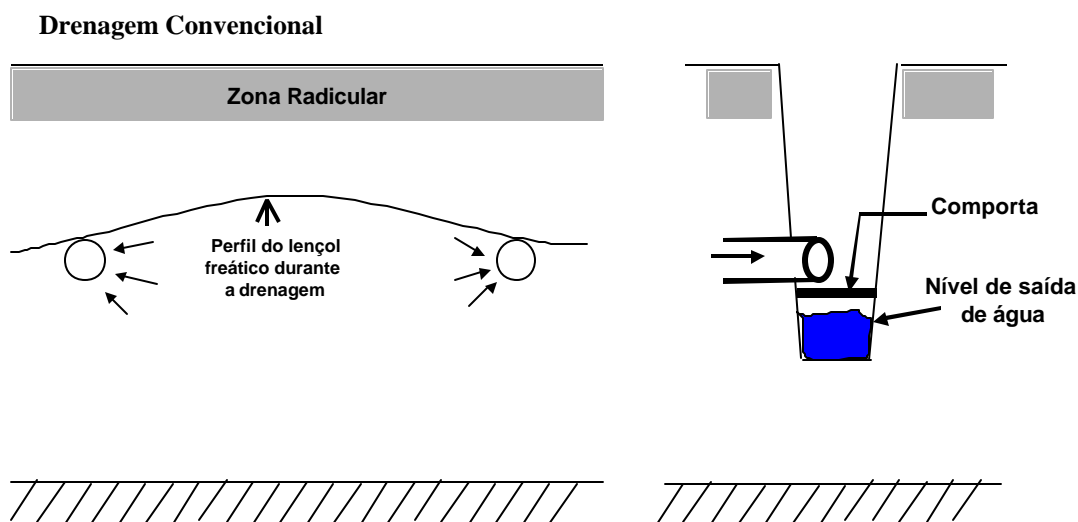


Figura 22 - Drenagem convencional

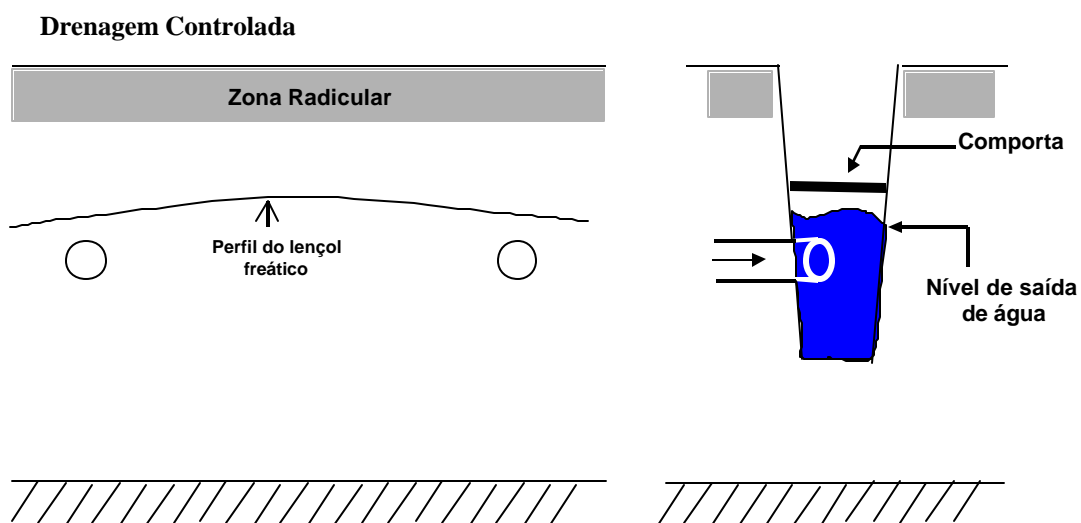


Figura 23 - Drenagem controlada

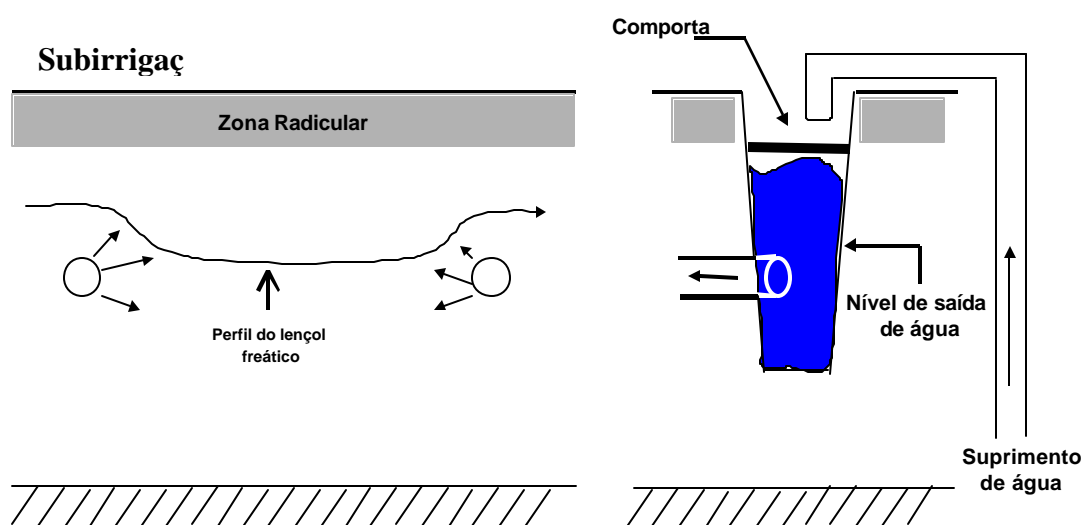


Figura 24 - Subirrigação

O manejo do lençol de água, com duplo propósito de drenagem controlada dreno, e de sistema de irrigação em combinação com drenagem superficial adequada, apresenta um alto potencial na otimização da eficiência do uso de água e produção da culturas, isto é, adequadamente operados podem compensar as mudanças nas condições de tempo; os diversos estágios de desenvolvimento das raízes da cultura e os requerimentos variados de

água. Durante um típica estação de crescimento, faz-se necessário diversas alterações do sistema de manejo do lençol de água entre os modelos de operação drenagem convencional (DR), drenagem controlada (DC) e sub irrigação (SI). Objetiva – se, assim, para se manter as condições solo-água na zona das raízes dentro do melhor intervalo para altas e consistentes produções das culturas ano após ano. Pesquisas para se desenvolver uma tecnologia para elaboração e operação de sistemas de controle de lençóis de água tem sido realizadas há pelo menos 20 anos.

A influência da drenagem controlada, subirrigação e drenagem convencional sobre a qualidade da água foi pesquisada por Evans et al. (1999), para 5 situações de campo. A simulação, usando o DRAINMOD, revelou que a drenagem controlada reduziu o fluxo drenante na extremidade do campo em 40%, comparada com a drenagem convencional. A redução do fluxo drenante não foi afetada pelo tipo de sistema de drenagem. A drenagem controlada reduziu o transporte anual de Nitrogênio Total (NO₃-N), nas extremidades do campo, em 46,5%, e o de Fósforo total em 44%. Não foi evidenciado que a redução do fluxo drenado contribuisse satisfatoriamente para o aumento do transporte de nitrato para o lençol freático à baixa profundidade, normalmente < 1mg/l, e não mostrou ser significativo para diferente estratégia de controle de nível freático.

Segundo Stone et al. (1992), o controle do lençol freático oferece maiores possibilidades de controle de fluxo, conservação e qualidade da água, em sistemas convencionais de drenagem. Em uma única operação, os sistemas de controle de lençol freático podem incorporar drenagem e subirrigação, a fim de otimizar as condições de água no solo, desenvolvimento vegetativo das plantas e para melhorar a qualidade da água. Tais sistemas podem ser aplicados, tanto no campo, quanto em bacias, usando-se várias estruturas

de controle e procedimentos operacionais. O controle é especialmente adequado para áreas grandes, relativamente planas, onde a altura do lençol persiste, durante longos períodos do ano.

Registro e processamento de dados

Segundo Cruciani (1981), o registro sistemático dos dados é programado para definir a posição do nível freático, suas oscilações e a posição do nível de pressão. A densidade de pontos de observação deve ser tal que permita um levantamento adequado com um máximo de informações sem trabalho ou custos excessivos. Percebe-se que muitas vezes é difícil harmonizar esses requisitos. Não há para isso uma regra determinada, prevalecendo apenas o bom senso. Não se deve esquecer por isso que esses pontos devem ter um fácil acesso em qualquer tempo e sua posição bem identificável.

Ridder (1974) recomenda a seguinte densidade de pontos de observação em função da área, mostrada na Tabela 3.

Tabela 3 - Número de pontos de observação, segundo Ridder(1974)

Área	Número de pontos de observação
100 ha	20
1000 ha	40
10000 ha	100
100000 ha	300

Procedimento de leituras

O mais simples é através da observação do umedecimento de uma fita métrica.

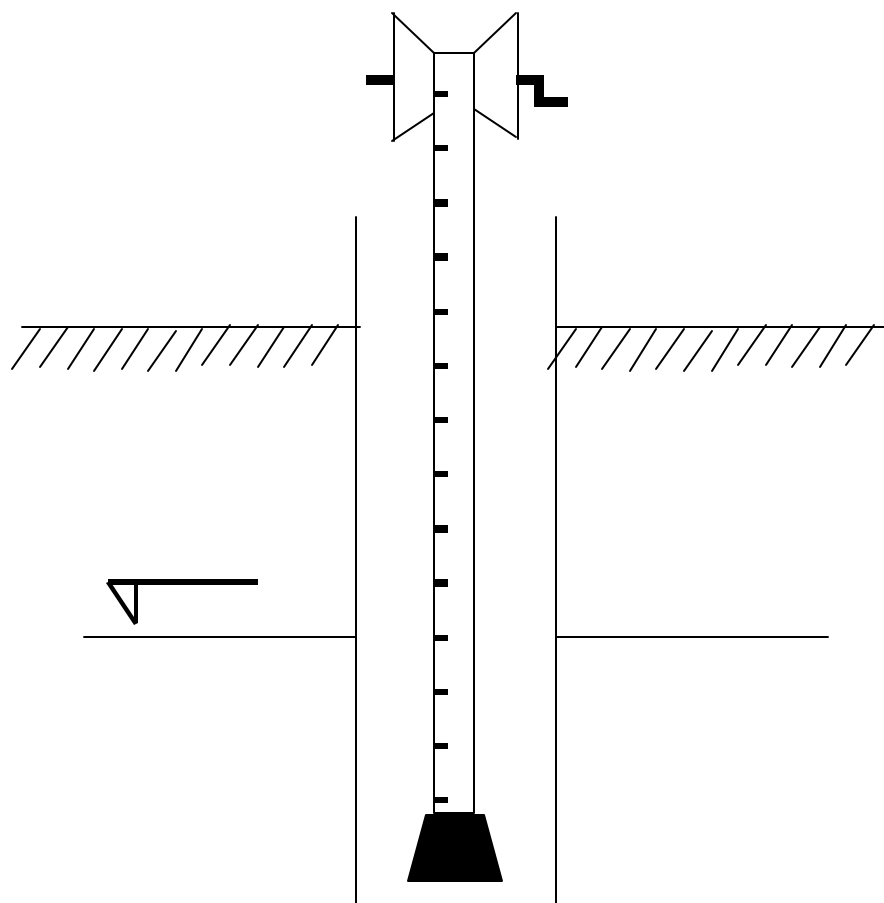


Figura 25 - Utilização da fita umedecida

O linígrafo registra o uso contínuo do nível e suas oscilações

Um outro processo consiste na observação do fechamento de um circuito elétrico provido de uma bateria, quando a extremidade do fio condutor duplo toca o nível de água.

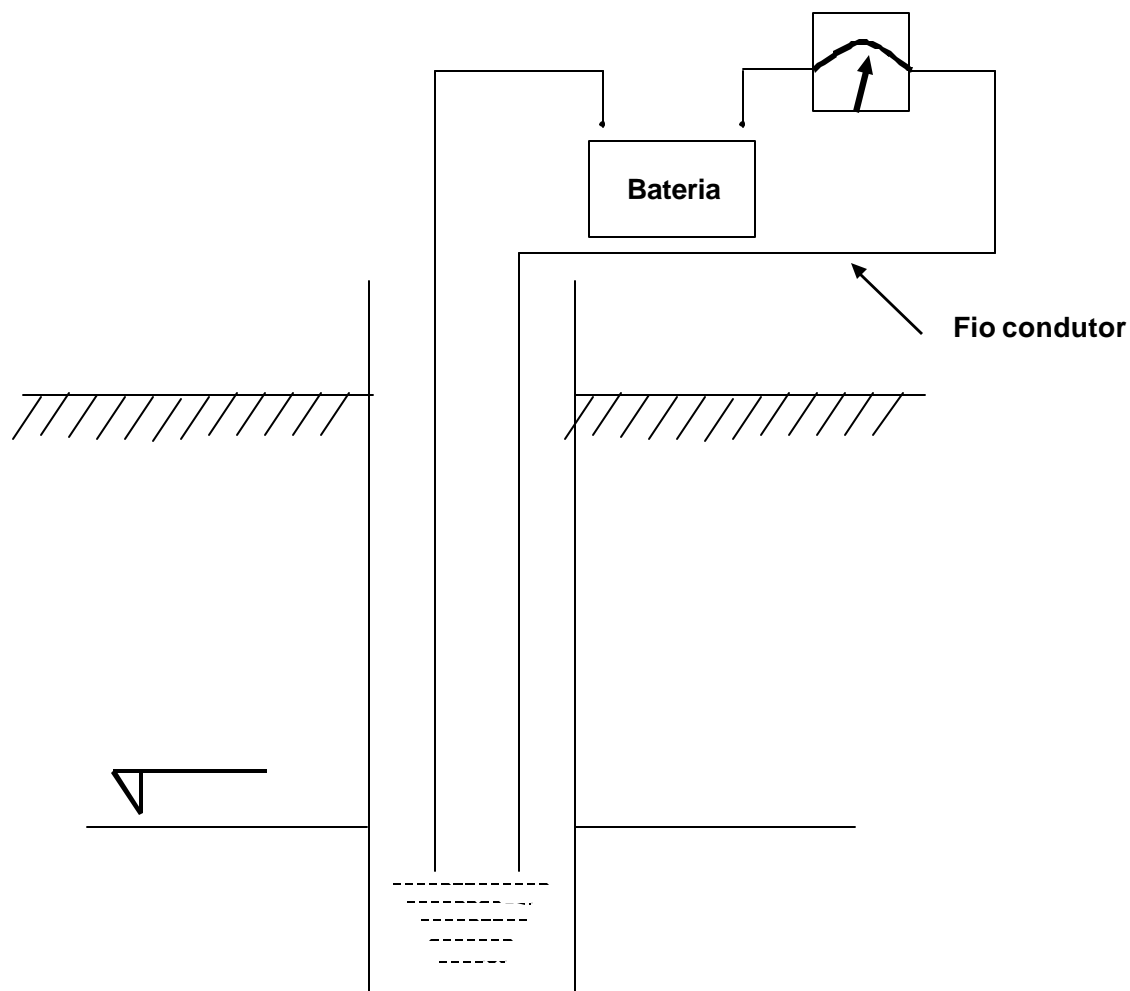


Figura 26 - Utilização de circuito elétrico

Velocidade de infiltração da água no solo

Reichardt (1987) diz que “infiltração” é o termo utilizado para descrever o processo de entrada de água no solo, através de sua superfície. É o que acontece quando o solo recebe água por irrigação superficial, sendo que a água se movimenta de cima para baixo, indo

molhar camadas mais profundas. Após a infiltração, há a redistribuição da água no perfil do solo.

O processo de infiltração ocorre porque a água da chuva ou da irrigação tem potencial ψ aproximadamente nulo e a água do solo tem potencial negativo, tanto mais negativo quanto mais seco o solo.

Estabelece-se um gradiente de potencial total que é a soma do gravitacional e do matricial.

No início da infiltração, quando o solo está relativamente seco, o gradiente é muito grande; após longo tempo de infiltração, o gradiente total passa a ser igual ao gravitacional que é pequeno em relação ao início do processo. Logo, o processo de infiltração é um processo desacelerado.

Velocidade de infiltração é a medida com a qual a água penetra no solo (Reichardt, 1987).

4.10. Controle automático da irrigação

Apesar de extensas áreas de produção agrícola serem irrigadas por chuva natural, a maior parte do suprimento de alimentos no mundo vem da agricultura irrigada. A produtividade, rentabilidade e sustentabilidade ambiental dos sistemas irrigados estão intimamente relacionados com manejo cuidadoso da água de irrigação, para que a terra não fique sujeita a problemas de lixiviação e erosão, advindos da irrigação. A utilização de instrumentação para medida da umidade do solo pode nortear o manejo da irrigação, ajudando assegurar a produção econômica no curto prazo e, no longo prazo, a proteção ambiental. Seu

trabalho tem sido focado em instrumentos que possam convenientemente fornecer leituras, à distância, dos pontos de medição, ser facilmente operados e cujos dados possam prontamente serem usados para controle automático da irrigação.

A produção e qualidade de muitas culturas tem respondido sensivelmente à irrigação. Estas respostas são freqüentemente de importância econômica.

A automação da irrigação pode ser conseguida usando uma combinação de sensores de umidade de solo, CLP'S, válvulas solenóides e fonte pressurizada de água.

A escala de irrigação consiste em aplicar a quantidade certa de água no tempo certo. Com culturas sensíveis ao estresse hídrico, os produtores tem incentivos para que a escala de irrigação apresente bons resultados.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Descrição do local

O local utilizado para esta pesquisa é denominado de “várzea”, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da FCA da UNESP, em Botucatu – SP, abrangendo uma área experimental de 12.000 m².

Segundo Lessa(1997), esta área caracteriza-se por apresentar um relevo plano, com drenagem interna razoável. O problema de drenagem da área agrava-se pela contribuição das águas provenientes de uma encosta, por um lado, e das águas do ribeirão Lavapés, no período das chuvas, por outro lado. A Figura 27 mostra a situação atual.

A área em questão possui instalado um canal interceptor/coletor e estrutura de controle de nível, mas devido à encosta será necessário a construção de um outro dreno, para que o nível do lençol freático mantenha-se homogêneo, com as dimensões dadas pela Figura 28.

Área do Departamento de Engenharia Rural FCA

Situação Atual

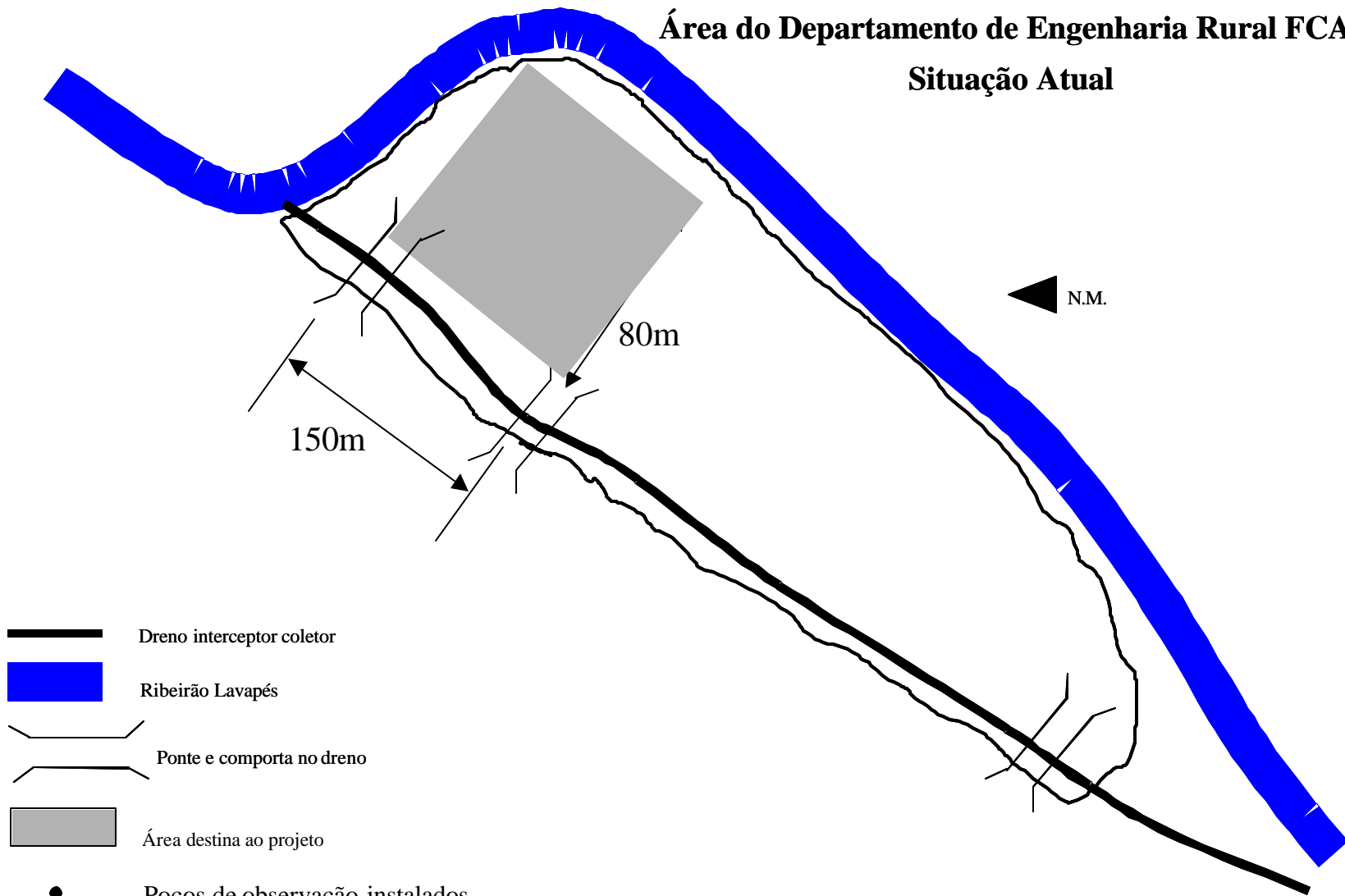


Figura 27 - Situação atual da área de pesquisa

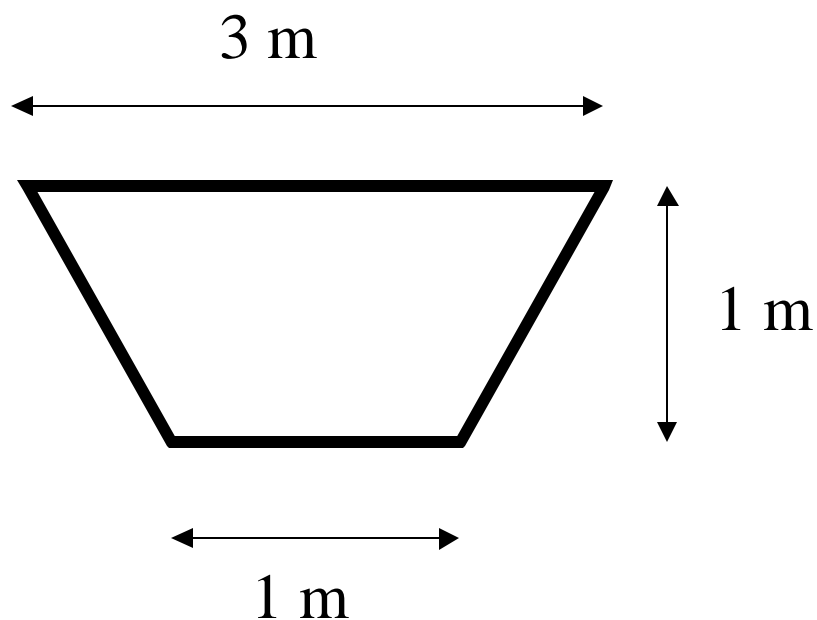


Figura 28 - Medidas do dreno

A área também possui poços de observação, que estão sendo monitorados por outra pesquisa. Para esta pesquisa serão utilizados 12, como mostra a Figura 27, os quais serão adaptados para a viabilidade do projeto. Os poços de observação serão compostos de tubos de PVC com diâmetro de quarenta milímetros (40 mm) será colocada de brita na parte inferior, para não haver o risco de um possível entupimento do tubo. Os poços deveram ficar com uma extremidade de dez centímetros (10 cm) da superfície do solo, e a inferior próximo ao horizonte impermeável. As fotos apresentadas nas Figuras 29 e 30 ilustram o local.



(a)



(b)

Figura 29 - a) Vista superior da área b) Vista com os pontos de observação



Figura 30 - a) Vista lateral b) Vista com os pontos de observação e ao fundo o canal

Descrição da base de controle

A base de controle estará localizada, próxima ao poste de fornecimento de energia elétrica. Nesta base ficará alojada o CLP e, uma fonte retificadora para o fornecimento da corrente contínua, conforme Figura 32. Com boa ventilação e a localização deverá estar livre de choques mecânicos, vibrações e temperaturas extremas.

Um aterramento adequado do painel elétrico, é importante para a segurança na operação e manutenção do sistema, além de reduzir a interferência de ruídos eletromagnéticos.

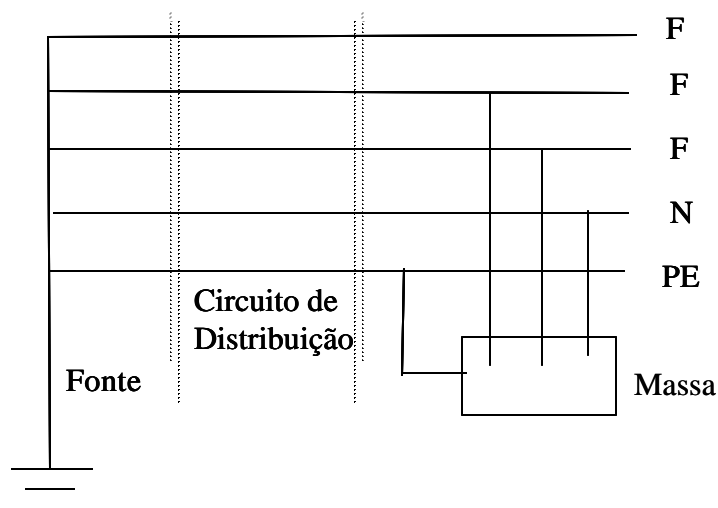


Figura 31 - Esquema de aterramento TN (O condutor neutro e o condutor de proteção são distintos)

A instalação elétrica deverá possuir o condutor neutro e o condutor de proteção separado, conforme Figura 31.

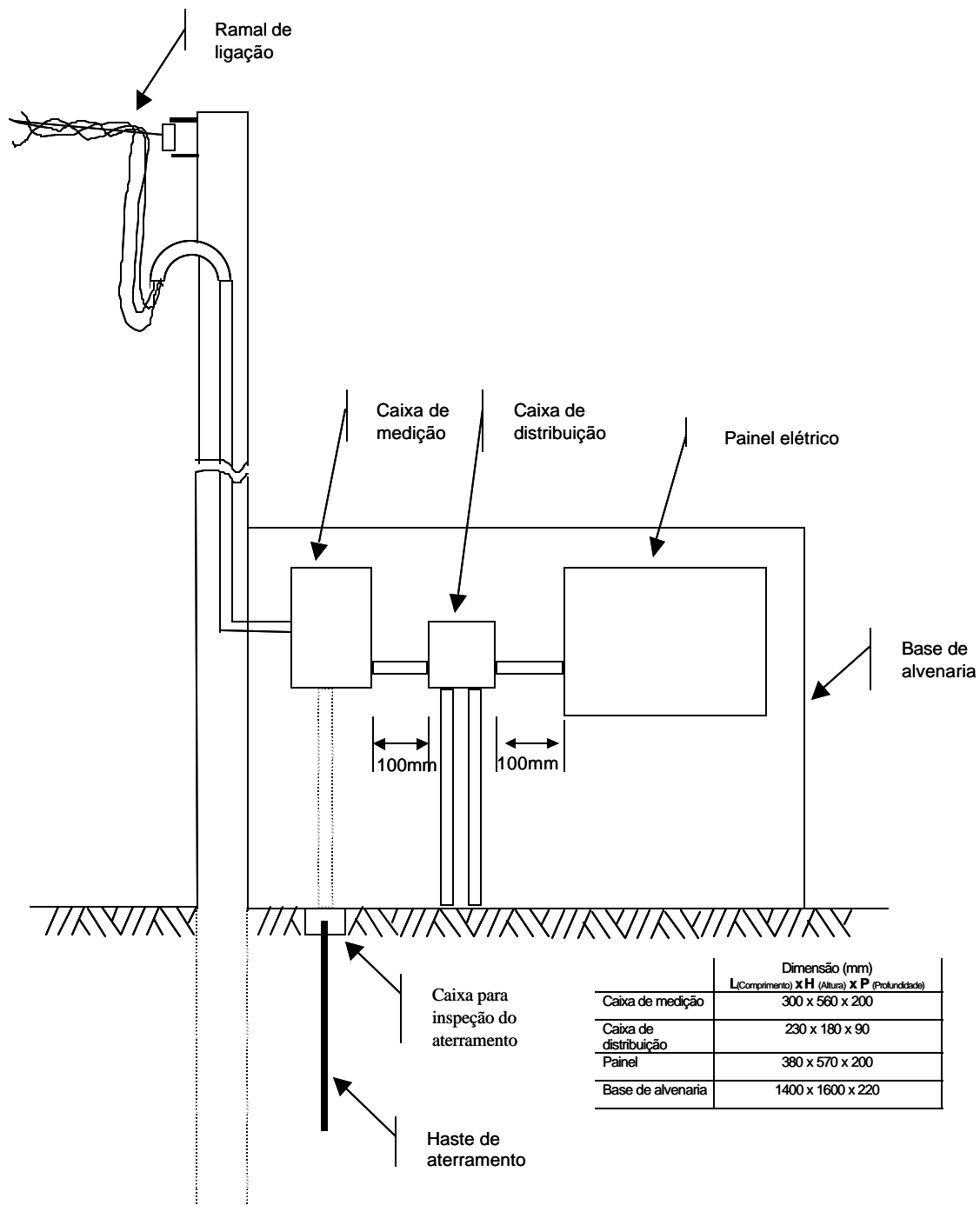


Figura 32 - Base de Controle

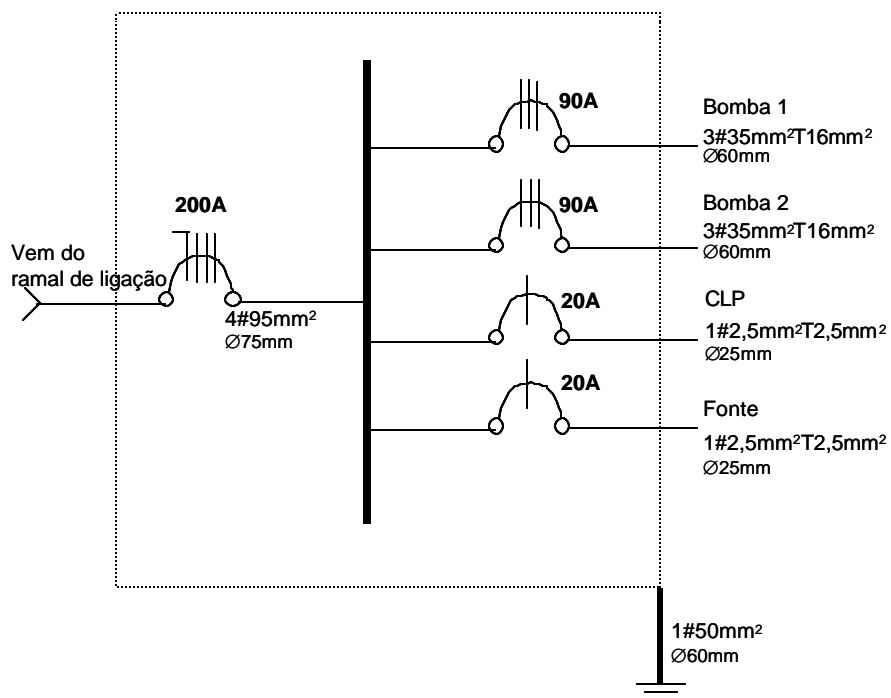


Figura 33 - Esquema Funcional do Quadro de Distribuição

5.2.Materiais:

Para automatizar o sistema proposto, compreendendo subirrigação, drenagem controlada e drenagem subterrânea, serão necessários os equipamentos descritos no Quadro 1.

QUADRO 1 - Especificações dos equipamentos e dispositivos do sistema automatizado

Item	Características Técnicas	Quantidade	Função
1	Interruptores de nível de água NA – temperatura de funcionamento de: 30°C a +75°C; tensão máxima 250Va.c./d.c.; corrente máxima 1A; ângulo mínimo 5° e 45° de liberação	2	Monitorar o nível de água no dreno
2	Interruptor de nível de água NA - temperatura de funcionamento de: 30°C a +75°C; tensão máxima 250Va.c./d.c.; corrente máxima 1A; ângulo mínimo 5° e 45° de liberação	1	Monitorar o nível máximo de água no reservatório
4	Sensor Condutivo – alimentação 127Vca; 60Hz; temperatura 20°C a 200°C; proteção IP65	12	Monitorar o nível do lençol de água
5	Bomba Centrífuga – capacidade de bombeamento de 147l/min; altura de elevação de no mínimo 2,3m; motor de 25CV/ 220V / 60Hz	2	Bombear de água
6	Válvula de solenóide de 2 vias para água - 1", 220Va.c.; 166,7 l/min; consumo de potência a .c. 32VA/16W	2	Comandar a válvula de água – dreno e reservatório
7	Controlador Lógico Programável – CPU; módulo de 16 entradas analógicas; módulo de 16 entradas 127 Vca; módulo de 8 saídas 220Vca	1	Controlar toda a lógica do sistema
8	Relé Eletromagnético - deverá possuir isolamento galvânica entre os terminais da bobina e os contatos normalmente aberto (NA) e normalmente fechado (NF), além da isolamento entre os conjuntos de contato.	2	Controlar o acionamento sinalização
9	Contator Tripolar – deverá possuir categoria de utilização AC2 e AC3, contatos auxiliares de execução 4 (NA e NF), fixação por parafusos e corrente máxima de serviço: 45 A 26 A	4 2	Controlar o acionamento das bombas
10	Relé bimetálico de sobrecarga – deverá possuir potência máxima do motor trifásico de 25CV e faixa de ajuste de 25 – 50 A	2	Proteger o motor trifásico contra sobrecarga e falta de fase.
11	Fusível NH – deverão ser segundo a tensão de alimentação de baixa tensão e sua característica de desligamento deverá ser de efeito retardado. Corrente nominal de 65 A .	6	Proteger o motor trifásico contra sobrecargas de curta duração

5.3.Métodos

Para o desenvolvimento da automatização, segue-se o roteiro a seguir:

- a. equacionamento da situação – problema, ou seja, a descrição daquilo que se deseja automatizar;
- b. definição das variáveis de entrada e saída;
- c. construção da tabela da verdade;
- d. elaboração da equação Booleana;
- e. minimização da equação Booleana pelo método dos diagramas de Karnaugh.

Funções Lógicas, Tabela Verdade e Equação Booleana

As funções lógicas binárias relacionam as variáveis dependentes, de saída, com as variáveis independentes, de entrada.

A tabela da verdade representará as funções lógicas em forma tabular, enquanto que a equação booleana as descreve de forma analítica. A tabela da verdade irá conter todas as combinações possíveis para n variáveis de entrada, assumindo os valores 0 e 1, apresentando quais são os valores das variáveis de saída.

Minimização de funções Lógicas por Mapas de Karnaugh

Procura-se a simplificação da equação booleana, pois, isto significará redução de funções lógicas e variáveis.

Este método facilita a minimização de expressões booleanas a partir de um mapa. O mapa possui os mesmos elementos da tabela da verdade, em ordem diferente.

O empenho em se conseguir o máximo de simplificação é maior quando se prevê a implementação física do comando por meio de componentes eletroeletrônicos, sendo que a simplificação resultará na redução desses componentes, no espaço e tempo de montagem.

5.4.CLP

Para o desenvolvimento deste projeto será utilizado um Controlador Lógico Programável (CLP). Este é um sistema modular, permitindo a inserção de mais módulos de entradas e/ou saídas (digitais ou analógicas), bem como da troca da CPU por um modelo de maior capacidade de endereçamento, sendo compatíveis entre si, possui microprocessador com instruções de fácil programação.

Permite conexão em rede com outros CLP's e com microcomputador. No computador estará o software de supervisão, controle e gerenciamento.

A Figura 34 mostra o diagrama de blocos de um CLP genérico.

O CLP executará um programa desenvolvido para a aplicação deste projeto, onde será utilizado um software de responsabilidade do fabricante (Step 7), que realiza ciclicamente as ações de leitura das entradas, execução do programa de controle do usuário e atualização das saídas, conforme Figura 35.

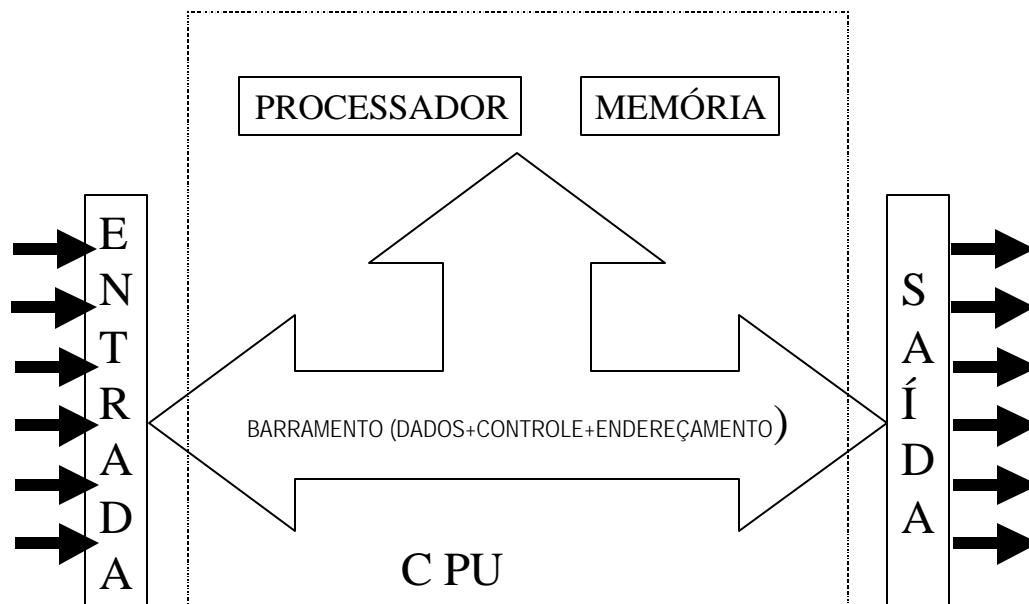


Figura 34 - Diagrama de Blocos do CLP

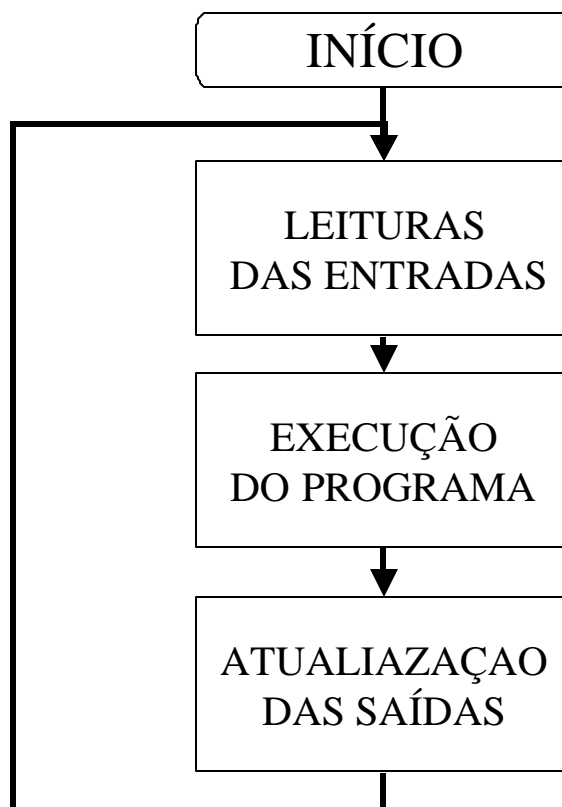


Figura 35 - Ciclo de Varredura

5.4.1. Dispositivos de Entrada no CLP

Os dispositivos de entrada estão conectados nas portas de entrada do CLP que geram sinais externos recebidos pelo próprio CLP, os quais podem ser oriundos de fontes pertencentes ao processo controlado ou de comandos gerados pelo operador. Tais sinais são gerados por dispositivos tais como: sensores diversos, chaves ou botoeiras, dentre outros.

Os dispositivos de entrada comunicam-se com o CLP ligando ou desligando a corrente por meio de contatos eletromecânicos ou de estado sólido.

Interruptores de nível de água - os interruptores de nível de água instaladas no reservatório e nos canais, serão utilizado no controle direto da bomba.

Sensores Condutivos - os sensores condutivos serão utilizados para o monitoramento do nível do lençol freático.

5.4.2. Dispositivos de Saída

Os dispositivos de saída estarão conectados nas portas saída do CLP. tais portas poderão servir para intervenção direta no processo controlado por acionamento próprio ou também poderão servir para sinalização.

Relês Eletromagnéticos - os relês eletromagnéticos serão utilizados para comandar o acionamento do indicador visual.

Contatores Tripolar – serão utilizados para manobra de motores elétricos.

Válvula Solenóide - será utilizada para abertura e fechamento da saída da bomba d'água no reservatório para os drenos.

5.5.Determinação dos parâmetros de controle

Para elaborar a especificação de automação especificou-se o seguinte:

- a. parâmetros de entrada e saída;
- b. parâmetros elétricos das entradas, saídas e alimentação;
- c. comunicações, dados compartilhados;
- d. localização e análise do ambiente físico do sistema de controle.

Para determinar os parâmetros de controle, será necessário a determinação dos dispositivos de entrada e saída do sistema, bem como, as condições que afetam o sistema. Portanto, o primeiro passo é a definição e descrição do sistema de automação da sub-irrigação e drenagem controlada.

Após a análise do sistema a ser automatizado, determina-se os dispositivos de entrada e saída que o sistema necessita, agrupando os dispositivos em dois grupos, ou seja, aqueles que monitoram se um evento ocorreu ou está ocorrendo, e o outro grupo seria aqueles que controlam uma ação (saída).

A tensão de alimentação a ser utilizada nos dispositivos poderá ser diferente. Para facilitar na organização, os parâmetros elétricos poderão ser organizados em tabelas. Será importante fazer uma distinção entre os dispositivos a serem utilizados no campo.

Drenagem Controlada Automatizada

No modelo de operação Drenagem Controlada, o nível de água no dreno é mantido entre os níveis pré - determinados de baixa drenagem e alta drenagem, através do bombeamento de água do poço.

O bombeamento de água do poço, só ocorrerá, se o nível de lençol freático estiver abaixo do estipulado.

Subirrigação Automatizada

No modelo de operação de subirrigação, o nível de água no reservatório é mantido entre os níveis de água no reservatório e os níveis de água pré – determinados de baixa irrigação e alta irrigação por bombeamento de água do poço.

Quando o nível do reservatório atinge o valor de regulação mínimo baixo, a bomba de irrigação será acionada para elevar ao nível máximo, desde que o nível freático esteja no valor estipulado, informação fornecida pelos poços de observação. Caso o valor do nível freático esteja acima, devido a ocorrência de chuvas, a bomba de irrigação deverá deixar de ser acionada, até que o nível freático volte ao nível estabelecido.

Drenagem Controlada e Subirrigação

O nível de água no dreno é monitorado por um interruptor de nível Caso

esteja no nível máximo retornará nível lógico alto.

Caso o nível do lençol de água esteja alto e nível alto no dreno também, será emitido uma mensagem para abertura manual da comporta ou, caso a comporta possua automatização, será acionada sua abertura.

Caso o nível do lençol de água esteja baixo e o nível de água no dreno esteja baixo, será acionada a bomba de irrigação do reservatório juntamente com válvula solenóides. A partir do momento que a chave bóia retornar nível lógico alto, ou seja, a água no dreno atingir o seu volume máximo, a bomba será desligada.

Caso o nível do lençol de água esteja alto e o nível de água no dreno esteja baixo, será executada a drenagem controlada.

Como existem dois drenos, deve-se definir qual dreno será bombeada água ou se para ambos os drenos. A informação será fornecida através de sensores do nível freático monitorado em duas áreas A1 e A2. Caso a área A1 esteja com nível baixo, será feita abertura da solenóide S1, juntamente com o acionamento da bomba d'água no reservatório, para o dreno 1. Caso a área A2 esteja baixa, será acionada a solenóide S2, juntamente com a bomba d'água do reservatório para o dreno 2. Caso ambas estejam com o nível freático baixo, serão acionadas ambas as solenóides S1 e S2, juntamente com a bomba d'água do reservatório para os dois drenos. Caso o nível de água no reservatório atinja o nível mínimo, será acionada a bomba água do poço para o bombeamento de água para o reservatório. Na Figura 36 e 37, tem-se a situação proposta, para automação, na área denominada de “várzea”.

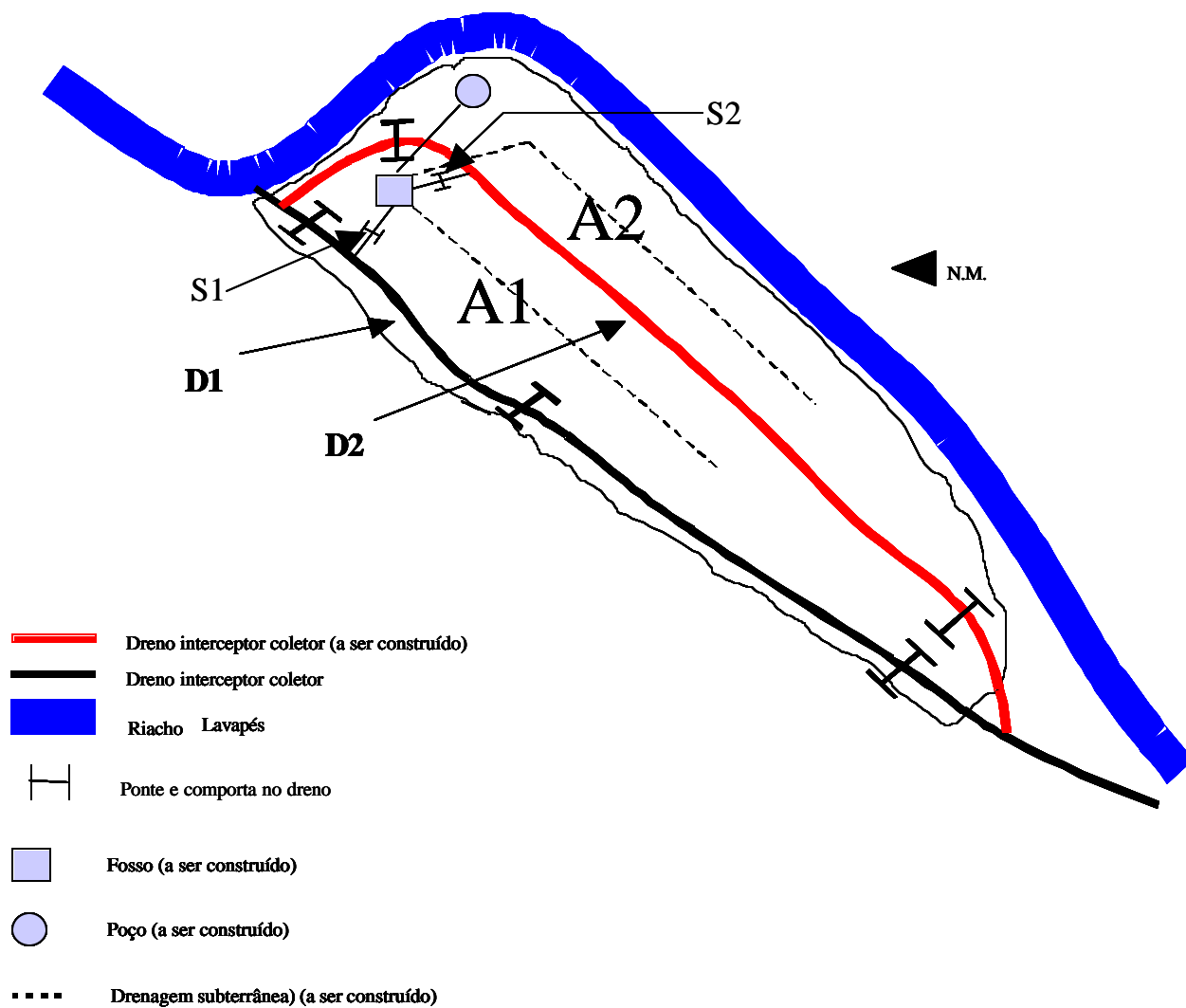


Figura 36 - Situação proposta de instalação (Layout)

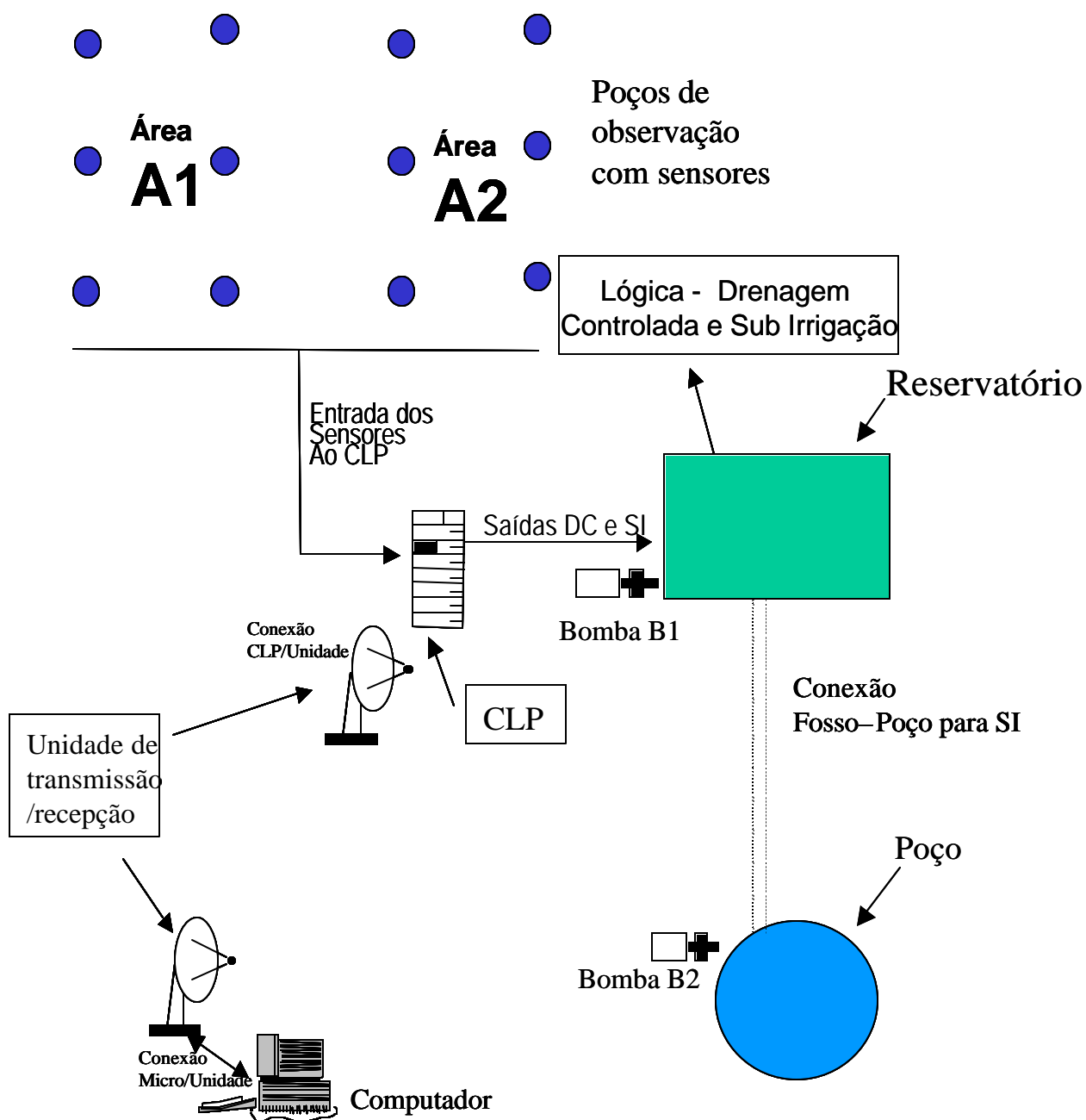


Figura 37 - Esquema de ligação do sistema automatizado

Caso o nível do lençol de água esteja baixo, e o nível de água no reservatório também, será bombeada água do poço para o reservatório.

Caso o nível do lençol de água esteja alto, e nível de água esteja baixo ou, quando o nível do lençol de água esteja baixo e reservatório alto, não será bombeada água do poço para o reservatório.

5.6.Dimensionamento do Sistema Hidráulico

O sistema hidráulico será constituído pelo poço, reservatório de água, drenos, canais e sistema de bombeamento.

O reservatório deverá ser construído em alvenaria próximo ao final do dreno, para facilitar um possível reaproveitamento da água em excesso, levando em consideração a quantidade de água a ser armazenada e distribuída.

O poço por sua vez deverá estar próximo do reservatório, pois a água do poço completará a água armazenada no reservatório, na subirrigação.

O posicionamento dos pontos de observação deverá ser homogêneo na área ou para completar a avaliação das condições do lençol, é aconselhável estender as observações além dos limites da área em questão, a fim de identificar melhor as regiões de entrada e saída do fluxo subterrâneo.

Sistema de bombeamento

As bombas hidráulicas são máquinas destinadas à elevação da água ou outro fluido, utilizando energia mecânica externa (motor elétrico, força manual, etc).

Para que possamos calcular a potência da bomba d'água, necessitamos dos seguintes dados, para aplicarmos a Equação 9.

- Vazão: Q [m^3 / s]
- Tipo de líquido $\gamma_{\text{água}} = 1000 \text{ kgf.m}^3$ (peso específico)
- Altura manométrica H [m]
- Rendimento do sistema n [%]

$$N = \frac{\mathbf{g} \times \mathbf{Q} \times \mathbf{H}}{75 \times \mathbf{h}} = \mathbf{CV} \quad (9)$$

A vazão será calculada, levando-se em consideração um tempo médio para que o dreno atinja uma quantidade de água esperada.

Determinação do volume de água nos canais

Como o canal possui um formato trapezoidal, mostrado pela Figura 38, portanto, para a determinação do volume de água e feito utilizando a Equação 10.

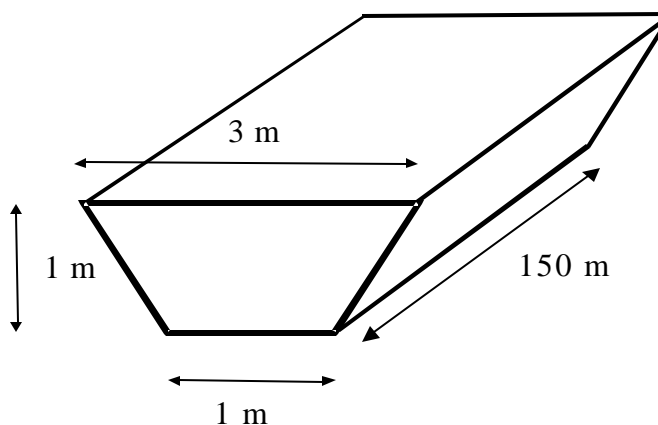


Figura 38 - Formato dos canais

$$\text{Vol} = \{[(a + b) / 2] * h\} * l \text{ (m}^3\text{)} \quad (10)$$

Onde:

a e b – bases do trapézio;

h – altura do trapézio;

l – comprimento do canal.

Considerações sobre o poço

O poço a ser construído será muito importante para o bom desempenho deste sistema, pois, a utilização de água do Ribeirão Lavapés é impraticável devido à poluição. O poço será construído mediante a perfuração do solo até atingir uma camada subterrânea saturada. A perfuração deverá ser revestida com tubos de aço e na camada saturada favorável que atravessa ser instalado um filtro no espaço vazio entre o filtro e a perfuração do solo preenchendo com cascalho.

Determinação da velocidade de bombeamento

Para se determinar a velocidade de bombeamento, serão analisados os seguintes itens: tempo necessário para o enchimento nos canais de água (em horas) e capacidade de vazão da válvula solenóide.

5.7. Monitoramento

A instalação em cada ponto de observação de um sensor tipo condutivo, que estará conectado e ao CLP Através das informações obtidas desses poços de observações determinará a ação (resposta) a ser realizada pelo CLP (abertura de comporta, acionamento de bombas).

Para que tudo isso ocorra, será necessário a instalação permanente de fornecimento de energia elétrica, para o funcionamento do CLP. Esta área já possui um ponto de fornecimento e inclusive iluminação, que será utilizado neste experimento.

Os poços de observações terão sua instalação permanente, mas, o monitoramento poderá não ser permanente, ou seja, haverá um rodízio de utilização dos sensores no monitoramento dos poços de observação. Através do acúmulo de informações (leituras) dos poços será possível a determinação estratégica do monitoramento dos poços, que acabará se tornando permanente sua leitura.

O CLP terá a função de armazenar os dados colhidos pelos sensores a ele conectado, fazer a transmissão quando solicitado, e controlar todo o sistema proposto de acionamento de bombas, comporta e drenos.

Para o desenvolvimento deste projeto será construído um reservatório, para administração dos sistemas DC e SI; este reservatório terá a finalidade de armazenamento para posterior uso em subirrigação. Como mostra a figura 39.

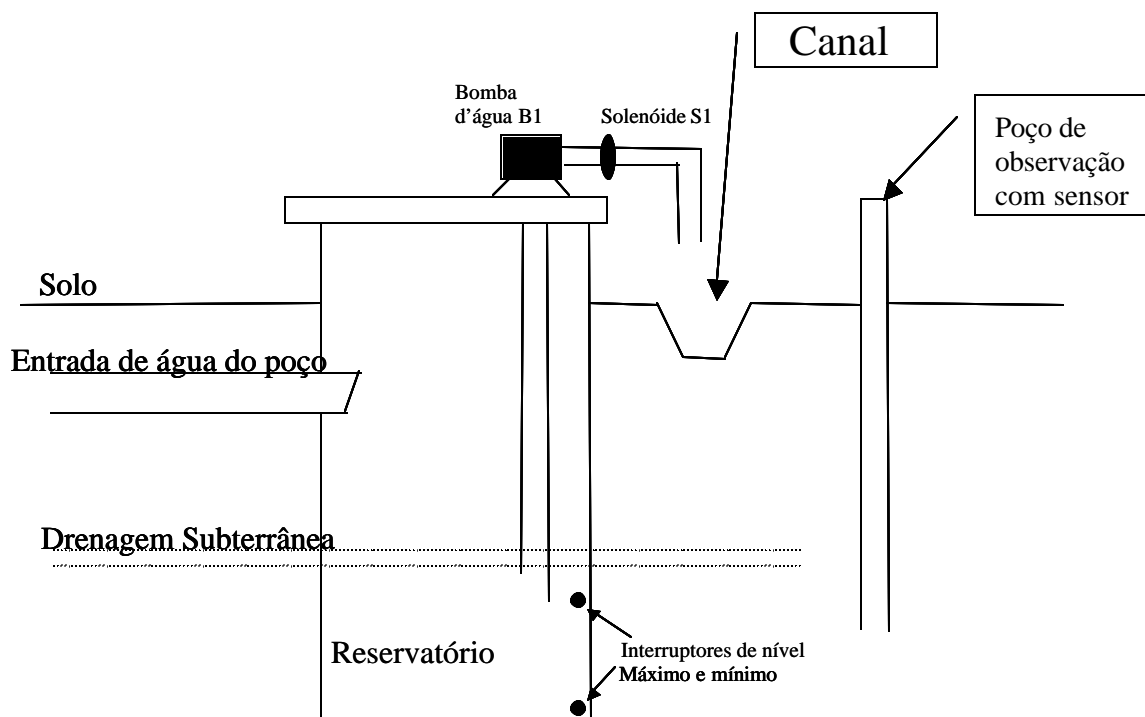


Figura 39 Controle automático SI e DC

Na situação no qual o nível freático está alto e o dreno está com água, será então necessário a retirada da água no dreno. Será possível o armazenamento desta água no reservatório, bastando que o nível do reservatório esteja baixo, seguido da abertura da comporta. Não havendo a possibilidade do armazenamento será então aberto a outra comporta para a retirada da água no dreno.

Localização do poço e reservatório

O canal será ligado ao reservatório, por meio de tubulação, sendo a entrada fechada por uma comporta. A localização indicada para o reservatório será próxima aos canais e o poço próximo ao reservatório.

Determinação da capacidade de armazenamento do reservatório de água

Para a determinação da capacidade de armazenamento do reservatório será fixado uma porcentagem equivalente a 10% do volume de água a ser bombeada para os canais.

5.8.Programação

Para a realização da programação do CLP será utilizado a linguagem Step 7. Esta linguagem é interativa com o ser humano e foi desenvolvida por vários fabricantes como: Siemens, Weg, Allen entre outros. As instruções mais freqüentes usadas em um programa são “normalmente aberto” (NA), “normalmente fechado” (NF) e “energizar saída”.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1.Resultados

6.1.1. Controle automático da água

A automatização da operação de sistemas DC e SI para controle do lençol de água fornece uma alternativa aos métodos de intenso trabalho manual.

Supõe-se que as linhas de drenagem estão conectadas a uma estrutura do reservatório para controle do nível de água na passagem. O nível do reservatório é controlado por bombeamento de água do poço para manter o nível de água no reservatório.

A operação é automaticamente revertida ao modelo DC para SI, e vice-versa quando necessário para manter o nível de água na saída do dreno, entre os níveis de água mínimo e máximo especificados.

6.1.2. Característica do sistema hidráulico

O reservatório de água receberá água da drenagem subterrânea. Poderá ocorrer o armazenamento de água em excesso dos drenos, portanto, será necessário cuidado para que o nível de água no reservatório não obstrua os drenos subterrâneos. Para isso haverá um interruptor de nível de água controlando o nível de água; quando este nível for atingido não será bombeada água do poço.

É importante que este reservatório possua um revestimento, e deverá ter capacidade de armazenamento de 100.000 litros de água, com tamanho de 5x5x4m.

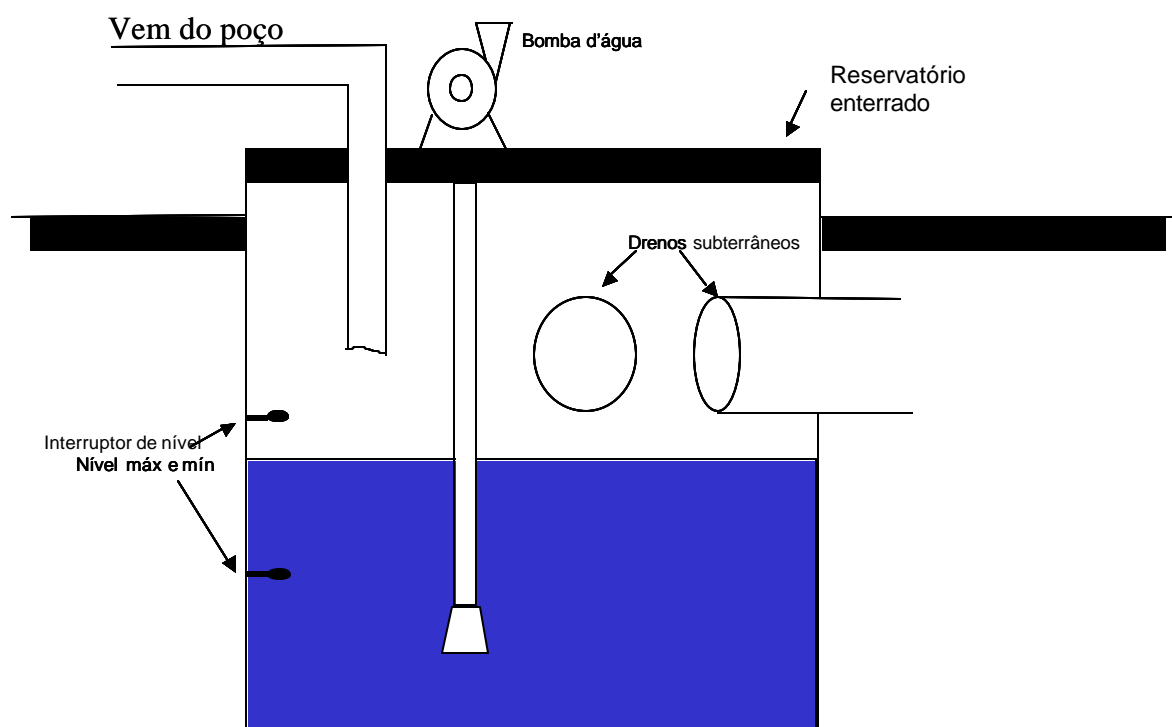


Figura 40 – Reservatório de água

A bomba d'água, levará 34 horas para encher os drenos (147l/min), com potência de 25CV, adotando-se um rendimento de 50%, para abastecimento de 300.000 litros (capacidade nos dois drenos).

Poços de observação

Os poços de observação não poderão ser obstruídos e outros efeitos destrutivos que os inutilizam. Será conveniente para a utilização prolongada tomar certos cuidados a fim de preservar a sua funcionalidade por um tempo prolongado.

Os poços deverão ser confeccionados de tubos de PVC perfurado com diâmetro em torno de quarenta milímetros (40 mm), com dez centímetros (10 cm) da superfície do solo, com profundidade média de 1,5m, os poços de observação existente deverão ser adaptados para o proposta acima, conforme Figura 41.

Para a instalação em campo, deverá ser projetado um sensor do tipo condutivo, de simples montagem, devido aos custo dos sensores condutivos existentes no mercado, que inviabilizam esta pesquisa.

6.2.Desenvolvimento do programa para o CLP

Procedimentos para o desenvolvimento do programa de automação

O primeiro passo recomendado seria, a descrição da seqüência de operação utilizando textos e fluxogramas, fazendo o levantamento preliminar do processo a ser automatizado.

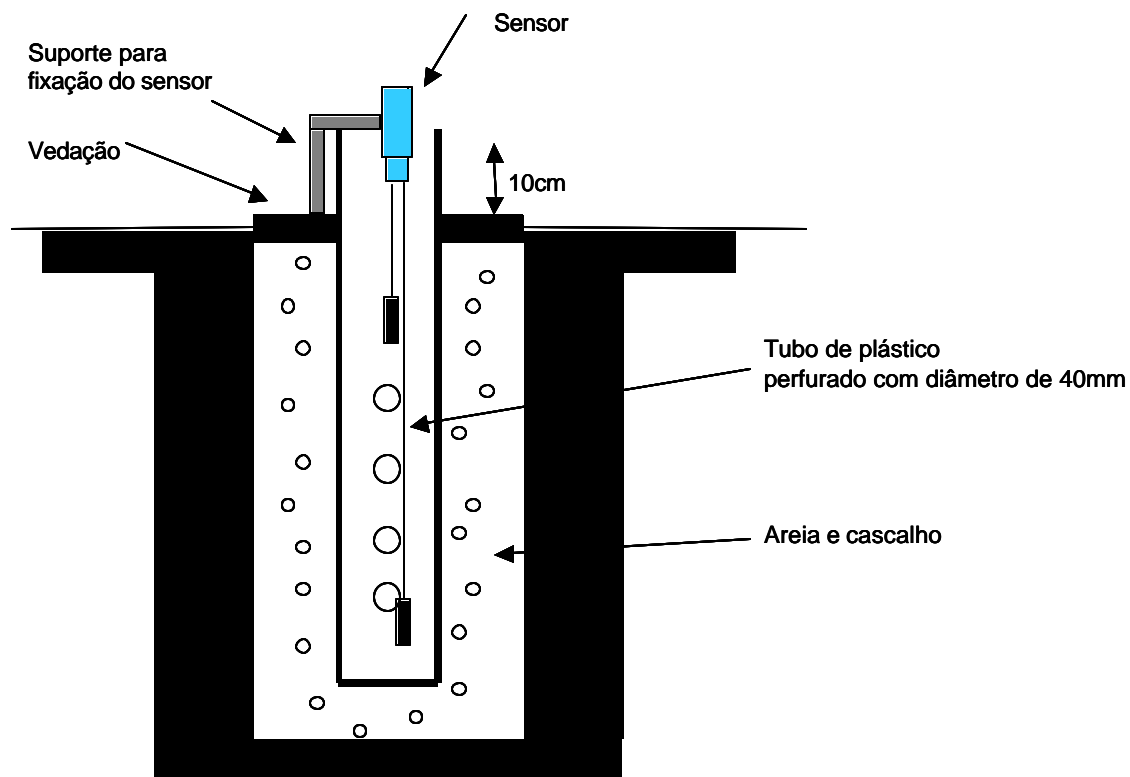


Figura 41 - Poços de observação

- 1) Definição dos pontos de controle e, modos de operação;
- 2) Atribuição de nomes, com a sua identificação;
- 3) Conversão dos modos de operação para a linguagem de programação do CLP.

Elaboração da tabela de correspondência lógica das variáveis de entrada e saída.

Procura-se nesta etapa, identificar as variáveis de entrada e saída, atribuindo um endereço de memória.

QUADRO 2 - Correspondência entre as variáveis de entrada e endereçamento

Variáveis de Entrada	Notação	Correspondência lógica	Endereço
Área A1			
Sensor 1	N1	Nível alto N1 = 1	I.01
Sensor 2	N2	Nível alto N2 = 1	I.02
Sensor 3	N3	Nível alto N3 = 1	I.03
Sensor 4	N4	Nível alto N4 = 1	I.04
Sensor 5	N5	Nível alto N5 = 1	I.05
Sensor 6	N6	Nível alto N6 = 1	I.06
Área A2			
Sensor 7	N7	Nível alto N7 = 1	I.07
Sensor 8	N8	Nível alto N8 = 1	I.08
Sensor 9	N9	Nível alto N9 = 1	I.09
Sensor 10	N10	Nível alto N10 = 1	I.010
Sensor 11	N11	Nível alto N11 = 1	I.011
Sensor 12	N12	Nível alto N12 = 1	I.012
Reservatório			
Interruptor 1	B1	Nível alto B1 = 1	I.13
Interruptor 2	B2	Nível baixo B2 = 1	I.14
Drenos			
Dreno1	D1	Nível alto D1 = 1	I.15
Dreno2	D2	Nível alto D2 = 1	I.16
Variáveis de Saída			
Solenóides	S1	Abertura S1 = 1	S.01
	S2	Abertura S2 = 1	S.02
Bombas d'água			
Reservatório	B1	Acionada B1 = 1	S.03
Póço	B2	Acionada B2 = 2	S.04
Lâmpadas	L1	Acionadas L1 = 1	S.05
	L2	Acionadas L2 = 1	S.06

Elaboração da tabela verdade

QUADRO 3 - Tabela da verdade (Áreas/Drenos/Solenóides/Lâmpadas)

Variáveis de Entrada				Variáveis de Saída				
Áreas		Drenos		Solenóides		Bomba	Lâmpadas	
A1	A2	D1	D2	S1	S2	B1	L1	L2
0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	1	1	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	1	0	0
0	1	0	1	1	0	1	0	1
0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	1	1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	0	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	1	1

Separou-se a bomba d'água do poço, pois seu acionamento esta relacionado com o nível de água no reservatório, monitorada pelas chaves bóias F1 e F2.

QUADRO 4 - Tabela da Verdade (Reservatório/Bomba d'água)

Variáveis de Entrada		Saída
Reservatório		Bomba d'água
Nível Máximo	Nível Mínimo	B2
0	0	1
0	1	1
1	0	X
1	1	0

Obtenção das expressões booleanas simplificadas

Nesta situação proposta, teremos cinco saídas, onde será realizada a simplificação individual de cada saída. Utilizaremos o método do diagrama de Karnaugh, para a obtenção da expressão booleana de cada saída simplificada, os quais estão representados a seguir.

Solenóide S1:

O acionamento da solenóide S1, ocorrerá quando o nível do lençol de água na área A1 estiver baixo e o nível de água no dreno baixo.

		$\overline{D1}$		D1	
		$\overline{A1}$	A1	A1	$\overline{A1}$
$\overline{D2}$	$\overline{A2}$	1	0	0	0
	A2	1	0	0	0
D2	A2	1	0	0	0
	$\overline{A2}$	1	0	0	0

$$S1 = \overline{A1} \cdot \overline{D1}$$

Solenóide S2:

O acionamento da solenóide S2, ocorrerá quando o nível do lençol de água

na área A2 estiver baixo e o nível de água no dreno baixo.

		$\overline{D1}$		D1	
		$\overline{A1}$	A1	A1	$\overline{A1}$
$\overline{D2}$	$\overline{A2}$	1	1	1	1
	A2	0	0	0	0
D2	A2	0	0	0	0
	$\overline{A2}$	0	0	0	0

$$S2 = \overline{A2} \cdot \overline{D2}$$

Bomba d'água B1

A bomba d'água B1, será acionada quando o nível do lençol de água nas áreas A1 ou A2 estiverem baixo.

		$\overline{D1}$		D1	
		$\overline{A1}$	A1	A1	$\overline{A1}$
$\overline{D2}$	$\overline{A2}$	1	1	1	1
	A2	1	0	0	0
D2	A2	1	0	0	0
	$\overline{A2}$	1	0	1	0

$$B1 = \overline{A1} \cdot \overline{D1} + \overline{A2} \cdot \overline{D2} + A1 \cdot \overline{A2} \cdot D1$$

Lâmpada L1:

A lâmpada sinalizadora L1, será acesa, quando o nível do lençol de água em A1 e o nível de água no dreno D1, estiverem alto. Portanto, abertura de comporta.

		$\overline{D1}$		D1	
		$\overline{A1}$	A1	A1	$\overline{A1}$
$\overline{D2}$	$\overline{A2}$	0	0	1	1
	A2	0	0	1	0
D2	A2	0	0	1	0
	$\overline{A2}$	0	0	1	0

$$L1 = A1 \cdot D1$$

Lâmpada L2:

A lâmpada sinalizadora L2, será acesa, quando o nível do lençol de água em A2 e o nível de água no dreno D2, estiverem alto. Portanto, abertura de comporta.

		$\overline{D1}$		D1	
		$\overline{A1}$	A1	A1	$\overline{A1}$
$\overline{D2}$	$\overline{A2}$	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0
D2	A2	1	1	1	1
	$\overline{A2}$	0	0	0	0

$$L2 = A2 \cdot D2$$

Bomba d'água B1

A bomba d'água B2. será acionada quando o nível de água no reservatório estiver baixo, e será desacionada quando estiver baixo.

Elaboração do diagrama lógico

A partir das equações booleanas, do item anterior, desenhe-se o diagrama lógico para as saídas, representados pela Figura 42.

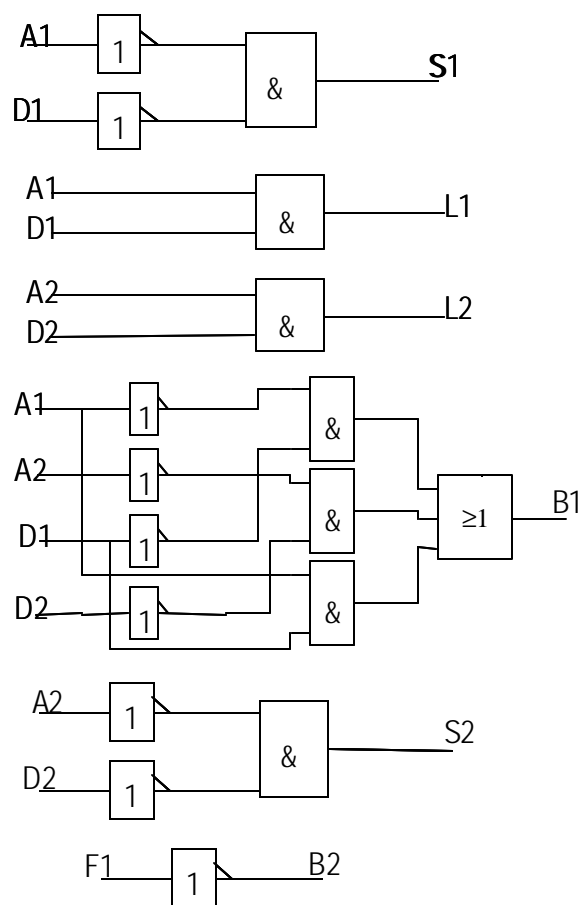


Figura 42 - Diagrama de blocos

Diagrama de contatos

Na Figura 43, tem-se o programa do CLP na linguagem Step 7, através do conjunto de diagramas de contatos, originado desde a tabela da verdade, simplificação, diagrama de blocos, ficando assim a programação

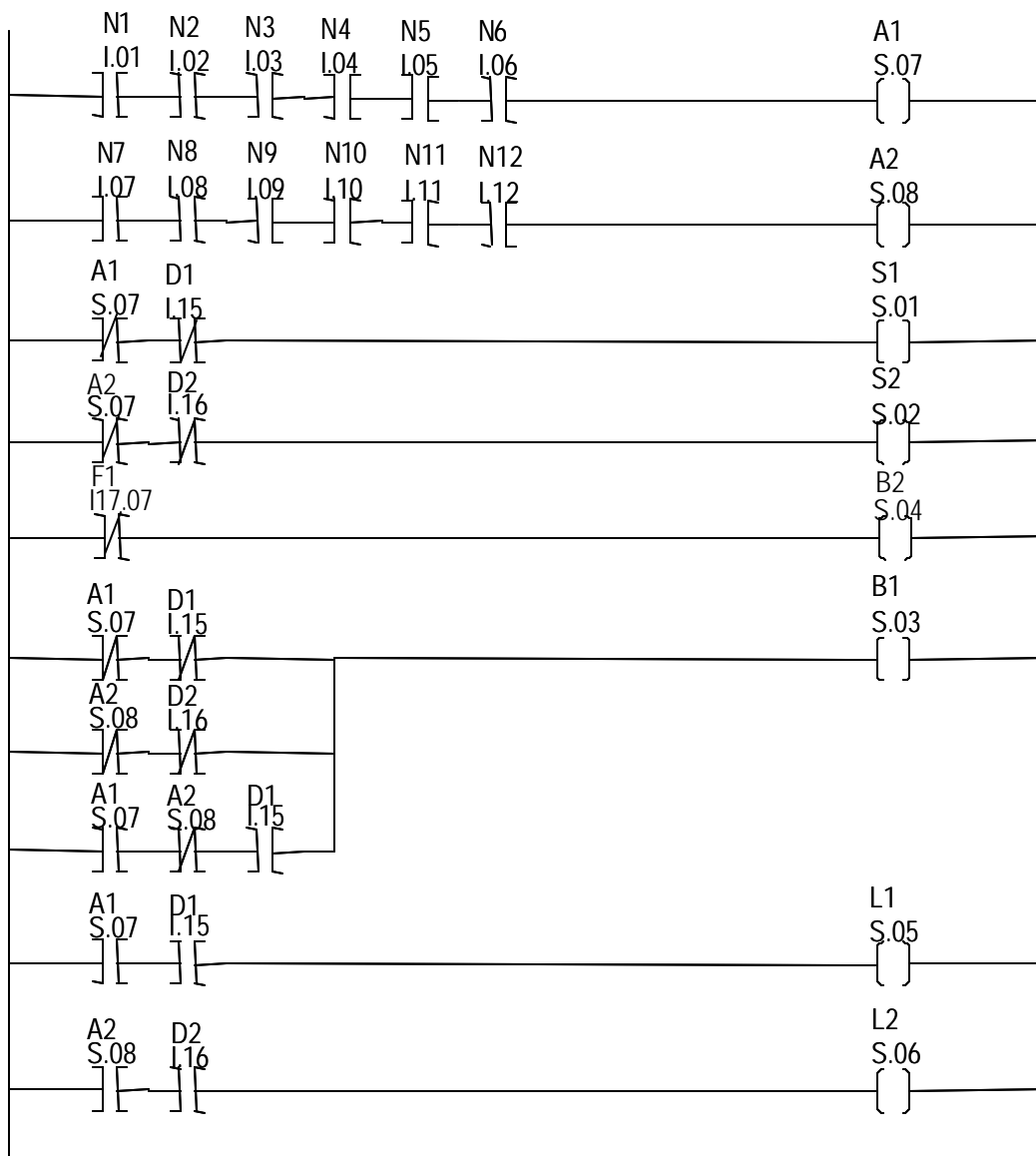


Figura 43 – Programação do CLP na linguagem Step 7

Operação do CLP

O programa é armazenado na memória seguindo uma seqüência de declarações, cada uma delas ocupando um determinado endereço, segundo a ordem dada na lista de instruções. O programa será decodificado numa seqüência de declarações para memória do CLP, quando colocada no modo de programação. Passará esta etapa, estando todas as entradas e saídas da máquina ou do processo ligados aos terminais do CLP, passa-se ao modo de execução do programa, que se inicia com o acionamento de uma tecla tipo run.

No modo de execução, a unidade de controle do CLP, passa a gerenciar um ciclo de ações, cujas etapas mais marcantes são:

- varredura das entradas: é realizada a leitura do estado dos sinais de entrada retornando os estados lógicos 0 ou 1;
- varredura do programa: percorre o programa, instrução por instrução na seqüência de armazenamento na memória, executando as operações lógicas. Os resultados desta etapa determinam o novo estado dos valores das variáveis de saída;
- varredura de saída: efetua-se a transferência dos valores atuais das variáveis de saída para os terminais do CLP, com a devida separação galvânica e conversão das tensões e correntes.

O CLP executa as instruções sequencialmente, na forma cíclica. O tempo de execução de cada ciclo, o tempo de varredura (scan time), depende da velocidade de processamento do microprocessador e do tamanho do programa.

As mudanças internas, na memória do CLP, que produzirão alguma alteração no estado das variáveis de saída, só ocorrerão quando algum sinal de entrada se modificar ou algum temporizador ou contador interno alterar seu valor de saída.

Para a correção das falhas na programação, comece a localização de falhas do programa identificando as saídas que não funcionam adequadamente.

Os erros típicos de lógica incluem:

- programação de uma instrução de normalmente aberto ao invés de uma instrução normalmente fechado (ou vice-versa);
- uso de um endereço incorreto.

6.3.Características técnicas do CLP

Ligações elétricas das entradas e saídas

Deve-se atentar cuidadosamente às recomendações do fabricante, principalmente para se conhecer a tensão elétrica a ser usada, os limites de potência permitidos e os tipos de proteção e separação galvânica existentes nas entradas e saída.

A alimentação das entradas e saídas com os terminais correspondentes ao CLP. A alimentação das entradas, mais comumente de $24V_{CC}$, pode ser feita por uma fonte externa ou, até um certo limite, com fonte do próprio CLP.

No caso das saídas, o que equivale dizer alimentação elétrica para as cargas, os valores típicos são de $24V_{CC}$ ou $127/220V_{CA}$. Para pequenas potências pode-se usar saídas a transistor, seu tempo de retardo é menor. Os leds associados aos terminais de entrada e saída acendem quando existe o sinal correspondente e são muito úteis nas fases de teste, supervisão e manutenção dos programas.

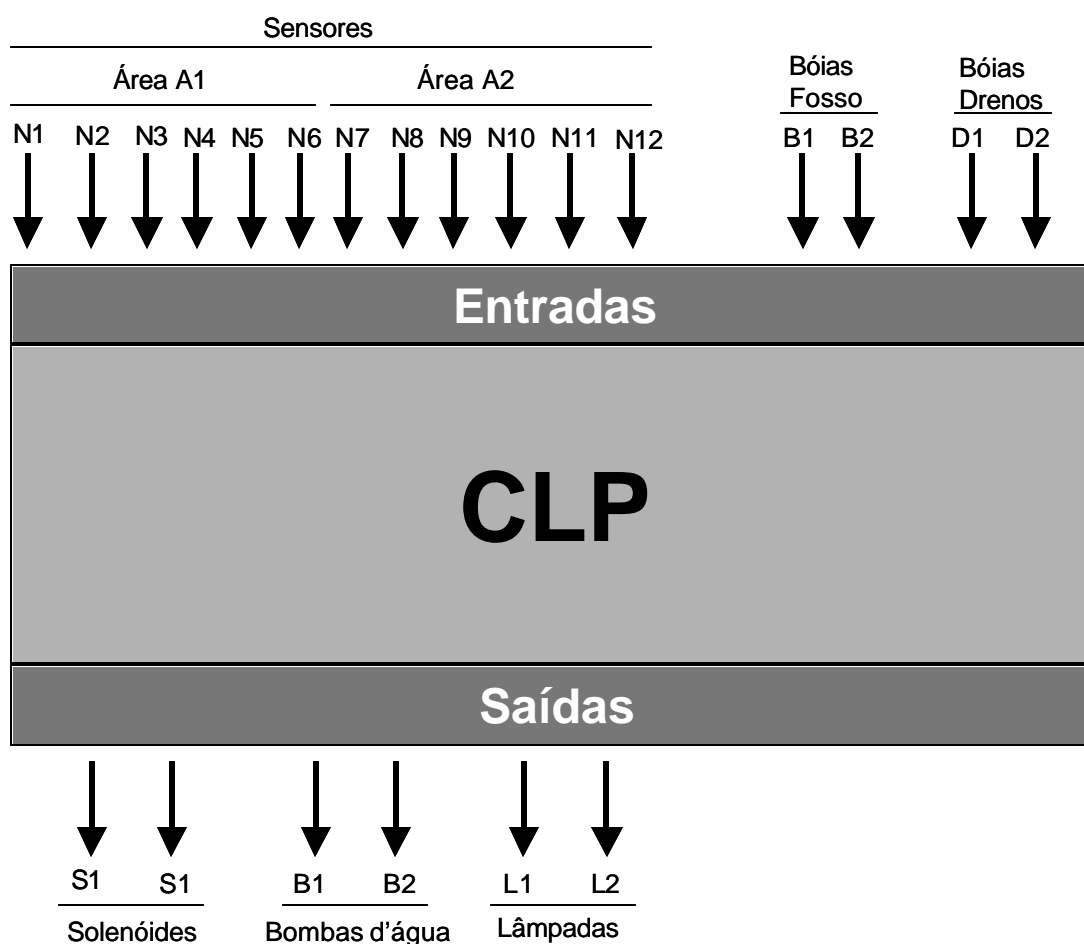


Figura 44 - Conexões do CLP

Características técnicas dos CLP's

Existem disponíveis no Brasil mais de duas dezenas de marcas com diversos modelos tamanhos de controladores programáveis. As instruções do fabricante devem ser seguida cuidadosamente.

Deve-se observar, num primeiro instante especificações relativas à temperatura ambiente, umidade, vibrações, exigências relativas a alimentação, montagem e fiação. O CLP não pode ser instalado próximo a equipamentos de alta tensão, pois poderá provocar erros aleatórios.

Será importante a verificação, de alguns itens nos catálogos específico do CLP a ser utilizado ou pesquisado, tais como:

- tensões de trabalho – 24Vcc ou 127/220Vca
- correntes máximas de entrada – 10 a 20mA
- correntes máximas de saída – 1 a 2A
- capacidade de memória Ram – 32K
- capacidade de memória Eprom – 32 a 64K
- temporizadores – 32 a 40
- contadores – 16 a 24
- unidade de expansão – com capacidade
- instruções – 324 instruções entre básicas e especiais
- comunicação de rede - com capacidade
- software para programação – versão Step7 ou compatível
- capacidade de expansão – com capacidade

Ambiente Elétrico

Todos os cabos de alimentação deverão estar separados, o máximo possível do CLP e da fiação de entrada e saída. Devem estar em dutos distintos.

Toda a fiação em corrente contínua deverá estar separada, tanto quanto possível da fiação da corrente alternada.

Discussões finais

O monitoramento automático do nível freático em vários pontos de observação determinará suas profundidades.

Com base nos registros obtidos “a todo momento”, será possível além de obter: a curva do nível freático, as linhas de fluxos; também a determinação exata do momento da utilização de bombas, para subirrigação; visando manter o nível freático em toda área.

Neste trabalho não se levou em consideração o custo da instalação devido ser uma proposta de um sistema de sub-irrigação para uma pesquisa que pretende coletar dados para dimensionar uma automatização para um sistema hidráulico adequado às condições de fornecimento de água.

7. CONCLUSÕES

Com um sistema de controle automatizado, a profundidade do lençol de água é medido (monitorada) freqüentemente com um sensor de nível de água. A resposta do sensor é usada um sinal tipo feedback (retro alimentação) para ajustar automaticamente o nível da água escoada, com os seguintes aspectos:

- Assegurar de que quando o lençol freático é mantido alto (raso) por razões de SI, períodos de condições úmidas não causem danos `a cultura pelas excessivas condições das raízes.
- A drenagem deve ser controlada a fim de que o perfil do solo não seja super drenado, e sendo assim minimizando subsequente SI para se manter a profundidade desejada do lençol de água.
- A subirrigação deve ser suprimida se intensa precipitação estiver prevista ou iminente, reduzindo então o risco potencial de um severo excessivo evento solo – água.

Este trabalho apresenta uma situação real de estudo para selecionar e avaliar a performance de um sistema de controle automatizado para se determinar o benefício econômico pelo uso do sistema, quando este for implantado, fornecendo técnicas simples, precisas e de baixo custo, que possibilitem, a nível de campo, a determinação criteriosa do momento de iniciar a drenagem.

Com a utilização de sistemas de controle de lençóis de água automatizados, pretende-se, evidentemente, melhorar a qualidade dos sistemas de irrigação. Esta melhora pode estabelecer-se tanto em termos técnicos, como em termos econômicos.

A instrumentação para medida do nível freático à distância, cujos dados possam ser prontamente ser usados para controle automático da subirrigação, isto poderá assegurar a produção econômica em curto prazo e, no longo prazo, a proteção ambiental.

Esta proposta fornece condições de avaliar o controle do nível do lençol freático em situações de sub-irrigação e drenagem controlada permitindo o manejo e controle racional do uso de água, evitando desperdícios, com armazenamento do excedente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLISON, J.M., LAND, J.E. Laser-based communication system. Trans.Asae., v.32 n. 1, p.298-303, 1984

BOLLMANN, Arno. Fundamentos da automação industrial pneumática –Projetos de comandos binários eletropneumáticos. São Paulo: ABHP, 1996. 278p.

BOLTON, W. Instrumentação e controle.. São Paulo: Hemus, 1985. 197p.

BURTON, P.R. Telemetry for instrumentation and test systems. Journal of physics and scientific instruments, v.20,p. 1302-311, 1987.

CASTRUCCI, P.B., BATISTA, L. Controle linear- Método básico. São Paulo: Edigard Blücher Ltda, 1980. 153p.

- CRUCIANI, Décio Eugênio. A Drenagem na Agricultura. São Paulo:Nobel, 1981. 336p
- DISTEFANO, J.J., STUBBERUD, A.R., WILLIAMS, I.J. Sistemas de retroação e controle
São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 480p.
- DOTY, C. W., GILLIAM, J. W., PARSONS, J. E. Deep ditch over drainage affect water table
depth and crop yield. In Environmentally Sound Water and Soil Management. Am. Soc.
Civil. Eng. New York, N. Y., 1982.
- EVANS, R. O., SKAGGS, R. W., REYNOLDS, W. N. Operatimg Controlled Drainage and
Sub irrigation Systems. The North Carolina Agricultural Extension Service. 11/85/2M/VH.
AG-356, 1985.
- EVANS, R. O., CUMMINGS, J. R., GILLIAM, J. W. Controlled Drainage am best
management practice in North Carolina. Paper N° 89-2695. Am. Soc. Agro., St. Joseph.
Mich. 18pp, 1999.
- GOMES, A.T. Telecomunicações: transmissão e recepção AM-FM 9.ed. São Paulo:Érica,
1985. 415p.
- LATIMER, E.A.,REDELLE, D.L. Componentes for an advance rate feedback irrigation
system. Trans, ASAE., v.35, n.4. p.1161-170. 1990.

LESSA, PEDRO DE ARAUJO. Avaliação do controle do nível freático em sistema conjugado de irrigação e drenagem subterrânea. Botucatu, 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista

MANTOVANI, S.C.A. Sistema de automação aplicado à irrigação. Campinas, 1993. 82p. Dissertação(Mestrado)- Universidade Estadual de Campinas.

MITCHELL, B.W.F.Signal conditioning. In: Instrumentation and measurement for environmental science, 3.ed. Michigan: 1991. p.1001-19.

NATALE, F. Técnicas de acionamento- conversores C.A/C. C e Motor C.C São Paulo: Érica, 1996. 120p.

NATALE, F. Automação Industrial. São Paulo: Érica, 1995. 312p.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

RIDDER, N. A. De. Groundwater survey. Publication 16, vol III. ILR1, Wagningen the netherlands, 1974.

SCOTT, N.R., ANESHANSLEY, D.J. Radio Instrumentation and measurement for environmental sciences. 3.ed. Michigan: Publish ASAE., 1991. p1201-17

SILVEIRA, Paulo Rogério da. Automação e controle discreto. São Paulo: Érica, 1998. –
Coleção Estude e Use. Série Automação Industrial. 228p.

SHIRMOHAMMADI, A ., CAMP, C. R., THOMAS, D. L. Water table management for
fielsized areas in the Atlantic Coastal Plain. Journal of soil and Water Conservation. Ed.
Jan-Feb. 52-57 pp, 1992.

STONE K, C., SOMMERS, R. C., WILLIANS, G. H., HAWKINS, D. E. Water table
management in the Eastern Coastal Plain. Journal of soil and Water Conservation. 1-2
1992, 74-51, 1992.

TORRE NETO, A. Estudo e implementação de um sistema de monitoramento remoto de
variáveis edafo-ambientais. São Carlos, 1995. 147p. tese (Doutorado)-Instituto de Física
de São Carlos.