

**ESCOLA POLITÉCNICA  
DA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E  
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**



**AUTOMAÇÃO do SISTEMA de  
ABASTECIMENTO de ÁGUA em um  
CONDOMÍNIO**

**Fábio Silva Marques**

**PROJETO DE FORMATURA/2003**

**ESCOLA POLITÉCNICA  
DA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E  
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**



**PROJETO DE FORMATURA / 2003**

**AUTOMAÇÃO do SISTEMA de ABASTECIMENTO de ÁGUA  
em um CONDOMÍNIO**

ALUNO: Fábio Silva Marques  
ORIENTADOR: Cícero Couto de Moraes  
COORDENADOR: Luiz Cláudio Ribeiro Galvão



## **Sumário**

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS E METODOLOGIA .....</b>	<b>7</b>
<b>3. PROJETO ELÉTRICO .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. DIMENSIONAMENTO DO CONJUNTO MOTOR-BOMBA .....</b>	<b>10</b>
3.1.1. DADOS DO CONDOMÍNIO.....	10
3.1.2. ESTIMATIVA DO CONSUMO DIÁRIO DE ÁGUA.....	10
3.1.3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE RESERVAÇÃO.....	11
3.1.4. CÁLCULO DA VAZÃO DE RECALQUE.....	12
3.1.5. CÁLCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA.....	13
3.1.6. ESPECIFICAÇÃO DA BOMBA .....	13
3.1.7. DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DO ROTOR, DA POTÊNCIA DO MOTOR QUE ACIONARÁ A BOMBA E RENDIMENTO.....	14
3.1.8. OBSERVAÇÕES .....	16
3.1.9. ILUSTRAÇÃO .....	17
3.1.10. POTÊNCIA DAS BOMBAS UTILIZADAS .....	17
<b>3.2. MÉTODOS DE COMANDO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
3.2.1. FORMAS DE PARTIDA .....	18
3.2.1.1. INTRODUÇÃO .....	18
3.2.1.2. PARTIDA DIRETA .....	19
3.2.1.3. PARTIDA CHAVE ESTRELA / TRIÂNGULO (Y - □).....	20
3.2.1.4. CHAVE ELETRÔNICA DE PARTIDA SUAVE (SOFT STARTER).....	21
3.2.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MÉTODOS DE PARTIDA .....	23
<b>3.3. SOFT-STARTER.....</b>	<b>24</b>
3.3.1. INTRODUÇÃO .....	24
3.3.2. PRÍNCIPIO DE FUNCIONAMENTO .....	25
3.3.3. PRINCIPAIS APLICAÇÕES PARA SOFT-STARTERS .....	27



3.3.4. AÇÃOAMENTOS MULTI-MOTORES .....	28
3.3.5. EXEMPLO SOFT-STARTER.....	29
3.3.5.1. REDES DE COMUNICAÇÃO “FIELDBUS” .....	30
3.3.5.2. ESPECIFICAÇÃO DO SSW-04 .....	32
<b>3.4. DIAGRAMAS DE FORÇA E COMANDO .....</b>	<b>32</b>
3.4.1. DESCRIÇÃO .....	32
3.4.2. DIMENSIONAMENTO DAS BITOLAS DOS CONDUTORES.....	34
3.4.3. DIMENSIONAMENTO DAS PROTEÇÕES.....	36
3.4.4. INTERTRAVAMENTO .....	37
3.4.5. OBSERVAÇÕES .....	37
3.4.6. SEQUÊNCIA DE PARTIDA COM SOFT-STARTER.....	38
<b>4. CONSUMO DE ÁGUA .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1. IDENTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS .....</b>	<b>39</b>
4.1.1. TESTE EM RESERVATÓRIO NO SUBSOLO .....	39
4.1.2. TESTE EM VASO SANITÁRIO .....	41
<b>4.2. PERDAS POR VAZAMENTOS DE ÁGUA .....</b>	<b>42</b>
<b>4.3. REFLEXOS DOS VAZAMENTOS NO CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>43</b>
4.3.1. CONDIÇÕES NORMAIS, SEM VAZAMENTO .....	44
4.3.2. CONDIÇÕES ANORMAIS, EXISTÊNCIA DE VAZAMENTOS .....	45
4.3.3. CONCLUSÃO .....	46
<b>4.4. DETECÇÃO DE GRANDES VAZAMENTOS .....</b>	<b>47</b>
4.4.1. CONDIÇÕES NORMAIS, SEM VAZAMENTO .....	47
4.4.2. CONDIÇÕES ANORMAIS, EXISTÊNCIA DE GRANDES VAZAMENTOS.....	48
4.4.3. CONCLUSÃO .....	49
<b>5. REDES DE PETRI .....</b>	<b>50</b>
<b>5.1. ESTRUTURA DE UMA REDE DE PETRI.....</b>	<b>50</b>



<b>5.2. MARCAÇÃO DE UMA REDE DE PETRI .....</b>	<b>52</b>
<b>5.3. PROPRIEDADES DAS REDES DE PETRI .....</b>	<b>54</b>
<b>5.4 MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO DE UMA REDE DE PETRI .....</b>	<b>55</b>
<b>5.5. SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....</b>	<b>59</b>
5.5.1. DEFINIÇÃO DOS LUGARES E TRANSIÇÕES.....	59
5.5.2. CONDIÇÕES IMPOSTAS.....	60
5.5.3. REPRESENTAÇÃO DA REDE DE PETRI.....	60
5.5.4. CONDIÇÕES INICIAIS .....	62
5.5.5. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO.....	65
<b>6. CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS.....</b>	<b>66</b>
<b>6.1. HISTÓRICO .....</b>	<b>66</b>
6.1.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS E CONFIGURAÇÕES ELÉTRICAS.....	67
<b>6.2. ARQUITETURA .....</b>	<b>69</b>
6.2.1. FONTE DE ALIMENTAÇÃO .....	69
6.2.2. UCP - UNIDADE CENTRAL DE PROCESSAMENTO .....	69
6.2.3. MEMÓRIA EPROM.....	69
6.2.4. MEMÓRIA DO USUÁRIO .....	70
6.2.5. MEMÓRIA DE DADOS .....	70
6.2.6. MEMÓRIA-IMAGEM DAS ENTRADAS E SAÍDAS .....	71
6.2.7. MÓDULOS DE ENTRADA E SAÍDA (E/S).....	71
6.2.8. MÓDULOS DE SAÍDA (S) DO CONTROLADOR PROGRAMÁVEL.....	72
6.2.9. MÓDULO DE ENTRADA (E) DO CONTROLADOR PROGRAMÁVEL.....	74
6.2.10. ENDEREÇAMENTO .....	75
6.2.11. TERMINAL DE PROGRAMAÇÃO .....	76
6.2.12. CICLO DE EXECUÇÃO (SCAN) EM OPERAÇÃO NORMAL (MODO-RUN) .....	77
6.2.13. TERMINAIS REMOTOS DE ENTRADA E DE SAÍDA .....	78
<b>6.3. ESPECIFICAÇÕES DE CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS .....</b>	<b>79</b>
6.3.1. CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS – MODELOS.....	79



---

<b>6.4. LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO .....</b>	<b>80</b>
6.4.1. LINGUAGEM LADDER.....	80
<b>6.5. DIAGRAMA LADDER DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA ..</b>	<b>85</b>
6.5.1. SENSORES .....	85
6.5.2. PONTOS DE ENTRADA E SAÍDA DO CLP .....	86
6.5.3. LINHAS DO PROGRAMA.....	88
6.5.4 COMENTÁRIOS SOBRE AS LINHAS DO PROGRAMA.....	94
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>99</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>101</b>



## Figuras

<i>Figura 01: Pirâmide de automação.</i> .....	3
<i>Figura 02: Automação com controlador programável e IHM.</i> .....	6
<i>Figura 03: Representação do sistema de bombeamento de água em um condomínio com quatro prédios.</i> .....	9
<i>Figura 04: Gráfico de Quadrículas.</i> .....	14
<i>Figura 05: Curvas características de alguns tipos padronizados de bombas.</i> .....	15
<i>Figura 06: Reservatório.</i> .....	17
<i>Figura 07: Partida direta.</i> .....	19
<i>Figura 08: Partida chave estrela / triângulo (Y - Δ).</i> .....	20
<i>Figura 09: Curva característica de torque e corrente, motor com partida estrela-triângulo.</i> .....	21
<i>Figura 10: Curva característica de torque e corrente, motor com partida suave (soft-starter).</i> .....	22
<i>Figura 11: Comparativo entre métodos de partida.</i> .....	25
<i>Figura 12: Blocodiagrama simplificado.</i> .....	26
<i>Figura 13: Bomba Centrífuga.</i> .....	28
<i>Figura 14: Acionamento multimotor.</i> .....	29
<i>Figura 15: Soft-Starter WEG (SSW-04)</i> .....	30
<i>Figura 16: Redes de comunicação "FieldBus"</i> .....	31
<i>Figura 17: Sistema de abastecimento de água (1 prédio)</i> .....	33
<i>Figura 18: Reservatório.</i> .....	40
<i>Figura 19: Detalhe do reservatório.</i> .....	41
<i>Figura 20: Teste do vaso sanitário.</i> .....	42
<i>Figura 21: a) Arcos múltiplos. b) Representação compacta.</i> .....	51
<i>Figura 22: a) Transição habilitada. b) Marcação após o disparo.</i> .....	53
<i>Figura 23: Modelo simples de um sistema computacional.</i> .....	53
<i>Figura 24: Exemplo de rede de Petri e sua respectiva árvore de alcançabilidade.</i> .....	56



<i>Figura 25: Redes de Petri (sem a representação dos estados de defeito das máquinas).....</i>	61
<i>Figura 26: Redes de Petri (representação completa).....</i>	62
<i>Figura 27: Redes de Petri (quantidade de marcas iniciais).....</i>	63
<i>Figura 28: Redes de Petri (peso dos arcos).....</i>	64
<i>Figura 29: Configurações Física e com CLP.....</i>	68
<i>Figura 30: Diagrama de blocos do CLP.....</i>	70
<i>Figura 31: Modulo de E/S .....</i>	72
<i>Figura 32: Módulo de saída à relé.....</i>	73
<i>Figura 33: Módulo de saída a triac.....</i>	73
<i>Figura 34: Módulo de saída a transistor.....</i>	74
<i>Figura 35: Módulo entrada a optoisolador.....</i>	75
<i>Figura 36: Endereços de entrada e de saída.....</i>	76
<i>Figura 37: Exemplo de conexão do terminal de programação.....</i>	77
<i>Figura 38: Ciclo de processamento (scan).....</i>	78
<i>Figura 39: Sensores do Reservatório Principal.....</i>	85
<i>Figura 40: Sensores do Reservatório Secundário.....</i>	85
<i>Figura 41: Sensores do Reservatório de Distribuição .....</i>	86
<i>Figura 42 : Linhas de Comando do Diagrama Ladder .....</i>	93



## **Tabelas**

<i>Tabela 01: Numeração das Bombas e Reservatórios.....</i>	7
<i>Tabela 02: consumo diário “per capita” (l/dia) por tipo de edifício.....</i>	11
<i>Tabela 03: Potência das bombas utilizadas.....</i>	17
<i>Tabela 04: Especificação do SSW-04.....</i>	32
<i>Tabela 05: Contatores de potência 3RT10, 3TF6 – Relés de sobrecarga 3RU11, 3RB10, 3RB12 (Siemens).....</i>	35
<i>Tabela 06: Capacidade de condução de corrente, fios e cabos isolados em termoplástico, condutor de cobre.....</i>	36
<i>Tabela 07: Desperdício de água.....</i>	43
<i>Tabela 08: Evolução da simulação .....</i>	65
<i>Tabela 09: Diagrama Ladder – Exemplos de instruções e representações .....</i>	84
<i>Tabela 10: Variáveis de entrada do CLP .....</i>	87
<i>Tabela 11: Variáveis de saída do CLP.....</i>	87
<i>Tabela 12: Variáveis internas do CLP.....</i>	88



## **Sinopse**

Este artigo descreve o estudo da automação do sistema de abastecimento de água em um condomínio com quatro prédios. Este sistema de abastecimento é composto por doze bombas e nove reservatórios, sendo um reservatório principal, quatro secundários e outros quatro de distribuição.



# ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

---

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
PEA/EPUSP

**De acordo**

São Paulo, 01 de dezembro de 2003

---

Cícero Couto de Moraes

---

Fábio Silva Marques



## 1. Introdução

A palavra *automation* foi inventada pelo *marketing* da indústria de equipamentos na década de 1960. O neologismo, sem dúvida sonoro, buscava enfatizar a participação do computador no controle automático industrial.

O que significa automação? Hoje entende-se por automação qualquer sistema, *apoiado em computadores*, que substitua o trabalho humano e que vise a soluções rápidas e econômicas para atingir os complexos objetivos das indústrias e dos serviços (por exemplo, automação industrial, automação predial).

Os pequenos computadores especializados, os *Controladores Programáveis*, permitem tanto o controle lógico quanto o controle dinâmico, com, a enorme vantagem de permitir ajustes mediante simples reprogramações, na própria instalação.

Os chamados *Computadores de Processo* são mais poderosos, pois permitem:

- coletar informações importantes sobre o processo a ser controlado, para criar seu modelo matemático;
- sintetizar leis de controle ótimo, *off-line*;
- simular desempenhos;
- implantar sofisticadas leis de controle de operação "em tempo real", regras de segurança e regras heurísticas tradicionais;
- facilitar interfaces com supervisores e administradores.

Vejamos, agora, alguns aspectos da automação no contexto econômico industrial.

A automação implica a implantação de sistemas interligados e assistidos por redes de comunicação, compreendendo sistemas supervisórios e interfaces homem-máquina (IHMs) que possam auxiliar os operadores no exercício de supervisão e análise dos problemas que porventura venham a ocorrer.



A vantagem de utilizar sistemas que envolvam diretamente a informatização é a possibilidade de expansão, utilizando recursos de fácil acesso. Sem eles, as plantas industriais podem apresentar vários problemas como um número elevado de alarmes simultâneos, vindo a dificultar a atuação do operador.

A automação na indústria decorre de necessidades tais como: maiores níveis de qualidade de conformação e de flexibilidade, menores custos de trabalho, menores perdas materiais e menores custos de capital; maior controle das informações relativas ao processo, maior qualidade das informações e melhor planejamento e controle da produção.

Nesse contexto, são de extraordinária importância os CLPs (*Controladores lógico-programáveis*), que tomaram a automação industrial propriamente dita uma realidade onipresente.

Como informação preliminar, o CLP é um dispositivo digital que controla máquinas e processos. Utiliza uma memória programável para armazenar instruções e executar funções específicas como controle de energização/desennergização, temporização, contagem, seqüenciamento, operações matemáticas e manipulação de dados.

O desenvolvimento dos CLPs começou em 1968 em resposta a uma necessidade constatada pela General Motors. Naquela época, freqüentemente se consumiam dias ou semanas para alterar um sistema de controle baseado em relés, e isso ocorria sempre que se mudava um modelo de carro ou se introduziam modificações na linha de montagem. Para reduzir esse alto custo, a GM especificou um sistema de estado sólido, com a flexibilidade de um computador, que pudesse ser programado e mantido pelos engenheiros e técnicos nas fábricas. Também era preciso que suportasse o ar poluído, a vibração, o ruído elétrico e os extremos de umidade e temperatura encontrados normalmente num ambiente industrial. Os primeiros CLPs foram instalados em 1969, fazendo sucesso quase imediato. Funcionando como substitutos de relés, eram mais confiáveis que os sistemas originais.



Os CLPs permitiram reduzir os custos dos materiais, de mão-de-obra, de instalação e de localização de falhas e reduzir as necessidades de fiação e os erros associados. Os CLPs ocupavam menos espaço que os contatores, temporizadores e outros componentes de controles utilizados anteriormente. Mas, talvez, a razão principal da aceitação dos CLPs tenha sido a linguagem da programação, baseada em diagrama Ladder (lógica de relés) e símbolos elétricos consagrados.

A automação industrial exige a realização de muitas funções. A *Figura 01* representa a chamada *Pirâmide de Automação*, com os diferentes níveis de automação encontrados em uma planta industrial.

Na base da pirâmide está freqüentemente envolvido o Controlador Programável, atuando via inversores, conversores ou sistemas de partida suave, sobre máquinas e motores e outros processos produtivos. No topo da pirâmide, a característica marcante é a informatização ligada ao setor corporativo da empresa.



*Figura 01: Pirâmide de automação.*



A partir da *Figura 01*, é possível fazer uma breve descrição de cada nível:

- **Nível 1:** é o nível das máquinas, dispositivos e componentes (chão de fábrica), onde a automação é realizada pelo controlador programável. Ex.: máquinas de embalagem, linha de montagem ou manufatura.
- **Nível 2:** sua característica é ter algum tipo de supervisão associada ao processo. É o nível onde se encontram concentradores de informações sobre o Nível 1 e as Interfaces Homem-Máquina (IHM). Ex.: sala de supervisão de um laminador de tiras a frio.
- **Nível 3:** permite o controle do processo produtivo da planta; normalmente é constituído por bancos de dados com informações dos índices de qualidade da produção, relatórios e estatísticas de processo, índices de produtividade, algoritmos de otimização da operação produtiva. Ex.: avaliação e controle da qualidade em processo químico ou alimentício.
- **Nível 4:** é o nível responsável pela programação e planejamento da produção realizando o controle e a logística dos suprimentos. Ex.: controle de suprimentos e estoques em função da sazonalidade e da distribuição geográfica.
- **Nível 5:** é o nível responsável pela administração dos recursos da empresa, em que se encontram os softwares para gestão de vendas e gestão financeira; é também onde se realizam a decisão e o gerenciamento de todo o sistema.



A *Figura 02* representa os níveis 1 e 2 da *Figura 01* do ponto de vista físico.

Consegue-se com o Controlador Programável automatizar uma grande quantidade de ações, substituindo assim o homem, com mais precisão, confiabilidade, custo e rapidez. As informações de entrada são analisadas, as decisões tomadas, os comandos ou acionamentos são enviados às saídas, tudo concomitantemente com o desenrolar do processo; portanto, ele trabalha com o sistema ou processo, controlando, processando e acionando.

O Controlador Programável vem substituir circuitos de relés que integravam o painel industrial de antigamente. Para efetuar uma modificação da lógica dos comandos, por qualquer motivo, era necessário um rearranjo na montagem, via de regra cansativo, demorado e dispendioso, modificação que, às vezes, implicava uma reforma total dos armários elétricos. Com o Controlador Programável, basta modificar o software e não o hardware (montagem), o que representa maior facilidade e economia.

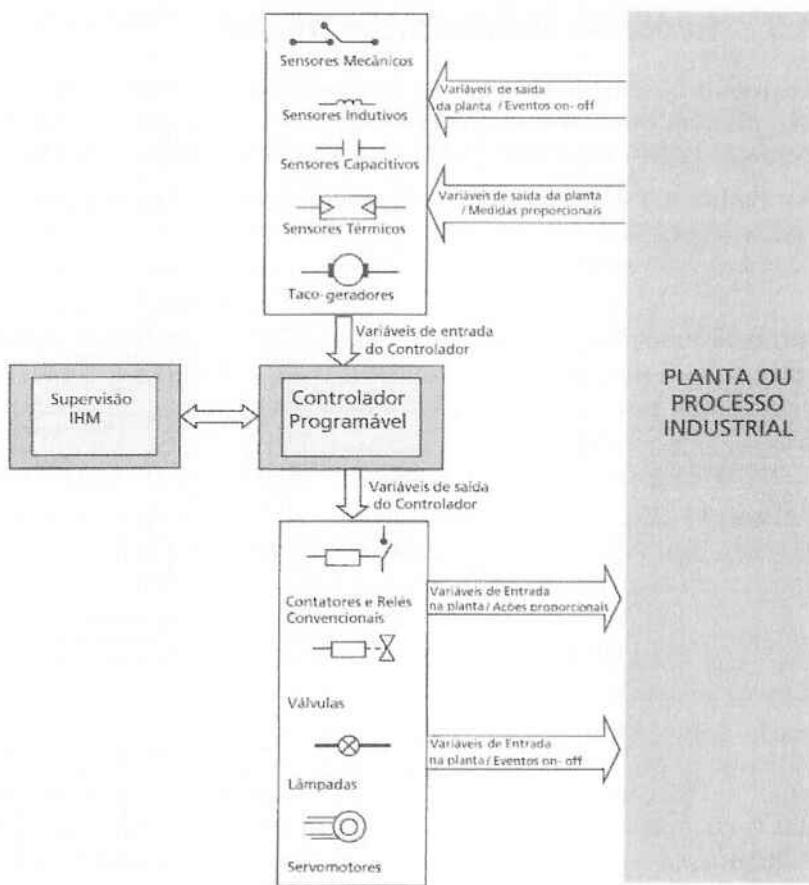


Figura 02: Automação com controlador programável e IHM.

### Razões para a utilização da Automação Industrial:

1. Repetibilidade e maior qualidade na produção;
2. Realização de tarefas impossíveis ou agressivas ao homem;
3. Rapidez de resposta ao atendimento da produção;
4. Redução dos custos de produção;
5. Restabelecimento mais rápido do sistema produtivo;
6. Redução da área de fabricação;
7. Possibilidade de introdução de sistemas produtivos interligados.

Possíveis desvantagens da Automação têm sido apontadas no campo dos custos sociais, tendo como uma das consequências o desemprego.



## 2. Objetivos e metodologia

Este projeto de formatura tem como objetivo o estudo da automação do sistema de abastecimento de água em um condomínio com quatro prédios. Este sistema de abastecimento é composto por doze bombas e nove reservatórios, sendo um reservatório principal, quatro secundários (RS) e outros quatro de distribuição (RD), que estão interligados conforme *figura 03* e numerados conforme a *tabela 01*.

	Prédio 1	Prédio 2	Prédio 3	Prédio 4
Reservatório Principal (RP)	RP			
Reservatório de Distribuição (RD)	RD 1	RD 2	RD 3	RD 4
Reservatório Secundário (RS)	RS 1	RS 2	RS 3	RS 4
Bomba: RP para RD	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3	Bomba 4
Bomba: RP para RS	Bomba 5	Bomba 6	Bomba 7	Bomba 8
Bomba: RS para RD	Bomba 9	Bomba 10	Bomba 11	Bomba 12

*Tabela 01: Numeração das Bombas e Reservatórios*

O objetivo é o abastecimento de forma eficiente dos reservatórios de distribuição através do reservatório principal ou do reservatório secundário de cada prédio. Estes reservatórios secundários serão utilizados sempre que o principal estiver com nível de água abaixo do normal ou em caso de manutenção do principal.

Uma das vantagens deste sistema automatizado é a possibilidade de manutenção do reservatório principal sem que haja necessidade de interrupção no fornecimento de água, e nos períodos onde há falta de água garantir o fornecimento por um tempo maior (comparando-se com um prédio com apenas um reservatório de distribuição).



Outra vantagem é a possibilidade de detecção de vazamentos. Através do levantamento de curvas históricas de consumo de água poderemos detectar se o consumo mensal está de acordo com os valores históricos padrões e/ou valores previamente estabelecidos.

Em cada reservatório devem existir bóias para indicação do nível de água (*inputs*). De acordo com o nível de cada uma, máximo ou mínimo, devem ser tomadas decisões (*outputs*) a fim de se otimizar o abastecimento.

No projeto elétrico utilizaremos estas entradas e saídas (*inputs/outputs*) para realização do diagrama de comando. No diagrama de força, será representado como os motores estarão ligados à rede elétrica e suas proteções.

Estas entradas e saídas (*inputs/outputs*) do sistema também podem ser utilizadas e controladas através de um Controlador Lógico Programável (CLP). Este CLP será programado utilizando-se da linguagem Ladder, levando-se em consideração o funcionamento do sistema brevemente descrito acima, acrescido de outras funcionalidades.

Como exemplo destas outras funcionalidades temos a restrição do funcionamento da Bomba 1 por 24 horas sempre que esta ligar mais do que um número preestabelecido de vezes, fazendo com que a água utilizada venha do Reservatório Secundário e não mais do Principal. Com este procedimento, evitamos que a água fique parada no Reservatório Secundário durante muitos dias.

Utilizando-se o método de estudo para sistemas dinâmicos a eventos discretos, as redes de Petri, poderemos representar com facilidade todas as relações de causalidade entre processos em situações de seqüencialidade, conflito, concorrência e a sincronização. Como a realização desta simulação poderemos prever conflitos e assim evitar que eles venham a parar o sistema que está sendo automatizado.

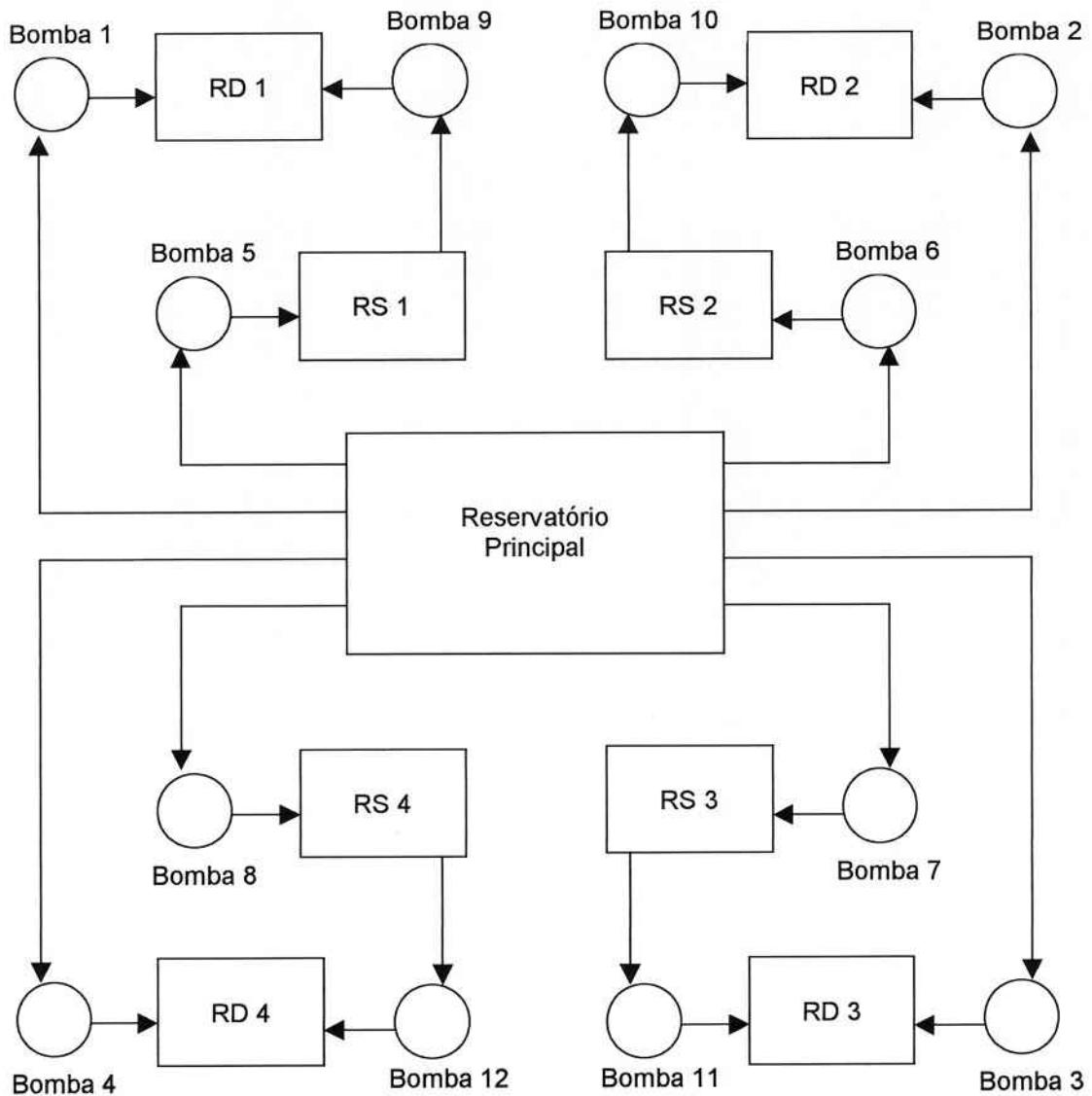


Figura 03: Representação do sistema de bombeamento de água em um condomínio com quatro prédios.



### 3. Projeto Elétrico

#### 3.1. Dimensionamento do conjunto motor-bomba

##### 3.1.1. Dados do condomínio

- Prédios com 15 andares (4 apartamentos por andar);
- Em média temos 5 moradores por apartamento;
- A altura estática de aspiração (altura de sucção) é de 2,5 m;
- A altura estática de recalque é de 40,0 m;
- A perda de carga na aspiração (sucção) mais a altura representativa da velocidade podem ser consideradas equivalentes a 60% da altura de sucção;
- A perda de carga no recalque pode ser considerada como 40% da altura de recalque.
- Em média 3 horas diárias de funcionamento da bomba.

##### 3.1.2. Estimativa do consumo diário de água

Utilizamos a expressão abaixo para determinar a estimativa do consumo diário de água, por edifício do condomínio:

$$CD = C * P$$

onde,

CD é o consumo diário total (l/dia);

C é o consumo diário "per capita" (l/dia);

P é a população do edifício (pessoas).



O valor do consumo diário "per capita" (l/dia) é obtido através da *tabela 02* abaixo:

Edifício	Consumo (l/dia)
alojamento provisório	80 "per capita"
apartamento	200 "per capita"
asilo, orfanato	150 "per capita"
cinema e teatro	2 por lugar
ed. público, com.l ou c/escrit.	50 "per capita"
escola - externato	50 "per capita"
escola - internato	150 "per capita"
escola - semi-internato	100 "per capita"
garagem	50 por automóvel
hospital	250 por leito
hotel (s/ coz. e s/ lav.)	120 por hóspede
jardim	1,5 por m <sup>2</sup> de área
lavanderia	30 por kg de roupa seca
mercado	5 por m <sup>2</sup> de área
quartel	150 "per capita"
residência popular ou rural	120 "per capita"
residência	150 "per capita"
restaurante e similares	25 por refeição

*Tabela 02: consumo diário "per capita" (l/dia) por tipo de edifício.*

Temos então:

$$C = 200 \text{ "per capita" (l/dia)}$$

$$P = 15 * 4 * 5 = 300 \text{ pessoas.}$$

$$\therefore CD = 200 * 300 = 60000 \text{ (l/dia)} = 60 \text{ m}^3/\text{dia.}$$

### 3.1.3. Dimensionamento do sistema de reservação

Podemos dimensionar o sistema de reservação através das seguintes expressões:



$$V_{RD} = 0,4 \cdot CD + V_{CI}$$

$$V_{RS} = 0,6 \cdot CD + V_{CI}$$

$$V_{RP} = CD_T + N \cdot CD_T$$

onde,

$V_{RD}$  é o volume do reservatório de Distribuição;

$V_{RS}$  é o volume do reservatório Secundário;

$V_{RP}$  é o volume do reservatório Principal;

$V_{CI}$  é o volume para combate a incêndio;

$CD$  é o consumo diário total (l/dia);

$CD_T$  é o consumo diário total do condomínio (l/dia);

$N$  é o número de dias seguidos onde ocorre à falta de água (3 dias).

temos então,

$$V_{RD} = 0,4 \cdot 60 + 5 = \mathbf{29 \text{ m}^3} = 29000 \text{ litros}$$

$$V_{RS} = 0,6 \cdot 60 + 5 = \mathbf{41 \text{ m}^3} = 41000 \text{ litros}$$

$$V_{RP} = 240 + 3 \cdot 240 = \mathbf{960 \text{ m}^3} = 960000 \text{ litros}$$

### 3.1.4. Cálculo da vazão de recalque

Utilizamos a expressão abaixo para determinar a vazão de recalque:

$$Q = \frac{CD}{h}$$



onde,

$Q$  é a vazão de recalque ( $m^3/h$ );

$CD$  é o consumo diário total ( $m^3$ );

$h$  é o número de horas de funcionamento da bomba.

Temos então:

$$CD = 200 * 300 = 60000 \text{ (l/dia)} = 60 \text{ m}^3.$$

$$h = 3 \text{ horas.}$$

$$\therefore Q = 20 \text{ m}^3/\text{h.}$$

### 3.1.5. Cálculo da altura manométrica

Utilizamos a expressão abaixo para determinar a altura manométrica ( $H$ ):

$$H = \text{Altura de sucção} + (\text{Perdas na sucção e altura representativa da velocidade}) + \text{Altura de recalque} + \text{Perdas no recalque}$$

Temos então:

$$H = 2,5 + 2,6*0,6 + 40 + 40*0,4 = 60 \text{ m.}$$

### 3.1.6. Especificação da bomba

com  $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $H = 60 \text{ m}$ , no gráfico de quadrículas (*Figura 04*) tem-se:

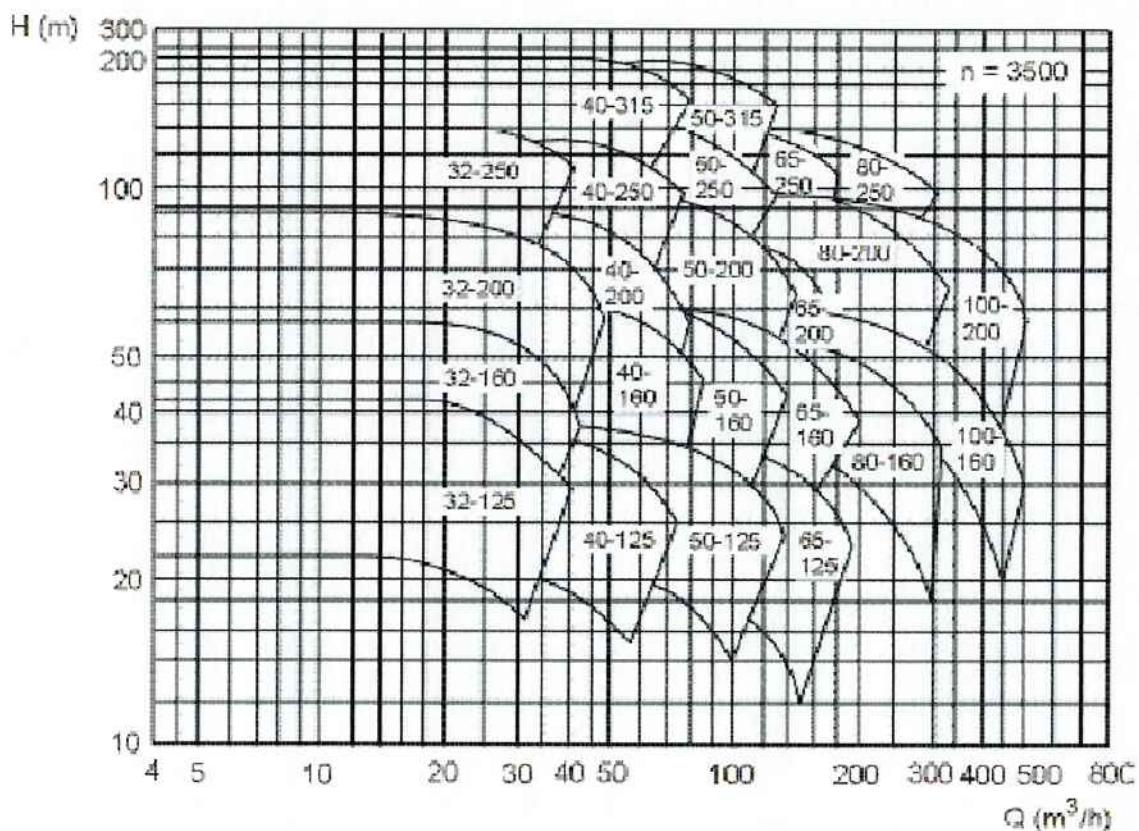


Figura 04: Gráfico de Quadrículas.

A bomba a ser utilizada é a 32-200, onde: 32 mm diâmetro nominal da boca de recalque, e 200 mm família de diâmetros do rotor.

### 3.1.7. Determinação do diâmetro do rotor, da potência do motor que acionará a bomba e rendimento

Examinando-se as curvas características da bomba (32 – 200) da *Figura 05*, tem-se:

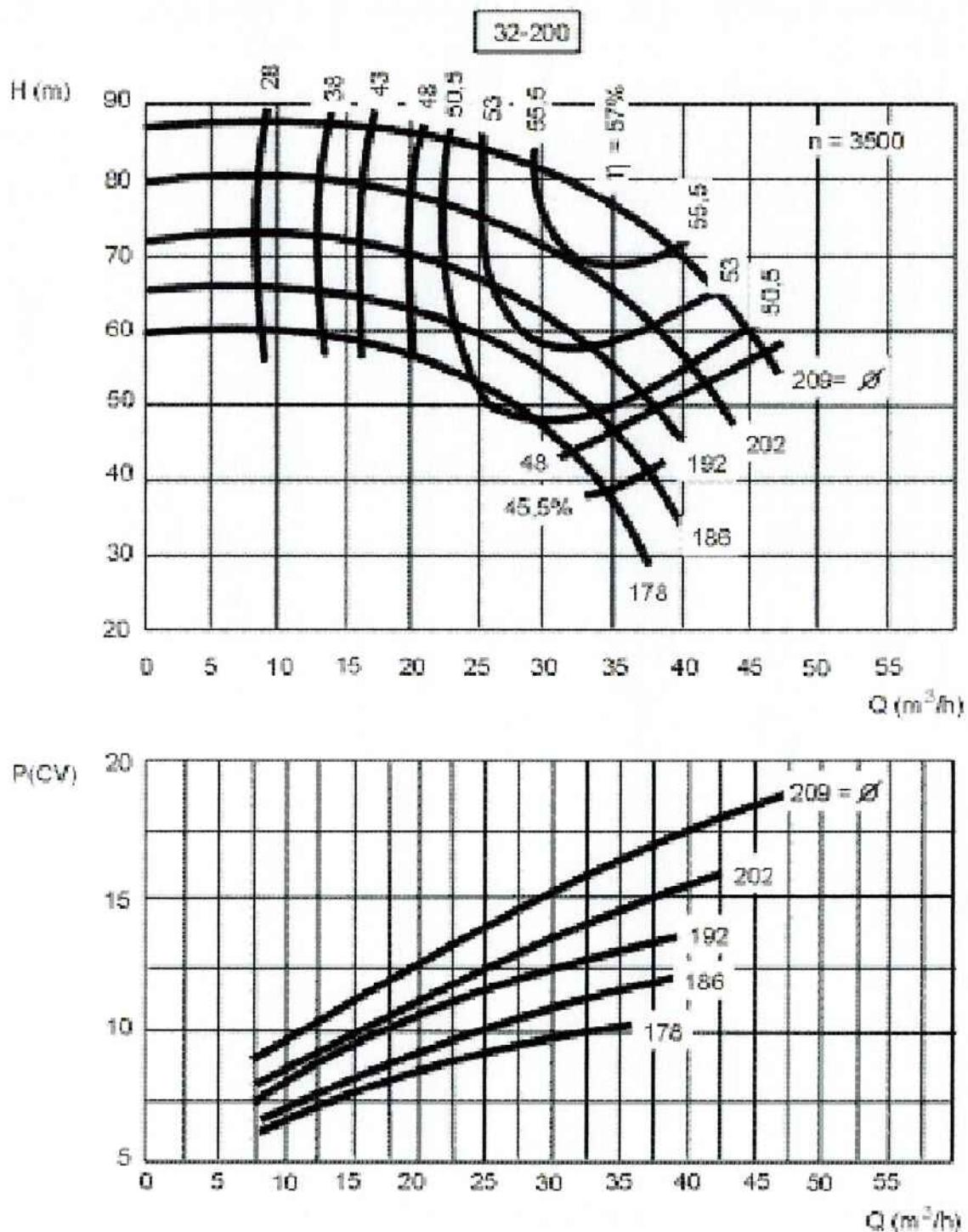


Figura 05: Curvas características de alguns tipos padronizados de bombas.



onde:  $Q$  = vazão

$H$  = altura manométrica

$n$  = número de rotações por minuto

$\eta$  = rendimento

$P$  = potência

$\phi$  = diâmetro do rotor

- ROTOR:  $D = 186$  mm.
- MOTOR:  $P = \sim 10$  CV.
- RENDIMENTO: 48%.

### 3.1.8. Observações

Vale lembrar que cada fabricante de bombas tem curvas características diferentes ( $H \times Q$  ,  $P \times Q$  e  $\eta \times Q$ ), cabendo ao projetista responsável a escolha da bomba que melhor desempenho tenha para a vazão ( $m^3/h$ ) e altura manométrica da instalação.

A bomba do Reservatório Principal (RP) para o Reservatório Secundário (RS), foi estimada como sendo a metade da potência das bombas de recalque, isto porque, para se determinar à potência exata desta bomba teríamos que conhecer a distância entre os dois reservatórios, valor este não conhecido.



### 3.1.9. Ilustração

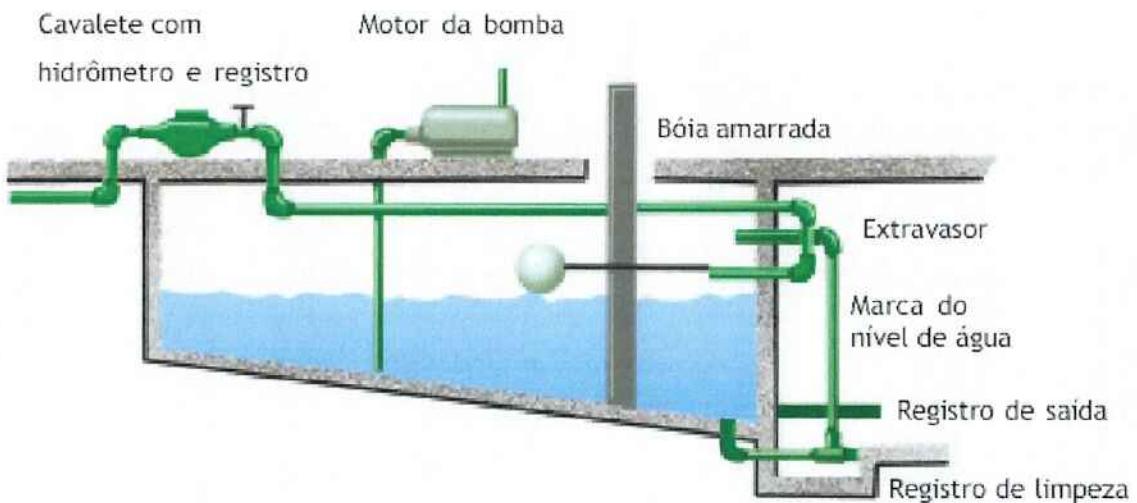


Figura 06: Reservatório

### 3.1.10. Potência das bombas utilizadas

	Prédio 1	Prédio 2	Prédio 3	Prédio 4
Bomba: RP para RD	10 cv	10 cv	10 cv	10 cv
Bomba: RP para RS	5 cv	5 cv	5 cv	5 cv
Bomba: RS para RD	10 cv	10 cv	10 cv	10 cv

Tabela 03: Potência das bombas utilizadas.



## 3.2. Métodos de comando de um motor de indução

Os métodos de comando de um motor de indução são implementados com equipamentos eletromecânicos, elétricos e eletrônicos. Estes equipamentos permitem acelerar (partir) e desacelerar (frenar) o motor de acordo com requisitos impostos pela carga, segurança, concessionárias de energia elétrica, etc.

### 3.2.1. Formas de partida

#### 3.2.1.1. Introdução

A corrente absorvida da rede pelo motor de indução trifásico durante a partida é bastante elevada, podendo atingir mais de 10 vezes a corrente de funcionamento em regime permanente de operação. Isto constitui um fato indesejável, uma vez que a corrente absorvida pelo motor percorre toda a rede de alimentação que deverá ser dimensionada para suportá-la, resultando em necessidade de condutores com maior diâmetro, que serão plenamente requisitados apenas durante o pequeno intervalo de tempo em que o motor está partindo (alguns segundos), onerando o custo da instalação. Essas elevadas correntes de partida também provocam problemas no ajuste da proteção, pois o sistema de proteção deverá, de algum modo, "reconhecer" que a corrente de partida não é uma sobrecarga que deve provocar o desligamento do motor.

Para diminuir o nível da corrente de partida dos motores de indução são utilizados os seguintes métodos de partida:

- Direta.
- Chave estrela / triângulo ( $Y - \Delta$ ).
- Chave série / paralela.



- Chave compensadora.
- Chave eletrônica de partida suave (soft starter).
- Inversor de freqüência.

Analisaremos alguns destes métodos de partida a seguir.

### 3.2.1.2. Partida Direta

A maneira mais simples de partir um motor de indução é a chamada partida direta, aqui o motor é ligado à rede diretamente através de um contator (ver figura 07). Porém, deve-se observar que para este tipo de partida existem restrições de utilização. A corrente de partida de um motor de indução quando ligado diretamente à tensão da rede pode atingir mais de 10 vezes a corrente de funcionamento em regime permanente de operação. Por este motivo, é fundamentalmente para motores de grande porte, a partida direta não é utilizada.

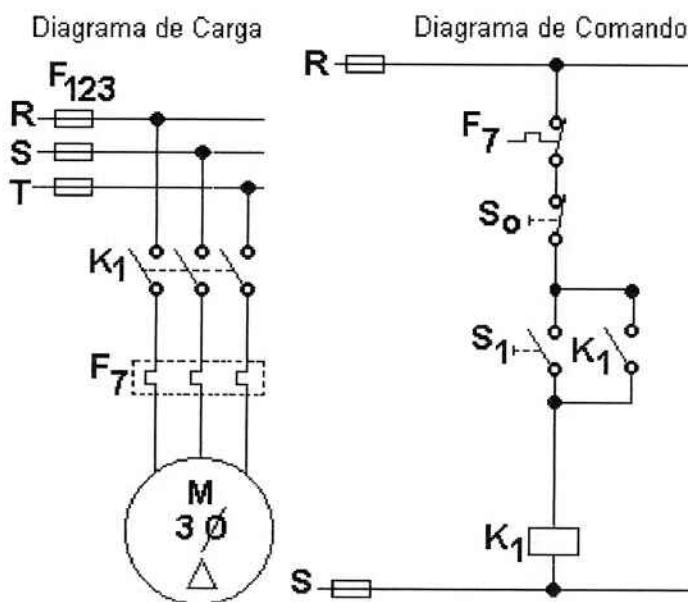


Figura 07: Partida direta.



### 3.2.1.3. Partida chave estrela / triângulo (Y - Δ)

Este tipo de partida só pode ser utilizado em motores que possuam ligação em dupla tensão (por exemplo, 3 x 380 V e 3 x 220 V). A menor tensão deverá ser igual à tensão de rede e a outra 1,73 vezes maior. Esta partida é implementada com três contatores como mostra a *figura 08*. Na partida o motor é ligado na conexão de maior tensão, isto possibilita uma redução de até 1/3 da corrente de partida do motor, como mostra a *figura 09*.

A partida estrela-triângulo poderá ser usada quando a curva de torque do motor for suficientemente elevada para poder garantir a aceleração da máquina com a corrente reduzida, ou seja, o torque resistente da carga não deverá ser superior ao torque do motor quando o motor estiver em estrela.

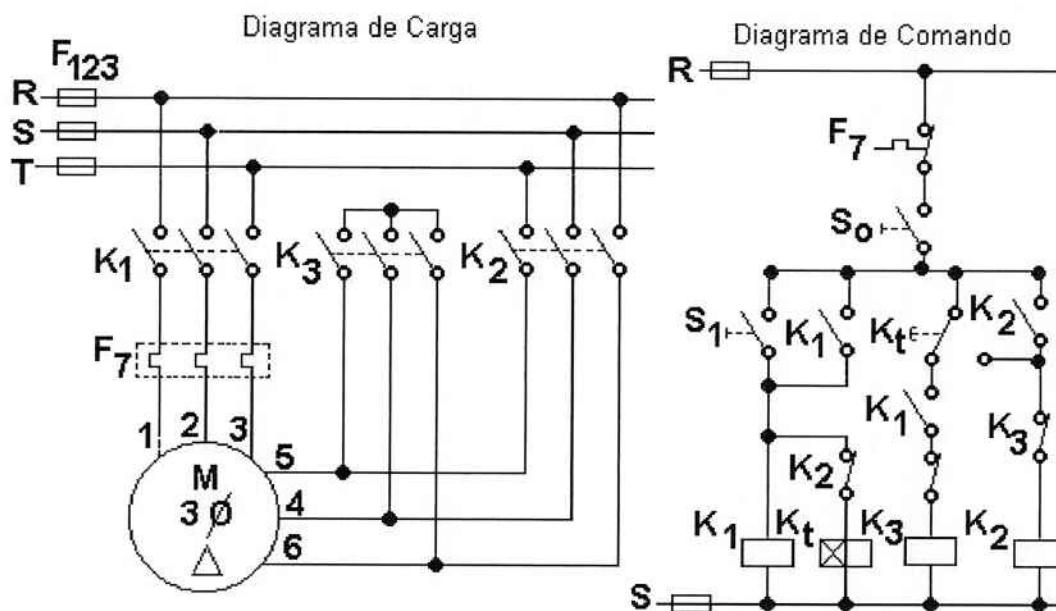


Figura 08: Partida chave estrela / triângulo (Y - Δ)

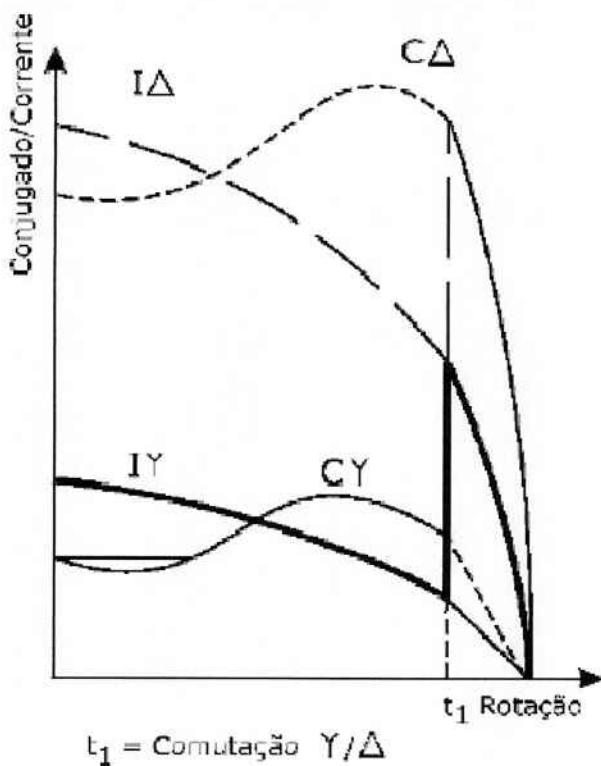


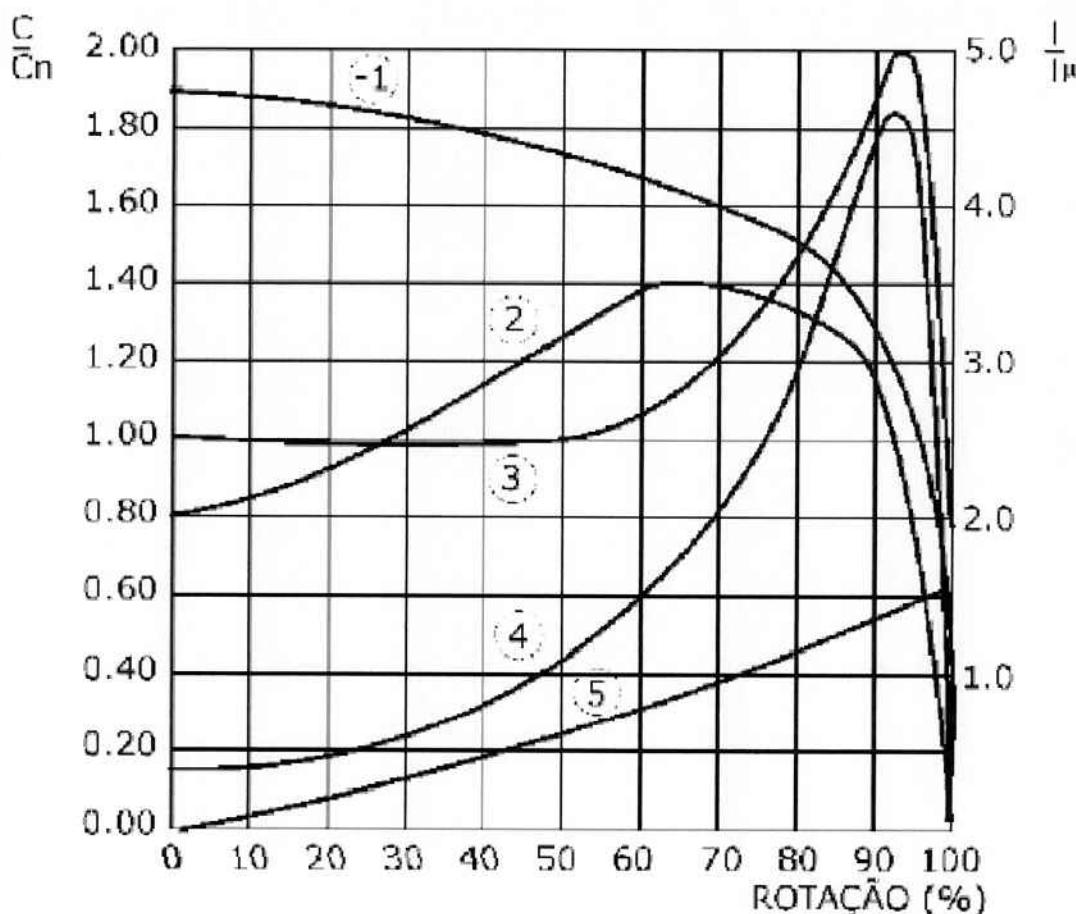
Figura 09: Curva característica de torque e corrente, motor com partida

estrela-triângulo.

#### 3.2.1.4. Chave eletrônica de partida suave (soft starter)

A chave de partida a estado sólido consiste de um conjunto de pares de tiristores (SCR) ou combinações de tiristores / diodos, para cada fase do motor.

O ângulo de disparo de cada par de tiristores é controlado eletronicamente para aplicar uma tensão variável no motor durante a aceleração. Este comportamento é, muitas vezes, chamado de partida suave (soft-starter). No final do período de partida, ajustável conforme a aplicação, a tensão atinge seu valor pleno após uma aceleração suave ou uma rampa ascendente, ao invés de ser submetido à transição brusca, como ocorre com o método de partida por ligação estrela-triângulo. Com isso, consegue-se manter a corrente de partida (ver figura 10) próxima da nominal e com suave variação, como desejado.



- 1 - CORRENTE DE PARTIDA DIRETA
- 2 - CORRENTE DE PARTIDA C/SMART-STARTER
- 3 - CONJUGADO COM PARTIDA DIRETA
- 4 - CONJUGADO COM SMART-STARTER
- 5 - CONJUGADO DA CARGA

Figura 10: Curva característica de torque e corrente, motor com partida suave (soft-starter).

Além da vantagem do controle da corrente durante a partida, a chave eletrônica apresenta, também, a vantagem de não possuir partes móveis ou que gerem arco elétrico, como nas chaves eletromecânicas. Este é um dos pontos fortes das chaves eletrônicas, pois sua vida útil é mais longa, assim como dos componentes acessórios (contatores, fusíveis, cabos, etc.).



Ainda, como um recurso adicional, a soft-starter apresenta a possibilidade de efetuar a desaceleração suave para cargas de baixa inércia.

### 3.2.2. Vantagens e desvantagens dos métodos de partida

- PARTIDA DIRETA

*Vantagens*

- Menor custo de todas.
- Muito simples de implementar.
- Alto torque de partida.

*Desvantagens*

- Alta corrente de partida, provocando queda de tensão na rede de alimentação. Em função disto pode provocar interferência em equipamentos ligados na mesma instalação.
- É necessário sobredimensionar cabos e contatores.
- Limitação do número de manobras / hora.

- ESTRELA-TRIÂNGULO

*Vantagens*

- Custo reduzido.
- A corrente de partida é reduzida a 1/3 quando comparada com a partida direta.
- Não existe limitação do número de manobras / hora.

*Desvantagens*

- Redução do torque de partida a aproximadamente 1/3 do nominal.
- São necessários motores com seis bornes.
- Caso o motor não atingir pelo menos 90% da velocidade nominal, o pico de corrente na comutação de estrela para triângulo é equivalente ao da partida direta.



- Em casos de grande distância entre motor e chave de partida, o custo é levado devido a necessidade de seis cabos.
- **SOFT STARTER**

*Vantagens*

- Corrente de partida próxima à corrente nominal
- Não existe limitação do número de manobras / hora.
- Longa vida útil, pois não possui partes eletromecânicas móveis.
- Torque de partida próximo do torque nominal.
- Pode ser empregada também para desacelerar o motor.

*Desvantagens*

- Maior custo na medida em que a potência do motor é reduzida.

### 3.3. Soft-Starter

#### 3.3.1. Introdução

Com a crescente necessidade na otimização de sistemas e processos industriais, algumas técnicas foram desenvolvidas, principalmente levando-se em consideração conceitos e tendências voltados a automação industrial. Olhando para o passado podemos claramente perceber o quanto estas técnicas tem contribuído para este fim.

Um dos mais claros exemplos são os sistemas de acionamento para motores de indução, largamente utilizado em praticamente todos os segmentos, seja ele residencial ou industrial.

Em particular nós iremos analisar e avaliar, uma técnica que tornou-se muito utilizada na atualidade, as chaves de partida soft-starters.

Estes equipamentos eletrônicos vem assumindo significativamente o lugar de sistemas previamente desenvolvidos, em grande parte representados por sistemas eletromecânicos. Na figura 11 abaixo temos uma comparação entre estes vários sistemas e os que utilizam as soft-starters.

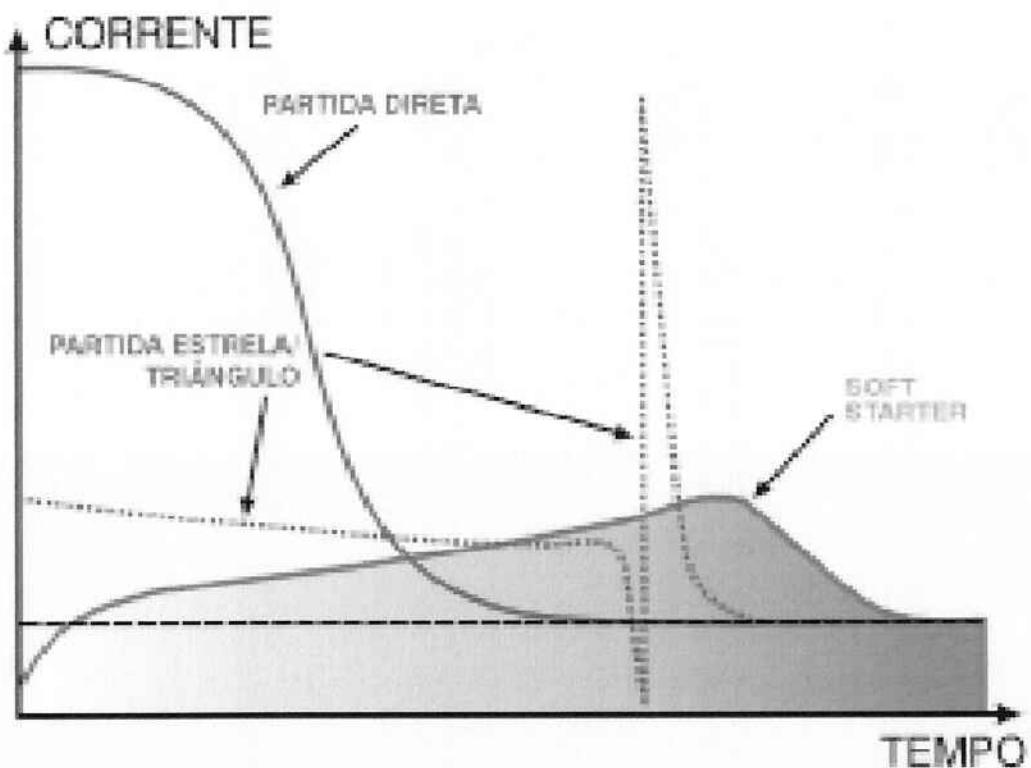


Figura 11: Comparativo entre métodos de partida

### 3.3.2. Princípio de funcionamento

O funcionamento das soft-starters está baseado na utilização de tiristores (SCR's), ou melhor, de uma ponte tiristorizada na configuração anti-paralelo, que é comandada através de uma placa eletrônica de controle, a fim de ajustar a tensão de saída, conforme uma programação feita anteriormente pelo usuário. Esta estrutura é apresentada na *figura 12*.

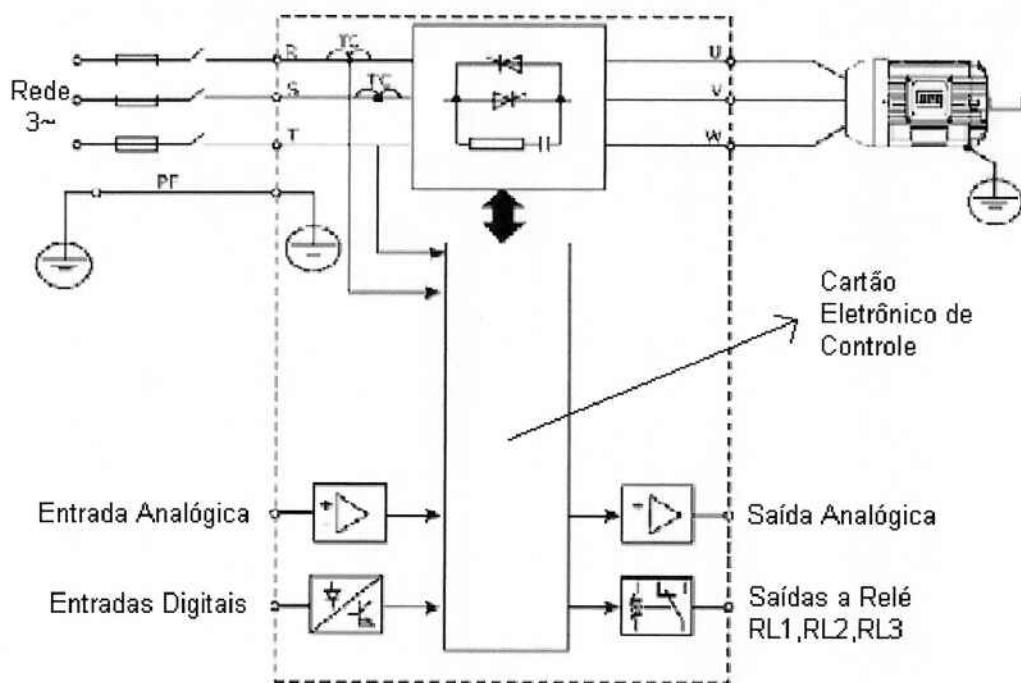


Figura 12: Blocodiagrama simplificado.

Como podemos ver, a soft-starter controla a tensão da rede através do circuito de potência, constituído por seis SCRs, onde variando o ângulo de disparo dos mesmos, variamos o valor eficaz de tensão aplicada ao motor. A seguir faremos uma análise mais atenciosa de cada uma das partes individuais desta estrutura, já que notamos nitidamente que podemos dividir a estrutura acima em duas partes, o circuito de potência e o circuito de controle.

## CIRCUITO DE POTÊNCIA

Este circuito é por onde circula a corrente que é fornecida para o motor. É constituída basicamente pelos SCRs e suas proteções, e os TCs (transformadores de corrente).

- O circuito RC representado no diagrama é conhecido como circuito snubber, e tem como função fazer a proteção dos SCRs contra  $dv/dt$ .
- Os transformadores de corrente fazem a monitoração da corrente de saída permitindo que o controle eletrônico efetue a proteção e



manutenção do valor de corrente em níveis pré-definidos (função limitação de corrente ativada).

## CIRCUITO DE CONTROLE

Onde estão contidos os circuitos responsáveis pelo comando, monitoração e proteção dos componentes do circuito de potência, bem como os circuitos utilizados para comando, sinalização e interface homem-máquina que serão configurados pelo usuário em função da aplicação.

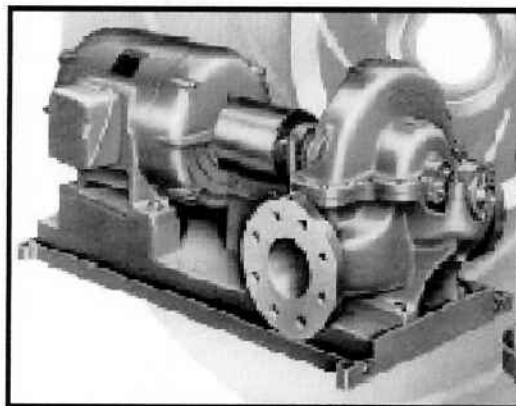
Atualmente a maioria das chaves soft-starters disponíveis no mercado são microprocessadas, sendo assim, totalmente digitais. Alguns fabricantes ainda produzem alguns modelos com controle analógico, mais no sentido de oferecer uma opção mais barata para aplicações onde não sejam necessárias funções mais sofisticadas.

### **3.3.3. Principais aplicações para Soft-Starters**

Nos últimos anos as chaves soft-starters vêm sendo amplamente utilizadas em vários segmentos industriais, destacando-se em algumas aplicações como por exemplo, sistemas de bombeamento, ventiladores, exaustores, misturadores (pulpers), compressores, moinhos, etc.



## BOMBAS CENTRÍFUGAS



*Figura 13: Bomba Centrífuga*

### CARACTERÍSTICAS

- Tipo de conjugado ..... Quadrático
- Momento de inércia ..... Baixo
- Condição de partida.....tipicamente  $I_p/I_n < 3,0$

#### 3.3.4. Acionamentos multi-motores

Quando utilizar-se uma única soft-starter para o acionamento de vários motores (ao mesmo tempo), temos que providenciar a utilização de relés de sobrecarga individuais para cada um dos motores. Não podemos esquecer que neste caso a soft-starter deverá ser dimensionada pela soma das correntes individuais de cada motor.

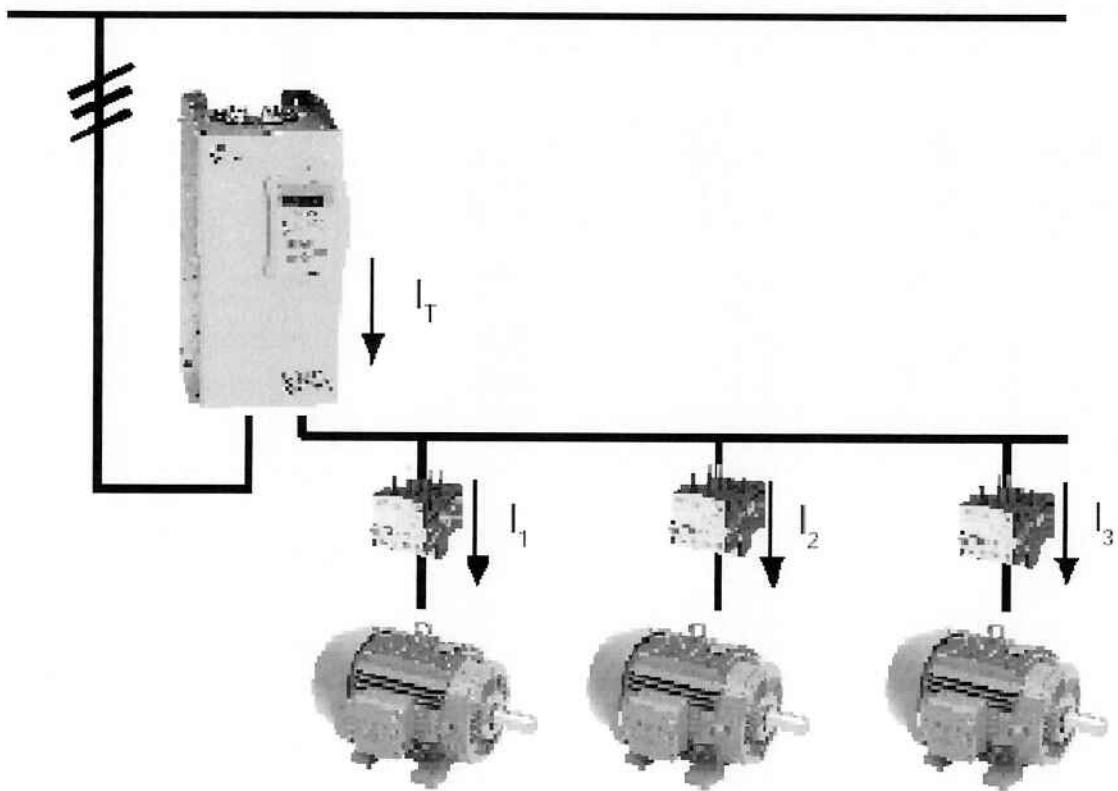


Figura 14: Acionamento multimotor

### 3.3.5. Exemplo Soft-Starter

Podemos citar como exemplo o soft-starter da empresa WEG, modelo SSW-04 (figura 15):



*Figura 15: Soft-Starter WEG (SSW-04)*

### **3.3.5.1. Redes de comunicação “FieldBus”**

A soft-starters SSW-04 pode opcionalmente ser interligado em redes de comunicação rápidas “FieldBus”, através dos protocolos padronizados mais difundidos mundialmente, podendo ser:

- ProfiBus DP
- DeviceNet
- ModBus RTU

Destinadas principalmente a integrar grandes plantas de automação industrial, as redes de comunicação rápidas conferem elevada performance de atuação e grande flexibilidade operacional, características exigidas em aplicações de sistemas complexos e/ou integrados.

A soft-starter SSW-04 pode se interligar as redes de comunicação do tipo “FieldBus” através de Módulos FieldBus WEG, de acordo com o protocolo desejado.

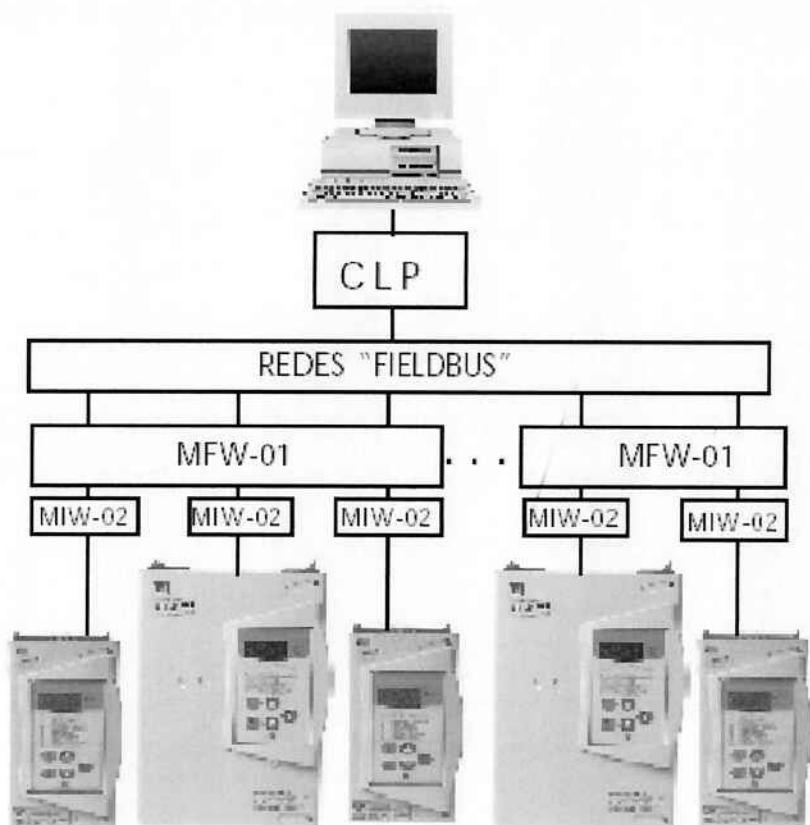


Figura 16: Redes de comunicação “FieldBus”



### 3.3.5.2. Especificação do SSW-04

Tensão da Rede	SOFT-STARTER SSW-04			MOTOR MÁXIMO APLICÁVEL <sup>(1)</sup>				Tamanho	
	Modelo	Inominal (A)		Tensão (V)	Ta=0...40°C <sup>(2)</sup>		Ta=0...55°C <sup>(3)</sup>		
		40°C	55°C		CV	kW	CV	kW	
220 / 230 / 240 / 380 / 400 / 415 / 440 V	16 / 220-440	16	16	220	6	4,4	6	4,4	1
	30 / 220-440	30	27		10	7,5	10	7,5	
	45 / 220-440	45	38		15	11	15	11	
	60 / 220-440	60	52		20	15	20	15	
	85 / 220-440	85	80		30	22	30	22	2
	16 / 220-440	16	16	380	10	7,5	10	7,5	1
	30 / 220-440	30	27		20	15	15	11	
	45 / 220-440	45	38		30	22	25	18,5	
	60 / 220-440	60	52		40	30	30	22	
	85 / 220-440	85	80		60	45	50	37	2
460/480/ 575 V	16 / 460-575	16	16	440	12,5	9,2	12,5	9,2	1
	30 / 460-575	30	27		20	15	20	15	
	45 / 460-575	45	38		30	22	30	22	
	60 / 460-575	60	52		50	37	40	30	
	85 / 460-575	85	80		75	55	60	45	2
	16 / 460-575	16	16	575	15	11	15	11	1
	30 / 460-575	30	27		30	22	25	18,5	
	45 / 460-575	45	38		40	30	40	30	
	60 / 460-575	60	52		60	45	50	37	
	85 / 460-575	85	80		75	55	75	55	2

Tabela 04: Especificação do SSW-04

### 3.4. Diagramas de Força e Comando

#### 3.4.1. Descrição

O funcionamento dos sistemas de abastecimento de água em um condomínio com quatro prédios podem ser dividido em 4 subsistemas, uma vez que os prédios em questão são iguais.

Cada subsistema de abastecimento tem a seguinte configuração:

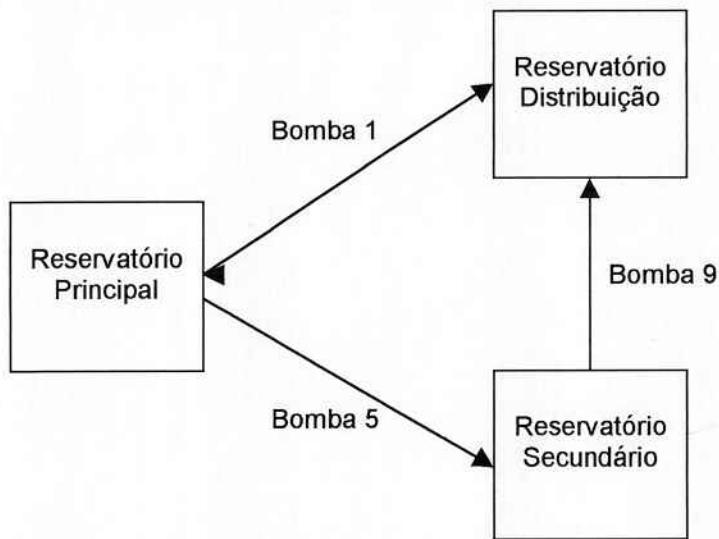


Figura 17: Sistema de abastecimento de água (1 prédio)

As potências das bombas 1, 5 e 9, as quais foram calculadas no *item 4.1*, são:

- Bomba 1 = 10 cv.
- Bomba 5 = 5 cv.
- Bomba 9 = 10 cv.

Os métodos de partida foram analisados no *item 4.2.*, no qual concluímos que a partida com soft-starter (*item 4.3.*) é a mais adequada para o sistema de distribuição de água considerado.

Temos agora que fazer as ligações elétricas das bombas com a rede de distribuição elétrica. Para tanto temos que levar em consideração os seguintes aspectos:

- Dimensionamento da bitola dos condutores.
- Dimensionamento das proteções (Fusível, Contatores e Réles).



### 3.4.2. Dimensionamento das bitolas dos condutores

Para dimensionar a bitolas dos condutores temos que levar em consideração a corrente nominal máxima (corrente de partida) dos motores utilizados.

Através da *Tabela 05* obtemos os valores das correntes nominais máximas de cada motor:

Contadores de potência	Motores trifásicos			Corrente nominal máxima AC-1	Contator "DIAZED, NH	Relé de sobrecarga "	Fusível
	220 V (cv / kW)	380 V (cv / kW)	440 V (cv / kW)				
3RT10 26	—	0,16 / 0,12	0,16 / 0,12	0,5	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-0FB0 0,35 - 0,5 2 - SSB2 11
	—	—	0,25 / 0,18	0,6	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-0GB0 0,45 - 0,63 2 - SSB2 11
	0,16 / 0,12	0,25 / 0,18	0,33 / 0,25	0,7	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-0HB0 0,55 - 0,8 4 - SSB2 21
	—	0,33 / 0,25	—	0,9	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-0JB0 0,7 - 1 4 - SSB2 21
	0,25 / 0,18	0,5 / 0,37	0,5 / 0,37	1,2	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-0KB0 0,9 - 1,25 4 - SSB2 21
	0,33 / 0,25	0,75 / 0,55	0,75 / 0,55	1,6	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-1AB0 1,1 - 1,6 6 - SSB2 31 DU 6 - 3NA2 801
	—	1 / 0,75	1 / 0,75	2	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-1BB0 1,4 - 2 6 - SSB2 31 DU 6 - 3NA2 801
	0,5 / 0,37	—	1,5 / 1,1	2,4	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-1CB0 1,8 - 2,5 10 - SSB2 51 DU 10 - 3NA2 802
	0,75 / 0,55	1,5 / 1,1	2 / 1,5	3	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-1DB0 2,2 - 3,2 10 - SSB2 51 DU 10 - 3NA2 803
	1 / 0,75	2 / 1,5	—	4	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-1EB0 2,8 - 4 16 - SSB2 61 DU 16 - 3NA2 805
3RT10 36	1,5 / 1,1	3 / 2,2	3 / 2,2	5	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-1FB0 3,5 - 5 20 - SSB2 71 DU 20 - 3NA2 807
	—	—	4 / 3	5,6	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-1GB0 4,5 - 6,3 20 - SSB2 71 DU 20 - 3NA2 807
	2 / 1,5	4 / 3	5 / 3,7	7	18	3RT10 15-1A  1	3RU11 16-1HB0 5,5 - 8 20 - SSB2 71 DU 20 - 3NA2 807
	3 / 2,2	5 / 3,7	6 / 4,5	9	22	3RT10 16-1A  1	3RU11 16-1JB0 7 - 10 20 - SSB2 71 DU 20 - 3NA2 807
	4 / 3	6 / 4,5 7,5 / 5,5	7,5 / 5,5	12	22	3RT10 17-1A  1	3RU11 16-1KB0 9 - 12 20 - SSB2 71 DU 20 - 3NA2 807
	5 / 3,7 6 / 4,5	10 / 7,5 12,5 / 9	10 / 7,5 12,5 / 9	16	40	3RT10 25-1A  0	3RU11 26-4AB0 11 - 16 25 - SSB2 81 DU 25 - 3NA2 810
	—	12,5 / 9	15 / 11	19	40	3RT10 26-1A  0	3RU11 26-4BB0 14 - 20 35 - SSB4 11 DU 35 - 3NA2 812
	7,5 / 5,5	—	—	21	40	3RT10 26-1A  0	3RU11 26-4CB0 17 - 22 35 - SSB4 11 DU 35 - 3NA2 812
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
3RT10 65	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
STF69	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—



# ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

## Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas PEA/EPUSP

Relés de sobrecarga	3RU11 26	-	15 / 11	-	25	40	3RT10 26-1A	□□□ 0	3RU11 26-4KB0	20 - 25	35 - 5SB4 11 DU 32 - 3NA3 B12
		10 / 7,5	-	20 / 15	27	50	3RT10 24-1A	□□□ 0	3RU11 36-4EB0	22 - 32	63 - 5SB4 31 DU 63 - 3NA3 B22
3RU11 36	3RU11 36	12,5 / 9	20 / 15	25 / 18,5	32	50	3RT10 34-1A	□□□ 0	3RU11 36-4EB0	22 - 32	63 - 5SB4 31 DU 63 - 3NA3 B22
		15 / 11	25 / 18,5	30 / 22	40	60	3RT10 35-1A	□□□ 0	3RU11 36-4FB0	28 - 40	63 - 5SB4 31 DU 63 - 3NA3 B22
3RB10 66	3RB10 66	-	30 / 22	-	43	55	3RT10 36-1A	□□□ 0	3RU11 36-4GB0	36 - 45	80 - 3NA3 B24
		20 / 15	-	40 / 30	50	55	3RT10 36-1A	□□□ 0	3RU11 36-4HB0	40 - 50	80 - 3NA3 B24
3RB12	3RB12	25 / 18,5	40 / 30	50 / 37	63	100	3RT10 44-1A	□□□ 0	3RU11 46-4JB0	45 - 63	125 - 3NA3 B32
		30 / 22	50 / 37	60 / 45	75	120	3RT10 45-1A	□□□ 0	3RU11 46-4KB0	57 - 75	160 - 3NA3 B36
3RB12	3RB12	-	60 / 45	-	85	120	3RT10 46-1A	□□□ 0	3RU11 46-4LB0	70 - 90	160 - 3NA3 B36
		-	-	75 / 55	90	120	3RT10 46-1A	□□□ 0	3RU11 46-4MB0	80 - 100	160 - 3NA3 B36
3RB12	3RB12	40 / 30 50 / 37	75 / 55	75 / 55	115	160	3RT10 54-1	□□□ 36	3RB10 56-1FG0	50 - 200	200 - 3NA3 140
		50 / 37 60 / 45	100 / 75 125 / 90	100 / 75 125 / 90	150	185	3RT10 55-6	□□□ 36	3RB10 56-1FG0	50 - 200	250 - 3NA3 144
3RB12	3RB12	75 / 55	125 / 90	150 / 110	180	215	3RT10 56-6	□□□ 36	3RB10 56-1FG0	50 - 200	315 - 3NA3 252
		75 / 55	150 / 110	175 / 132	220	275	3RT10 64-6	□□□ 36	3RB10 66-1GG0	55 - 250	400 - 3NA3 260
3RB12	3RB12	100 / 75	175 / 132	200 / 150	260	330	3RT10 65-6	□□□ 36	3RB10 66-1KG0	200 - 540	400 - 3NA3 260
		125 / 90	200 / 150	250 / 185	300	330	3RT10 66-6	□□□ 36	3RB10 66-1KG0	200 - 540	400 - 3NA3 260 DU 500 - 3NA3 365
3RB12	3RB12	150 / 110	250 / 185 270 / 200	270 / 220	400	430	3RT10 75-6	□□□ 36	3RB10 66-1KG0	200 - 540	400 - 3NA3 260 DU 630 - 3NA3 372
		175 / 132 200 / 150	300 / 220 350 / 250	350 / 250 400 / 300	500	610	3RT10 76-6	□□□ 36	3RB10 66-1KG0	200 - 540	500 - 3NA3 365 DU 630 - 3NA3 372
3RB12	3RB12	200 / 185	400 / 300	450 / 335	630	700	3TF68 44-0	□□□ 7	3RB10 66-1LG0	300 - 630	500 - 3NA3 365 DU 800 - 3NA3 475
		270 / 200	450 / 335	500 / 375	750	910	3TF69 44-0	□□□ 7	3RB12 62-0	200 - 820	630 - 3NA3 372 DU 1250 - 3NA3 482
3RB12	3RB12	300 / 220	500 / 375	550 / 400	750	910	3TF69 44-0	□□□ 7	3RB12 62-0	200 - 820	630 - 3NA3 372 DU 1250 - 3NA3 482
		350 / 250	550 / 400	600 / 450	820	910	3TF69 44-0	□□□ 7	3RB12 62-0	200 - 820	630 - 3NA3 372 DU 1250 - 3NA3 482

*Tabela 05: Contatores de potência 3RT10, 3TF6 – Relés de sobrecarga 3RU11, 3RB10, 3RB12 (Siemens)*

- Motor de 10 cv em 220 V : 27 A.
- Motor de 5 cv em 220 V : 16 A.

O condutor escolhido para ser utilizado é o Cabo Pirastic Flex da Pirelli com instalação em eletroduto em canaleta fechada (B1), com 3 condutores carregados.

A seção nominal do condutor (mm<sup>2</sup>) é então determinada através da *Tabela 06:*



Seções nominais (mm <sup>2</sup> )	MÉTODOS DE INSTALAÇÃO DEFINIDOS NA TABELA 1											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1000	767	679	698	618	1012	906	827	738	1125	996	792	652

**Tabela 06:** Capacidade de condução de corrente, fios e cabos isolados em termoplástico, condutor de cobre.

- Motor 10 cv.: 6 mm<sup>2</sup>
- Motor 5 cv.: 4 mm<sup>2</sup>
- Conjunto: 10 mm<sup>2</sup>

### 3.4.3. Dimensionamento das proteções

A proteções (Fusível, Contatores e Réles) são também determinadas através da tabela 05, da Siemens:

Motor 10 cv.:

- Contator DIAZED, NH : 3RT10 34-1AN10
- Relé de Sobrecarga: 3RU11 36-4EB0 (Faixa de ajuste: 22-32A)



- Fusível: 63 - 5SB4 31 ou 63 -3NA3 822

Motor 5 cv.:

- Contator DIAZED, NH : 3RT10 25-1AN10
- Relé de Sobrecarga: 3RU11 26-4AB0 (Faixa de ajuste: 11-16A)
- Fusível: 25 - 5SB2 31 ou 25 -3NA3 810

Conjunto.:

- Contator DIAZED, NH : 3RT10 36-1AN10
- Relé de Sobrecarga: 3RU11 36-4HB0 (Faixa de ajuste: 40-50A)
- Fusível: 80 - 3NA3 824

#### 3.4.4. Intertravamento

Temos como condições de intertravamento do sistema o não acionamento de mais de um motor ao mesmo tempo.

Vale lembrar que este sistema será implementado quando automatizarmos o sistema de bombeamento de água utilizando o CLP.

#### 3.4.5. Observações

- Primeiramente desenhamos os diagramas de força e comando com partida direta. Tomando estes diagramas como base, implementamos os desenhos com a partida soft-starter (*desenho segue em anexo*).
- Os diagramas de comando e força são os mesmos para os 4 prédios, uma vez que estamos considerando os prédios do condomínio iguais.



### 3.4.6. Seqüência de partida com soft-starter

A seqüência de partida com a utilização do soft-starter segue abaixo, vale lembrar que todos os contadores envolvidos na partida estão inicialmente abertos:

#### Motor 1 (10cv)

- Liga C5
- Liga C1
- Abre C5 e liga C2
- Abre C1

#### Motor 5 (5cv)

- Liga C6
- Liga C1
- Abre C6 e liga C3
- Abre C1

#### Motor 9 (10cv)

- Liga C7
- Liga C1
- Abre C7 e liga C4
- Abre C1



## 4. Consumo de água

Os desperdícios de água bem como a falta de reparos nos vazamentos existentes são responsáveis por uma parcela significativa do consumo de água, além de um maior consumo de energia elétrica para o conjunto moto-bomba. Isto, sem dúvida, acarreta uma maior despesa com a conta de água e de energia elétrica do condomínio. Desperdiçar água significa também, desperdiçar mais energia nas estações de tratamento e bombeamento de água do Estado.

### 4.1. Identificação de vazamentos

Os visíveis são de fácil identificação, e ocorrem com maior freqüência no extravasor (ladrão) da caixa d'água em consequência do mau funcionamento da bóia, nos registros de torneiras, nos chuveiros e nos bidês.

Entretanto, o mesmo não acontece com os vazamentos não visíveis que podem ser de difícil identificação e ocorrem nos reservatórios inferiores e vasos sanitários.

A seguir apresentamos dois testes práticos para a identificação de vazamentos não visíveis.

#### 4.1.1. Teste em reservatório no subsolo

A ordem de execução é a seguinte:

- a) Abrir o registro do cavalete, girando o volante ou a asa do registro no sentido anti-horário.
- b) Fechar o registro de limpeza e saída do reservatório, girando o volante do registro no sentido horário.



- c) Fechar a bóia, amarrando-a com um barbante e não permitindo a entrada de água.
- d) Desligar a bomba de recalque, não permitindo a saída de água para o reservatório superior.

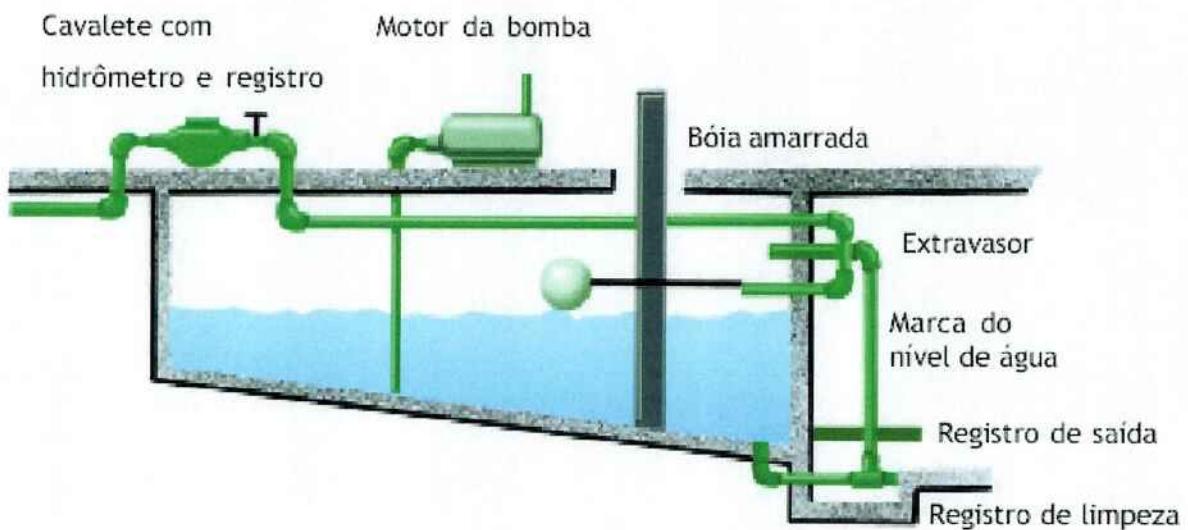


Figura 18: Reservatório

- e) Marcar o nível de água do reservatório, introduzindo um pedaço de madeira até o fundo do reservatório, retirando-o em seguida e marcando o nível de água na madeira com o auxilio de giz ou caneta.
- f) Aguardar pelo menos duas horas, dependendo do tamanho do reservatório.
- g) Tornar a marcar o nível, repetindo o item e.

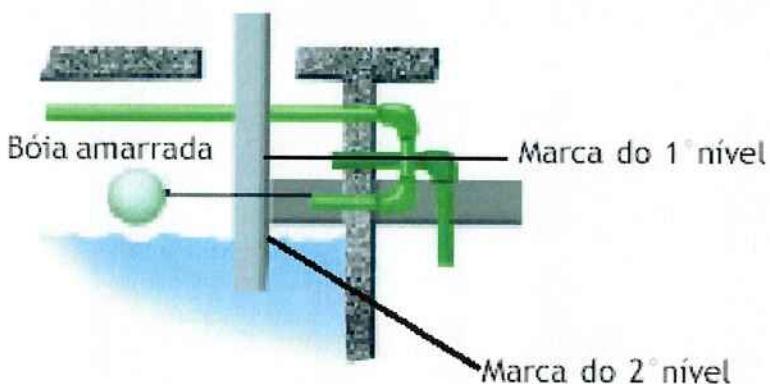


Figura 19: Detalhe do reservatório

**Resultado do teste:** o nível abaixou

**Conclusão:** há vazamento no reservatório

**Prováveis causas:** Registro de limpeza ou de saída com defeitos, ou trinca no reservatório.

### 4.1.2. Teste em vaso sanitário

Apesar de existirem outros métodos para verificação de vazamentos, explicaremos o mais prático e válido para qualquer tipo de vaso sanitário.

A ordem de execução do teste é a seguinte:

- a) Acionar a descarga
- b) Marcar o nível d'água dentro do vaso sanitário, riscando a parede interna do mesmo com o auxílio de um giz e bem próximo ao nível d'água.
- c) Retirar um pouco d'água de dentro do vaso sanitário com auxílio de um copo plástico (retirar 3 a 4 copos).
- d) Não acionar a descarga
- e) Aguardar 15 minutos.



f) Verificar o vaso sanitário, observando se o nível d'água subiu até a marca do giz.



Figura 20: Teste do vaso sanitário

**Resultado do teste:** a água voltou ao nível marcado

**Conclusão:** há vazamentos

**Prováveis causas:** defeito na válvula de descarga, ou, se houver, na caixa de descarga.

#### 4.2. Perdas por vazamentos de água

Segue abaixo tabela com o desperdício de água em uma torneira mal fechada ou com vazamento:

DESPERDÍCIO DA ÁGUA		
CONDIÇÕES	MÉDIA DIÁRIA	MÉDIA MENSAL
 GOTEJANDO	46 litros	1380 litros OU 1,38 m <sup>3</sup>
 ABERTURA DE 1mm	2.068 litros	62.040 litros OU 62,04 m <sup>3</sup>
 ABERTURA DE 2mm	4.512 litros	135.360 litros OU 135,36 m <sup>3</sup>
 ABERTURA DE 6mm	16.400 litros	492.000 litros OU 492,00 m <sup>3</sup>
 ABERTURA DE 9mm	25.400 litros	762.000 litros OU 762,00 m <sup>3</sup>
 ABERTURA DE 12mm	33.984 litros	1.019.520 litros OU 1.019,52 m <sup>3</sup>

Tabela 07: Desperdício de água

#### 4.3. Reflexos dos vazamentos no consumo de água e energia elétrica

No condomínio residencial considerado, cada prédio tem 15 andares, com 4 apartamentos por andar e apresenta, em condições normais, isto é, sem



existência de vazamento, um consumo mensal em torno de 1.800.000 litros ( $1.800\text{m}^3$ ).

O motor da bomba de recalque possui uma potência de 10 HP e permite vazão máxima de 20.000 litros/hora ( $20\text{ m}^3/\text{hora}$ ).

Desejamos saber qual o consumo mensal de energia elétrica e de água em condições normais (sem vazamento) e qual será o acréscimo no consumo mensal de energia elétrica e água com a presença de vazamento nas instalações hidráulicas.

### 4.3.1. Condições normais, sem vazamento

Inicialmente devemos saber o número de horas que o motor da bomba trabalha mensalmente e, para isso, basta dividirmos o consumo mensal de água do prédio ( $1800\text{ m}^3/\text{mês}$ ) pela máxima vazão da bomba de recalque.

Então temos,

$$\text{Tempo de operação da bomba} = \frac{1800\text{ m}^3/\text{mês}}{20\text{ m}^3/\text{hora}} = 90\text{ horas/mês}$$

Antes de calcularmos o consumo de energia elétrica devemos transformar a potência (HP) do motor em Watts. Como 1 HP equivale a aproximadamente 746 Watts, 10 HP equivalerão 7460 Watts.

O consumo mensal de energia elétrica será:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Potência do motor} * \text{Tempo de operação mensal}}{1000}$$

$$\text{Consumo} = \frac{7460\text{ Watts} * 90\text{ horas/mês}}{1000}$$

$$\text{Consumo} = 671,4\text{ kWh/mês}$$



## 4.3.2. Condições anormais, existência de vazamentos

Se, por falta de reparos, um dos prédios começar a apresentar duas torneiras com goteira e quatro vazos sanitários com vazamento de abertura de 1 milímetro, o desperdício de água e de energia elétrica será:

- **Desperdício de água**

Pela tabela de vazamento de água, podemos observar que uma torneira gotejando representa um consumo mensal de 1380 litros e que um vazamento de abertura de 1 milímetro representa um consumo mensal 62.040 litros.

Portanto, o desperdício de água mensal será:

$$2 \text{ torneiras} \times 1.380 \text{ litros / mês} = 2.760 \text{ litros / mês}$$

$$4 \text{ vasos sanitários} \times 62.040 \text{ litros / mês} = 248.160 \text{ litros / mês}$$

$$\text{Total} = 250.920 \text{ litros / mês} = 250,92 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Logo teremos,

$$\text{Acréscimo na conta de água} = \text{Água desperdiçada (m}^3\text{)} * \text{Tarifa (R\$ / m}^3\text{)}$$

✓ Tarifa = 8,26 R\$/ m<sup>3</sup> (Sabesp – Residencial – acima de 50 m<sup>3</sup>)

$$\text{Acréscimo na conta de água} = 250,92 * 8,26 = \text{R\$ 2.072,60}$$



- **Desperdício de energia elétrica**

Para um desperdício mensal de 250.920 litros (250,92m<sup>3</sup>) e considerando que a vazão da bomba é de 20.000 litros / hora (20 m<sup>3</sup>/h) o acréscimo de operação do motor da bomba será:

$$\text{Acréscimo no tempo de operação do motor} = \frac{250,92 \text{ m}^3 / \text{mês}}{20 \text{ m}^3 / \text{hora}} = 12,546 \text{ hs/mês}$$

Portanto, o acréscimo de energia elétrica será:

$$\text{Acréscimo no consumo de energia elétrica} = \frac{7460 \text{ Watts} * 12,546 \text{ hs/mês}}{1000}$$

$$\text{Acréscimo no consumo de energia elétrica} = 93,59 \text{ kWh / mês}$$

E o acréscimo na conta de energia elétrica do condomínio será:

$$\text{Acréscimo na conta de energia elétrica} = 93,59 \text{ kWh} * \text{Tarifa (R$/MWh)}$$

- ✓ Tarifa Convencional = 246,15 R\$/MWh (*Eletropaulo*)

Logo temos,

$$\text{Acréscimo na conta de energia elétrica} = \textbf{R\$ 23,04}$$

### 4.3.3. Conclusão

- Sem vazamento (*por prédio*):

Consumo de água (m <sup>3</sup> )	Total (R\$)	Consumo de energia (kWh)	Total (R\$)	Total mensal (R\$)
1.800,00	14.868,00	671,40	165,27	<b>15.033,27</b>



- Com vazamento (*por prédio*):

Consumo de água (m <sup>3</sup> )	Total (R\$)	Consumo de energia (kWh)	Total (R\$)	Total mensal (R\$)
1.800,00	14.868,00	671,40	165,27	<b>15.033,27</b>
250,92	2.072,60	93,59	23,04	<b>2.095,64</b>
2.050,92	16.940,60	764,99	188,31	<b>17.128,91</b>

Considerando que os 4 prédios do condomínio apresentem os mesmos vazamentos temos que a falta de reparo nos vazamentos citados ocasionam um acréscimo no consumo de água de 250,92 m<sup>3</sup> / mês (por prédio) e um acréscimo no consumo de energia elétrica de 93,59 kWh / mês (por prédio), ou seja, um acréscimo no consumo de água e de energia elétrica do condomínio da ordem de 14% / mês ou **R\$ 8.382,56 / mês (R\$ 2.095,64 / mês por prédio)**.

## 4.4. Detecção de grandes vazamentos

Através do exemplo acima pudemos perceber a importância da detecção e prevenção de vazamentos uma vez que estamos desperdiçando duplamente: a água e energia elétrica.

Diferentemente do que no caso acima, onde analisamos pequenos vazamentos, os grandes vazamentos são, em geral, facilmente detectados visto que o aumento no consumo de água é rapidamente percebido pelo síndico do condomínio. Dependendo do tipo de vazamento a sua detecção pode demorar dias e em alguns casos até meses.

Propomos então através da automação do sistema de bombeamento de água a detecção de grandes vazamentos com maior rapidez, evitando então o desperdício de água e energia elétrica e maior economia para os condôminos.

### 4.4.1. Condições normais, sem vazamento

Como visto no item anterior temos (*por prédio*):



Consumo de energia elétrica = 671,4 kWh/mês

Consumo de água = 1.800 m<sup>3</sup>

#### 4.4.2. Condições anormais, existência de grandes vazamentos

Se, um dos prédios começar a apresentar vazamento em uma de suas tubulações com abertura aproximada de 6 milímetros, o desperdício de água e de energia elétrica será:

- **Desperdício de água**

Um vazamento em uma das tubulações de abertura de 6 milímetros representa um consumo mensal 492.000 litros (492,0 m<sup>3</sup>).

Portanto, o desperdício de água mensal será:

Acréscimo na conta de água = 492,0 \* 8,26 = **R\$ 4.063,92**

- **Desperdício de energia elétrica**

Para um desperdício mensal de 492,0 m<sup>3</sup> e considerando que a vazão da bomba é de 20.000 litros / hora (20 m<sup>3</sup>/h) o acréscimo de operação do motor da bomba será:

Acréscimo no tempo de operação do motor =  $\frac{492 \text{ m}^3 / \text{mês}}{20 \text{ m}^3 / \text{hora}} = 24,6 \text{ horas/mês}$

Portanto, o acréscimo de energia elétrica será:

Acréscimo no consumo de energia elétrica =  $\frac{7460 \text{ Watts} * 24,6 \text{ horas/mês}}{1000}$



Acréscimo no consumo de energia elétrica = 183,52 kWh / mês

E o acréscimo na conta de energia elétrica do condomínio será:

Acréscimo na conta de energia elétrica =  $0,24615 * 183,52 = \text{R\$ } 45,17$

#### 4.4.3. Conclusão

- Sem vazamento (*por prédio*):

Consumo de água (m <sup>3</sup> )	Total (R\$)	Consumo de energia (kWh)	Total (R\$)	Total mensal (R\$)
1.800,00	14.868,00	671,40	165,27	<b>15.033,27</b>

- Com vazamento (*por prédio*):

Consumo de água (m <sup>3</sup> )	Total (R\$)	Consumo de energia (kWh)	Total (R\$)	Total mensal (R\$)
1.800,00	14.868,00	671,40	165,27	<b>15.033,27</b>
492,00	4.063,92	183,52	45,17	<b>4.109,09</b>
2.292,00	18.931,92	854,92	210,44	<b>19.142,36</b>

Considerando que apenas 1 dos prédios do condomínio apresente o vazamento, temos um acréscimo no consumo de água de 492,0 m<sup>3</sup> / mês e um acréscimo no consumo de energia elétrica de 183,52 kWh / mês, ou seja, um acréscimo no consumo de água e de energia elétrica do condomínio da ordem de 6,83% / mês ou **R\$ 4.109,09 / mês**.



## 5. Redes de Petri

O conceito de Redes de Petri (RP) foi introduzido por *Carl Adam Petri* em sua tese de doutorado (1962), como ferramenta para descrever relações entre condições e eventos. Embora ocorresse uma ampla divulgação acadêmica ao longo de três décadas, o seu potencial só foi reconhecido na metade da década dos anos oitenta, onde esta teoria foi usada para implementações práticas na área de informática e de manufatura devido à disponibilidade de novos recursos de "hardware e software".

As Redes de Petri são uma ferramenta matemática e gráfica que oferece um ambiente uniforme para modelar, analisar e projetar sistemas a eventos discretos.

A representação gráfica de uma estrutura de RP consiste de elementos conectados por segmentos orientados de ligação chamados arcos. Existem dois tipos de elementos, *lugares* (P) representados por círculos e *transições* (T) representadas por barras. Os arcos são representados por setas, e conectam de forma alternada *lugares* a *transições* e vice-versa (representam uma relação de fluxo). Uma RP é um multigrafo, já que permite múltiplos arcos de um elemento do grafo até outro. É bipartido, já que os elementos do grafo são partitionados em dois conjuntos (*lugares* e *transições*) e os arcos conectam, elementos de diferentes conjuntos. É direcionado, já que os arcos são orientados. O número de *lugares* e *transições* é finito e não nulo.

### 5.1. Estrutura de uma Rede de Petri

Uma estrutura de rede de Petri pode ser definida formalmente como uma quádrupla  $(P, T, I, O)$  onde:



- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  é o conjunto de *lugares* da rede, onde  $m \in \mathbb{N}$  é o número total de *lugares* da rede.
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  é o conjunto de *transições*,  $n \in \mathbb{N}$  é o número de *transições* da rede.
- $I:(P,T)$  é a função que define os arcos de entrada em relação às *transições*. Se  $I(p_j, t_i) = k$ , existem  $k \in \mathbb{N}$  arcos orientados do *lugar*  $p_j$  para a *transição*  $t_i$ , e quando  $I(p_j, t_i) = 0$ , não existe arco orientado do *lugar*  $p_j$  para a *transição*  $t_i$ .
- $O:(T,P)$  é a função que define os arcos de saída em relação às *transições*.

Na representação gráfica a existência de múltiplos arcos conectando *lugares* e *transições*, pode ser realizada de forma compacta por um único arco rotulado com seu peso ou multiplicidade  $k$  (vide *figura 21*).

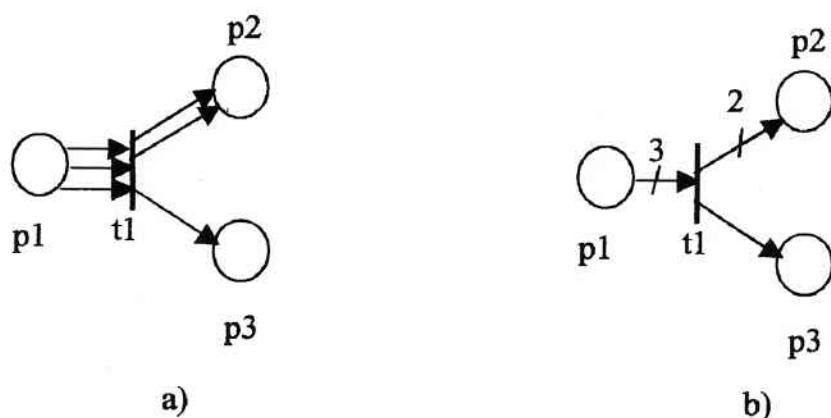


Figura 21: a) Arcos múltiplos. b) Representação compacta.



## 5.2. Marcação de uma Rede de Petri

Uma RP com marcas em seus *lugares* é chamada de Rede de Petri. Marcada RP=(P,T,I,O,Mo), onde Mo é a marcação inicial. Graficamente estas marcas são modeladas por pontos pretos no interior dos *lugares*. Uma distribuição particular das marcas nos *lugares* da rede representa um estado do sistema.

$M = (M(p_1), M(p_2), \dots, M(p_m))$  onde  $m \in N$  é o número total de *lugares*.

$M(p_i)$  é o número de marcas do *lugar*  $p_i$  ( $M(p_i) \in N$ ).

A evolução da marcação (de acordo com regras de disparo de *transições*) simula o comportamento dinâmico do sistema.

O disparo de uma *transição* na RP corresponde a ocorrência de um evento que altera o estado do sistema, isto é, altera a marcação atual ( $M_i$  para uma nova marcação ( $M_{i+1}$ )). Uma *transição* ( $t_i \in T$ ) fica habilitada para disparar se e somente se cada *lugar* de entrada  $p_j$  (tal que  $I(p_j, t_i) > 0$ ) contém pelo menos um número de marcas igual ao peso do arco ( $p_j, t_i$ ), ou seja:  $M(p_j) \geq I(p_j, t_i)$  para qualquer *lugar*  $p_j \in P$ .

O disparo de uma *transição*  $t_i$  habilitada remove de cada *lugar* de entrada  $p_j$  um número de marcas igual ao peso do arco  $I(p_j, t_i)$  que conecta  $p_j$  a  $t_i$ . Depositando, também, em cada *lugar* de saída  $p_q$  um número de marcas igual ao peso do arco  $O(t_i, p_q)$  que conecta  $t_i$  a  $p_q$ . A figura 22 ilustra a alteração da marcação após o disparo de uma *transição*.

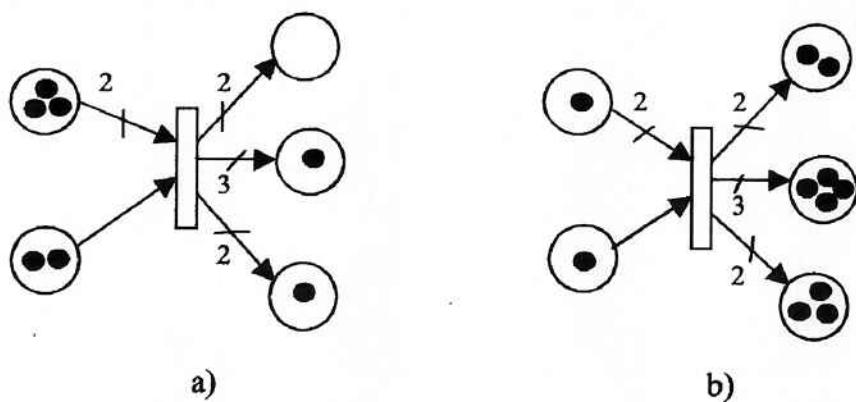


Figura 22: a) Transição habilitada. b) Marcação após o disparo.

Um exemplo da representação gráfica de uma rede de Petri é dada pela figura 23.

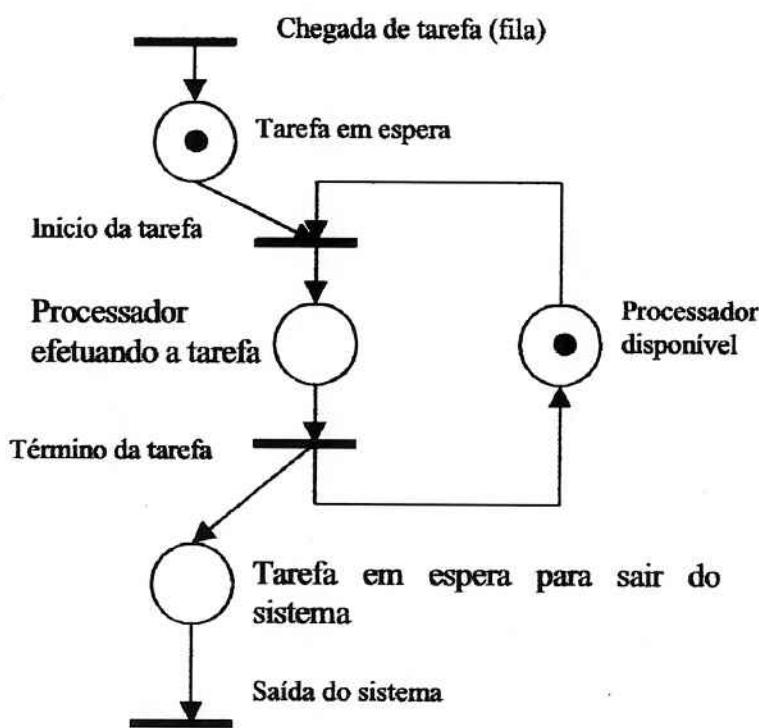


Figura 23: Modelo simples de um sistema computacional



Na figura 23 é apresentado o modelo simples de um sistema computacional. Na marcação inicial, pode-se observar que uma tarefa se encontra em espera, e o processador está disponível o qual habilita a *transição* início de tarefa. Assim ao aplicar a regra de disparo para este modelo permite-se observar seu comportamento dinâmico.

### 5.3. Propriedades das Redes de Petri

As redes de Petri possuem algumas propriedades que são úteis para a análise estrutural e comportamental do sistema em estudo. As principais propriedades destas redes são:

- **CONSISTÊNCIA:** existe uma marcação inicial  $M_0$  e uma seqüência de disparos  $\sigma$  de tal forma que partindo-se de  $M_0$  retoma-se novamente a  $M_0$  onde todas as *transições* ocorrem pelo menos uma vez em  $\sigma$ .
- **CONSERVATIVIDADE:** para qualquer marcação  $M$  da rede, a soma das marcas é constante.
- **LIMITABILIDADE:** corresponde à verificação se uma rede é limitada ou não, para o número de marcas, a partir de uma dada marcação inicial.
- **SEGURANÇA:** esta propriedade é uma especificação da propriedade anterior. Neste caso, uma rede é dita segura quando ela é 1-limitado, isto é, o número de marcas contidas em qualquer *lugar* é sempre 0 ou 1.
- **VIVACIDADE:** indica se uma rede é viva ou não, é dizer, se para uma dada marcação inicial, existe para cada *transição*, uma seqüência legal de disparos que leva a uma marcação no qual aquela *transição* seja habilitada. Esta propriedade é importante para a verificação da existência do estado de *deadlock* no sistema.



- **REVERSIBILIDADE:** Uma rede de Petri é dita reversível, se a partir de uma marcação qualquer (estado qualquer) ela pode retomar à marcação inicial (estado inicial do sistema).

## 5.4 Métodos de verificação de uma Rede de Petri

Uma vantagem de aplicar RP ao estudo de sistemas a eventos discretos é a sua capacidade de formalização matemática para verificação das propriedades de um sistema modelado. A verificação destas propriedades é implementada através de 4 métodos:

1. **GERAÇÃO DA ARVORE E GRAFO DE ALCANÇABILIDADE:** este método envolve a enumeração de todas as marcações possíveis ou alcançáveis a partir da marcação inicial  $M_0$ , a qual é a raiz da árvore. Cada nó representa uma marcação alcançável e cada arco representa o disparo de uma transição. A figura 24 apresenta uma Rede de Petri e sua árvore de alcançabilidade.

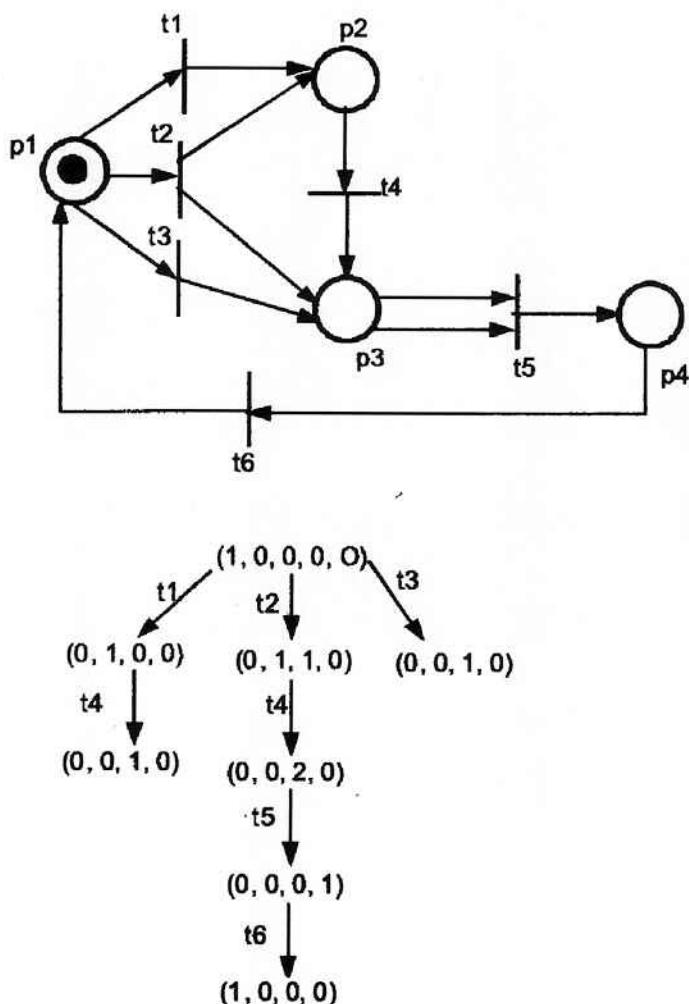


Figura 24: Exemplo de rede de Petri e sua respectiva árvore de alcançabilidade.

Um grande número de propriedades podem ser estudadas utilizando este método, entretanto, por ser um método exaustivo, torna-se pouco efetivo para a análise de redes com um número considerável de *lugares* e *transições*.

2. ANALISE DA EQUAÇÃO DE ESTADO: para este método, o comportamento dos sistemas em estudo, pode ser representado através de equações algébricas.



Nesta abordagem uma matriz de incidência que indica as conexões entre *lugares* e *transições* é utilizada para representar a estrutura do sistema que caracteriza o comportamento dinâmico da rede. A equação de estado representa uma alteração na distribuição das marcas como resultado do disparo de uma *transição*. A equação é definida da seguinte forma:

$$\mathbf{M}_k = \mathbf{M}_{k-1} + \mathbf{A}^T \mathbf{u}_k$$

Onde:

- $\mathbf{M}_k$  é um vetor coluna ( $m \times 1$ ) que representa a marcação imediatamente alcançável a partir de  $\mathbf{M}_{k-1}$  após o disparo da *transição*  $t_i$ .
- $\mathbf{u}_k$  é um vetor ( $n \times 1$ ) com grandeza de 1 na posição  $i$  que representa o disparo da *transição*  $t_i$  e zero nas outras posições.
- $\mathbf{A}$  é a matriz de incidência ( $n \times m$ ) definida por  $\mathbf{A} = \mathbf{O}(P, T) - \mathbf{I}(P, T)$ .

A matriz de incidência de uma rede de Petri de  $n$  *transições* e  $m$  *lugares*, corresponde a uma matriz de  $n \times m$  de números inteiros. Cada elemento desta matriz representa a forma que os *lugares* estão conectados com a *transição*, ou seja, ela representa as conexões entre *lugares* e *transições* em uma Rede de Petri. As colunas correspondem aos *lugares* e as linhas às *transições*, desta maneira, o número negativo indica que é um *lugar* de entrada, o positivo indica que é um *lugar* de saída e zero indica que não há relação entre o *lugar* e a *transição* correspondente.

Portanto, a matriz de incidência correspondente ao exemplo apresentado na *figura 24* é:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & +1 \\ +1 & +1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & +1 & +1 & +1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & -1 \end{bmatrix}$$



Desta maneira, para obter-se o estado  $[0 \ 1 \ 0 \ 0]^T$  a partir da marcação inicial  $[1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$  tem-se a seguinte equação:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & +1 \\ +1 & +1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & +1 & +1 & +1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Onde o 1 no vetor de disparos indica que a *transição* foi disparada para alcançar o estado desejado.

Entretanto, a solução destas equações é muitas vezes limitada por causa da natureza não determinística inerente aos modelos de redes de Petri.

Para o estudo das propriedades estruturais 2 conceitos relacionados à matriz de incidência são especialmente úteis, os T-invariantes e P-invariantes.

**3. SIMULAÇÃO:** Esta técnica é usada quando o sistema é relativamente complexo e intratável utilizando métodos analíticos. Também é efetiva no estágio final do projeto para propósitos de verificação. A maior parte das análises por simulação são realizadas para estudos de desempenho.

No entanto, a simulação só pode assegurar resultados para os estados simulados. Assim, para garantir uma generalização, é necessário considerar uma estratégia de simulação / teste que evite a necessidade de simular praticamente todos os estados que resultaria no problema da capacidade de computação e da alcançabilidade que seria, inviável em modelos complexos.

O software que utilizaremos para a simulação do sistema de bombeamento de água em um condomínio é o *Visual Object Net++* (segue em anexo o guia do usuário resumido, com algumas das funcionalidades do software).



4. TÉCNICAS DE REDUÇÃO: este método consiste na redução de um modelo complexo num modelo mais simples e tratável, porém sem perder as propriedades. A técnica de transformar modelos abstratos em modelos mais refinados (refinamentos sucessivos) de maneira hierárquica pode ser utilizado para a síntese das redes.

## 5.5. Simulação do sistema de abastecimento de água

Antes de realizarmos a automação do sistema de abastecimento de água realizaremos a sua representação através das Redes de Petri e a simulação desta rede no software *Visual Object Net ++* tendo como principal objetivo à localização da existência do estado de *deadlock* no sistema.

### 5.5.1. Definição dos lugares e transições

- Lugares
  - M1 Ligada (m1L)
  - M5 Ligada (m5L)
  - M9 Ligada (m9L)
  - M1 Desligada (m1D)
  - M5 Desligada (m5D)
  - M9 Desligada (m9D)
  - M1 Quebrada (m1Q)
  - M5 Quebrada (m5Q)
  - M9 Quebrada (m9Q)
- Transições
  - Ligar M1 (LM1)
  - Ligar M5 (LM5)
  - Ligar M9 (LM9)



- Desligar M1 (DM1)
- Desligar M5 (DM5)
- Desligar M9 (DM9)
- M1 Quebrada (M1Q)
- M5 Quebrada (M5Q)
- M9 Quebrada (M9Q)
- M1 OK (M1OK)
- M5 OK (M5OK)
- M9 OK (M9OK)

## 5.5.2. Condições impostas

Ao simularmos o sistema imporemos as seguintes condições:

- Os motores m1, m5 e m9 não podem ligar ao mesmo tempo.
- Caso algum dos motores esteja bloqueado ou com defeito, ele não poderá ligar em hipótese nenhuma. Os outros dois motores poderão funcionar normalmente.

## 5.5.3. Representação da Rede de Petri

Inicialmente representamos a Rede de Petri sem a inclusão dos estados de defeito das máquinas m1, m5 e m9 (*figura 25*).

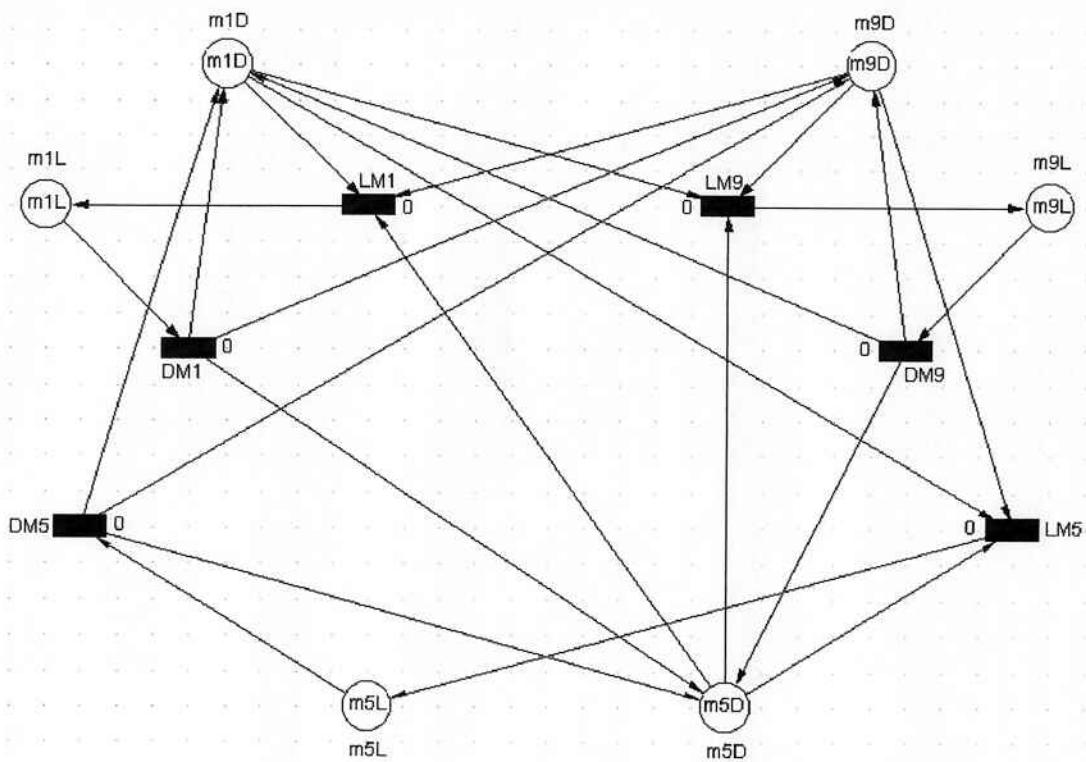


Figura 25: Redes de Petri (sem a representação dos estados de defeito das máquinas)

Analisando a rede acima verificamos que a primeira condição imposta anteriormente foi satisfeita, isto é, para que um dos motores funcione os outros dois motores tem que estar desligados.

Temos então que satisfazer a segunda condição, a qual estabelece que caso algum dos motores esteja bloqueado ou com defeito, este não poderá ligar em hipótese nenhuma e os outros dois motores poderão funcionar normalmente.

Segue abaixo a representação do sistema em Redes de Petri (figura 26), que satisfaz as duas condições impostas anteriormente:

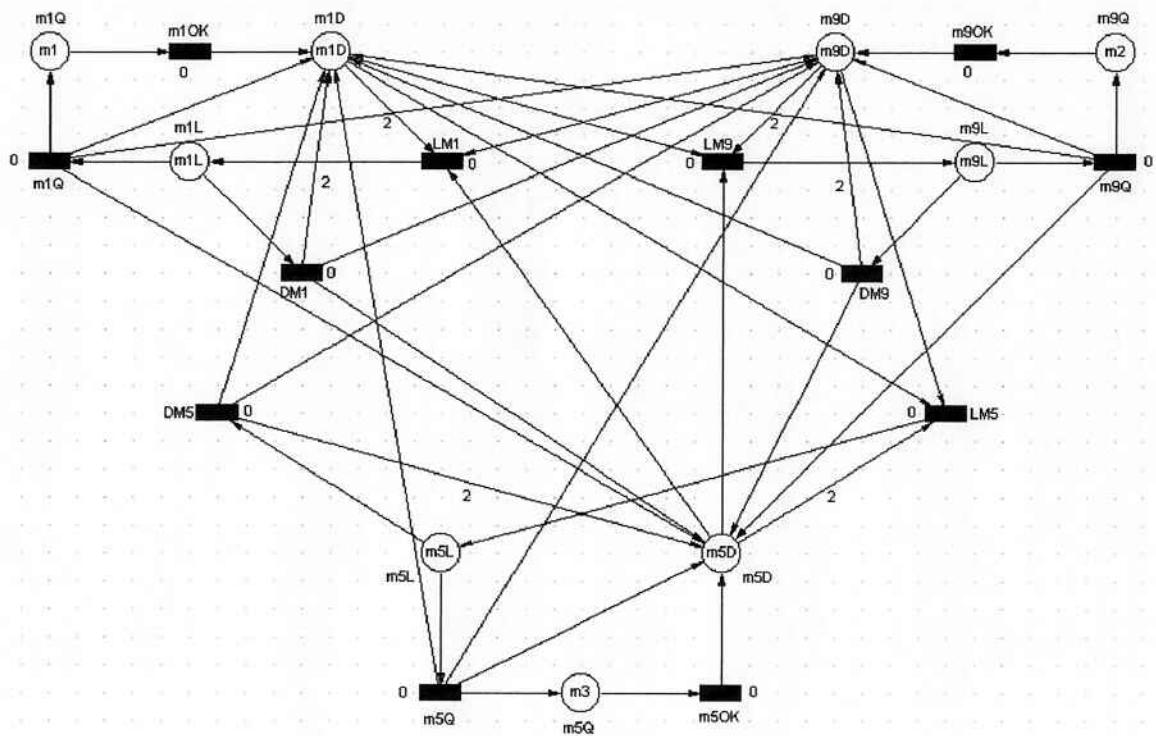


Figura 26: Redes de Petri (representação completa)

#### 5.5.4. Condições iniciais

Antes de iniciarmos a simulação temos que definir a quantidade de marcas iniciais (figura 27) e o peso dos arcos (figura 28):

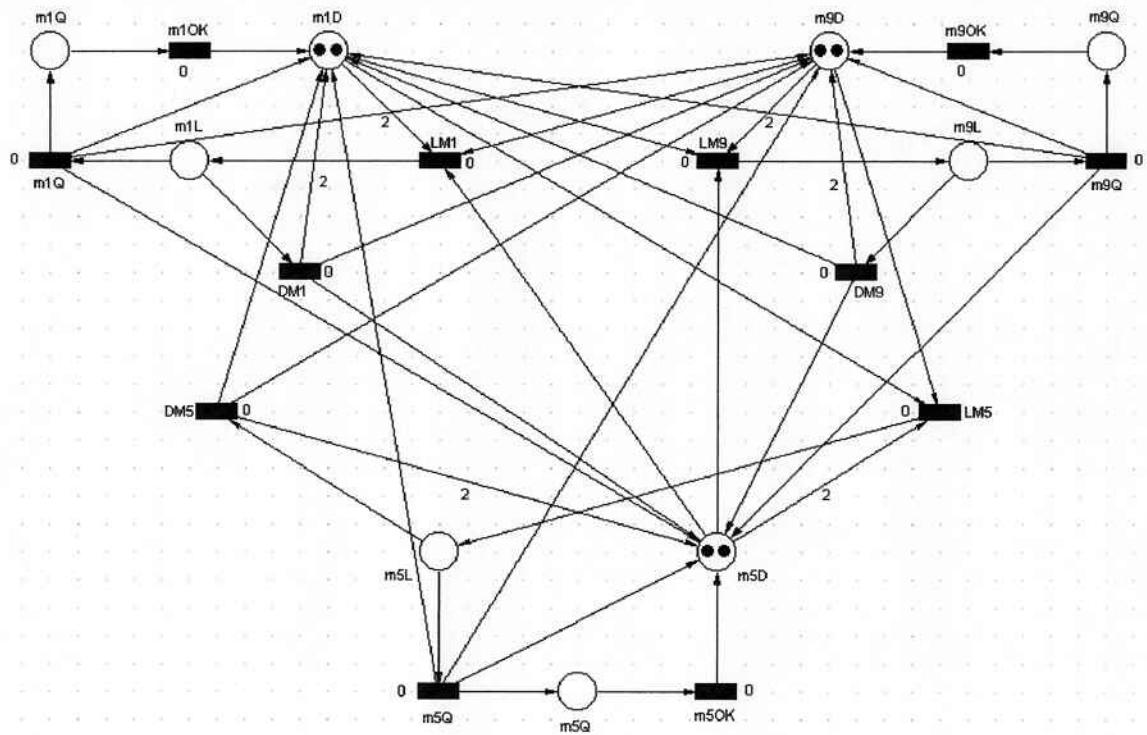


Figura 27: Redes de Petri (quantidade de marcas iniciais)

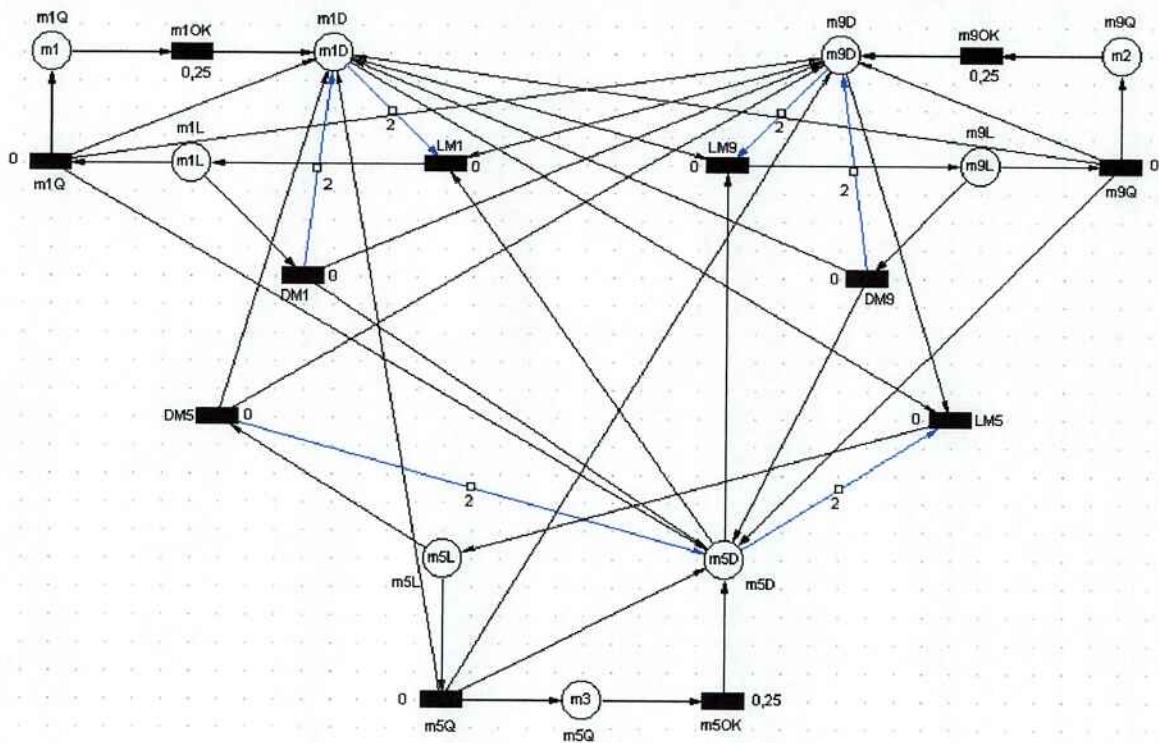


Figura 28: Redes de Petri (peso dos arcos)

Analisando a figura 27 e 28 observamos que:

- os lugares  $m1D$ ,  $m5D$  e  $m9D$  tem 2 marcas iniciais;
- os demais lugares não tem marca inicial;
- o peso dos arcos ( $m1D \rightarrow LM1$ ,  $DM1 \rightarrow m1D$ ,  $m5D \rightarrow LM5$ ,  $DM5 \rightarrow m5D$ ,  $m9D \rightarrow LM9$  e  $DM9 \rightarrow m9D$ ) é duplo;
- o peso dos demais arcos é unitário;
- o tempo de atraso das transições  $m1OK$ ,  $m5OK$  e  $m9OK$  é de 0,25 segundos;
- o tempo de atraso das demais transições é zero (processo contínuo).



## 5.5.5. Resultados da simulação

Segue abaixo a *tabela 08* com a evolução das marcas em cada posição (lugar) e quais transições estão habilitadas após a execução de transições de forma aleatória:

Marcação inicial	m1D	m5D	m9D	m1L	m5L	m9L	m1Q	m5Q	m9Q	Transições habilitadas
Exec. LM1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	M1Q, DM1
Exec. DM1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	LM1, LM5, LM9
Exec. LM9	1	1	0	0	0	1	0	0	0	M9Q, DM9
Exec. M9Q	2	2	1	0	0	0	0	0	1	LM1, LM5, M9OK
Exec. LM5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	M5Q, DM5, M9OK
Exec. M5Q	2	1	1	0	0	0	0	1	1	LM1, M5OK, M9OK
Exec. LM1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	M1Q, DM1, M5OK, M9OK
Exec. DM1	2	1	1	0	0	0	0	1	1	LM1, M5OK, M9OK
Exec. M9OK	2	1	2	0	0	0	0	1	0	LM1, LM9, M5OK

*Tabela 08: Evolução da simulação*

Observa-se que as condições impostas inicialmente foram satisfeitas durante o processo de simulação da rede e que não houve existência do estado de *deadlock* no sistema.

Sendo assim, partiremos para a realização dos diagramas Ladder do sistema de bombeamento de água em um condomínio com 4 prédios.



## 6. Controladores Programáveis

### 6.1. Histórico

No fim da década de 1960, os circuitos integrados permitiram o desenvolvimento de minicomputadores, que foram logo utilizados para controle on-line de processos industriais. Em 1969, surgiram os primeiros controladores baseados numa especificação da General Motors, resumida a seguir:

- facilidade de programação;
- facilidade de manutenção com conceito plug-in;
- alta confiabilidade;
- dimensões menores que painéis de relés, para redução de custo;
- envio de dados para processamento centralizado;
- preço competitivo;
- sinais de entrada de 115V CA;
- sinais de saída de 115V CA;
- expansão em módulos;
- mínimo de 4000 palavras na memória.

Na década de 1970, os controladores passaram a ter microprocessadores, sendo então denominados Controladores Programáveis (CLPs), por terem suas funções multiplicadas. Na década de 1980, houve aperfeiçoamento das funções de comunicação dos CLPs, sendo então utilizados em rede de comunicação de dados.

A seguir, será apresentada uma breve introdução ao hardware e ao software dos Controladores Programáveis.

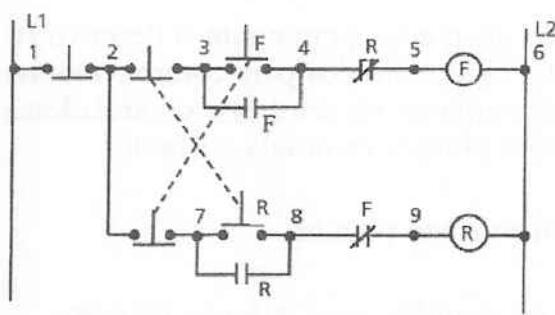


## 6.1.1. Características Gerais e Configurações Elétricas

O CLP tem várias características importantes, incluindo as seguintes:

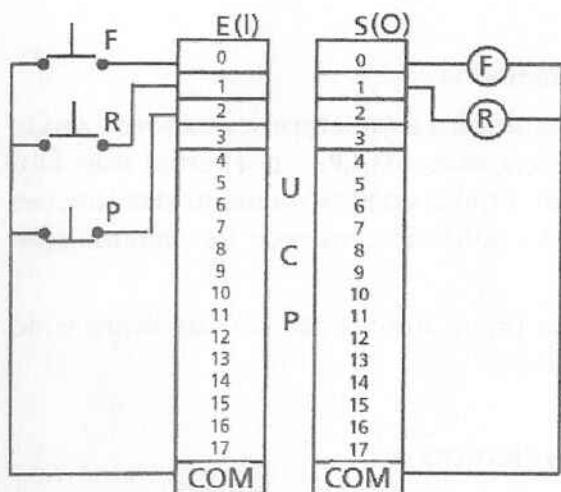
- Linguagens de programação de alto nível caracterizando um sistema bastante amigável com relação ao operador. Depois de concluído e depurado, o programa pode ser transferido para outros CLPs, garantindo confiabilidade na sua utilização.
- Simplificação nos quadros e painéis elétricos. Toda a fiação do comando fica resumida a um conjunto de entradas e saídas. Como consequência, qualquer alteração necessária toma-se mais rápida e barata. Como exemplos são mostrados na *Figura 29* esquemas de dois circuitos, sendo (a) e (b) com quadro de comando, e (c) e (d) com controlador programável.

a) Círcuito "ladder"





c) Circuito de ligação com o CLP



d) Programa "ladder" do CLP

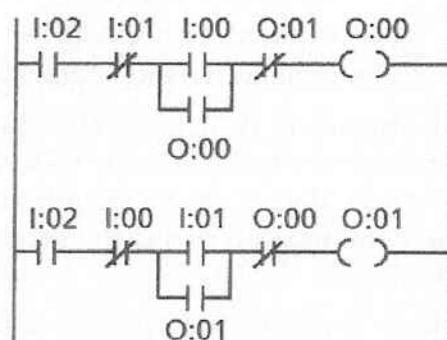


Figura 29: Configurações Física e com CLP

- **Confiabilidade operacional.** Uma vez que as alterações podem ser realizadas através do programa aplicativo, necessitando de muito pouca ou de nenhuma alteração da fiação elétrica, a possibilidade de haver erro é minimizada, garantindo sucesso nos desenvolvimentos ou melhorias a serem implementadas.
- **Funções avançadas.** Os controladores podem realizar grande variedade de tarefas de controle através de funções matemáticas, controle da qualidade, informações para relatórios. Sistemas de gerenciamento de produção são bastante beneficiados com a utilização dos controladores.
- **Comunicação em rede.** Através de interfaces de operação, controladores e computadores em rede permitem coleta de dados e um enorme intercâmbio de troca de dados em relação aos níveis da pirâmide da automação.



## 6.2. Arquitetura

Um CLP (*Figura 30*) é constituído basicamente de:

- Fonte de alimentação;
- Unidade Central de Processamento (UCP);
- Memórias dos tipos fixo e volátil;
- Dispositivos de entrada e saída;
- Terminal de programação.

### 6.2.1. Fonte de Alimentação

Converte corrente alternada em contínua para alimentar o controlador. Caso falte energia, há uma bateria que impede a perda do programa do usuário. Ao retomar a energia, o programa se reinicia. Existem dois tipos de fontes:

- Source: fonte de energia interna ao controlador.
- Sink: fonte de energia externa ao controlador.

### 6.2.2. UCP - Unidade Central de Processamento

Responsável pela execução do programa do usuário, atualização da memória de dados e memória-imagem das entradas e saídas.

### 6.2.3. Memória EPROM

Contém programa monitor elaborado pelo fabricante que faz o start-up do controlador, armazena dados e gerencia a seqüência de operações. Este tipo de memória não é acessível ao usuário do controlador programável.

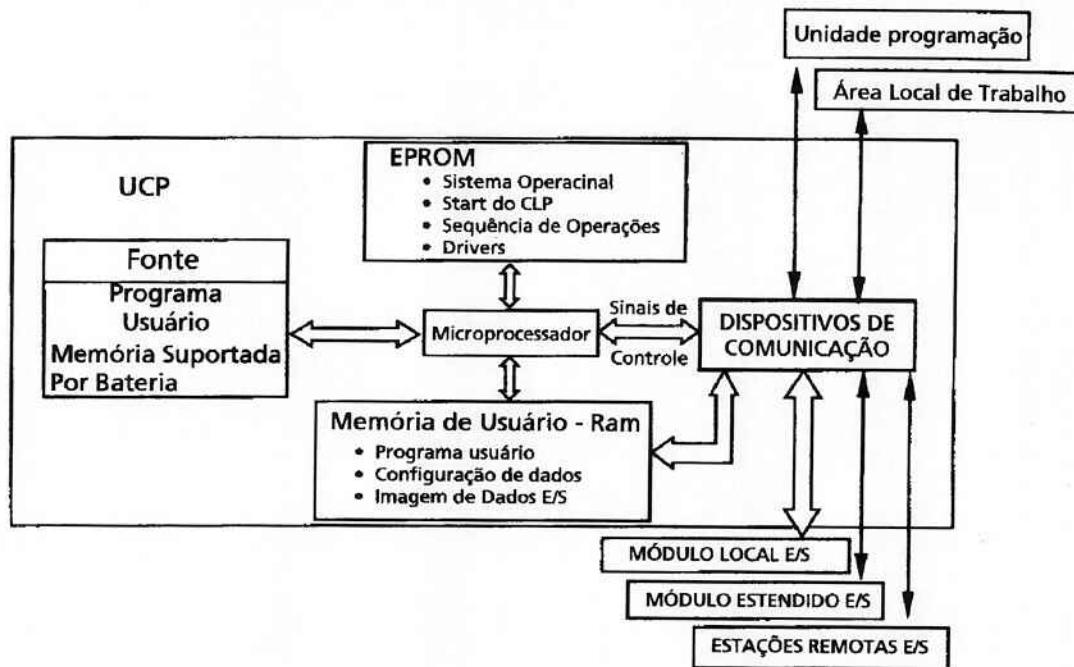


Figura 30: Diagrama de blocos do CLP

#### 6.2.4. Memória do Usuário

Armazena o programa aplicativo do usuário. A CPU processa esse programa, atualiza a memória de dados internos e imagem E/S e retoma novamente para essa área da memória.

A memória possui dois estados:

- RUN: em operação, com varredura cíclica.
- PROG: parado, quando se carrega o programa aplicativo no CLP.

#### 6.2.5. Memória de Dados

Encontram-se aqui dados referentes ao processamento do programa do usuário, isto é, uma tabela de valores manipuláveis.



## 6.2.6. Memória-Imagen das Entradas e Saídas

Memória que reproduz o estado dos periféricos de entrada e saída.

- Circuitos das entradas são provenientes de chaves, seletoras, limitadoras...
- Circuitos das saídas são destinados a dar partida em motores, solenóides...

A correspondência entre níveis 0 e 1 e níveis de tensão varia conforme a necessidade; por exemplo, pode ocorrer: nível 0 para 0 volt e nível 1 para 115 volts CA.

## 6.2.7. Módulos de Entrada e Saída (E/S)

A *Figura 31* exibe detalhes físicos típicos das barras de terminais de entrada e saída.

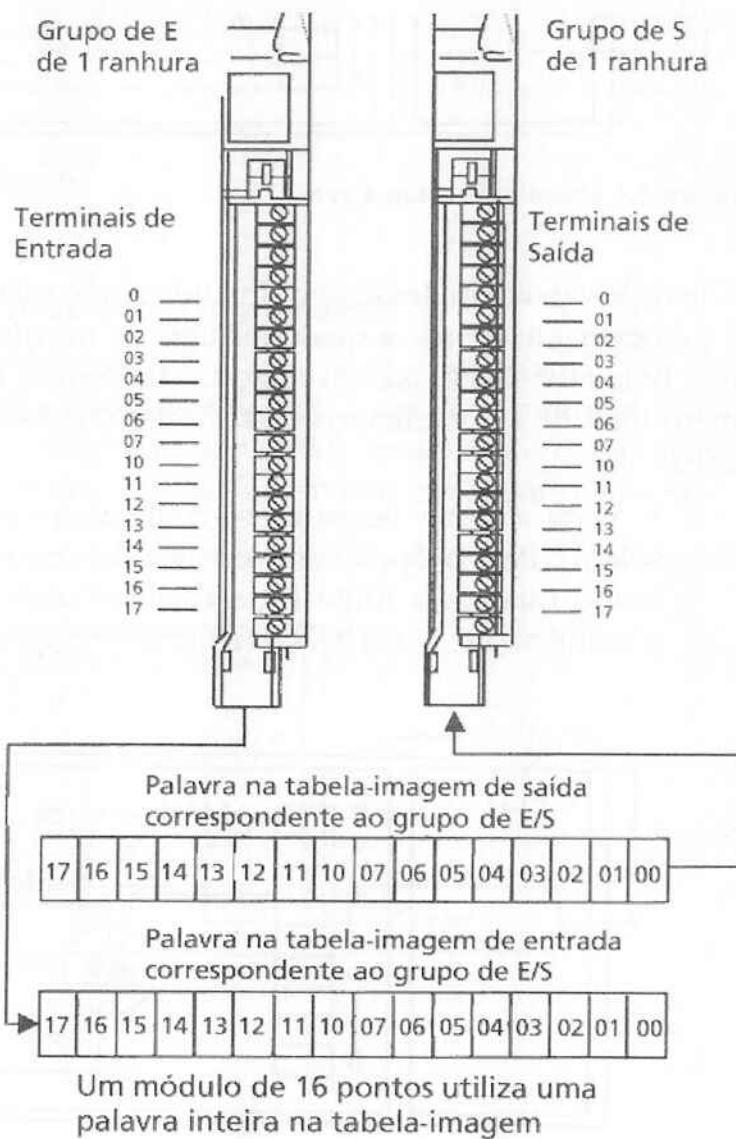


Figura 31: Modulo de E/S

### 6.2.8. Módulos de Saída (S) do Controlador Programável

Basicamente, os módulos de saída dos controladores são acionados por três métodos, quais sejam:

- *Saída a Relé*: quando ativado o endereço da palavra-imagem de saída, um solenóide correspondente a ele é ativado fechando-se o contato na bomeira de saída do controlador, como mostra a *Figura 32*.

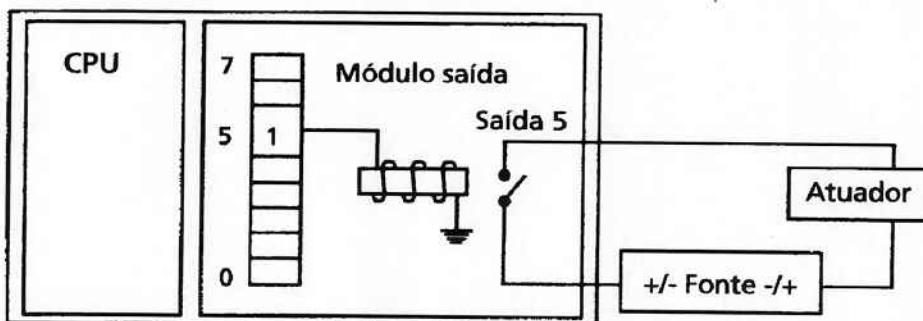


Figura 32: Módulo de saída à relé.

A grande vantagem desse tipo de saída a relé está na robustez do módulo, que é praticamente imune a qualquer tipo de transiente de rede. No entanto, ele tem uma vida útil baixa em relação aos demais módulos, permitindo um número total de acionamentos entre 150.000 e 300.000, com capacidade de até 5,0A.

- *Saída a Triac:* nesse caso, o elemento acionador é um triac (estado sólido). Pela própria característica do componente, esse elemento é utilizado quando a fonte é de corrente alternada. Ao longo da vida útil, possibilita até  $1 \times 10^6$  acionamentos, com capacidade de até 1,0 A.

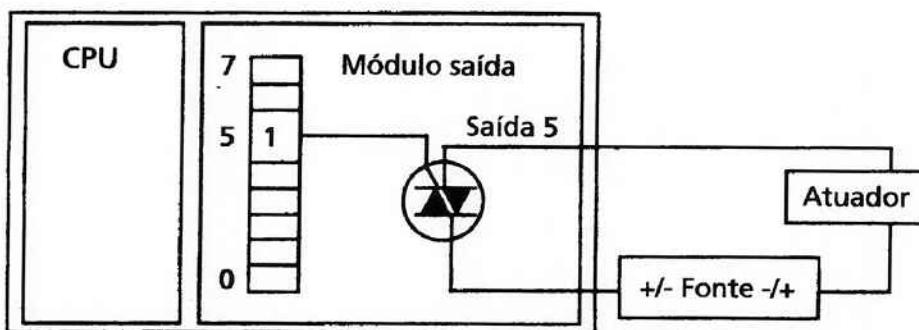


Figura 33: Módulo de saída a triac.

- *Saída a Transistor:* Analogamente ao anterior, trata-se da utilização de componente a estado sólido, podendo ser constituído por um transistor



comum do tipo NPN ou do tipo efeito de campo (FET). Esse tipo de módulo, normalmente mais usado, é recomendado quando são utilizadas fontes em corrente contínua, para acionamentos repetitivos em grande freqüência de operação. Sua capacidade pode chegar até 1,0 A, permitindo  $1 \times 10^6$  acionamentos ao longo de sua vida útil.

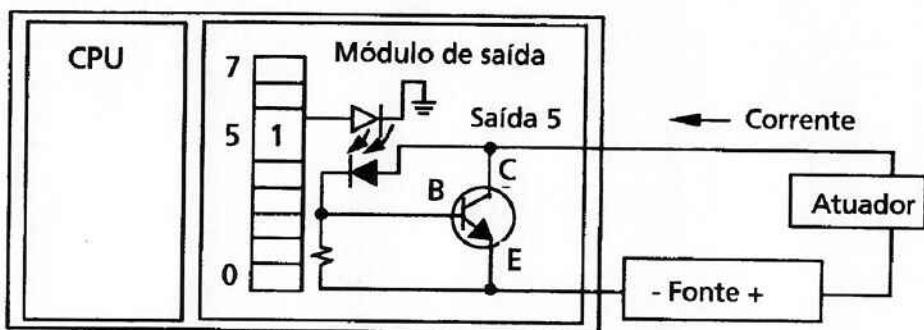


Figura 34: Módulo de saída a transistor.

### 6.2.9. Módulo de Entrada (E) do Controlador Programável

Os módulos de entrada dos controladores, por outro lado, contêm optoisoladores em cada um dos circuitos. Quando o circuito externo é fechado através do sensor, o diodo emissor de luz (LED) sensibiliza o componente de base, fazendo circular corrente interna no circuito de baixa potência do controlador programável.

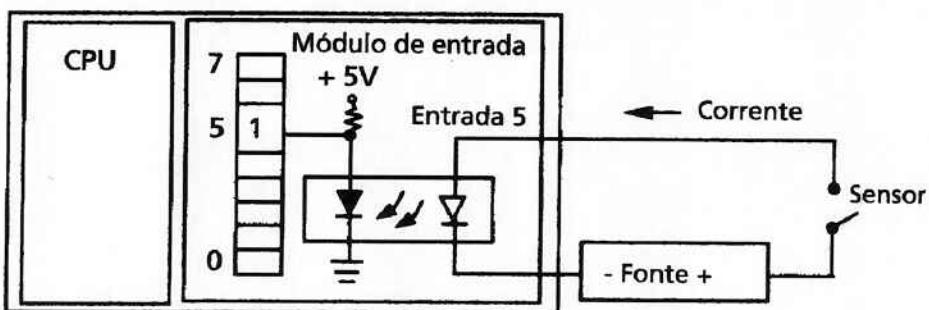


Figura 35: Módulo entrada a optoisolador.

O número de acionamentos é de  $10 \times 10^6$  ao longo da vida útil, com capacidade de até 100 mA.

### 6.2.10. Endereçamento

Os métodos de endereçamento digitais de entradas e saídas dos controladores programáveis são bastante semelhantes. Palavras ou bits podem ser endereçados. A imagem de entrada e saída (I/O) é realizada da seguinte maneira:

Exemplos I:12/04 ou O:02/06

1. A primeira letra refere-se à variável estar indexada com palavras-imagem da entrada ou saída, ou seja, I (input) para a palavra de entrada e O (output) para a palavra de saída. Convém lembrar que a imagem da palavra de entrada é completamente separada da imagem de saída. Exemplo: I:12/04 e O:12/04 são endereços completamente diferentes.
2. Os dois dígitos após o ponto duplo, ":", correspondem à localização que o respectivo módulo de entrada ou saída ocupa no controlador programável ou sua expansão. Nos exemplos são, respectivamente, módulos imagem 12 para a entrada e 02 para a saída.
3. Os dois dígitos após a barra inclinada, "/", correspondem ao bit da



imagem da palavra de entrada ou saída.

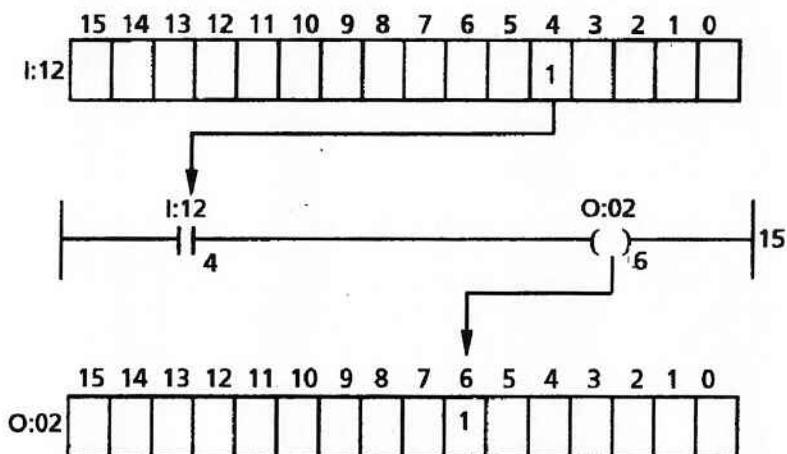


Figura 36: Endereços de entrada e de saída.

Nesse caso, o endereço de entrada corresponde ao bit 4 da ranhura nº 12 de entrada do controlador, que, ativada pela linha 15 do programa aplicativo, habilita a saída correspondente ao bit 6 da ranhura nº 02 de saída do controlador programável.

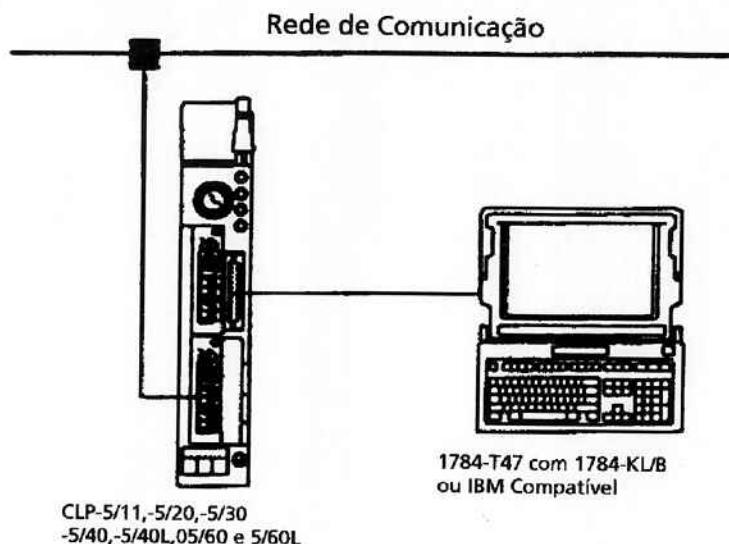
### 6.2.11. Terminal de Programação

É um periférico que serve de meio de comunicação entre o usuário e o controlador, nas fases de implementação do software aplicativo. Pode ser um computador (PC) ou um dispositivo portátil composto de teclado e display; quando instalado, permite:

- autodiagnóstico;
- alterações online;
- programação de instruções;
- monitoração;
- gravação e apagamento da memória.



Na *Figura 37*, o CLP encontra-se em fase de programação (MODO.PROG)



*Figura 37: Exemplo de conexão do terminal de programação.*

### 6.2.12. Ciclo de execução (Scan) em operação normal (MODO-RUN)

Em um ciclo, o CLP realiza as seguintes etapas básicas:

- atualização das entradas;
- processamento da instruções do programa;
- atualização das saídas.

A varredura é processada em ciclo fechado, como mostra a *Figura 38*.

O controlador lê a porta de entrada, gravando a informação na imagem de entrada. Em seguida ocorre o processamento, e, por fim, ele copia a imagem de saída na porta de saída. Para o primeiro ciclo, a imagem das variáveis de entrada é zerada. O processamento desenvolve-se a partir dessa situação, atualizando a palavra e a imagem de saída. Toda vez que a varredura da imagem de entrada se efetua, a palavra de entrada é atualizada.



Figura 38: Ciclo de processamento (scan).

### 6.2.13. Terminais remotos de entrada e de saída

Às vezes toma-se difícil ou até mesmo inviável ligar todos os dispositivos periféricos (sensores, válvulas etc.) na interface E/S do CLP, devido a grandes distâncias e pela múltipla passagem de fios por conduítes. Utilizam-se, então, os Terminais Remotos, ou Unidades Remotas, em comunicação com o CLP por meio de cabos. Cria-se assim o conceito de Rede de Remotas.

O CLP varre dados de E/S discretas na gaveta de E/S local em *sincronismo* com a varredura do programa. Varre dados de E/S discretas nas gavetas de E/S das Remotas, de forma *assíncrona* à varredura do programa. A varredura das E/S remotas transfere dados de E/S discretas entre os módulos adaptadores das E/S remotas e o buffer de E/S das remotas no controlador.



## 6.3. Especificações de Controladores Programáveis

Na automação com CLPs, deve-se considerar:

- compatibilidade entre instalação elétrica e pontos de E/S
- existência de chaves de proteção de hardware
- tipo e forma de endereçamento
- estrutura da palavra
- tipo e forma dos sinais aceitáveis
- compatibilidade dos equipamentos eletromecânicos etc.

Os módulos E/S analógicos fazem a conversão A/D e D/A para tratamento dos sinais. Alguns exemplos de variáveis e sinais analógicos são provenientes de:

- Transdutores de temperatura, de pressão, de células de carga, de fluxo, de unidade e de posição
- Entrada multibit, chaves tambor, leitora de códigos de barras, codificadores
- Entradas e saídas analógicas, válvulas e solenóides analógicos, registradores gráficos, drivers para motores elétricos, medidores analógicos
- Saídas multibit, drivers para display, displays inteligentes

### 6.3.1. Controladores Programáveis – Modelos

Segue abaixo alguns exemplos de controladores programáveis e suas principais características construtivas e funcionais, tais como capacidade de memória, número de pontos de entradas e saídas, linguagens de programação, expressões e tempos dos ciclos de varreduras:



- **Controllogix – Rockwell Automation**
  - Tempo de varredura: 1,2 ms/kbits
  - Memória RAM: 160K até 2M palavras
  - Pontos de E/S: até 960 variáveis discretas
- **SLC 500/02 – Rockwell Automation**
  - Tempo de varredura: 2,0 ms/kbits
  - Memória RAM: 4K palavras
  - Pontos de E/S: até 128K variáveis discretas e 3,8K variáveis analógicas.
- **PLC 5/80 – Rockwell Automation**
  - Tempo de varredura: 2,0 ms/kbits
  - Memória RAM: 16K palavras
  - Pontos de E/S: até 1024 variáveis discretas
- **Micrologix-1000 – Rockwell Automation**
  - Tempo de varredura: 1,0 ms/kbits
  - Memória RAM: 1K palavras
  - Pontos de E/S: até 32 variáveis discretas

## 6.4. Linguagens de Programação

### 6.4.1. Linguagem Ladder

Na linguagem Ladder, cada contato, ao assumir dois estados (fechado ou aberto), representa uma variável booleana, ou seja, uma variável que assume dois estados: verdadeiro ou falso.

O diagrama Ladder é apenas uma representação lógica, trabalhando somente com símbolos, não considerando a tensão envolvida nas barras de alimentação e nem a intensidade da corrente pelo circuito. Os contatos e outros dispositivos, no diagrama estão em cada momento abertos ou fechados e as bobinas, por consequência, ficam desenergizadas ou energizadas.



O Controlador Programável (CLP) examina a continuidade da linha, verifica se todas as instruções de entrada são verdadeiras. Trata-se de uma “continuidade lógica”. Cada linha “Ladder” permite programar desde funções binárias até funções digitais complexas. A seguir (*Tabela 09*) seguem as principais instruções e comandos utilizados nesta linguagem:

Instrução	Represent.
<b>Contato normalmente aberto – NA</b> Existe continuidade lógica quando o estado da variável associada é 1.	-I I-
<b>Contato normalmente fechado – NF</b> Existe continuidade lógica quando o estado da variável associada é 0.	-I/I-
<b>Bobina</b> O estado lógico da bobina depende da continuidade lógica da linha. Se houver continuidade, o estado lógico da bobina será 1 (bobina energizada), caso contrário será zero (bobina desenergizada).	-( )-
<b>Bobina Inversa</b> Quando acionada, esta se desenergiza.	-(I)-
<b>Bobina de Rearme (Set) ou Retenção</b> Entra em estado ativo quando há continuidade lógica da linha e permanece neste estado até o sinal de Desarme.	-(S)-
<b>Bobina de Desarme (Reset)</b> Entra em estado desativado quando há continuidade lógica da linha e permanece neste estado até o sinal de Rearme.	-(R)-
<b>Contato sensível à borda de subida</b> Quando energizado permanece no estado ativado durante um ciclo completo de varredura do CP. Após esse ciclo, o contato volta a ficar desativado.	-I P I-
<b>Contato sensível à borda de descida</b> Equivalente ao anterior quando desenergizado, assim permanecendo durante uma varredura.	-I N I-



Instrução	Representação
<b>E</b> A linha torna-se verdadeira quando ambos os contatos ficam ativados.	
<b>OU</b> A linha torna-se verdadeira quando pelo menos um dos contatos ficar ativado.	
<b>Temporizador na Energização</b> Quando a linha é verdadeira, o temporizador começa a incrementar o valor acumulado segundo a base de tempo. Quando a linha é falsa, o temporizador Reseta o valor acumulado.	
<b>Temporizador na Desenergização</b> Quando a linha é falsa, o temporizador começa a incrementar o valor acumulado segundo a base de tempo. Quando a linha é verdadeira, o temporizador Reseta o valor acumulado.	
<b>Temporizador Retentivo</b> Quando a linha é verdadeira, o temporizador começa a incrementar o valor acumulado segundo a base de tempo. Quando a linha é falsa, o valor acumulado é retido. Ele é rearmando pela instrução RTR.	
<b>Rearme do Temporizador Retentivo</b> Quando a linha é verdadeira, o valor acumulado é resetado.	



# ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
PEA/EPUSP

Instrução	Representação
<b>Contador Crescente</b> Toda vez que a linha passar a verdadeira, o valor acumulado será incrementado de uma unidade. O valor acumulado pode ser rearmado pela instrução CTR.	
<b>Contador Decrescente</b> Toda vez que a linha passar a verdadeira, o valor acumulado será reduzido de uma unidade.	
<b>Rearme de Contador</b> Quando a linha for verdadeira, o valor acumulado será resetado para zero.	
Instrução	Representação
<b>Movimentação</b> Quando a linha for habilitada, será transferido o conteúdo do endereço A para o endereço B.	
<b>Apagamento</b> Quando a linha for habilitada, serão zerados os dados referentes ao endereço A.	
Instrução	Representação
<b>Igualdade</b> Haverá habilitação da linha, se o valor contido em A for igual ao valor contido em B.	
<b>Desigualdade</b> Haverá habilitação da linha, se o valor contido em A for diferente do valor contido em B.	



<b>Maior que</b> Haverá habilitação da linha, se o valor contido em A for maior que o valor contido em B.	
<b>Menor que</b> Haverá habilitação da linha, se o valor contido em A for menor que o valor contido em B.	
Instrução	Representação
<b>Soma</b> Quando a linha é verdadeira, os dados do endereço A são adicionados aos do endereço B e o resultado colocado em C.	
<b>Subtração</b> Quando a linha é verdadeira, os dados do endereço A são subtraídos aos do endereço B e o resultado colocado em C.	
<b>Multiplicação</b> Quando a linha é verdadeira, os dados do endereço A são multiplicados pelos do endereço B e o resultado colocado em C.	
<b>Divisão</b> Quando a linha é verdadeira, os dados do endereço A são divididos pelos dados do endereço B e o resultado colocado em C.	

Tabela 09: Diagrama Ladder – Exemplos de instruções e representações



## 6.5. Diagrama Ladder do sistema de bombeamento de água

### 6.5.1. Sensores

Segue a seguir (*Figuras 39, 40 e 41*) a lista de sensores de nível utilizados nos reservatórios Principal, Secundário e de Distribuição:

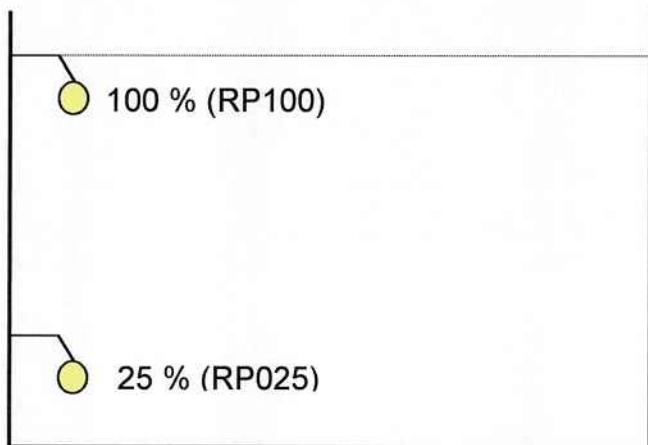


Figura 39: Sensores do Reservatório Principal

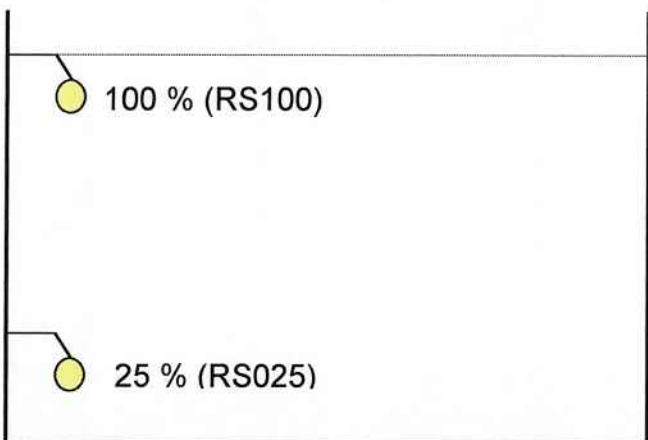


Figura 40: Sensores do Reservatório Secundário

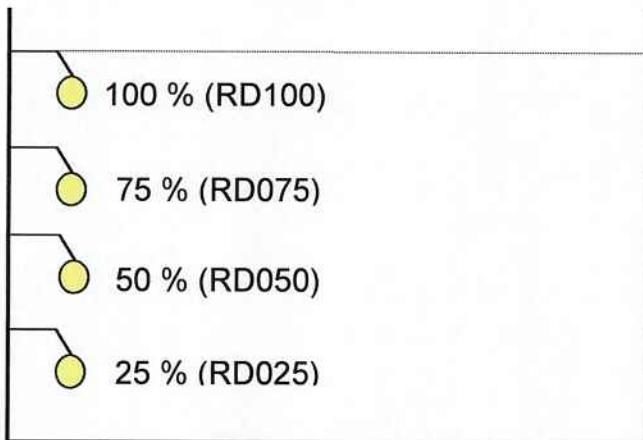


Figura 41: Sensores do Reservatório de Distribuição

Vale lembrar que os sensores RD050 e RD075 do Reservatório de Distribuição serão utilizados apenas para indicação dos níveis do reservatório.

### 6.5.2. Pontos de entrada e saída do CLP

Segue a seguir (*Tabelas 10, 11 e 12*) a lista dos pontos de entrada e saída e variáveis internas utilizados pelo CLP e o seu tipo correspondente (NA – Normalmente Aberto, NF – Normalmente Fechado ou ON/OFF):

Sensores		
Entrada (I)	Descrição	Tipo
01	RP 100 (Reservatório Principal no nível 100%)	NA
02	RP 025 (Reservatório Principal no nível 025%)	NA
03	RS 100 (Reservatório Secundário no nível 100%)	NA
04	RS 025 (Reservatório Secundário no nível 025%)	NA
05	RD 100 (Reservatório de Distribuição no nível 100%)	NA
06	RD 075 (Reservatório de Distribuição no nível 075%)	NA
07	RD 050 (Reservatório de Distribuição no nível 050%)	NA
08	RD 025 (Reservatório de Distribuição no nível 025%)	NA



# ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
PEA/EPUSP

Botões		
Entrada (I)	Descrição	Tipo
09	LM1 (Liga o Motor 1)	NA
10	DM1 (Desliga o Motor 1)	NA
11	M1B (Bloqueia o Motor 1)	NA
12	M1L (Desbloqueia o Motor 1)	NA
13	LM5 (Liga o Motor 5)	NA
14	DM5 (Desliga o Motor 5)	NA
15	M5B (Bloqueia o Motor 5)	NA
16	M5L (Desbloqueia o Motor 5)	NA
17	LM9 (Liga o Motor 9)	NA
18	DM9 (Desliga o Motor 9)	NA
19	M9B (Bloqueia o Motor 9)	NA
20	M9L (Desbloqueia o Motor 9)	NA

Motores		
Entrada (I)	Descrição	Tipo
21	M1Q (Estado do Motor 1: Quebrado / Não Quebrado)	ON / OFF
22	M5Q (Estado do Motor 5: Quebrado / Não Quebrado)	ON / OFF
23	M9Q (Estado do Motor 9: Quebrado / Não Quebrado)	ON / OFF

Tabela 10: Variáveis de entrada do CLP

Motores		
Saídas (O)	Descrição	Tipo
01	M1S (Motor 1: Ligar / Desligar)	ON / OFF
02	M5S (Motor 5: Ligar / Desligar)	ON / OFF
03	M9S (Motor 9: Ligar / Desligar)	ON / OFF

Alarme / Sinalização		
Saídas (O)	Descrição	Tipo
04	Alarme 1 (Consumo Elevado)	ON / OFF
05	NRP025 (Nível do Reservatório Principal em 25%)	ON / OFF
06	NRP100 (Nível do Reservatório Principal em 100%)	ON / OFF
07	NRS025 (Nível do Reservatório Secundário em 25%)	ON / OFF
08	NRS100 (Nível do Reservatório Secundário em 100%)	ON / OFF
09	NRD025 (Nível do Reservatório de Distribuição em 25%)	ON / OFF
10	NRD050 (Nível do Reservatório de Distribuição em 50%)	ON / OFF
11	NRD075 (Nível do Reservatório de Distribuição em 75%)	ON / OFF
12	NRD100 (Nível do Reservatório de Distribuição em 100%)	ON / OFF

Tabela 11: Variáveis de saída do CLP



Variáveis Internas		
Interna (S)	Descrição	Tipo
01	M1 (Motor 1: Ligado / Desligado)	ON / OFF
02	M5 (Motor 5: Ligado / Desligado)	ON / OFF
03	M9 (Motor 9: Ligado / Desligado)	ON / OFF
04	M1E (Estado do Motor 1: Quebrado ou Bloqueado / OK)	ON / OFF
05	M5E (Estado do Motor 5: Quebrado ou Bloqueado / OK)	ON / OFF
06	M9E (Estado do Motor 9: Quebrado ou Bloqueado / OK)	ON / OFF
07	M1W (Estado do Motor 1: Espera / Não Espera)	ON / OFF
08	ON (Estado do Motor 1 ou 9: Ligado / Desligado)	ON / OFF

Contadores / Temporizadores		
Interna	Descrição	Tipo
T4:0 / DN	Verdadeiro quando Preset = Acumulado	ON / OFF
T4:0 / RES	Reseta o Temporizador T4:0	ON / OFF
T4:1 / DN	Verdadeiro quando Preset = Acumulado	ON / OFF
T4:1 / RES	Reseta o Temporizador T4:1	ON / OFF
T4:2 / DN	Verdadeiro quando Preset = Acumulado	ON / OFF
C5:0 / DN	Verdadeiro quando Preset = Acumulado	ON / OFF
C5:0 / RES	Reseta o Contador C5:0	ON / OFF

Tabela 12: Variáveis internas do CLP

### 6.5.3. Linhas do Programa

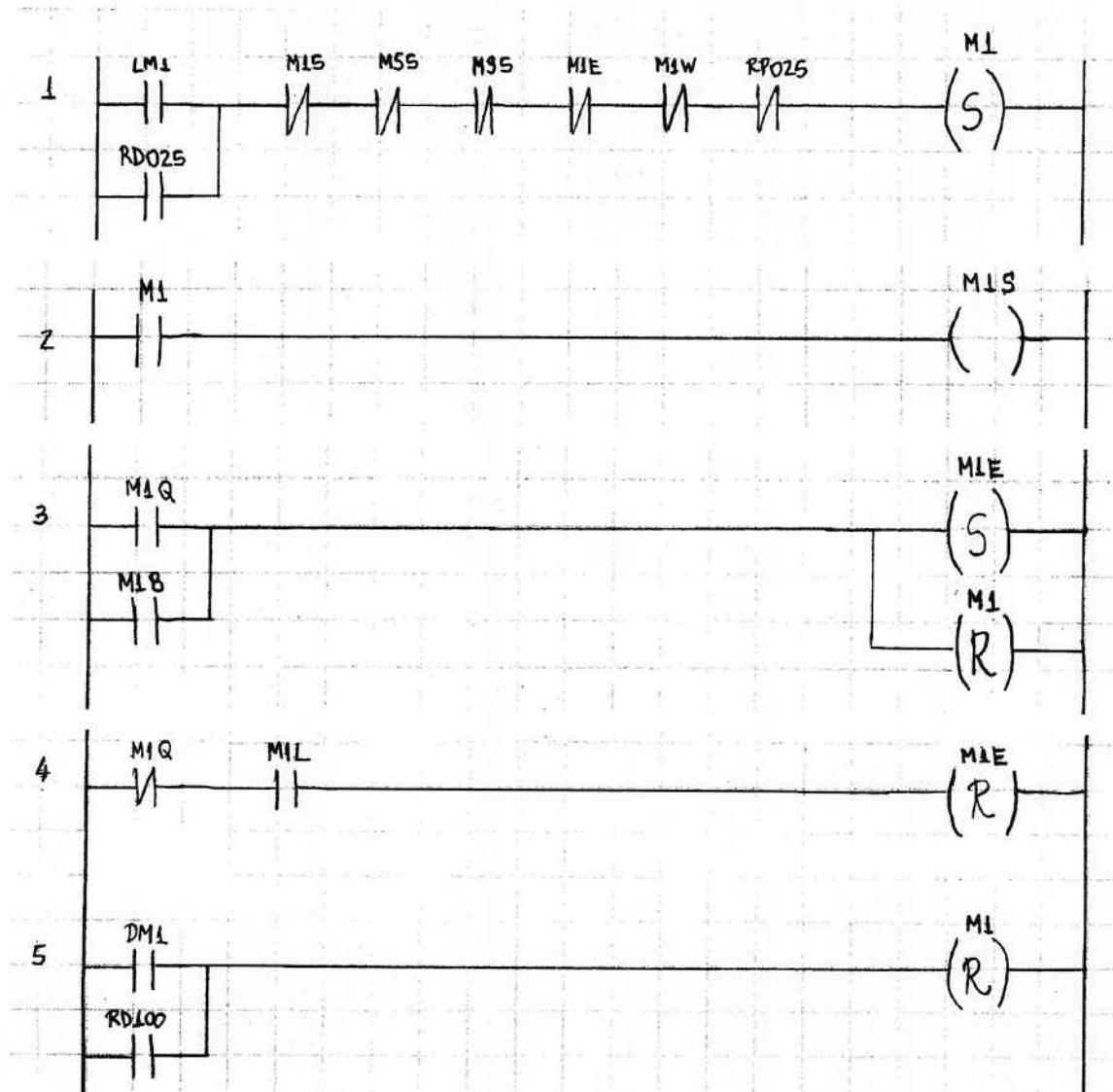
Segue a seguir (Figura 42) as linhas de comando da automação do sistema de bombeamento de água em um condomínio. O programa contém todas as funcionalidades discutidas ao longo deste projeto, as quais são brevemente listadas a seguir:

- Apenas um dos três motores poderá estar funcionando de cada vez;
- Os motores poderão ser bloqueados manualmente pelo botão, de acordo com a necessidade;
- Caso algum dos motores esteja com defeito ou bloqueado, o motor não poderá ser acionado em hipótese alguma;
- Os motores poderão ser acionados automaticamente quando os sensores de nível estiverem em 25% ou manualmente por botões;
- Caso o total de horas em que os motores M1 ou M9 ficarem ligados durante o mês, ultrapassar o valor máximo mensal estipulado, deve ser



acionado um alarme para alertar o alto consumo de água (possibilidade de vazamentos);

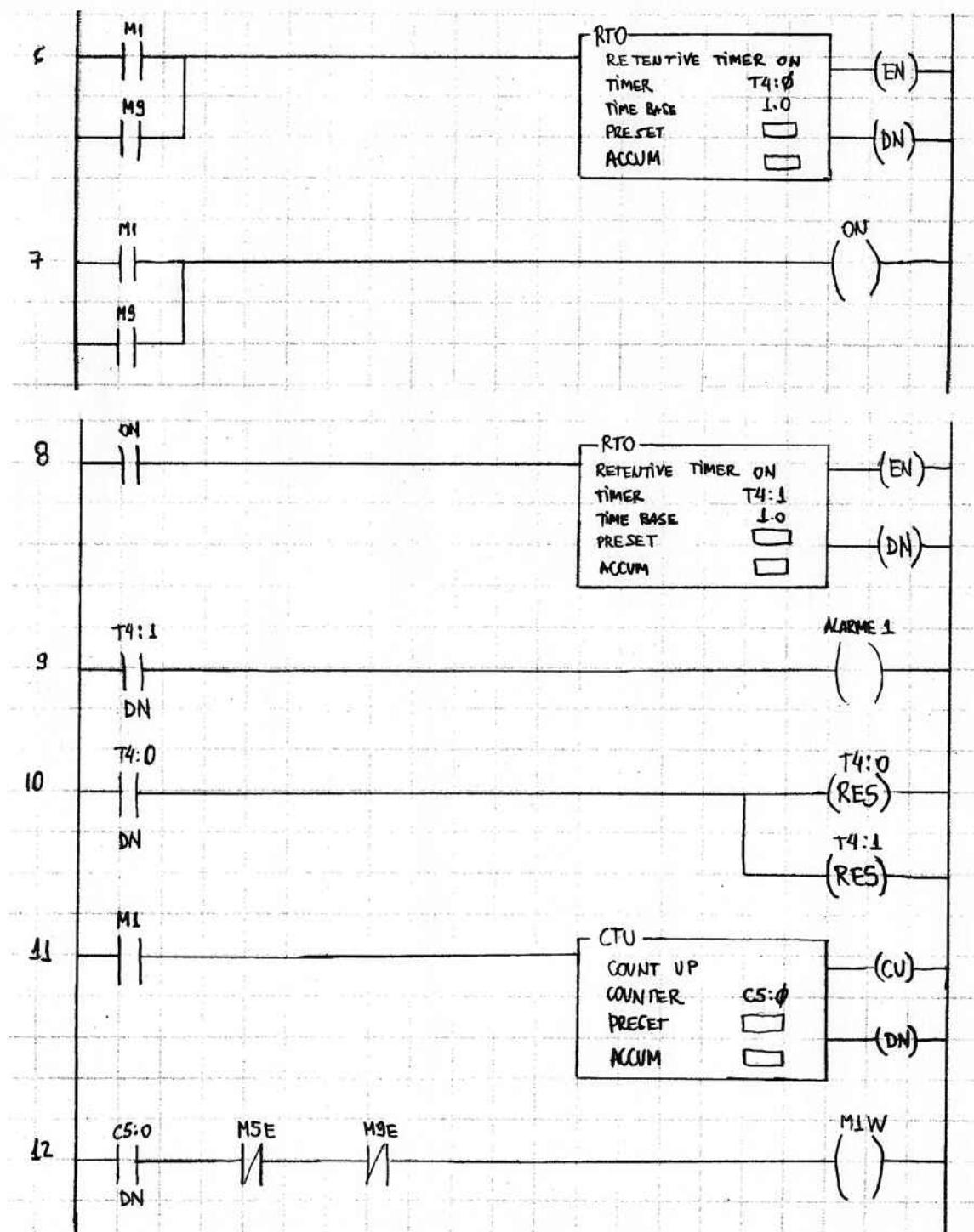
- Após o M1 ligar 30 vezes, ele deverá ser bloqueado por 24 horas, para que o bombeamento de água seja feito pela bomba M9. O objetivo é utilizar a água do Reservatório Secundário, evitando que ela fique parada durante muitos dias. Caso M5 e/ou M9 estejam com defeito ou bloqueados o motor M1 não deverá ser bloqueado.





# ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

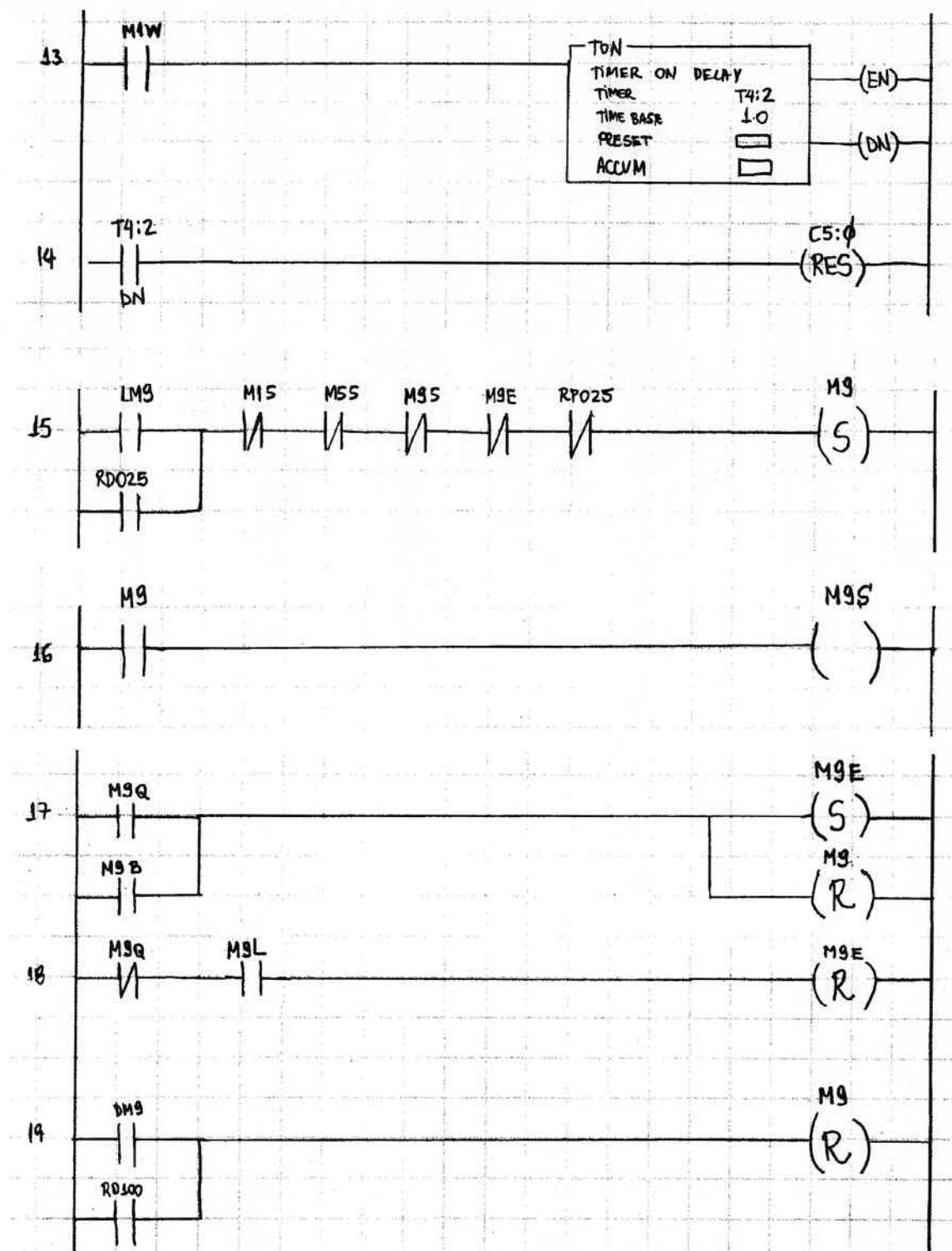
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
PEA/EPUSP





# ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

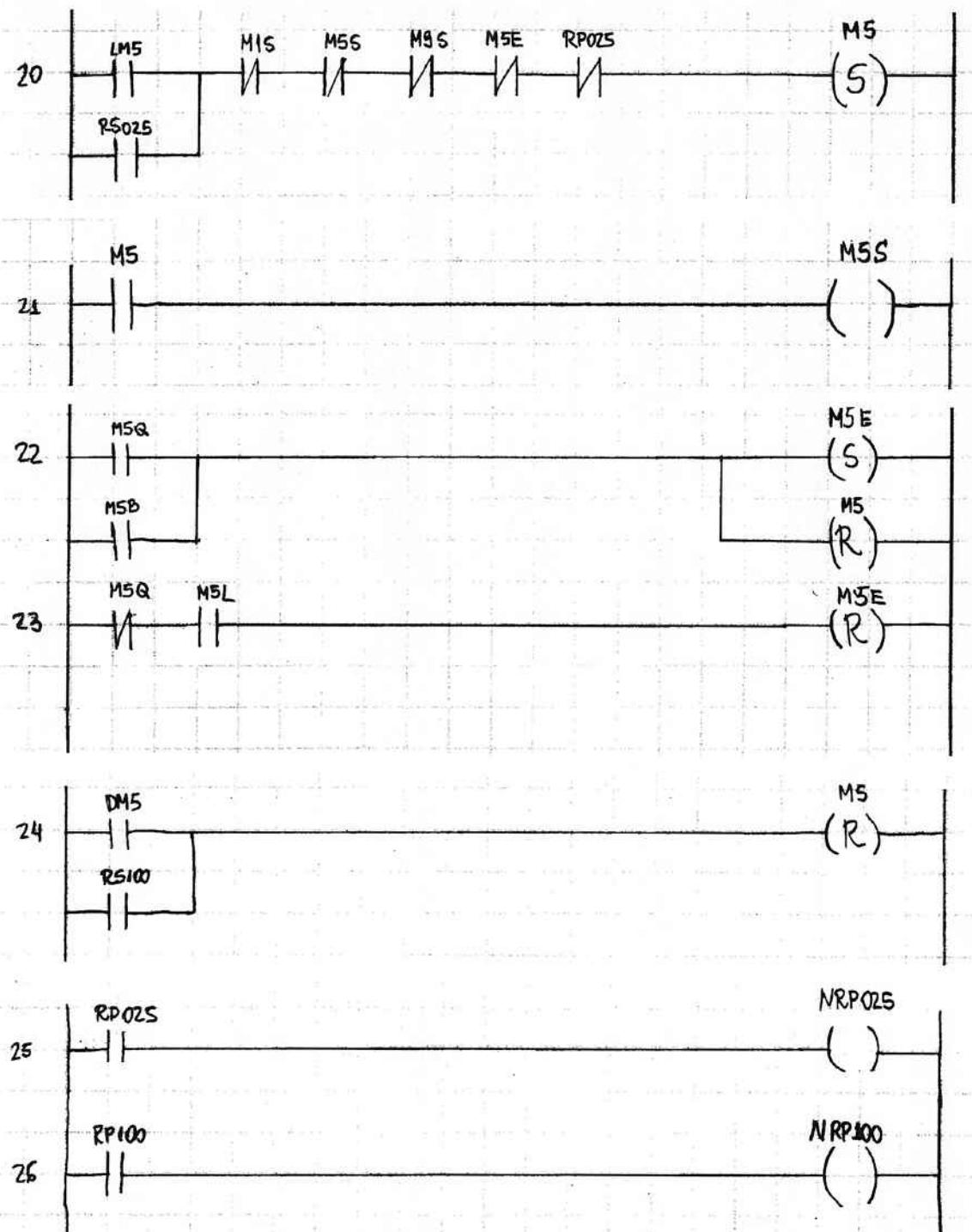
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
PEA/EPUSP





# ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
PEA/EPUSP





# ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
PEA/EPUSP

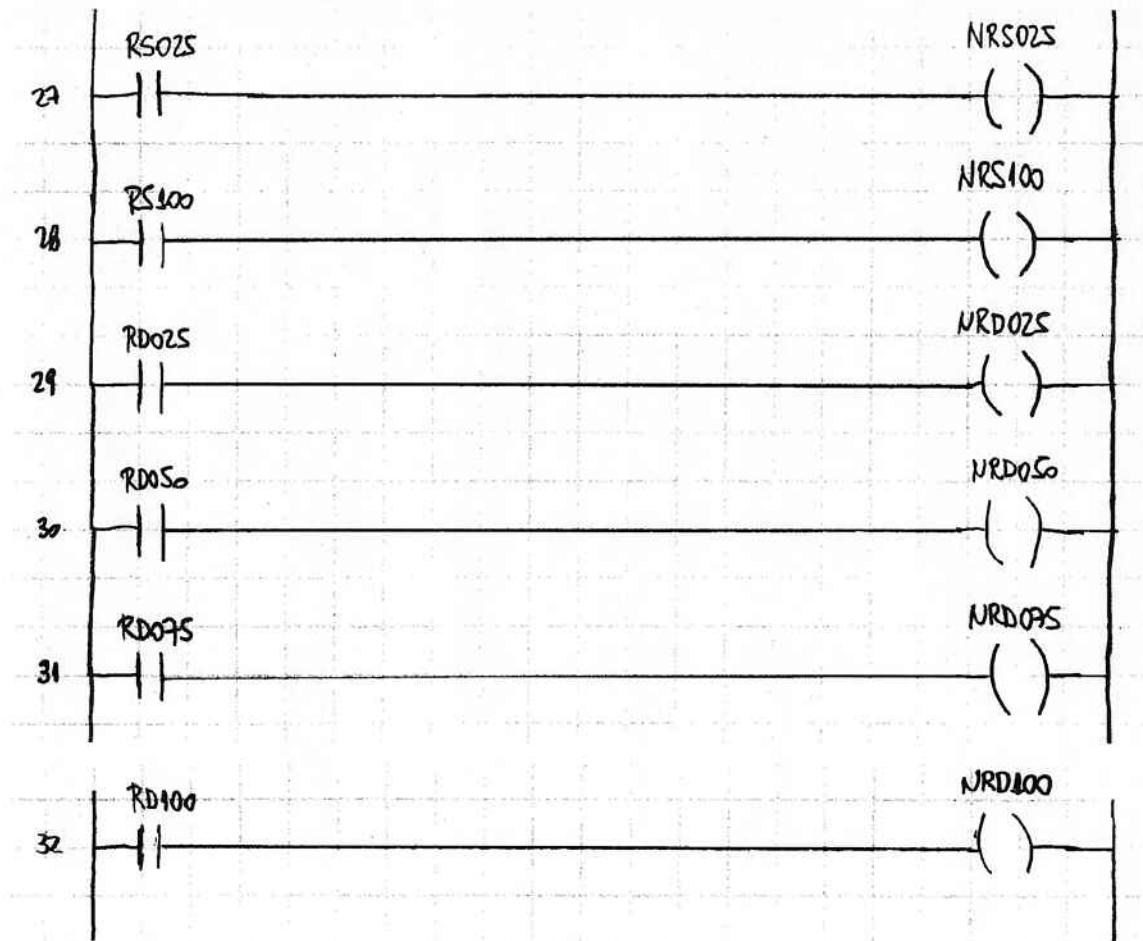


Figura 42 : Linhas de Comando do Diagrama Ladder



## 6.5.4 Comentários sobre as Linhas do Programa

⇒ **Linha 1:** Para ativar a bobina **M1** (variável interna do programa), temos que ter as seguintes condições:

- Botão Ligar motor 1 (**LM1**) ativado ou sensor do Reservatório de Distribuição em 25% do nível de água (**RD025**);
- Motores 1 (**M1S**), 5 (**M5S**) e 9 (**M9S**) desligados;
- Estado do motor 1 (**M1E**) OK (nível 0), ou seja, ele não está quebrado nem bloqueado;
- Estado do motor 1 (**M1W**) não está no modo de espera;
- Nível do Reservatório Principal não é inferior ou igual a 25%, ou seja, o sensor (**RP025**) não está ativado;

Caso algumas destas condições não sejam satisfeitas a Bobina M1 não será ativada e consequentemente o motor 1 também não será ligado.

⇒ **Linha 2:** Para ligar o motor 1 (**M1S**) a bobina interna **M1** tem que estar ativada, ou seja, todas as condições acima listadas tem que ser verdadeiras.

⇒ **Linha 3:** Caso ocorra algum defeito com o motor 1 (**M1Q**) ou o botão para bloquear o motor 1 for acionado (**M1B**) a bobina **M1** (variável interna do programa) será desenergizada e a bobina (**M1E**) será energizada.

Como consequência temos o desligamento do motor 1 (caso ele esteja ligado) e o seu bloqueio.

⇒ **Linha 4:** Quando o motor 1 estiver consertado (**M1Q**) e o botão para liberar o motor 1 estiver acionado (**M1L**), a bobina (**M1E**) será desenergizada e o motor 1 poderá ser acionado.

⇒ **Linha 5:** Pode-se desligar o motor 1 manualmente através do botão desliga motor 1 (**DM1**) ou automaticamente quando do sensor de nível do Reservatório Principal estiver em 100% (**RD100**).



- ⇒ **Linha 6:** Quando as bobinas internas **M1** ou **M9** estiverem energizadas o temporizador T4:0 passará a incrementar o valor acumulado segundo a base de tempo (1 hora), caso a linha seja falsa o valor acumulado é retido. O valor de preset é ajustado com intervalo de dias em que se deseja monitorar o consumo de água, neste caso 15 dias ou **360** horas.  
Quando o valor acumulado for igual ao do preset (T4:0/DN será ativado) e os temporizadores T4:0 e T4:1 serão resetados.
- ⇒ **Linha 7:** Quando as bobinas internas **M1** ou **M9** estiverem energizadas a bobina **ON** será energizada. Ou seja, sempre que o motor 1 ou 9 estiver ligado a bobina **ON** estará energizada.
- ⇒ **Linha 8:** Quando a bobina **ON** estiver energizada o temporizador T4:1 passará a incrementar o valor acumulado segundo a base de tempo (1 minuto), caso a linha seja falsa o valor acumulado é retido.  
O valor de preset é ajustado a partir do valor máximo de minutos esperado que os motores 1 e 9 estejam ligados durante um certo período (neste caso 15 dias).  
Este valor é obtido através do máximo consumo esperado (200 litros/dia “per capita”) em 15 dias do prédio analisado e consequentemente do tempo total em que o motor terá que ficar ligado durante estes 15 dias para bombear esta quantidade de água. Vale lembrar que a capacidade de bombeamento dos motores 1 e 9 escolhidos é de 20 m<sup>3</sup>/hora.  
Caso o valor acumulado seja igual ao do preset (T4:1/DN será ativado) e um alarme será acionado, o qual indicará alto consumo de água e possibilidade de vazamento.  
Para o prédio analisado neste projeto com 300 moradores o consumo diário máximo é de 60 m<sup>3</sup>/dia, ou seja de 900 m<sup>3</sup> em 15 dias. Logo o tempo total de funcionamento dos motores 1 e 9 neste período é de 45 horas ou **2700** minutos.
- ⇒ **Linha 9:** Quando o valor acumulado do temporizador T4:1 for igual ao do preset (**T4:1/DN** será ativado) e um alarme será acionado (**ALARME 1**), o qual indicará alto consumo de água e possibilidade de vazamento.



⇒ **Linha 10:** Quando o valor acumulado do temporizador T4:0 for igual ao do preset (**T4:0/DN** será ativado) e os temporizadores T4:0 e T4:1 serão resetados (**T4:0/RES** e **T4:1/RES**).

⇒ **Linha 11:** Toda a vez que a bobina interna **M1** estiver energizada e consequentemente o motor 1 ligado, o contador C5:0 irá incrementar o valor acumulado.

O valor de preset será determinado pelo número máximo de vezes que desejamos que o motor 1 ligue antes de o bloquearmos por 24 horas. O valor do preset será de **30** vezes.

⇒ **Linha 12:** Quando o valor acumulado do contador C5:0 for igual ao do preset (**C5:0/DN** será ativado) e os motores 5 e 9 não estiverem bloqueados nem quebrados (**M5E** e **M9E**) a bobina **M1W** será energizada e então o motor 1 será bloqueado por 24 horas.

⇒ **Linha 13:** A partir do momento em que o motor 1 for bloqueado (**M1W**) o temporizador T4:2 irá incrementar o valor acumulado segundo a base de tempo (1 hora).

O valor de preset será determinado pela quantidade de horas que desejamos que o motor 1 fique bloqueado. O valor de preset será de **24** horas.

⇒ **Linha 14:** Quando o valor acumulado do temporizador T4:2 for igual ao do preset (**T4:2/DN** será ativado) e o contador C5:0 será resetado (**C5:0/RES**).

A bobina M1W também será desenergizada pois C5:0/DN deixará de ser verdadeiro ao se resetar o contador C5:0.

⇒ **Linha 15:** Para ativar a bobina **M9** (variável interna do programa), temos que ter as seguintes condições:

- Botão Ligar motor 9 (**LM9**) ativado ou sensor do Reservatório de Distribuição em 25% do nível de água (**RD025**);
- Motores 1 (**M1S**), 5 (**M5S**) e 9 (**M9S**) desligados;
- Estado do motor 9 (**M9E**) OK (nível 0), ou seja, ele não está quebrado nem bloqueado;



- Nível do Reservatório Principal não é inferior ou igual a 25%, ou seja, o sensor (**RP025**) não está ativado;

Caso algumas destas condições não sejam satisfeitas a Bobina M9 não será ativada e consequentemente o motor 9 também não será ligado.

- ⇒ **Linha 16:** Para ligar o motor 9 (**M9S**) a bobina interna **M9** tem que estar ativada, ou seja, todas as condições acima listadas tem que ser verdadeiras.
- ⇒ **Linha 17:** Caso ocorra algum defeito com o motor 9 (**M9Q**) ou o botão para bloquear o motor 9 for acionado (**M9B**) a bobina **M9** (variável interna do programa) será desenergizada e a bobina (**M9E**) será energizada. Como consequência temos o desligamento do motor 9 (caso ele esteja ligado) e o seu bloqueio.
- ⇒ **Linha 18:** Quando o motor 9 estiver consertado (**M9Q**) e o botão para liberar o motor 9 estiver acionado (**M9L**), a bobina (**M9E**) será desenergizada e o motor 9 poderá ser acionado.
- ⇒ **Linha 19:** Pode-se desligar o motor 9 manualmente através do botão desliga motor 9 (**DM9**) ou automaticamente quando do sensor de nível do Reservatório Principal estiver em 100% (**RD100**).
- ⇒ **Linha 20:** Para ativar a bobina **M5** (variável interna do programa), temos que ter as seguintes condições:

- Botão Ligar motor 5 (**LM5**) ativado ou sensor do Reservatório Secundário em 25% do nível de água (**RS025**);
- Motores 1 (**M1S**), 5 (**M5S**) e 9 (**M9S**) desligados;
- Estado do motor 5 (**M5E**) OK (nível 0), ou seja, ele não está quebrado nem bloqueado;
- Nível do Reservatório Principal não é inferior ou igual a 25%, ou seja, o sensor (**RP025**) não está ativado;

Caso algumas destas condições não sejam satisfeitas a Bobina M9 não será ativada e consequentemente o motor 9 também não será ligado.



- ⇒ **Linha 21:** Para ligar o motor 5 (**M5S**) a bobina interna **M5** tem que estar ativada, ou seja, todas as condições acima listadas tem que ser verdadeiras.
- ⇒ **Linha 22:** Caso ocorra algum defeito com o motor 5 (**M5Q**) ou o botão para bloquear o motor 5 for acionado (**M5B**) a bobina **M5** (variável interna do programa) será desenergizada e a bobina (**M5E**) será energizada. Como consequência temos o desligamento do motor 5 (caso ele esteja ligado) e o seu bloqueio.
- ⇒ **Linha 23:** Quando o motor 5 estiver consertado (**M5Q**) e o botão para liberar o motor 5 estiver acionado (**M5L**), a bobina (**M5E**) será desenergizada e o motor 5 poderá ser acionado.
- ⇒ **Linha 24:** Pode-se desligar o motor 5 manualmente através do botão desliga motor 5 (**DM5**) ou automaticamente quando do sensor de nível do Reservatório Secundário estiver em 100% (**RS100**).
- ⇒ **Linha 25:** Indicador de nível do Reservatório Principal em 25% (**NRP025**).
- ⇒ **Linha 26:** Indicador de nível do Reservatório Principal em 100% (**NRP100**).
- ⇒ **Linha 27:** Indicador de nível do Reservatório Secundário em 25% (**NRS025**).
- ⇒ **Linha 28:** Indicador de nível do Reservatório Secundário em 100% (**NRS100**).
- ⇒ **Linha 29:** Indicador de nível do Reservatório de Distribuição em 25% (**NRD025**).
- ⇒ **Linha 30:** Indicador de nível do Reservatório de Distribuição em 50% (**NRD050**).
- ⇒ **Linha 31:** Indicador de nível do Reservatório de Distribuição em 75% (**NRD075**).
- ⇒ **Linha 32:** Indicador de nível do Reservatório de Distribuição em 100% (**NRD100**).



## 7. Conclusão

Através da automação do sistema de bombeamento de água em um condomínio com quatro prédios, composto por doze bombas e nove reservatórios, sendo um reservatório principal, quatro secundários e outros quatro de distribuição, aumentamos a **confiabilidade** do sistema de abastecimento.

Além do aumento da confiabilidade, temos a possibilidade de **detecção de alto consumo** nos prédios o qual indicará a possibilidade de existência de vazamentos e consequentemente a sua localização com maior rapidez, evitando desperdícios de água e de energia elétrica.



## 8. Bibliografia

- [01] DE MORAES, C.C.; CASTRUCCI, P. L., Engenharia de Automação Industrial, LTC Editora, 2001.
- [02] Notas de aula da disciplina PCC-465 (Sistemas Prediais I), ministrada na EPUSP.
- [03] Exame Nacional de Cursos (Provão) 1999 – Engenharia Civil.
- [04] Manual de Economia de Energia Elétrica em Condomínios Residenciais – Secretaria de Energia do Governo do Estado de São Paulo – 2001.
- [05] Site da empresa Siemens ([www.siemens.com.br](http://www.siemens.com.br)).
- [06] Site da empresa WEG ([www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)).
- [07] Site da empresa Schneider ([www.schneider.com.br](http://www.schneider.com.br)).
- [08] Guia de Aplicação de Inversores de Freqüência – WEG.
- [09] Apostila “Motores – Ligações / Partidas e Operações”, PEA – EPUSP.
- [10] Site da Sabesp ([www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br))
- [11] Site da ANEEL ([www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br))
- [12] BASTIDAS GUSTIN, GLADYS DEIFAN. Aplicação de Redes de Petri Interpretadas na Modelagem de Sistemas de Elevadores em Edifícios Inteligentes, São Paulo, 1999.
- [13] MURATA, T. Petri nets: properties, analysis and applications. Proceedings of the IEEE, v. 77, n. 4, p. 541-580, April, 1989.
- [14] Visual Object Net ++ 1.44. User Guide, Ilmenau University of Technology, Germany.
- [15] Petri Nets in Flexible and Agile Automation, ed. by M. ZHOU, Kluwer Academic Publisher, 1995, capítulo10.
- [16] Manual do Aluno – Controladores CLP5 – Programação e Conjunto de Instruções Básicas, Rockwell Automation, 1999.

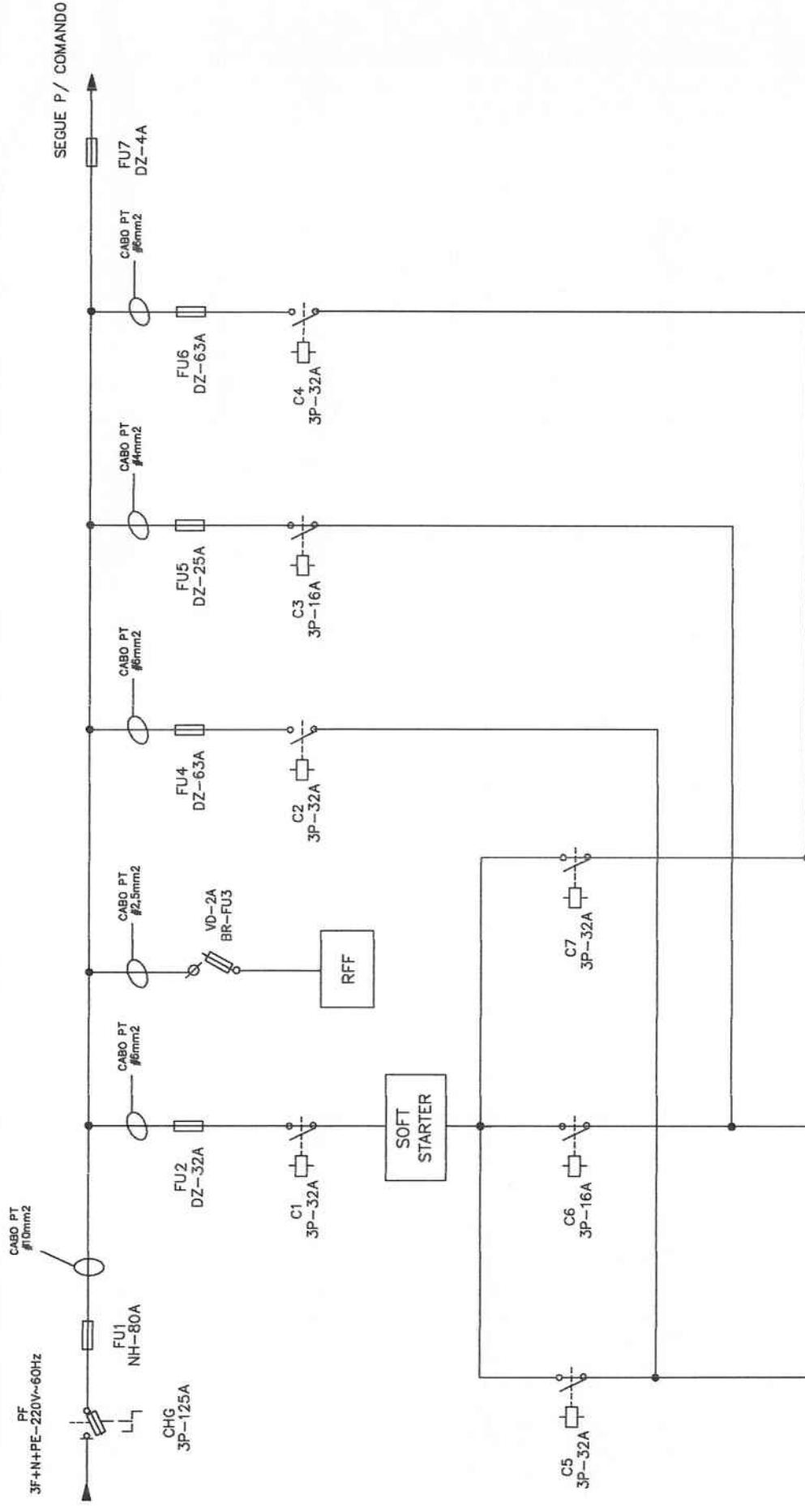


**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

---

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
PEA/EPUSP

## **ANEXOS**



**OBSERVAÇÃO:**

PARTIDA COM SOFT-STARTER

FÁBIO	ABRIL/2003	FÁBIO	ABRIL/2003	CICERO	MAIO/2003
PROJETADO POR:	DATA	DESENHADO POR:	DATA	VISTO POR:	DATA
TÍTULO DO DESENHO DIAGRAMA DE FORÇA (UNIFILAR)			PROJETO NUM. PEA.2500.2003		
DISCIPLINA PEA2500 – PROJETO DE FORMATURA I			PRODUTO AUTOMAÇÃO		
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP			PÁGINA	FORM.	A4
			102		

