



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

WELLINGTON OLIVEIRA DA SILVA

**ANÁLISE E DESCRIÇÃO DO AUTOMATISMO DO SISTEMA DE
BOMBEAMENTO D'ÁGUA LOTEAMENTO VIVACIDADE**

TUCURUÍ
2021

WELLINGTON OLIVEIRA DA SILVA

**ANÁLISE E DESCRIÇÃO DO AUTOMATISMO DO SISTEMA DE
BOMBEAMENTO D'ÁGUA LOTEAMENTO VIVACIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. André Felipe Souza da Cruz.

Coorientador: Prof. Eng. Wanderley P. dos Santos.

TUCURUÍ
2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

O48a Oliveira da Silva, Wellington.
Análise e descrição do automatismo do sistema de
bombeamento d'água loteamento Vivacidade / Wellington Oliveira
da Silva. — 2021.
117 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. André Felipe Souza da Cruz
Coorientação: Prof. Esp. Wanderley Pereira dos Santos
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de
Engenharia Elétrica, Tucuruí, 2021.

1. Automação industrial. 2. Sistema de bombeamento
d'água. 3. CLP. 4. Linguagem LADDER. 5. Controle via Soft-
starter. I. Título.

CDD 629.89

*Dedico este trabalho a minha mãe, Odeth
Oliveira da Silva.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que em vários momentos foi o meu único conforto.

A minha família – especialmente a minha mãe, Odeth Oliveira da Silva – e os esforços extraordinários que fizeram por mim até aqui.

Ao Professor Me. André Felipe Souza da Cruz, meu orientador, que me instruiu da maneira mais humilde possível durante a produção textual desta monografia.

Ao professor Wanderley Pereira dos Santos, meu Coorientador, que idealizou este trabalho e, a quem devo ensinamentos essenciais, que vão muito além dos assuntos teóricos abordados em sala de aula.

Aos meus queridos amigos que fiz ao longo dos anos da graduação, que sempre ajudaram a tornar este árduo caminho mais leve, suportável e feliz: Pâmela Rodrigues, Cássio Moraes e Letícia Zanata.

Por fim, aos amigos que fiz ao longo da vida, e que sempre estiveram ao meu lado, dando-me apoio para que não desistisse jamais: Anselmo Souza, Eleonara Cassiano, Wesley Alves, Mário Negreiros, Marlon Messias, Camila Ferreira e Priscila do Carmo.

RESUMO

Este trabalho busca descrever diversos aspectos da automação industrial, quando destinados a sistemas de bombeamento d'água. O objetivo deste trabalho consiste em descrever a funcionalidade do automatismo implementado num sistema de bombeamento d'água, com uso de controladores lógicos programáveis, utilizando lógica LADDER. Este sistema de automação resume-se a dois CLP's, conectados via comunicação sem fio, que controlam os atuadores eletromecânicos e soft-starters para partida de dois conjuntos de motobombas. Aqui, damos ênfase na utilização dos CLP's empregados no processo de comando, controle e monitoramento dos equipamentos do sistema em estudo. Foram abordadas definições acerca dos protocolos de comunicação, responsáveis por estabelecerem um canal de transmissão de dados (via-rádio) entre os CLP's. Por fim, durante a descrição do diagrama LADDER, são feitas análises e discussões sobre as possíveis situações que o sistema completo é submetido.

Palavras-chave: Automação industrial, Sistema de bombeamento d'água, CLP, Linguagem LADDER, Controle via Soft-starter.

ABSTRACT

In this work, we describe several aspects of industrial automation, when intended for water pumping systems. The objective of this work is to describe the functionality of the automation implemented in a water pumping system, using programmable logic controllers, using LADDER logic. This automation system is limited to two PLC's, connected via wireless communication, which control the electromechanical actuators and soft-starters for starting two sets of motor pumps. Here, we emphasize the use of PLCs used in the process of command, control and monitoring of the system's equipment under study. Definitions of communication protocols, responsible for establishing a data transmission channel (via radio) between the PLCs, were addressed. Finally, during the description of the LADDER diagram, analyzes and discussions are made about the possible situations that the complete system is submitted to.

Keywords: Industrial automation, Water umping system, PLC, LADDER language, Control via Soft-starter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração em diagrama de blocos: (a) Sistema SISO; (b) Sistema MIMO.	20
Figura 2 - Ilustração em diagrama de blocos: (a) Sistema SISO; (b) Sistema MIMO.	21
Figura 3 - Exemplo de uma tela sinótica de um sistema de supervisão.....	24
Figura 4 - Pirâmide da Automação.....	24
Figura 5 - Diagrama de blocos simplificados de um CLP.....	28
Figura 6 - CLP compacto - Modelo: CLW-02 da WEG.	29
Figura 7 - CLP modular - ALTUS Série NEXTO.....	29
Figura 8 - (a) Símbolo gráfico LADDER XIC: Verificador de Fechado ou Ligado. (b) Símbolo gráfico de Comando: Contato Auxiliar Normalmente Aberto.....	31
Figura 9 - (a) Símbolo gráfico LADDER XIO: Verificador de Aberto ou Desligado. (b) Símbolo gráfico de Comando: Contato Auxiliar Normalmente Fechado.	31
Figura 10 - (a) Símbolo gráfico LADDER OTE: Energização da Saída. (b) Símbolo gráfico de Comando: Bobina do Relé Eletromagnético.	32
Figura 11 - Estrutura genérica de um diagrama LADDER.	32
Figura 12 - Continuidade Lógica de linhas em um Diagrama LADDER.	34
Figura 13 - Ciclo de Varredura de um CLP.	35
Figura 14 - Camadas do Modelo de Referência ISO OSI com uma breve síntese de suas aplicabilidades.	37
Figura 15 - Modo Unicast.....	38
Figura 16 - Modo Broadcast.....	39
Figura 17 - Cabo de Par Trançado.....	40
Figura 18 - Ilustração descritiva das partes de um cabo coaxial.	41
Figura 19 - Ilustração descritiva de um segmento de fibra óptica.....	41
Figura 20 - Modelos de Rádio-modems comerciais.....	43
Figura 21 - Conjunto de elementos prevenidos pelo "rádio enlace".	44
Figura 22 - (a) Diagrama de força genérico do esquema de ligação da partida direta de um motor elétrico de indução trifásico (b) Gráfico da corrente elétrica×velocidade síncrona de um motor elétrico de indução trifásico.	46
Figura 23 - (a) Diagrama de força genérico do esquema de ligação da partida com chave autocompensadora. (b) Gráfico do comportamento da curva da Corrente de Partida Velocidade Angular, comparação entre partida direta e partida com chave autocompensadora.	47

Figura 24 - Soft-starters comerciais.....	48
Figura 25 - Tiristores SCR's ligados em antiparalelo (dois por fase).	49
Figura 26 - Rampa de Tensão na Aceleração.	49
Figura 27 - (a) Comportamento da curva de Corrente×Velocidade Angular. (b) Comportamento da curva de corrente×tempo.	50
Figura 28 - (a) Parte superior do Reservatório Enterrado. (b) Estação Elevatória de Água. (c) Reservatório Elevado.....	52
Figura 29 - (a) Os dois conjuntos motobombas; (b) Placa de dados dos motores.....	52
Figura 30 - Planta de localização geográfica das unidades.	53
Figura 31 - Síntese das particularidades referentes a cada uma das unidades.....	54
Figura 32 - CLP compacto da Marca WEG, modelo CLIC-02/20VR-D.	55
Figura 33 - CLP compacto da Marca WEG, modelo CLIC-02/20VR-D.	56
Figura 34 - Parametrização das Soft-Starters através do software SDW - Resultados.	57
Figura 35 - (a) Curva da rampa de tensão (pedestal de tensão) do motor especificado com a Soft-Starter por tempo de aceleração percentual. (b) Curva do tempo de aceleração do motor especificado com a soft-starter, por rotação percentual.	58
Figura 36 - Interior do Painel de Comando localizado na Estação Elevatório de Água.	59
Figura 37 - (a) Porta do Painel de Comando localizado na Estação Elevatório de Água. (b) Enfase nos botões do painel de comando. (c) Enfase nas sinaleiras do painel de comando. ...	60
Figura 38 - Interior do Painel de Comando localizado na Casa de Força, próximo ao Reservatório Elevado.....	61
Figura 39 - Painel de Comando localizado na Casa de Força, próximo ao Reservatório Elevado (a) Interior. (b) Tampa.....	61
Figura 40 - (a) Sensor de Nível da marca EICOS, modelo LA16M-40. (b) Método de instalação do sensor de nível da marca EICOS, modelo LA16M-40.....	62
Figura 41 - Transmissor de Pressão da marca NIVETEC, série 790 do tipo piezo-resistivo, instalado em tubulação próxima a reservatório.	63
Figura 42 - (a) Rádio Modem da marca Alfacomp, modelo RM2060. (b) Antena Yagi da marca Alfacomp, modelo CF917.....	64
Figura 43 - Disposição das unidades e elementos principais presentes no sistema.	65
Figura 44 - Entradas e Saídas Digitais especificadas no: (a) CLP-Mestre, (b) CLP-Escravo..	66
Figura 45 - (a) Comportamento das linhas de programação 001 e 002 do diagrama LADDER do CLP-Mestre. (b) Comportamento das linhas de programação 001 e 002 do diagrama LADDER do CLP-Escravo.	67

Figura 46 - Blocos de rede indicando o fluxo de informações.....	69
Figura 47 - Chave Seletora para as configurações de "MANUAL/AUTOMÁTICO"do sistema, instalado na porta do "Painel Enterrado".....	70
Figura 48 - Comportamento das linhas de programação 003 e 004 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Reservatório Enterrado está no máximo.	71
Figura 49 - Comportamento das linhas de programação 003 e 004 do diagrama LADDER do CLP-Escravo quando o Reservatório Elevado se encontrar na sua capacidade mínima de armazenamento (ênfase na Bobina “M0B” energizada).....	72
Figura 50 - Comportamento da linha 038 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Sensor de Nível de Transbordo do Reservatório Enterrado atuar devidamente no sistema.....	73
Figura 51 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01 ou 02.	73
Figura 52 - Comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01. .	74
Figura 53 - Comportamento da linha de programação 027 e 028 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver alimentação elétrica da contatora K1/Soft- Starter01/Conjunto Motobomba 01.....	75
Figura 54 - Comportamento da linha de programação 004 e 005 do diagrama LADDER do CLP-Escravo quando apenas o Sensor de Nível Mínimo do Reservatório Elevado estiver atuando no sistema.	76
Figura 55 - Comportamento da linha de programação 004 e 005 do diagrama LADDER do CLP-Escravo quando o Sensor de Nível Mínimo e Máximo do Reservatório Elevado estiver atuando no sistema (ênfase na Bobina "M0B" desenergizada).	76
Figura 56 - Comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Auxiliar "M0B" estiver desenergizada.....	77
Figura 57 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01 ou 02 (ênfase no Contato da Bobina de Relé Auxiliar "M17").	78
Figura 58 - Comportamento da linha 009 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o sistema não se encontrar em situação de emergência.....	78
Figura 59 - Comportamento da linha de programação 039 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botoeira de Emergência não tiver sido pressionada.	79
Figura 60 - Comportamento da linha de programação 009 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botoeira de Emergência tiver sido pressionada.....	80

Figura 61 - Comportamento da linha de programação 039 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botoeira de Emergência tiver sido pressionada.	80
Figura 62 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botoeira de Emergência tiver sido pressionada.	81
Figura 63 - Comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botoeira de Emergência tiver sido pressionada.	81
Figura 64 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01 ou 02.	82
Figura 65 - Comportamento da linha de programação 010 a 013 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque não estiver atuando no sistema.	83
Figura 66 - Comportamento da linha 013 e 014 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão não estiver atuando.....	84
Figura 67 - Comportamento da linha 039 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão não estiver atuando.....	85
Figura 68 - Comportamento da linha de programação 010 a 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque estiver atuando no sistema.	86
Figura 69 - Comportamento da linha de programação 039 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque estiver atuando no sistema.	86
Figura 70 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque estiver atuando no sistema.	87
Figura 71 - Comportamento da linha de programação 027 a 028 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque estiver atuando no sistema.	88
Figura 72 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01 ou 02 (ênfase no Contato da Bobina de Relé Auxiliar “m0C”).....	89
Figura 73 - Comportamento da linha de programação 004 e 005 do diagrama LADDER do CLP-Escreve quando o Sensor de Nível de Transbordo não está atuando no sistema.....	90
Figura 74- Comportamento das linhas 003 a 005 do diagrama LADDER do CLP-Escrevo quando o Sensor de Nível de Transbordo estiver atuando no sistema.	91

Figura 75 - Comportamento da linha 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Sensor de Nível de Transbordo estiver atuando no sistema.	91
Figura 76 - Comportamento da linha de programação 033 e 034 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Sensor de Nível de Transbordo do Reservatório Elevado estiver atuando no sistema.	92
Figura 77 - Comportamento da linha de programação 016 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Auxiliar "Q01" é energizada virtualmente.	93
Figura 78 - Comportamento das linhas de 018 a 026 (ênfase na linha 019) no diagrama do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Temporizador "T02" atuar.	94
Figura 79 - Comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Auxiliar "M0B" estiver desenergizada.	94
Figura 80 - Comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 02. .	95
Figura 81 - Comportamento das linhas 029 e 030 do CLP-Mestre quando houver alimentação da contatora K2/Soft-Starter02/Conjunto Motobomba 02.	96
Figura 82 - Comportamento da linha de programação 017 do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Auxiliar "Q02" é energizada virtualmente.	96
Figura 83 - Comportamento das linhas 018 a 026 do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Temporizador "T03" atuar sobre o seu respectivo contato.	97
Figura 84 - Comportamento das linhas 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre no exato instante em que a Bobina de Relé Auxiliar "M0B" for desenergizada.	98
Figura 85 - Comportamento das linhas 018 a 026 do CLP-Mestre quando houver uma nova permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01.	98
Figura 86 - Relés de Sobrecarga Térmico da marca WEG, linha RW (para cada Conjunto Motobomba) instalado no interior do "Painel Enterrado".	100
Figura 87 - Comportamento das linhas 005 e 006 do CLP-Mestre quando os Relés de Sobrecarga Térmico, de ambos os Conjuntos, não estiverem atuando.	100
Figura 88 - Comportamento das linhas 005 do CLP-Mestre quando o Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 01 estiver atuando.	101
Figura 89 - Comportamento das linhas 018 a 026 do CLP-Mestre no exato instante em que o Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 01 estiver atuando.	101
Figura 90 - Comportamento da linha 006 do CLP-Mestre quando o Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 02 estiver atuando no sistema.	102
Figura 91 - Comportamento das linhas 018 a 026 do CLP-Mestre no exato instante em que o	

Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 02 estiver atuando.....	102
Figura 92 - Chave Seletora do estado de manutenção de ambos os Conjuntos, instalada na porta do "Painel Enterrado".....	103
Figura 93 - Comportamento da linha de programação 007 e 008 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Chave Seletora do estado de manutenção não estiver selecionando nenhum dos Conjuntos Motobombas.	103
Figura 94 - Comportamento da linha de programação 007 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Chave Seletora do estado de manutenção estiver selecionando o Conjunto Motobomba 01.....	104
Figura 95 - Comportamento das linhas de programação 018 a 026 LADDER do CLP- Mestre quando a Chave Seletora do estado de manutenção estiver selecionando o Conjunto Motobomba 01.....	104
Figura 96 - Comportamento das linhas de programação 008 LADDER do CLP-Mestre quando a Chave Seletora do estado de manutenção estiver selecionando o Conjunto Motobomba 02.	105
Figura 97 - Comportamento da linha de programação 028 a -26 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Chave Seletora do estado de manutenção estiver selecionando o Conjunto Motobomba 02.....	105
Figura 98 - Comportamento da linha de programação 034 a 037 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o sistema se encontrar em uma situação de anormalidade, como as descritas na Seção 5.4.....	106
Figura 99 - Comportamento da linha de programação 006 e 007 do diagrama LADDER do CLP-Escravo, no tocante a especificação das saídas digitais "Q01" e "Q02".....	107
Figura 100 - Comportamento da linha de programação 008 e 009 do diagrama LADDER do CLP-Escravo, no tocante a especificação das saídas digitais "Q03" e "Q04".....	107
Figura 101 - Comportamento da linha de programação 010 e 011 do diagrama LADDER do CLP-Escravo, no tocante a especificação das saídas digitais "Q05" e "Q06".....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dispositivos de Entradas e Saídas Digitais / Discretos e Analógicos / Numéricos.27

Tabela 2 - Operandos do Micro Controlador Lógico Programável CLIC-02, da marca WEG.

..... 33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	18
1.2	Estrutura do Trabalho	18
2	SISTEMA DE AUTOMAÇÃO: CLP'S E COMUNICAÇÃO	20
2.1	Automação Industrial	21
2.2	Controlador Lógico Programável	25
2.2.1	Arquitetura básica dos CLP's	26
2.2.2	Classificação dos CLP's	28
2.2.3	Linguagens de Programação LADDER	30
2.2.4	Princípio de Funcionamento de um CLP	34
2.3	Protocolos de Comunicação Industrial	35
2.3.1	Protocolo de Comunicação Modbus	37
2.4	Meios Físicos de Transmissão de Dados	39
2.4.1	Transmissão por Meios Guiados	39
2.4.2	Transmissão por Meios Não-Guiados	42
3	TÉCNICAS DE ACIONAMENTO ELÉTRICO	45
3.1	Partida Direta de Motores Elétricos	45
3.2	Partida com Chave Autocompensadora	42
3.3	Partida com <i>Soft-Starter</i>	48
4	SISTEMA DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA: COMPLEXO HABITACIONAL VIVA CIDADE	51
4.1	Os CLP's Instalados	54
4.2	Os dispositivos <i>Soft-Starters</i>	55
4.3	Painéis de Comando	58
4.4	Sensores de Nível	61
4.5	Transmissor de Pressão	62
4.6	Rádio Modem e Antenas para Comunicação	63
5	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE AUTOMAÇÃO	66
5.1	Partida e Parada do Conjunto Motobomba 01	71
5.1.1	A Atuação da Boteira de Emergência	77
5.1.2	A Atuação do Transdutor de Pressão Instalado no Interior da Adutora de Recalque	81

5.13	A Atuação do Sensor de Nível de Transbordo Instalado no Interior do Reservatório Elevado	88
5.2	A Alternância do Conjunto Motobomba 01 para 02	92
5.3	A Indisponibilidade dos Conjuntos Motobombas	99
5.3.1	A Atuação dos Relés de Sobrecarga Térmico dos Conjuntos	99
5.3.2	A Condição de Manutenção dos Conjuntos	102
5.4	Casos de Anormalidade do Sistema	105
5.5	Especificações das Saídas Digitais do CLP-Escravo	106
6	CONCLUSÃO	109
	REFERÊNCIAS	110
	ANEXO A – Diagrama do CLP-Mestre	113
	ANEXO B – Diagrama do CLP-Escravo	116

1 INTRODUÇÃO

A automação em sistemas de abastecimento de água tem como principal objetivo promover uma distribuição otimizada e eficiente dos recursos hídricos em uma determinada região. A partir deste processo, podem-se evitar ao máximo os desperdícios, além de garantir que todos os consumidores finais tenham as mesmas condições de acesso, quantidade e qualidade (MARQUES, 2018a). No que tange aos critérios de operação de um sistema automatizado de abastecimento, deve-se buscar estabelecer requisitos mínimos para se respeitar as capacidades máximas de armazenamento dos reservatórios. Além disso, no tocante aos fatores associados aos desperdícios, deve-se ter em mente as perdas derivadas por vazamentos que ocorrem nas tubulações de água, os quais se consolidam como uma de suas maiores adversidades a serem subjugadas, e que podem surgir em qualquer segmento do processo - desde o início, na captação de água, até o final, no consumo propriamente dito (OLIVEIRA, Flávia et al., 2009).

Buscando oferecer uma distribuição igualitária do recurso hídrico, no tocante aos aspectos de quantidade adequada, os sistemas automatizados de abastecimento de água ainda podem ser associados a um robusto conjunto de maquinário (denominado também como conjunto motobomba) devidamente controlado em malha fechada, e que, vinculados a outros equipamentos apropriadamente especificados, destinam-se a atender uma determinada demanda populacional (MARQUES, 2018b). Com o surgimento dos Controladores Lógicos Programáveis (CLP) foi possível aperfeiçoar ainda mais as técnicas de controle e automação de sistemas de abastecimento de água, os tornando cada vez mais eficientes (SPOLAOR, 2011a). Através da definição de uma Lógica Programável, os CLP's podem, a partir de informações obtidas via sensores de nível e pressão, exercer comandos automáticos aos os atuadores hidromecânicos no sistema de motobombas (SPOLAOR, 2011b).

Em geral, quando a região de abastecimento é demasiadamente grande, necessitando assim de um conjunto de unidades de operação instaladas, faz-se necessário o uso de telemetria para providenciar comunicação entre estas unidades consideravelmente distanciadas. Uma vez aplicados os conceitos de telemetria ao sistema de automação hidráulico, torna-se possível o monitoramento (em tempo real) das condições dessas unidades, além da troca de informações, envio e recebimentos de instruções de comando, tudo realizado de maneira remota (CLPS..., 2019).

A utilização de CLP's tem sido empregada de forma eficaz no controle remoto de

sistemas hidráulicos, como podemos observar no trabalho de Spolaor (2011). Neste, o referido autor verificou os benefícios reais inerentes à arte da automação e controle, utilizada, especificamente, para atender a um sistema complexo de abastecimento d'água, enfatizando o emprego de CLP's de ponta, capazes de se comunicarem entre si via rádio, e que integram o que se define como um "sistema supervisorio" (um sistema "SCADA"), onde o processo de bombeamento d'água pode ser integralmente desenvolvido, com a mínima intervenção humana possível.

1.1 Objetivos.

Relatar, discutir e analisar a arte da automação e controle empregada em um sistema remotamente controlado, neste trabalho apresentamos a descrição funcional do automatismo elétrico do sistema de abastecimento de água do condomínio Residencial Viva Cidade, localizado na cidade de TUCURUÍ-PA, Brasil. Com a justificativa de avaliar a eficiência do sistema implementado, evidenciando e relatando os nuances do processo operacional. Nos capítulos que se seguem descrevemos:

- O sistema de bombeamento d'água existente no Residencial Viva Cidade, abordando as unidades responsáveis pelo abastecimento hídrico do complexo habitacional;
- O dimensionamento e parametrização das chaves de partida estática *Soft-starter*, as quais são responsáveis pelos acionamentos suaves dos conjuntos motobomba do sistema;
- A lógica de programação em diagrama LADDER inserida nos CLPs, e o automatismo funcional do sistema;

1.2 Estrutura do trabalho.

O capítulo 1 – introdutório; nele são apresentados a justificativa, o objetivo geral, os objetivos específicos, e a estruturação do trabalho.

O capítulo 2 – aborda algumas fundamentações teóricas acerca dos CLP's, essenciais ao pleno exercício da automação industrial, e como os protocolos de comunicação, embutidos nesses dispositivos, possibilitam a transmissão de dados entre os mesmos, elucidando também sobre os diferentes meios (guiados e/ou não-guiados) por

onde essa mesma transmissão se dá;

O capítulo 3 – trata sobre as técnicas de acionamentos elétricos que poderiam ser utilizadas nos motores de indução trifásicos presentes neste sistema, no instante de suas partidas; em um primeiro momento, comenta-se sobre a problemática de se aplicar a "partida direta" em máquinas de grande porte, e em seguida, outras técnicas que poderiam ser empregas no desenvolvimento do processo, constatando prós e contras de cada uma;

O capítulo 4 – descreve o estudo de caso deste referido trabalho, comentando acerca das unidades que compõe o sistema de bombeamento d'água do Residencial VIVA CIDADE, com suas respectivas localizações geográficas, assim como os elementos principais presentes nele, e que perfazem a integralização de todo o sistema;

O capítulo 5 – destina-se a apresentar os resultados obtidos, onde o processo de automação é descrito com base nas linhas de programação dos diagramas LADDER inserido nas memórias dos CLP's presentes no sistema; neste capítulo são analisados diversos aspectos, como, por exemplo, a maneira como as informações são compartilhadas entre os controladores lógicos programáveis, como o processo de automação se comporta em situações naturais de operação, de indisponibilidade, e em situações de caráter "anormal".

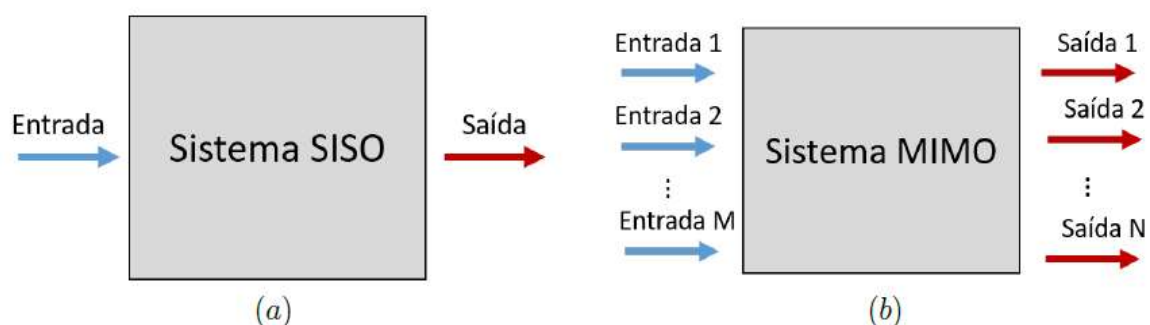
Por fim, são apresentadas considerações finais, enfatizando propostas para trabalhos futuros. Ademais, se encontram as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração do trabalho, e "Diagrama LADDER do CLP-Mestre" (Anexo A) e o "Diagrama LADDER do CLP-Escravo" (Anexo B).

2 SISTEMA DE AUTOMAÇÃO: CLP'S E COMUNICAÇÃO.

O conceito de automação está diretamente vinculado à necessidade de se realizar a substituição de alguma atividade de natureza humana, antes exercida de maneira manual, pela utilização de equipamentos "automatizados", desde que esses sejam imbuídos de alguma lógica, capaz de oferecer um comando-resposta satisfatório, e que possam desempenhar tomadas de decisões em um determinado processo produtivo, com a mínima intervenção humana possível (LAMB, 2015a). Um sistema de automação é então definido como aquele que realiza a operação de um determinado processo de forma autônoma, com o mínimo de interferência humana necessária (LAMB, 2015b; SILVEIRA e SANTOS, 2018a).

Qualquer processo físico, mecânico, elétrico ou mesmo hidráulico, pode ser caracterizado como um conjunto de entradas e saídas, de forma que as saídas do processo são função dos acontecimentos na entrada do processo, em outras palavras, uma determinada causa na entrada resulta em uma ação na saída do processo. Do ponto de vista da relação entrada/saída, qualquer processo pode ser enxergado como um sistema, onde as características do sistema definem então os efeitos de causa/ação. Assim, qualquer processo pode ser caracterizado como um sistema do tipo MIMO (Multiple Input Multiple Output), ou um sistema do tipo SISO (Single Input Single Output) (LATHI, 2007a). A Figura 1 ilustra os diagramas de blocos de ambos os sistemas SISO e MIMO.

Figura 1 – Ilustração em diagrama de blocos: (a) Sistema SISO; (b) Sistema MIMO.

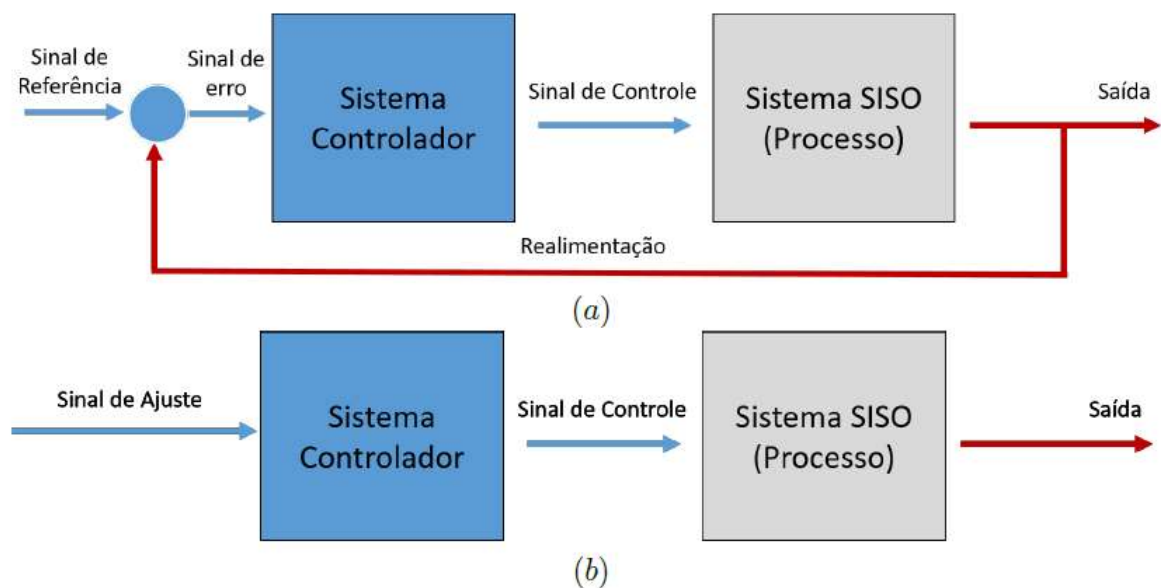


Fonte: próprio autor.

Definidas as variáveis de entrada e saída de um sistema genérico (SISO ou MIMO), um sistema específico de automação tem como objetivo tornar este processo genérico automático. Os sistemas de automação são classificados como "sistemas de

controle em malha fechada", onde as ações do sistema de controle dependem de informações obtidas na saída do processo genérico, e "sistemas de automação em malha aberta", onde o processo é totalmente automatizado para realizar operações pré-definidas, sem se preocupar com novas informações produzidas durante o processo (SILVEIRA e SANTOS, 2018b; LATHI, 2007b). A Figura 2 ilustra, em diagrama de blocos, ambas as classes de sistemas de automação, em malha fechada e em malha aberta.

Figura 2 - Ilustração em diagrama de blocos: (a) Sistema SISO; (b) Sistema MIMO.



Fonte: próprio autor.

2.1 Automação Industrial.

A Automação Industrial pode ser definida como a aplicação de tecnologias de software, hardware e equipamentos específicos em processos produtivos, sendo que usualmente está voltada para a gestão da qualidade e a transformação de um produto. A grande maioria dos sistemas de automação industrial sempre apresentam as mesmas características fundamentais, inerentes ao seu funcionamento (BRANQUINHO et al., 2014a). A saber:

- **Acionamento:** O sistema, seja ele qual for, sempre deve apresentar todos os elementos necessários para que o suprimento de energia mais apropriado possível seja entregue a ele, e ele consiga realizar o seu objetivo. Como exemplos, podemos citar: os motores elétricos, as bombas hidráulicas, entre outros;
- **Sensoriamento:** Em um sistema podem ser incluídos todos os sensores, bem

como os transdutores, inseridos no sistema. Estes dispositivos são responsáveis por mensurar alguma propriedade física (pressão hidrostática, níveis de temperatura, etc.) importantes de serem observadas no desempenho do sistema;

- **Controle:** Com bases nas informações produzidas pelo sensoriamento do sistema, os controladores são capazes de interpretá-las, e, caso necessário, executar algum comando operacional específico. Portanto, todas as ações funcionais do sistema estarão sob a responsabilidade destes elementos. Como exemplos, podemos mencionar os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs);

- **Comparador:** É o elemento dedicado a realizar uma conferência entre parâmetros mensurados no sistema, com os parâmetros prefixados pelo desenvolvedor. O Pressostato é um exemplo deste tipo de componente;

- **Programas:** Programas são responsáveis por trazerem todas as instruções existentes no sistema de automação, permitindo a interação entre todos os elementos presentes no processo. Essas instruções, geralmente, podem ser escritas de diversas maneiras diferentes (em Diagrama Ladder, Diagrama de Blocos Funcionais, Grafcet, etc.), e a sua escolha dependerá exclusivamente dos julgamentos de quem o desenvolverá.

Vale destacar que para um sistema ser considerado de "automação industrial", todos esses fundamentos devem existir imprescindivelmente em um determinado processo, e que eles não existem de maneira isolada, mas sim integralmente em todo ele (BRANQUINHO et al., 2014b).

A teoria clássica que fundamenta os aspectos da automação industrial apresenta o conceito de "pirâmide da automação", bastante difundido na área. Com base nesta conceituação, o exercício do controle efetuado no setor industrial está hierarquizado em cinco níveis distintos, onde, na base, destaca-se o nível das máquinas, ou nível "chão-de-fábrica", enquanto no topo, enfatiza-se o nível de gerenciamento corporativo (BRANQUINHO et al., 2014c; MORAES e CASTRUCCI, 2014a). A seguir estão listados alguns fundamentos básicos sobre cada um desses níveis:

- **Nível 1 (nível das máquinas ou chão-de-fábrica):** Neste nível estão vinculados os sensores e transdutores, digitais/analógicos, ou seja, os componentes responsáveis por mensurar todas as variáveis inerentes ao pleno desempenho de um determinado processo industrial. Neste estão também os dispositivos atuadores e os que têm intuito de realizar alguma automação singela (ligar/desligar) sobre as máquinas e equipamentos elétricos,

em geral, inseridos em campo, ao qual o exercício do controle se destina;

- Nível 2: (nível de controle): Neste nível estão associados não apenas os dispositivos de controle lógico, por si sós, mas também a capacidade destes, na ocorrência de mais de um, constituírem o que se define como uma "rede industrial", através de algum protocolo de comunicação. Aqui está fundamentado um exercício do controle mais criterioso sobre os equipamentos inseridos no nível inferior. O CLP, enquanto neste nível, poderá se situar próximos às máquinas ao qual se propõe a controlar, quando o sistema não apresentar um grau de complexidade elevado, ou em uma "estação de trabalho", quando contrário. IHMs (Interface-Homem-Máquina) também são presentes neste nível, embora sutis;

- Nível 3: (nível da supervisão): Neste nível é empregado um "subsistema supervisor" que consiste em um software destinado a criação de um banco a partir da aquisição de dados. Desta forma, ele irá monitorar as informações obtidas pelos componentes do primeiro nível, desde que vinculadores a algum dispositivo de controle presente no segundo nível, e que irá apresenta-las, de forma clara e objetiva, não apenas em IHMs mais elaboradas, mas também no que se define como tela sinótica (Fig. 3), de maneira que até mesmo um operador do nível chão de fábrica consiga compreender. Com base nisso, pode-se dizer que a finalidade deste nível estará mais voltada a aspectos produtivos do processo industrial, como, por exemplo, concepção de indicadores de qualidade, geração de relatórios estatísticos, criação de técnicas de otimização, etc. Vale destacar que um sistema supervisor, associado a um CLP, constitui o que se define como sistema "SCADA" (Supervisory Control and Data Acquisition).

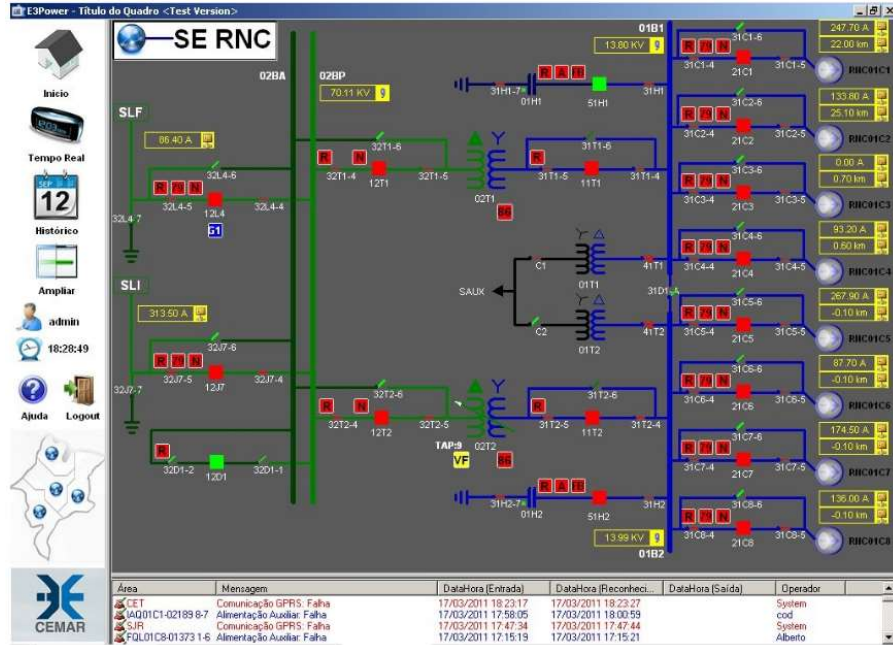
- Nível 4 (nível de Gerenciamento da Planta): Enquanto o terceiro nível foca-se nos aspectos de produção, este nível esta voltado ao planejamento logístico em um processo industrial, onde tentará solucionar determinadas questões como "o que se precisa produzir?", "em qual quantidade?", "qual o prazo final de produção?", etc.

- Nível 5 (nível de Gerenciamento Corporativo). Este nível está destinado a colher todos os dados gerados nos níveis inferiores de um determinado processo industrial, e elaborar planejamentos específicos de longo prazo. É um nível dedicado a gestão de todos os recursos da corporação, dedicando-se, principalmente, a aspectos financeiros.

A Fig. 4 exhibe a "pirâmide da automação", com uma breve síntese sobre suas principais características, assim como os protocolos de comunicação que habitualmente

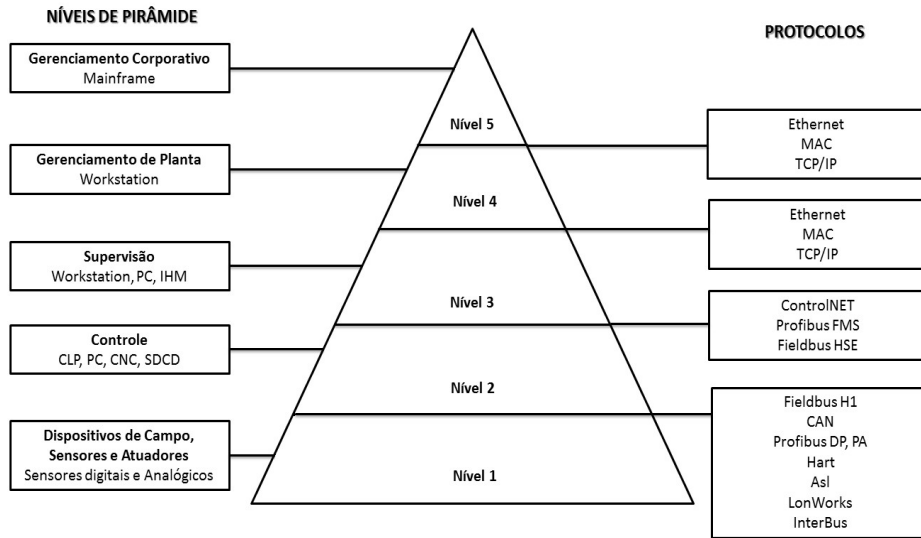
são usados para atrelar estes níveis.

Figura 3 - Exemplo de uma tela sinótica de um sistema de supervisório.



Fonte: (SISTEMAS..., 2011).

Figura 4 - Pirâmide da Automação.



Fonte: Adaptado de (MORAES e CASTRUCCI, 2014b).

2.2 Controlador Lógico Programável

Um Controlador Lógico Programável (CLP) se assemelha em diversos aspectos a um computador pessoal, contudo, voltado inteiramente ao ambiente industrializado (NATALE, 2000). Estes dispositivos eletroeletrônicos conseguem registrar instruções lógicas necessárias ao íntegro desempenho de algum processo industrial. A operação de um CLP é definida a partir de programas, que por sua vez podem ser ordenados ou em blocos operacionais inteligentes ou textos estruturados, os quais conseguem manipular inúmeros parâmetros de determinado sistema que se deseja controlar (SILVA, Edilson, 2016a). Exemplificando, um CLP pode ser programado para temporizar, contar, comparar, realizar a comunicação de dados por meio de uma rede industrial – tanto entre outros dispositivos quanto a outros CLPs.

Os CLPs surgiram na década de 60 com a finalidade de substituir os relés utilizados em chão de fábrica. Com o passar dos anos, estes dispositivos foram sofrendo evoluções tecnológicas drásticas; além disso, e especialmente por apresentarem uma natureza computacional, lhes foram atribuídas inúmeras funções de controle (SILVA, Edilson, 2016b; PETRUZELLA, 2014a).

O uso dos CLPs em processos de automação tem proporcionado além de custos reduzidos, uma diminuição considerável das dimensões dos painéis de comando atuais. As vantagens da utilização de CLPs nestes processos incluem (PETRUZELLA, 2014b):

- Uma redução drástica da fiação que seria usada para efetuar o controle do sistema, uma vez que esse controle agora pode ser realizado exclusivamente por um único CLP, sendo necessária apenas para conectar os dispositivos de campo que estão inseridos em um determinado processo industrial;
- A facilidade em estabelecer uma relação de conexão entre os dispositivos utilizados no sistema, uma vez que isso é estabelecido pelo programa do desenvolvedor, e não somente, mas também a simplicidade envolvida quando há a necessidade de alterar algum aspecto de controle do processo, bastando modificar o próprio programa, e não circuitos inteiros, como anteriormente;
- Atua em tempo real e, portanto, ele deve apresentar um tempo de resposta rápido mediante a alguma eventualidade que ocorra no sistema.
- São capazes de diagnosticar erros gerados pelo próprio programa do desenvolvedor, ou mesmo de algum equipamento utilizado em um sistema, facilitando a

correção.

2.2.1 Arquitetura básica dos CLPs.

Genericamente, a arquitetura de um CLP pode ser subdividida em Unidade Central de Processamento (CPU), Módulos E/S (Entrada/Saída), Fonte de Alimentação, Interface Homem Máquina (IHM) e Sistema de Comunicação.

A Unidade Central de Processamento (CPU) é responsável por exercer, de fato, todas as atividades de controle elaboradas em um CLP, sendo muitas vezes compreendido como sendo o "cérebro" do dispositivo. Entre os elementos que satisfazem a sua composição, podemos referir em destaque o seu processador, bem como o seu sistema de memória interno (SILVEIRA e SANTOS, 2018c). A saber:

- O Processador: sua principal finalidade é prover a gerência total do sistema que esta sendo controlado pelo CLP. Ele deve assegurar o pleno desempenho do ciclo de varredura existente no processo, o que implica em controlar o fluxo do programa do desenvolvedor; também recebe todos os sinais que chegam aos módulos de entrada, efetua todas as operações lógico-matemáticas cabíveis, atualizando as novas informações computadas nos módulos de saída (SILVEIRA e SANTOS, 2018d).

- O Sistema de memórias: as memórias do CLP, de forma sucinta, podem ser divididas em memória de programa, destinada a comportar o programa do desenvolvedor, e memória de dados, esta por sua vez consiste na memória responsável por armazenar informações provisórias, e que logo são perdidas (FRANCHI e CAMARGO, 2008a).

- Os Módulos E/S são responsáveis por estabelecer uma interface de conexão apropriada entre todos os dispositivos de campo inseridos em um determinado sistema de automação com a CPU do CLP (PETRUZELLA, 2014c). Os do tipo Digitais/Discretos produzem sinais elétricos de natureza ON/OFF, comportando, portanto, apenas duas situações de estado possível (FRANCHI e CAMARGO, 2008b); já os tipos Analógicos/Numéricos produzem sinais elétricos que variam de maneira contínua ao passar do tempo (ASSIS, 2012a). A Tab. 1 exemplifica alguns destes componentes.

Tabela 1 - Dispositivos de Entradas e Saídas Digitais / Discretos e Analógicos / Numéricos.

DISPOSITIVOS DIGITAIS / DISCRETOS		DISPOSITIVOS ANALÓGICOS / NUMÉRICOS	
Entradas	Saídas	Entradas	Saídas
Chaves Seletoras	Partida de Motores	Potenciômetros	Mostradores Gráficos
Sensores de Nível	Sinalizador Sonoro	Transdutores de Pressão	Medidores Analógicos
Contatos de Relés	Sinalizador Luminoso	Transdutores de Temperatura	Válvulas Analógicas

Fonte: Adaptado de (SILVEIRA e SANTOS, 2018e).

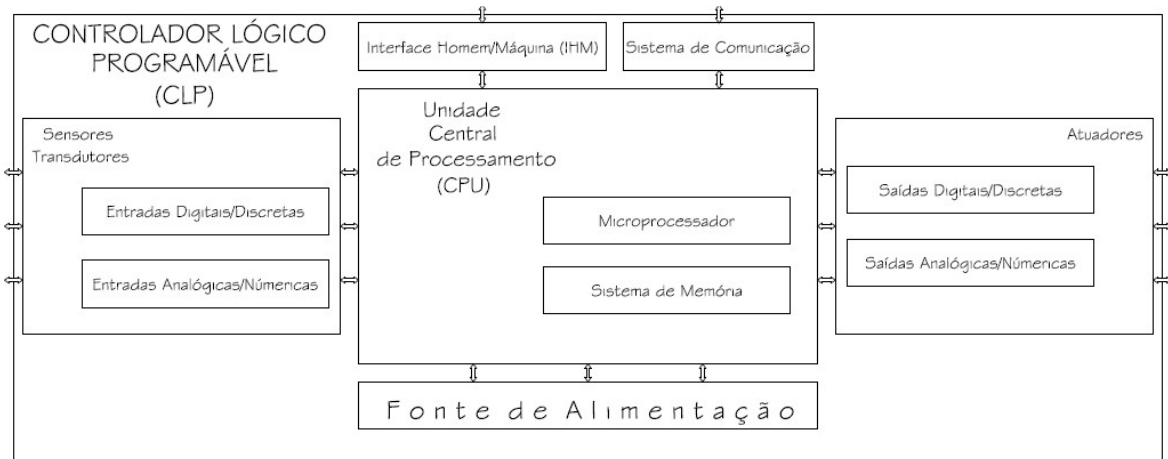
- A Fonte de Alimentação deve providenciar o fornecimento de energia elétrica em níveis adequados não somente a CPU, mas a todos os componentes presentes no interior do CLP, incluindo os módulos de E/S, a fim de que ele consiga realizar todas as suas atividades internas (FRANCHI e CAMARGO, 2008c).

- A Interface Homem/Máquina (IHM), também conhecido como "dispositivo de programação e leitura", é responsável por estabelecer uma interação entre o CLP propriamente dito e quem o estiver operando em um dado momento específico. Comportam os teclados do dispositivo, que são capazes de registrar instruções de comandos, bem como o seu display, que expõe as alterações que vão sendo realizadas em tempo real, o fluxo do programa quando esse estiver em progresso, etc (ASSIS, 2012b). Vale destacar que, geralmente, a IHM que acompanha o CLP é demasiadamente simplória, tornando-se necessário prover uma conexão com outro computador que ofereça mais capacidades em tais aspectos, a fim de sanar esta falta (SILVEIRA e SANTOS, 2018f; ASSIS, 2012c).

- O Sistema de Comunicação baseia-se em uma interface do CLP que possibilita uma troca de dados entre diversos tipos de equipamentos. Entre suas funções, consiste na transmissão de sinais, através de algum protocolo de comunicação que esteja plenamente estabelecido, possibilitando a criação de redes industriais, físicas ou não (SILVEIRA e SANTOS, 2018g; ASSIS, 2012d).

A Fig. 5 mostra um diagrama em blocos da arquitetura genérica de um CLP.

Figura 5 - Diagrama de blocos simplificados de um CLP.

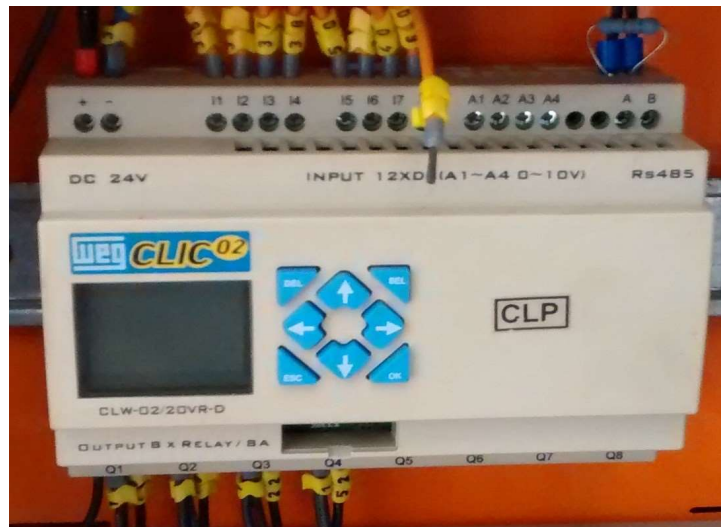


Fonte: Adaptado de (FRANCHI e CAMARGO, 2008d).

2.2.2 Classificação dos CLPs

Os CLPs podem ser classificados de dois modos distintos: CLPs compactos e CLPs Modulares. A principal característica dos CLPs compactos é o fato de que todos os seus componentes constituintes internos (fonte de alimentação, CPU, os módulos de E/S e a Interface Homem/Máquina) estão reunidos em uma única unidade, não existindo partes que possam ser removidas, por este motivo na presença de um defeito interno, faz-se necessário à substituição integral do CLP (PETRUZELLA, 2014d). Vale ressaltar que, atualmente, dependendo da marca e do modelo do CLP, pode haver uma grande variedade de módulos especiais que podem ser facilmente adquiridos, como, por exemplo, outros módulos de E/S. Os CLP's compactos são elementos de pequeno porte, com baixa capacidade de processamento, porém baixo custo de aquisição, sendo ideias para satisfazer aplicações menores, como desempenhar o controle, comando e monitoração de uma máquina individual, ou para estabelecer uma comunicação com outros CLPs através de uma rede industrial (PETRUZELLA, 2014e). Um exemplo de CLP compacto é o modelo CLW-02 da WEG, este é mostrado na Fig. 6.

Figura 6 - CLP compacto - Modelo: CLW-02 da WEG.



Fonte: próprio autor.

Os CLPs Modulares apresentam como característica básica o fato de que todas as suas partes constituintes estão decompostas em módulos, separadamente; eles, por sua vez, ficam conectados em posições pré-estabelecidas no rack do dispositivo (também conhecido como "gabinete"), que é uma espécie de base do componente; e na parte traseira deste gabinete que se encontra a placa-mãe do CLP, responsável por realizar a interconexão entre todos esses módulos. Como vantagem, apresentam uma grande flexibilidade, uma vez que possibilitam a configuração desde microCLPs, com poucos módulos de E/S, até os de maior porte, com milhares de expansões de E/S (FRANCHI e CAMARGO, 2008e). Na Fig. 7 é mostrado um CLP Modular ALTUS Série NEXTO.

Figura 7 - CLP modular - ALTUS Série NEXTO.



Fonte: (ASSUMA..., 2011).

2.2.3 Linguagens de Programação LADDER.

A linguagem de programação de um CLP, em suma, está associada à maneira como o seu programador transmite instruções informacionais a ele (PETRUZELLA, 2014f). Inicialmente, surgiram diversas linguagens de programação distintas, que foram sendo desenvolvidas por diferentes fabricantes ao passar do tempo. Este fato gerou inúmeros transtornos, uma vez que CLPs, programados com linguagens exclusivas, não podiam ser reutilizados na eventualidade de uma substituição do dispositivo por outro que não fosse do mesmo fabricante, ou até o mesmo modelo.

Na observância da grande necessidade de padronizar essas linguagens de programação, no início da década de 90, o IEC (Internacional Electrotechnical Commission) produziu uma norma, conhecida hoje como a “IEC 61131”, que não apenas define as linguagens de programação destes dispositivos, mas também como a vários outros aspectos gerais dos CLP (FRANCHI e CAMARGO, 2008f).

A norma IEC 61131 deliberou cinco linguagens de programações, entendidas como as linguagens padrões para serem utilizadas para programar em CLP, Lista de Instruções (IL - Instruction List), Texto Extruturado (ST - Structured Text), Diagrama de Blocos de Funções (FBD - Function Block Diagram) e Diagrama em escada (ou linguagem LADDER) (FRANCHI e CAMARGO, 2008g). Neste trabalho nos limitamos a tratar da linguagem LADDER, em caráter especial, uma vez que ela foi à linguagem empregada para programar o CLP utilizado neste caso de estudo em particular.

A linguagem de programação LADDER está definida como sendo a primeira linguagem desenvolvida exclusivamente para se programar os Controladores Lógicos Programáveis, sendo, sem sobras de dúvidas, a mais difundida pelo mundo no tocante a este aspecto. Ela foi completamente estruturada com base na "lógica a relé", e isto se deve ao fato de que, desde o momento em que ela começou a ser concebida, buscou-se figurar uma linguagem de programação que fosse facilmente compreendida entre os profissionais designados à manutenção do "chão fábrica" (FRANCHI e CAMARGO, 2008h).

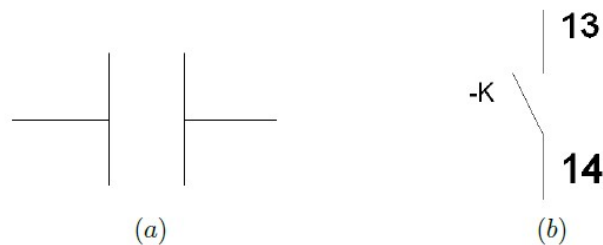
Essa linguagem de programação pode ser interpretada como sendo um conjunto de símbolos gráficos que representam os contatos e as bobinas de um relé eletromagnético, os quais, uma vez que são devidamente organizados no diagrama LADDER, deverão desempenhar uma lógica de controle especificada, podendo, posteriormente, ser inserida na memória do CLP. Com base nisso, é possível observar uma semelhança entre os símbolos

utilizados neste diagrama e os símbolos utilizados em um diagrama de comando (PETRUZELLA, 2014g).

No tocante aos símbolos utilizados na linguagem de programação LADDER, há três essenciais que merecem ser destacados (PETRUZELLA, 2014h):

- Verificador de Fechado ou Ligado (XIC): conhecido também como Examine-On (ligado), além de ser semelhante a um, ele também atua como um Contato Normalmente Aberto (NA) de um relé eletromagnético. A Figura 8 exibe este símbolo gráfico ladder, fazendo uma comparação com símbolo gráfico de comando associado.

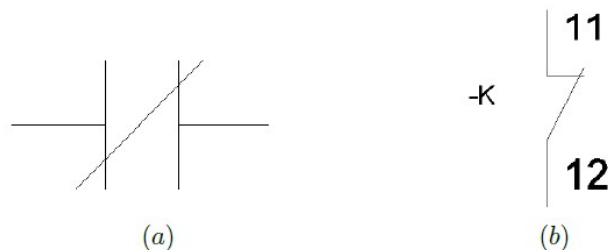
Figura 8 - (a) Símbolo gráfico LADDER XIC: Verificador de Fechado ou Ligado. (b) Símbolo gráfico de Comando: Contato Auxiliar Normalmente Aberto.



Fonte: Adaptado de (PETRUZELLA, 2014i).

- Verificador de Aberto ou Desligado (XIO): conhecido também como Examine-Off (ligado), além de ser semelhante a um, ele também atua como um Contato Normalmente Fechado (NF) de um relé eletromagnético. A Figura 9 exibe este símbolo gráfico ladder, e novamente é feita a comparação com o gráfico de comando associado.

Figura 9 - (a) Símbolo gráfico LADDER XIO: Verificador de Aberto ou Desligado. (b) Símbolo gráfico de Comando: Contato Auxiliar Normalmente Fechado.

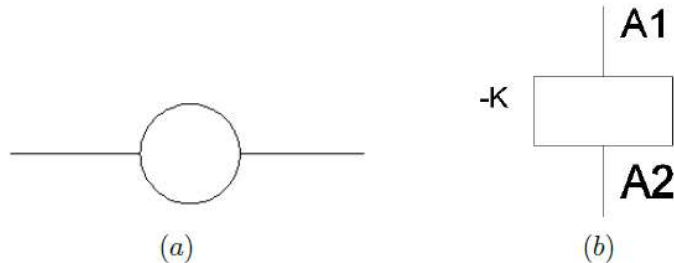


Fonte: Adaptado de (PETRUZELLA, 2014j).

- Energização de Saída (OTE): além de ser semelhante a uma, ele também atua como a bobina de um relé eletromagnético, e sua função é nortear o CLP a energizar (ligar) ou desenergizar (desligar) uma determinada saída à relé. A Figura 10 exibe este símbolo gráfico ladder, fazendo uma comparação ao símbolo gráfico de comando ao qual

ele está associado.

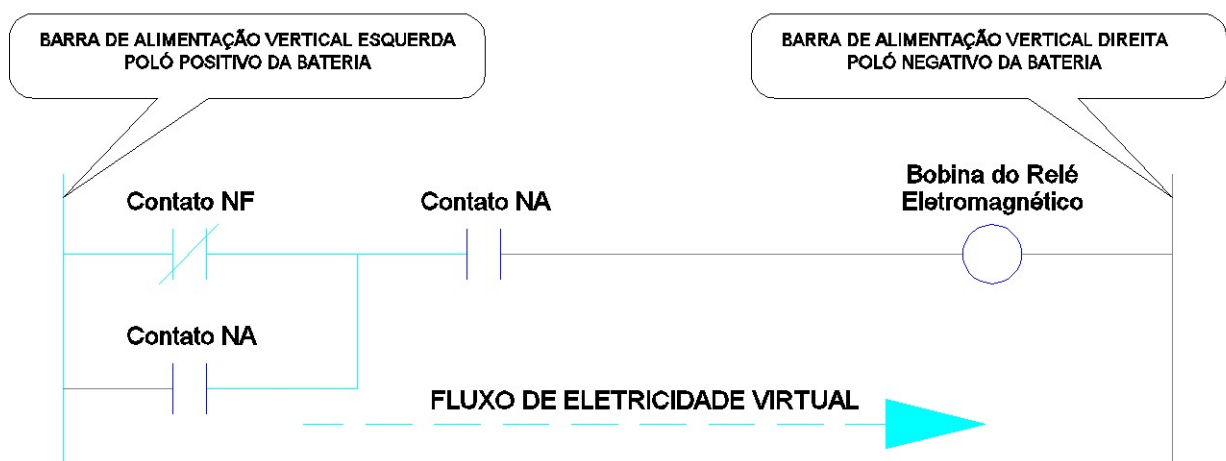
Figura 10 - (a) Símbolo gráfico LADDER OTE: Energização da Saída. (b) Símbolo gráfico de Comando: Bobina do Relé Eletromagnético.



Fonte: Adaptado de (PETRUZELLA, 2014k).

Um programa estruturado em linguagem LADDER é desenvolvido no que se define como um "diagrama de contatos LADDER". Ele é constituído por duas barras de alimentação vertical, onde a esquerda simboliza o polo positivo de uma bateria, enquanto que a barra da direita simboliza o seu polo negativo; é através dela que fluíra uma "eletricidade virtual", sempre indo da esquerda para a direita (Figura 11). Desta forma, pode-se averiguar que a função básica de um programa desenvolvido em diagrama LADDER é efetuar o controle dos acionamentos das saídas, com base nas combinações lógicas dos contatos nas entradas (FRANCHI e CAMARGO, 2008i).

Figura 11 - Estrutura genérica de um diagrama LADDER.



Fonte: Adaptado de (FRANCHI e CAMARGO, 2008j).

Na Fig. 11, os parâmetros vinculados aos elementos de entrada, saída, memória, comparadores, temporizados, entre vários outros, são conhecidos como "operandos", e todas as operações lógicas e aritméticas desempenhadas pelo programa são efetuadas

sobre eles (PAREDE e GOMES, 2011a). A Tabela 2 exibe algumas considerações sobre os operandos existentes no CLP CLIC-02, da marca WEG, o qual foi utilizado na concepção deste trabalho.

Tabela 2 - Operandos do Micro Controlador Lógico Programável CLIC-02, da marca WEG.

	Identificação	Contatos		Faixa Válida.
		NA	NF	
Entrada digital	I	I	i	I01~I0C
Saída Digital	Q	Q	q	Q01~Q08
Entrada Via Teclado	Z	Z	z	Z01~Z04
Entrada Digital de Expansão	X	X	x	X01~X0C
Saída Digital de Expansão	Y	Y	y	Y01~Y0C
Marcador Auxiliar	M	M	m	M01~M3F
Marcador Auxiliar	N	N	n	N01~N3F
Temporizador	T	T	t	T01~T1F
Contador	C	C	c	C01~C1F
RTC	R	R	r	R01-R1F
Comparador	G	G	g	G01~G1F

Fonte: (MICRO..., 2016a).

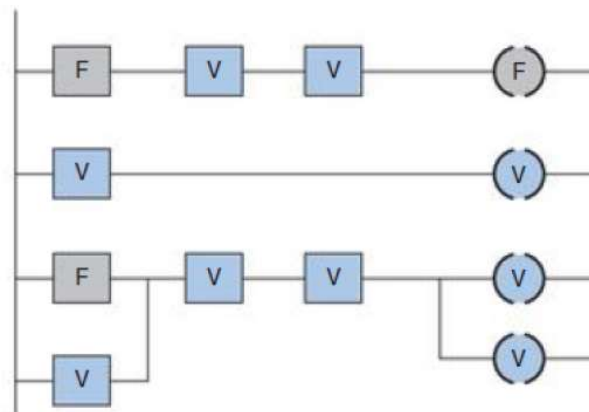
As linhas de instruções de um programa desenvolvido em diagrama LADDER (também conhecido como "rung", ou "degrau" quando traduzido para o português) podem ser compreendidas como sendo um conjunto de condições, simbolizado pelos contatos NA e/ou NF, e uma condição de saída, simbolizado pela bobina de um relé eletromagnético. Vale destacar que essas condições de saída, assim como todos os operandos, com exceção dos vinculados aos módulos de entradas, devem ser os últimos elementos depositados a direita do diagrama concebido (FRANCHI e CAMARGO, 2008k).

Embora muitos profissionais da área tendam a compreender o diagrama LADDER de forma similar a um circuito de controle a relé, esta abordagem não é a mais adequada. Primeiramente, é necessário desassociar as operações realizadas pelos dispositivos de campo das operações realizadas pelo CLP, e sim como associações de portas lógicas. Neste contexto,

um contato NA será entendido como verdadeiro (on/ligado /1) quando o dispositivo de entrada a qual ele estiver vinculado estiver recebendo sinal, e falso (off/desligado/0) quando não estiver; o mesmo ocorre a um contato NF, mas de maneira oposta, ou seja, ele será entendido como verdadeiro (on/ligado/1) quando o dispositivo de entrada a ele vinculado não estiver recendo sinal, e falso (off/desligado/0) quando estiver (PETRUZELLA, 2014l).

A continuidade lógica (Fig. 12) acontece quando o fluxo de "eletricidade virtual" flui entre as barras, através de uma associação de contatos fechados, até a bobina, a qual deve ser o último componente da linha, ou seja, o ultimo elemento presente ao lado direito desta (PETRUZELLA, 2014m).

Figura 12 - Continuidade Lógica de linhas em um Diagrama LADDER.



Fonte: PETRUZELLA, 2014n.

2.2.4 Princípio de Funcionamento de um CLP.

O princípio de funcionamento de um CLP consiste no que se define como "ciclo de varredura do programa". Este processo – sequencial e contínuo – é realizado através das seguintes etapas (PAREDE e GOMES, 2011b):

- Etapa de Entrada: é a primeira etapa do ciclo; nela, ocorre a leitura dos sinais produzidos por todos os dispositivos de campo (digitais e analógicos) que estão associados às entradas do CLP e os dados obtidos são armazenados em sua memória interna, em um local conhecido como "tabela de imagem de entrada";

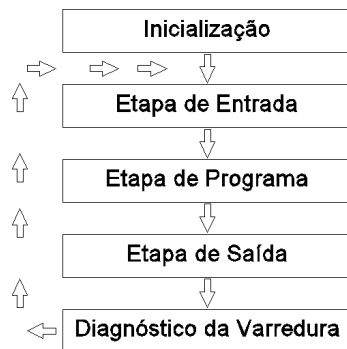
- Etapa de Programa: uma vez que o programa desenvolvido pelo usuário esteja plenamente inserido na memória interna do CLP, portando, portando, toda a lógica do processo, ele é executado; nesta etapa, todos os degraus do programa são apurados, onde os

dados presentes na "tabela de imagem de entrada" são referidos a fim de se ponderar sobre o estado lógico das condições de entradas; caso haja uma continuidade lógica para uma determinada saída, esse valor é armazenado em sua memória interna, numa região conhecida como "tabela de imagem de saída". Vale mencionar que nesta etapa os sinais da saída não são alterados de fato;

- Etapa de saída: nesta etapa, todos os valores contidos na "tabela de imagem de saída" são convertidos em sinais propriamente ditos, e implementados nos módulos de saída.

A quarta etapa do processo está relacionada aos diagnósticos da varredura, onde são averiguados determinados aspectos, como, por exemplo, o tempo total de um ciclo de varredura. Quando um ciclo termina, tão logo outro é se inicia, sequencialmente. A Fig.13 ilustra o ciclo de varredura de um CLP.

Figura 13 - Ciclo de Varredura de um CLP.



Fonte: PETRUZELLA, 2014o.

2.3 Protocolos de comunicação industrial.

Um protocolo de comunicação pode ser compreendido como um conjunto de regras que define a maneira como a transmissão de dados entre os dispositivos de uma determinada rede será executada. Ou seja, ele estipula a quantidade de bits que são transmitidos dentro da rede, o ordenamento dos dados que são enviados e recebidos pelos dispositivos presentes nela, a codificação desses dados, a detecção de possíveis erros, etc (ASSIS, 2012e; PAREDE e GOMES, 2011c). Desta forma, com base em uma simplória analogia, pode-se dizer que os protocolos de comunicação estão para esses dispositivos assim como os idiomas estão para os seres humanos.

Na década de 80 não existia uma norma de padronização que abrangesse os

protocolos de comunicação, desta forma, cada fabricante acabava por desenvolver o seu protocolo particular, de cunho privativo, atendendo apenas aos seus próprios componentes. Uma década depois, na observância do grande crescimento que esse mercado estava adquirindo, viu-se a necessidade de estabelecer padrões internacionais que contemplassem o assunto (PAREDE e GOMES, 2011d). A partir da padronização, tornou-se possível classificar os protocolos de comunicação em dois grupos distintos, protocolos de comunicação abertos e protocolos de comunicação fechados (ASSIS, 2012f; PAREDE e GOMES, 2011e).

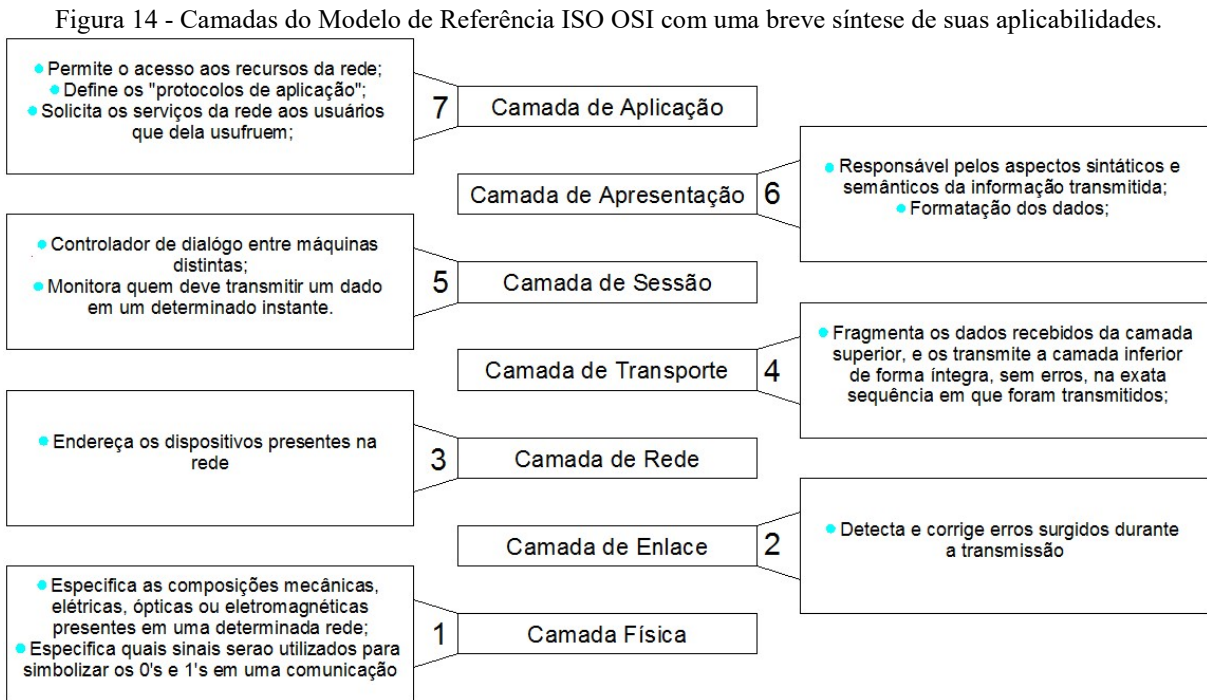
Os protocolos de comunicação fechados baseiam-se nos primeiros protocolos de comunicação que foram desenvolvidos, e que ainda são utilizados em condições oportunas. Como foram mencionados, estes protocolos são concebidos especificamente por um determinado fabricante, e incluídos exclusivamente em seus próprios dispositivos, não havendo margem para que outras empresas os utilizem, visto que todos os direitos de sua utilização são de domínio exclusivo de quem o desenvolveu. Como exemplo, podemos destacar a Alnet e a Fatek, ambos os protocolos de comunicação desenvolvidos pela fabricante Altus.

Já os protocolos de comunicação abertos podem ser livremente empregados por qualquer fabricante de hardware e software; por meio de normas técnicas internacionais, suas particularidades são de acesso ao público, não havendo necessidade de pagar por autorais legais para sua utilização. Como exemplo, podemos destacar o Modbus, Hart, Profibus, entre inúmeros outros.

Os protocolos de comunicação ainda carecem de um meio físico (guiado, não-guiado, ou mesmo misto) para que a interconexão entre os dispositivos seja constituída, e, geralmente, essa associação é determinada pelo próprio fabricante. A escolha ideal de um protocolo de comunicação em uma determinada rede está relacionado a diversos critérios, como o custo do hardware escolhido, a quantidade de pontos de entrada e saída permitidos pela camada física, assim como a distância física máxima admitida por ela, o tempo de resposta, entre outros.

A International Standards Organization (ISO) aderiu a um modelo de referência no tocante à arquitetura dos protocolos abertos de comunicação de dados. Este modelo ficou conhecido como Open Systems Interconnection (OSI), o qual organiza a comunicação de dados em sete camadas hierarquizadas, sendo estas a Camada de Aplicação, Camada de Apresentação, Camada de Sessão, Camada de Transporte, Camada de Rede, Camada de Enlace e Camada Física (LOPES; BENEVENUTO; OLIVEIRA, Fábio, 2015; JÚNIOR,

2021; WETHERALL e TANENBAUM, 2014a). Nesta estrutura hierárquica, cada camada possui sua aplicabilidade própria, subsidiando as suas camadas adjacentes. A Fig. 14 elucidada alguns fundamentos básicos sobre cada uma das sete camadas.



Fonte: adaptado de (WETHERALL e TANENBAUM, 2014b).

2.3.1 Protocolo de comunicação Modbus.

O protocolo de comunicação Modbus foi concebido pela empresa Modicon (hoje Schneider Electric) no ano de 1979. Trata-se de um dos protocolos abertos mais amplamente empregados da atualidade na concepção de redes industriais, sendo utilizados por inúmeros fabricantes, em diversos tipos de produtos, o que o consolidou como sendo um protocolo de comunicação "padrão" (ASSIS, 2012g).

O protocolo Modbus está situado na 7ª camada (camada de aplicação) do modelo OSI (ASSIS, 2012h), e os dispositivos que utilizam deste protocolo, inseridos numa mesma rede, realizam uma comunicação do tipo "mestre-escravo", hora conhecida também como "cliente-servidor", ou ainda "pergunta-resposta". Neste tipo de comunicação, um dos dispositivos (um CLP, por exemplo) é definido como "mestre" de rede, e somente ele é autorizado a questionar os dispositivos definidos como escravos (outros CLPs, IHMs, transdutores, entre outros), os quais devem responder de acordo aos questionamentos efetuados anteriormente. Uma rede industrial constituída em uma versão

padrão do protocolo Modbus admite apenas 1 mestre e no máximo 247 escravos. Vale destacar que os escravos não podem estabelecer comunicação entre si (ASSIS, 2012i; PAREDE e GOMES, 2011f; KUROSE e ROSS, 2014a).

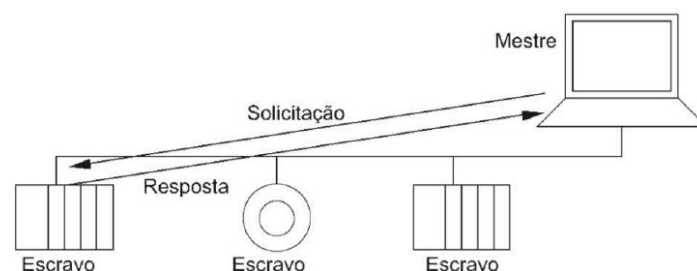
Operando com o protocolo Modbus, um CLP mestre pode operar em dois modos diferentes, modo unicast e modo broadcast.

No modo unicast são enviados duas mensagens, a primeira consiste em um determinado requerimento realizado pelo mestre da rede a um escravo que esteja plenamente definido nela, enquanto a outra se estabelece como uma mensagem-resposta satisfeita pelo escravo que tenha sido questionado (Fig.15). Já no modo broadcast, o mestre envia apenas um requerimento, mas não a apenas um escravo que esteja plenamente definido nela, e sim a todos os que existirem, não havendo resposta de nenhum deles (Fig.16).

O protocolo Modbus ainda pode ser classificado em três versões (PAREDE e GOMES, 2011g):

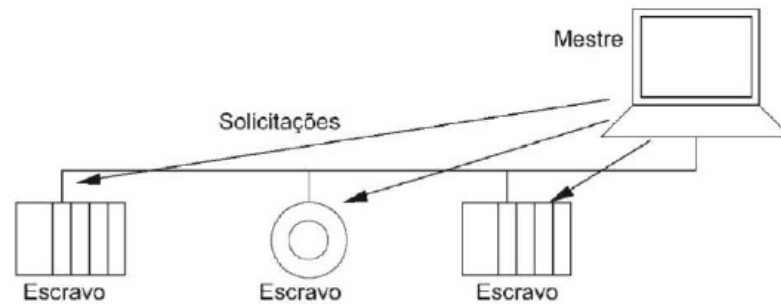
- O Modbus RTU (Remote Terminal Unit) recebe esse nome por estar associado às RTUs, que nada mais são do que os dispositivos usados exclusivamente para exercer a função de controle remoto em um determinado processo de automação.
- O Modbus Plus se enquadra como um protocolo fechado, requerendo uma licença da empresa proprietária (Schneider Electric) para o seu uso. Trata-se de uma versão aprimorado do protocolo Modbus RTU em vários aspectos, como a possibilidade de permitir a existência de vários mestre e escravos em uma rede.
- O Modbus TCP/IP é mais utilizada em sistema supervisórios. Aqui, o protocolo Modbus RTU é plenamente envolvido no protocolo TCP/IP, e transmitido através de redes no padrão Ethernet.

Figura 15 - Modo Unicast



Fonte: (MORAES e CASTRUCCI, 2014c).

Figura 16 - Modo Broadcast.



Fonte: (MORAES e CASTRUCCI, 2014d).

O protocolo Modbus RTU, desta forma, consolida-se como sendo o protocolo mais idealmente indicado a ser implementado em uma rede industrial, onde o dispositivo de controle lógico se atenta apenas aos equipamentos presentes no primeiro nível da pirâmide da automação, ou seja, em sistemas que não possuem um grau de complexidade tão elevado.

2.4 Meios Físicos de Transmissão de Dados.

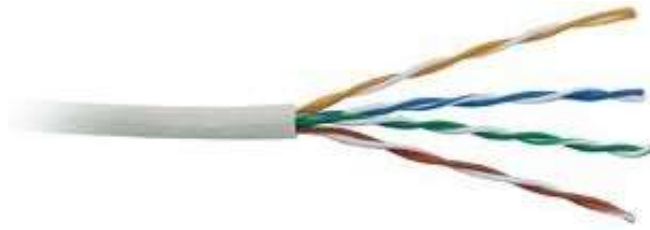
Os meios físicos de transmissão de dados que se propõem a estabelecer uma comunicação de bits entre dois, ou mais, elementos específicos podem ser categorizados de duas maneiras distintas, meios guiados e meios não-guiados.

Na categoria de meios guiados a transmissão de dados ocorre através do percurso que as ondas (eletromagnéticas ou luminosas) fazem em um determinado material sólido, ou seja, um fio condutor. Como exemplos, podemos mencionar os cabos de pares trançados, cabos coaxiais e ainda os cabos de fibras ópticas. Já na categoria de meio não-guiados a transmissão de dados acontece através das propagações de onda (de rádio, por exemplo) que ocorrem na atmosfera. Como exemplo, podemos citar transceptores (KUROSE e ROSS, 2014b).

2.4.1 Transmissão por Meios Guiados.

De uma forma genérica, pode-se dizer que o cabo de par trançado (Fig. 17) é, geralmente, composto por quatro por pares de fios de cobre revestidos, e que são enrolados entre si em espiral (WETHERALL e TANENBAUM, 2014c).

Figura 17 - Cabo de Par Trançado.



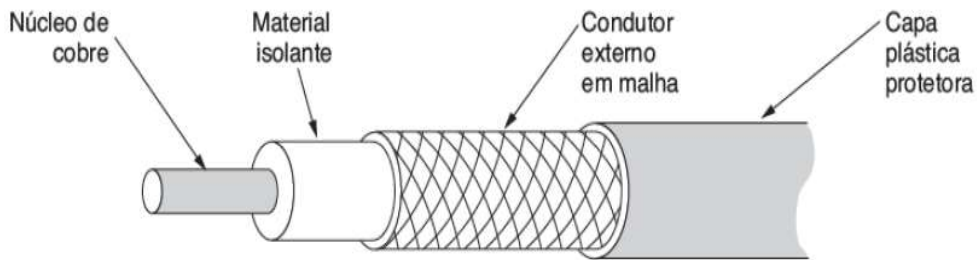
Fonte: (SCHUNCKE, 2013)

Como vantagens na utilização deste cabo, pode-se destacar que em relação aos outros, é o meio de transmissão guiado de menor custo, além de serem utilizados na transmissão de dados, tanto os analógicos quanto os digitais. No tocante aos aspectos de instalação, apresenta uma estrutura bastante flexível, além de apresentar uma ótima taxa de variação na transmissão de dados, podendo variar de 10 Mbps até mesmo 1.000 Mbps (embora isso dependa da bitola do cabo que se está utilizando) (TORRES, 2001a). Já como desvantagem, pode-se mencionar que em trechos mais longos (maiores do que 100 metros, por exemplo), a transmissão dos dados torna-se demasiadamente atenuada, ou seja, perde sua força, o que gera a necessidade de se utilizar repetidores de sinal, para amplificá-lo (TORRES, 2001b).

Atualmente, o cabo de par trançado é mais aplicado em redes de telefonia e de internet discada (KUROSE e ROSS, 2014c).

Outro tipo de comunicação por meio material bastante utilizado desde os primórdios da comunicação é o cabo coaxial. Um cabo coaxial é constituído, geralmente, por um condutor interno, que é basicamente um fio de cobre que se estende através de todo o seu centro, sendo imediatamente protegido por um material isolante. Esse material isolante é envolvido por outro condutor, agora externo, que também percorre toda a extensão do cabo, porém como uma malha metálica cilíndrica geralmente entrelaçada. Por fim, este condutor externo é totalmente revestido por uma camada plástica, que tem por finalidade protegê-lo. Na Fig. 18 é mostrado um cabo coaxial, além de uma ilustração descritiva indicando as diferentes partes do cabo coaxial.

Figura 18 - Ilustração descritiva das partes de um cabo coaxial.

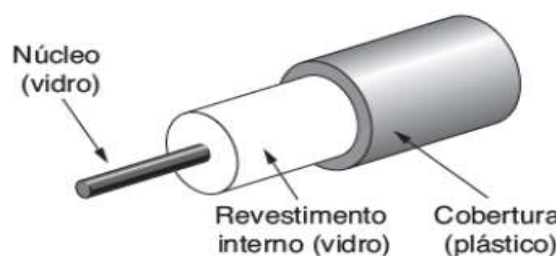


Fonte: (WETHERALL e TANENBAUM, 2014d).

Entre as vantagens de se utilizar este cabo, podemos citar que devido a sua blindagem, este cabo pode ser tão extenso quanto o necessário, além de apresentar custo reduzido se comparado ao cabo de par trançado. Estes também apresentam uma boa relação custo/benefício para distâncias curtas (TORRES, 2001c). Entre as suas desvantagens, podemos citar estrutura bastante inflexível, ou seja, que pode romper com certa facilidade, dificultando ou até mesmo inviabilizando totalmente a transmissão de dados, sendo demasiadamente complicado detectar esse rompimento em sua ocorrência. Por esta mesma razão, sua instalação requer maiores cuidados.

Atualmente, para comunicação de qualidade em longas distâncias tem se utilizado cabeamentos de fibra óptica. De forma genérica, um cabo de fibra óptica é composto por três camadas específicas: A primeira, seu núcleo, consiste em um fio ultrafino de vidro, localizada, portanto, em seu centro, e constitui o meio material por onde as ondas luminosas se propagam; A segunda baseia-se em uma camada de revestimento, também de vidro – entretanto, apresentando um índice de refração reduzido – que envolve totalmente o seu núcleo (vale destacar que essas duas camadas constituem a "fibra óptica" propriamente dita); Por último, há um revestimento de plástico externo, que tem por finalidade exercer a proteção das outras duas camadas (WETHERALL e TANENBAUM, 2014e). A Fig. 19 ilustra as partes de um segmento de fibra óptica genérico.

Figura 19 - Ilustração descritiva de um segmento de fibra óptica.



Fonte: (WETHERALL e TANENBAUM, 2014f).

Como vantagens na utilização da fibra óptica, podem-se destacar sua elevadíssima capacidade para a transmissão de dados, podendo alcançar, com a tecnologia atual, a casa dos 50.000 Gbps com relativa facilidade (embora a conversão dos sinais elétricos em ópticos, e vice-versa, esteja consideravelmente longe de alcançar essa gigantesca projeção, estando em torno de apenas 100 Gbps) (WETHERALL e TANENBAUM, 2014g). Visto que a fibra óptica não conduz corrente elétrica, ela é completamente imune a interferências eletromagnéticas, e, portanto, isenta de ruídos. Além de que trechos de rede de até cem quilômetros de distância, por exemplo, apresenta um baixíssimo efeito de atenuação do sinal transmitido, o que, em muitos casos, exclui a necessidade de se empregar repetidores (TORRES, 2001d).

Como desvantagens de sua utilização, pode-se destacar que mesmo que seu custo em si tenha sido reduzido ao passar dos anos, a instalação de uma rede que utiliza fibra óptica a tornam um empreendimento bastante oneroso para se executar (SPOLAOR, 2011c).

2.4.2 Transmissão por Meios Não-Guiados.

Os canais não-guiados, também conhecidos como "meios de transmissão de dados sem fio", são idealmente projetadas para atender situações onde as grandes distâncias se consolidam como verdadeiros obstáculos, dificultando a utilização de qualquer espécie de cabo serial, ou mesmo inviabilizando totalmente esta possibilidade.

Vale destacar que os sistemas que utilizam este tipo de tecnologia são classificados como WLAN (Wireless LAN). O método que se utiliza dos rádio-modems para estabelecer uma transmissão de dados sem fio pode ser considerado um dos mais empregados atualmente (SPOLAOR, 2011d).

Os rádio-modems, como o próprio nome pode sugerir, nada mais são do que a associação de um transceptor (que é um dispositivo de rádio que apresenta as funções de transmissor e receptor ao mesmo tempo) e um modem. Neste dispositivo, o sinal digital produzido é convertido em um sinal analógico, sendo devidamente modulado, e, posteriormente, transmitido através de ondas de rádio para outros dispositivos, que recebem este sinal, realizando o seu processo de demodulação e, por fim, convertendo o sinal analógico em digital novamente (FONSECA, 2009). A Fig. 20 mostra alguns modelos de rádios-modem da marca ALFACOMP.

Figura 20 - Modelos de Rádio-modems comerciais.



Fonte: Adaptado de (RÁDIOS..., 2020a).

Os rádio-modems podem ser classificados em dois grupos distintos, frequência fixa e espectro espalhado.

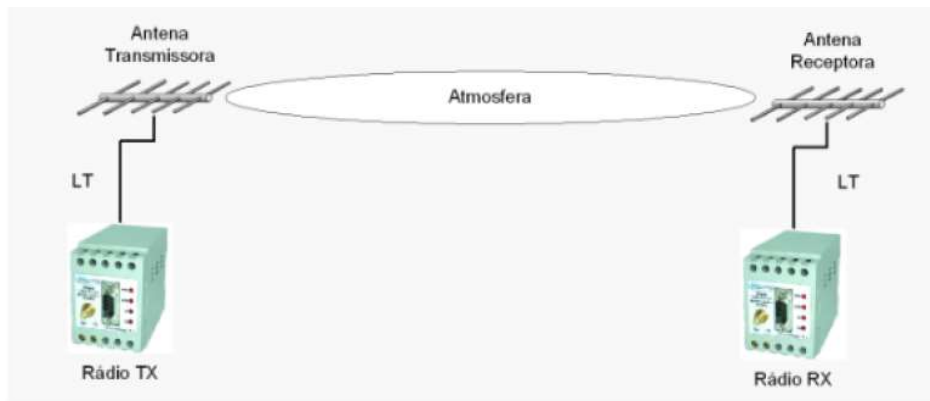
Os rádios-modems de frequência fixa possuem maior potência de transmissão, podendo atingir até 5 watts, percorrendo maiores distâncias (até 50km de extensão) e faixa de frequência operacional entre 406 a 430 MHz. Por estarem "fixadas" ininterruptamente no espectro de frequência disponível para transmissão de dados, é necessário possuir uma licença operacional promovida pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), órgão público brasileiro que, dentre suas várias atribuições, também é responsável por todas as questões que envolvem rádio-frequência no país.

O grupo de rádio-modems de espectro espalhado (Spread Spectrum), geralmente é empregado para estabelecer comunicação em redes sem fio (Wireless), apresentando baixa potência de transmissão, (atingindo apenas 1 Watts), o que não lhe permite percorrer grandes distâncias. As suas faixas de frequência operacionais podem variar entre 902 a 928 MHz, de 2,4GHz a 2,483GHz e de 5,725GHz a 5,875GHz. Neste caso, não há necessidade de licença operacional promovida pela ANATEL para serem

utilizadas, visto que compõem as chamadas frequências livres (SPOLAOR, 2011e).

Toda vez que uma comunicação de dados entre dois equipamentos distintos é estabelecida por meio de uma transmissão via rádio, diz-se que foi adquirido entre eles o que se define como "rádio enlace", o qual consiste em avaliar se esta comunicação é realmente viável, prevendo todo o conjunto de elementos que serão necessários. Dentre estes elementos estão o rádio transmissor e receptor, as linhas de transmissão presentes nas estações transmissora e receptora, as antenas transmissora e receptora, e o meio de propagação. A Fig. 21 faz uma breve ilustração de um enlace envolvendo dois rádios, um de transmissão e o outro de recepção.

Figura 21 - Conjunto de elementos prevenidos pelo "rádio enlace".



Fonte: (RÁDIOS..., 2020b)

Em um sistema de automação, os dispositivos de acionamento eletroeletrônicos são os agentes atuadores no controle dos mais diversos processos dinâmicos. O próximo capítulo é dedicado a uma síntese sobre estes componentes fundamentais, e as técnicas utilizadas no acionamento de máquinas elétricas na automação industrial.

3 TÉCNICAS DE ACIONAMENTO ELÉTRICO.

Os motores elétricos são máquinas rotativas capazes de transformar energia elétrica em energia mecânica. Estas máquinas são utilizadas para realizar as mais diversas funções em diversos processos industriais, desde o movimento controlado de uma esteira, a ventilação em um túnel de ar, o bombeamento de um líquido com viscosidade definida, dentre outras. Os motores elétricos podem ser em essência classificados em motores CC (corrente contínua), motores síncronos e motores de indução trifásica (MIT) (KOSOW, 1982a; UMANS, 2014a). No instante em que um MIT é acionado, na tentativa de sobrepujar o momento de inércia em que o rotor da máquina se encontra, ele exige uma corrente muito mais elevada do que a necessária para manter-se em seu estado permanente de operação, podendo atingir, com bastante facilidade, valores de quatro a dez vezes a sua corrente nominal, dependendo se a máquina está partindo a plena carga ou a vazio (FRANCHI e CAMARGO, 2008l; UMANS, 2014b).

Nas seções que seguem, neste capítulo são abordados três dos métodos mais utilizados para se realizar a partida de motores – especialmente aos aplicados em bombas centrífugas – explanando sobre suas aplicações, vantagens e desvantagens.

3.1 Partida Direta de Motores Elétricos.

Também conhecida como "partida a plena tensão", consiste no método mais simples para se prover a partida de um motor elétrico de indução trifásico. Nela, as fases da máquina são conectadas diretamente as fases da rede de alimentação, implicando que a máquina receba o valor da sua tensão nominal desde o dado instante de sua partida até o momento em que ela é desenergizada. Desta forma, deve-se ter em mente que existem limitações quanto ao uso deste método, pois, em sua utilização, a corrente de partida pode atingir um valor de até de 10 vezes o da sua corrente nominal de operação (KOSOW, 1982b; UMANS, 2014c; FILHO, 2008a; COSTA, 2014a).

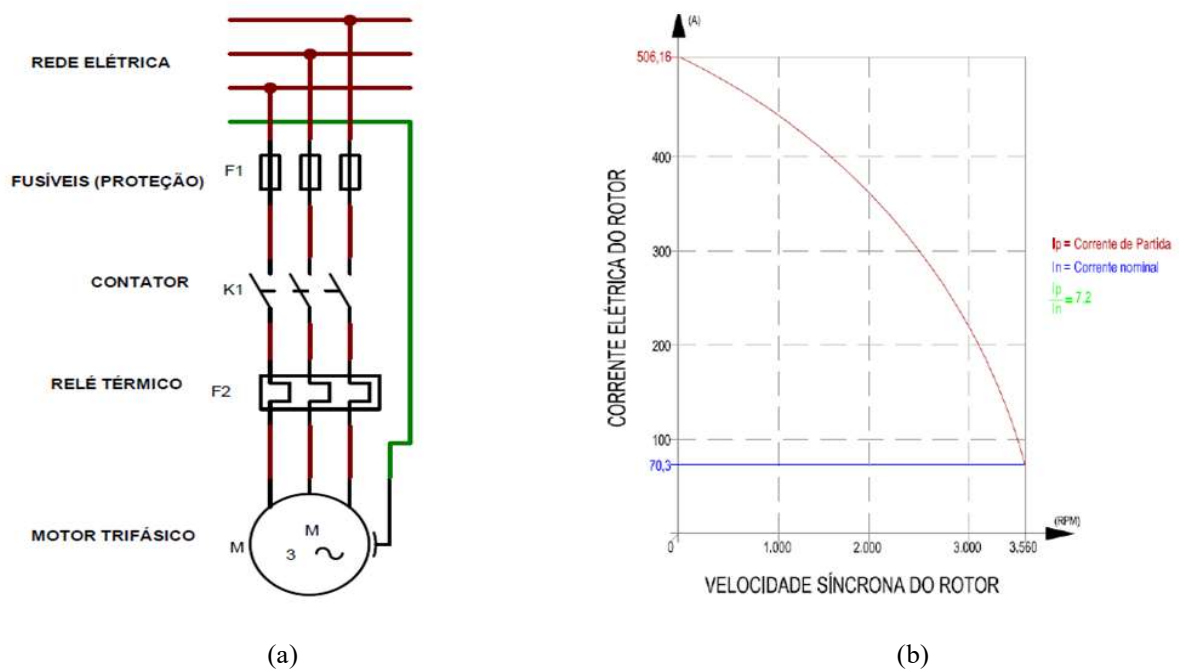
As vantagens em se utilizar este método encontram-se no seu baixo custo de implementação, se comparado aos demais tipos de partida, na facilidade de instalação, na rapidez no dado instante da partida e no conjugado (ou toque) elevado (FRANCHI e CAMARGO, 2008m).

Entre as desvantagens de se utilizar este método, podem-se destacar a restrição de ser aplicado a máquinas que apresentam baixas potências operacionais (geralmente até 10

CV), de modo a reduzir o mínimo possível as perturbações que o pico de corrente de partida pode provar a rede de alimentação, e, conseqüentemente, aos equipamentos elétricos que estão inseridos no mesmo estabelecimento. Há também a necessidade de se superdimensionar o sistema de acionamento, além de restrições quanto ao número de partidas que a máquina pode realizar em intervalos de tempo (FRANCHI e CAMARGO, 2008n; COSTA, 2014b).

Na Fig. 22a pode-se observar o diagrama de força genérico do esquema de ligação da partida direta. Já a Fig. 22b exibe o gráfico da corrente elétrica×velocidade síncrona, dando ênfase ao pico de corrente no instante da partida no exercício deste método.

Figura 22 - (a) Diagrama de força genérico do esquema de ligação da partida direta de um motor elétrico de indução trifásico (b) Gráfico da corrente elétrica×velocidade síncrona de um motor elétrico de indução trifásico.



Fonte: próprio autor.

Vale ressaltar que a ligação direta de um MIT é geralmente realizada pelos contatos de força um contator (K1 na Fig. 22a), e recebem a proteção de um relé térmico para proteção de sobrecorrentes.

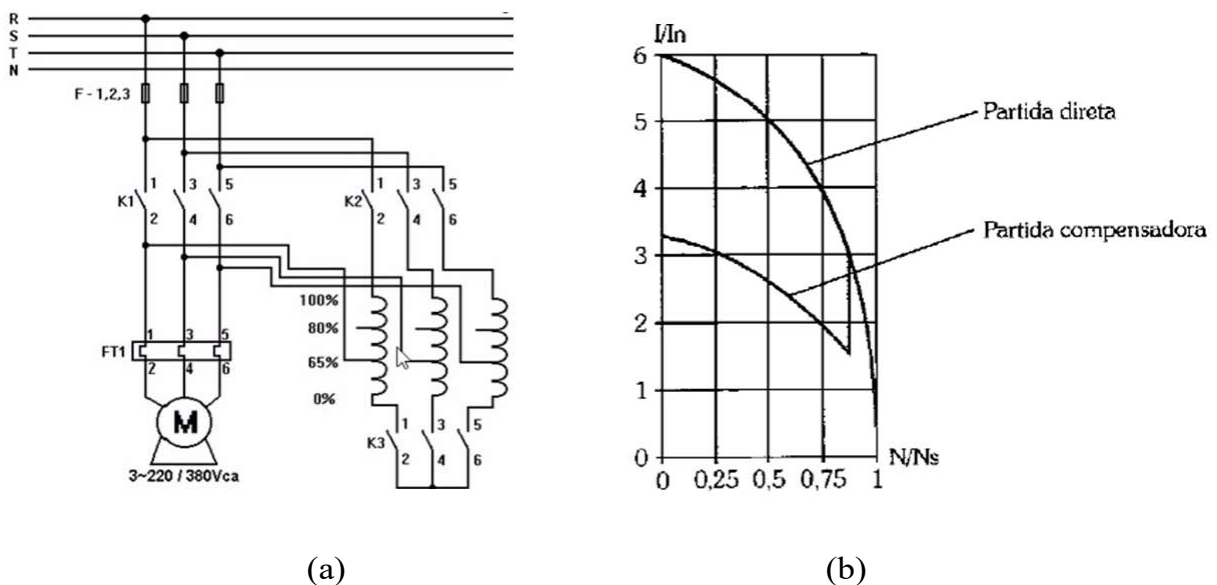
3.2 Partida com Chave Autocompensadora.

A operação de uma chave de partida autocompensadora consiste em, no instante da partida, alimentar eletricamente o motor por meio das derivações (TAP's) de um

autotransformador, o qual estará conectado em série com as bobinas da máquina. Passado o momento inicial, assim que o motor atingir aproximadamente 90% de sua velocidade nominal, o autotransformador poderá ser desconectado do circuito, e o motor, então, irá receber a sua tensão nominal de operação. Vale destacar que as derivações mais comuns são de 50%, 65% ou 80% (FILHO, 2008b).

A Fig. 23a mostra um diagrama de força genérico para a partida com chave autocompensadora. Na Fig. 23b mostra o gráfico do comportamento da curva da Corrente de Partida×Velocidade Angular, enfatizando a diferença entre a corrente de partida direta em relação a corrente de partida com chave autocompensadora.

Figura 23 - (a) Diagrama de força genérico do esquema de ligação da partida com chave autocompensadora. (b) Gráfico do comportamento da curva da Corrente de Partida Velocidade Angular, comparação entre partida direta e partida com chave autocompensadora.



Fonte: Adaptado de (FRANCHI e CAMARGO, 2008o).

A partida compensadora é idealmente utilizada para motores que, além de apresentarem um elevado valor de potência (acima de 15 CV), também devem partir com alguma carga, permitindo que a máquina tenha a disposição um torque de partida suficientemente elevado para atingir a sua aceleração nominal, porém, evitando sobrecarga na rede elétrica de alimentação. Por esta razão, ela é comumente empregada em motores que estejam acopladas a cargas com demasiado índice de atrito, como, por exemplo, britadores (SEGUNDO e RODRIGUES, 2015a).

Entre as vantagens de se utilizar este método, podem-se destacar a comutação entre a tensão de partida ajustada no TAP para a tensão nominal de operação, o motor

não é desenergizado, e seu segundo pico é consideravelmente restringido. Já como desvantagens, o mesmo possui um número limitado de manobras, além de possuir um custo elevado (devido ao autotransformador, propriamente dito) também, devido ao seu tamanho, irá requerer bastante espaço do painel de comando no qual será instalado.

3.3 Partida com Soft-Starter.

O dispositivo Soft-Starter (Fig. 24), também conhecido como "chave de partida estática" (ou ainda "chave de partida em estado sólido"), é um dispositivo eletrônico idealmente projetado para ser utilizado em motores de indução trifásicos, preferencialmente aos que estão acoplados a grandes cargas, ou seja, máquinas que necessitam de um acionamento "suave" para sua partida, assim também como para sua parada. Por esta razão, comumente este dispositivo é empregado em compressores de grande porte, ou em bombas centrífugas, por exemplo (FILHO, 2008c).

Figura 24 - Soft-starters comerciais.

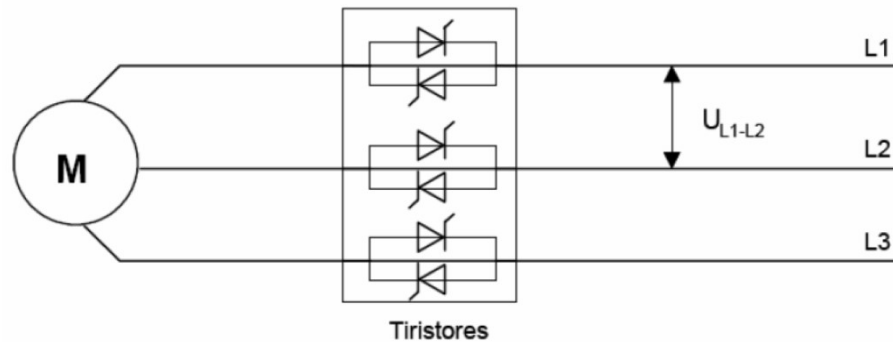


Fonte: (SOUZA, 2009).

O princípio de funcionalidade das Soft-Starters está fundamentado na utilização das chamadas "pontes tiristorizadas", estruturados na configuração antiparalela, e que são acionados por meio de uma placa eletrônica microcontrolada presente em seu circuito interno de potência (Fig. 25). Essas pontes de tiristores, que podem ser compostas por até seis SCR's, sendo dois para cada fase (ou três TRIAC's, sendo um para cada fase),

permitem variar a tensão eficaz de alimentação que está sendo fornecida ao motor por meio da variação do ângulo de disparo que é realizada nelas (FILHO, 2008d).

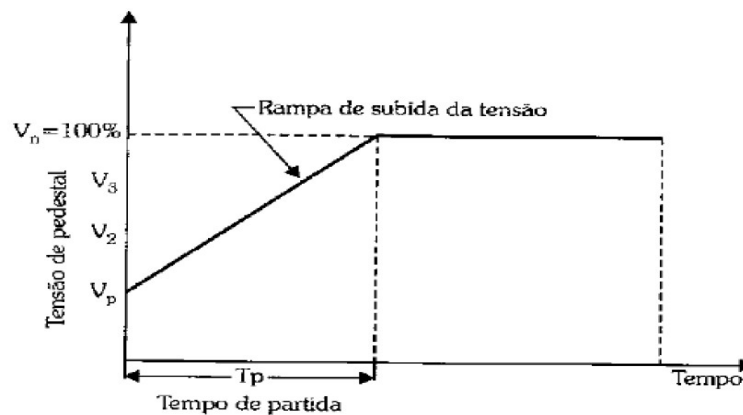
Figura 25 - Tiristores SCR's ligados em antiparalelo (dois por fase).



Fonte: (FILHO, 2008e).

É através desse princípio de funcionalidade que se pode fundamentar o que se define como "rampa de tensão na aceleração", na qual é plenamente possível parametrizar o módulo de tensão de partida inicial de um determinado motor de indução, adequando-o a um valor inicial mais apropriado de operação, e, conseqüentemente, adequando também a corrente de partida desta máquina, assim como o torque responsável por acionar a sua respectiva carga. A Fig. 26 elucida este fato, onde, ajusta-se a tensão de partida inicial (VP), que deverá se desenvolver gradual e continuamente até atingir o valor da tensão nominal fornecida pela rede (Vn), durante um intervalo de tempo (Tp), que também é parametrizável (FRANCHI e CAMARGO, 2008p). Este mesmo raciocínio pode ser empregado no que se define como rampa de tensão na desaceleração.

Figura 26 - Rampa de Tensão na Aceleração.

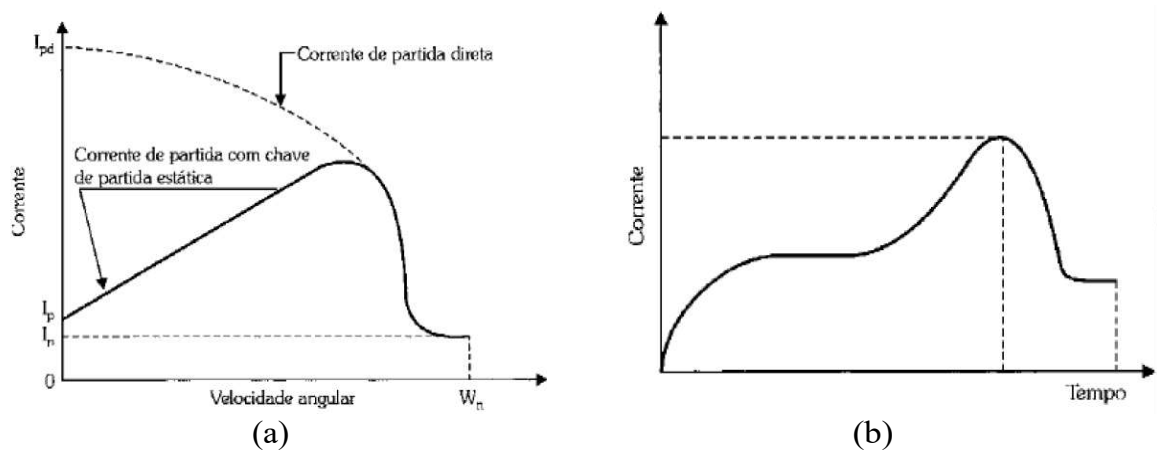


Fonte: (FRANCHI e CAMARGO, 2008q).

A Fig. 27a apresenta o gráfico do comportamento da curva de

Corrente×Velocidade Angular, enfatizando a diferença entre a corrente de partida direta em relação a corrente de partida com a *Soft- Starter*. Já a Fig. 27b apresenta o gráfico do comportamento da curva de corrente×tempo.

Figura 27 - (a) Comportamento da curva de Corrente×Velocidade Angular. (b) Compor- tamento da curva de corrente×tempo.



Fonte: (FRANCHI e CAMARGO, 2008r).

Contudo, não há uma regra de aplicabilidade exclusiva para determinar os valores mais adequados dessa tensão de partida inicial, nem o tempo de sua subida, existindo até mesmo softwares especializados para tal, disponibilizados pelos fabricantes.

Desta forma, entre as vantagens na utilização das *Soft-Starters*, podemos constatar que o mesmo proporciona a partida e parada suave dos motores, prevenindo-os contra golpes e solavancos mecânicos, reduz drasticamente a corrente de partida, uma vez instalados no interior dos painéis de comando, requerem pouco espaço, visto que apresentam uma estrutura compacta além de possuírem parametrizações simples e rápidas (SEGUNDO e RODRIGUES, 2015b).

4 SISTEMA DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA: COMPLEXO HABITACIONAL VIVA CIDADE.

Neste capítulo é apresentada a descrição do estudo de caso: O sistema de abastecimento d'água automatizado para atender ao complexo residencial VIVA CIDADE. Nas seções que se seguem apresentamos o local onde está instalado o sistema hidráulico, as unidades que o compõem, os reservatórios, as adutoras, a estação elevatória (onde está acomodado o conjunto motobomba) e os componentes fundamentais do sistema, como as Soft-startes usadas nos conjuntos, os CLPs utilizados, os sensores de nível de ambos os reservatórios, as antenas e os rádios modems utilizados para comunicação.

O sistema de bombeamento de água tratada desenvolvido para atender ao Residencial VIVA CIDADE pode ser compreendido como sendo um projeto de ampliação do sistema de abastecimento de água tratada já existente no município de TUCURUÍ-PA, que será totalizado em duas etapas distintas (ABASTECIMENTO..., 2016a).

A Primeira etapa visa atender a uma pequena parcela dos moradores do Residencial VIVA CIDADE, correspondendo a cerca de 3.520 habitantes, e ao qual o caso de estudo tratado neste trabalho se destina; já a segunda etapa, que será realizada posteriormente, visa atender ao restante populacional que fora previsto, de aproximadamente 12.000 habitantes. Com o devido planejamento, foi previsto a construção das seguintes unidades: Adutora de Gravidade, Reservatório Enterrado, Estação Elevatória de Água e Adutora de Recalque. Torna-se oportuno destacar que algumas dessas unidades foram dimensionadas para atender as duas etapas, sem a necessidade de alterações futuras; entretanto, outras deverão ser ampliadas, ou mesmo substituídas, conforme as precisões (ABASTECIMENTO..., 2016b).

A Adutora de Gravidade foi projetada para atender as duas etapas. Consiste em uma tomada d'água que será realizada em um ponto específico da Adutora de Água Tratada já Existente (que se estende por um trecho da rodovia BR-422, vindo desde a Estação de Tratamento de Água, situado na VILA PERMANENTE, até o km 0) até o Reservatório Enterrado, tendo uma extensão de 520 metros de comprimento. Esta adutora tem uma capacidade máxima de vazão de 41,67 litros por segundo (ABASTECIMENTO..., 2016c).

O Reservatório Enterrado (Fig. 28a) foi projetado para atender apenas a primeira etapa. Está localizado na estrada do aeroporto, em frente à Rua 7 do Residencial CRISTO VIVE. Trata-se de um reservatório semienterrado, com capacidade volumétrica máxima

de 50m³. Servirá como uma espécie de poço de sucção para a Estação Elevatória de Água. A Estação Elevatória de Água (Fig. 28b) foi projetada para atender as duas etapas. É nesta unidade que estão acomodados os dois Conjuntos Motobombas utilizados neste sistema (ABASTECIMENTO..., 2016d).

Figura 28 - (a) Parte superior do Reservatório Enterrado. (b) Estação Elevatória de Água. (c) Reservatório Elevado.



Fonte: próprio Autor.

Os Conjuntos Motobombas (Fig. 29a) foram projetados para atender apenas a primeira etapa. Entre os equipamentos que compõem esses conjuntos podemos destacar os dois Motores Elétricos Trifásicos da marca WEG, modelo W22 JM Standard, e as duas Bombas Centrífugas, da marca KSB, modelo 50/ 5B-4.1 10.61, portando uma capacidade máxima de vazão de bombeamento de 12,2 litros por segundo. A Fig. 29b exibe a placa de dados de um dos motores que compõe o Conjunto (ABASTECIMENTO..., 2016e).

Figura 29 - (a) Os dois conjuntos motobombas; (b) Placa de dados dos motores.



Fonte: próprio Autor.

A Adutora de Recalque foi projetada para atender as duas etapas. Estende-se pela estrada do aeroporto, desde o Reservatório Enterrado até o Reservatório Elevado, tendo

uma extensão máxima de aproximadamente 3.180 metros de comprimento. Esta adutora tem uma capacidade máxima de vazão de 25 litros por segundo. O Reservatório Elevado (Fig. 28c) foi projetado para atender as duas etapas. Estando localizado nas adjacências do Residencial VIVA CIDADE, possui uma capacidade volumétrica de 300m³. É desta unidade que a água é distribuída para os seus consumidores (ABASTECIMENTO..., 2016f).

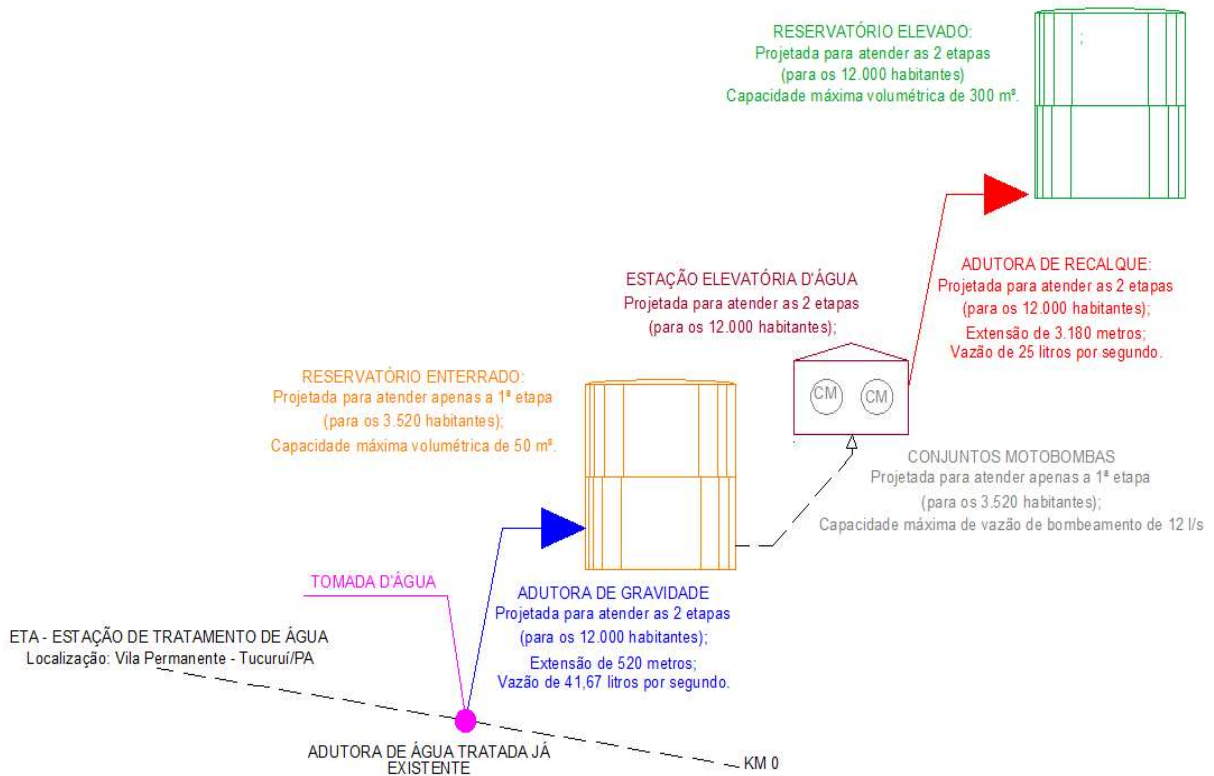
Na Fig. 30 é mostrada a planta de localização geográfica das unidades mencionadas acima, enquanto na Fig. 31 é mostrada uma síntese das particularidades referentes a cada uma dessas unidades.

Figura 30 - Planta de localização geográfica das unidades.



Fonte: ABASTECIMENTO..., (2016).

Figura 31 - Síntese das particularidades referentes a cada uma das unidades



Fonte: próprio Autor.

4.1 Os CLPs Instalados.

Os dois CLP's utilizados na automação do sistema de bombeamento do Residencial VIVA CIDADE foram os Micros Controladores Programáveis da marca WEG, modelo CLIC-02/20VR-D (Fig. 32), plenamente classificados como dispositivos compactos. Entre os parâmetros mais relevantes em sua utilização, averiguados em seu manual do usuário, estão os oito pontos de entradas digitais, quatro pontos de entradas analógicas e oito pontos de saída digitais à relé já embutidos no próprio dispositivo (totalizando 20 pontos) (MICRO..., 2016b).

Possibilitam a adição de módulos de expansão, onde podem ser acrescidos até no máximo mais 12 pontos de entradas digitais, 12 pontos de saídas digitais, dois pontos de entrada analógica e dois pontos de saída analógica (totalizando 28 pontos). IHM compõe display de LCD, teclado e Porta de Comunicação RS-232 (considerando-se, desta forma, que o CLP foi conectado a um PC) embutidos no próprio dispositivo, além do alimentado com 24 V em corrente contínua (MICRO..., 2016c).

Os CLP's também dispõe do software de programação Clic02 Edit, que pode ser baixado gratuitamente no site da WEG em qualquer PC, através do qual é possível desen-

volver toda a lógica de programação em diagrama LADDER, e, posteriormente, transferi-lo para o próprio dispositivo. A lógica de programação desenvolvida em diagrama LADDER pode comportar até, no máximo, 300 linhas de programação. Os CLP's Incorporam a função DATALINK, que permite a troca de dados entre CLP's através de uma rede RS-485, onde, na existência de apenas dois dispositivos, dispõe de um modo de comunicação do tipo Mestre-Escravo (MICRO..., 2016d).

Figura 32 - CLP compacto da Marca WEG, modelo CLIC-02/20VR-D.



Fonte: próprio Autor.

4.2 Os dispositivos Soft-Starters.

O SDW-CD consiste em um software desenvolvido exclusivamente pela empresa WEG – que pode ser baixado facilmente e de forma gratuita no próprio site da empresa – que tem o objetivo de auxiliar no dimensionamento e especificação das suas chaves de partida estáticas. Entre as suas principais funções e vantagens, podem-se destacar a utilização do banco de dados dos motores WEG auxiliando no preenchimento dos dados, possui como opção de dimensionamento, as principais aplicações com suas respectivas características para auxiliar no preenchimento dos dados e permite dimensionar a chave considerando as mais diversas condições de partida (SOFTWARE..., 2011a).

.Para o acionamento do conjunto moto-bombas foi proposto a utilização do Soft-Starters modelo SSW-05 Plus, da marca WEG (Fig. 33), pelo Engenheiro-chefe responsável pelo projeto. Utilizando o software SDW-CD, os parâmetros principais foram ajustados: Rampa de tensão (pedestal de tensão) e o Tempo de aceleração, estes

por sua vez devem ser ajustados na própria chave de partida estática, e, conseqüentemente, a Corrente eficaz de partida que será produzida mediante a esses ajustes realizados.

Figura 33 - CLP compacto da Marca WEG, modelo CLIC-02/20VR-D.



Fonte: (SOFT-STARTER..., 2021).

A partir do software SDW, podemos observar a Fig. 34; nela, além de ser exibido um resumo dos dados referente ao motor de indução trifásico que foi utilizado, a carga que deverá ser acionada por ele, assim como outros dados classificados como gerais (todos especificados anteriormente no próprio software), também é sugerida duas maneiras distintas para a partida da máquina com a utilização da soft-starters, e os modelos destes dispositivos mais apropriados para cada uma delas. Como já mencionado anteriormente, a utilização do software SDW veio para comprovar a escolha realizada pelo Engenheiro-chefe responsável.

Desta forma, uma vez que foi escolhido o modelo SSW05, apenas o método de partida com rampa de tensão (destacada na Fig. 35) poderia ser empregada com êxito, visto que, na partida com limitação de corrente o modelo previamente selecionado não poderia ser associado.

Figura 34 - Parametrização das Soft-Starters através do software SDW - Resultados.



Fonte: (SOFTWARE..., 2011b).

Ainda em relação à Fig. 34, podemos efetuar as seguintes observações:

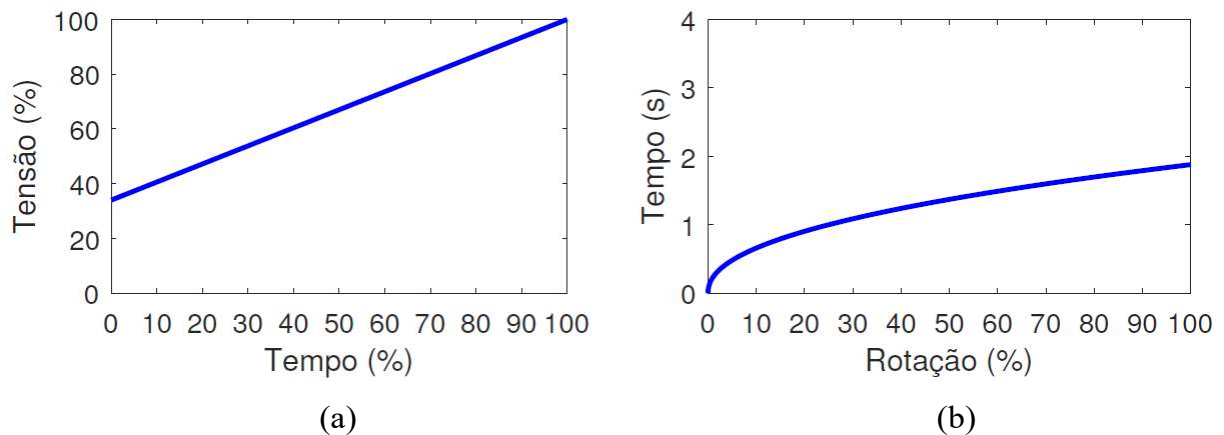
- O software SDW sugeriu que o valor do pedestal de tensão, ou seja, o valor de tensão de partida inicial (V_p) fosse parametrizado em 34% (ou, aproximadamente $130V$);
- O software SDW sugeriu que o tempo de aceleração, ou seja, o intervalo de tempo (T_p) fosse parametrizado em aproximadamente 2 segundos. Esse é o tempo que a máquina levará para sair do valor de (V_p) até atingir o valor de sua tensão nominal (V_n) fornecida pela rede ($380V$);
- O software SDW sugeriu que a corrente eficaz de partida (I_p) fosse parametrizada em aproximadamente 247A. Com base na Fig. 22(b), que o exibe o gráfico da corrente elétrica \times velocidade síncrona do motor elétrico de indução trifásico usado na composição dos conjuntos motobombas presente no sistema, podemos observar uma redução em 48% da corrente de partida, caso o respectivo motor fosse submetido em partida direta, visto que, nesta circunstância, essa corrente poderia alcançar um valor de aproximadamente 506A.

A Fig. 35(a) mostra o gráfico da curva da rampa de tensão (pedestal de tensão ou

valor de tensão de partida inicial)×tempo de aceleração percentual no instante da partida do motor de indução trifásica utilizado na composição do sistema com o emprego da soft-starter SSW05, na observância de serem utilizados os valores parametrizados no software SDW, até o instante em que a máquina atingir o seu estado permanente de operação.

Já a Fig. 35(b) exibe o gráfico da curva do tempo de aceleração×por rotação percentual no instante da partida do motor de indução trifásica utilizado na composição do sistema com o emprego da soft-starter SSW05, na observância de serem utilizados os valores parametrizados no software SDW, até que o instante em que a máquina atingir o seu estado permanente de operação.

Figura 35 - (a) Curva da rampa de tensão (pedestal de tensão) do motor especificado com a Soft-Starter por tempo de aceleração percentual. (b) Curva do tempo de aceleração do motor especificado com a soft-starter, por rotação percentual.



Fonte: próprio autor.

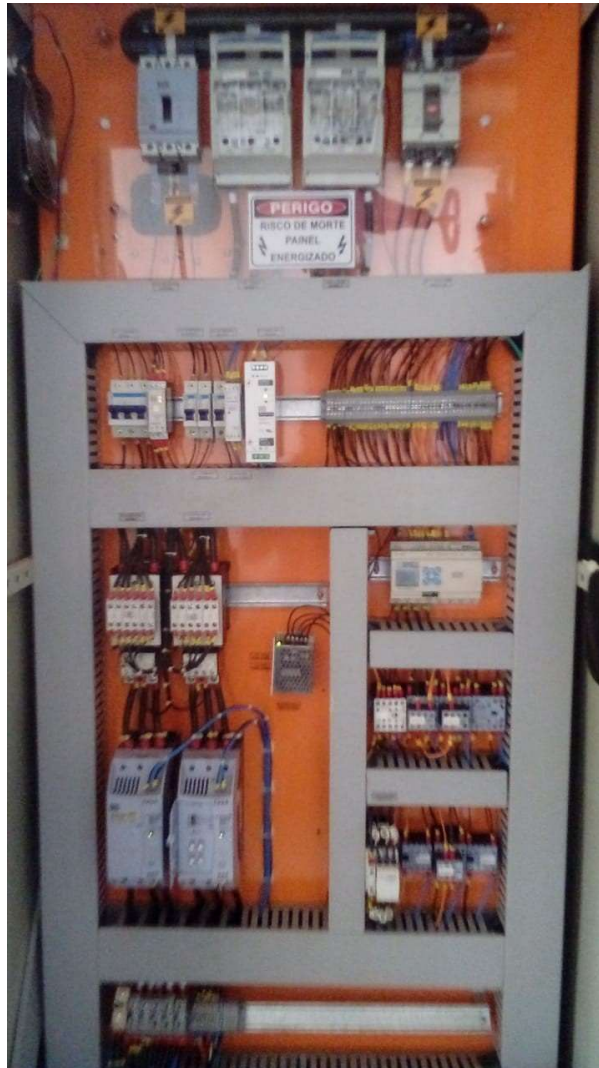
4.3 Painéis de Comando.

O painel de comando consiste em um quadro metálico onde todos os componentes necessários para realizar o processo de automação ficam acomodados, como, por exemplo, os disjuntores, relés, contadores, CLP's, o próprio cabeamento necessário para prover a alimentação elétrica desses componentes, etc. Sinalizadores luminosos, alarmes, botoeiras, chaves seletoras, entre outros elementos, podem ser instalados na porta desses painéis, indicando para o seu respectivo operador as informações mais pertinentes relacionadas ao desenvolvimento do processo, ou para que ele possa impelir alguma ação imperativa em um determinado sistema na observância da necessidade.

Para atender a este sistema de bombeamento d'água foram concebidos dois painéis de comando: um localizado no interior da Estação Elevatória de Água, próximo ao

Reservatório Enterrado, enquanto o outro está situado em uma casa de força, próximo ao Reservatório Elevado. A Fig. 36 mostra o interior do painel de comando localizado na Estação Elevatório de Água.

Figura 36 - Interior do Painel de Comando localizado na Estação Elevatório de Água.



Fonte: próprio Autor.

Na tampa externa do painel de comando localizado na Estação Elevatório de Água (Fig. 37) estão as sinaleiras (Sinalizadores luminosos) que indicam, nesta ordem: Sensor de transbordo enterrado, sensor de transbordo elevado, reservatório vazio, transdutor atuado, capacitor desligado, capacitor ligado, bomba 1 desligada, bomba 1 ligada, Relé B1 Atuada, Bomba 2 desligada, Bomba 2 ligada 2 relé B2 atuada. Além disso, há chaves com (e sem) retenção para acionamento, e/ou seleção: Bomba 1 e Bomba 2, Alarme, Seleção Manual/Automático e Seleção Manutenção Bomba1/Bomba2.

Na casa de força ao lado do reservatório elevado (Fig. 38) está localizado um segundo painel de comando. A Fig. 39 mostra o interior e o exterior do painel de

comando localizado na casa de força.

Figura 37 - (a) Porta do Painel de Comando localizado na Estação Elevatório de Água. (b) Enfase nos botões do painel de comando. (c) Enfase nas sinaleiras do painel de comando.



Fonte: próprio Autor.

Figura 38 - Interior do Painel de Comando localizado na Casa de Força, próximo ao Reservatório Elevado.



Fonte: próprio Autor.

Figura 39 - Painel de Comando localizado na Casa de Força, próximo ao Reservatório Elevado (a) Interior.
(b) Tampa.



(a)



(b)

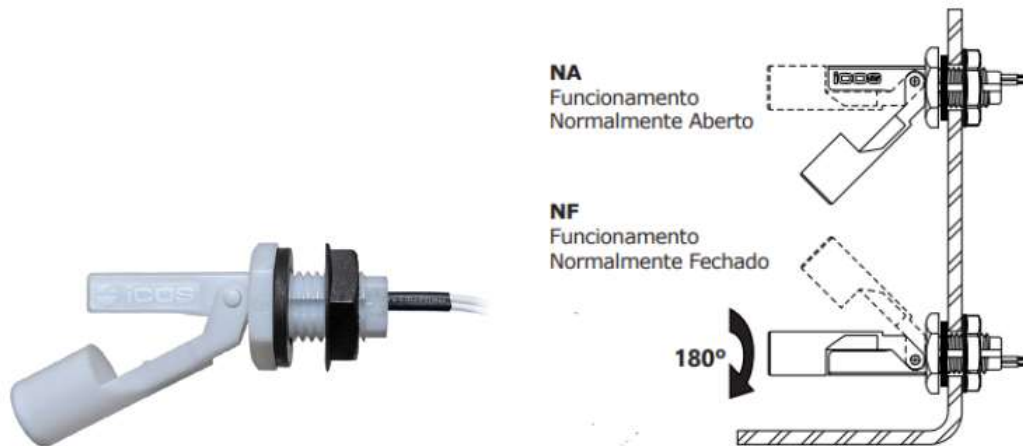
Fonte: próprio Autor.

4.4 Sensores de Nivel.

Foram utilizados seis sensores de nível, todos da marca EICOS, modelo LA16M-40 (Fig. 40a), ideais para líquidos; três deles estão localizados no Reservatório Enterrado, nas alturas especificadas como "Nível Mínimo", "Nível Máximo" e "Nível de Transbordo", enquanto os demais se encontram no Reservatório Elevado, igualmente fixados nas mesmas alturas anteriormente especificadas. Estes equipamentos são capazes

do monitorar os níveis de pressão exatamente no ponto (altura) em que foram instalados no interior destes reservatórios. Individualmente, seu funcionamento consiste no movimento do flutuador magnético, o qual abre e fecha um contato elétrico, ou seja, agindo através de comutação ON/OFF (Fig. 40b) (SENSOR..., 2017a).

Figura 40 - (a) Sensor de Nível da marca EICOS, modelo LA16M-40. (b) Método de instalação do sensor de nível da marca EICOS, modelo LA16M-40.



Fonte: (SENSOR..., 2017b)

4.5 Transmissor de Pressão.

Foi utilizado um transmissor de pressão da marca NIVETEC, série 790, do tipo piezo-resistivo. Este transdutor elétrico possui uma grande variedade de aplicações industriais, de fácil instalação, manuseio e operação, especialmente desenvolvido para medição de pressão. O processo de transdução de pressão se baseia na obtenção de um sinal elétrico na faixa de 4 a 20mA, a partir das variações de pressão medidas via piezo-resistividade na entrada do dispositivo. Vale ressaltar que para obter o sinal elétrico de saída, há necessidade de alimentar o transdutor com uma tensão que pode chegar a 24V (dependendo do modelo). Na Fig. 41 é mostrado um transmissor de pressão instalado na tubulação conectada a um reservatório de água (TRANSMISSOR..., 2019a).

Figura 41 - Transmissor de Pressão da marca NIVETEC, série 790 do tipo piezo-resistivo, instalado em tubulação próxima a reservatório.



Fonte: (TRANSMISSOR..., 2019b).

No sistema de abastecimento do residencial VIVA CIDADE, o transmissor foi inserido no interior da Adutora de Recalque e – uma vez iniciado o processo de bombeamento – o deslocamento da água provocará nele uma pressão em seu diafragma interno, o qual está associado a um circuito eletrônico. Essa alteração no diafragma do transmissor, devido a pressão que foi gerada, é convertida proporcionalmente em sinais analógicos de correntes, que podem variar de 4 a 20mA. Portanto, a função deste equipamento é o de monitor os níveis de pressão no interior da Adutora de Recalque, verificando a ocorrência de possíveis falhas estruturais que possam ocorrer a ela, o que inviabilizaria todo o processo (TRANSMISSOR..., 2019c).

4.6 Rádio Modem e Antenas para Comunicação.

Foram utilizados dois rádios modem da marca Alfacomp, modelo RM2060 (Fig. 42a). Este equipamento – utilizado para estabelecer a transmissão de dados em redes wireless – dispensa licença de operação junto à Anatel, uma vez que utiliza tecnologia Spread Spectrum na faixa dos 900 MHz, consistindo, portanto, em uma solução de alto desempenho e baixo custo. A portas de comunicação RS-232 e RS-485 vêm embutida no dispositivo, lhe conferindo a possibilidade de serem conectados, por exemplo, a CLP's e PC's (embora este cabeamento tenha um limite de até no máximo 100 metros de distância). Também pode ser conectados junto à própria antena (LACERDA, 2017a).

Foram utilizadas duas antenas Yagi da marca Alfacomp, modelo CF917 (Fig. 42b). Esses equipamentos são desenvolvidos especialmente para transmissão/recepção de

dados em única direção. Entre suas especificações técnicas, destacam-se a sua faixa de frequência de 900 a 960 MHz, e seu ganho de 14 dBi (LACERDA, 2017b).

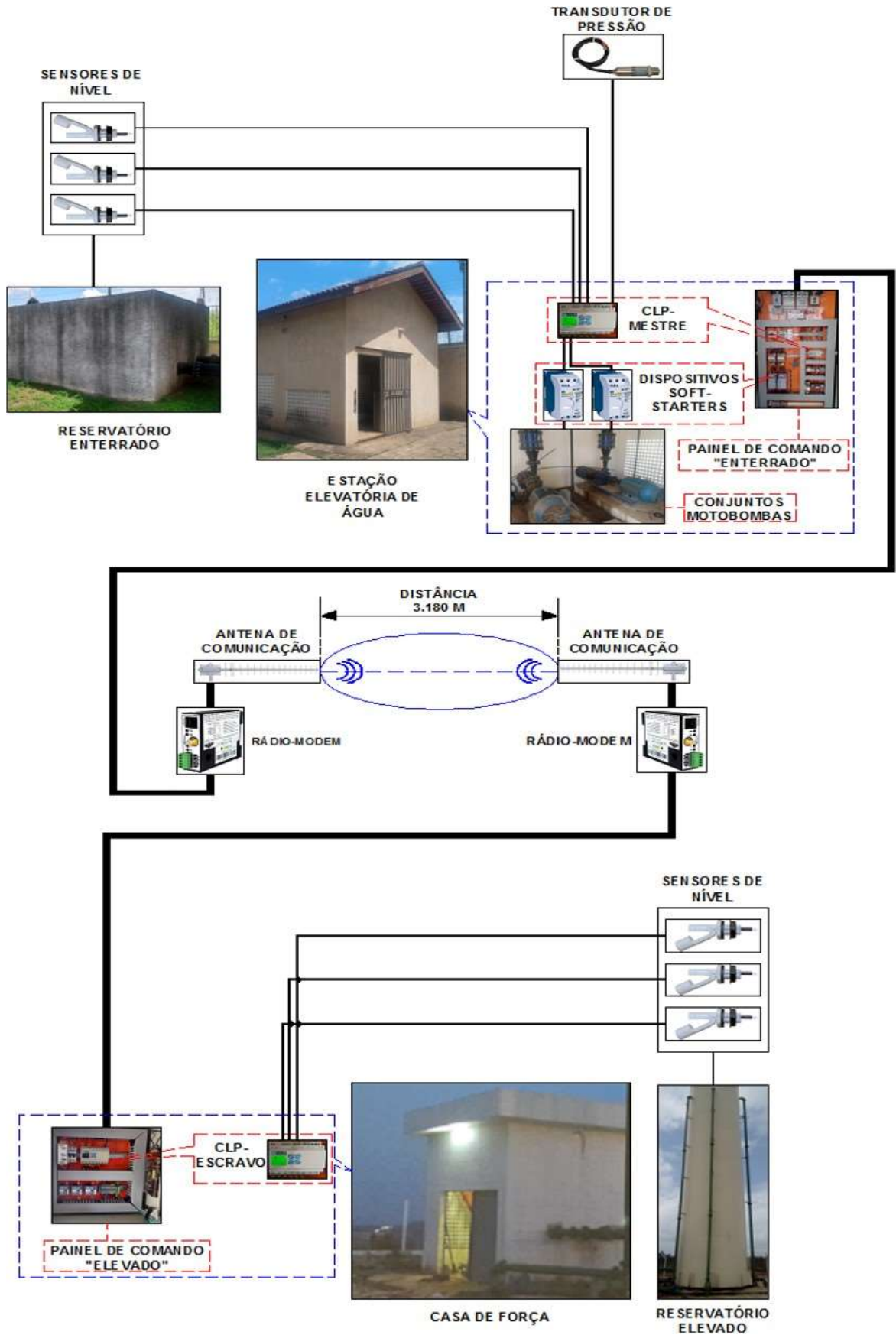
Figura 42 - (a) Rádio Modem da marca Alfacom, modelo RM2060. (b) Antena Yagi da marca Alfacom, modelo CF917.



Fonte: (LACERDA, 2017c).

A Fig. 43 ilustra a disposição das unidades do sistema de bombeamento d'água do residencial VIVACIDADE, assim como os elementos principais presentes nele, tendo o intuito de conceber uma noção espacial da maneira como todas elas estão alocadas.

Figura 43 - Disposição das unidades e elementos principais presentes no sistema.



Fonte: próprio Autor

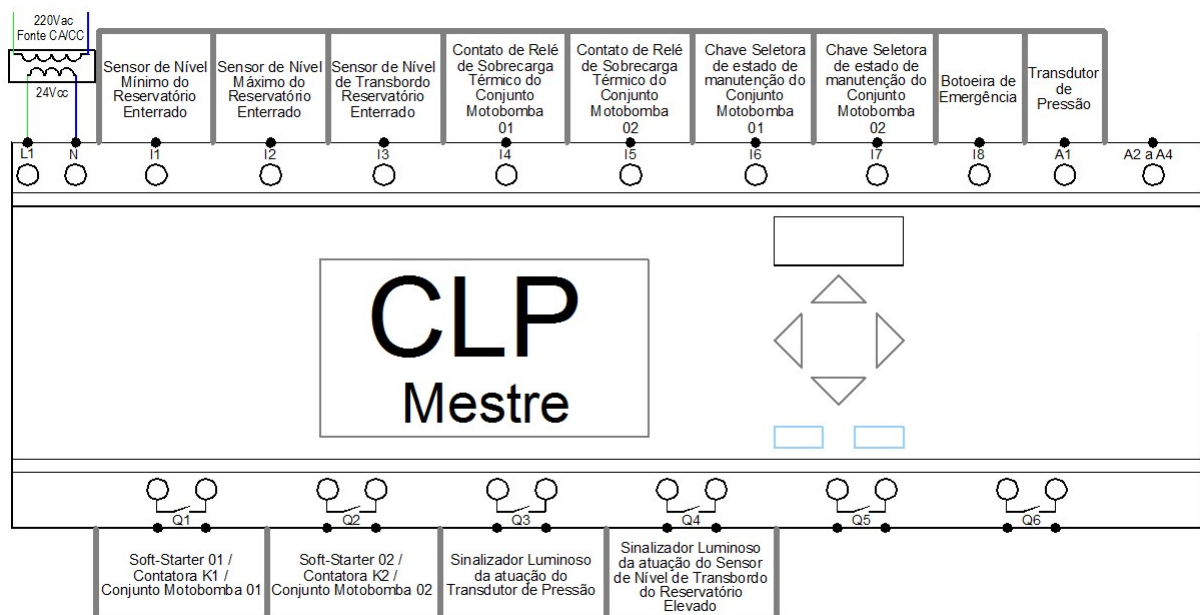
5 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE AUTOMAÇÃO.

O processo de automação do sistema de bombeamento d'água, elaborado para atender ao Residencial VIVA CIDADE, é descrito neste trabalho com base nas linhas de programação dos diagramas LADDER, tanto o inserido na memória do CLP-Mestre (Anexo A), quanto o inserido na memória do CLP-Escravo (Anexo B). Primeiramente são apresentadas as Entradas e Saídas Digitais que foram especificadas em ambos os CLPs.

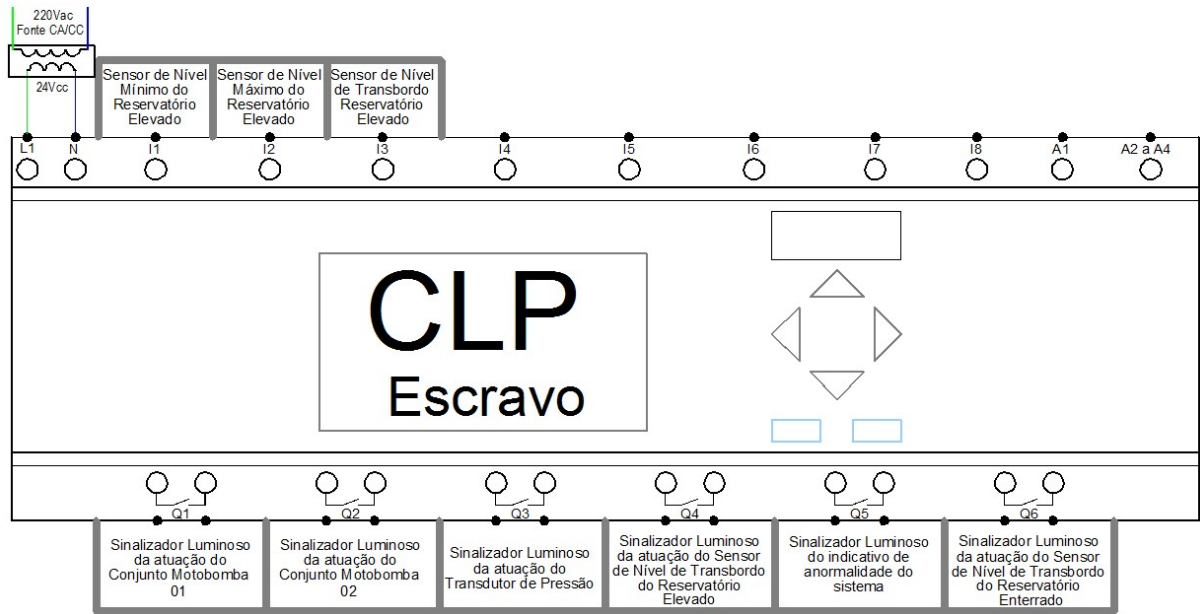
A Fig. 44a mostra as Entradas e Saídas Digitais que foram especificadas no CLP-Mestre, localizado no Painel de Comando da Estação Elevatória de Água (Painel Enterrado). Já a 44b mostra as Entradas e Saídas Digitais que foram especificadas no CLP-Escravo, localizado no Painel de Comando da Casa de Força, (Painel Elevado).

Antes de adentrarmos na descrição do processo com base nas linhas de programação dos Diagramas LADDER, faz se necessário definir as variáveis de rede, ou seja, determinar quais as informações que deverão ser compartilhadas entre os dois CLP's. As duas primeiras linhas de programação dos diagramas, de ambos os dispositivos, são destinados a esta finalidade. A Fig. 45 mostra os comportamentos dessas linhas de programação, tanto do CLP-Mestre, quanto do CLP-Escravo, respectivamente.

Figura 44 - Entradas e Saídas Digitais especificadas no: (a) CLP-Mestre, (b) CLP-Escravo.



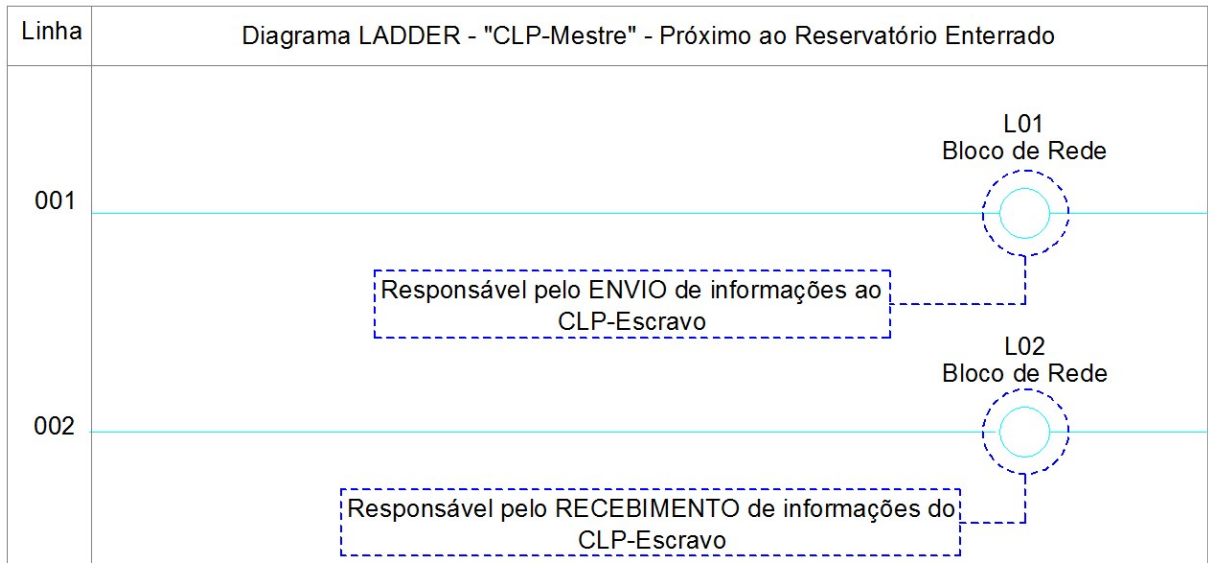
(a)



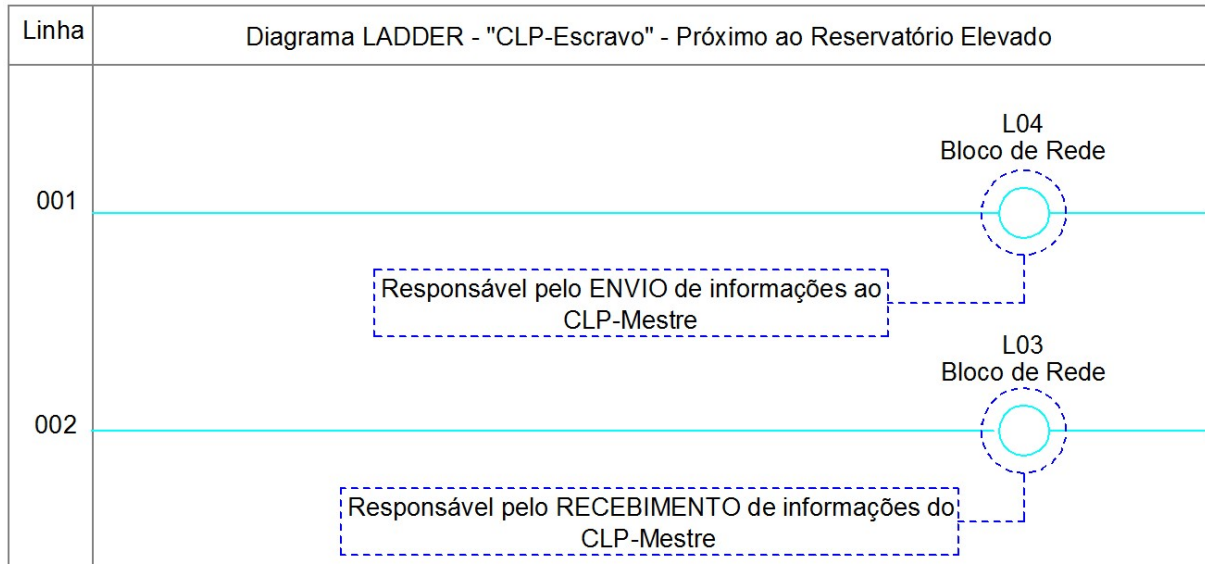
(b)

Fonte: próprio Autor.

Figura 45 - (a) Comportamento das linhas de programação 001 e 002 do diagrama LADDER do CLP-Mestre. (b) Comportamento das linhas de programação 001 e 002 do diagrama LADDER do CLP-Escravo.



(a)



(b)

Fonte: próprio Autor.

Em resumo, na Fig. 46 são ilustrados mapas tabulares indicando quais informações que estão sendo enviadas e recebidas por cada um desses blocos de rede (L0), enquanto exibe os dispositivos de campos que estão vinculados a esses dados que estão sendo transmitidos.

Figura 46 - Blocos de rede indicando o fluxo de informações.



Fonte: próprio Autor.

Partindo do pressuposto de que todos os componentes do sistema (os de força, de controle e os que possibilitam a transmissão de dados através da rede instaurada) estejam em 100% de conformidade operacional; que a FUNÇÃO DATALINK esteja plenamente implementada nos 02 (dois) CLP's (possibilitando a troca de dados entre eles); e que o sistema tenha sido ordenado em sua configuração de "AUTOMÁTICO" por meio da chave seletora instalada na porta do "Painel Enterrado" (47), o processo de automação do sistema de bombeamento d'água, elaborado para atender ao Residencial VIVA CIDADE, poderá ser iniciado.

Figura 47 - Chave Seletora para as configurações de "MANUAL/AUTOMÁTICO" do sistema, instalado na porta do "Painel Enterrado".



Fonte: próprio Autor.

Apresentadas as principais partes constituintes do sistema de automação implantado, e com o objetivo de esclarecer o processo de automação deste sistema de bombeamento d'água, a partir deste ponto descrevemos o funcionamento do sistema automatizado baseado nas linhas de programação dos diagramas LADDER, que foram implementados via programação lógica tanto no CLP-Mestre, quanto no CLP-Escravo. São descritos cinco aspectos particulares do sistema:

- Da partida e parada do Conjunto Motobomba 01, explanando três casos hipotéticos: Da atuação da Botoeira de Emergência; Da atuação do Transdutor de Pressão instalado no interior da Adutora de Recalque; Da atuação do Sensor de Nível de Transbordo instalado no interior do Reservatório Elevado.
- Da Alternância do Conjunto Motobomba 01 para 02.
- Da indisponibilidade dos Conjuntos Motobombas, explanando dois casos hipotéticos: Da atuação do Relé de Sobrecarga Térmico dos Conjuntos; Da condição de

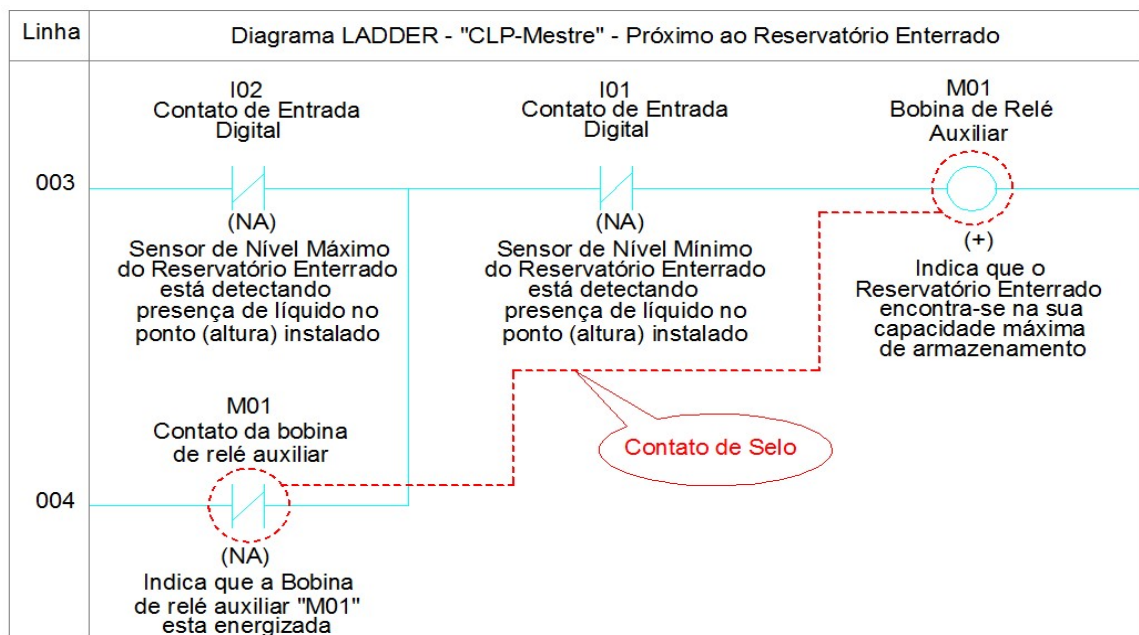
manutenção dos Conjuntos.

- Dos casos de anormalidade do Sistema.
- Das especificações das Saídas Digitais do CLP-Escravo.

5.1 Partida e parada do Conjunto Motobomba 01.

Para que o processo de bombeamento d'água do sistema se inicie, a primeira condição a ser estabelecida é de que o Reservatório Enterrado encontre-se na sua capacidade máxima de armazenamento. Para que esta condição seja compreendida como verdadeira, é necessário que os Sensores de Nível Mínimo e Máximo do respectivo reservatório estejam detectando presença de líquido no ponto (altura) em que foram instalados. A Fig. 48 mostra o comportamento das linhas de programação 003 e 004 do diagrama LADDER do CLP-mestre quando esta condição estiver plenamente satisfeita.

Figura 48 - Comportamento das linhas de programação 003 e 004 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Reservatório Enterrado está no máximo.



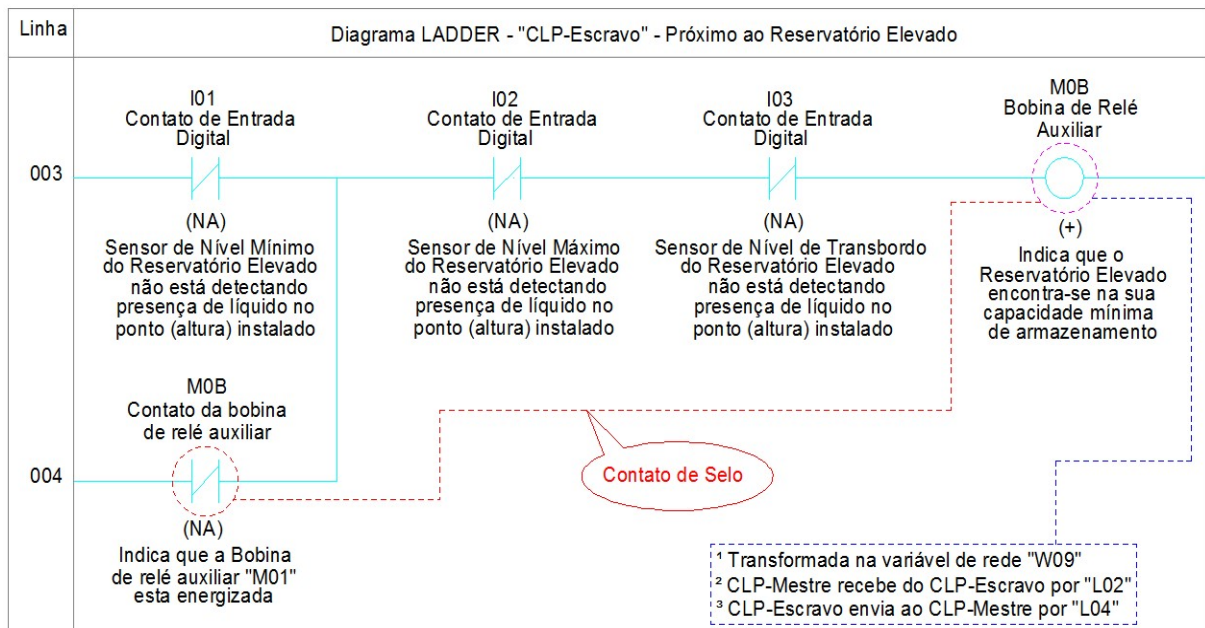
Fonte: próprio Autor.

A segunda condição a ser estabelecida é de que o Reservatório Elevado encontre-se na sua capacidade mínima de armazenamento. Para que esta condição seja compreendida como verdadeira, é necessário que os Sensores de Nível Mínimo e Máximo do respectivo reservatório não estejam detectando presença de líquido no ponto (altura) em que foram instalados. A Fig. 49 exhibe o comportamento das linhas de

programação 003 e 004 do diagrama LADDER do CLP-Escravo quando esta condição estiver plenamente satisfeita.

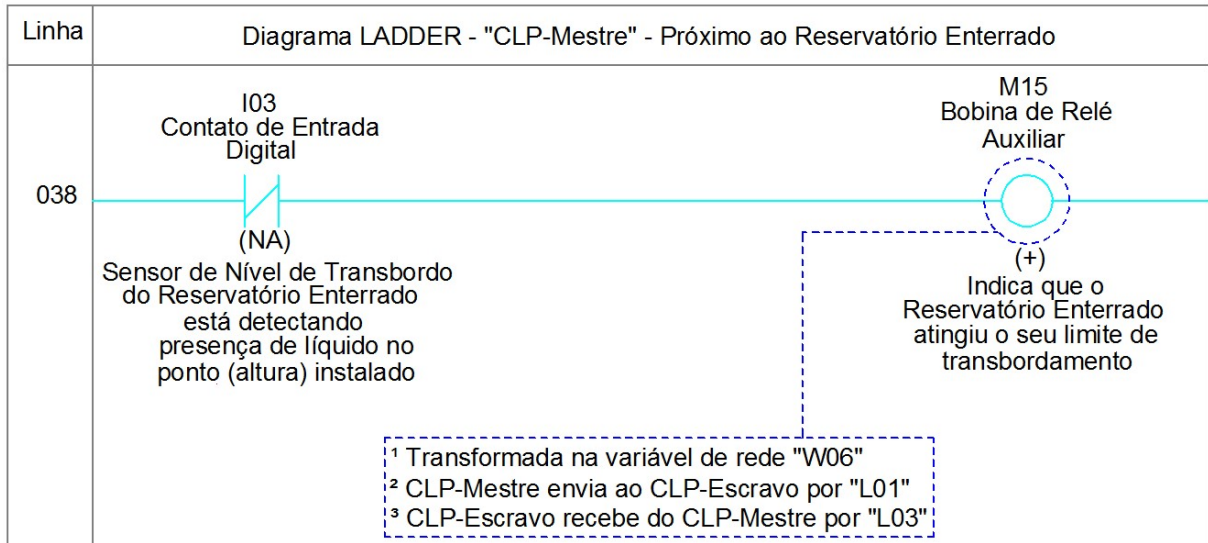
Vale destacar que o Sensor de Nível de transbordo do Reservatório Enterrado não está discriminado a efetuar nenhuma ação imperativa no processo de bombeamento do sistema, mas apenas indicar, assim que detectar presença de líquido no ponto (altura) em que foi instalado, quando o respectivo reservatório atingir a sua capacidade de transbordamento; essa indicação ocorrerá através de um sinalizador luminoso fixado em ambos os painéis de comando. A Fig. 50 exibe o comportamento da linha de programação 038 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando esta condição estiver plenamente satisfeita.

Figura 49 - Comportamento das linhas de programação 003 e 004 do diagrama LADDER do CLP-Escravo quando o Reservatório Elevado se encontrar na sua capacidade mínima de armazenamento (ênfase na Bobina "M0B" energizada).



Fonte: próprio Autor.

Figura 50 - Comportamento da linha 038 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Sensor de Nível de Transbordo do Reservatório Enterrado atuar devidamente no sistema.

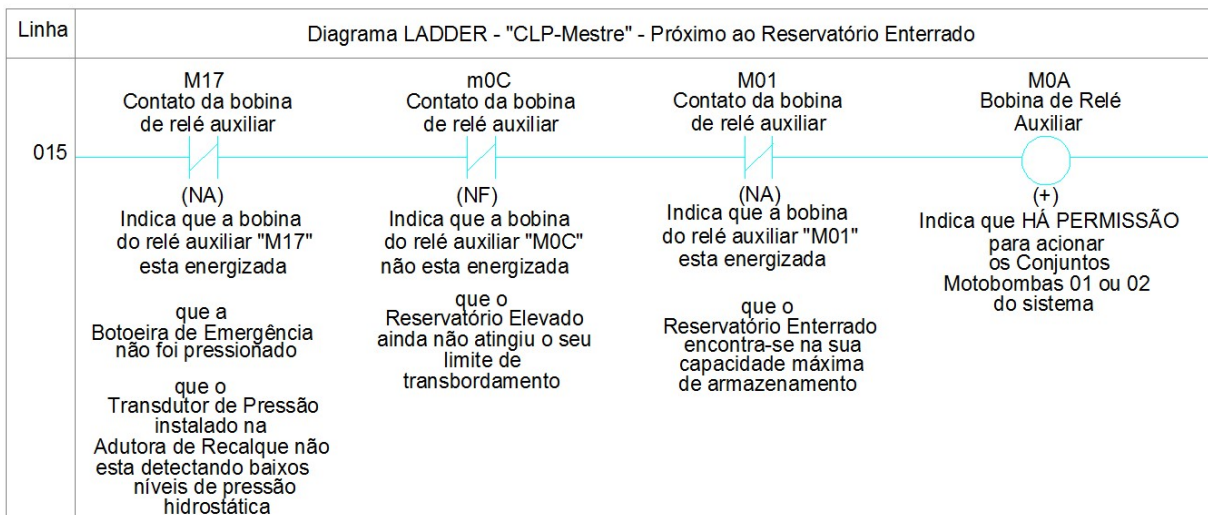


Fonte: próprio Autor.

Ocorrerá à permissão de acionamento dos Conjuntos Motobomba 01 ou 02 do sistema estabelecido essas duas condições. A Fig. 51 mostra o comportamento da linha de programação 015 LADDER do CLP-Mestre quando esta situação for atendida.

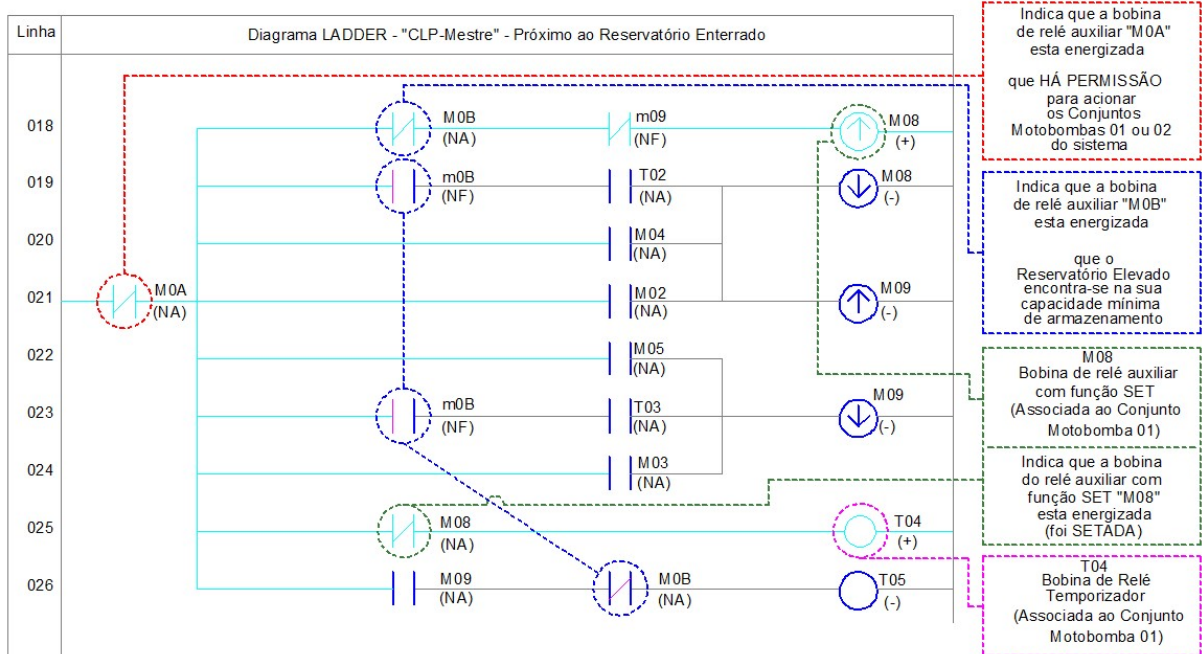
Entretanto, o acionamento dos Conjuntos Motobombas 01 ou 02 ocorrerá conforme a definição das linhas de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre. A figura 52 mostra o comportamento das linhas de programação 018 a 026 do LADDER do CLP-Mestre quando a permissão para o acionamento do Conjunto Motobomba 01 estiver plenamente satisfeita.

Figura 51 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01 ou 02.



Fonte: próprio Autor.

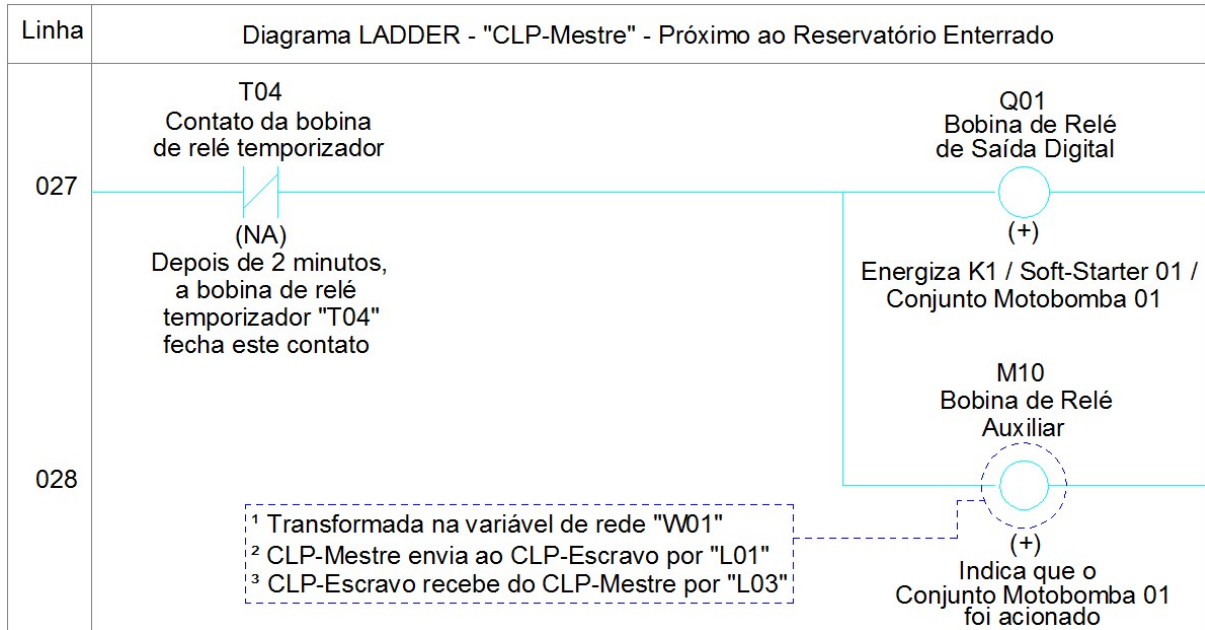
Figura 52 - Comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01.



Fonte: próprio Autor.

A Fig. 53 mostra o comportamento da linha 027 e 028 do diagrama LADDER do CLP-Mestre (próximo ao reservatório enterrado) quando a bobina de relé de saída digital "Q01" é energizada virtualmente; isso indica que a contadora K1/Soft-Starter01/Conjunto Motobomba 01 está sendo alimentada eletricamente, e que o processo de bombeamento d'água do sistema se iniciou.

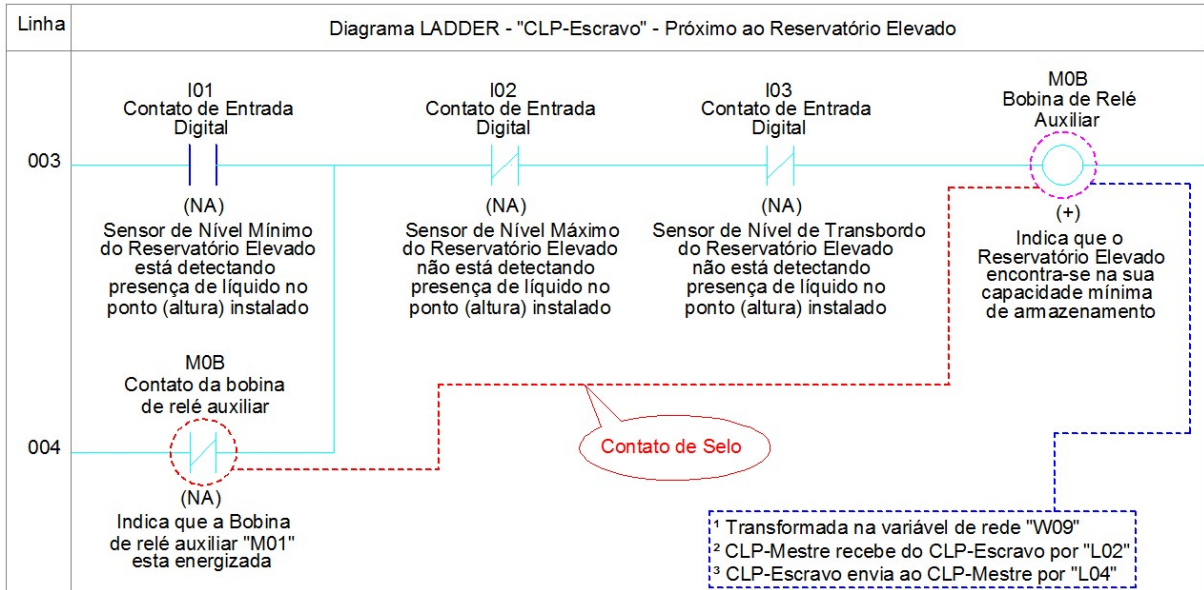
Figura 53 - Comportamento da linha de programação 027 e 028 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver alimentação elétrica da contatora K1/Soft- Starter01/Conjunto Motobomba 01.



Fonte: próprio Autor.

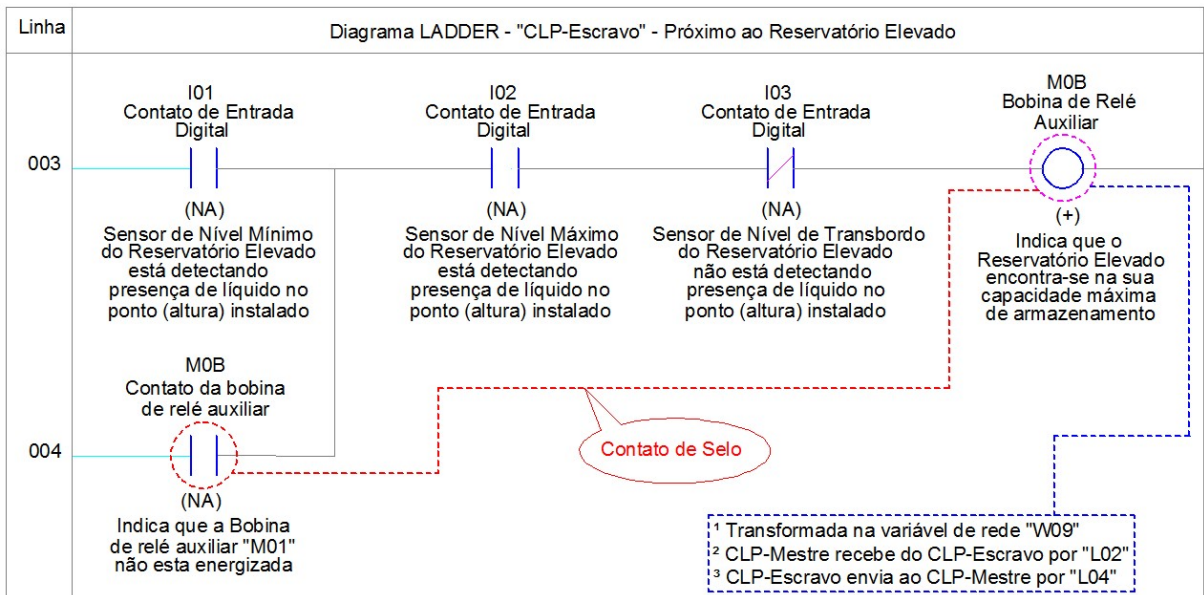
As Fig. 54 e Fig. 55 mostram o comportamento da linha de programação 004 a 005 do diagrama LADDER do CLP-Escravo, onde são tratados dois momentos, respectivamente; no primeiro, apenas o Sensor de Nível Mínimo do Reservatório Elevado atuou no sistema, e, no segundo, acontecendo o mesmo com o Sensor de Nível Máximo do Respectivo Reservatório, ou seja, ambos detectaram presença de líquido no ponto (altura) em que foram instalados.

Figura 54 - Comportamento da linha de programação 004 e 005 do diagrama LADDER do CLP-Escravo quando apenas o Sensor de Nível Mínimo do Reservatório Elevado estiver atuando no sistema.



Fonte: próprio Autor.

Figura 55 - Comportamento da linha de programação 004 e 005 do diagrama LADDER do CLP-Escravo quando o Sensor de Nível Mínimo e Máximo do Reservatório Elevado estiver atuando no sistema (ênfase na Bobina "M0B" desenergizada).

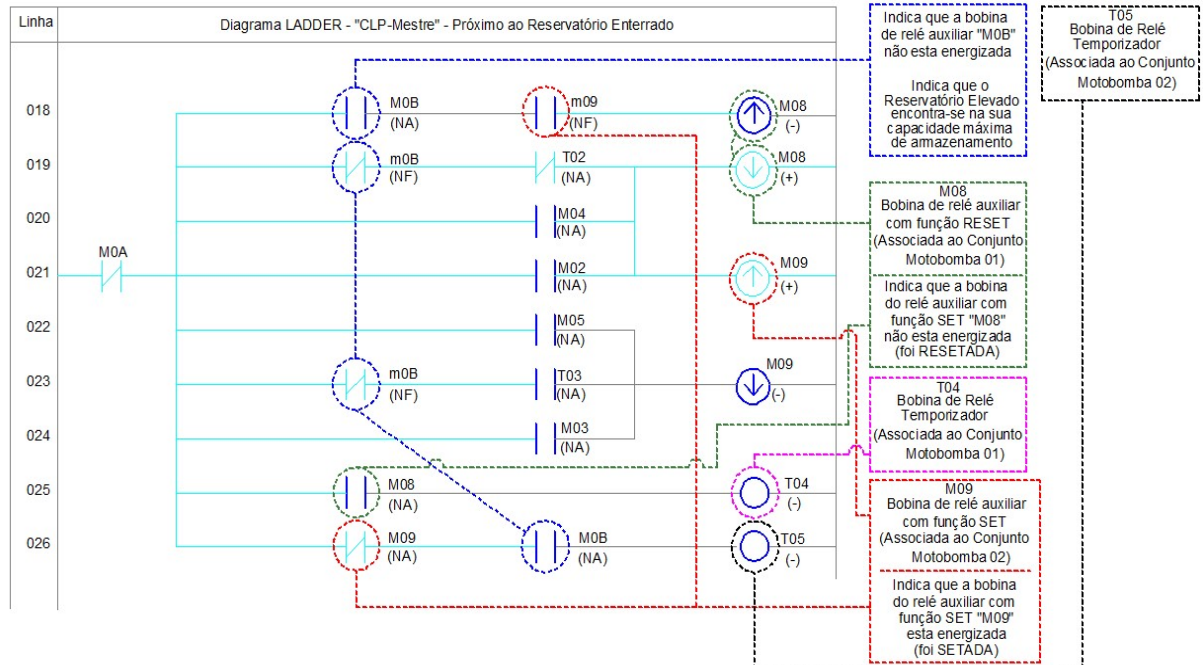


Fonte: próprio Autor.

Neste instante, a Bobina de Relé Auxiliar "M0B" é desenergizada, ocasionando o desligamento do Conjunto Motobomba 01 e a conclusão do processo de bombeamento d'água. A Fig. 56 exibe o comportamento das linhas 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o sistema estiver em estado de repouso, já plenamente preparado a

iniciar um novo processo, mas dessa vez, acionando o Conjunto Motobomba 02.

Figura 56 - Comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Auxiliar "M0B" estiver desenergizada.



Fonte: próprio Autor.

5.1.1 A atuação da Boteira de Emergência.

Uma vez que o Conjunto Motobomba 01 iniciou o processo de bombeamento d'água do sistema, voltamos agora à linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre. A Fig. 57 exhibe essa linha quando a permissão de acionamento dos Conjuntos Motobombas 01 ou 02 estiver satisfeita, mas dessa vez com ênfase no Contato da Bobina de Relé Auxiliar "M17" no tocante a condição de estado da Boteira de Emergência (M06).

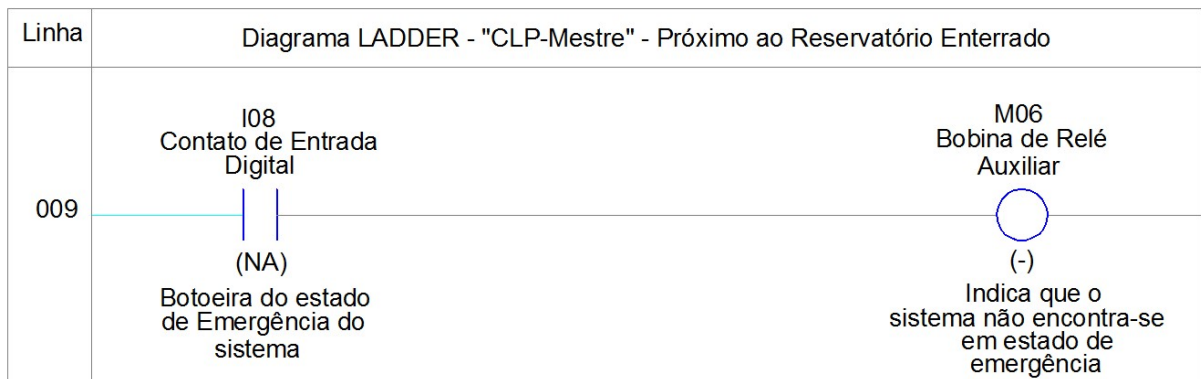
Figura 57 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01 ou 02 (ênfase no Contato da Bobina de Relé Auxiliar "M17").



Fonte: próprio Autor.

Na observância de alguma situação crítica que venha a impossibilitar o desenvolvimento do processo, o operador mantenedor responsável poderá interrompê-lo totalmente ao pressionar a Botoeira de Emergência instalada na porta do "Painel Enterrado" (botão vermelho inferior na Fig. 37), o que promoverá a sua interrupção tanto em sua configuração automática, quanto manual. A Fig. 58 exhibe o comportamento da linha de programação 009 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o sistema não se encontrar em uma situação de emergência, e, portanto, quando a respectiva botoeira não tiver sido pressionada.

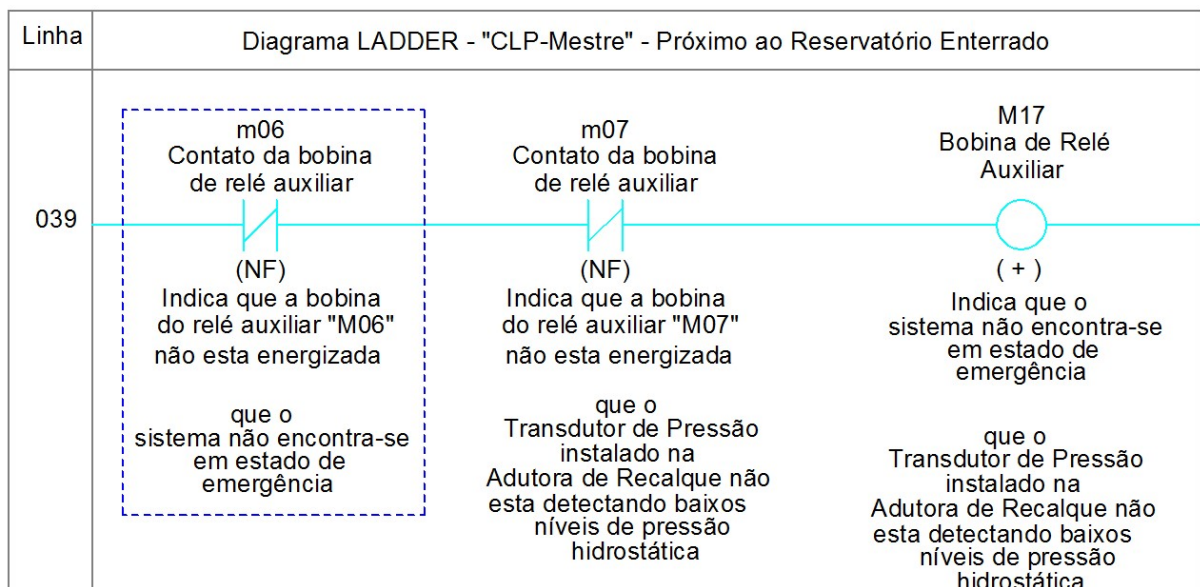
Figura 58 - Comportamento da linha 009 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o sistema não se encontrar em situação de emergência.



Fonte: próprio Autor.

A Fig. 59 mostra o comportamento da linha de programação 039 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botoeira de Emergência não tiver sido pressionada, ou seja, que o operador mantenedor responsável não tenha averiguado a ocorrência de nenhuma situação crítica capaz de impossibilitar o desenvolvimento do processo; nessas linhas pode ser observado o contato da Bobina de Relé Auxiliar "m06", que, enquanto NF, promove o fluxo de eletricidade virtual para a Bobina de Relé Auxiliar "M17", que é precisamente uma das variáveis que serão utilizadas para prover o fluxo de eletricidade virtual para a Bobina de Relé Auxiliar "M0A", ou seja, de prover a permissão de acionamento dos Conjuntos Motobombas 01 ou 02 (51).

Figura 59 - Comportamento da linha de programação 039 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botoeira de Emergência não tiver sido pressionada.



Fonte: próprio Autor.

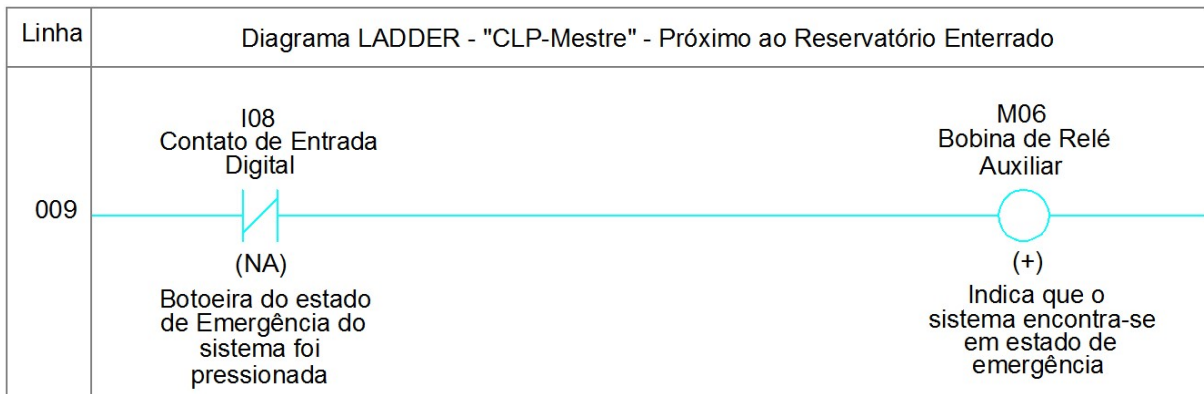
A Botoeira de Emergência instalada na porta do "Painel Enterrado" é responsável por deliberar uma ação imperativa no sistema. Com o intuito de tornar essa afirmação mais clara, as etapas a seguir definem situações em que este componente atue:

1. Que as condições de ambos os reservatórios estejam satisfeitas para dar início ao processo de bombeamento d'água do sistema;
2. Que houve permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobombas, e que Conjunto01 tenha acionado;
3. Que surgiu uma situação crítica (como, por exemplo, um vazamento de água no Conjunto Motobomba 01).

Com base nestas situações, as Fig. 60, 61, 62 e 63 mostram o comportamento das

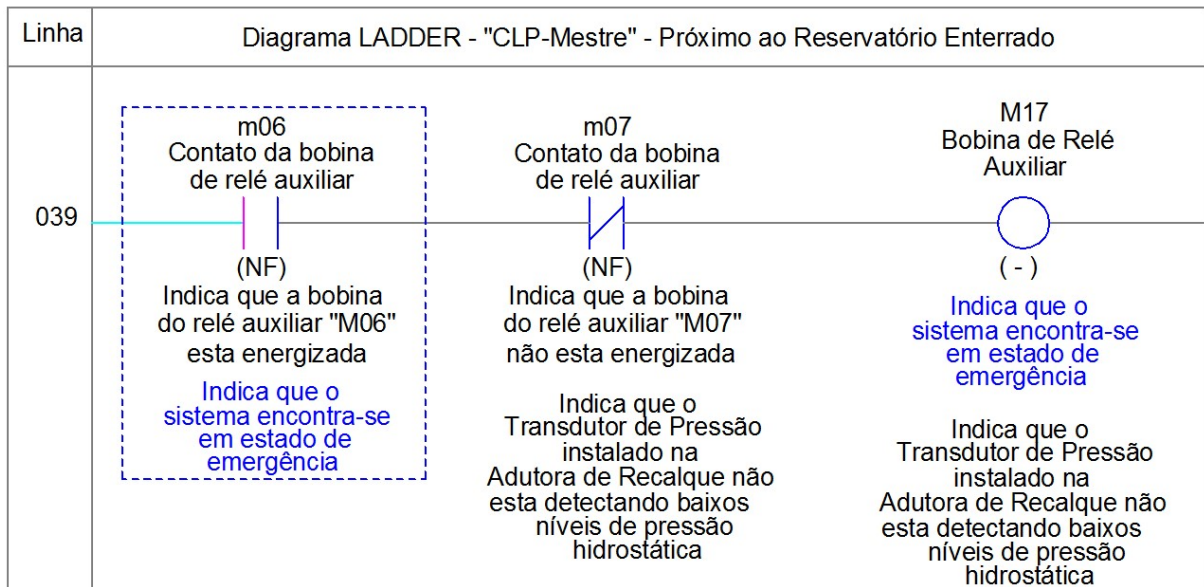
linhas de programação do diagrama LADDER do CLP-Mestre na ocorrência deste evento, o que se desdobrará na "NÃO PERMISSÃO" do acionamento dos Conjuntos Motobombas 01 ou 02.

Figura 60 - Comportamento da linha de programação 009 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botoeira de Emergência tiver sido pressionada.



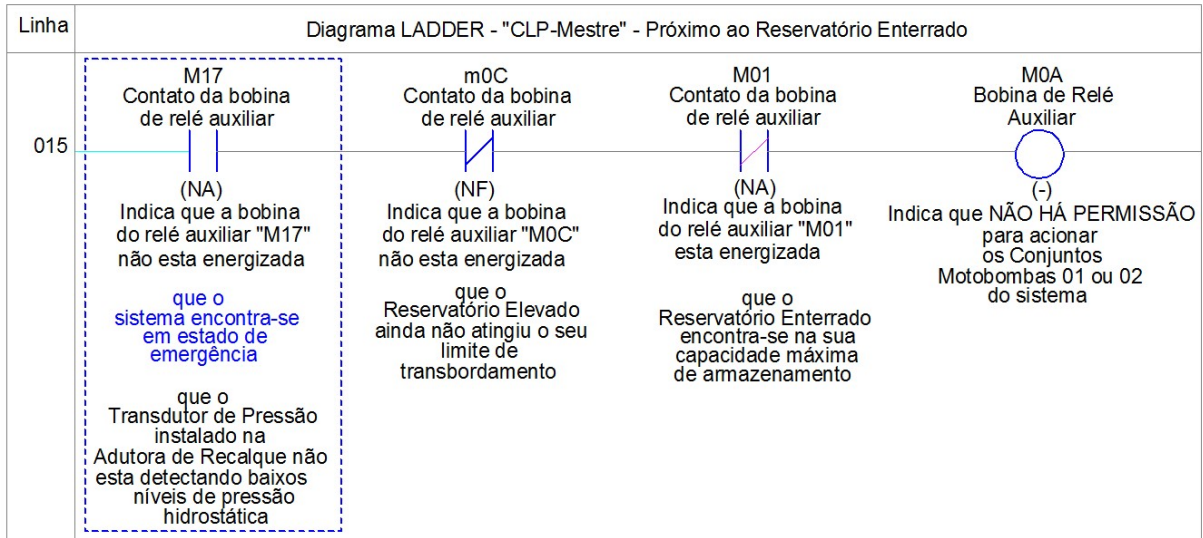
Fonte: próprio Autor.

Figura 61 - Comportamento da linha de programação 039 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botoeira de Emergência tiver sido pressionada.



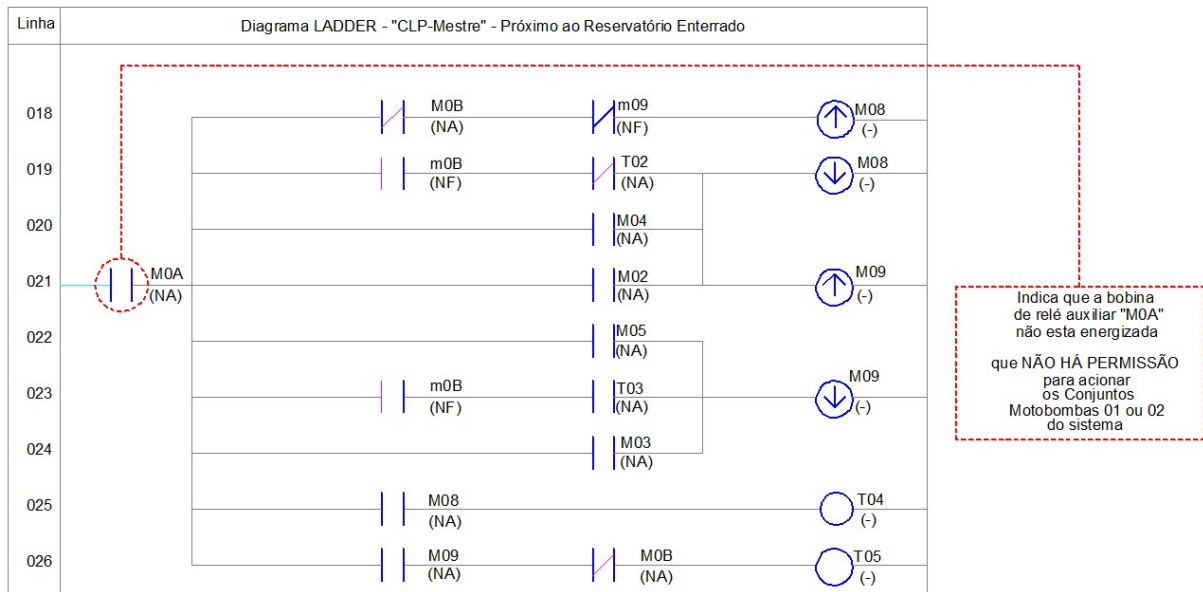
Fonte: próprio Autor.

Figura 62 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botocira de Emergência tiver sido pressionada.



Fonte: próprio Autor.

Figura 63 - Comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Botocira de Emergência tiver sido pressionada.



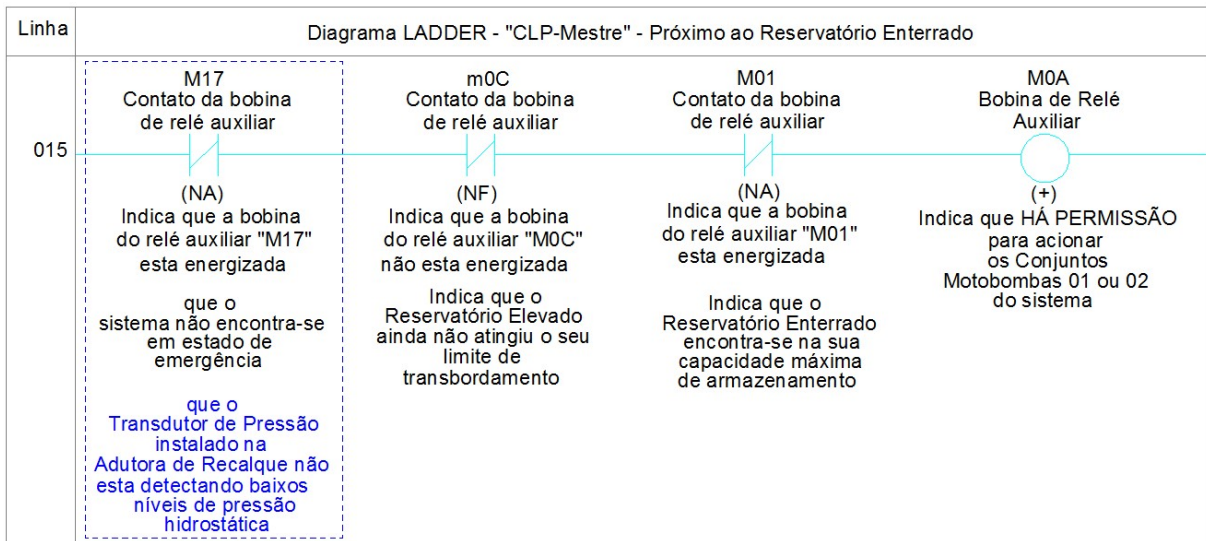
Fonte: próprio Autor.

5.1.2 A atuação do Transdutor de Pressão instalado no interior da Adutora de Recalque.

Uma vez que o Conjunto Motobomba 01 iniciou o processo de bombeamento d'água do sistema, voltamos agora à linha de programação 015 do diagrama LADDER do

CLP-Mestre. A Fig. 64 exibe essa linha quando a permissão de acionamento dos Conjuntos Motobombas 01 ou 02 estiver satisfeita, mas dessa vez com ênfase no Contato da Bobina de Relé Auxiliar "M17" no tocante a condição de estado do Transdutor de Pressão.

Figura 64 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01 ou 02.

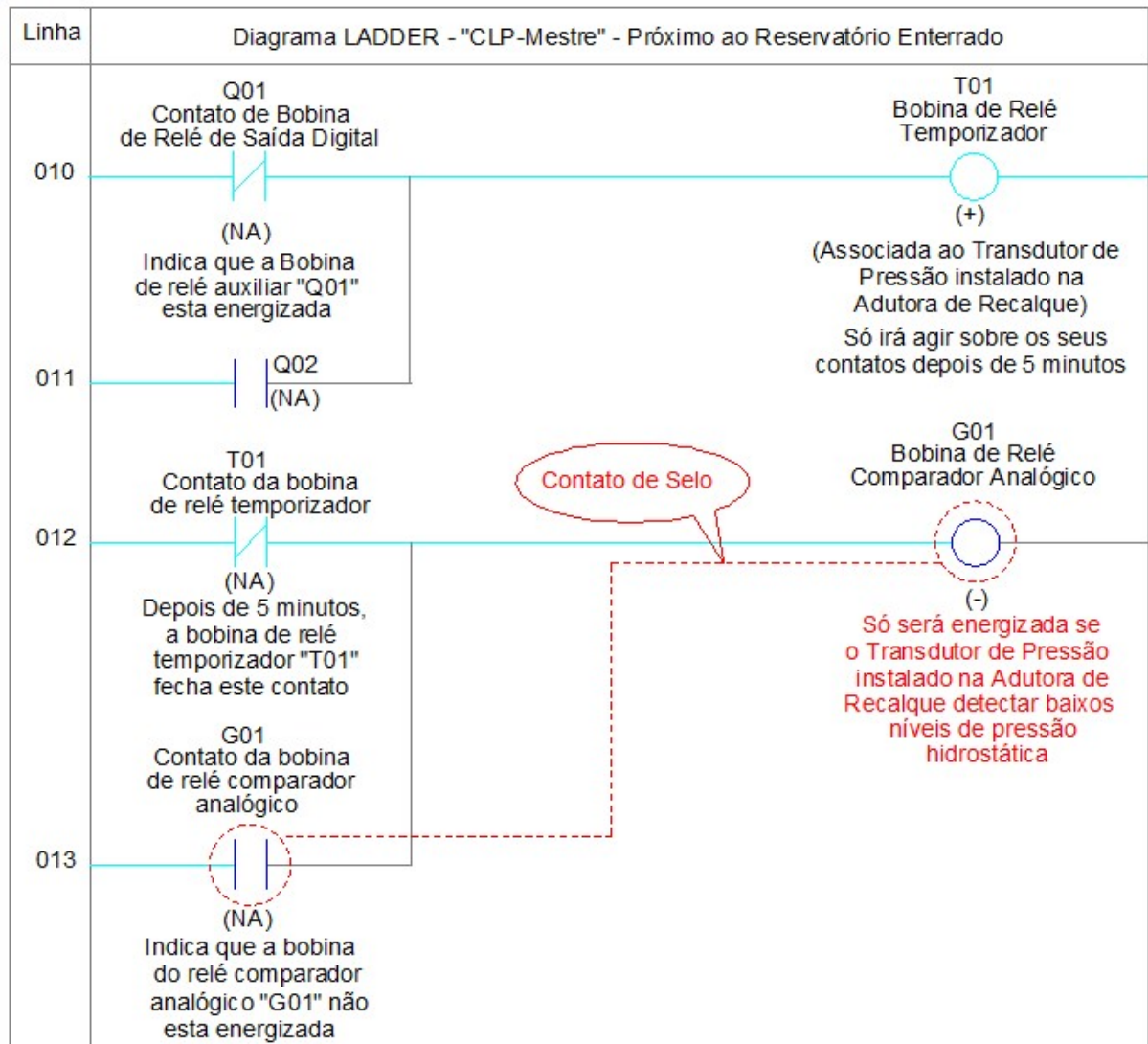


Fonte: próprio Autor.

É importante destacar que esse transdutor encontra-se desabilitado no início do processo, atuando no sistema depois de cinco minutos após a partida de um dos conjuntos motobomba. Isso ocorre porque este componente é responsável por detectar baixos níveis de pressão hidrostática no interior da respectiva adutora, o que o faria atuar tão logo quando se iniciasse o processo, uma vez que ainda não existe fluxo de água no mesmo. Portanto, seria detectado o menor nível de pressão hidrostática possível, ocasionando a interrupção do processo. Sendo assim, é necessário esse tempo para que esse nível seja estabilizado a parâmetros compatíveis com o desejado.

A figura 65 exibe o comportamento das linhas de programação 010 a 013, do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a "NÃO ATUAÇÃO" do Transdutor de Pressão estiver plenamente satisfeito, no instante após o Conjunto Motobomba 01 ter iniciado o processo de bombeamento do sistema.

Figura 65 - Comportamento da linha de programação 010 a 013 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque não estiver atuando no sistema.

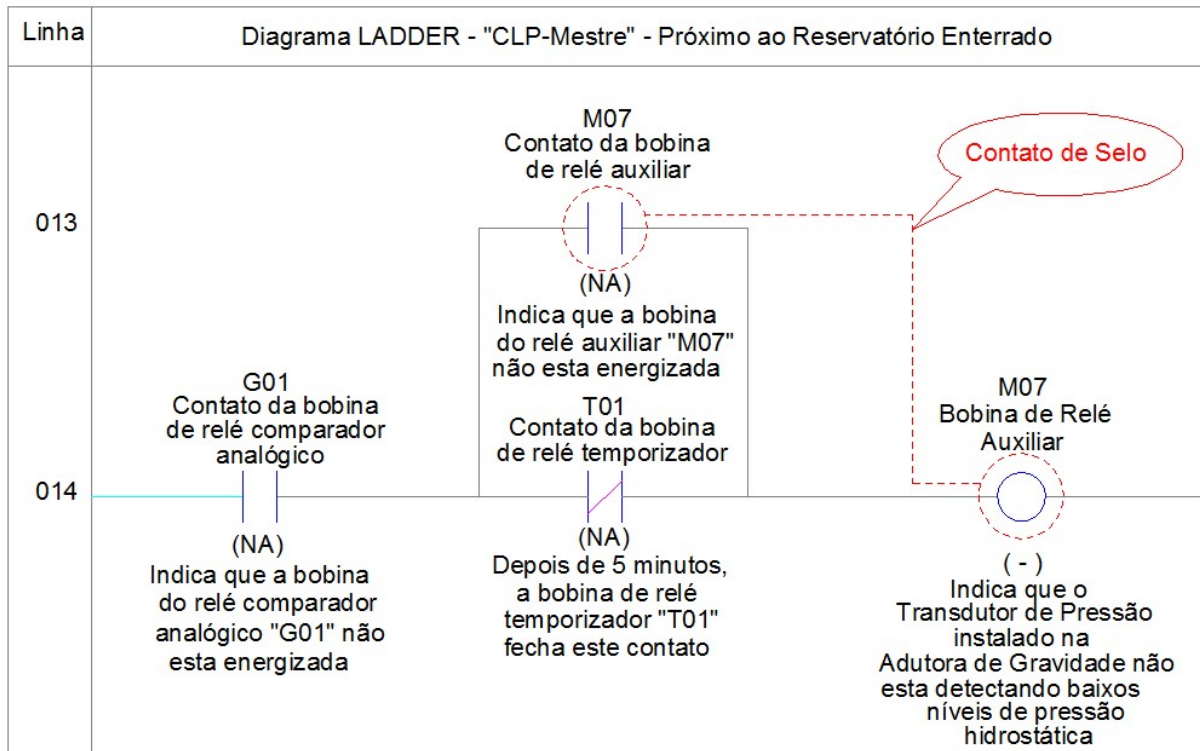


Fonte: próprio Autor.

A Fig. 66 exibe o comportamento da linha de programação 013 e 014 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão, uma vez já habilitado, não está atuante no sistema, ou seja, não detectou baixos níveis de pressão hidrostática.

Nas linhas 013 e 014 da Fig. 66 pode ser observada a Bobina de Relé Auxiliar "M07", e é precisamente esta uma das variáveis que serão utilizadas para prover a permissão de acionamento dos Conjuntos Motobombas 01 ou 02.

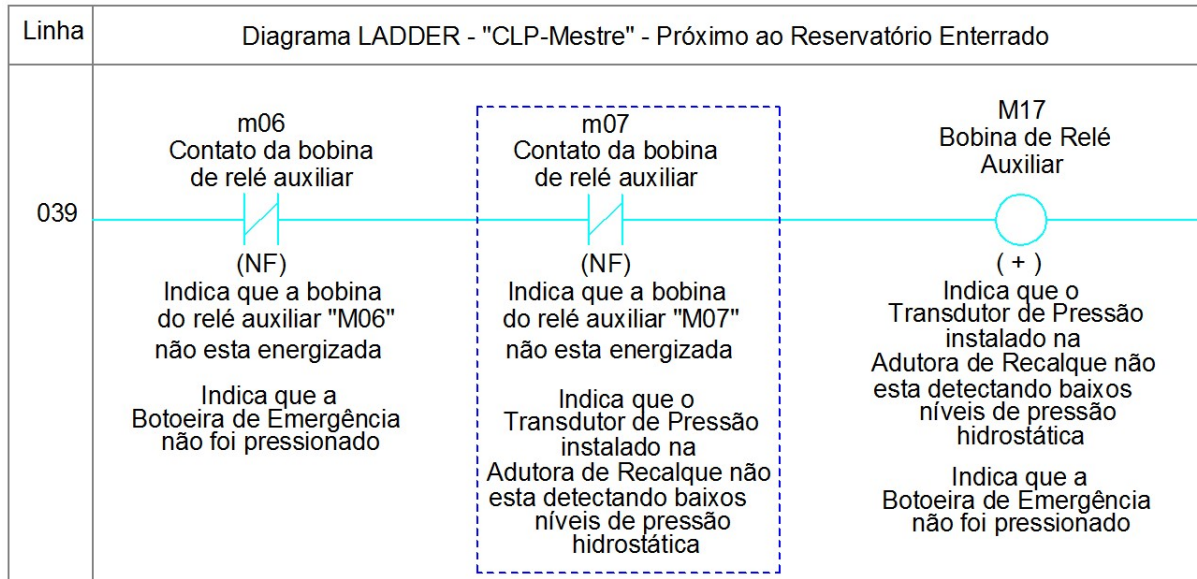
Figura 66 - Comportamento da linha 013 e 014 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão não estiver atuando.



Fonte: próprio Autor.

A Fig. 67 mostra o comportamento da linha de programação 039 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão, uma vez já habilitado, não está atuante no sistema, ou seja, não detectou baixos níveis de pressão hidrostática. Nessas linhas, pode ser observado o contato da Bobina de Relé Auxiliar "m07", que, enquanto NF, promove o fluxo de eletricidade virtual para a Bobina de Relé Auxiliar "M17".

Figura 67 - Comportamento da linha 039 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão não estiver atuando.



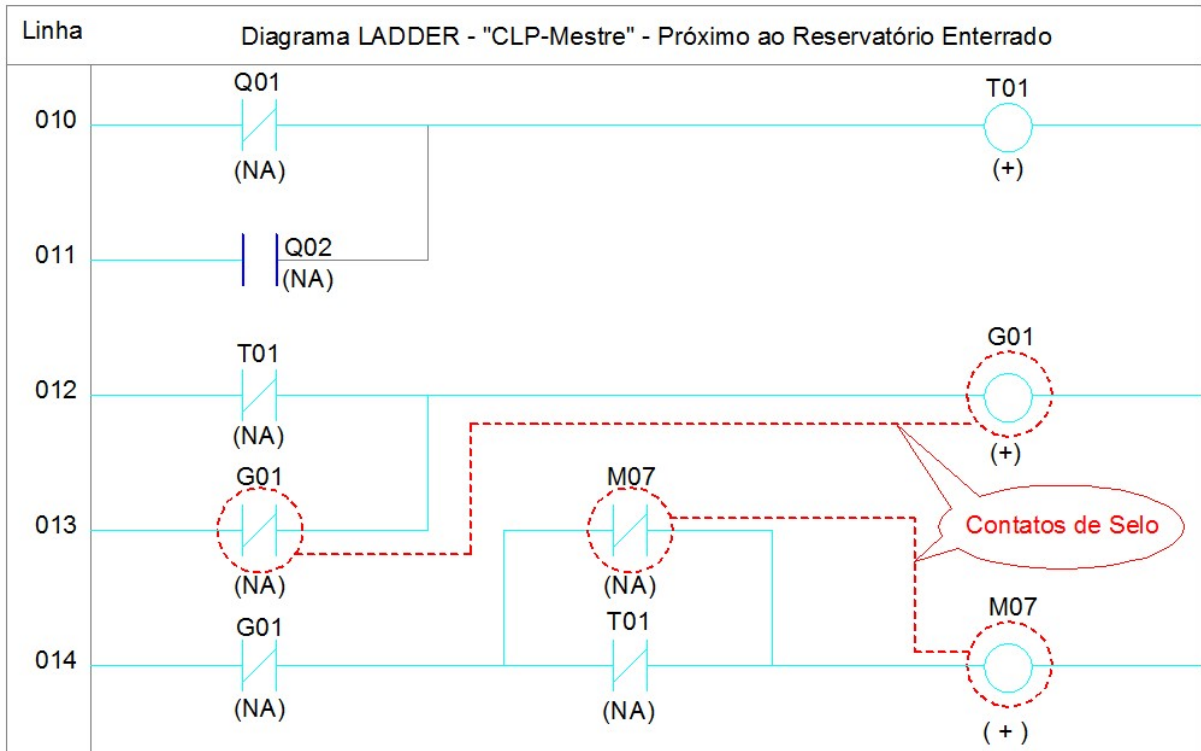
Fonte: próprio Autor.

Como já ficou claro, o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque também é responsável por deliberar uma ação imperativa no sistema. Com o intuito de tornar essa afirmação mais clara, as etapas abaixo definem uma situação hipotética em este componente atue:

1. Que as condições de ambos os reservatórios estejam satisfeitas para dar início ao processo de bombeamento d'água do sistema, ou seja, que o Reservatório Enterrado encontre-se na sua capacidade máxima de armazenamento, enquanto o Reservatório Elevado encontre-se na mínima;
2. Que houve permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobombas, e que Conjunto 01 tenha acionado;
3. Que foram decorridos os cinco minutos para a habilitação do Transdutor de Pressão;
4. Que o transdutor de pressão atuou, detectando baixos níveis de pressão hidrostática na Adutora de Recalque.

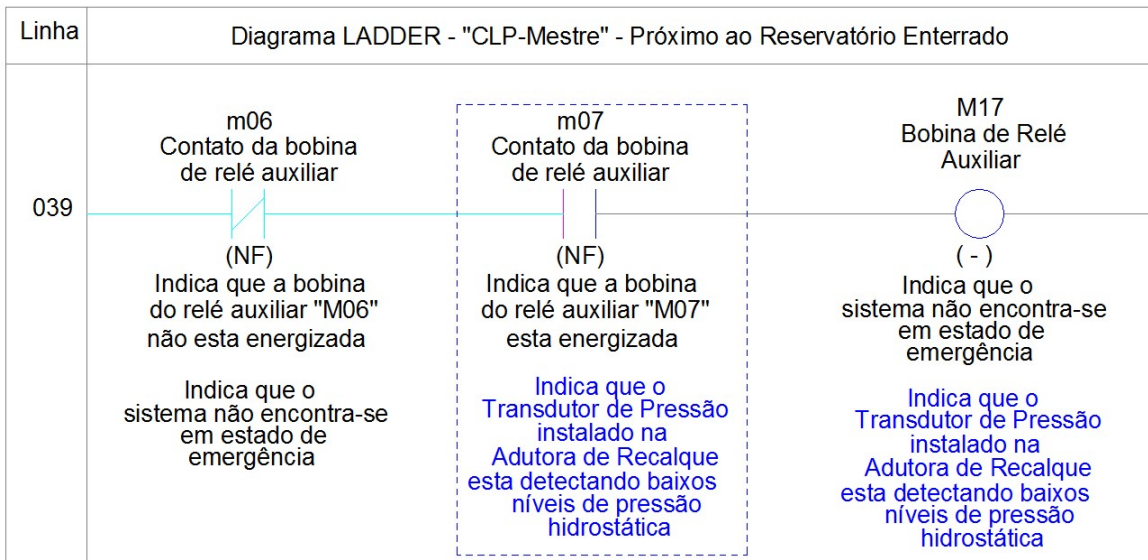
Desta forma, as Fig. 68, 69 e 70 exibem o comportamento das linhas de programação do diagrama LADDER do CLP-Mestre na ocorrência deste evento, o que se desdobrará na "NÃO PERMISSÃO" do acionamento dos Conjuntos Motobombas 01 ou 02.

Figura 68 - Comportamento da linha de programação 010 a 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque estiver atuando no sistema.



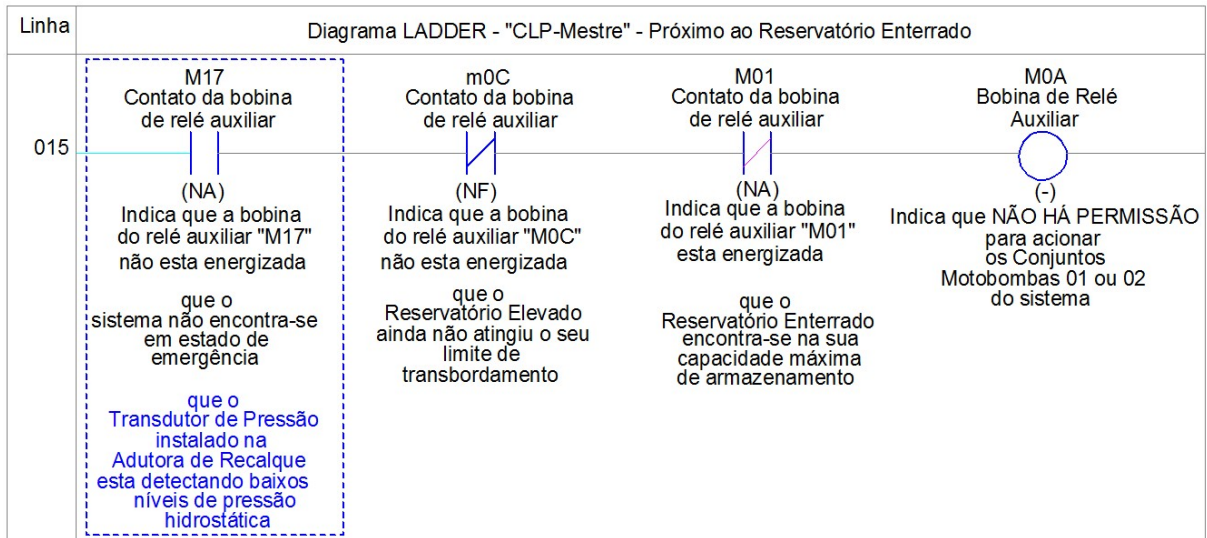
Fonte: próprio Autor.

Figura 69 - Comportamento da linha de programação 039 do diagrama LADDER do CLP- Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque estiver atuando no sistema.



Fonte: próprio Autor.

Figura 70 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP- Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque estiver atuando no sistema.

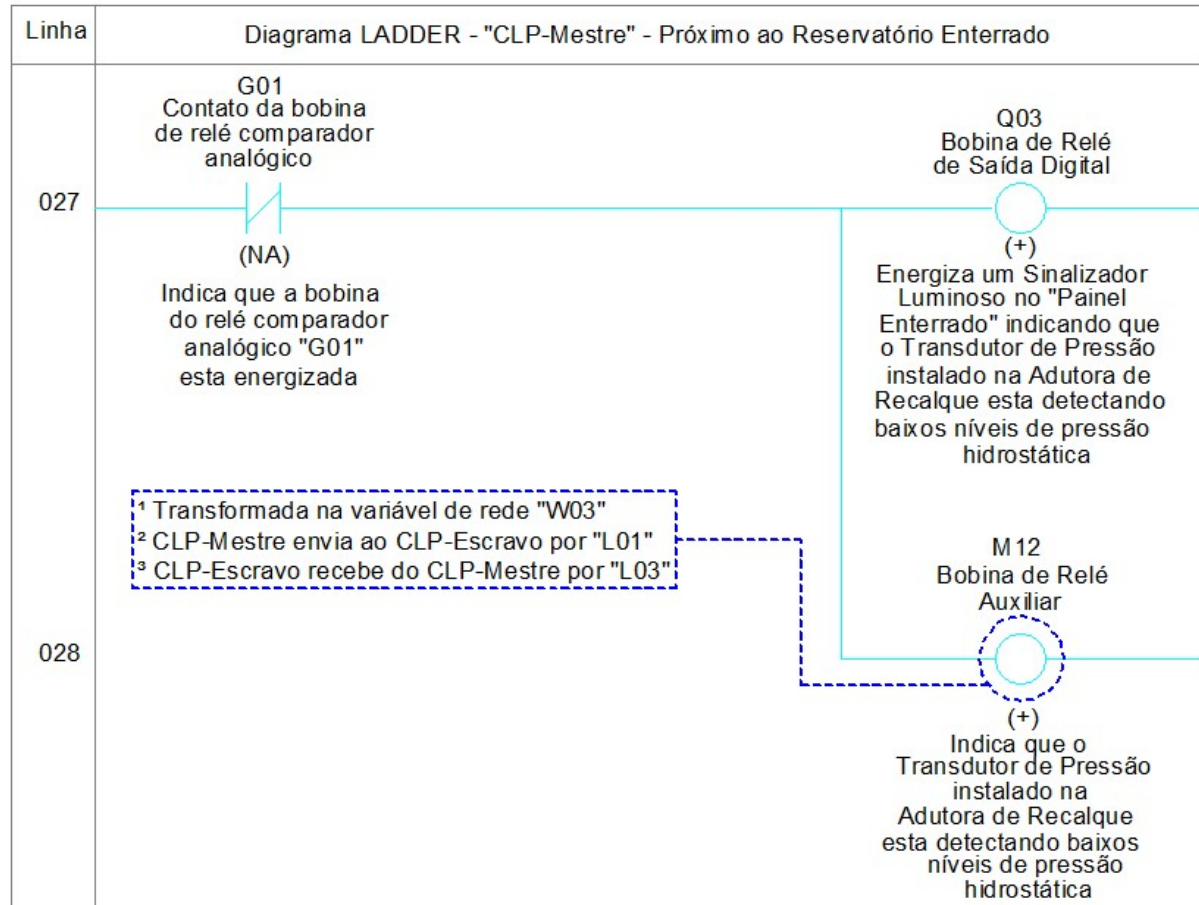


Fonte: próprio Autor.

Com base nisso, as linhas de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre se apresentarão da mesma forma que exibido na Fig. 63, entretanto, desta vez, pela atuação do Transdutor de Pressão instalado no interior da Adutora de Recalque.

A Fig. 71 exhibe o comportamento da linha de programação 027 a 028 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque estiver atuando no sistema. Essas linhas são responsáveis por informar a ocorrência desse evento por meio de um sinalizador luminoso instalado no "Painel Enterrado", e também a enviar essa informação, através da rede instaurada, para o CLP-Escravo.

Figura 71 - Comportamento da linha de programação 027 a 028 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Transdutor de Pressão instalado na Adutora de Recalque estiver atuando no sistema.



Fonte: próprio Autor.

5.1.3 A atuação do Sensor de Nível de Transbordo instalado no interior do Reservatório Elevado.

Uma vez que o Conjunto Motobomba 01 iniciou o processo de bombeamento d'água do sistema, voltamos agora à linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre. A Fig. 72 exhibe essa linha quando a permissão de acionamento dos Conjuntos Motobombas 01 ou 02 estiver satisfeita, mas dessa vez com ênfase no Contato da Bobina de Relé Auxiliar "m0C", responsável por indicar a condição de estado do Reservatório Elevado quanto a sua capacidade máxima de armazenamento.

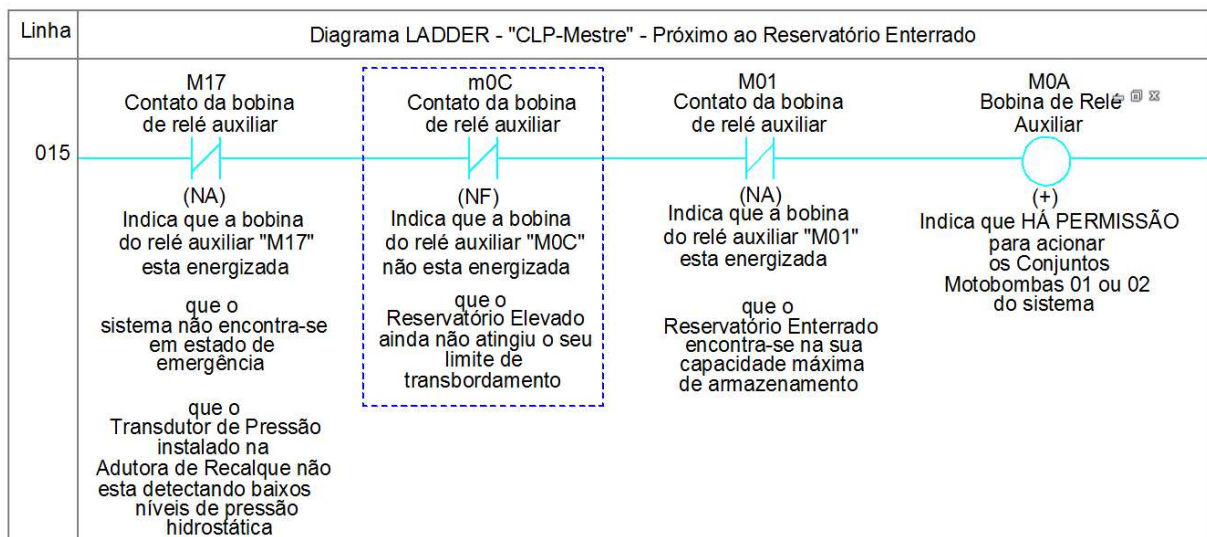
A Fig. 73 exhibe o comportamento da linha de programação 004 a 005 do diagrama LADDER do CLP-Escravo quando este sensor não está atuando, ou seja, quando ele não está detectando presença de líquido no ponto (altura) em que foi instalado.

O Sensor de Nível de Transbordo do Reservatório Elevado também é outro

componente discriminado a efetuar uma ação imperativa no processo de bombeamento d'água do sistema. A seguir as situações de atuação do sensor:

1. Que as condições de ambos os reservatórios estejam satisfeitas para dar início ao processo de bombeamento d'água do sistema;
2. Que houve permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobombas, e que Conjunto01 tenha acionado;
3. Que o Sensor de Nível de Transbordo presente no Reservatório Elevado atuou no sistema.

Figura 72 - Comportamento da linha de programação 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01 ou 02 (ênfase no Contato da Bobina de Relé Auxiliar "m0C").



Fonte: próprio Autor.

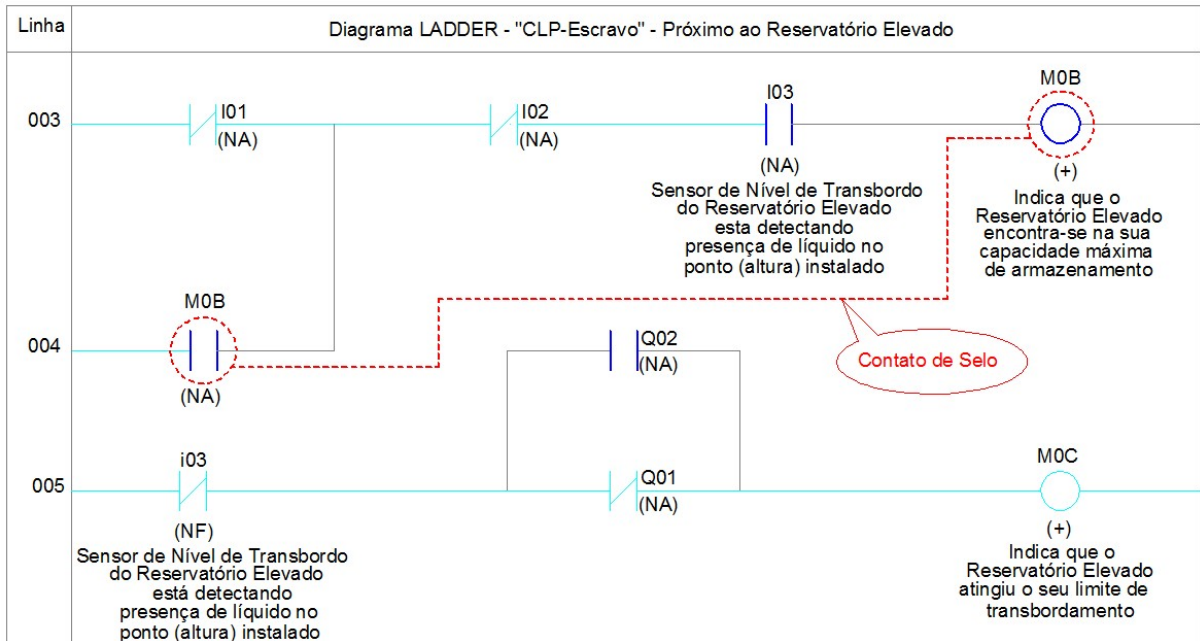
Figura 73 - Comportamento da linha de programação 004 e 005 do diagrama LADDER do CLP-Escravo quando o Sensor de Nível de Transbordo não está atuando no sistema.



Fonte: próprio Autor.

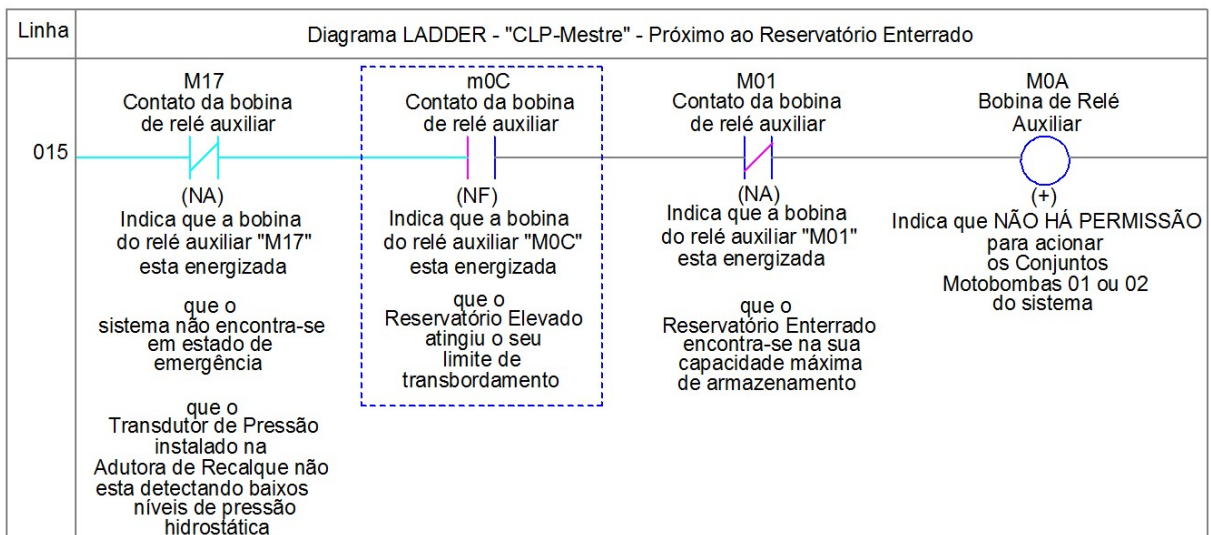
Desta forma, as Fig. 74 e 75 exibem o comportamento das linhas de programação do diagrama LADDER do CLP-Mestre na ocorrência deste evento, o que se desdobrará no desligamento e/ou na "NÃO PERMISSÃO" do acionamento dos Conjuntos Motobombas 01 ou 02.

Figura 74- Comportamento das linhas 003 a 005 do diagrama LADDER do CLP-Escravo quando o Sensor de Nível de Transbordo estiver atuando no sistema.



Fonte: próprio Autor.

Figura 75 - Comportamento da linha 015 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Sensor de Nível de Transbordo estiver atuando no sistema.



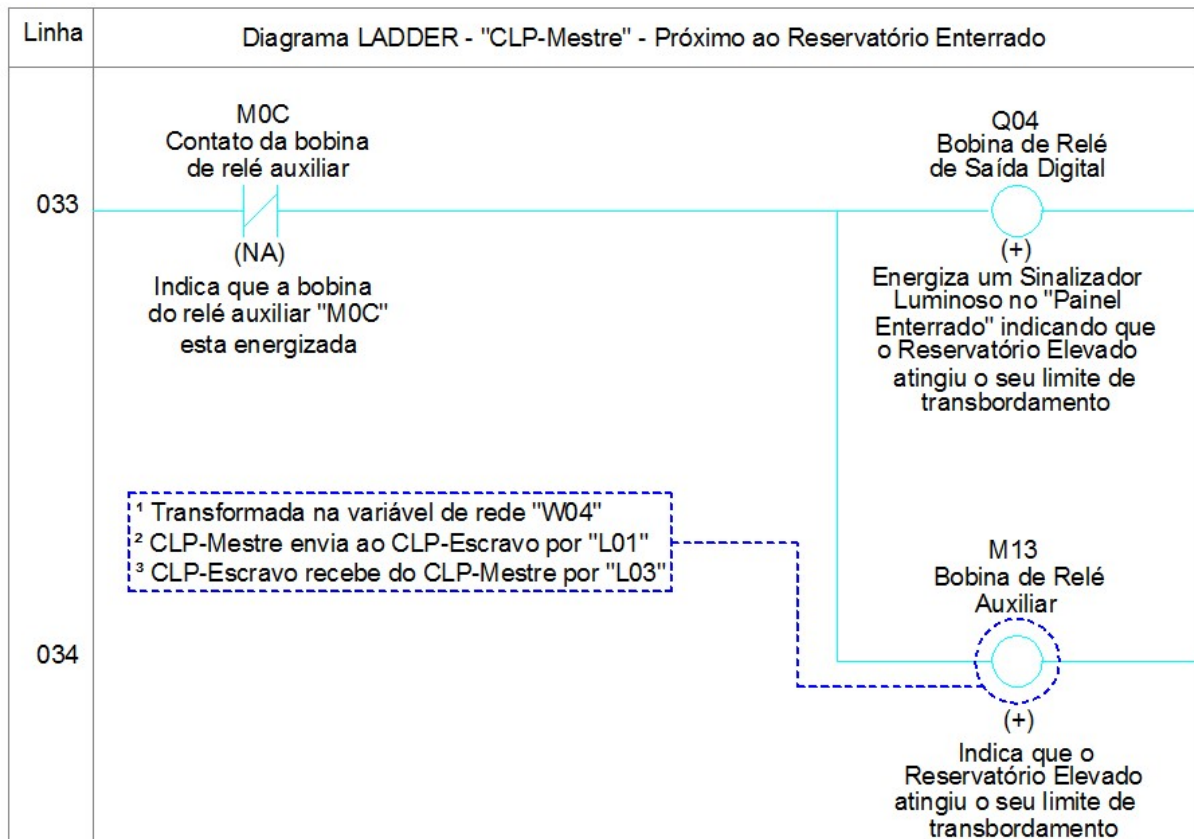
Fonte: próprio Autor.

Com base nisto, as linhas 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre se apresentarão da mesma forma que exibido na Fig. 63, entretanto, desta vez, pela atuação do Sensor de Nível de Transbordo instalado no interior do Reservatório Elevado.

A Fig. 76 exhibe o comportamento da linha de programação 033 e 034 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Sensor de Nível de Transbordo do Reservatório

Elevado estiver atuando no sistema. Essas linhas são responsáveis por informar a ocorrência desse evento por meio de um sinalizador luminoso instalado no "Painel Enterrado", e também a enviar essa informação, através da rede instaurada, para o CLP-Escravo.

Figura 76 - Comportamento da linha de programação 033 e 034 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o Sensor de Nível de Transbordo do Reservatório Elevado estiver atuando no sistema.



Fonte: próprio Autor.

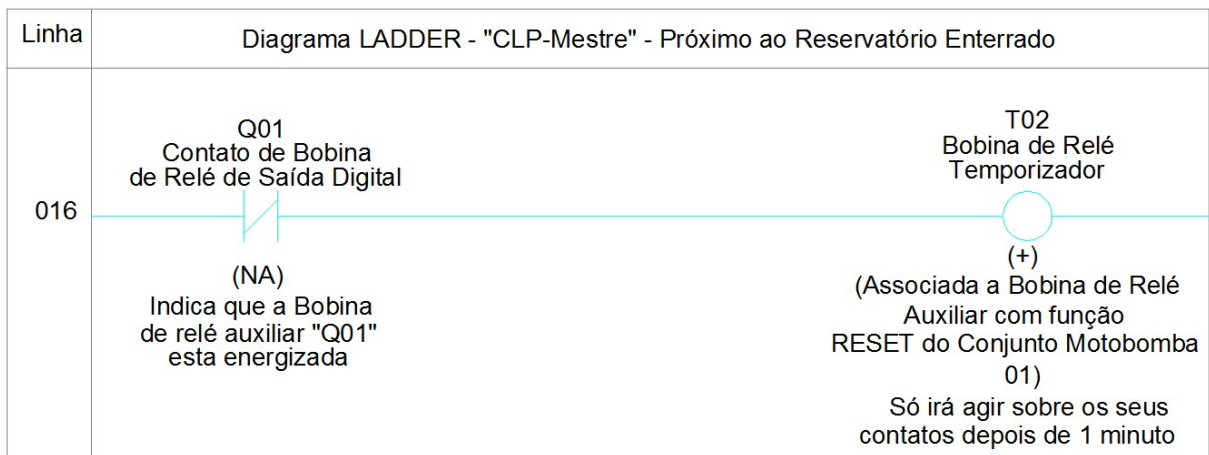
5.2 A Alternância do Conjunto Motobomba 01 para 02.

Antes de adentrarmos no mérito da alternância dos Conjuntos, torna-se necessário voltarmos ao instante em que o Conjunto Motobomba 01 é acionado. Desta forma, assim como exibido na Fig. 53, que mostra o comportamento das linhas de programação 027 e 028 do diagrama LADDER do CLP-Mestre, no momento em que a Bobina de Relé de Saída Digital "Q01" é energizada virtualmente, provendo a alimentação elétrica da respectiva máquina, pode-se observar a Fig. 77 que exhibe o comportamento da linha de programação 016 do diagrama LADDER do CLP-Mestre.

A Fig. 78 exibe o comportamento da linha de programação 018 a 026 (ênfase na linha 019) do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Bobina Relé Temporizador "T02" atuar sobre o seu respectivo contato; nesta ocasião, vale destacar, o acionamento do Conjunto Motobomba 01 ainda se encontra em pleno desenvolvimento.

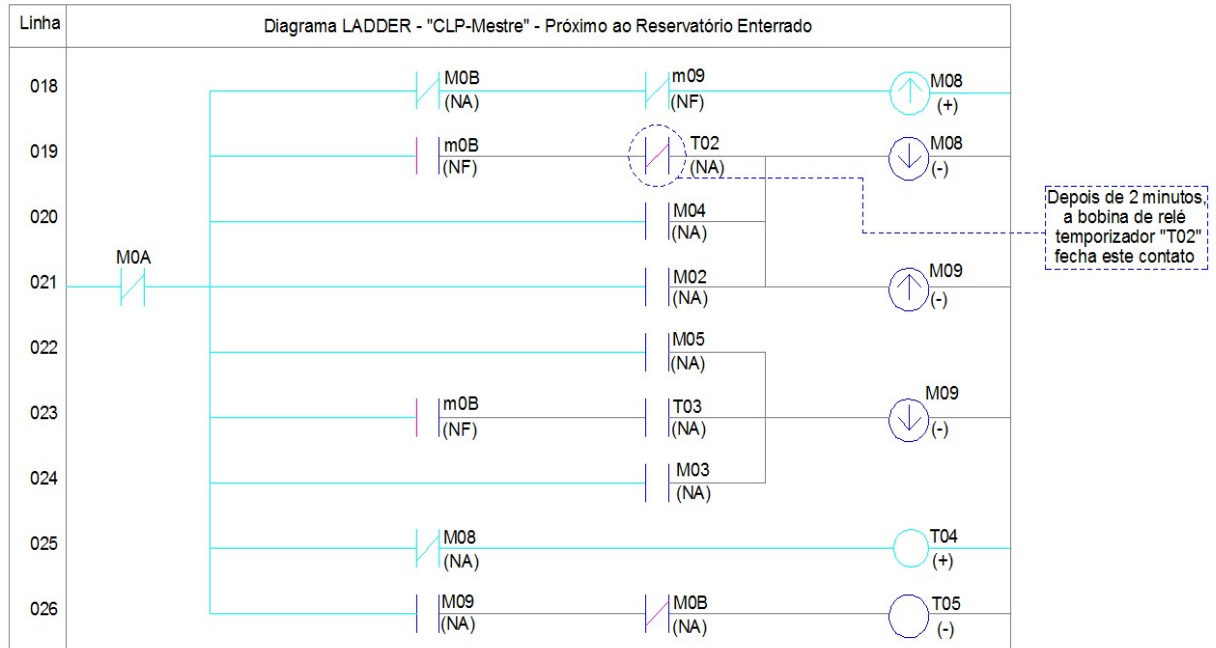
A Fig. 79 exibe o comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre, mas agora no exato instante em que a Bobina de Relé Auxiliar "M0B" for desenergizada (Fig. 55), o que indica, como já mencionado anteriormente, que o Reservatório Elevado acabou de atingir a sua capacidade máxima de armazenamento. Neste momento, o sistema terá entrado em uma condição de repouso, até que haja a necessidade de iniciar o processo de bombeamento d'água novamente.

Figura 77 - Comportamento da linha de programação 016 do diagrama LADDER do CLP- Mestre quando a Bobina de Relé Auxiliar "Q01" é energizada virtualmente.



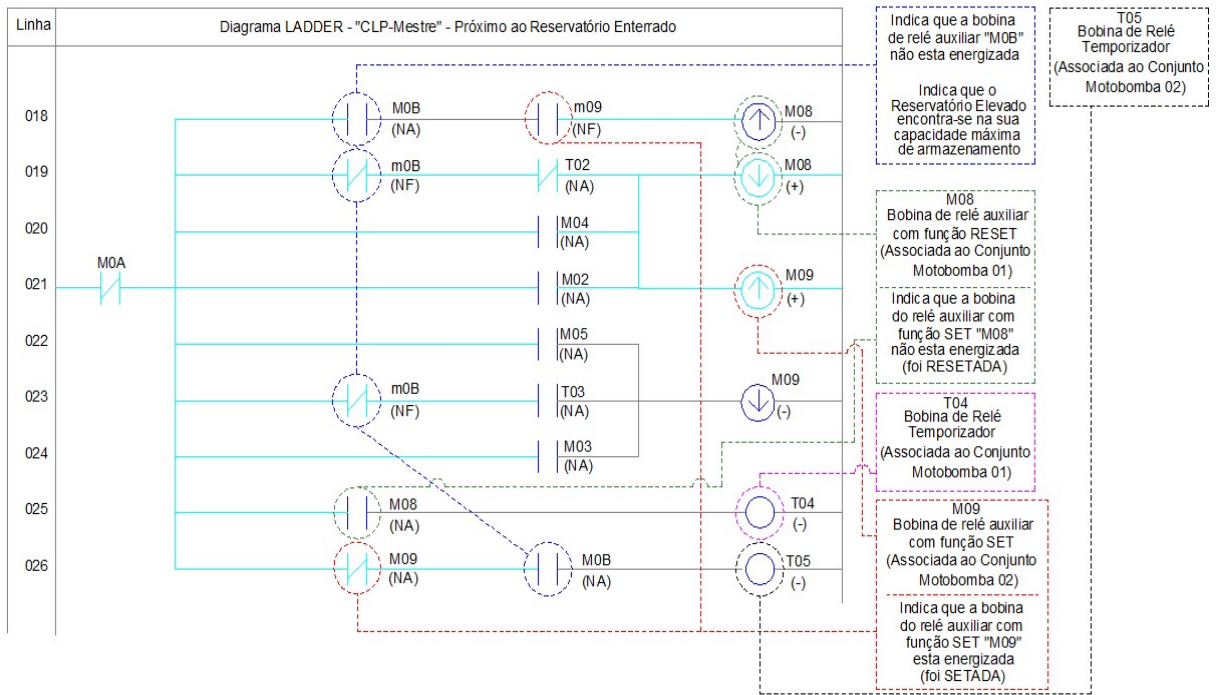
Fonte: próprio Autor.

Figura 78 - Comportamento das linhas de 018 a 026 (ênfase na linha 019) no diagrama do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Temporizador "T02" atuar.



Fonte: próprio Autor.

Figura 79 - Comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Auxiliar "M0B" estiver desenergizada.

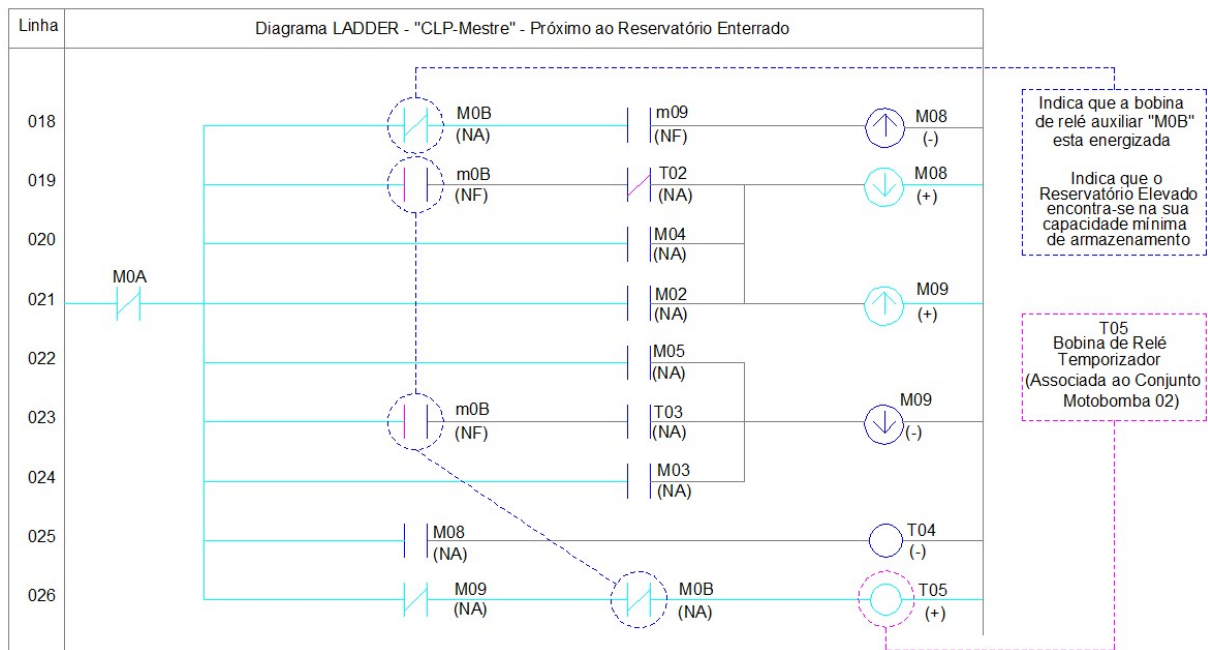


Fonte: próprio Autor.

Assim que o Reservatório Elevado atingir a sua capacidade mínima de armazenamento novamente (Fig. 49), ou seja, que os Sensores de Mínimo e Máximo do respectivo

reservatório não estiverem detectando presença de líquido no ponto (altura) em que foram instalados, haverá permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobombas, entretanto, como pode ser observado na Fig. 80, que exhibe o comportamento das linhas de programação 018 a 026 do Diagrama LADDER do CLP-Mestre, é o Conjunto Motobomba 02 que deverá ser solicitado para o desenvolvimento do processo desta vez.

Figura 80 - Comportamento da linha de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando houver permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 02.



Fonte: próprio Autor.

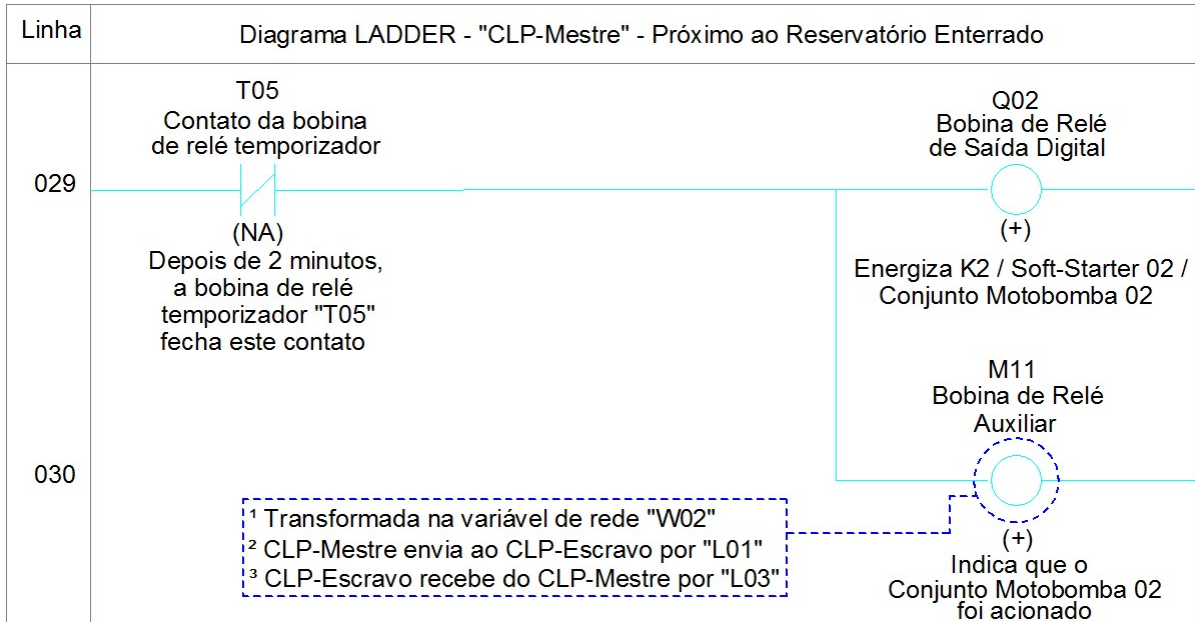
A Fig. 81 exhibe o comportamento da linha de programação 029 e 030 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a bobina de relé de saída digital "Q02" é energizada virtualmente; isso indica que a contatora K2 / Soft-Starter 02 / Conjunto Motobomba 02 estão sendo alimentados eletricamente, e que o processo de bombeamento d'água do sistema se iniciou.

No momento em que a Bobina de Relé de Saída Digital "Q02" é energizada virtualmente, provendo a alimentação elétrica do Conjunto Motobomba 02, pode-se observar a Fig. 82, que exhibe o comportamento da linha de programação 017 do diagrama LADDER do CLP-Mestre.

A Fig. 83 exhibe o comportamento da linha de programação 018 a 026 (ênfase na linha 023) do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Bobina Relé Temporizador "T03" atuar sobre o seu respectivo contato. Nesta ocasião, vale destacar, o acionamento

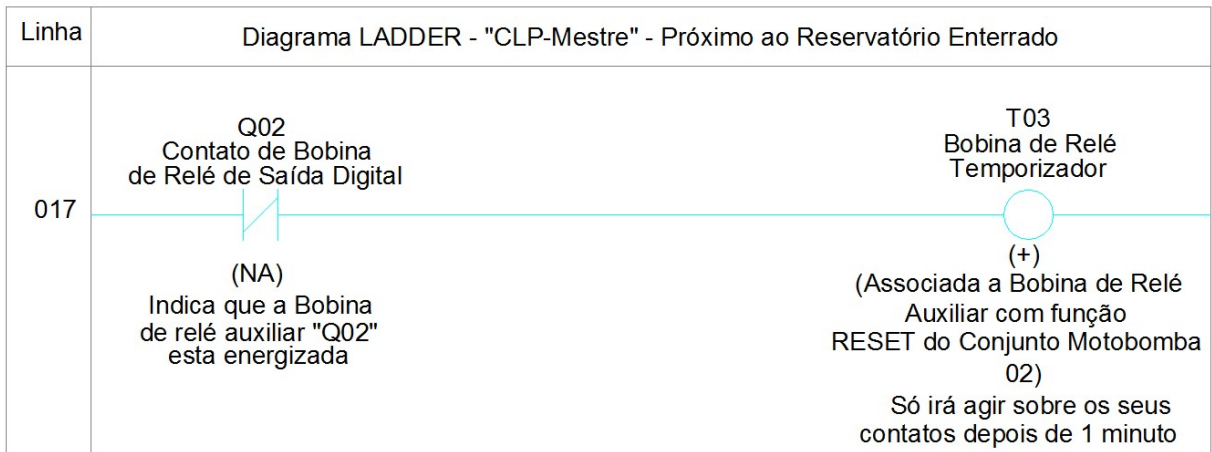
do Conjunto Motobomba 02 ainda se encontra em pleno desenvolvimento.

Figura 81 - Comportamento das linhas 029 e 030 do CLP-Mestre quando houver alimentação da contatora K2/Soft-Starter02/Conjunto Motobomba 02.



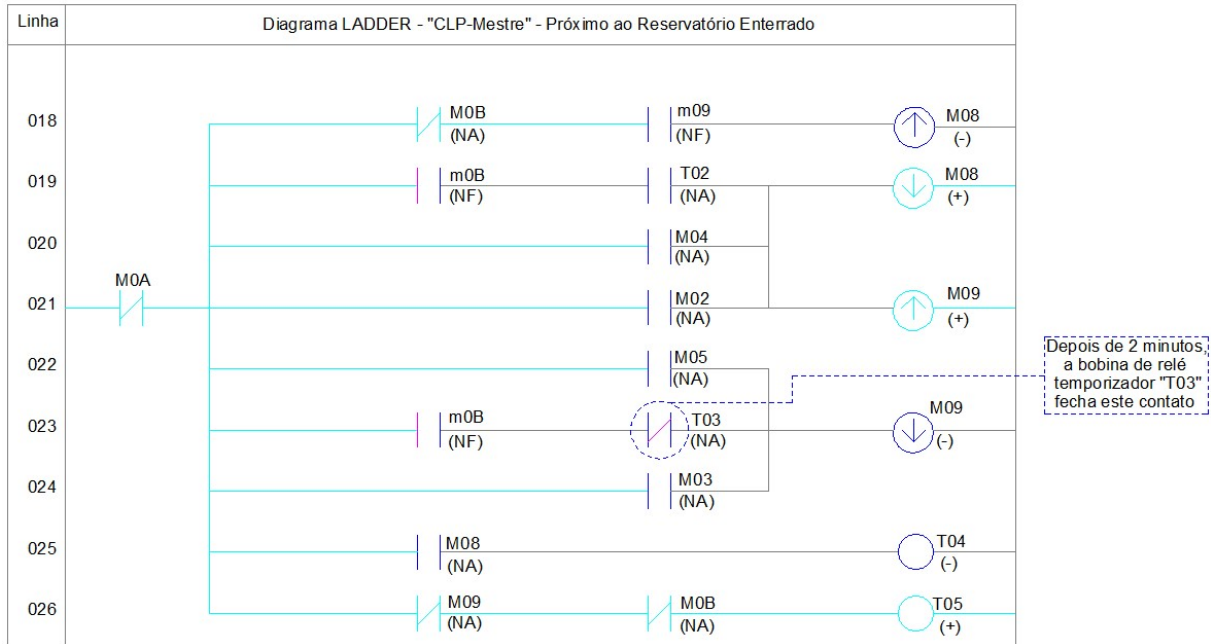
Fonte: próprio Autor.

Figura 82 - Comportamento da linha de programação 017 do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Auxiliar "Q02" é energizada virtualmente.



Fonte: próprio Autor.

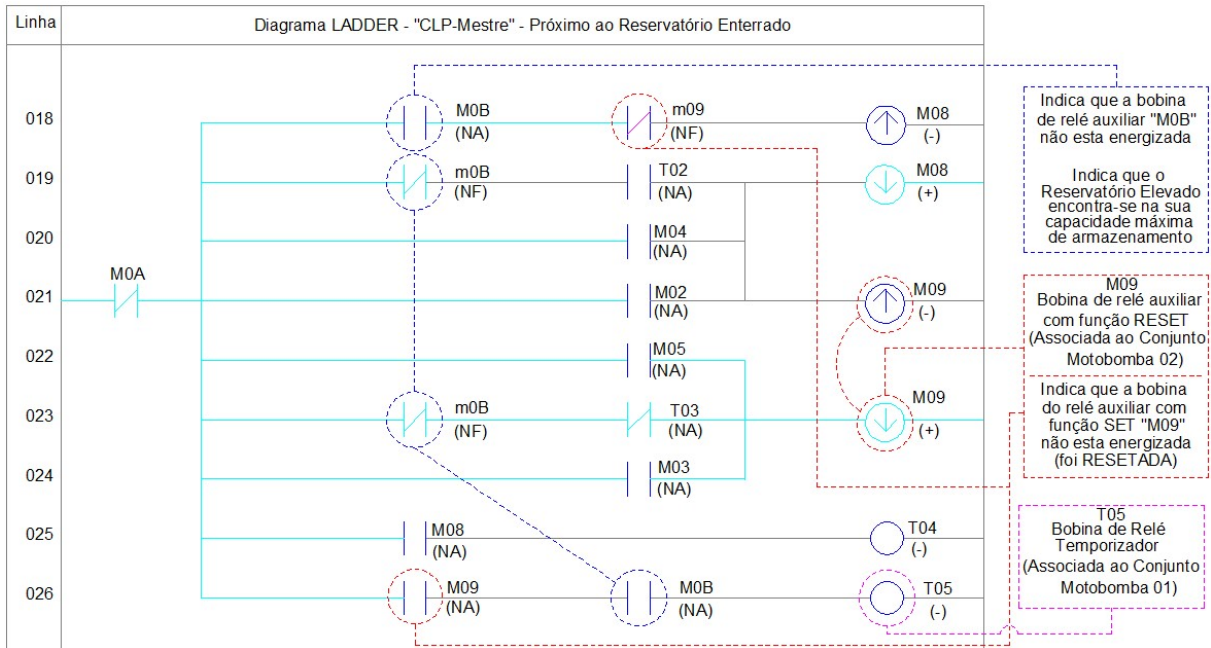
Figura 83 - Comportamento das linhas 018 a 026 do CLP-Mestre quando a Bobina de Relé Temporizador "T03" atuar sobre o seu respectivo contato.



Fonte: próprio Autor.

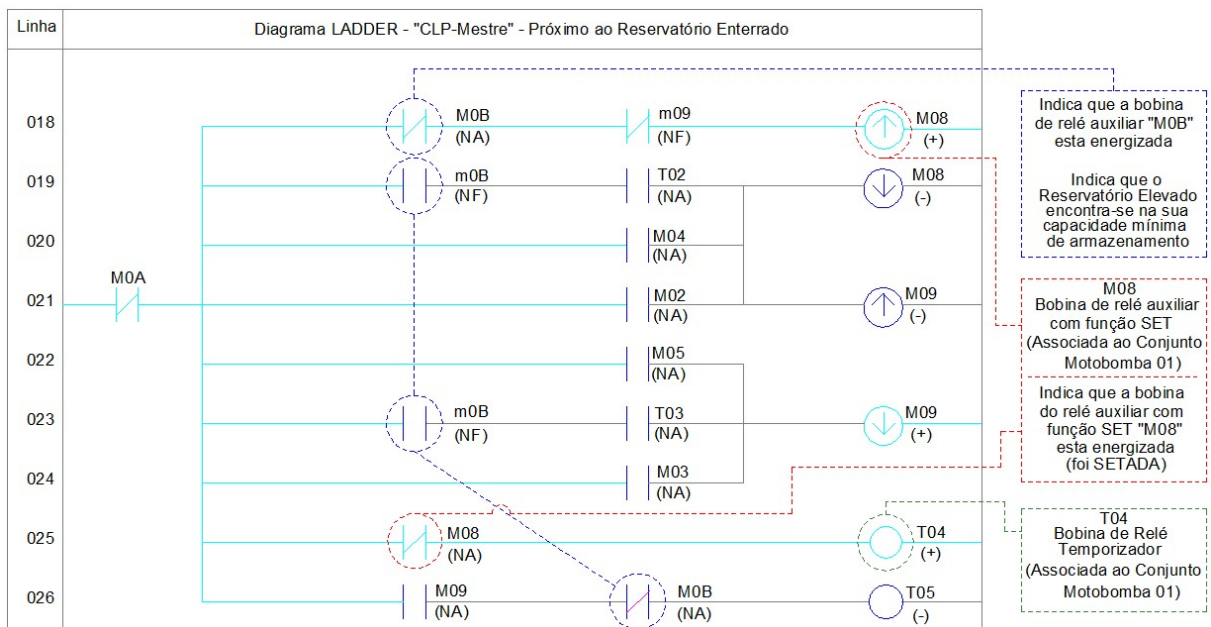
Assim sendo, o processo de bombeamento d'água se seguirá até que o Reservatório Elevado atinja a sua capacidade máxima de armazenamento, ou seja, até que os Sensores de Mínimo e Máximo detectem a presença de líquido no ponto (altura) em que foram instalados. Quando isso, ocorrer, a Bobina de Relé Auxiliar "M0B" será desenergizada novamente (Fig. 55). A Fig. 84 mostra o comportamento das linhas de programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre no exato instante em que o sistema entrar em uma nova condição de espera.

Figura 84 - Comportamento das linhas 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre no exato instante em que a Bobina de Relé Auxiliar "M0B" for desenergizada.



Fonte: próprio Autor.

Figura 85 - Comportamento das linhas 018 a 026 do CLP-Mestre quando houver uma nova permissão para o acionamento dos Conjuntos Motobomba 01.



Fonte: próprio Autor.

Com o intuito de estabelecer uma compreensão completa acerca da alternância dos Conjuntos Motobombas na próxima vez que o Reservatório Elevado atingir a sua capacidade mínima de armazenamento, a Fig. 85 mostra o comportamento das linhas de

programação 018 a 026 do diagrama LADDER do CLP-Mestre, operando para que o Conjunto Motobomba 01 seja solicitado a partir deste momento, e assim por diante.

5.3 A indisponibilidade dos Conjuntos Motobombas.

Os conjuntos Motobombas presentes no sistema apresentam dois estados de indisponibilidade, os quais podem surgir de maneira individual em cada uma das máquinas, ou mesmo em ambas. Na primeira hipótese, foi assegurado, através da lógica de programação dos diagramas LADDER, que na observância de que algum dos conjuntos não estivesse apto ao pleno desenvolvimento do processo, o conjunto disponível ficasse encarregado de todo o procedimento, ou seja, não haveria a alternância de maquinário. Já na segunda hipótese, todo o processo de automação do sistema de bombeamento d'água do respectivo residencial estaria comprometido, tanto em sua configuração "AUTOMÁTICA" quanto "MANUAL", até que o problema averiguado fosse solucionado. Desta forma, trataremos da primeira hipótese.

5.3.1 A atuação dos Relés de Sobrecarga Térmico dos Conjuntos.

Os relés de sobrecarga térmico (Fig. 86) são componentes desenvolvidos para a proteção das cargas contra o aquecimento anormal ocasionado por sobrecarga ou falta de fase. Neste sistema foram utilizados dois relés de sobrecarga térmico da marca WEG, linha RW, uma para cada Conjunto Motobomba, instalados no interior do "Painel Enterrado".

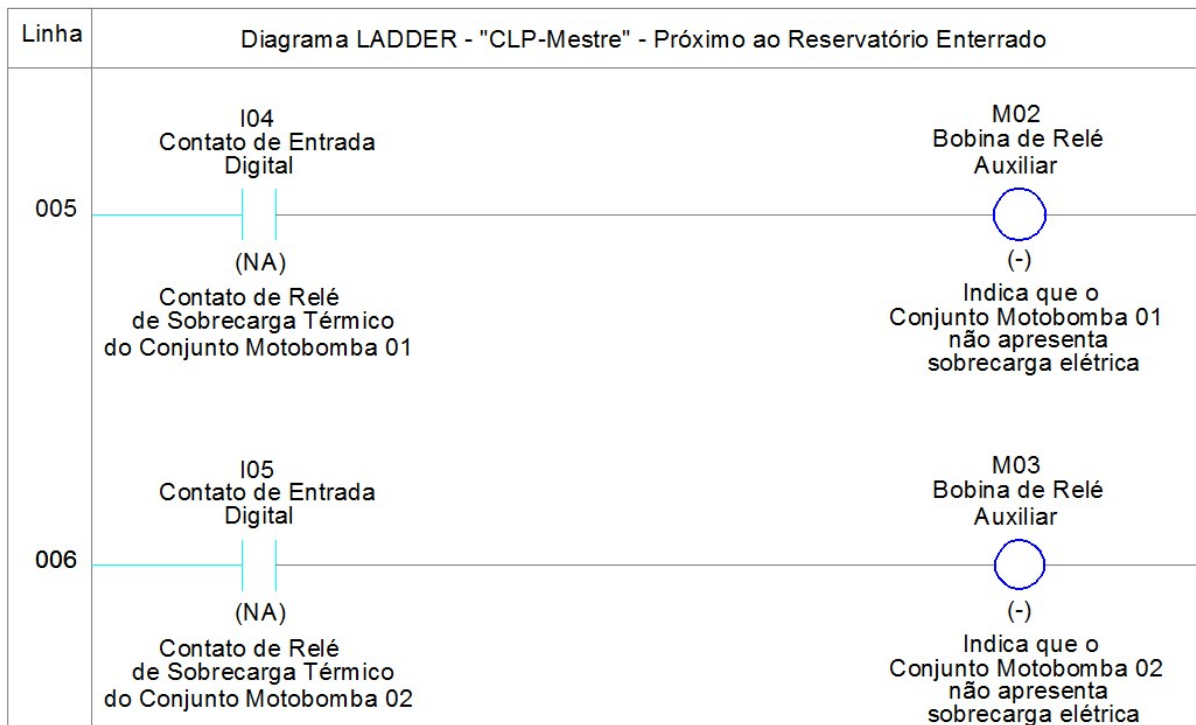
Figura 86 - Relés de Sobrecarga Térmico da marca WEG, linha RW (para cada Conjunto Motobomba) instalado no interior do "Painel Enterrado".



Fonte: próprio Autor.

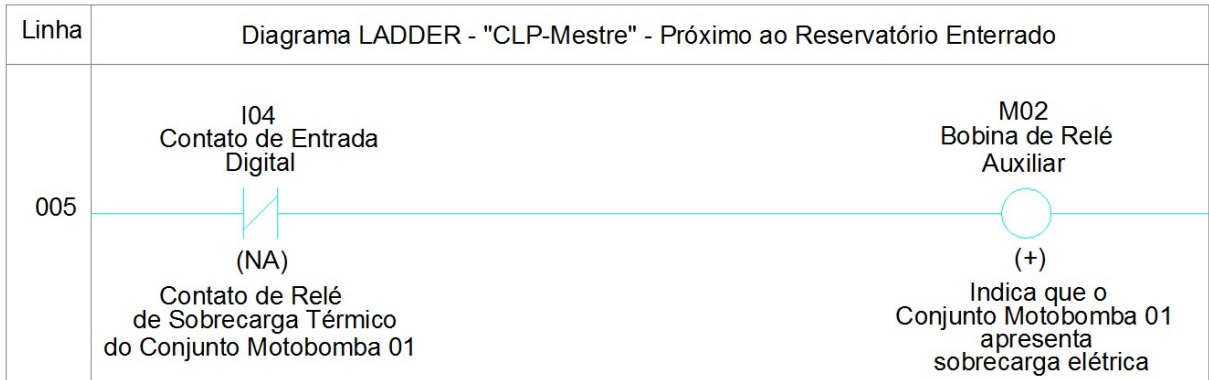
A Fig. 87 exhibe o comportamento das linhas de programação 005 e 006 do Diagrama LADDER do CLP-Mestre, quando os relés de sobrecarga térmico, de ambos os conjuntos, não estiverem atuando no sistema. As Fig. 88 e 89 exibem o comportamento das linhas de programação do diagrama LADDER do CLP-Mestre na ocorrência da atuação do Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 01, o que torna a máquina indisponível para o processo, assim como a alternância automática para o Conjunto Motobomba 02.

Figura 87 - Comportamento das linhas 005 e 006 do CLP-Mestre quando os Relés de Sobrecarga Térmico, de ambos os Conjuntos, não estiverem atuando.



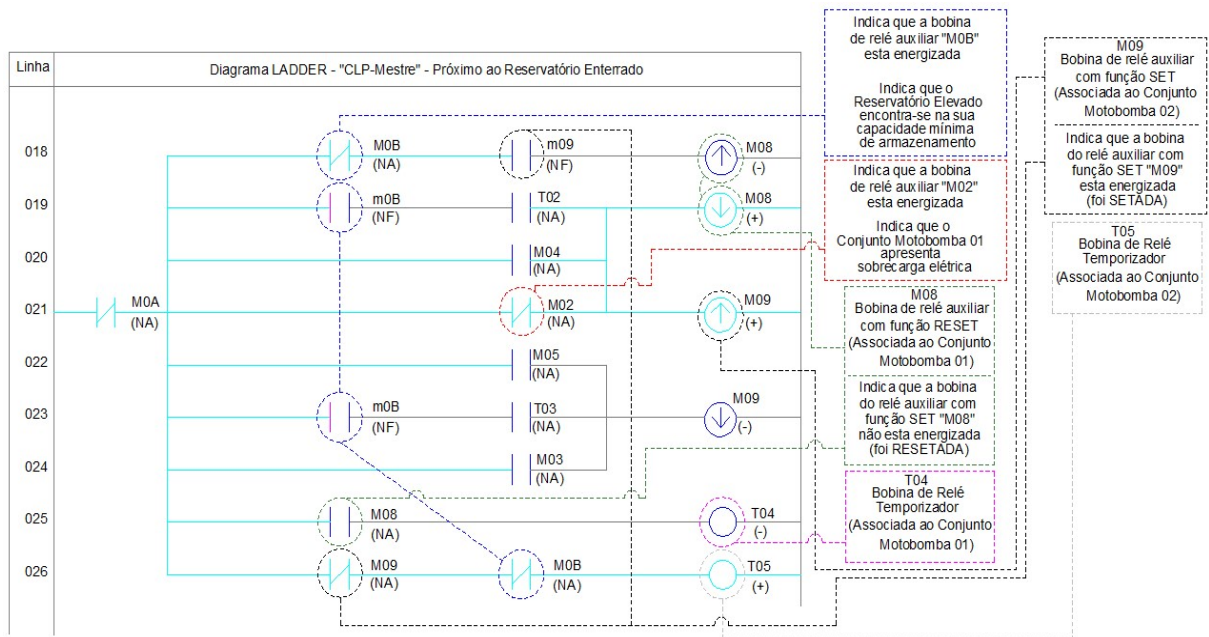
Fonte: próprio Autor.

Figura 88 - Comportamento das linhas 005 do CLP-Mestre quando o Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 01 estiver atuando.



Fonte: próprio Autor.

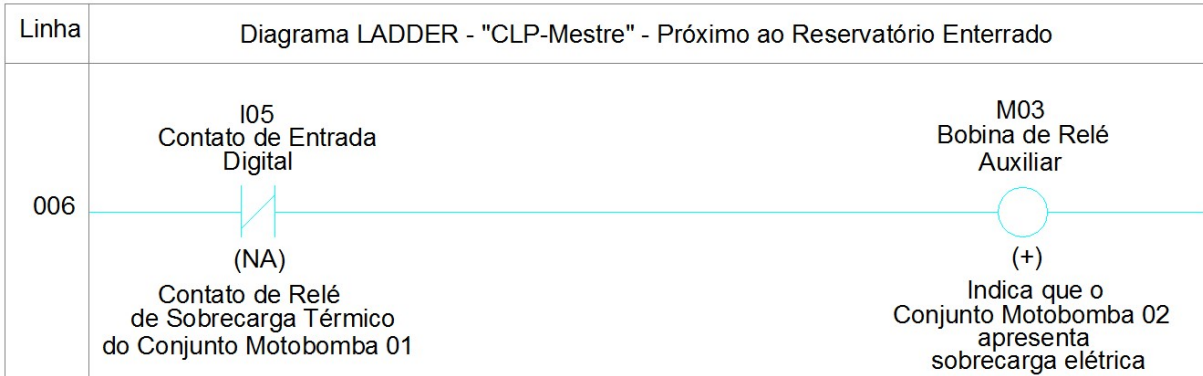
Figura 89 - Comportamento das linhas 018 a 026 do CLP-Mestre no exato instante em que o Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 01 estiver atuando.



Fonte: próprio Autor.

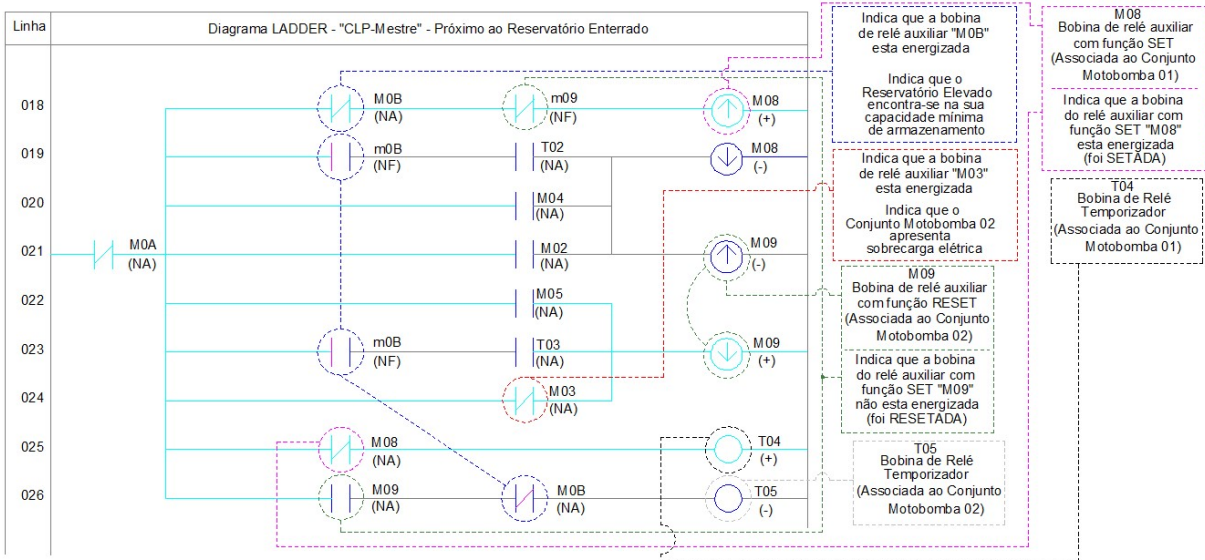
Já as Fig. 90 e 91 exibem o comportamento das linhas de programação do diagrama LADDER do CLP-Mestre na ocorrência da atuação do Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 02, o que torna a máquina indisponível para o processo, assim como a alternância automática para o Conjunto Motobomba 01.

Figura 90 - Comportamento da linha 006 do CLP-Mestre quando o Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 02 estiver atuando no sistema.



Fonte: próprio Autor.

Figura 91 - Comportamento das linhas 018 a 026 do CLP-Mestre no exato instante em que o Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 02 estiver atuando.



Fonte: próprio Autor.

5.3.2 A condição de manutenção dos Conjuntos.

Na necessidade de se realizar algum procedimento de manutenção em algum dos conjuntos motobombas, deve ser assegurado que a respectiva máquina também ficará indisponível no desenvolvimento do processo de automação do sistema de bombeamento d'água. A Fig. 92 mostra a Chave Seletora do estado de manutenção de ambos os Conjuntos, instalada na porta do "Painel Enterrado".

Na Fig. 93 é mostrado o comportamento das linhas 007 e 008 do Diagrama LADDER do CLP-Mestre, quando a Chave Seletora do estado de manutenção está

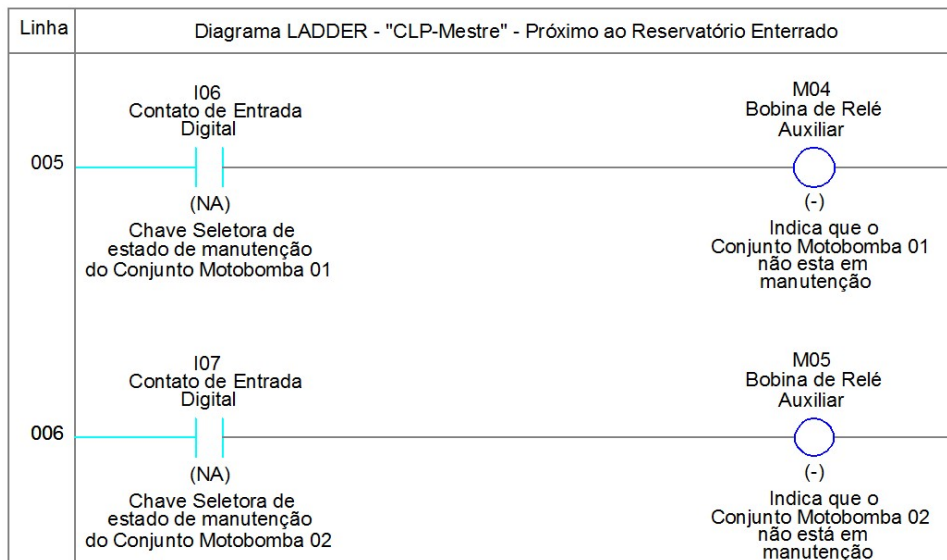
neutra, ou seja, não seleciona nenhum dos conjuntos Motobombas presentes no sistema.

Figura 92 - Chave Seletora do estado de manutenção de ambos os Conjuntos, instalada na porta do "Painel Enterrado".



Fonte: próprio Autor.

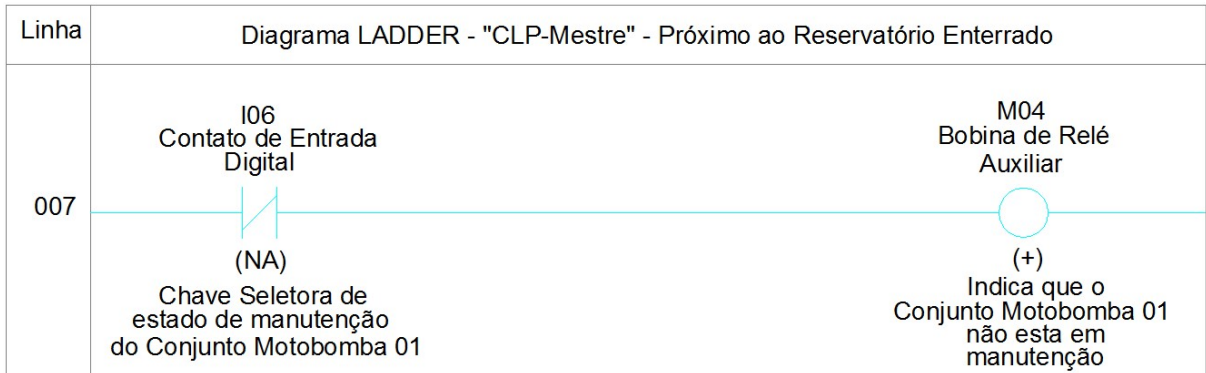
Figura 93 - Comportamento da linha de programação 007 e 008 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Chave Seletora do estado de manutenção não estiver selecionando nenhum dos Conjuntos Motobombas.



Fonte: próprio Autor.

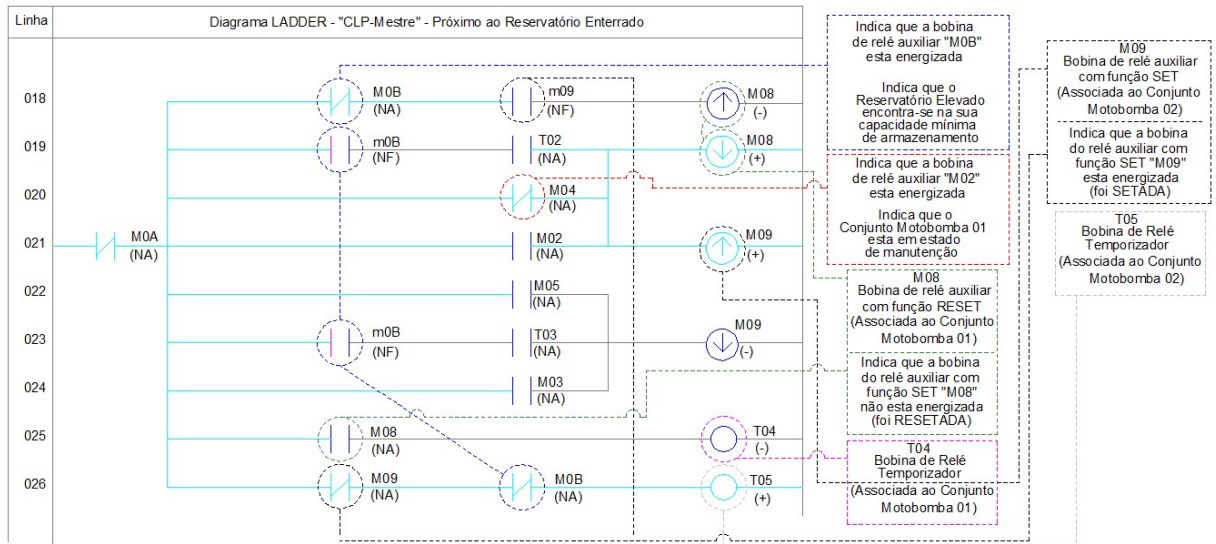
Já as Fig. 94 e Fig. 95 indicam o comportamento das linhas de programação do diagrama LADDER do CLP-Mestre na ocorrência de se realizar um determinado procedimento de manutenção no Conjunto Motobomba 01, o que torna a máquina indisponível para o processo, assim como a alternância automática para o Conjunto Motobomba 02.

Figura 94 - Comportamento da linha de programação 007 do diagrama LADDER do CLP- Mestre quando a Chave Seletora do estado de manutenção estiver selecionando o Conjunto Motobomba 01.



Fonte: próprio Autor.

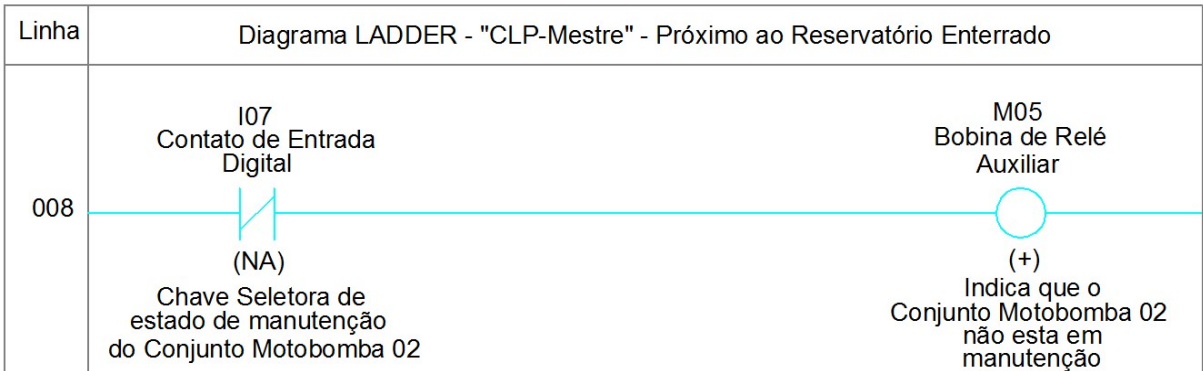
Figura 95 - Comportamento das linhas de programação 018 a 026 LADDER do CLP- Mestre quando a Chave Seletora do estado de manutenção estiver selecionando o Conjunto Motobomba 01.



Fonte: próprio Autor.

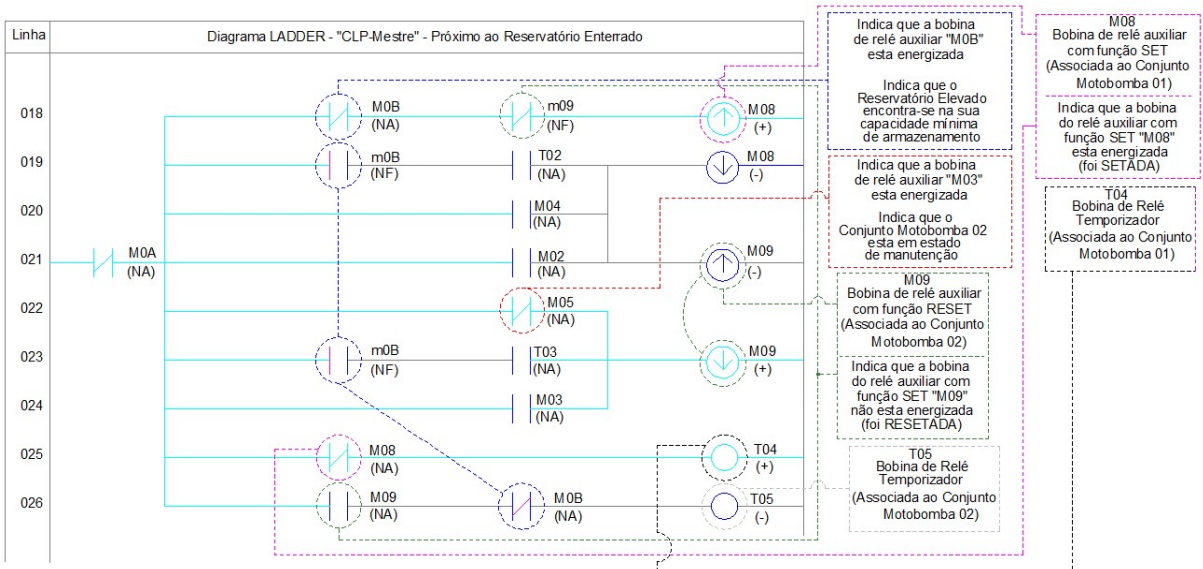
Já as Fig. 96 e 97 exibem o comportamento das linhas de programação do diagrama LADDER do CLP-Mestre na ocorrência de se realizar um determinado procedimento de manutenção no Conjunto Motobomba 02, o que torna a máquina indisponível para o processo, assim como a alternância automática para o Conjunto Motobomba 01.

Figura 96 - Comportamento das linhas de programação 008 LADDER do CLP-Mestre quando a Chave Seletora do estado de manutenção estiver selecionando o Conjunto Motobomba 02.



Fonte: próprio Autor.

Figura 97 - Comportamento da linha de programação 028 a -26 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando a Chave Seletora do estado de manutenção estiver selecionando o Conjunto Motobomba 02.



Fonte: próprio Autor.

5.4 Casos de anormalidade do Sistema.

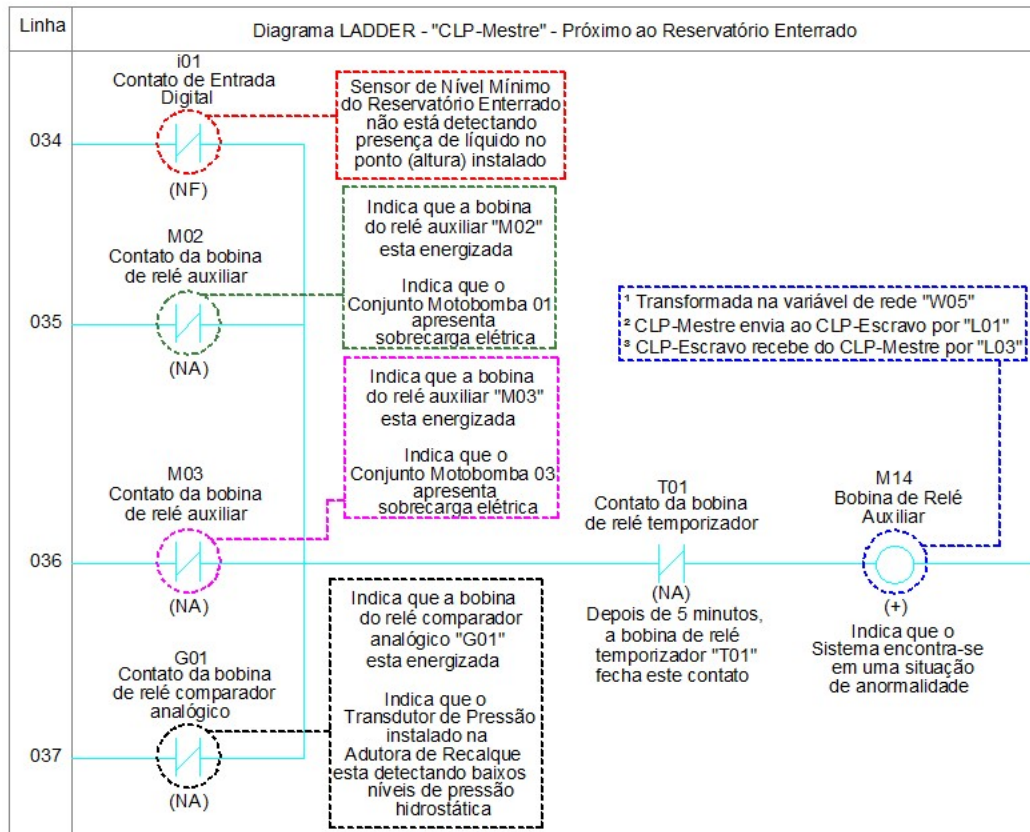
O respectivo sistema apresenta algumas condições que podem leva-lo a um estado de anormalidade. Os dispositivos de campos capazes de designá-lo a essa conjuntura são:

- Sensor de Nível Mínimo instalado no interior Reservatório Enterrado;
- Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 01;
- Relé de Sobrecarga Térmico do Conjunto Motobomba 02;
- Transdutor de Pressão instalado no interior da Adutora de Recalque.

A Fig. 98 mostra o comportamento das linhas de programação 034 a 037 do

diagrama LADDER do CLP-Mestre quando os referidos dispositivos estiverem atuando no sistema; vale destacar que a atuação exclusiva de qualquer um deles torna-se suficiente para instaurar um estado de anormalidade no sistema.

Figura 98 - Comportamento da linha de programação 034 a 037 do diagrama LADDER do CLP-Mestre quando o sistema se encontrar em uma situação de anormalidade, como as descritas na Seção 5.4.



Fonte: próprio Autor.

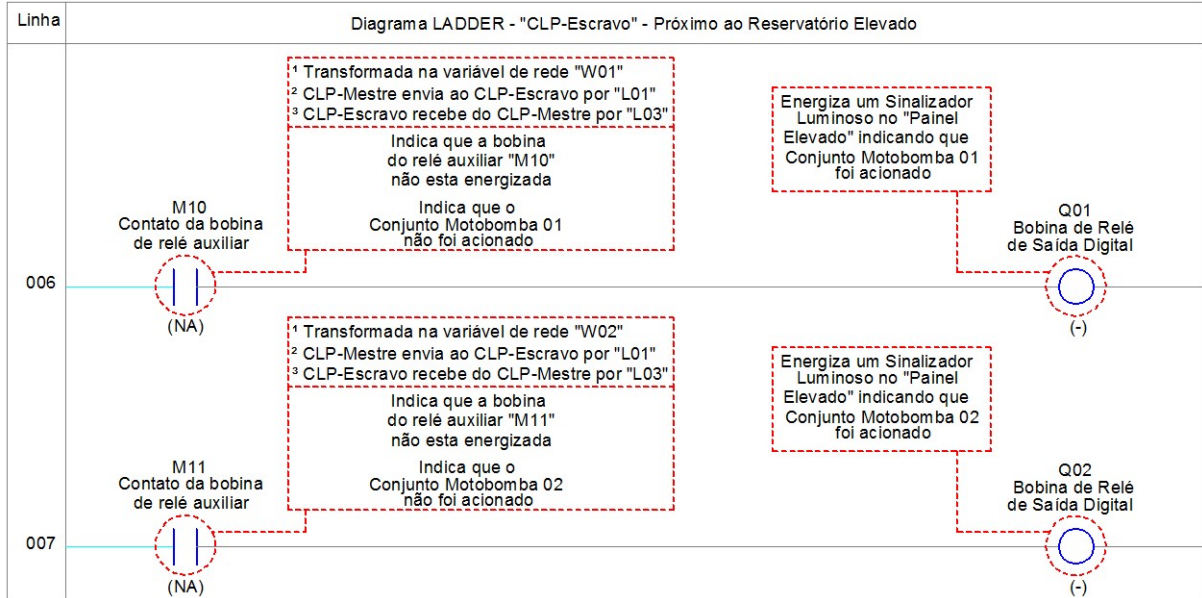
5.5 Especificações das Saídas Digitais do CLP-Escravo.

Todas as saídas digitais especificadas no CLP-Escravo consistem em sinalizadores instalados na porta do "Painel Elevado", os quais, na observância de sua energização, ou não, devem indicar a condição de estado de outros dispositivos de campo. São precisamente neste momento que as variáveis de rede enviadas pelo CLP-Mestre (através de L01) e recebidas pelo CLP-Escravo (através de L03) se configuram em suas respectivas saídas digitais.

As Fig. 99, 100 e 101 mostram o comportamento das linhas de programação 006 a 011 do diagrama LADDER do CLP-Escravo, no tocante a especificação dessas saídas

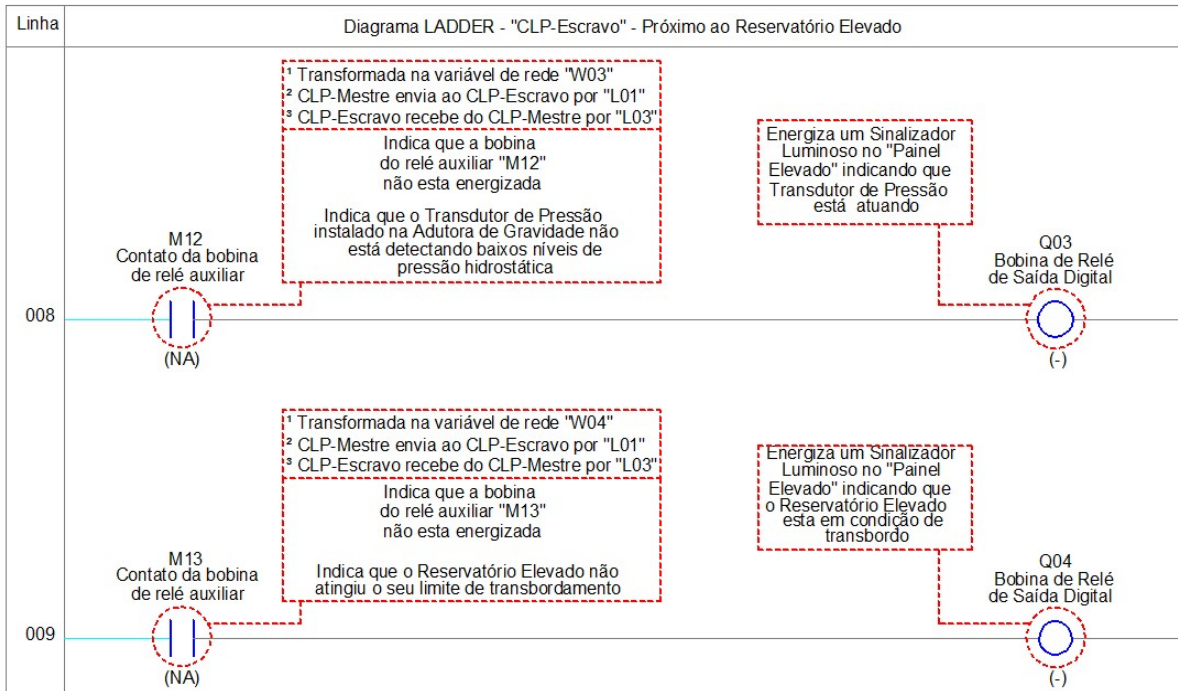
digitais.

Figura 99 - Comportamento da linha de programação 006 e 007 do diagrama LADDER do CLP-Escravo, no tocante a especificação das saídas digitais "Q01" e "Q02".



Fonte: próprio Autor.

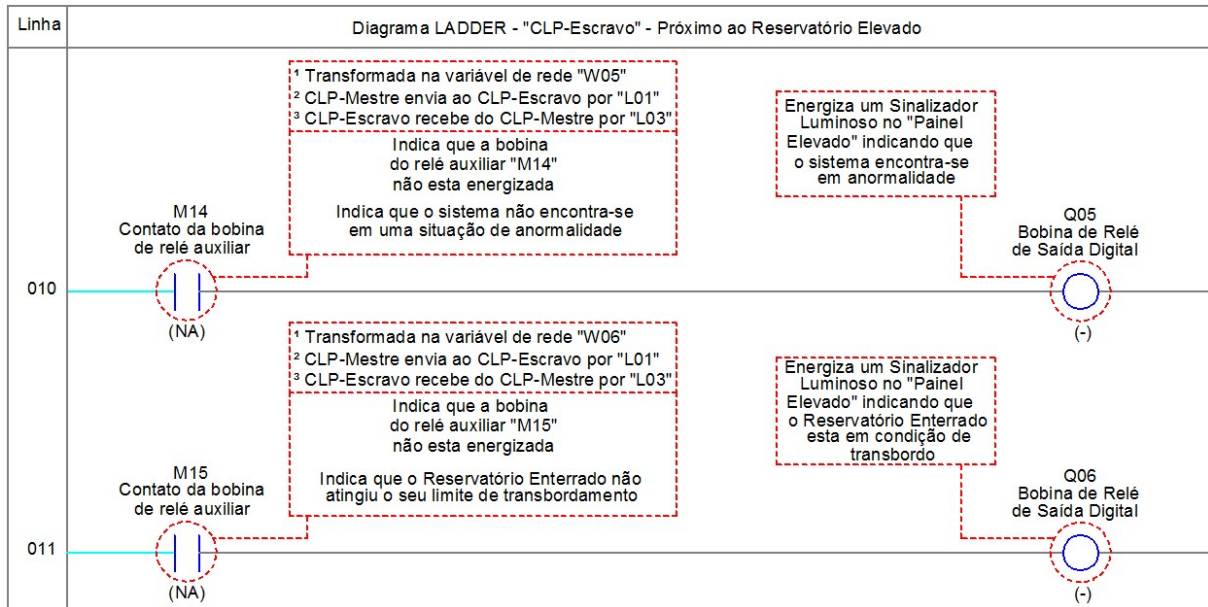
Figura 100 - Comportamento da linha de programação 008 e 009 do diagrama LADDER do CLP-Escravo, no tocante a especificação das saídas digitais "Q03" e "Q04".



Fonte: próprio Autor.

Figura 101 - Comportamento da linha de programação 010 e 011 do diagrama LADDER do CLP-Escravo, no

tocante a especificação das saídas digitais "Q05" e "Q06".



Fonte: próprio Autor.

Com isto, todo o processo de automação do sistema de bombeamento d'água do Residencial VIVACIDADE foi descrito com base nas linhas de programação dos diagramas LADDER, inserido na memória de ambos os CLP's.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou fundamentar teoricamente diversos preceitos importantes acerca dos processos de automação industrial, especificamente os que se destinam a automatizar sistemas de bombeamento d'água. Embora tenham sido empregadas técnicas de telemetria no sistema, elas não se consolidaram como segmento de análise neste estudo de caso, mediante a simplicidade do projeto no tocante a este aspecto (com apenas duas "estações de telemetria"), sendo especificados, portanto, apenas os elementos principais inerentes ao seu pleno desenvolvimento (antenas e rádio-modems).

Dito isto, com base na análise realizada neste trabalho, podemos concluir:

- O emprego de CLP's compactos de pequeno porte é plenamente capaz de atender a requerimentos de automação industrial, especificamente em sistemas de bombeamento d'água onde o grau de complexidade não seja tão elevado;
- Através do software SDW 4.0 pode-se constatar que a escolha das soft-starters SSW05 foi apropriada, sendo compatível com os Conjuntos Motobombas do sistema;
- Que a lógica de programação em linguagem LADDER, inserida na memória de ambos os CLP's, além de atender exercício automático do processo 1577 de bombeamento d'água, também se destinam aos aspectos mantenedores das unidades que compõe o sistema quando necessário.

Devido à clara necessidade de uma futura ampliação da unidade referente ao Reservatório Apoiado de Transição, assim como a provável substituição do conjunto-motobomba, ou de seus específicos rotores (uma vez que estes elementos foram estipulados para atender somente a primeira etapa do projeto, ou seja, planejados para atender apenas a uma população de 3.520 habitantes), para trabalhos futuros sugere-se realizar novos cálculos para o dimensionamento elétricos que deverão ser alterados em necessidade (como os circuitos de comando, disjuntores, relés, banco de capacitores, contadores, etc.);

Outra sugestão corresponde à implementação de um sistema SCADA e, portanto, elevar este processo, que se encontra no nível 2 da pirâmide de automação, para o nível 3, dando ênfase em controlar o sistema de bombeamento de forma local ou remota; integrar com dispositivos através da IHM do software; supervisionar, coletar e processar dados; registrar eventos e dados automaticamente para subsidiar análises de ocorrências.

REFERÊNCIAS

ABASTECIMENTO de água: implantação da adutora de água tratada que atenderá o residencial Vivacidade Tucuruí. Tucuruí: [S.l.: s.n.]. 2016.

ASSIS, Geovane Deleski. **Automação de sistemas de abastecimento de água**. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Götz. 2012. 100 p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Porto Alegre, 2012.

ASSUMA o controle do seu negócio com os controladores programáveis da Série Nexto: O clp Nexto é um avançado sistema de automação capaz de controlar, de forma distribuída e redundante, complexos processos industriais, máquinas e linhas de produção de alto desempenho. Moderna e de alta velocidade, a série Nexto utiliza tecnologia de ponta para proporcionar confiabilidade e conectividade, contribuindo para o aumento de produtividade do seu negócio.. [S. l.], 2011. Disponível em: <https://www.altus.com.br/produto/9/clp-nexto>. Acesso em: 11 jul. 2021.

BRANQUINHO, Marcelo Ayres et al. **Segurança de automação industrial e SCADA**: 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2014.

CLPS para a telemetria da distribuição de água municipal. [S. l.], 14 jun. 2019. Disponível em: <https://alfacomp.net/2019/06/14/clps-para-a-telemetria-da-distribuicao-de-agua-municipal/>. Acesso em: 14 junho 2021.

COSTA, Matheus Henrique Ferreira. **Análise comparativa da utilização de dois equipamentos para partida direta de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola deesquilo: inversores de frequência x chaves de partida estática (soft-starter)**. Orientador: Prof. José Pereira da Silva Neto. 2014. 82 p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

FILHO, Getúlio Delano Dutra. **Eletricista montador**: fundamentos de proteção e comando. Pelotas: Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Sul, 2008.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores programáveis**: sistemas discretos: 1ª ed. São Paulo: Érica, 2008.

FONSECA, Fabrício Ramos da. **Modelo para automação de sistemas de abastecimento hídrico**. Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mário Dias. 2009. 129 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

JÚNIOR, Edwar Saliba. **Modelos de referência**. Dez. 2018. Apresentação de Power Point. Disponível em: <https://esj.eti.br/iftm-2o-grau-jp-disciplina-rc>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.

KOSOW, Irving Lionel. **Máquinas elétricas e transformadores**: 4ª ed. Porto Alegre: Globo, 1982.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down**: 6ª ed. São Paulo: Pearson, 2014.

LACERDA, Leonardo. **Telemetria de Água e Esgoto Município de Tucuruí / PA: Proposta Técnica e Comercial – Nº 1208** Cliente: TECHCASA - SP. [S. l.: s. n.], 2017. *E-book* (08 p.).

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática – série tekne**. Porto Alegre: AMGH, 2015.

LATHI, Bhagwandas Pannalal. **Sinais e sistemas lineares**: 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LOPES, Isabella Martins; BENEVENUTO, Fernanda Mauri; OLIVEIRA, Fábio Machado. As camadas do modelo OSI: revisitando suas funcionalidades e respectivos protocolos. **Interdisciplinar do Pensamento Científico**, Rio de Janeiro, v. 1, n.2, p. 268-280, jul./dez. 2015.

MARQUES, Davidson da Costa. **Método de controle eficiente utilizando ferramentas de inteligência artificial em sistemas de bombeamento de água**. Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Ribeiro Barbosa de Aquino. 2018. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

MICRO Controlador Programável: CLIC-02 - Manual do Usuário. [S. l.: s. n.], 2016. *E-book* (214 p.).

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de automação industrial**: 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

NATALE, Ferdinando. **Automação industrial – série brasileira de tecnologia**: 10ª Ed. São Paulo: Érica, 2000.

OLIVEIRA, Flávia Gonçalves Rocha de et al. Controle de perdas em sistemas de abastecimento de água: o caso do município Poços de Caldas (MG). **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 309-320, jan./abr. 2009.

PAREDE, Ismael Moura; GOMES, Luiz Eduardo Lemes. **Eletrônica: automação industrial**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.

PETRUZELLA, Frank D. **Controladores lógicos programáveis**: 4ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

RÁDIOS de dados – Data radios: Rádios de dados permitem comunicar RS232, RS485 e Ethernet via rádio. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://alfacom.net/portfolio-item/radios-de-dados/>. Acesso em: 1 set. 2021.

SCHUNCKE, Alex. **O que é o cabo de rede par trançado?**: Em dúvida sobre quais são os tipos de cabo de redes existentes e como montá-los? Vamos ver algumas informações importantes sobre o assunto!. [S. l.], 19 mar. 2013. Disponível em:

<https://www.oficinadanet.com.br/post/10162-o-que-e-o-cabo-de-rede-par-trancado>. Acesso em: 21 ago. 2021.

SEGUNDO, Alan Kardek Rêgo; RODRIGUES, Cristiano Lúcio Cardoso. **Eletrônica de potência e acionamentos elétricos**. Ouro Preto: Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia de Minas Gerais, 2015.

SENSOR de Nível para líquidos: Folha de Dados - LA16M-40. [S. l.: s. n.], 2017. *E-book* (01 p.).

SILVA, Edilson Alfredo da. **Introdução às linguagens de programação para CLP**: 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2016.

SILVEIRA, Paulo Rogério da.; SANTOS, Winderson Eugenio dos. **Automação e controle discreto**: 9ª ed. São Paulo: Érica, 2018.

SISTEMAS Supervisórios de Processos: Neste post serão abordados conceitos básicos sobre sistemas supervisórios de processos e sua utilidade no âmbito da automação industrial.. [S. l.], 11 abr. 2011. Disponível em: <https://automacoes.net/2011/04/11/sistemas-supervisorios-de-processos/>. Acesso em: 23 junho 2021.

SOFT-STARTER SSW05. [S. l.], 2021. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Drives/Soft-Starters/Compactas/Soft-Starter-SSW05/Soft-Starter-SSW05/p/MKT_WDC_BRAZIL_SOFT-STARTER_SSW05. Acesso em: 9 set. 2021.

SOFTWARE de Dimensionamento WEG®: [Soft-Starter] SDW 4.0. 4.0. [S. l.], 2011. Disponível em: <https://sdw.weg.net/>. Acesso em: 15 set. 2021.

SOUZA, Neemias Silva de. **Apostila de acionamentos elétricos**. Natal: Instituto Federal do Rio Grande do Norte, 2009.

SPOLAOR, Antônio Sérgio. **Automação nos sistemas de abastecimento de água.Caso do Controle da reservação de distribuição**. Orientador: Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior. 2011. 121 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

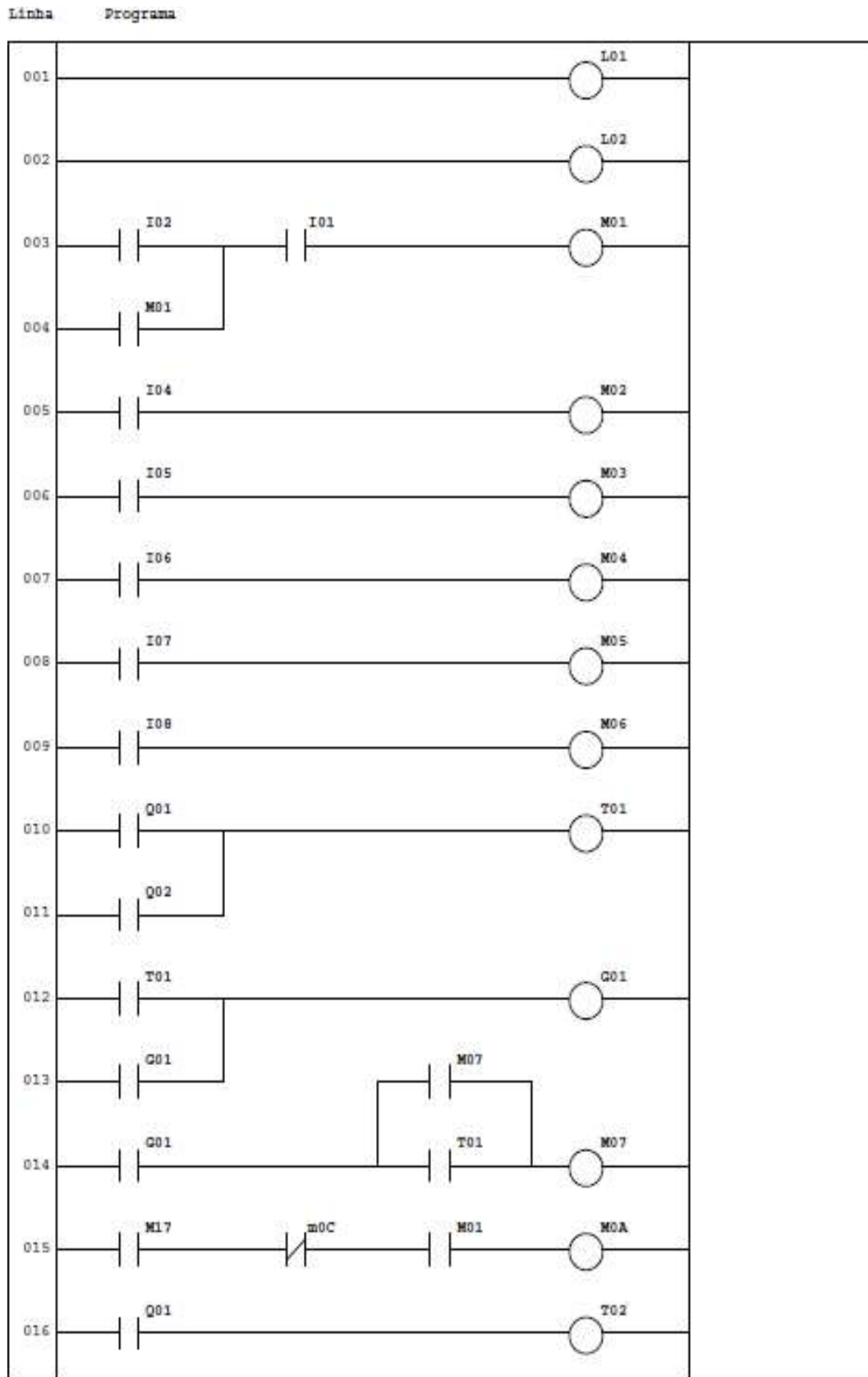
TORRES, Gabriel. **Redes de computadores**: curso completo. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2001.

TRANSMISSOR DE PRESSÃO TIPO PIEZO-RESISTIVO: Catálogo S790 Nivetec. [S. l.: s. n.], 2019. *E-book* (02 p.).

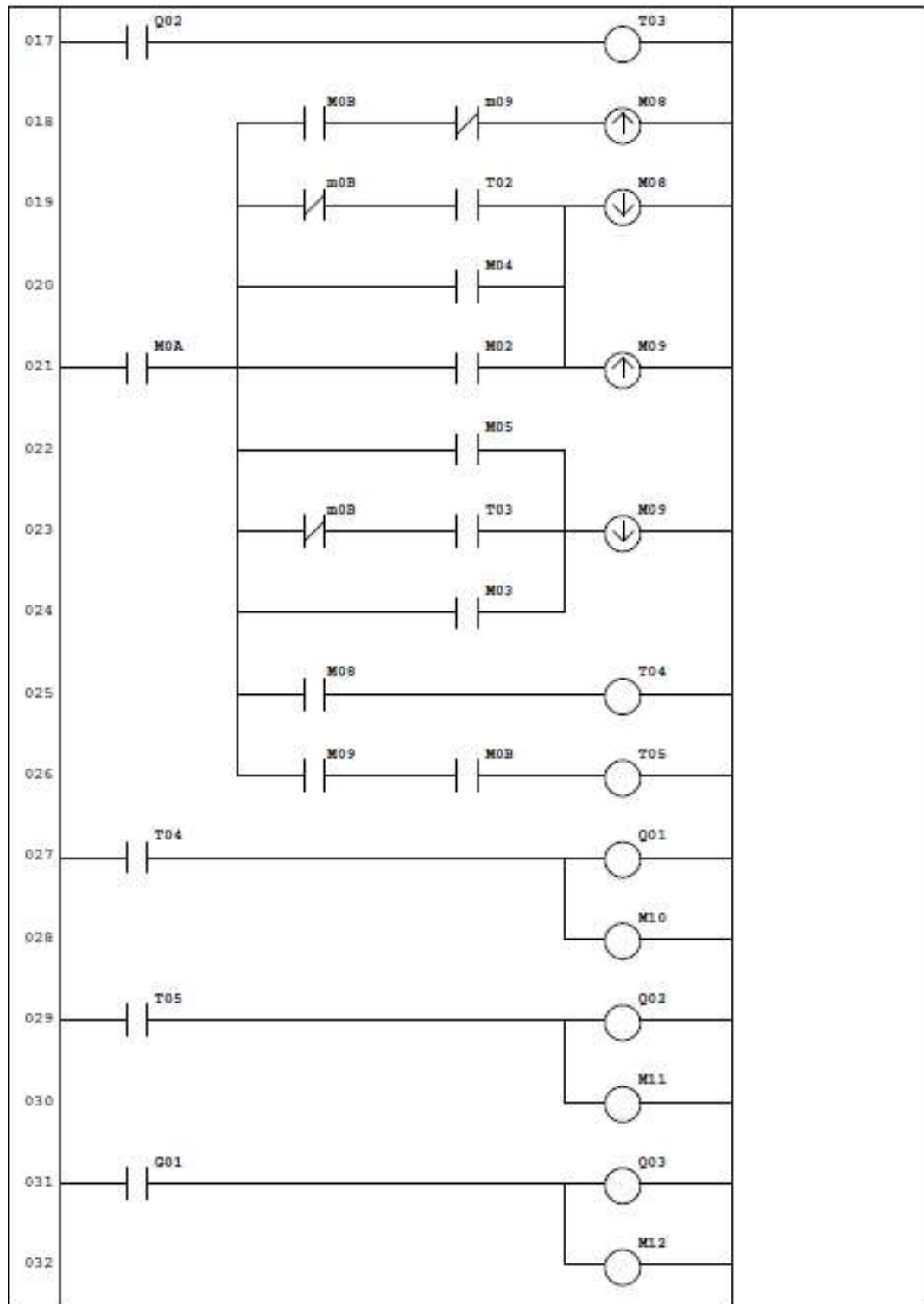
UMANS, Stephen D. **Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley**: 7ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

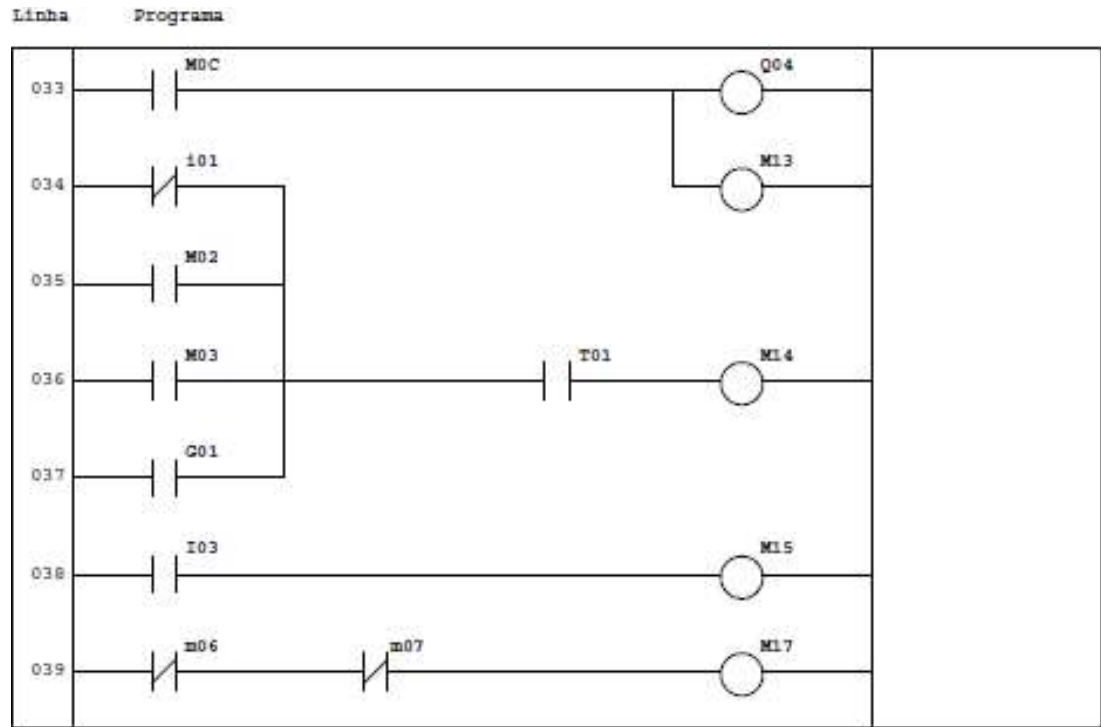
WETHERALL, David J.; TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**: 5ª ed. São Paulo: Pearson, 2014.

ANEXO A - Diagrama do CLP-Mestre



Linha Programa





ANEXO B – Diagrama do CLP-Escravo

