



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA  
LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA EM DESSALINIZAÇÃO**

## **Dissertação de Mestrado**

# **Automação do Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa da Vila de Sucuriju - AP**

**JOSÉ ESIVALDO SANTOS**

**ORIENTADOR: PROF. KEPLER BORGES FRANÇA (PH.D)**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**SETEMBRO DE 2008**

# **Automação do Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa da Vila de Sucuriju - AP**

**José Esivaldo Santos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de Concentração: Recurso Regional e Meio Ambiente  
Orientador: Prof. Kepler Borges França (Ph.D)

**Campina Grande - PB**

**Setembro de 2008**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S237a

2008

Santos, José Esivaldo.

Automação do sistema de dessalinização via osmose inversa da Vila de Sucuriju - AP / José Esivaldo Santos. — Campina Grande, 2008.

140f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

Referências.

Orientador: Prof. Kepler Borges França, Ph.D.

1. Dessalinização. 2. Automação. 3. Controle. I. Título.

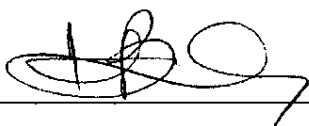
CDU – 628.165:004(043)

# Automação do Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa da Vila de Sucuriçu - AP

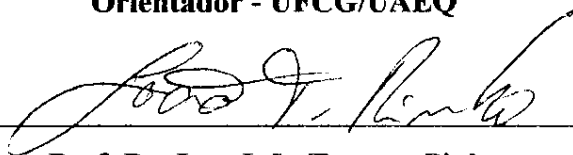
**José Esivaldo Santos**

dissertação Aprovada em: 30 / 09 / 2008

ANCA EXAMINADORA:



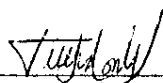
**Prof. Kepler Borges França (Ph.D)**  
**Orientador - UFCG/UAEQ**



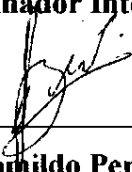
**Prof. Dr. Ing. João Tavares Pinho**  
**Examinador Externo**



**Prof. Dr. Admilson Moreira Torres**  
**Examinador Externo**



**Prof. Dr. Luis Gonzaga Sales Vasconcelos**  
**Examinador Interno**



**Prof. Dr. Romildo Pereira Brito**  
**Examinador Interno**

## DEDICATÓRIA

*“O temor do Senhor é o princípio da sabedoria: bom entendimento têm todos os que lhe obedecem; o seu louvor permanece para sempre.” Salmos 111:10.*

Ao meu Deus, por ser a razão da minha existência e a fonte de toda a sabedoria;

Ao meu senhor, Jesus, por ter dado a sua vida para que eu tivesse vida e a tenha em abundância;

Ao meu filho, Samuel de Araújo Santos, a maior de minhas realizações;

A minha esposa, Malba Linete Batista de Araújo Santos, pelo amor e companheirismo em todos os momentos;

A minha mãe, Maria São José Santos, *“in memoriam”* e ao meu pai, Edivaldo Soares dos Santos, pelos exemplos de honestidade e de dignidade.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Campina Grande, e a todos os amigos e colegas do LABDES que contribuíram no desenvolvimento de minhas atividades acadêmicas e me auxiliaram a ser uma pessoa mais forte e melhor.

### Agradecimentos Especiais

A Deus, por me capacitar a galgar mais este degrau e por realizar mais este sonho;

A minha família, por ser meu porto seguro e onde nos momentos mais difíceis me deram conforto e segurança e motivação para vencer os obstáculos;

A Félix, amigo e mentor, pelo seu apoio e ensinamentos para a vida;

*“Bem-aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento. Porque melhor é a sua mercadoria do que a mercadoria de prata, e a sua renda do que o ouro mais fino. Mais preciosa é do que os rubis; e tudo o que podes desejar não se pode comparar a ela. Aumento de dias há na sua mão direita; na sua esquerda, riquezas e honra. Os seus caminhos são caminhos de delícias, e todas as suas veredas paz. É árvore da vida para os que a seguram, e bem-aventurados são todos os que a retêm.” Provérbios 3:13-18*

# ÍNDICE GERAL

1.0 - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - Problemática da Pesquisa.....	3
1.2 - Objetivos.....	6
1.2.1 - Objetivo Geral.....	7
1.2.1 - Objetivos Específicos.....	7
1.3 - Justificativa e Relevância da Automação do Sistema de Dessalinização .....	8
1.4 - Estrutura do Trabalho .....	10
2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 - A Problemática da Água .....	11
2.2 - Dessalinização.....	13
2.2.1 - Processos com Membrana.....	13
2.4 - Automação .....	16
2.4.1 - Controle de Sistemas.....	17
2.4.2 - O Controlador Lógico Programável.....	19
3.0 - Materiais e Métodos.....	35
3.1- Infra-estrutura .....	35
3.1.1 - Infra-estrutura do LABDES .....	35
3.1.2 - Infra-estrutura da Vila de Sucuriçu .....	35
3.2 - Dessalinizador.....	45
3.2.1 - Descrição do Sistema Implantado.....	47
3.3 - Automação do Sistema de Dessalinização.....	50
3.3.1 - Metodologia aplicada à Automação.....	50
3.3.2 - Definição dos Modos de Operação do Sistema de Dessalinização.....	61
3.3.3 - Definição do Controlador Lógico Programável.....	62
3.3.4 - Definição do Software Supervisório .....	63
3.3.5 - A Instrumentação implantada .....	64
3.3.6 - Projeto e Montagem dos Painéis Elétricos.....	67

3.3.7 - Inversores de Frequência .....	70
3.3.8 - Gerador Diesel Dedicado .....	71
4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	72
4.1 - Projeto Elétrico .....	72
4.1.1 - Configuração dos Inversores de Frequência .....	74
4.1.2 - Operação do Sistema Alimentado pelo Gerador Diesel .....	74
4.1.3 - Análise Energética .....	76
4.1.3.1 - Geração de Energia Renovável .....	76
4.1.3.2 - Consumo Energético do Sistema de Dessalinização .....	76
4.2 - Sistema de Dessalinização Implantado .....	77
4.2.1 - Captação Implantada .....	77
4.2.2 - Análise Financeira .....	80
4.3 - Projeto de Automação .....	80
4.3.1 - O Aplicativo do CLP .....	81
4.3.2 - Programação do Supervisório .....	106
4.4 - Monitoração e Manutenção do Sistema .....	113
4.4.1 - Limpeza Química .....	114
4.4.2 - Substituição dos Filtros de Cartucho .....	116
5.0 - CONCLUSÕES .....	117
6.0 - PERSPECTIVAS .....	119
7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	120
8.0 - ANEXOS .....	124



# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1- Localização da Vila de Sucuriju - AP .....	2
Figura 1.2 - Caiaque na pororoca do Rio Araguari .....	3
Figura 1.3 - Pororoca no Rio Sucuriju durante o verão .....	4
Figura 1.4 - Costa na boca do Rio Sucuriju devastada pela ação da pororoca.....	5
Figura 1.5 - Região dos lagos.....	6
Figura 2.1 - Distribuição percentual da água doce no mundo (Adaptado de BORGHETTI et al., 2008).....	11
Figura 2.2 - Distribuição da água, da superfície e da população por região (em % do País) (Adaptado de MARCATTO et al., 2006).....	12
Figura 2.3 - Processo de osmose e osmose inversa. (Adaptado de CARTAXO, 2008) .....	16
Figura 2.4 - Diagrama de blocos de um sistema de controle .....	17
Figura 2.5 - CLP Control Logix 5000. Fonte: Rockwell Automation .....	20
Figura 2.6 - Seqüência de etapas do funcionamento do CLP.....	23
Figura 2.7 - Diagrama de blocos simplificado de um controlador programável (Adaptado de WEG, 2002). .....	24
Figura 2.8 - Modelos de terminais de programação e operação.....	29
Figura 2.9 - Computadores pessoais utilizados como terminais de programação .....	30
Figura 2.10 - Programa exemplo em linguagem Ladder.....	31
Figura 2.11 - Programa exemplo em linguagem STL.....	32
Figura 2.12 - Programa exemplo em linguagem FBD .....	32
Figura 2.13 - Programa exemplo em linguagem ST .....	33
Figura 2.14 - Programa em SFC.....	34
Figura 3.1- Efeito das Inundações devido à maré no local do Poço 1 .....	36
Figura 3.2 - Limpeza do poço com compressor .....	37
Figura 3.3 - Desinfecção química .....	37
Figura 3.4 - Planta baixa da captação de água do rio realizada no projeto .....	38
Figura 3.5 - Trapiche da captação da água do rio .....	39
Figura 3.6 - Amostra da água do Rio Sucuriju mostrando alta turbidez.....	40
Figura 3.7 - Processo de decantação água do Rio Sucuriju em função do tempo.....	40
Figura 3.8 - Detalhe da captação de água do rio - Corte C-C' .....	41

Figura 3.9 - Detalhe da tubulação para proteção e da bomba de captação .....	42
Figura 3.10 - Planta baixa do abrigo e da plataforma do sistema de dessalinização .....	43
Figura 3.11 - Vista frontal do abrigo do dessalinizador localizada no final da Vila.....	44
Figura 3.12 - Vistas lateral e posterior do abrigo do dessalinizador .....	44
Figura 3.13 - Vista da fundação da plataforma/abrigo.....	45
Figura 3.14 - Coleta de amostra de água para análise no LABDES .....	46
Figura 3.15 - Dessalinizador entregue sem a instrumentação digital.....	46
Figura 3.16 - Fluxograma do sistema de dessalinização.....	47
Figura 3.17 - Filtro de areia, modelo DFR-24,.....	48
Figura 3.18 - Bomba de recalque dos filtros de areia.....	48
Figura 3.19 - Detalhe do filtro de cartucho e vasos de alta pressão.....	49
Figura 3.20 - Topologia do sistema.....	53
Figura 3.21- Rede ethernet do projeto.....	54
Figura 3.22- Rede Profibus DP .....	55
Figura 3.23 - Configuração da taxa de comunicação da rede Profibus DP.....	55
Figura 3.24 - Detalhe do grafcet de partida automática do sistema .....	60
Figura 3.25 - Detalhe do grafcet de parada automática do sistema.....	60
Figura 3.26 - Detalhe do grafcet de parada do sistema .....	61
Figura 3.27 - CLP da Siemens S7315-2DP. (Fonte: ST70 Cap3 S7300 - SIMATIC S7 300 Modular mini PLC).....	62
Figura 3.28 - Supervisório da Siemens - WinCC Fonte : Help do WinCC.....	63
Figura 3.29 - Instrumentos digitais .....	65
Figura 3.30 - Elementos sensores para pressão, vazão, condutividade e temperatura.....	65
Figura 3.31 - Instrumentos analógicos .....	65
Figura 3.32 - Pressostato diferencial.....	66
Figura 3.33 - Bóia de nível.....	66
Figura 3.34 - Válvula solenóide .....	66
Figura 3.35 – Válvula proporcional .....	66
Figura 3.36 - Painel 1 - Painel de comandos gerais customizado .....	68
Figura 3.37 - Painel 2 - Painel de comandos das válvulas .....	68
Figura 3.38 - Painel 3 - Painel de automação.....	69
Figura 3.39 - Detalhe dos inversores no painel de automação.....	70
Figura 3.40 - Gerador diesel trifásico do sistema de dessalinização.....	71

Figura 4.1- Projeto de iluminação e tomada .....	72
Figura 4.2 - Diagrama de força para as motobombas do poço e do rio .....	73
Figura 4.3 - Funcionamento do sistema com o gerador de 10 kVA.....	75
Figura 4.4 - Interligação com a rede elétrica da Vila .....	75
Figura 4.5 - Detalhe da Captação instalada.....	78
Figura 4.6 - Vista panorâmica da plataforma .....	79
Figura 4.7 - Detalhe do interior do abrigo do dessalinizador.....	79
Figura 4.8 - Configuração do Hardware.....	82
Figura 4.9 - Arquivo fonte da base de dados do PLC .....	83
Figura 4.10 - Detalhe do DB80 do arquivo fonte da base de dados do PLC .....	83
Figura 4.11 - Data Block Gerados no PLC .....	84
Figura 4.12 - Detalhe do DB80 da base de dados do PLC.....	84
Figura 4.13 - Detalhe das funções de controle instaladas .....	85
Figura 4.14 - Estrutura do programa do PLC.....	86
Figura 4.15 - Detalhe do lógica do OB1 - Sub-rotina principal.....	86
Figura 4.16 - Detalhe do FC36 - Movimentação das Entradas Digitais .....	87
Figura 4.17 - Detalhe do FC36 - Movimentação das entradas Digitais dos Inversores.....	87
Figura 4.18 - Detalhe do lógica do FC37 - Movimentação das Entradas Analógicas .....	88
Figura 4.19 - Detalhe do FC37 - Movimentação das Entradas Analógicas dos inversores .....	88
Figura 4.20 - Função de programação de conversão de variáveis em linguagem STL.....	89
Figura 4.21 - Detalhe do lógica do FC36 - Movimentação das entradas .....	90
Figura 4.22 - Detalhe do lógica do FC41 - Leitura do status de um inversor .....	91
Figura 4.23 - Detalhe da <i>Hardware Configurator</i> - Configuração de rede Profibus .....	92
Figura 4.24 - Detalhe da FC82 - Alarme de manobra de válvula solenóide .....	93
Figura 4.25 - Detalhe da FC412 - Lógica de Alarme para uma partida inversora.....	94
Figura 4.26 - Detalhe da FC43 - Lógica de seleção do modo de comando do painel.....	95
Figura 4.27 - Detalhe da FC63 - Lógica de seleção da Motobomba operante.....	96
Figura 4.28 - Detalhe da FC83 - Habilitação das condições de partida da motobomba. ....	96
Figura 4.29 - Detalhe da FC413 - Lógica de habilitação da partida motobomba. ....	97
Figura 4.30 - Detalhe da FC45 - Lógica de <i>reset</i> e acionamento da sirene de alarme.....	97
Figura 4.31 - Detalhe da FC65 - Lógica acionamento da válvula XV_0001 .....	99
Figura 4.32 - Detalhe da FC415 - Lógica de acionamento da motobomba .....	100
Figura 4.33 - Detalhe da FC51 - Lógica de habilitação das variáveis analógicas.....	101

Figura 4.34 - Detalhe da FC51 - Lógica de ajustes das variáveis analógicas .....	102
Figura 4.35 - Detalhe da FC52 - Lógica de alarmes das variáveis analógicas.....	103
Figura 4.36 - Detalhe da FC38 - Movimentação de saídas digitais .....	104
Figura 4.37 - Detalhe da FC38 - Movimentação de saídas analógicas .....	105
Figura 4.38 - Detalhe da FC48 - Lógica de conversão de real para inteiro .....	105
Figura 4.39 - Tela de desenvolvimento no WinCC - WinCCExplorer .....	106
Figura 4.40 - Tela de “login” do usuário.....	107
Figura 4.41 - Tela da captação de água .....	108
Figura 4.42 - Tela do fluxograma do sistema.....	109
Figura 4.43 - Tela de acionamento das motobombas.....	110
Figura 4.44 - Tela de acionamento das válvulas .....	110
Figura 4.45 - Tela de Ajustes das Pressões .....	111
Figura 4.46 - Tela de ajustes das variáveis analógicas.....	112
Figura 4.47 - Lógica interna para abertura de telas.....	113

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Consumo de energia na dessalinização da água do mar .....	14
Tabela 3.1 - Lista de motores do projeto.....	56
Tabela 3.2 - Detalhe da Lista de Instrumentação .....	57
Tabela 3.3- Amostra do Detalhamento de IO .....	57
Tabela 3.4 - Estrutura de Tarefas .....	58
Tabela 3.5- Detalhe da Base de Dados do projeto de Sucuriju .....	59
Tabela 3.6 - Lista de Instrumentos instalados .....	64
Tabela 4.1 - Parametrização dos inversores instalados .....	74

## GLOSSARIO

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BD	Base de Dados
BR156/AP	Rodovia Federal no Estado do Amapá
$c_i$	Concentração Molar
CLP	Controlador Lógico Programável
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPU	Unidade Central de Processamento
DB	Blocos de Dados
DIO	Detalhamento de Entrada e Saídas
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
E/S	Entradas e Saídas
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory
FBD	Diagrama de blocos de funções
FC	blocos de funções
Hab	Número de Habitante
IEC	International Electro technical Commission
IEPA	Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológica do Estado do Amapá
IHM	Interface Homem Máquina
IL	Lista de Instrução
IO	Input Output
LABDES	Laboratório de Referencia em Dessalinização
LD	Diagrama Ladder
Mbps	Taxa de Comunicação da Rede Mega bits por segundo
MED	Destilação Múltiplo Efeito
MIMO	Multiple Input / Multiple Output.
MS	Ministério da Saúde
MSF	Destilação Flash com Múltiplo Estágio
N	Ponto Cardeal - Norte
NBR	Norma Brasileira
NEMA	National Electrical Manufacturers Association

NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
NVRAM	Non-Volatile Random Access Memory
OI	Osmose Inversa
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PLC	Programmable Logic Controller
PROM	Programmable Read Only Memory
R	Constante Universal dos Gases Perfeitos (kgf.L/(cm <sup>2</sup> .mol.K))
RAM	Random Access Memory
REBIO	Reserva Biológica
ROM	Read Only Memory
ROSA 6.1.4	Reverse Osmosis System Analysis - Versão: 6.1.4
SFC	Sequential Function Chart
SISO	Single Input / Single Output
ST	Texto Estruturado
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
STL	Lista de Instruções
T	Temperatura Absoluta da Solução
TAG	Palavra-chave ou Termo Associado com uma Informação
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UT	Unidade de Turbidez
VBS	Visual Basic Scripts
VC	Destilação por Compressão de Vapor
VCA	Tensão Alternada
VCC	Tensão Contínua
$v_i$	Numero de espécies Químicas formadas durante dissociação
W	Ponto Cardeal - Oeste
$\Delta P$	Gradiente de Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )
$\Delta \pi$	Gradiente de Pressão Osmótica (kgf/cm <sup>2</sup> )
$\Pi$	Pressão Osmótica (kgf/cm <sup>2</sup> )
&	Operação Lógica AND

SANTOS, JOSÉ ESIVALDO. Automação do Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa da Vila de Sucuriju- AP. 2008. 94f. Dissertação Engenharia Química - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008. Orientador: Prof. Kepler Borges França (Ph.D).

## RESUMO

A Vila de Sucuriju está localizada no Nordeste do Estado do Amapá, à margem direita do rio Sucuriju, em plena floresta amazônica. Atualmente a Vila, com aproximadamente 700 habitantes, é abastecida por água da chuva no período de janeiro a abril, a qual é coletada e armazenada em caixas de água individuais e em duas grandes cisternas coletivas com capacidade total de aproximadamente 700 m<sup>3</sup>. O rio Sucuriju tem suas águas salgadas numa concentração média de 13.800 mg/L, quando o valor máximo permitido, para o consumo humano, pelo Ministério da Saúde do Brasil é de 1.000 mg/L. A precariedade da coleta e do armazenamento das águas da chuva por muito tempo, bem como a falta de um tratamento adequado torna a água imprópria ao consumo humano devido à proliferação de microorganismos patogênicos. Durante o período de seca a água é distribuída em cotas semanais de 20 litros por pessoa. Para solucionar este problema implantou-se um sistema de dessalinização via osmose inversa. Este sistema é automatizado e alimentado por fonte híbrida de geração de energia elétrica formada por painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas e gerador diesel. O sistema de dessalinização foi projetado para receber a água do rio Sucuriju, que apresenta, em média, TDS igual a 13.800 mg/L, pH igual a 7 e turbidez igual a 311 NTU, conforme análise físico-química realizada no LABDES. O sistema implantado foi projetado para uma recuperação superior a 30% e tem a capacidade de produzir 2 m<sup>3</sup>/h de água potável, com TDS igual a 163,6 mg/L e pH igual a 6,4. A operação prevista para este sistema é de 6 h/d, garantindo assim, uma oferta diária adicional de 20 litros por pessoa. A automação implantada permite monitorar e controlar através do uso de um controlador lógico programável, localmente ou à distância, no LABDES via estação supervisória, todas as variáveis relevantes do processo.



SANTOS, JOSÉ ESIVALDO. Automação do Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa da Vila de Sucuriju - AP. 2008. 94f. Dissertação Engenharia Química - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008. Orientador: Prof. Kepler Borges França (Ph.D).

## **ABSTRACT**

The Village of Sucuriju is located in the northeastern of the State of Amapá, on the banks of Sucuriju river, in the Amazon forest. Currently the Village, with approximately 700 habitants, is supplied by rainwater collected in the rainy winter season, from January to April. This water is stored in 1 m<sup>3</sup> individual water tanks and in two large communal cisterns with total capacity of approximately 700 m<sup>3</sup>. The Sucuriju river is saline with an average concentration of 13,800 mg/L, when the maximum value, for the human consumption, allowed by the Brazilian Health department is 1,000 mg/L. The precariousness of rainwater collection and long-term storage, as well as the lack of adequate treatment makes this water inappropriate for the human consumption due to presence of pathogenic microorganisms. During the summer, each person receives a weekly quota of only 20 liters. To solve this problem a reverse osmosis (RO) desalination system was installed. This system is automated and is supplied by electricity generated by a hybrid system comprising photovoltaic panels, wind turbines and a diesel generator. The desalination system was designed to receive the water from the Sucuriju river, that presents an averaged TDS of 13,800 mg/L, a pH value of 7 and a turbidity of 311 NTU, as verified by physico-chemical analysis realized in LABDES. The RO system was projected to have a minimum recovery of 30% and a capacity to produce 2 m<sup>3</sup>/h of drinking water with a permeate TDS value of 163.6 mg/L and a pH equal to 6.4. The RO system operates 6 hours per day, thus guaranteeing an additional of 20 liters per person per day. The implanted automation allows to monitor and to control all the variables of the process locally or remotely from the supervisory station located in the LABDES by the use of a programmable logical controller.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

O Estado do Amapá é parte do Platô das Guianas e está situado na parte oriental da Amazônia e tem 72% de sua área protegida em área de conservação, reservas biológicas (REBIO) ou são terras indígenas. Sua localização é estratégica para futuros investimentos, pois, faz fronteira com o estado do Pará e com a Guiana Francesa, um pedaço da União Européia na América do Sul.

O Estado é cercado de água, e assim sendo, não possui atualmente nenhuma ligação direta por rodovias. Não existem pontes interligando-o ao Pará ou com a Guiana Francesa. Existem rodovias federais e estaduais que cortam o Estado, que culminam em travessia por balsas, como a do Rio Jari entre o Amapá e o Pará, e internacional com a Guiana Francesa. Contudo o projeto do Governo Federal - BR-156/AP, incluído no Plano de Aceleração do Crescimento – PAC, contempla uma ponte sobre o Rio Oiapoque (Fronteira Brasil/Guiana Francesa), com prazo de conclusão para 2010 (BRASIL, 2007). Nos dias atuais a chegada ou a saída ao estado se dá por barco ou por avião e a rota principal é via Belém.

O Rio Amazonas em sua foz, a zona estuarina, se divide em dois canais: o Canal do Norte que margeia o Amapá e o Canal do Sul, mais conhecido como rio Pará ou baía de Marajó. É através do estuário do rio Amazonas que 6,3 trilhões de m<sup>3</sup> de água doce (16% da descarga mundial) e 1,2 bilhões toneladas de sedimento são despejados no oceano Atlântico.

A Vila de Sucuriçu ou Distrito do Sucuriçu, no município de Amapá, conforme mostra Figura 1.1, está localizada entre as coordenadas geográficas 01° 39' 49"N e 49° 55' 43"W, código da área EG011, com extensão de 21.327 ha. Sucuriçu dista em linha reta 120 km da sede do seu município, Amapá, e 220 km da capital do Estado, Macapá. A Vila está localizada na margem direita do rio Sucuriçu, próximo de sua desembocadura, ao longo da faixa costeira, caracterizada por uma planície inundável fluvio-marinha, com sedimentos fixados predominantemente por manguezais, datando do período quaternário (BRASIL, 2006).

A Vila teve origem na chegada de antigos pescadores vindos do município de Vigia, no Pará, que para salgar e secar o peixe construiu feitorias na foz deste rio, e aos poucos foram se fixando. Ela é composta por 114 edificações disposta ao longo da passarela principal que mede aproximadamente 1,5 km (SAUTCHUK, 2006). Reside atualmente na Vila uma população de aproximadamente 700 pessoas, em sua maioria esta população é formada por crianças. Devido a sua localização em uma região de acesso muito difícil do Estado do

## Capítulo I - Introdução

Amapá, conhecida como Cabo Norte, onde só é possível chegar de barco, a Vila é muito carente da presença do poder público, não dispondo ao menos, de uma política efetiva de saneamento básico.

A Vila de Sucuriju era abastecida de energia elétrica somente por um gerador diesel no período de 18:00 h às 22:00 h. A comunidade recebe mensalmente uma cota de óleo diesel, por parte do Governo do Estado; entretanto, esta cota é insuficiente para manter esta precária alimentação, devido ao gerador ser antigo, desregulado e sub-dimensionado para a demanda energética atual da Vila. A Vila cresceu em número de edificações e consumo e a cota não foi alterada, ficando esta, todos os meses às escuras por alguns dias por déficit de óleo diesel. Como outras comunidades da região, a Vila é abastecida, de forma emergencial, também por painéis fotovoltaicos, que alimentam apenas a escola, o posto de saúde, e um telefone público satelital (orelhão da Telemar)(SANTOS et al.,2007).

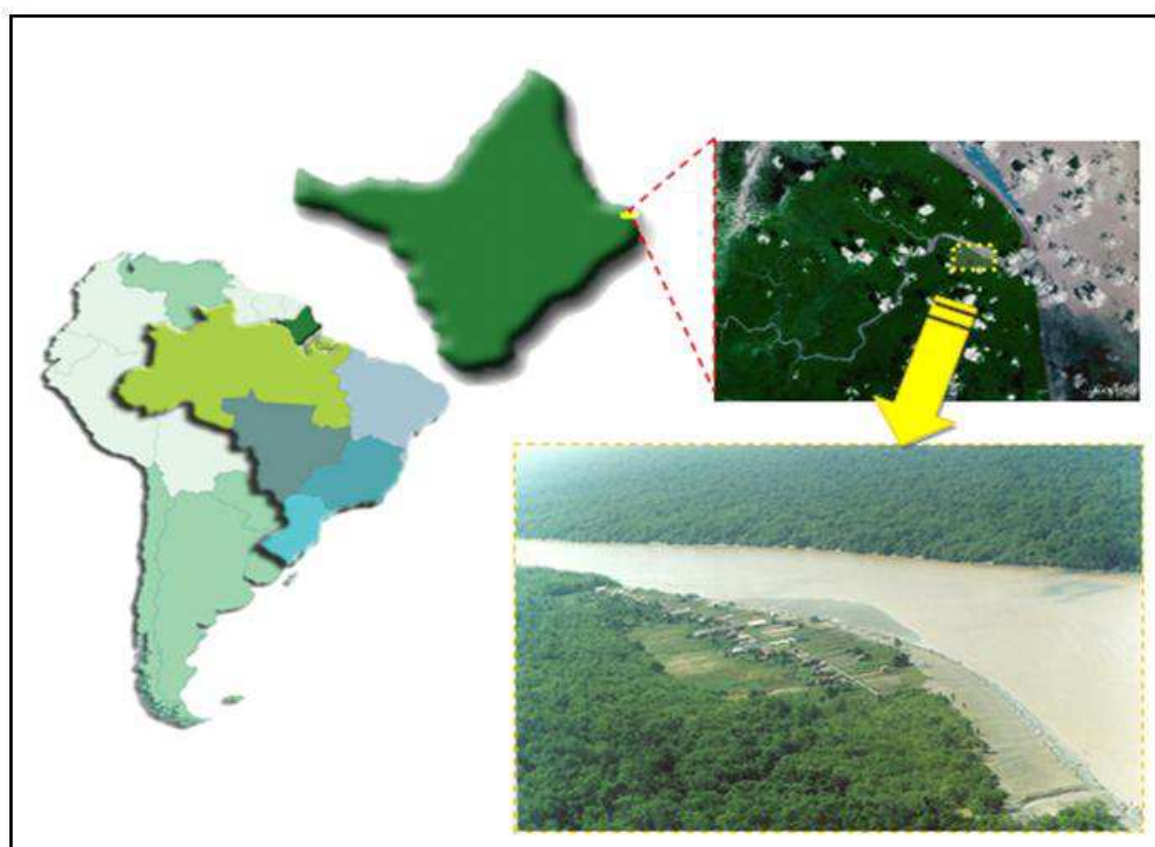


Figura 1.1- Localização da Vila de Sucuriju - AP

## 1.1 - Problemática da Pesquisa

O Rio Sucuriju, em que a Vila se localiza à margem direita, tem suas águas salinizadas por uma “língua salina” que se estende rio a dentro, vinda do Oceano Atlântico através do fenômeno chamado de pororoca (Figura 1.2), que acontece duas vezes ao dia, impreterivelmente. Por isso a água do rio na estação seca possui, conforme análise físico-química, Laudo N<sup>o</sup>.: 103/2005 no LABDES, STD =13.888 mg/L, pH =7,0 e turbidez = 311 NTU, que é considerada pela Portaria 518/04 MS como imprópria para o consumo.

Para exemplificar as dificuldades enfrentadas para se chegar à Vila, segue um breve roteiro de viagem: Partindo-se de Macapá, de carro, após 4 horas chega-se a cidade do Amapá. A partir desta, em função do regime das marés, começa-se uma viagem de barco de no mínimo 12 horas, enfrentando um mar revolto devido à grande força dos ventos e aos “cordões” de marés que são típicos da região.

A outra opção é enfrentar, em um pequeno barco, 48 horas de navegação pelo rio Amazonas estando sujeito à pororoca e a turbulência de um trecho de 6 horas de mar revolto. Vencido o último trecho de mar, após a foz do rio Araguari, um dos afluentes do Amazonas, segue-se pela costa até chegar à boca do Rio Sucuriju, e entrando 1,5 km no rio chega-se à Vila de Sucuriju.



Figura 1.2 - Caiaque na pororoca do Rio Araguari

## Capítulo I - Introdução

A pororoca é um fenômeno que ocorre na região Amazônica, principalmente na foz do Rio Amazonas, e é formada pela elevação súbita das águas junto à foz, provocada pelo encontro das marés ou de correntes contrárias, como se estas encontrassem um obstáculo que impedisse seu percurso natural. Quando ultrapassa esse obstáculo, as águas correm rio à dentro com uma velocidade de 16 a 24 km/h, subindo uma altura de 3 a 6 metros.

No Estado do Amapá, ela ocorre na ilha do Bailique, na "Boca" do Araguari (Figura 1.2), no Canal do Inferno da Ilha de Maracá, no Rio Sucuriçu e em diversas partes insulares. A pororoca tem sua maior intensidade nos meses de janeiro a maio o que coincide com o período chuvoso da região.

A pororoca prenuncia a enchente. Alguns minutos antes de chegar há uma calmaria e os caboclos já reconhecem e procuram um lugar seguro como enseadas ou mesmo os pontos mais profundos dos rios para aportar suas embarcações, pois a embarcação que estiver na "baixa-mar", onde o efeito da pororoca é mais efetivo, com certeza naufragará.

No Rio Sucuriçu, durante o período chuvoso, este fenômeno supera os três metros de altura e na estação seca a altura é sempre inferior a 1,5 metros (Figura 1.3).



Figura 1.3 - Pororoca no Rio Sucuriçu durante o verão



## Capítulo I - Introdução

Na estação das chuvas as características do Rio mudam sensivelmente, pois a contribuição da água doce que desce das “cabeceiras”, dos lagos, é muito maior. Nesta estação, que dura aproximadamente quatro meses chove torrencialmente e a água do rio, segundo os testemunhos dos nativos, ficam “quase doce”. Este fato é de difícil constatação, já que, devido às intempéries da região e a logística complicada, tornam inviável a expedição para coleta de amostras nessa estação.

Nessa estação, nem mesmos os nativos, salvo extrema necessidade, se atrevem a enfrentar a costa temendo o mar revolto e principalmente temendo a pororoca que causa devastação na costa, conforme Figura 1.4, e até o desaparecimento total de ilha como a Jipioca.

Na região do Cabo Norte, durante o período chuvoso, os nativos concentram o ofício de pesca na região dos lagos, onde o perigo está na pororoca, que tem hora marcada para acontecer, nos jacarés de 5 metros de comprimentos e nas sucurijs (sucuris gigantes) que dá nome ao rio e à Vila. Apesar destes perigos os nativos acham que enfrentar as intempéries da costa é bem mais perigoso.



Figura 1.4 - Costa na boca do Rio Sucuriju devastada pela ação da pororoca

## Capítulo I - Introdução

Quando a água armazenada no período chuvoso acaba, os moradores têm que fazer longas viagens à cidade do Amapá ou ao arquipélago do Bailique para buscar água, ou ainda, ir aos lagos, que distam aproximadamente 20 km rio acima, em pequenas canoas, ou montarias, como os nativos as chamam, para buscar, em reservatórios plásticos, uma água escura e com odor e gosto desagradáveis.

A região dos Lagos do Amapá, Figura 1.5, entre a foz do Rio Amapá Grande à foz do rio Araguari, nos municípios de Amapá e Pracuuba, entre as coordenadas geográficas 02° 09' a 01° 11' N e 49° 55' a 51° 00' W, código da área 3.1, extensão de 78.063 ha, que comporta a Vila de Sucuriju, foi considerada como área de "prioridade geral extremamente alta" do Workshop de Avaliação e Ações Prioritárias para Conservação da Biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha, ocorrido na cidade de Porto Seguro, no ano de 1999 (BRASIL, 2006).



Figura 1.5 - Região dos lagos

### 1.2 – Objetivos

Neste trabalho objetiva-se automatizar um sistema de dessalinização via osmose inversa da Vila de Sucuriju que tem como fonte energética um sistema híbrido de energia renovável.

## 1.2 1 - Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver a automação do sistema de dessalinização via osmose inversa para o abastecimento de água potável na Vila de Sucuriçu. Esta automação baseia-se no uso de um Controlador Lógico Programável (CLP) que se responsabilizará pelo interfaceamento das variáveis da planta com um supervisor remoto que se localiza no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da UFCG, que possibilita a monitoração e o controle automático e à distância da planta.

### 1.2.1 - Objetivos Específicos

- Elaborar projeto de instrumentação necessário à monitoração das variáveis de controle da planta, especificando, cotando e realizando a aquisição dos mesmos.
- Especificar todos os equipamentos necessários ao projeto elétrico, à automação, à montagem e à instalação do sistema;
- Realizar a adequação do sistema de dessalinização para que seja instalada a instrumentação necessária a automação da planta.
- Realizar a aquisição e supervisionar a instalação de todos os equipamentos e instrumentos adquiridos cuja instalação seja parte integrante do contrato de aquisição;
- Elaborar as estratégias de controle e os graficets de partida e parada automática da planta.
- Desenvolver o aplicativo do CLP que responderá pela leitura das variáveis de entrada, execução das lógicas de controle e atuação dos comandos;
- Desenvolver a Interface Homem-Máquina (IHM) através do aplicativo do sistema supervisor responsável pela execução remota de comandos, monitoração de pontos, traçado de gráficos e gravação de históricos;
- Realizar a comunicação entre a estação de supervisão com o CLP através de uma conexão de internet, executando todos os condicionamentos necessários à transmissão e recepção dos sinais, e, além disso, realizar a configuração dos equipamentos e instalação dos *drivers* no microcomputador da estação de supervisão;
- A realização dos testes de plataforma se dará na seguinte seqüência: teste elétrico (ponto-a-ponto); teste dos pontos de Entrada e Saída (E/S); e teste de funcionamento das lógicas desenvolvidas;
- Fazer todo o comissionamento e instalar o equipamento na Vila de Sucuriçu;



- Realizar o treinamento dos operadores locais.

### **1.3 - Justificativa e Relevância da Automação do Sistema de Dessalinização**

O sistema de dessalinização implantado produzirá diariamente  $12\text{m}^3$  de água potável, para uma operação de 6 h/d, o que garante uma oferta diária adicional de 20 litros por pessoa. Com esta nova cota diária os habitantes passam a consumir água dentro dos limites aceitáveis pela ONU.

Atualmente a Vila de Sucuriju é abastecida somente por água de chuva que é armazenada em reservatórios residenciais e em duas cisternas comunitária com a capacidade de aproximadamente  $700\text{ m}^3$ . Esta água no período da seca é distribuída em cotas semanais, sempre aos sábados, sendo esta de 20 litros de água por pessoa por semana.

Enquanto os moradores da Vila de Sucuriju recebem a cota de 2,86 litros por dia, outros brasileiros gastam, em média, 200 litros por dia. Segundo a Organização das Nações Unidas - ONU, o homem necessita de 20 a 50 litros por dia para beber, cozinhar, tomar banho, lavar roupas e utensílios (MARCATTO et al, 2006).

Esta realidade paradoxal é chocante, principalmente, ao se observar que a referida Vila está localizada na região mais rica em água doce do mundo, próximo da foz do maior rio do mundo, o Rio Amazonas. Em contraposição a estes números ínfimos existem países, como o Canadá, cuja realidade é muito diferente, onde a oferta de água é superior a 100.000 L/hab/ano (MARCATTO et al, 2006), ou seja, aproximadamente 274 L/hab/dia.

Alem do fato da carência de água potável justificar, por si só, a necessidade da dessalinização de água observam-se alguns fatores preponderantes para automação deste sistema de dessalinização: a grande dificuldade de logística e de acesso à comunidade para o caso de ser necessária reconfiguração ou ajustes da máquina; com a automação realizada é armazenado um histórico do funcionamento e dos eventos ocorridos, formando assim um banco de dados que auxiliará na correção de parâmetros para aferir com agilidade o funcionamento do equipamento, para que os próximos sistemas sejam de mais fácil replicação. Este banco de dados será disponibilizado para os parceiros do projeto e para os agentes fomentadores, a fim de que haja desenvolvimento de novas pesquisas e trabalhos.

## Capítulo I - Introdução

Outro fator que justifica o uso da automação é a inabilidade, por parte dos ribeirinhos, de operar equipamentos mais complexos. Isto se dá devido à sua baixa escolaridade e à falta de convívio, devido à isolamento, com inovações tecnológicas.

No sentido de capacitá-los para realizar a operação básica do equipamento e pequenas manutenções preventivas no sistema foi realizado, durante a instalação, um treinamento com alguns moradores selecionados, cujos perfis se aproximariam dos de um operador. Isto foi realizado, uma vez que não se pode prescindir totalmente de um operador local, apesar de toda automação implantada.

Além deste treinamento, outro mais efetivo e mais substancial foi realizado no LABDES com os dois operadores selecionados (dentre aqueles do primeiro curso) e quatro representantes da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Governo do Estado do Amapá, onde os seis participantes receberam capacitação para operar todo o sistema de dessalinização. A presença dos técnicos da Secretaria foi necessária, pois é o Governo do Estado que será o responsável pela sustentabilidade do projeto.

No que concerne ao abastecimento de energia, a Vila conta com um fornecimento precário de eletricidade através de um grupo gerador diesel no período diário das 18 às 22 horas. Devido às dificuldades de logística, a Vila sofre constantemente desabastecimento de óleo diesel para funcionamento do gerador, ficando freqüentemente às escuras por vários dias.

A situação local, a precariedade da fonte energética, e também a minimização da poluição ambiental, já que a Vila está inserida em uma reserva biológica, e principalmente, visando à melhoria da qualidade de vida dos moradores da Vila de Sucuriçu são as principais justificativas para a proposição e desenvolvimento deste projeto.

Para solucionar os problemas da Vila de Sucuriçu, a UFPE em parceria com a UFPA e a UFCG, financiadas com recursos do Ministério de Minas e Energia e em parceria com o CNPq, desenvolveram um projeto para eletrificar a Vila com sistema híbrido de energia e abastecê-la com água potável. O sistema consistirá da geração híbrida, solar-eólico-baterias-diesel, que proporcionará 24 horas/dia de energia, e de um dessalinizador para a produção de água de boa qualidade para consumo humano. Esse projeto põe fim a estes dois problemas históricos da Vila.

Este projeto foi desenvolvido pela equipe da UFCG/LABDES contando com a participação dos bolsistas Felix Rodrigues Neto, Fernando Almeida da Silva, José Nilton

## Capítulo I - Introdução

Silva e José Esivaldo Santos, sob a coordenação do professor Kepler Borges França, que coordenou o projeto com respeito ao sistema de dessalinização e distribuição de água.

A subdivisão da automação, de projetos dos painéis elétricos, supervisão da montagem, teste e instalação dos mesmos e de todo o sistema de dessalinização na Vila de Sucuriu foram desenvolvidos em cooperação pelos bolsistas Esivaldo e Félix, cabendo aos demais bolsistas o projeto e testes do dessalinizador propriamente dito.

### **1.4 - Estrutura do Trabalho**

O desenvolvimento deste trabalho de dissertação de mestrado seguiu a seguinte estrutura: na parte introdutória faz-se uma contextualização da problemática local e da relevância deste trabalho, enfocando a realidade paradoxal do desabastecimento de água na região do maior rio do mundo. Em seguida realiza-se uma revisão bibliográfica sobre os temas principais abordados, contextualizando este trabalho com os outros referenciados na literatura e nos outros trabalhos de pesquisa realizados pelas principais instituições de ensino superior (IES) e centros de pesquisas. Na terceira parte são descritos os materiais utilizados e todos os métodos abordados para que os resultados sejam alcançados.

No quarto capítulo são discutidos os problemas ocorridos no decorrer do trabalho, assim como, os resultados obtidos quando da solução dos referidos problemas e obstáculos. Na seqüência serão elencadas todas as fontes bibliográficas pesquisadas e citadas no projeto. Por fim é disponibilizado um anexo contendo uma série de documentos que foram gerados no decorrer do trabalho.

## 2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - A Problemática da Água

A água é a substância mais importante e mais comumente encontrada no planeta terra. Entretanto, a sua distribuição na superfície terrestre é muito irregular, provocando anualmente a morte de milhares de pessoas por sua falta ou por doenças provocadas pela contaminação de corpos de águas.

A água doce é essencial para a vida e saúde humana como para as do ecossistema. Estima-se que a quantidade de água doce no mundo seja cerca de 35 milhões km<sup>3</sup> (LOH et al., 2006), cuja distribuição percentual é mostrada na Figura 2.1. Contudo aproximadamente 70% dela estão nas geleiras e calotas polares e cerca de 30% são reservas subterrâneas de água. Menos de 1% desta água enchem os lagos, os rios, as correntes e as zonas pantanosas da Terra.

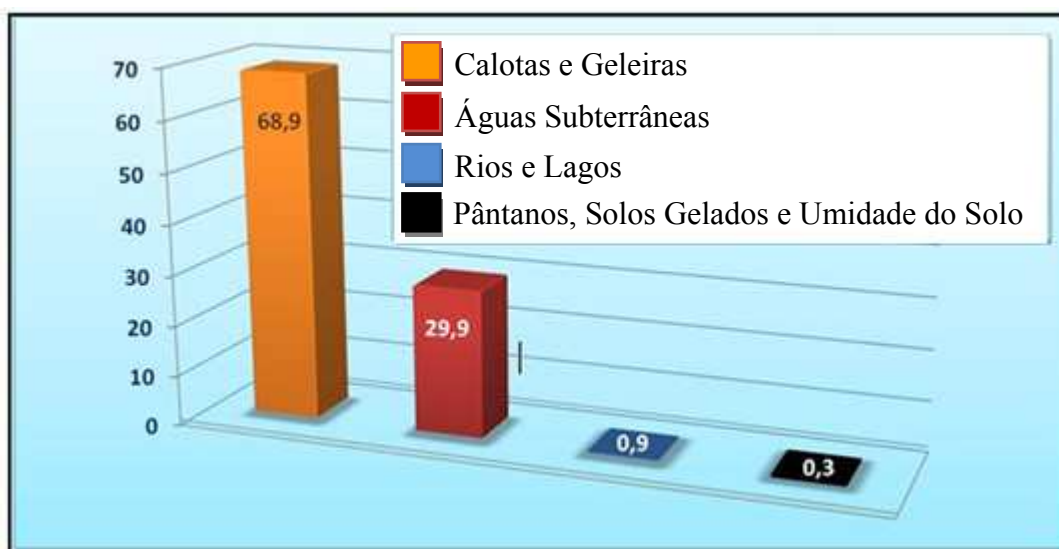


Figura 2.1 - Distribuição percentual da água doce no mundo (Adaptado de BORGHETTI et al., 2008)

A precipitação anual total no mundo é de aproximadamente 110 mil km<sup>3</sup> de água. A maior parte desta é consumida pelas plantas e o restante, aproximadamente 40 mil km<sup>3</sup> escoam para o mar. (LOH et al., 2006)

O Brasil detém aproximadamente 13,7% da água doce disponível no planeta, a maior área úmida continental do mundo (Pantanal), as mais extensas florestas alagadas (Amazônia)

Santos, J. E  
Automação do Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa da Vila de Sucuriu - AP

(BARRETO, 2008). Os recursos hídricos superficiais gerados no Brasil representam 50% do total dos recursos da América do Sul. A distribuição anual dos recursos hídricos no Brasil não é uniforme, merecendo destaque os excessos de água na Amazônia e a escassez no Nordeste. A Figura 2.2 expressa esta realidade, onde pode ser feita comparações, por regiões brasileiras, dos percentuais de população, área e distribuição de água.

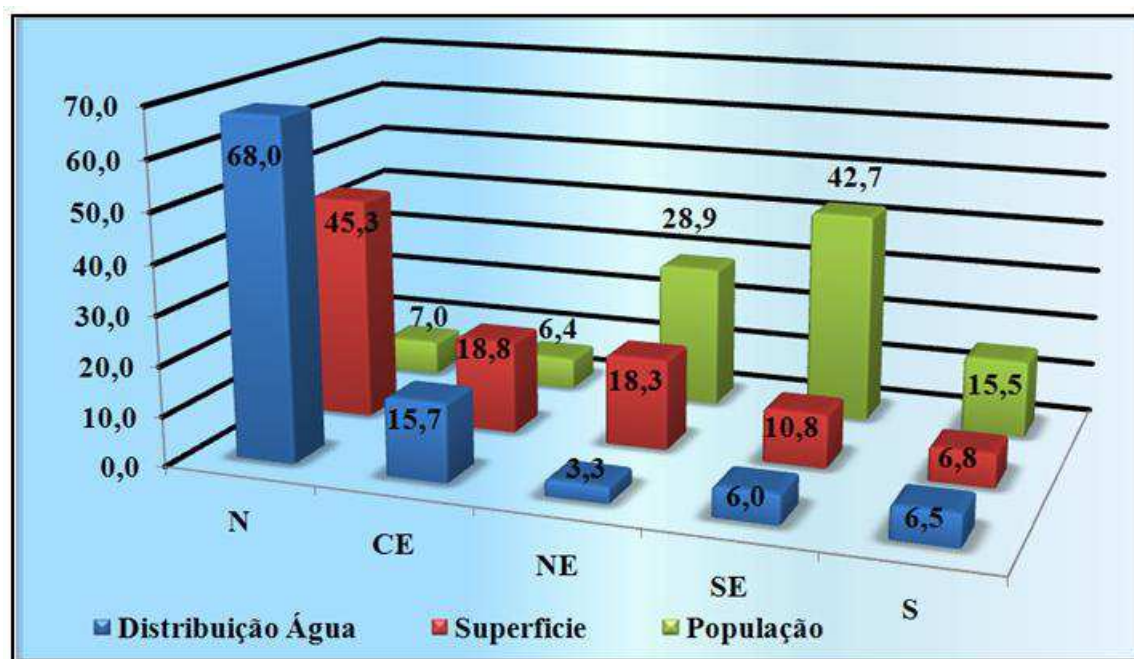


Figura 2.2 - Distribuição da água, da superfície e da população por região (em % do País)  
(Adaptado de MARCATTO et al., 2006)

A Amazônia brasileira representa 71,1% do total gerado da vazão no Brasil e, portanto, 36,6 % do total gerado na América do Sul e 8% em nível mundial. Considerando a vazão total da Amazônia que escoia pelo território brasileiro, a proporção é de 81,1% do total nacional. Considerando esse volume, o total que escoia a partir do Brasil representa 77% do total da América do Sul e 17% em nível mundial. (TUCCI et al., 2001).

A região Norte do Brasil apresenta clima quente, com temperatura média anual variando entre 24° e 26°C. A precipitação total anual excede os 3.000 mm na foz do rio Amazonas, no litoral do Pará e a ocidente da região (na direção noroeste - sudeste) esses valores são de 1.500 a 1.700 mm. (IEPA, 2008)

O Estado do Amapá é detentor de uma considerável malha hídrica. Em sua região Centro-Leste encontra-se localizado o Rio Araguari (um corpo hídrico cujas águas são

utilizadas para diversos fins, tais como: abastecimento público, navegação, geração de energia elétrica, criação de animais e irrigação, dentre outros), seu mais importante manancial. (BÁRBARA, 2006)

### **2.2 - Dessalinização**

A dessalinização é um processo pelo qual se retiram sais minerais da água. A água para o consumo humano, segundo a legislação brasileira, através da portaria 518/04, do Ministério da Saúde, tem que ter um valor máximo permissível para o total de sais dissolvido na água, não superior a 1.000 mg/L. Nesta concentração já se percebe um sabor desagradável na água. A água de boa qualidade para o consumo humano deve apresentar concentrações de sais dissolvidos na faixa de (40-500) mg/L.

Diferentes tecnologias de dessalinização são usadas com o propósito de suprir a demanda de água potável. Estas tecnologias podem ser divididas em dois grupos distintos, de acordo com as características físicas do processo. Existem os processos térmicos e os processos de membrana. (NETO, 2005).

Os principais processos térmicos são: Destilação *flash* com múltiplo estágio (MSF); Destilação múltiplo efeito (MED) e Destilação por compressão de vapor (VC). (NETO, 2005). Estes processos não são usados neste projeto, onde é usado o processo de Osmose Inversa, que é um processo que utiliza membranas e tem um menor consumo de energia.

#### **2.2.1 - Processos com Membrana**

Quanto aos processos de membrana, o principal é Osmose Inversa (OI). Este processo passou a ser aplicado na indústria desde a década de 80, utilizando-se membranas semipermeáveis. Isto levou a buscar melhorias contínuas e, conseqüentemente, redução de custos, tanto pelo desenvolvimento da tecnologia quanto pelo aumento na escala de produção (OLIVEIRA, 2002).

As energias usadas nos processos de dessalinização são principalmente eletricidade e calor. As exigências de energia para plantas de dessalinização dependem da salinidade, temperatura da água de alimentação, qualidade da água produzida e da tecnologia utilizada. A energia representa aproximadamente 25 a 40% do custo total do processo de dessalinização da água (TSIOURTIS, 2001).

Os avanços tecnológicos em transferências de calor, tecnologia de membrana, mecanismos de recuperação de energia, manufatura do tratamento químico da água e combinação dos métodos ou processos têm reduzido muito o consumo de energia por metro cúbico (TSIOURTIS, 2001).

A OI é uma técnica de filtração que remove os constituintes dissolvidos em solventes. Com tamanhos de poros muito pequenos, mesmo a maioria das espécies iônicas não atravessam as membranas de OI, permitindo a dessalinização de águas salinas. Para concentrações baixas de sais na solução, o processo pode ser consideravelmente mais eficiente em relação aos métodos comumente usados no tratamento da água, como a destilação térmica (OLIVEIRA, 2002), conforme apresentado na Tabela 2.1.

Analisando a Tabela 2.1, observa-se que o processo de osmose inversa possui o menor valor de energia total consumida, sendo assim utilizado para o dimensionamento do sistema de energia proposto.

Tabela 2.1 - Consumo de energia na dessalinização da água do mar. (Adaptado de NETO, 2005)

<b>Processos</b>	<b>Energia Total Consumida kWh/m<sup>3</sup></b>	<b>Temperatura Máxima de operação (°C)</b>
Destilação flash com múltiplos estágios (MSF)	9,52	95
Destilação múltiplos efeito (MED)	6,87	75
Destilação por compressão de vapor (VC)	9,25	100
Osmose Inversa	4,76	45

### 2.2.1.1 - Osmose

O fenômeno da osmose é de fundamental importância na natureza, já que o transporte seletivo através de membranas é essencial à vida. Este fenômeno começou a ser estudado há mais de duzentos anos. A osmose natural ocorre quando duas soluções de concentrações diferentes encontram-se separadas por uma membrana semipermeável. Neste caso, a água (solvente) da solução menos concentrada tenderá a passar para o lado da solução de maior

salinidade. Com isto, esta solução mais concentrada, ao receber mais solvente, se dilui, num processo impulsionado por uma grandeza chamada "pressão osmótica", até que as duas soluções atinjam o equilíbrio osmótico (OLIVEIRA, 2002).

### 2.2.4.2 - Osmose Inversa

A osmose inversa é um processo induzido que ocorre quando se aplica uma pressão no lado da solução mais salina ou mais concentrada, conforme Figura 2.3, com intensidade superior à pressão osmótica, revertendo-se assim a tendência natural do fluxo. Neste caso, a água da solução salina passa para o lado da solução menos concentrada, ficando retidos os íons dos sais nela dissolvidos.

A pressão osmótica,  $\pi$ , que uma solução iônica exerce depende da concentração do soluto, da temperatura absoluta da solução, e da espécie de íons presentes. É dada pela equação de van't Hoff (FILHO, 2000).

$$\pi = \sum V_i C_i RT \quad (2.1)$$

Onde  $i$  é o nº de íons formados na dissociação do soluto,  $c_i$  sua concentração molar,  $R$  é a constante universal dos gases ideais e  $T$  a temperatura absoluta da solução. A Figura 2.3 exemplifica a ocorrência tanto da osmose como o fenômeno da Osmose Inversa.

A OI é um fenômeno conhecido dos cientistas desde o fim do século XIX, e passou a ser aplicado em processos industriais na década de 60. Desde a década de 80 o emprego de membranas semipermeáveis sintéticas em aplicações industriais passou a se difundir, ampliando o campo de aplicações deste processo. Isto resulta em contínuas reduções de custo, não só pela maior escala de produção, como também pelo crescente conhecimento tecnológico adquirido (CARTAXO, 2008).

A OI é um processo de separação com membranas, usado quando se deseja reter solutos de baixa massa molar, tais como sais inorgânicos ou pequenas moléculas orgânicas como a glicose. Por este motivo, as membranas de OI devem ter uma porosidade de tal forma que ofereça resistência à permeação.



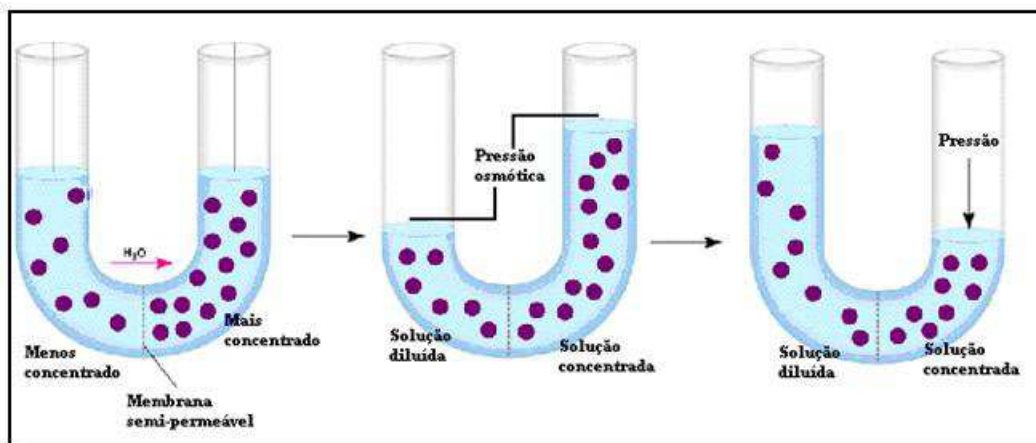


Figura 2.3 - Processo de osmose e osmose inversa. (Adaptado de CARTAXO, 2008)

Quando existem duas soluções separadas por uma membrana semipermeável haverá sempre, até que se alcance o equilíbrio osmótico, um fluxo do solvente do lado menos concentrado para o mais concentrado. Este fenômeno ocorre porque a presença do soluto ocasiona uma queda no potencial químico do solvente na solução, provocando um gradiente de potencial químico entre os dois lados da membrana. Ao se aplicar pelo lado da solução mais concentrada uma diferença de pressão entre as duas soluções,  $\Delta P > \Delta \pi$ , o potencial químico do solvente na solução concentrada será maior do que o potencial químico do solvente puro ou do solvente na solução mais diluída. A consequência é uma inversão no sentido do fluxo osmótico, ou seja, o solvente escoar do lado da solução concentrada para o lado do solvente puro.

## 2.4 - Automação

Nos primórdios da industrialização, os processos ainda utilizavam a mão-de-obra à exaustão. A repetição de ações na linha de produção, nos quais as pessoas desenvolviam sempre as mesmas funções, tornavam-nas especialistas em determinadas tarefas ou etapas da produção. Principiava-se assim a produção em série. Da mesma forma, as máquinas de produção eram específicas para cada aplicação, impedindo assim, apesar de apresentar características semelhantes, o seu uso em outras etapas da produção.

### 2.4.1 - Controle de Sistemas

Sob o ponto de vista tecnológico, o controle tem um papel importantíssimo no desenvolvimento de ações planejadas, modelando processos desde os mais simples até os mais complexos.

Antecedendo ao estudo dos controladores programáveis, é necessário sedimentar alguns conceitos importantes. Um destes, e essencial nesta etapa, é o conceito de controle. A Figura 2.4 mostra um diagrama de bloco de um sistema de controle de um dado processo.

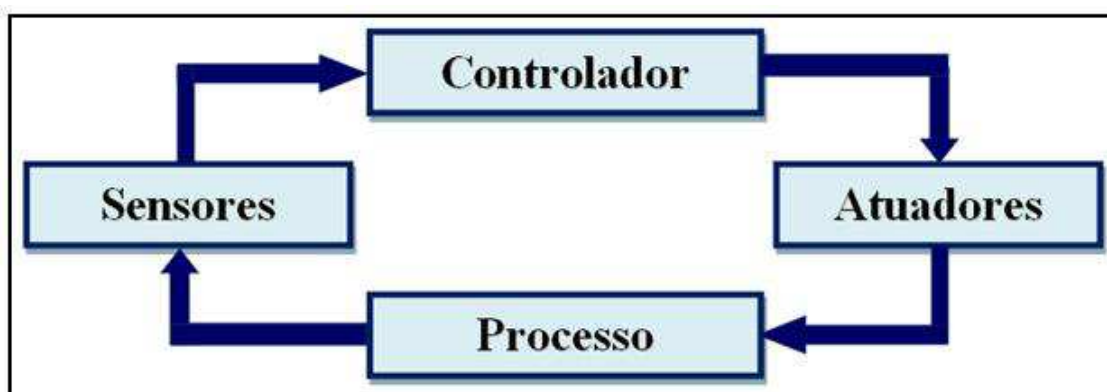


Figura 2.4 - Diagrama de blocos de um sistema de controle

O controle de sistemas físicos é generalizado na aplicação de sinais e sistemas na sociedade industrial. Como exemplo de sua aplicação, podem-se citar refinarias de petróleo, piloto automático de aviões, reatores nucleares e usinas elétricas. O objeto alvo do controle é comumente chamado de “planta”.

A motivação do uso de sistemas, sob o foco da engenharia, reside, principalmente, na necessidade de uma resposta satisfatória e de um desempenho robusto. Uma planta produz uma resposta satisfatória quando sua saída segue ou acompanha uma entrada de referência específica. O processo de manter uma saída da planta próxima de uma entrada de referência é chamado de regulação. Através da robustez de um sistema, avaliam-se quanto o sistema exhibe boa regulação, independentemente da existência de perturbações externas e também da presença de mudanças nos parâmetros da planta devido a condições ambientais variáveis. (HAYKIN e VAN VEEN, 2001)

Um sistema de controle com uma única entrada e uma única saída é denominado de sistema SISO (do inglês, *Single-Input/Single-Output*). Já o sistema com múltiplas entradas e múltiplas saídas é denominado de MIMO, (do inglês, *Multiple-Input/Multiple-Output*). O controlador em ambos os casos pode estar na forma de um computador ou de um microprocessador, e assim sendo, o sistema de controle é chamado de sistema de controle digital. O uso de sistemas de controle digitais está se tornando cada vez mais freqüente devido a sua flexibilidade e elevado grau de precisão. (HAYKIN e VAN VEEN, 2001)

Na intenção de garantir o controle do sistema de produção, foram colocados sensores nas máquinas para a supervisão do processo. O controle só é garantido com o acionamento de atuadores a partir do processamento das informações coletadas pelos sensores. Os primeiros sistemas de automação operavam por meio de sistemas eletromecânicos, com relés e contadores. Neste caso, os sinais acoplados à máquina ou equipamento a ser automatizado acionam circuitos lógicos a relés que disparam as cargas e atuadores.

Para o controle de quaisquer variáveis existem apenas duas modalidades: controle manual ou controle automático. Na execução do controle manual faz-se necessário que um operador esteja presente, quer local ou remotamente em uma sala de supervisão ou operação, onde ele, fazendo uso de conhecimentos prévios, aciona uma válvula, um botão ou chave, que por sua vez, produz alterações na variável alvo do controle.

A esta forma de controle manual dá-se o nome de controle local. Contudo, se o operador estiver em outro ambiente, distante do alvo de seu controle, operando em uma interface homem-máquina qualquer, como uma tela de supervisório é chamado de controle remoto. O operador remoto acionará em uma representação simbólica da variável ou válvula numa tela, para daí, através de uma arquitetura de rede de comunicação comunicar-se com um CLP, como neste projeto, que acionará fisicamente a saída que se refere à variável alvo do controle.

O controle é dito automático quando uma parte, ou a totalidade, das funções do operador é realizada por um equipamento, freqüentemente, mas não necessariamente, eletrônico. No controle automático por realimentação, alvo deste projeto, é o equipamento automático que age sobre o elemento de controle, baseando-se em informações de medida da variável controlada. O controle automático por programa envolve a existência de um programa de ações, que se cumpre com base no decurso do tempo ou a partir de modificações eventuais em variáveis externas ao sistema.

A viabilidade da automação de um sistema cresceu propulsionada pelos avanços da eletrônica que passou a dispor de circuitos capazes de realizar funções lógicas e aritméticas com os sinais de entrada e gerar os respectivos sinais de saída. Com este avanço, o controlador, os sensores e os atuadores passaram a funcionar em conjunto, transformando processo em um sistema automatizado, onde o próprio controlador toma decisões em função da situação dos sensores e aciona os atuadores.

Com os avanços da eletrônica, ocorreram, gradualmente, vários desenvolvimentos que afetaram os processos, de forma irreversível, no que tange a operação e manutenção destes. Alavancada por esses avanços ocorreram:

- A expansão das unidades de memória que ganharam maior capacidade e com isso, tornou capaz o armazenamento de todas as informações necessárias para controlar diversas etapas do processo.
- Os circuitos lógicos tornaram-se mais rápidos, compactos e capazes de receber mais informações de entrada, atuando sobre um número maior de dispositivos de saída.
- Surgimento dos microcontroladores, responsáveis por receber informações das entradas e por associá-las às contidas na memória e a partir destas, desenvolver uma lógica para acionar as saídas.

O resultado de toda esta evolução é o surgimento de sistemas compactos, com alta capacidade de controle, que permitem acionar diversas saídas em função de vários sinais de entrada combinados logicamente. Outro resultado desta evolução é que toda a lógica de acionamento pode ser desenvolvida através de *software*, que determina ao controlador a seqüência de acionamento a ser desenvolvida, caracterizando assim, um sistema flexível.

### **2.4.2 - O Controlador Lógico Programável**

O Controlador Lógico Programável, CLP ou PLC, *Programmable Logic Controller*, mostrado na Figura 2.5, é o equipamento eletrônico de controle que atua a partir desta filosofia e como neste trabalho é o agente da automação, reservou-se a secção seguinte para melhor explicitar seus conceitos e fundamentos.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), PLC é um equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com aplicações

industriais. Para a *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), PLC é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas, tais como lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de módulos de entradas e saídas, vários sensores e atuadores (BOARETTO, 2005).



Figura 2.5 - CLP Control Logix 5000. Fonte: Rockwell Automation

Na norma IEC 1131, parte 1, o controlador lógico programável é definido da seguinte forma: “Um sistema eletrônico digital a ser utilizado na indústria que contém uma memória programável capaz de armazenar internamente instruções de comando orientadas ao usuário. Estes possibilitam a implementação de funções específicas, como por exemplo: controles lógicos, controles seqüenciais, funções de temporização, funções de contagem e funções aritméticas, visando ao controle de diversos tipos de máquinas e processos através de sinais de entrada e saída digitais ou analógicas. O controlador lógico programável e os periféricos correspondentes (sistema PLC) são concebidos de modo que possam ser integrados facilmente em sistemas industriais de comando e serem aplicados em todas as funções a eles designadas” (SOUTO, 2005).

Os PLC's são dispositivos que permitem o comando de máquinas e equipamentos de maneira simples e flexível, possibilitando alterações rápidas no modo de operá-los por meio da aplicação de programas dedicados, que ficam armazenados em sua memória. Esse

equipamento foi batizado, nos Estados Unidos, como *Programmable Logic Controller* (PLC), em português Controlador Lógico Programável (CLP) e este termo é registrado pela Allen Bradley (fabricante de PLC) (BOARETTO, 2005).

O PLC nasceu praticamente dentro da indústria automobilística americana, especificamente na *Hydronic Division* da *General Motors*, em 1968, sob a liderança do engenheiro Richard Morley, devido à grande dificuldade, aos altos custos e à perda de tempo e de dinheiro que exigia para se haver a mudança da lógica de controle dos painéis de comando para cada mudança na linha de montagem.

Nascia assim, um equipamento bastante versátil e de fácil utilização, que vem se aprimorando constantemente, diversificando cada vez mais os setores industriais e suas aplicações. Desde o surgimento, houve uma evolução contínua nos controladores lógicos. Esta evolução deve-se à variedade de entradas e saídas, ao aumento da velocidade de processamento, à inclusão de blocos lógicos complexos para tratamento das E/S e principalmente, ao modo de programação e à interface com o usuário e com os demais equipamentos através de uma topologia de comunicação em rede.

### 2.4.2.1 - Histórico dos PLC's.

Para fins didáticos, pode-se dividir a história dos PLC's em cinco gerações, e isto se dá de acordo com o sistema de programação por ele utilizado.

Os PLC's de primeira geração eram caracterizados pela programação intimamente ligada ao *hardware* do equipamento. A linguagem utilizada era o *Assembly*, que variava de acordo com o processador utilizado no projeto, ou seja, para poder programar era necessário conhecer a eletrônica do projeto do CLP. Assim, a tarefa de programação era desenvolvida por uma equipe técnica altamente qualificada, gravando-se o programa em memória EPROM, e isto era realizado normalmente no laboratório.

Na segunda geração aparecem as primeiras “Linguagens de Programação” tornando-os relativamente independentes do *hardware* do equipamento. Isto foi possível pela inclusão de um “Programa Monitor” no PLC, que faz a compilação das instruções do programa, verifica o estado das entradas, compara com as instruções do programa do usuário e altera os estados das saídas. Existiram a partir de então os terminais de programação, na verdade

programadores de memória EPROM, que depois de programadas, eram colocadas no CLP para que o programa do usuário fosse executado.

Em sua terceira geração, os PLC's passam a ter uma Entrada de Programação, onde um teclado ou programador portátil era conectado, e por onde todas as alterações eram feitas, podendo assim, alterar, apagar, gravar o programa do usuário, além de realizar testes no equipamento e no programa. Sua estrutura física também sofreu alterações, sendo criados os sistemas modulares na forma de bastidores ou *racks*.

Na quarta geração, impulsionado pela popularização e a diminuição dos preços dos microcomputadores, os PLC's passaram a incluir uma entrada para a comunicação serial que se comunica com os terminais de programação, que agora já são os microcomputadores, onde a tarefa de programação passou a ser realizada. Isto representou grandes vantagens: a utilização de várias linguagens, possibilidade de simulações e testes, treinamento e ajuda por parte do *software* de programação, possibilidade de armazenamento de vários programas no micro, etc.

A atual quinta geração surgiu da preocupação em padronizar protocolos de comunicação para os PLC's, de modo a proporcionar que os equipamentos de diversos fabricantes interajam entre si. Esta interação pode ocorrer, de acordo com a aplicação, não só com PLC's, mas, também, com Controladores de Processos, Sistemas Supervisórios, Redes Internas de Comunicação, etc., proporcionando assim uma completa integração que facilita a automação, o gerenciamento e o desenvolvimento de plantas industriais.

Os controladores lógicos programáveis são hoje amplamente difundidos nos processos industriais e nos mais diversos campos de pesquisas acadêmicas, desde engenharia elétrica, mecânica, na informática e também na demais engenharias. Na engenharia química, o uso de PLC's é visto na pesquisa em controle de processos, mesmo que ainda de forma embrionária, Entretanto, alguns trabalhos já surgem, despontando, principalmente no campo de aplicação, como a monitoração de parâmetros físicos e químicos em reatores anaeróbios híbridos (SILVA, 2007).

### 2.4.2.2 - Princípios de Funcionamento do CLP

O controlador lógico programável, como todo sistema microprocessado, tem seu princípio de funcionamento baseado em três passos, executando seqüencialmente as seguintes tarefas.

No momento em que é ligado, o PLC executa uma série de operações programadas previamente, gravadas em seu Programa Monitor:

- Verifica o funcionamento eletrônico da CPU, memórias e circuitos auxiliares;
- Verifica a configuração interna e compara com os circuitos instalados;
- Verifica o estado das chaves principais (*RUN / STOP* , *PROG*, etc.);
- Desativa todas as saídas;
- Verifica a existência de um programa de usuário;
- Emite um aviso de erro caso algum dos itens acima falhe.

No passo seguinte o CLP lê os estados de cada uma das entradas, verificando se alguma foi acionada. O processo de leitura recebe o nome de ciclo de varredura (*scan*) e normalmente é de alguns microssegundos (*scan time*). Dentro deste ciclo, executará todas as operações que estavam programadas no *software* aplicativo, como intertravamentos e habilitação de temporizadores / contadores, armazenagem de dados processados na memória de dados. A Figura 2.6 mostra o ciclo de *scan* do PLC seqüenciando as etapas de sua execução.



Figura 2.6 - Seqüência de etapas do funcionamento do CLP



Após o Ciclo de Varredura, o PLC armazena os resultados obtidos em uma região da memória de dados, chamada de memória imagem das entradas e saídas. Ela recebe este nome por ser um espelho do estado das entradas e saídas. Esta memória será consultada pelo PLC no decorrer do processamento do programa do usuário.

Na execução do programa do usuário, após consultar a memória imagem das entradas, o PLC atualiza o estado da memória imagem das saídas, de acordo com as instruções definidas pelo usuário em seu programa. Seguindo-se esta tarefa a contento, o PLC escreve o valor contido na memória das saídas, atualizando as interfaces ou módulos de saída e então, inicia-se um novo ciclo de varredura.

### 2.4.2.3 - Arquitetura Interna

O diagrama de blocos mostrado na Figura 2.7 representa a estrutura básica de um controlador lógico programável com seus principais componentes, para os quais, é feita a seguir uma breve exposição de suas características e funcionalidades.

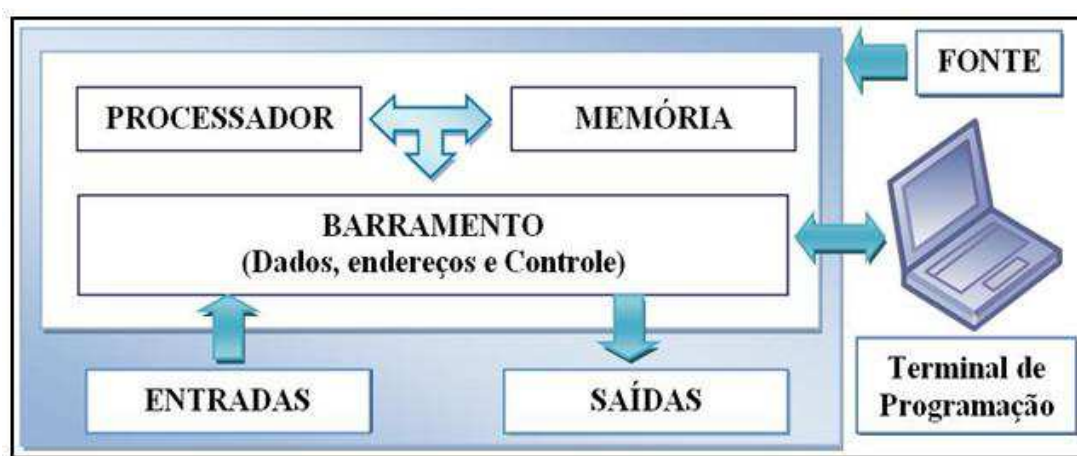


Figura 2.7 - Diagrama de blocos simplificado de um controlador programável (Adaptado de WEG, 2002).

#### 2.4.2.3.1 - Processador

O Processador é a CPU - Unidade Central de Processamento - do PLC, que é o cérebro do sistema. Ele lê os sinais das entradas mapeados na memória de dados, executa operações aritméticas e lógicas baseadas na memória de programa, e gera os comandos apropriados para

a memória de dados controlar o estado das saídas. Construtivamente, o CLP é muito semelhante a um microprocessador usado nos atuais computadores pessoais.

Os PLC's comerciais utilizam microprocessadores ou microcontroladores de 8,16 ou 32 bits e, em casos que haja necessidade de aumentar a capacidade de processamento, como em cálculos complexos com aritmética de ponto flutuante, é usado um co-processador. Além do co-processador, alguns fabricantes provêem recursos de *hardware* e *software* que possibilitam interrupções na varredura normal de forma a “ler” uma entrada ou “atualizar” uma saída imediatamente, e também, recursos de auto-diagnose para detecção e indicação de falhas (comunicação, memória, bateria, alimentação, temperatura, etc.)

### 2.4.2.3.2 - Memórias

No que concerne ao modo de escrita ou leitura e a segurança dos dados existem diversas especificações de memórias, para quais faz-se a seguir uma breve menção.

**Random Access Memory (RAM)** - Esta memória permite a leitura e escrita da informação, apresentando, no entanto, a desvantagem de perder toda a informação quando se desliga. Esta memória é utilizada para armazenar temporariamente a informação

**Non-Volatile Random Access Memory (NVRAM)** - É um tipo de memória RAM que não perde seus dados mesmo sem a alimentação de energia.

**Read Only Memory (ROM)** - Memória apenas de leitura, isto é, a informação nela armazenada durante o processo de fabricação é permanente, não se perdendo quando se desliga a alimentação. Este tipo de memória é utilizado pelos fabricantes para armazenar, de forma permanente, dados estáticos e programas que irão ser necessários ao funcionamento do PLC. Geralmente, os PLC's não utilizam memória ROM nas suas aplicações, a não ser PLC's dedicados, que têm por objetivo o controle de apenas um pequeno grupo de tarefas.

**Programmable Read Only Memory (PROM)** - É um tipo especial de ROM que pode ser programada. Normalmente é utilizada para guardar de forma permanente os dados armazenados na RAM.

**Erasable Programmable Read Only Memory (EPROM)** - Este tipo de memória armazena os dados de forma permanente, mas diferencia-se das memórias PROMs pelo fato de ser possível re-programar o seu conteúdo. As EPROM possuem uma pequena janela sobre o *array* de memória, que exposto a uma fonte de luz ultravioleta apaga todo o conteúdo da

memória. Esta operação tem uma duração média de 20 minutos. Após a EPROM ter sido apagada, é possível voltar a escrever dados para a memória, normalmente através da transferência de programas para o seu interior, utilizando um dispositivo eletrônico adequado.

***Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (EEPROM)*** - O conteúdo deste tipo de memória pode ser de novo programado, utilizando um terminal de programação de PLC, e após todo o seu conteúdo ter sido eliminado, operação que demora 10 milissegundos, é utilizada para armazenar o programa de controle que se pretende realizar.

A memória do PLC didaticamente pode ser dividida em quatro tipos: Memória do Programa Monitor, Memória do Usuário, Memória de Dados, e Memória Imagem das Entradas / Saídas.

### **Memória do Programa Monitor**

O Programa Monitor funciona de maneira similar ao Sistema Operacional dos microcomputadores, sendo responsável pelo funcionamento e gerenciamento de todas as atividades do PLC. Ele permite a transferência de programas entre um PC ou Terminal de Programação e o PLC, gerenciar o estado da bateria do sistema, controlar os diversos opcionais etc. Este programa fica armazenado em memórias somente de leitura do tipo PROM, EPROM ou EEPROM, que não podem ser alteradas pelo usuário, só o fabricante do CLP tem acesso para caso de atualização ou manutenção.

### **Memória do Usuário**

Nesta modalidade de memória do CLP é onde se armazena o programa da aplicação desenvolvido pelo usuário. Ela pode ser alterada pelo usuário conferindo flexibilidade de programação. Inicialmente era constituída de memórias do tipo EPROM, sendo hoje utilizadas memórias do tipo RAM ou NVRAM. Alguns fabricantes também usam cartuchos de memória, que permitem a troca do programa com a troca do cartucho de memória. A capacidade desta memória varia bastante de acordo com o fabricante e modelo do PLC.

### **Memória de Dados**

É a região de memória destinada a armazenar os dados do programa do usuário. Estes dados são valores de temporizadores, valores de contadores, códigos de erro, senhas de

acesso, etc. São normalmente partes da memória RAM do PLC. São valores armazenados que serão consultados e ou alterados durante a execução do programa do usuário. Em alguns PLC's, utiliza-se a bateria para reter os valores desta memória no caso de uma queda de energia.

### **Memória Imagem das Entradas / Saídas**

Esta memória é onde a CPU, sempre que executa um novo ciclo de varredura, mapeia o estado das entradas ou saídas, tomando as decisões, durante o processamento do programa do usuário.

#### **2.4.2.3.3 - Interfaces de Entrada/Saída**

A interface de entrada/saída faz a conexão entre os dispositivos externos, conectados pelo usuário, e a memória de dados. Os módulos de entrada aceitam as tensões usuais de comando (24VCC, 127/220 VCA) e as transformam em tensões de nível lógico aceitos pela CPU. Os módulos de saída comutam as tensões de controle fornecidas, necessárias para acionar vários dispositivos conectados.

Os primeiros PLC's eram limitados a interfaces de E/S discretas, ou seja, admitiam somente a conexão de dispositivos do tipo *ON/OFF*, possibilitando assim, apenas um controle parcial do processo, pois a maioria das variáveis do processo como temperatura, pressão e vazão, são medidas e controladas através de dispositivos operados normalmente com sinais analógicos.

Nos PLC's atuais esta limitação já foi sanada e os mesmos já são providos de uma gama completa e variada de interfaces discretas e analógicas, que os habilitam a praticamente qualquer tipo de controle. Nestes PLC's os módulos ou cartões de E/S são organizados por tipos e funções, e agrupados em grupos de 2, 4, 8, 16 e até 32 "pontos".

Os cartões do CLP atual são normalmente do tipo de encaixe e, configuráveis, possibilitando com isso a combinação adequada de pontos de E/S, digitais e analógicas. A quantidade de pontos de E/S disponíveis no mercado de PLC's é muito alta, o que possibilita o controle de qualquer processo; sua quantidade varia desde 16 a 8192 pontos, normalmente, o que caracteriza a existência de pequenos, médios e grandes PLC's.

#### 2.4.2.3.4 - Fonte de Alimentação

A fonte fornece todos os níveis de tensão exigidos para as operações internas do CLP (Ex.: CPU, Memória, E/S). Para o caso das saídas necessitarem de reforço de corrente, uma fonte externa deve ser instalada, visando não sobrecarregar a fonte do CLP. A fonte de alimentação tem normalmente as seguintes funções básicas:

- Converter a tensão da rede elétrica (127 ou 220 VCA) para a tensão de alimentação dos circuitos eletrônicos, (+ 5VCC para o microprocessador, memórias e circuitos auxiliares e +/- 12 VCC para a comunicação com o programador ou computador);
- Manter a carga da bateria, nos sistemas que utilizam relógio em tempo real e memória do tipo RAM;
- Fornecer tensão para alimentação das entradas e saídas (12 ou 24 VCC).

#### 2.4.2.3.5 - Bateria

A bateria do CLP tem a função principal de manter o circuito do Relógio em Tempo Real, reter parâmetros ou programas (em memórias do tipo RAM), mesmo em caso de corte de energia, guardando assim, as configurações dos equipamentos. Normalmente são utilizadas baterias recarregáveis do tipo Ni - Cd ou Li. Para este caso, são incorporados no *hardware* do CLP os circuitos do carregador de bateria.

#### 2.4.2.4 - Programação do CLP

Segundo a IEC 1131-3, o único padrão global para programação de controle industrial, uma interface de programação deve permitir à pessoas com diferentes habilidades e formações a realização, especificação, projeto, implementação, teste, instalação e manutenção. Nesta padronização inclui-se a definição da linguagem *Sequential Function Chart* (SFC), usada para estruturar a organização interna do programa, e de quatro outras linguagens que possibilitem a programação do CLP: Lista de Instrução (IL), Diagrama Ladder (LD), Diagrama de blocos de funções (FBD) e Texto Estruturado (ST).

### 2.4.2.4.1 - Terminais de Programação

Os Terminais de Programação (ou maletas, como eram conhecidas), na segunda geração de PLC's eram na verdade Programadores de Memória EPROM. As memórias depois de programadas eram colocadas no PLC para que o programa do usuário fosse executado. Com a evolução da eletrônica estes terminais foram se modernizando e novas funções foram incorporadas, chegando aos modelos atuais como os da Figura 2.8.

Os atuais programadores são computadores pessoais ou industriais, mostrados na Figura 2.9, com os devidos softwares de configuração e de desenvolvimento da aplicação previamente instalados. Estes se comunicam com o CLP através de uma porta serial RS232 ou RS485 ou, para os PLC's mais novos, através da porta ethernet, por onde é possível configurar, fazer *upload* e *download* do aplicativo e ainda fazer a supervisão e controle *online* e *off-line* do processo alvo.

Devido a sua portabilidade os *notebooks* são mais usados atualmente na indústria como terminais de programação, enquanto os *desktops* são usados para desenvolvimento da aplicação e testes de plataforma.

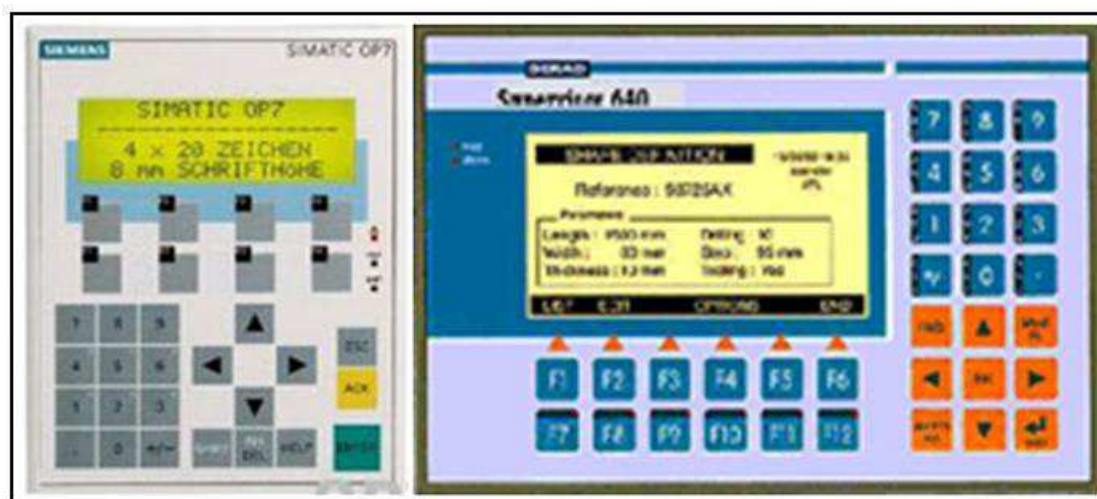


Figura 2.8 - Modelos de terminais de programação e operação



Figura 2.9 - Computadores pessoais utilizados como terminais de programação

#### 2.3.2.4.2 - Linguagens de Programação

Devido à reconhecida necessidade de se estabelecer um padrão para PLC's, por parte da comunidade industrial internacional, foi estabelecido um grupo de trabalho em 1979, junto ao IEC (*International Electro-technical Commission*), voltado ao estabelecimento de normas que regulem tanto a programação e o interfaceamento, quanto a constituição física dos controladores lógicos programáveis. Este grupo objetivava o projeto completo de PLC's (inclusive *hardware*), instalação, testes, documentação, programação e comunicações. A primeira parte do padrão foi publicada em 1992 (*General Information* – conceitos e definições de terminologias básicas). A parte 3, referente às linguagens de programação, foi publicada em 1993.

A IEC 1131-3 é o único padrão global para programação de controle industrial. O padrão estabelecido inclui a definição da linguagem *Sequential Function Chart* (SFC), usada para estruturar a organização interna do programa, e de quatro linguagens: Lista de Instrução (IL), Diagrama *Ladder* (LD), Diagrama de blocos de funções (FBD) e Texto Estruturado (ST).

Para a IEC 1131-3, uma interface de programação padrão permite a pessoas com diferentes habilidades e formações criar elementos diferentes de um programa durante estágios diferentes do ciclo de vida de um software: especificação, projeto, implementação, teste, instalação e manutenção.

Para se realizar a programação de um PLC é possível, para a maioria dos modelos comerciais, fazer uso de várias linguagens de programação, que às vezes, dependendo do modelo do PLC são intercambiáveis entre si, como o caso da *Ladder* e STL usadas no PLC da Siemens, S7300-2DP. A seguir é feita uma breve explanação sobre as mais utilizadas linguagens de programação de PLC's e que são padronizadas pela IEC 1131-3.

### Diagrama Ladder (LD)

Linguagem baseada na representação gráfica de lógica de relés em escada. Esta representação é bastante similar a um digrama de circuitos elétricos e por isso é a linguagem preferida daqueles que já detêm experiência em comandos e circuitos elétricos. Nesta linguagem são usados símbolos como contatos e bobinas, muito similares aos usados, por exemplo, no diagrama de controle de contadores (SIEMENS, 2003).

A Figura 2.10 mostra um programa simples usando a linguagem de progração Ladder usando como ambiente de desenvolvimento o PASSO 7 - Simatic Manager, no intuito de familiarizar o leitor deste trabalho com o ambiente de desenvolvimeto do PLC utilizado neste projeto e também as diferenças entre as diversas linguagens de programação.

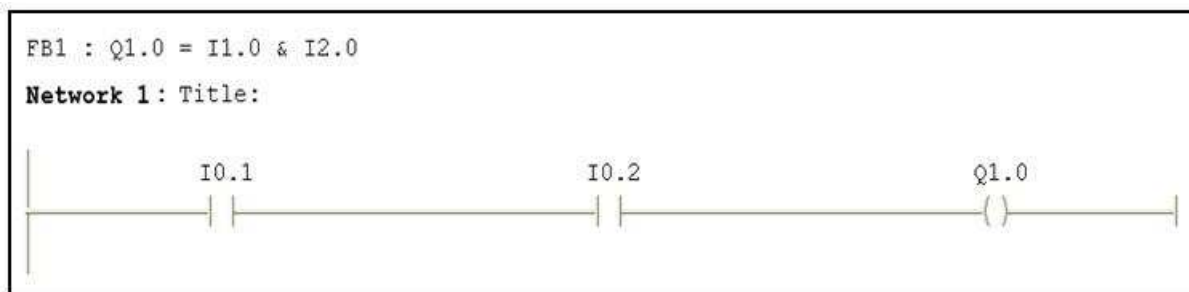


Figura 2.10 - Programa exemplo em linguagem Ladder

### Lista de instruções (STL)

Linguagem textual semelhante ao assembler. No PASSO 7 pode-se programar de forma livre em STL. Como esta linguagem é bastante abrangente, tem-se que redobrar os cuidados para não tornar os programas ininteligíveis. Esta linguagem tem a preferência dos programadores experientes. A Figura 2.11 mostra o programa exemplo em linguagem STL.



```

FB1 : Q1.0 = I1.0 & I2.0
Network 1 : Title:
      A      I      0.1
      A      I      0.2
      =      Q      1.0
    
```

Figura 2.11 - Programa exemplo em linguagem STL

Diagrama de blocos (FBD)

Linguagem muito comum na indústria de processos, ela expressa o comportamento de funções, blocos de funções e programas como um conjunto de blocos gráficos interconectados. Esta linguagem assemelha-se à representação de um sistema em termos do fluxo de sinais entre os elementos de processamento.

Esta linguagem se utiliza de “caixas” para representar funções individuais. O caractere na caixa, neste caso o “&”(Figura 2.12) simboliza a função da caixa, que neste exemplo, representa a operação lógica AND de duas entradas binárias, que caso seja verdadeira atribui à saída o valor 1.



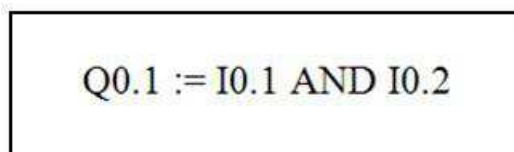
Figura 2.12 - Programa exemplo em linguagem FBD

Texto estruturado (ST)

É uma linguagem muito poderosa, com suas raízes em Pascal e "C". Pode ser usada na definição de blocos de função complexos, que podem ser utilizados com quaisquer outras linguagens, e no detalhamento das ações e transições de um programa (JACK, 2008). Esta contém os elementos essenciais de uma linguagem de programação moderna, tais como: os condicionais (*IF-THEN-ELSE* e *CASE OF*) e iterações (*FOR*, *WHILE* e *REPEAT*). Da mesma

forma que as outras linguagens, como Pascal e “C”, estes elementos podem ser aninhados. (PLC Open, 2008)

O PLC usado no projeto não contempla a programação nesta ST, como também não prevê programação em SFC A Figura 2.13 ilustra como ficaria o programa exemplo se fosse realizado em ST.



```
Q0.1 := I0.1 AND I0.2
```

Figura 2.13 - Programa exemplo em linguagem ST

### Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC)

Linguagem que descreve graficamente o comportamento seqüencial de um programa de controle. Esta linguagem, bastante utilizada, deriva-se de redes de Petri e do Grafcet IEC 848. O SFC estrutura a organização interna de um programa, decompondo um complexo problema de controle em partes gerenciáveis, enquanto mantém uma visão global da solução do problema. (PLC Open, 2008)

O SFC consiste em um conjunto de passos, ligados a blocos de ação e transições. Cada passo representa um estado do sistema que se está controlando. A transição é associada à condição que deve ser avaliada. Quando a condição é cumprida desativa-se o passo anterior e ativa-se o passo seguinte. Cada elemento do SFC pode ser programado em qualquer linguagem padronizado pela IEC, inclusive o próprio SFC. O SFC prevê, inclusive, a implementação de seqüências paralelas, como usualmente requeridas em aplicações de processos *batch*. (PLC Open, 2008)

A Figura 2.14 exemplifica um pequeno programa onde podem ser observados facilmente os elementos que formam a linguagem “Passo”, Condição e Transição. Para o presente projeto esta linguagem também não se aplica. Entretanto, usou-se dela para descrever os procedimentos de partida e de parada automática do sistema de dessalinização, conforme pode ser visto no capítulo 4, cujos grafkets são mostrados no anexo A7, deste documento

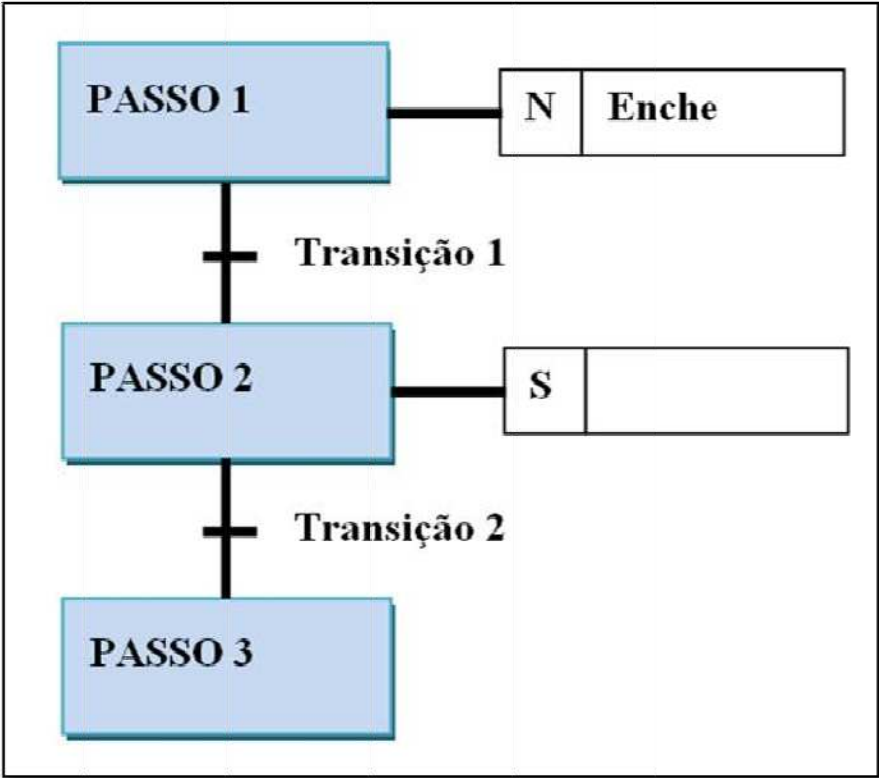


Figura 2.14 - Programa em SFC

### **3.0 - MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1- Infra-estrutura**

Devido à originalidade do projeto varias ações de infra-estrutura foram necessárias para a realização do mesmo. Estas ações foram tomadas para viabilizar tanto os testes no LABDES, quanto a instalação e operação na Vila.

##### **3.1.1 - Infra-estrutura do LABDES**

No âmbito do LABDES contou-se com as instalações e com equipe permanente no apoio de todas as atividades desenvolvidas, independentemente da participação efetiva ou não do profissional no projeto. O Laboratório de Referência em Dessalinização já dispunha, quase integralmente, de toda a infra-estrutura necessária à realização do projeto

Entretanto, algumas ações pontuais ou adequações foram necessárias, tais como: Aquisição de dois reservatórios de 2 m<sup>3</sup> para a operação do dessalinizador e transformador trifásico de 10 kVA de 127V entre fase e neutro para simular a tensão de alimentação da Vila uma vez que só se dispunha, anteriormente de nível de tensão em 220V entre fase e neutro (padrão da UFCG).

##### **3.1.2 - Infra-estrutura da Vila de Sucuriu**

Devido às grandes dificuldades de acesso à localidade onde o sistema foi implantado foram necessárias várias ações para adequação da infra-estrutura local, dentre elas podem-se citar: Construção de plataforma de madeira para suporte dos reservatórios de água e do abrigo do dessalinizador; Perfuração de poço para captar a água de alimentação mais limpa; Construção de trapiche e da plataforma para captação e adução da água do Rio Sucuriu, etc.

###### **3.1.2.1 - Perfuração do Poço**

A perfuração de um poço é essencial para captar a água com turbidez baixa, pois a água do rio apresenta, conforme laudo de análise físico-química N<sup>o</sup> 103/2003, turbidez com valor acima de 300 NTU. O processo se deu em quatro tentativas. A primeira, durante a construção do abrigo, que demandou três meses, e as outras três durante outra expedição que

também demandou aproximadamente três meses. A primeira tentativa de perfuração não logrou sucesso, principalmente, devido ao desconhecimento da geofísica da região (Figura 3.1) e ao colapso do poço (120 m) durante o procedimento de limpeza (Figura 3.2) e desinfecção do mesmo (Figura 3.3).



Figura 3.1- Efeito das Inundações devido à maré no local do Poço 1

Mesmo com o insucesso desta primeira tentativa, insistiu-se na perfuração de um novo poço, pois a obtenção de uma água de melhor qualidade diminuiria drasticamente os custos com o pré-tratamento físico-químico. Contudo, encontrou-se água salobra numa profundidade de aproximadamente 120 metros e enfrentou-se muita dificuldade na operação de perfuração do referido poço.

Resolveu-se então perfurar um novo poço próximo da plataforma do abrigo do sistema de dessalinização, pois acreditava-se que a salinidade da água seria a mesma do primeiro poço e não ter-se-ia tanta dificuldade para executá-lo. Com isso, diminuiríamos os custos com material hidráulico e elétrico, e teríamos uma maior facilidade de operação na perfuração e no funcionamento normal de todo o sistema.



Figura 3.2 - Limpeza do poço com compressor



Figura 3.3 - Desinfecção química

A princípio a perfuração se deu muito facilmente, pois neste novo local o acesso para ferramentas era mais fácil. Entretanto ao se alcançar à profundidade de aproximadamente 60 metros percebeu-se que o terreno começou a ceder provocando erosão na borda do furo. Esta erosão levou a temer até mesmo pela integridade física das construções próximas ao poço, pois não se sabia como o terreno se comportaria mais tarde. Portanto, abandonou-se o segundo poço e procurou-se uma nova área, mais afastada e mais firme.

Na tentativa de superar todas as dificuldades anteriores insistiu-se na terceira perfuração em uma área entre as casas e a mata, onde o terreno se apresentava mais firme. Nas proximidades do local escolhido já houve uma tentativa de perfuração onde o terreno não

cedeu. De início tudo ocorria conforme o esperado; entretanto, ao se chegar à profundidade de aproximadamente 115 metros a terceira haste de aço que suporta a broca quebrou.

Após vários dias sucessivos de atividades para resgatar a broca e as três hastes dentro do furo não se alcançou o objetivo, ficando-se impossibilitado de prosseguir na perfuração. Imaginando que houvesse água nos 100 metros que restava livre no furo, resolveu-se fazer a perfilagem do mesmo para garantir se haveria água na vazão necessária para o sistema. Infelizmente a perfilagem, conforme laudo emitido pelo Departamento de Geofísica da UFPA mostrado no anexo A10 deste documento, não diagnosticou a presença de água, pelo fato de que, possivelmente, durante as tentativas de resgatar a broca, aconteceu soterramento de aproximadamente 20 metros, o que não possibilitou a perfilagem completa dos 120 m do furo.

### 3.1.2.2 - Captação e adução da água do Rio Sucuriju

Após todos os insucessos, e considerando a necessidade urgente na implantação do sistema, partiu-se então para a segunda abordagem prevista, a captação da água do rio. Esta captação foi projetada de tal forma que fosse flexível em relação ao regime de marés e ao fenômeno da pororoca. A captação da água do rio, como projetada, é mostrada na Figura 3.4 e para melhores detalhes podem ser vistos no anexo C deste documento.

Um trapiche, conforme mostra Figura 3.5, foi construído pelo Governo do Estado do Amapá, como contrapartida, ligando a plataforma do dessalinizador à margem do rio, com aproximadamente 35 metros de comprimento. O trapiche serve como suporte para a adução. Seu comprimento foi determinado de modo a possibilitar a maior independência possível da captação de água com relação ao regime de marés e da pororoca.

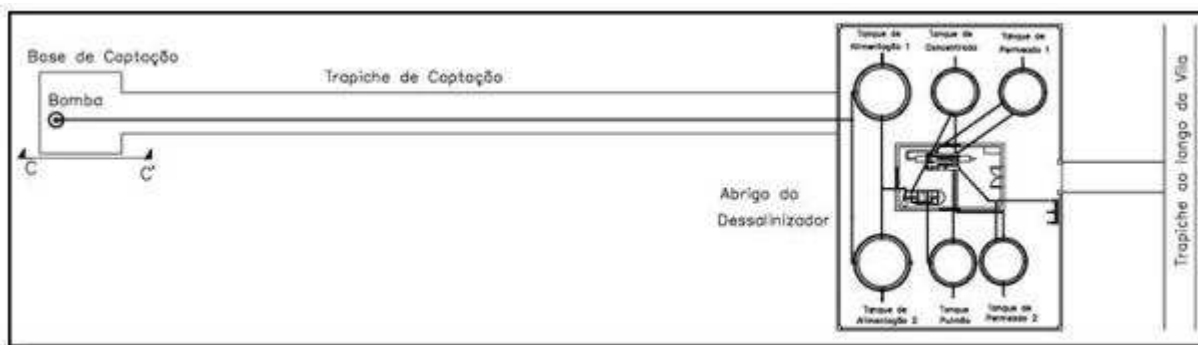


Figura 3.4 - Planta baixa da captação de água do rio realizada no projeto





Figura 3.5 - Trapiche da captação da água do rio

A água do rio é captada por intermédio de uma bomba submersível, instalada, conforme Figura 3.8 e Figura 3.9, dentro de um tubo, com a finalidade de protegê-la de possíveis choques com troncos flutuantes carregados pela pororoca. A bomba, do modelo 2303SDE, de 3 CV de potencia fabricada pela Dancor, tem a capacidade de recalque  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ .

A água captada é depositada em dois reservatórios de  $10 \text{ m}^3$  para que haja a decantação, uma vez que ela tem uma altíssima turbidez, como pode ser visualizado na Figura 3.6. O valor medido para a turbidez no LABDES, quando da análise físico-química, foi superior a 200 UT e pelo testes de decantação realizado o valor medido foi 311 NTU (SILVA,2006). O valor máximo permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 518/04 MS) para a turbidez é 5 UT. Esta alta turbidez é devida principalmente ao carreamento, por efeito da maré e da pororoca, de materiais argilosos e arenosos do leito do rio Amazonas até a foz no oceano Atlântico, nas imediações da Vila e da boca do rio Sucuriu.





Figura 3.6 - Amostra da água do Rio Sucuriu mostrando alta turbidez

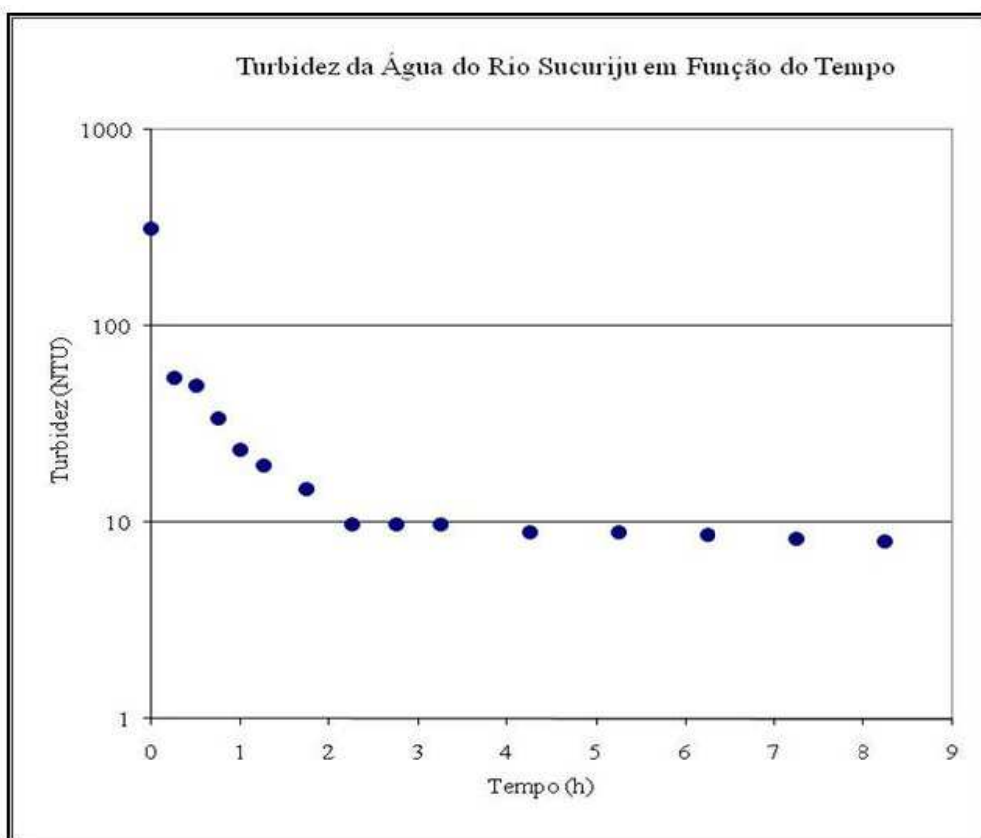


Figura 3.7 - Processo de decantação água do Rio Sucuriu em função do tempo.

Com intuito de validar o processo de decantação projetado, realizou-se experimentos que avaliavam o tempo necessário para que a turbidez fosse reduzida a valores toleráveis para o sistema de dessalinização. O resultado para estes experimentos são mostrados na Figura 3.7 e, como visto o processo de decantação sem a necessidade de nenhum flocculante é bastante efetivo, indicando assim a plena viabilidade do processo. Entretanto, indica também a necessidade do polimento na água através de processos de filtragem descritos a seguir.

Depois da decantação nos reservatórios de água bruta, a água passa por um processo de filtração multimeios, dois filtros em paralelo, reduzindo ainda mais sua turbidez. Finalmente, após este pré-tratamento físico, esta água é depositada em um tanque pulmão de 5 m<sup>3</sup>.

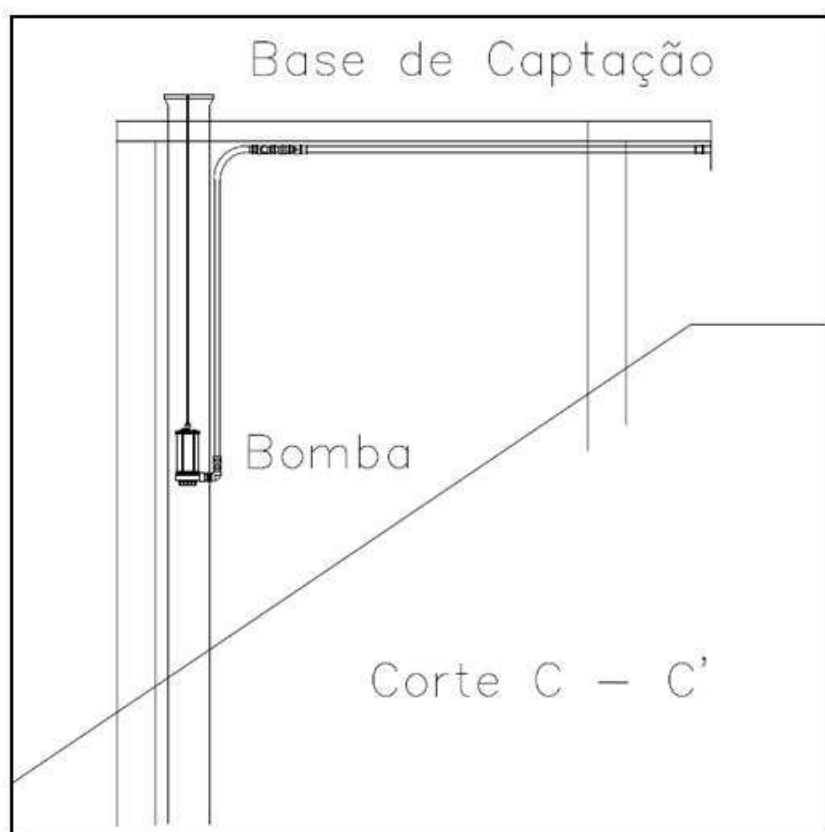


Figura 3.8 - Detalhe da captação de água do rio - Corte C-C'



Figura 3.9 - Detalhe da tubulação para proteção e da bomba de captação

### 3.1.2.3 - Abrigo do Dessalinizador

Foi projetado um abrigo de madeira, conforme mostrado na Figura 3.10, com 15m<sup>2</sup> de área útil, sendo 5 m de comprimento e 3m de largura, e uma plataforma também de madeira com 15 m de comprimento e 12 m de largura, ambos seguindo o estilo das construções locais existentes, para abrigar e suportar o sistema de dessalinização. Para a execução do serviço de construção do abrigo e da plataforma foi contratada mão-de-obra local com habilidades em carpintaria. Todo material necessário para a construção do mesmo foram adquiridos em Macapá.

Na construção do abrigo, mostrado nas Figuras 3.11 e 3.12, além da supervisão, contou-se com três carpinteiros e dois ajudantes,

O trabalho foi realizado no tempo estipulado. Além das dificuldades supracitadas teve-se que aumentar a plataforma, devido à necessidade de se colocar mais tanques para fazer a decantação da água do rio, uma vez que a alternativa de usar a água do poço não obteve sucesso. Além disso, teve-se que reforçar a estrutura de sustentação da plataforma, Figura 3.13, pois a capacidade de armazenamento de água passou de 20 para 40 m<sup>3</sup>.

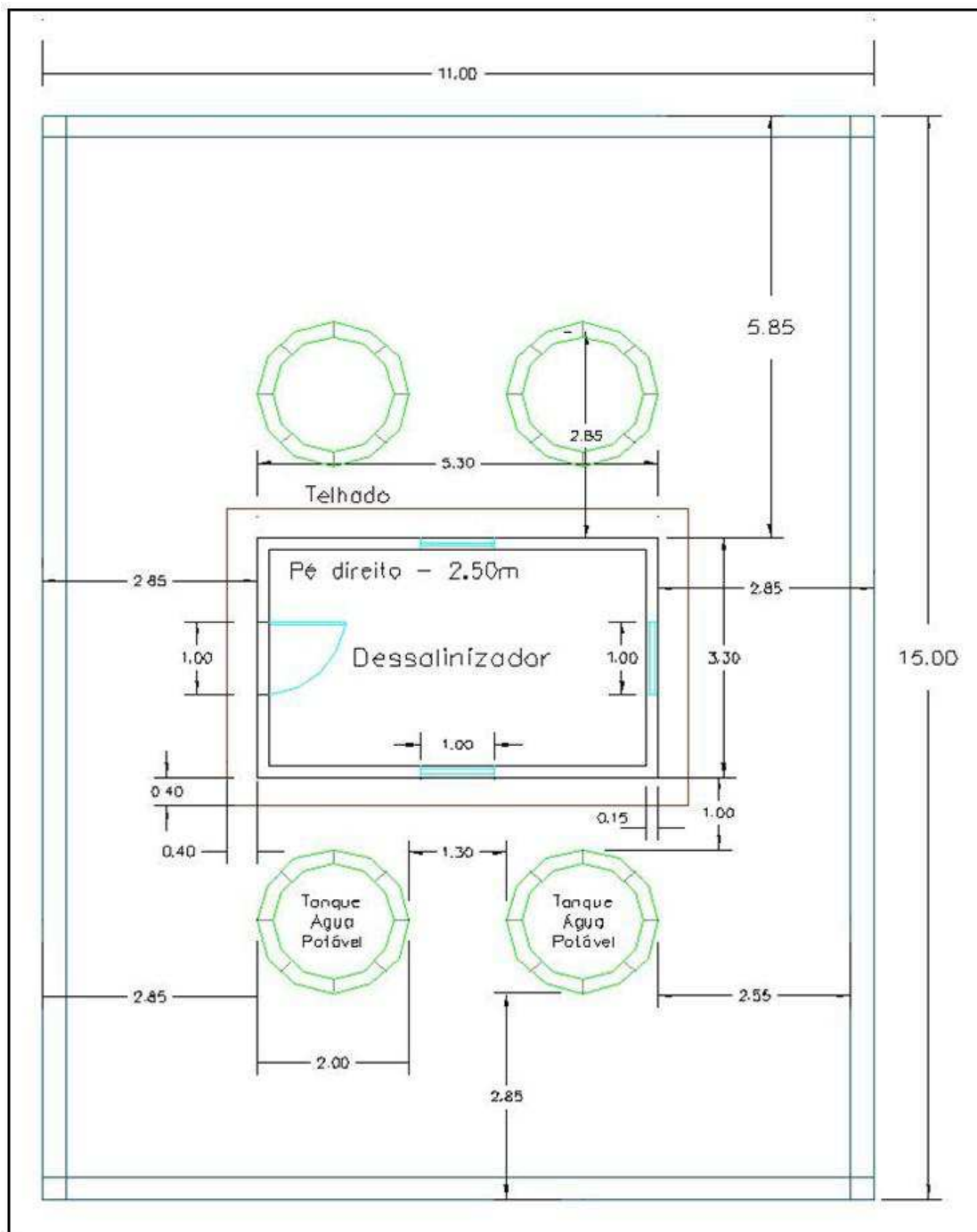


Figura 3.10 - Planta baixa do abrigo e da plataforma do sistema de dessalinização

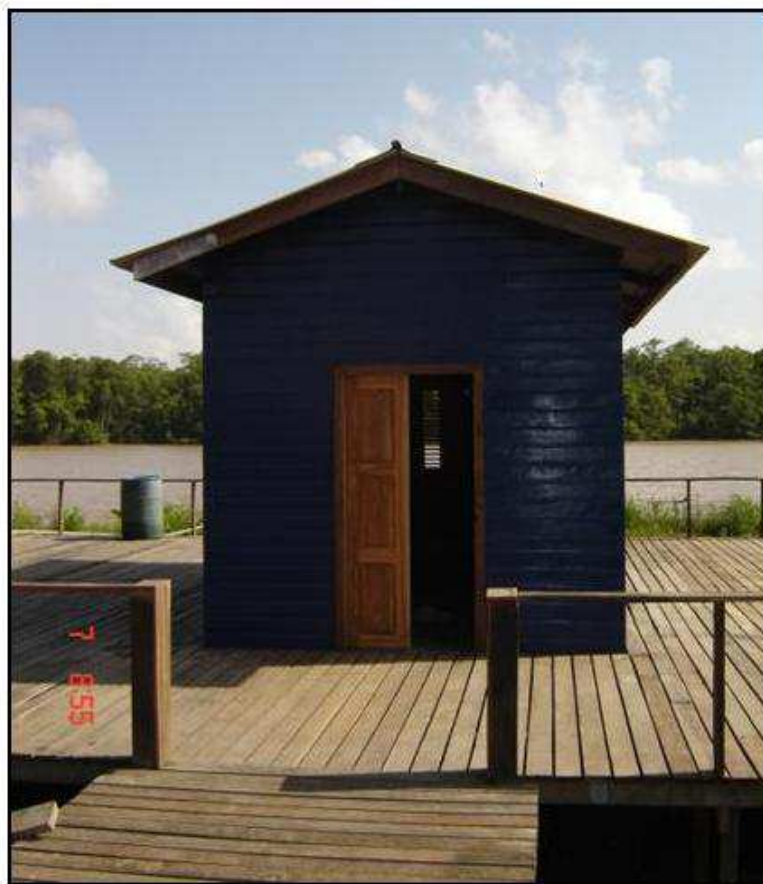


Figura 3.11 - Vista frontal do abrigo do dessalinizador localizada no final da Vila

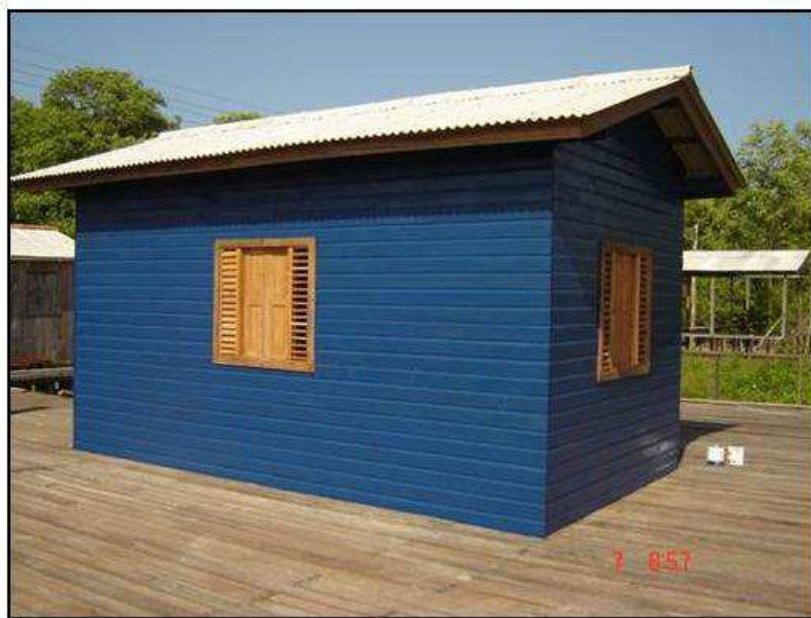


Figura 3.12 - Vistas lateral e posterior do abrigo do dessalinizador



O reforço necessário devido a alteração da carga da plataforma foi feito com esteios, que foram usados principalmente nas vigas e colunas de sustentação de toda a plataforma, como pode ser visto na Figura 3.13.



Figura 3.13 - Vista da fundação da plataforma/abrigo

### 3.2 - Dessalinizador

O equipamento de dessalinização de água via osmose inversa, mostrado na Figura 3.15, foi projetado no LABDES a partir dos dados levantados através das análises físico-químicas das amostras de água coletados, Figura 3.14, previamente na Vila. Usou-se como auxílio ao desenvolvimento do projeto o *software* de simulação de sistemas de dessalinização ROSA 6.1.4, *Reverse Osmosis System Analysis*, disponibilizado por *The Dow Chemical Company*. De posse dos parâmetros levantados na análise da água, foi contratada uma empresa local para montar o dessalinizador projetado, o qual foi entregue conforme mostrado na Figura 3.15.



Figura 3.14 - Coleta de amostra de água para análise no LABDES



Figura 3.15 - Dessalinizador entregue sem a instrumentação digital

### 3.2.1 - Descrição do Sistema Implantado

O sistema projetado e instalado é completamente descrito pelo fluxograma e pelo projeto hidráulico mostrados nas Figuras 3.16 e 3.4, e nos anexos A8 e C, respectivamente. Entretanto, para que haja uma compreensão completa do mesmo achou-se necessário uma descrição mais detalhada, feita a seguir.

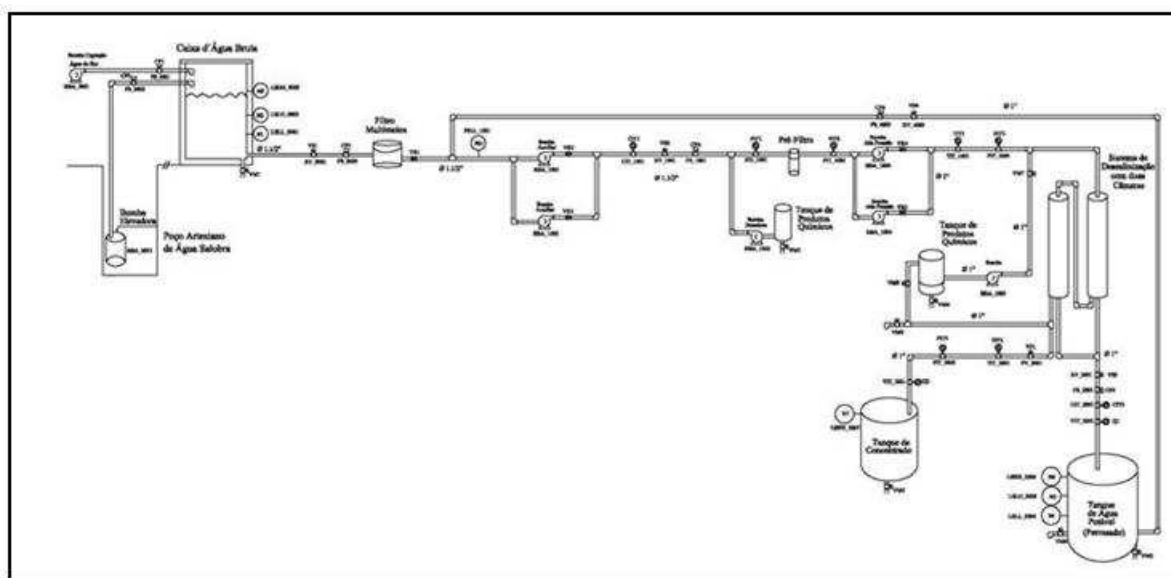


Figura 3.16 - Fluxograma do sistema de dessalinização

#### 3.2.1.1 - Processos de Filtração

Após a decantação, a água sofre dois processos de filtrações sucessivas no intuito de se reduzir a turbidez da água que permeará as membranas. Primeiramente tem-se, conforme mostrado na Figura 3.17, um conjunto de dois filtros de areia, modelo DFR-24, também fabricados pela Dancor, que são compostos por dois vasos e uma bomba de recalque, autoescovante PF-22, de 1,5 CV, Figura 3.18, que força a água a passar pelos filtros e em seguida deposita-a em um tanque pulmão de 5 m<sup>3</sup>.





Figura 3.17 - Filtro de areia, modelo DFR-24,



Figura 3.18 - Bomba de recalque dos filtros de areia

Depois que a água é pré-filtrada ela novamente é impulsionada por uma bomba auxiliar, série CAP (booster), modelo 2.1-B-11, da Dancor, de 3/4 CV, através do filtro de cartucho de polipropileno expandido com poros de 5  $\mu\text{m}$  (Figura 3.19). Esta nova filtragem reduz a turbidez da água que permeará as membranas para um valor de 0,7 NTU. Este valor é adequado para a água de alimentação, uma vez que o fabricante das membranas recomenda

um valor inferior 1 NTU, caso contrário as incrustações reduziram muito a vida útil das membranas. (FILMITEC, 2008).



Figura 3.19 - Detalhe do filtro de cartucho e vasos de alta pressão

### 3.2.1.2 - Processos de Permeação

A água após o processo de filtração, alimenta a linha a montante da bomba de alta pressão, também da Dancor, série CAP (booster), modelo 8.3-B-25 de 5 CV, que por sua vez, proporciona uma pressão superior a 17 kgf/cm<sup>2</sup>, possibilitando a permeação nas membranas para a produção desejada. Na linha de entrada de água das membranas é adicionado, por

intermédio de uma bomba dosadora, um anti-incrustante, “Flocon 100” da “BioLab *Water Additives*”, numa concentração 1mg/L e vazão de 1,75 L/h.

O processo de dessalinização acontece no interior dos vasos de alta pressão em série de 2 metros de comprimento. No interior dos vasos (Figura 3.19) estão dispostas 2 membranas em série do tipo BW30-400/34i da “Filmtec”. Cada membrana possui uma área ativa de 37 m<sup>2</sup> (FILMITEC, 2008).

### **3.2.1.3 - Processos de Retro-lavagem**

Após cada operação de dessalinização o operador local deve acionar o processo de limpeza química das membranas. Este processo deve ser iniciado com o sistema parado; e se inicia com o acionamento da bomba de limpeza química que fará o enxágue das membranas com a água do permeado. Este processo é eficiente para impedir a deposição do sal na superfície das membranas, diminuindo-se assim, o rendimento da permeação.

## **3.3 - Automação do Sistema de Dessalinização**

Devido aos inúmeros problemas enfrentados concernentes à logística e às intempéries da região, viu-se a necessidade de automatizar o sistema de dessalinização. A automação é baseada no controlador lógico programável, que é responsável por realizar todas as operações lógicas e matemáticas necessárias ao perfeito funcionamento da planta.

Além de realizar o interfaceamento com a topologia de rede adotada (Ethernet) em Sucuriú, conforme mostra a Figura 3.20, e fazer todas as leituras das entradas do processo, o PLC também é responsável por ativar as saídas para fechar as válvulas solenóides, regular abertura de válvula proporcional e partir moto-bombas, além de adquirir todos os sinais analógicos da planta, inclusive os dos inversores que partem os motores elétricos principais que estão em rede (Profibus DP da Siemens).

### **3.3.1 - Metodologia aplicada à Automação**

Inicialmente, quando do comissionamento do projeto, foram definidas as metas que se pretendiam alcançar e partiu-se então para a definição das estratégias que seriam adotadas

no sentido de adequar o dessalinizador, para que toda a instrumentação digital e a automação propriamente dita fossem implantadas.

Um ponto essencial, que repercute decisivamente no desenvolvimento do projeto, é a escolha dos equipamentos, uma vez que, devido à grande diversidade de fabricantes e modelos, e por conseqüência, grandes diferenças observadas no que diz respeito ao interfaceamento, programação e operação, tornariam mais fácil ou mais difícil o desenvolvimento da automação. Além disto, a confiabilidade dos equipamentos, a padronização e também o custo foram aspectos decisivos por escolher os equipamentos que doravante são mencionadas.

A metodologia que será aplicada nesse projeto foi inspirada na utilizada pelas melhores empresas de desenvolvimento e integração de sistemas, estando assim, em plena conformidade com as tendências da automação industrial contemporânea.

### **3.3.1.1 - Elaboração de Documentação Preliminar**

Vários documentos têm que ser gerados para que o andamento do projeto não seja prejudicado. Eles têm a principal função de nortear e gerenciar a execução do projeto, assim como alimentar com dados todas as etapas e desenvolvedores, já que o projeto foi desenvolvido por mais de um projetista.

Uma seqüência lógica é seguida para a criação destes documentos, e esta está embasada nas experiências anteriores que os projetistas detêm de quando atuavam na indústria desenvolvendo, implantando e dando manutenção nos sistemas de controle e elétricos. A ordem macro da criação destes documentos, cuja relevância é discutida a seguir, é a seguinte:

- Topologia;
- Redes Lógicas;
- Lista de Motores;
- Lista de Instrumentos;
- Detalhamento de Entradas e Saídas (DIO);
- Base de Dados (BD);
- Graficets de Partida e Parada Automática do Sistema.

Depois de ter todos estes documentos elaborados, que podem ser visualizados em detalhes no anexo A deste documento, partiu-se então para a criação dos aplicativos do supervisor e do PLC.

### 3.3.1.1.1 - Topologia

A definição da topologia do sistema é indispensável que seja realizada no início do projeto, pois ela auxilia na determinação dos equipamentos que deverão ser comprados e na abordagem que deve ser feita para realização dos aplicativos. É a partir da topologia que a aquisição dos equipamentos é feita, garantindo-se assim, que os mesmos sejam plenamente intercomunicáveis entre si e o resultado final da automação seja alcançado.

Para o caso do Projeto Sucuriju escolheu-se a topologia Ethernet devido à alta velocidade alcançada no tráfego da comunicação, facilidade de conexão e simples configuração. Estas facilidades são devidas, principalmente, à grande difusão de uso destes equipamentos na indústria e a ser um padrão bastante consolidado. A única forma de comunicação presente na Vila é um telefone público satelital da Telemar. Por isto fez-se um contato com a Telemar, intermediado pelo Governo do Estado do Amapá, onde foi fechado o acordo de parceria em que a empresa de telecomunicação forneceria um *link* rápido em ethernet, banda larga, via satélite.

Este ponto de ethernet seria compartilhado através de um *switch* entre as duas edificações do projeto na Vila e possivelmente com a escola, para proporcionar a inclusão digital dos habitantes da Vila. A Figura 3.20 retrata como funcionará a intercomunicação do sistema de dessalinização com a sala de supervisão no LABDES. Esta topologia aplicada possibilita, via *web*, a monitoração, a supervisão e até mesmo o controle por qualquer instância ou parceiro do projeto, desde que haja liberação por parte da coordenação LABDES. O Anexo A5 deste documento possibilita visualização com maiores detalhes da topologia do sistema.

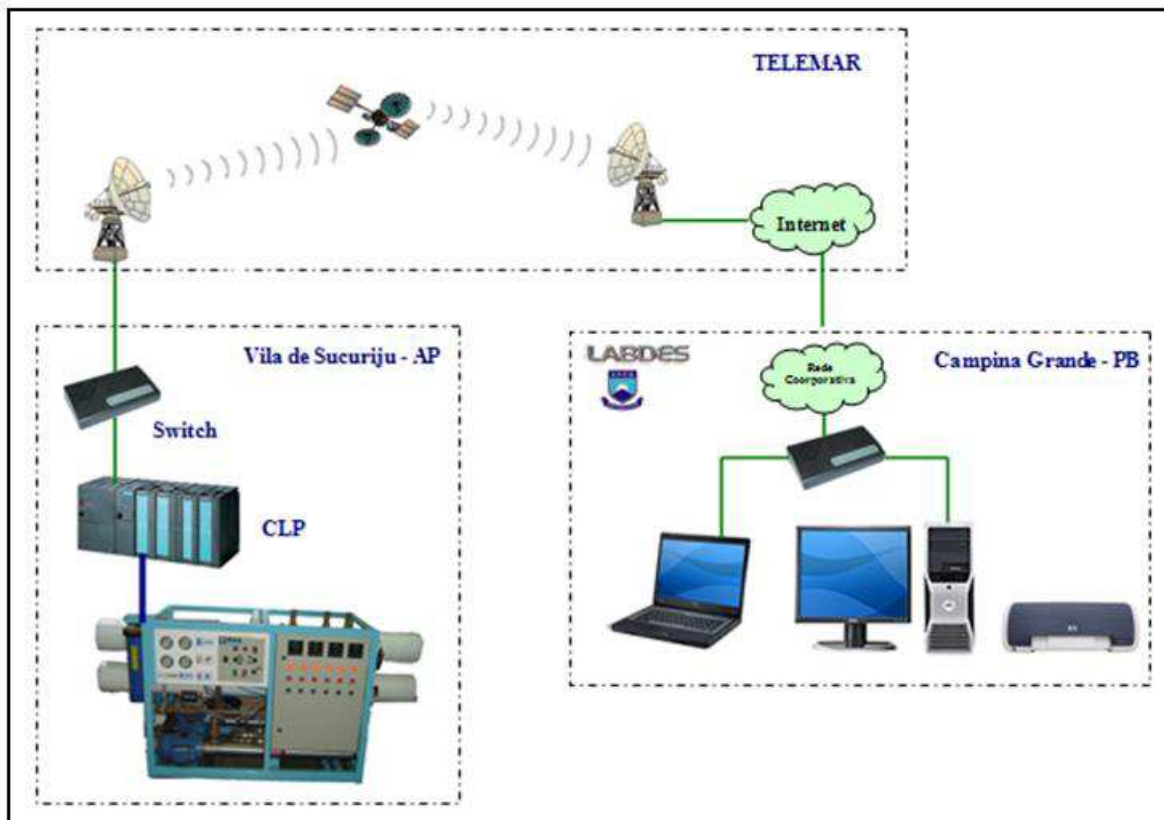


Figura 3.20 - Topologia do sistema

Todo o sistema de dessalinização é controlado pelo PLC, caso o mesmo esteja chaveado na posição automático ou em remoto, ou, simplesmente monitorará passivamente caso esteja no modo local.

O CLP realiza a leitura das variáveis da planta e realiza as ações de controle. Além disso, aplicativo do usuário, ele toma decisões ou simplesmente disponibiliza para um microcomputador dedicado, locado na Sala de Energia do LABDES, via internet sob um endereço IP fixo e pré-configurado, os estados da memória interna e também o estado atual das entradas e saídas. Neste computador está instalado uma licença “Run Time” (RT) do *software* supervisorio WinCC da Siemens, adquirido para este fim, que fará a interface homem-máquina remota com o PLC.

No próximo capítulo é detalhado pormenorizadamente o papel do CLP e do Supervisorio na automação, como também as lógicas e pré-configurações desenvolvidas exclusivamente para este sistema.



### 3.3.1.1.2 - Redes Lógicas

A comunicação entre o PLC, painel de automação na Vila, com a estação supervisória, no LABDES, só será possível através do *link* ethernet provido pela Telemar mediante cumprimento do acordo de parceria firmado sobre a intermediação do Governo do Estado do Amapá e esta empresa. Além da comunicação com a estação supervisória, a comunicação ethernet é realizada entre a CPU do PLC e o terminal de programação, um *notebook* com os *softwares* dedicados instalados, o que garante alta velocidade no tráfego de dados e bastante facilidade de interconexão. Esta rede lógica é mostrada na Figura 3.21 e no Anexo A6.

Para possibilitar o monitoramento dos parâmetros dos motores, como sua velocidade e a corrente elétrica, e também controlar a operação à distância e localmente escolheu-se usar *drivers* inteligentes, os inversores, que se comunicam com o CLP através de rede, Figura 3.22, rede proprietária, não aberta, Profibus DP da Siemens. Esta estratégia garante a confiabilidade de monitorar o funcionamento dos motores da planta e interferir neste funcionamento, fazendo, em tempo de execução, ajustes nos parâmetros internos de alarmes dos inversores.

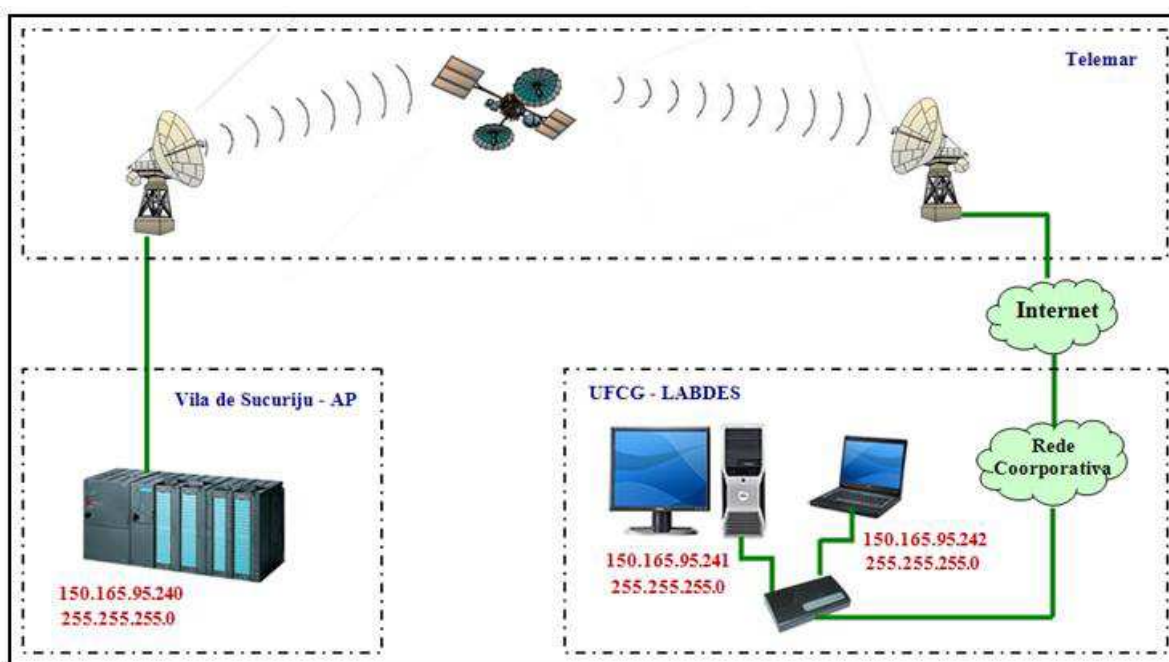


Figura 3.21- Rede ethernet do projeto



Figura 3.22- Rede Profibus DP

A implementação da comunicação só é possível se todos os entes da rede tiverem um endereço, fixo e individual, pelo qual o mestre da rede, neste caso o CLP, acessa a memória interna dos escravos, inversores, e aquisita os dados de memória e aciona a partida, a parada, realizando ainda o rearme das proteções internas. A comunicação em Profibus DP alcança taxas de 12 Mbps e pode ser configurada conforme a Figura 3.23.

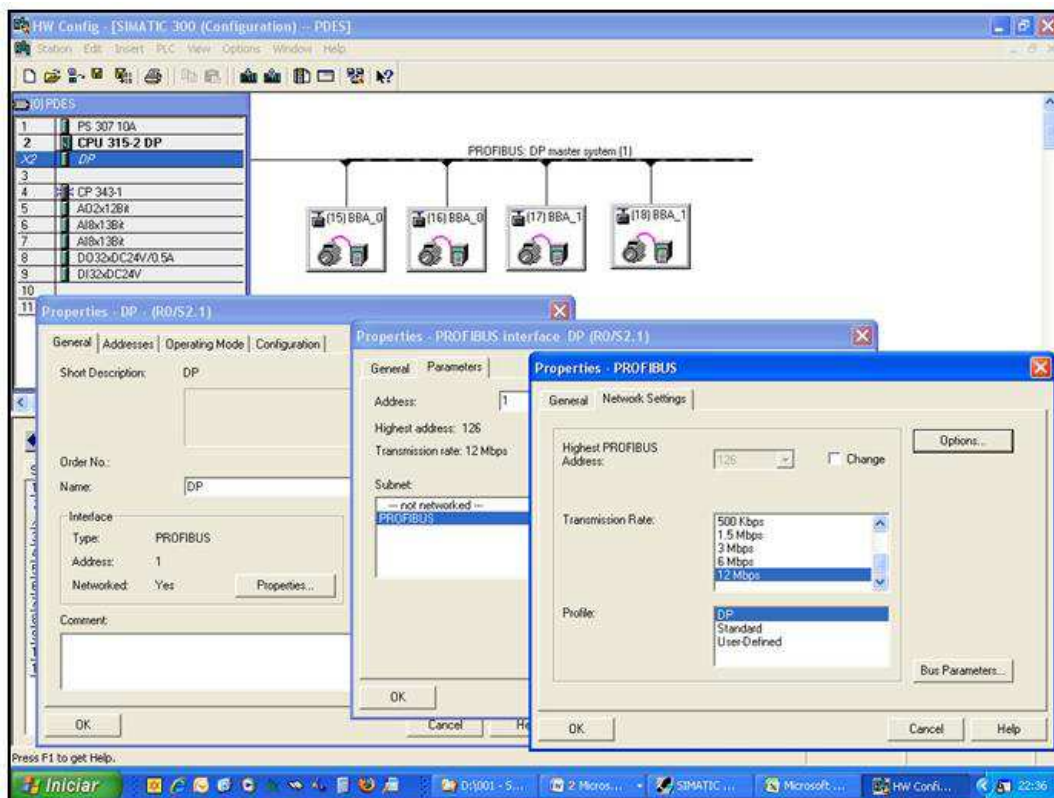


Figura 3.23 - Configuração da taxa de comunicação da rede Profibus DP



### 3.3.1.1.3 - Lista de Motores

Criar a lista de motores, apesar de ser muito simples, é muito importante para a escolha dos *drivers* de partidas que irão ser adquirido. A definição do nível de tensão que alimenta cada moto-bomba também é imprescindível. No caso de Sucuriçu, onde a rede de distribuição trifásica que abastece a Vila, oriunda do antigo gerador, e também, do sistema híbrido implantado, tem o nível de tensão em 220 V trifásico ou 127 V monofásico, por isso definiu-se os motores conforme mostra a Tabela 3.1. Maiores detalhes podem ser vistos no anexo A3 deste documento.

Tabela 3.1 - Lista de motores do projeto

LISTA DE MOTORES (CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS)							
Cliente:	Sucuriçu						
Aplicação:	Sistema de Dessalinização de Água						
Data:	31/7/2006						
Autor:	Esivaldo						
Revisão:	03						
ITEM	TAG CAMPO	TAG ESQUEMA	DESCRIÇÃO	POTÊNCIA CV	TENSÃO	ALIMENTAÇÃO	TIPO DE PARTIDA
1	BBA1	BBA_0001	Motor 1 - Bomba Captação de Água Rio	3	220 V	Trifásica	Inversor
2	BBA2	BBA_0002	Motor 2 - Bomba de Recalque dos Filtro	1,5	110 V	Monofásica	Inversor
3	BBA3	BBA_1001	Motor 3 - Bomba Auxiliar 1	0,75	110 V	Monofásica	Inversor
4	BBA4	BBA_1002	Motor 4 - Bomba Auxiliar 2	0,75	110 V	Monofásica	Inversor
5	BBA4	BBA_1003	Motor 5 - Bomba Dosadora	0,03	110 V	Monofásica	Direta
6	BBA5	BBA_1004	Motor 6 - Bomba Alta Pressão 1	5	220 V	Trifásica	Inversor
7	BBA6	BBA_1005	Motor 7 - Bomba Alta Pressão 2	5	220 V	Trifásica	Inversor
8	BBA6	BBA_3001	Motor 8 - Bomba de Retrolavagem	0,5	220 V	Trifásica	Direta
9	BBA7	BBA_5001	Motor 9 - Bomba Captação de Água Poço	3	220 V	Trifásica	Inversor

### 3.3.1.1.4 - Instrumentação

O levantamento da instrumentação é um documento essencial em qualquer projeto de automação, pois é nele, onde todos os instrumentos que se pretende implantar são descritos. É nesse documento onde a faixa do instrumento é definida e os valores de alarmes e defeitos são pré-determinados para o processo. A Tabela 3.2, mostra um detalhe da instrumentação realizada para o Projeto Sucuriçu. Maiores detalhes podem ser vistos no anexo A2 deste documento.

Tabela 3.2 - Detalhe da lista de instrumentação

LISTA DE INSTRUMENTOS (CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS)										
Cliente:		Sucuriçu								
Aplicação:		Sistema de Dessalinização de Água								
Data:		31/7/2006								
Autor		Esivaldo / Felix								
Revisão:		03								
ITEM	TAG CAMPO	TAG ESQUEMA	DESCRIÇÃO	ESCALA		UNID ENG*	LL	LO	HI	HH
				INÍCIO	FIM					
1	TIT1	TIT 1001	Temperatura da Água Entrada Membranas	0	100	°C	NA	NA	35	40
2	TIT2	TIT 3001	Temperatura da Água Concentrado	0	100	°C	NA	NA	35	40
3	Q1	VZ 2001	Vazão de Saída de Água Permeada	0	2000	L/h	1800	1950	NA	NA
4	Q2	VZ 3001	Vazão de Saída de Água Concentrada	0	100	L/h	1800	1950	2900	3100
5	CIT1	CIT 1001	Condutividade da Água Saída BBA Auxiliar	0	40	mS				

### 3.3.1.1.5 - Detalhamento de Entradas e Saídas (DIO)

A DIO é um dos documentos redigidos previamente e de suma importância para determinar o número de pontos que são automatizados. Este documento, mostrado na Tabela 3.3, referenda a compra do CLP, pois é a partir deste que o número de entradas digitais, saídas digitais, entradas analógicas e saídas analógicas são definidos, já que os cartões de IO's e de demais partes dos PLC's são modulares. Geralmente os cartões de IO's são de 2,4,8,16 e 32 pontos. Maiores detalhes podem ser vistos no anexo A1 deste documento.

Tabela 3.3 - Amostra do detalhamento de IO

DETALHAMENTO IO							Departamento de Automação	
Cliente:		SUCURIÇU					Nº Projeto:	
PLC:		PDES					Fabricante: Siemens	
Projetista:		Esivaldo					Tipo PLC: S7300 (315 2DP)	
Data:		23/2/2007					Revisão: 5	
							Nº Documento: DIO 2	
ENDEREÇO		TAG	DESCRIÇÃO	ORIGEM / DESTINO	TIPO	OBSERVAÇÃO		
Word/Float	Bit							
TIPO: PS307		SEQUÊNCIA: 0		6ES7307-1KA01-0AA0				
TIPO: CPU 315 2-DP		SEQUÊNCIA: 1		POSIÇÃO: N1.2		CARTÃO: 6ES7315-2AG10-0AB0		
TIPO: ED		SEQUÊNCIA: 2		POSIÇÃO: N1.6		CARTÃO: 6ES7321-1BH02-0AA0		
I0	0	P_PDES_CSIR	PDES - Cala Sirene Via Painel		Contato seco	Usar Fusível		
	1	PDES_SURTO	PDES - Proteção Contra Surto Atuada		Contato seco			
	2	PDES_FTE_FLT	PDES - Falha das Fontes Alimentação		Contato seco			
	3	PDES_FCC	PDES - Falta CC		Contato seco			
	4	PDES_EMERG	PDES - Emergência Atuada		Contato seco			
	5	FS_0003_ON	FS_0003 - Válvula Saída Tanque Água Bruta Aberta		Contato seco			
	6	FS_1001_ON	FS_1001 - Válvula Saída BBA Auxiliar Aberta		Contato seco			
	7	FS_2001_ON	FS_2001 - Válvula Saída Água Permeada Aberta		Contato seco			

### 3.3.1.1.6 - Base de Dados

Logo após a definição da DIO é gerada a base de dados que contém todos os tags que serão importados para a memória de dados do CLP e para o Supervisório, como é o caso do projeto de automação de Sucuriju. É na base de dados que a estrutura que delimita as áreas da memória onde cada tarefa vai ser alocada.

Para o caso do CLP da Siemens, como mostra a Tabela 3.4, é ela que referencia onde os blocos de funções (FC) e os Blocos de Dados (DB) e demais objetos são alocados. Para a maioria dos outros fabricantes acontece algo dual, sendo que para eles são sub-rotinas e não funções; são os *ladders* (LD) e não FC. A base de dados é contígua e não separada em Blocos de Dados.

A Base de Dados propriamente dita referencia os endereços e a descrição dos tags, além de alocar na memória os espaços para inserção de futuros tags que venham porventura a ser incluídos. A Tabela 3.5 exemplifica a base de dados elaborada para o projeto. A tabela constando toda a base está incluída no anexo A4 deste documento.

Tabela 3.4 - Estrutura de tarefas

TAREFAS ESTRUTURAIS PARA PROGRAMAÇÃO DO PLC		
Data:	30/01/06	Aplicação: PDES - Painel de Controle do Dessalinizador
Revisão:	0	Revisor: Esivaldo
Posição	Descrição	Observações
OB1	PRINCIPAL	Controle Geral do Programa
FC 36	MOVED	Movimentação das Entradas Digitais
FC 37	MOVSD	Movimentação das Saídas Digitais
FC 38	MOVEA	Movimentação das Entradas Analógicas
FC 39	MOVSA	Movimentação das Saídas Analógicas
FC 40	GERAL	Controles da Tarefa Geral
FC 60	CAPTAÇÃO	Controles da Tarefa Captação
FC 80	DESSALINIZADOR	Controles da Tarefa Dessalinizador
FC 100	ANALÓGICAS	Controles da Tarefa Analógicas

Tabela 3.5 - Detalhe da base de dados do projeto

BASE DADOS					
Cliente: Vila de Sucuriçu					Nº Projeto:
PLC: PNCLP DESSALINIZADOR					PRJ1/2006
Projetista: Esivaldo			Endereço Rede: 0		
Data: 30/3/2007			Revisão: 5		
ENDEREÇO	Bit	TAG	DESCRIÇÃO	ORIGEM	OBSERVAÇÃO
TAREFA GERAL - POSIÇÃO 40					
ENTRADAS DIGITAIS					
DB40.DBX0.0	0	P_PDES_C SIR	PDES - Cata Sirene via Painel	PDES	
DB40.DBX0.1	1	PDES_ED_STAT_R1	RESERVA	PDES	
DB40.DBX0.2	2	PDES_ED_STAT_R2	RESERVA	PDES	
DB40.DBX0.3	3	PDES_ED_STAT_R3	RESERVA	PDES	
DB40.DBX0.4	4	PDES_ED_STAT_R4	RESERVA	PDES	
DB40.DBX0.5	5	PDES_ED_STAT_R5	RESERVA	PDES	
DB40.DBX0.6	6	PDES_ED_STAT_R6	RESERVA	PDES	
DB40.DBX0.7	7	PDES_ED_STAT_R7	RESERVA	PDES	
DB40.DBX1.0	0	PDES_ED_STAT_R8	RESERVA	PDES	
DB40.DBX1.1	1	PDES_ED_STAT_R9	RESERVA	PDES	
DB40.DBX1.2	2	PDES_ED_STAT_R10	RESERVA	PDES	
DB40.DBX1.3	3	PDES_ED_STAT_R11	RESERVA	PDES	
DB40.DBX1.4	4	PDES_ED_STAT_R12	RESERVA	PDES	
DB40.DBX1.5	5	PDES_ED_STAT_R13	RESERVA	PDES	
DB40.DBX1.6	6	PDES_ED_STAT_R14	RESERVA	PDES	
DB40.DBX1.7	7	PDES_ED_STAT_R15	RESERVA	PDES	
DB40.DBX2.0	0	PDES_SURTO	PDES - Proteção contra Surto Atuada	PDES	
DB40.DBX2.1	1	PDES_FTE_FLT	PDES - Saída das Fontes Auxiliar FTE em Falha	PDES	
DB40.DBX2.2	2	PDES_ED_DEF_R2	RESERVA	PDES	

### 3.3.1.1.7 - Graficets

Embora exista uma linguagem de programação de PLC bastante semelhante, o graficet aqui descrito é um método gráfico de apoio à concepção de sistemas industriais automatizados. Este método permite representar, através de modelos do tipo dos gráficos de estados, o comportamento de sistemas seqüenciais. A partir do graficet de um sistema pode ser gerado facilmente o programa do controlador desse sistema. Para o sistema de dessalinização da Vila de Sucuriçu foram elaborados dois graficets: um para a partida automática e o outro para a parada automática do sistema.

Tanto o graficet de partida, quanto o de parada, contemplam os comandos das motobombas e das válvulas solenóides mediante tomada de decisão referendada pelo valor das variáveis da planta, tais como pressão, temperatura, condutividade, vazão e nível dos tanques. A Figura 3.24 e a Figura 3.25 mostram, respectivamente, detalhes dos graficets de partida e de parada. Os Graficets completos encontram-se no anexo A7 deste documento.



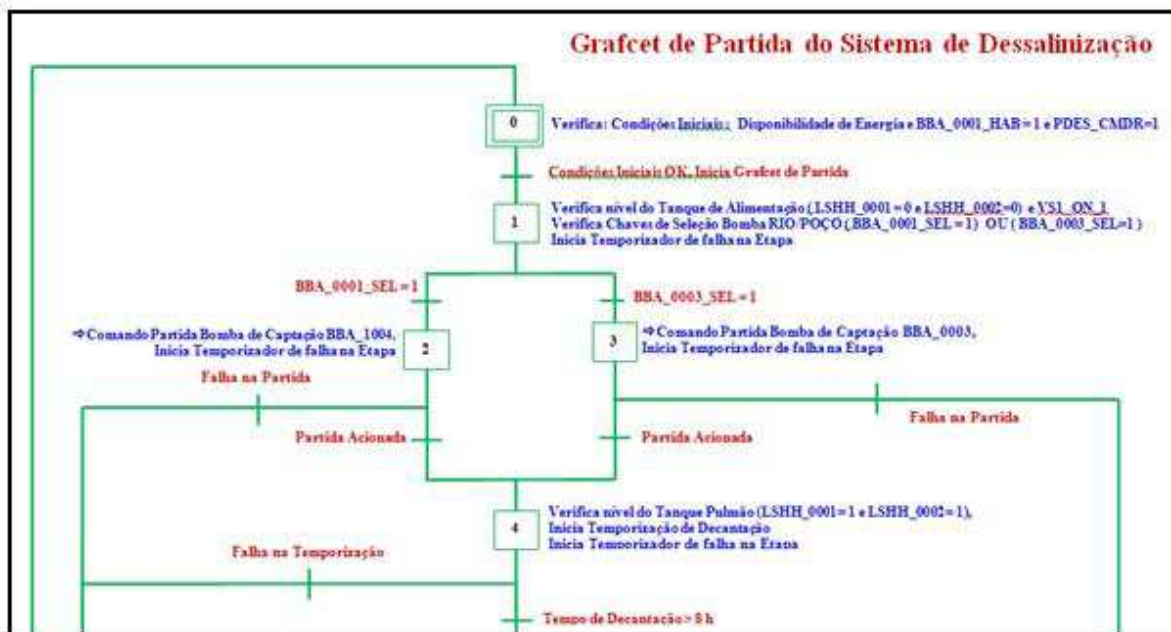


Figura 3.24 - Detalhe do grafcet de partida automática do sistema

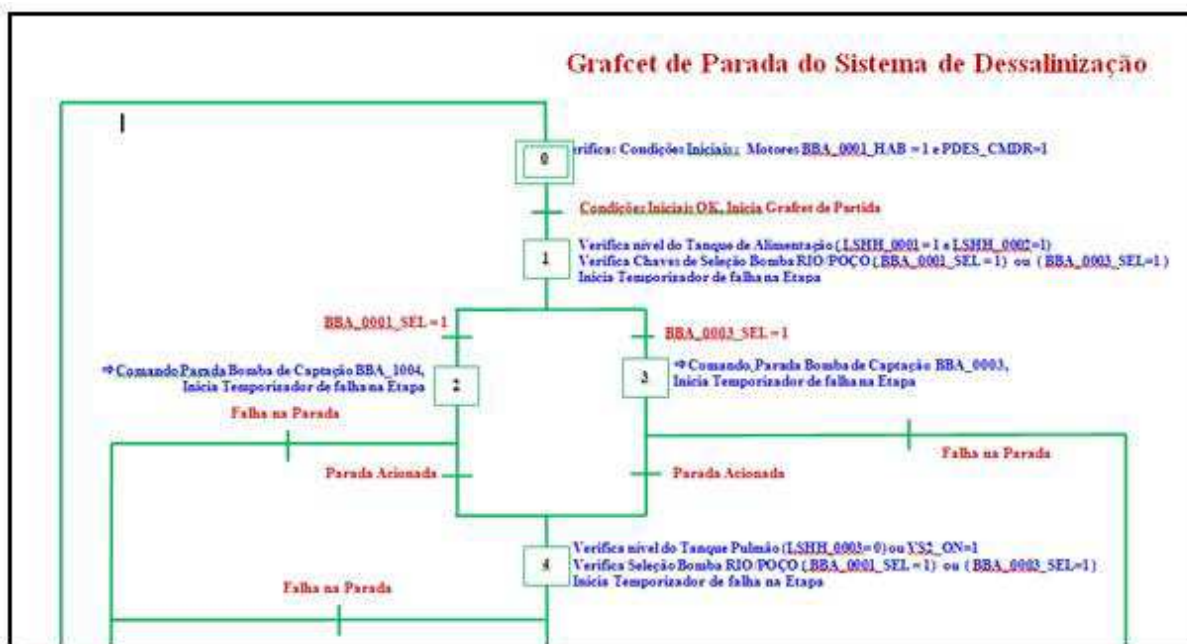


Figura 3.25 - Detalhe do grafcet de parada automática do sistema

### 3.3.2 - Definição dos Modos de Operação do Sistema de Dessalinização

O sistema de dessalinização, dependendo da posição da chave seletora mostrada na Figura 3.26 e da lógica interna do CLP, funcionará de três formas diferentes como descrito a seguir.

Com a chave na posição DESL o sistema fica inoperante.

Na posição MANUAL o operador se responsabiliza pela operação do sistema, cabendo ao operador remoto apenas a monitoração do sistema. Com a seleção da posição AUTOMÁTICO, mediante lógica previamente programada no PLC e seleção na tela do supervisor, o sistema é operado remotamente via supervisor, ou em automático através dos graficets de partida ou de parada automática mencionados na seção anterior.



Figura 3.26 - Detalhe do graficet de parada do sistema

- Modo local, sem a intervenção do CLP, ficando a cargo do operador local, treinado pelos desenvolvedores, a completa operação do sistema. Na indústria esse modo é comumente chamado de modo Degradado, mas aqui, por comodidade, já que não se tem nenhuma IHM no local, será denominado de modo local;

- Modo remoto, onde um operador, via internet, no LABDES, ou em qualquer dos parceiros, caso detenham nível de acesso necessário, mediante senha, terá controle de todas as funcionalidades da planta em uma tela de supervisão, Figuras 4.18 e 4.19, que foram desenvolvidas no LABDES usando o *software* WinCC da Siemens;
- O sistema também pode trabalhar em modo automático, onde, a partir de um determinado evento ou tempo, o PLC observando o *software* residente desenvolvido também no LABDES usando Simatic Manager da Siemens, toma todas as decisões e opera o sistema sem intervenção do homem.

### 3.3.3 - Definição do Controlador Lógico Programável

Após minuciosa pesquisa de mercado considerando preço, robustez, qualidade e facilidade de programação foi feita a escolha do CLP da Siemens S7315-2DP. Embora existam PLC's de mais fácil programação ou de custo inferior, escolheu-se o da Siemens devido ao fato deste ter renomada robustez e confiabilidade.

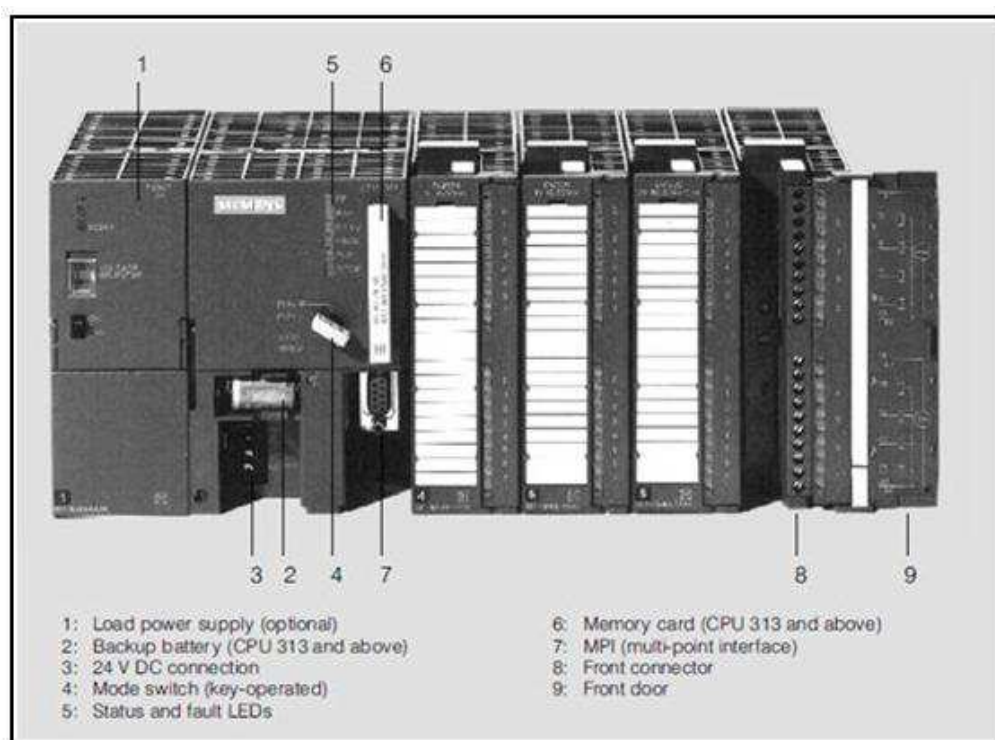


Figura 3.27 - CLP da Siemens S7315-2DP. (Fonte: ST70 Cap3 S7300 - SIMATIC S7 300 Modular mini PLC)

Aliado a isso, o fator padronização foi levado em conta, pois as outras subáreas escolheram comprar tudo da Siemens, e por isso, conseguiram para o projeto uma política de desconto tal que comprando com os concorrentes diretos, com as mesmas funcionalidades e características, este ficou com um preço imbatível. Outro aspecto considerado foi a experiência anterior que se tinha em programar este CLP, o que facilitaria muito o desenvolvimento do aplicativo. O S7315-2DP é um PLC amplamente utilizado na indústria, o que de início lhe confere uma confiabilidade altíssima. A Figura 3.27 mostra o CLP instalado com seus cartões de IO e de interface de rede de comunicação.

### 3.3.4 - Definição do Software Supervisório

Devido à escolha do CLP da Siemens primou-se também pela escolha do supervisório do mesmo fabricante, pois a interconexão destes seria mais natural. Assim sendo escolheu-se o *Windows Control Center* (WinCC) da Siemens, mostrado na Figura 3.28, embora este não seja de tão fácil programação, pois requer conhecimentos prévios de programação em linguagem C ou de “Visual Basic Scripts” (VBS) para desenvolvimento da aplicação. Existem outros supervisórios de mais simples programação e mais baratos, contudo o fato da padronização e o preço imbatível do pacote da Siemens em comparação com os outros concorrentes foram decisivos.



Figura 3.28 - Supervisório da Siemens - WinCC Fonte : Help do WinCC

Santos, J. E

Automação do Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa da Vila de Sucuriu - AP



### 3.3.5 - A Instrumentação implantada

Todas as variáveis importantes para o controle do sistema de dessalinização estão monitoradas usando sensores, e estes foram escolhidos devido à confiabilidade da marca, preço, facilidade de instalação, configuração e manutenção. Todos os elementos sensores e instrumentos utilizados no projeto são elencados na Tabela 3.6 e mostrados nas Figuras 3.29 a Figura 3.35.

Tabela 3.6 - Lista de instrumentos instalados

Item	Qtd	Descrição
1	2	Sensor de temperatura 2350 +GF+SIGNET em PVDF Saída: 4 a 20 mA / Escala 0 a 100°C Conexão: 3/4"
2	2	Sensor de Vazão 2536 tipo Rotor-X +GF+SIGNET Inserção (CA), faixa de vazão 0.1 a 6 m/s, prolipropileno, pressão máx. 14 bar (200psi), diâmetro 0.5 a 4"
3	1	Célula de Condutividade 2819 + GF+ SIGNET Aplicação: Água tratada range entre 0.055 µS – 100 µS Conexão de 3/4" NPT
4	1	Célula de Condutividade 2823 + GF+ SIGNET Aplicação: Água do mar range entre 1.000 µS – 200.000 µS Conexão de 3/4" NPT
5	2	Transmissor de Vazão 8550 +GF+ SIGNET Saída: 4 a 20mA Alimentação: 12 a 24 Vcc
6	2	Transmissor de Condutividade 8850 +GF+ SIGNET Saída: 4 a 20mA/ 1 entrada Alimentação: 12 a 24 Vcc
7	2	Sensor de pressão G1105 Danfoss MBS3000 0 A 6 Bar
8	2	Sensor de pressão G1124 Danfoss MBS3000 0 A 40 Bar
9	1	Pressostato KPI 35 – 1219 Danfoss Faixa de Regulagem: -0.2 a 8 bar Conexão de Processo: G1/4
10	4	Válvula solenóide EVSI G 1" - Danfoss Conexão de 1"
11	4	Válvula solenóide EVSI G 1 1/2" - Danfoss Conexão de 1 1/2"
12	8	Chave de Fluxo tipo palheta Conexão 1" NPT (M) em Latão Grau de Proteção: Nema 4/ IP 65
13	1	Válvula Esfera 1" CPVC EPDM Extremidade Rosca NPT, Modulo Multifuncional, Adaptador com acoplamento Fim de curso para atuador EA 21, Atuador Elétrico E A 21

Todos os instrumentos digitais são “George Fischer” e “Danfoss”. Para o caso da condutividade e da vazão, os instrumentos além de mostrar o valor no frontal disponibiliza um sinal 4 a 20 mA, que é lido por um cartão de entradas analógicas do PLC. Para o caso dos medidores de pressão, os principais para a operação local do dessalinizador, foram instalados em redundância instrumentos analógicos. Além destes sensores utilizados no sistema, têm-se

um pressostato diferencial e os sensores de níveis de cada tanque de armazenamento; estes são do tipo “bóia”, que são amplamente difundidos comercialmente.



Figura 3.29 - Instrumentos digitais



Figura 3.30 - Elementos sensores para pressão, vazão, condutividade e temperatura.



Figura 3.31 - Instrumentos analógicos



Figura 3.32 - Pressostato diferencial.



Figura 3.33 - Bóia de nível



Figura 3.34 - Válvula solenóide



Figura 3.35 – Válvula proporcional

### **3.3.6 - Projeto e Montagem dos Painéis Elétricos**

Para o sistema de dessalinização foi realizado um projeto elétrico abordando quatro painéis, sendo um de distribuição e os outros três de controle do sistema propriamente dito. Todo o projeto elétrico desenvolvido, contendo os diagramas de força e controle e o unifilar são anexados a este documento. Neste projeto optou-se por subdividir em quatro painéis:

- Painel 1 - Painel de Comandos Gerais;
- Painel 2 - Painel de Comando das Válvulas;
- Painel 3 - Painel de Automação.
- Painel 4 - Painel de Distribuição

Na confecção dos painéis utilizou-se equipamento de alta confiabilidade e qualidade. Todos eles são de padrão industrial, isto feito principalmente para que os equipamentos suportem condições extremamente agressivas do local, uma vez que a umidade alta se junta com a maresia e calor formando um ambiente bastante agressivo a equipamentos de qualidade inferior. Os esquemas elétricos dos painéis projetados, e também da automação são mostrados no anexo B deste documento.

#### **3.3.6.1- Projeto do Painel de Comandos Gerais**

Quando o dessalinizador foi entregue, continha um pequeno painel que o operava no modo manual ou de forma seqüencial e temporizada. Entretanto, para que fosse possível realizar a automação do sistema de dessalinização, necessitou-se customizar este painel de operação, integrando-o aos outros painéis desenvolvidos

Após esta customização o painel 1 ficou conforme mostrado na Figura 3.36. Para suprir as necessidades da automação incluiu-se uma chave de três posições: Manual, Desligado, Automático. Através desta chave escolhe-se o modo de operação. Manual significa que o operador local é responsável por toda a operação da planta. Desligado quer dizer que a planta está inoperante. Na posição de Automático uma lógica interna no CLP possibilita o controle da planta independente de qualquer operador, ou ainda que um operador controle remotamente via supervísório o sistema.





Figura 3.36 - Painel 1 - Painel de comandos gerais customizado

### 3.3.6.2 - Projeto do Painel de Comando das Válvulas

Embora este painel abrigue toda a parte de comando das válvulas solenóide, ele não é exclusivo para esta finalidade. Escolheu-se um painel que se adequasse precisamente ao espaço da estrutura de suporte do dessalinizador, por questões estéticas, e também porque se projetava na sua porta instalar os instrumentos digitais e as botoeiras de acionamento das válvulas, quando o sistema está no modo local. No seu interior a parte de alimentação dos instrumentos foi instalada, como os componentes da partida direta da bomba de retro-lavagem. A Figura 3.37 mostra o painel 2, com detalhe da porta e do seu interior.



Figura 3.37 - Painel 2 - Painel de comandos das válvulas

### 3.3.6.3 - Projeto do Painel de Automação

O painel mostrado na Figura 3.38, é denominado de painel de automação, pois nele estão instalados todos os componentes do projeto que detêm qualquer nível de processamento, e é onde reside todo o controle do sistema. Neste painel também foram instalados a parte de chaveamento e disjunção que integram a força e o controle dos motores, uma vez que, os inversores estão alocados também neste painel. O disjuntor trifásico geral, que protege todo o sistema para facilidade de operação também se encontra instalado neste painel.

Na porta do painel de automação, como nos demais painéis, estão instalados os botões de acionamento local das motobombas, como também a chave seletora do motor redundante que será posto em funcionamento. Neste painel existe também uma botoeira do tipo cogumelo que proporciona o desligamento do sistema caso haja alguma emergência.



Figura 3.38 - Painel 3 - Painel de automação

### 3.3.6.4- Projeto do Painel de Distribuição

Este painel não faz parte do escopo do LABDES; entretanto, quando da instalação do equipamento na Vila, percebeu-se a necessidade dele, pois a equipe responsável pela eletrificação da Vila não havia concluído o seu trabalho. Sendo assim, foi feita a ligação de forma a atender as necessidades atuais do projeto enquanto a distribuição de energia não era

concluída. Foi requerido à equipe de energia que a interligação com a alimentação do sistema funcionasse de forma que o sistema de dessalinização fosse alimentado com a rede elétrica da Vila ou com o grupo gerador diesel dedicado.

### 3.3.7 - Inversores de Frequência

Embora estejam incluídos no painel da automação, decidiu-se pela necessidade de uma abordagem mais detalhada sobre os inversores de frequência. Estes equipamentos (Figura 3.39) detêm em si um alto grau de automação. Os inversores são equipamentos de baixo custo para o controle da velocidade de motores de indução trifásicos. O uso destes equipamentos não baratearia a partida de motores, todavia, o fato destes possibilitarem a automação dos acionamentos dos motores e de minimizar os efeitos de queda de tensão na rede elétrica principalmente na partida das bombas de captação e de alta pressão já os tornam imprescindíveis ao projeto, pois a rede elétrica a partir de fontes renováveis é sensível a perturbações.

Os inversores variam as velocidades dos motores de acordo com a maior ou menor necessidade de vazão, pressão ou temperatura de cada zona de controle. Ao diminuir a velocidade, os inversores proporcionam grande economia de energia. Tal efeito não ocorre com as válvulas tradicionais, onde a vazão é reduzida, porém o motor continua operando na mesma velocidade.



Figura 3.39 - Detalhe dos inversores no painel de automação

Outra vantagem que se pode obter utilizando inversores de frequência é a possibilidade de redução dos custos de manutenção. Os inversores possibilitam que os motores sejam acionados suavemente, sem trancos. Com isso, reduz-se a quebra de elementos de transmissão, ocorrências estas freqüentes em virtude do esforço adicional provocado pelos motores com partida direta. Foram escolhidos, como mostra a Figura 3.39, dentre os inúmeros inversores comerciais, e pelos mesmos motivos que o PLC e demais componentes, os inversores da Siemens. Os equipamentos que foram adquiridos e instalado foram os seguintes modelos:

- Bomba de Alta Pressão - MM440; 200-240V; T. CTE 17.5 A; T.VAR 22 A;
- Bomba de Captação - MM440; 200-240V; T. CTE 10.4 A; T.VAR 11.4 A;
- Bomba Auxiliar - MM440; 200-240V; T. CTE 3.9 A; T.VAR 4.3 A;
- Bomba de Recalque - MM440; 200-240V; T. CTE 3.0 A; T.VAR 3.3 A.

O uso de *soft starter* em vez de inversores foi avaliado pelos projetistas; entretanto, o fato de se poder, caso necessário, fazer controle da velocidade do motor e os custos do inversor em comparação com a partida suave correspondente foi fator preponderante.

### 3.3.8 - Gerador Diesel Dedicado

Para garantir a autonomia do sistema e a independência do mesmo, para o caso de falta prolongada de energia, foi feita a aquisição de um gerador trifásico, fabricação Yanmar, (Figura 3.40) com potência de 20 kVA.



Figura 3.40 - Gerador diesel trifásico do sistema de dessalinização



## 4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 - Projeto Elétrico

Foi elaborado um projeto elétrico para o sistema de dessalinização, utilizando o conceito simples de comandos elétricos. O projeto desenvolvido contemplou iluminação, (Figura 4.1) distribuição e acionamentos. No Anexo B desse documento está o projeto elétrico completo com unifilar, quadro de cargas, diagramas força e controle de moto-bombas e válvulas e distribuição das E/S do Painel de Automação.

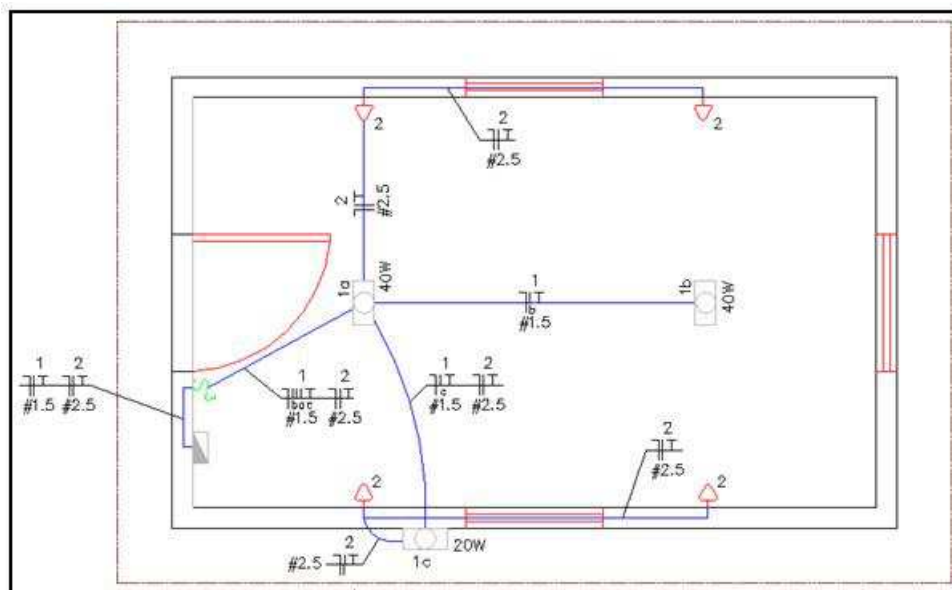


Figura 4.1- Projeto de iluminação e tomada

Definiu-se, na fase inicial de projeto, que duas moto-bombas trabalhassem de forma alternada para garantir a operação do sistema e assim a população não ficasse sem abastecimento devido a um possível defeito das motobombas. Isto acontece para as duas bombas principais do dessalinizador: para a bomba auxiliar e a bomba de alta pressão. Esta mesma metodologia foi aplicada também para a bomba de captação de água do rio ou do poço, que nesta fase do projeto não está efetivo, mas o uso desta forma de captação não fora de todo descartado.

Desta forma, mediante seleção na porta do painel, através da chave seletora escolhe-se qual a bomba que entrará em operação e a sua dual fica em *stand-by*. Remotamente esta

seleção também é possível, e se dá mediante seleção no fluxograma do sistema supervisorio que emula as chaves do painel. Entretanto isto só é possível se a chave seletora do modo de operação estiver na posição Automático. Caso isto aconteça há uma terceira possibilidade de operação, agora sim em automático, onde o CLP, mediante software alterna a bomba que entrará em operação.

Contudo, devido ao fato de não se ter, no estágio atual do projeto, como avaliar se o nível do rio é favorável para que a bomba de captação seja ligada, por segurança, deixou-se apenas a cargo do operador a seleção de captação utilizada como também o acionamento via painel.

Com a intenção de diminuir custos e sem perda alguma de funcionalidade, conforme mostrado Figura 4.2, foi determinado que um único inversor partisse, de forma alternada, as duas bombas duais. Para isso um chaveamento especial mediante seleção prepara o motor que deverá ser acionado. Para proteção do sistema foi instalado um Relé Falta de Fase (RT1.1), Disjuntores Termomagnéticos, (D2), para proteger contra sobrecargas e curto-circuito e o contactador (C1.1). Outros componentes elétricos fazem parte do projeto, tais como: Bornes Fusíveis nas entradas do CLP para proteger os cartões de entrada contra sobrecorrente e Bornes Relés Ótico-Acoplador nas saídas digitais do CLP para garantir a independência dos níveis de tensão.

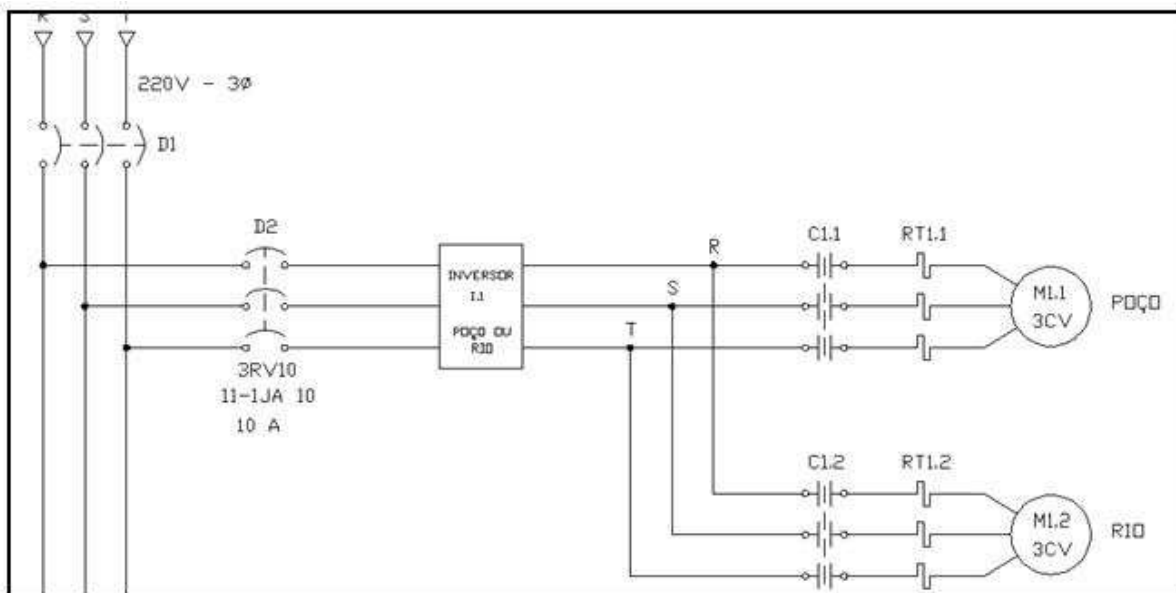


Figura 4.2 - Diagrama de força para as motobombas do poço e do rio

#### 4.1.1 - Configuração dos Inversores de Frequência

A instalação dos inversores foi feita de acordo com projeto contido no Anexo B deste documento. As parametrizações necessárias para o seu perfeito funcionamento foram realizadas conforme a Tabela 4.1 e também para que os mesmos recebessem os dados de placa dos motores aos quais serão responsáveis pelo acionamento.

Tabela 4.1 - Parametrização dos inversores

PARAMETRIZAÇÃO DOS INVERSORES								
COMISSIONAMENTO DO MOTOR - Valores de Parametrização								Especificação
Código do Inversor	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 5	Motor 6	Motor 7	
	Alta Pressão "A"	Alta Pressão "B"	Captação do Rio "A"	Captação do Poço "B"	Recalque (Filtros) "A"	Bomba Auxiliar "A"	Bomba Auxiliar "B"	
	5 CV	5 CV	3 CV	3 CV	1,5 CV	3/4 CV	3/4 CV	
P0003	2	2	2	2	2	2	2	Nível de acesso estendido
P0010	1	1	1	1	1	1	1	Comissionamento rápido
P0100	2	2	2	2	2	2	2	Manter parâmetros (kW e Hz)
P0304	220	220	220	220	220	220	220	Volts
P0305	12,9	12,9	8,37	8,37	4,45	2,5	2,5	In (A)
P0307	5	5	3	3	1,5	0,75	0,75	Pot (CV)
P0308	0,88	0,88	0,86	0,86	0,87	0,81	0,81	cos fi
P0309	85,6	85,6	83	83	75,5	72	72	Rendimento (%)
P0310	60	60	60	60	60	60	60	Frq. (Hz)
P0311	3485	3485	3450	3450	3400	3455	3455	RPM
P0335	0	0	0	0	0	0	0	Resfriamento do motor
P0640	115	115	115	115	130	150	150	F.S (%)
P0700	2	2	2	2	2	2	2	Seleção de comando (terminais)
P0701	1	1	1	1	1	1	1	Função de entrada digital on/off1
P1000	3	3	3	3	3	3	3	Frequência fixa
P1080	60	60	60	60	60	60	60	Frequência mínima
P1082	60	60	60	60	60	60	60	Frequência máxima
P1120	10	10	10	10	10	10	10	Tempo de aceleração (seg.)
P1121	5	5	5	5	5	5	5	Tempo de desaceleração (seg.)
P1300	0	0	0	0	0	0	0	Modo controle = linear
P3900	2	2	2	2	2	2	2	Finalizar comissionamento

#### 4.1.2 - Operação do Sistema Alimentado pelo Gerador Diesel

A especificação para um gerador diesel de 20 kVA para o projeto não foi atendida pela coordenação geral do projeto devido à contenção de custos. O gerador comprado para abastecer, mesmo contrariando a especificação, foi de 10 kVA.

Durante o *startup*, constatou-se, como de esperado, que o gerador era insuficiente para partir a planta em sua totalidade. O mesmo só alimentou o sistema até a entrada da bomba de alta pressão. Foram feitas várias tentativas, aumentando-se a rampa de partida no inversor, mas não se alcançou sucesso.

Confrontando com esta situação, partiu-se então para a utilização da rede elétrica da Vila com a partida do seu gerador diesel, um motor de 114 CV acoplado a um gerador de 80 kVA. Com esta geração logo se comprovou a perfeita funcionalidade do sistema.

Visto que o gerador de 10 kVA era insuficiente para garantir a alimentação da planta foi solicitada a SETEC, a troca deste por um de potência superior 20 kVA. Isto feito, os operadores juntamente com a equipe da SETEC, quando da finalização da nova instalação elétrica da vila, instalaram o novo gerador e partiu-se a contento toda a planta. A Figura 4.3 e a Figura 4.4 mostram, respectivamente, o teste com o gerador de 10 kVA dentro do abrigo do gerador sendo monitorado pelo operador e a interligação com a rede da Vila para teste completo do sistema.



Figura 4.3 - Funcionamento do sistema com o gerador de 10 kVA



Figura 4.4 - Interligação com a rede elétrica da Vila

### 4.1.3 - Análise Energética

Um estudo de viabilidade foi realizado para analisar o potencial da região para a instalação da unidade geradora. Comprovada a viabilidade do projeto, sem perder de foco que a capacidade energética do sistema de geração a partir de fontes renováveis é limitada. Estas limitações se devem principalmente, aos altos custos de implantação, e ao baixo rendimento na conversão fotovoltaica e as grandes variações das condições climáticas da região. Com isso foi imposto uma demanda máxima que deveria ser observada no projeto do sistema de dessalinização. Nas seções seguintes será calculada a capacidade geradora da planta, bem como a demanda proveniente do sistema de dessalinização.

#### 4.1.3.1 - Geração de Energia Renovável

O sistema de geração é composto por 5 aerogeradores de 7,5 kW, 20kW<sub>p</sub> de energia fotovoltaica.

##### Geração Eólica:

$$5 \text{ aerogeradores} \times 7,5 \text{ kW} \times 25\% \text{ de fator de capacidade} = 9,375 \text{ kW}$$

$$9,375 \text{ kW} \times 24 \text{ h/dia} \times 30 \text{ dias/mês} = 6.750 \text{ kWh/mês}$$

##### Geração Fotovoltaica:

$$20 \text{ kW}_p \text{ de FV} \times 4 \text{ HSP/dia (horas de sol pleno)} \times 80\% \text{ (eficiência)} = 64 \text{ kWh/dia}$$

$$64 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias/mês} = 1.920 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{O total mensal gerado } 6.750 \text{ kWh/mês} + 1.920 \text{ kWh/mês} = \mathbf{8.670 \text{ kWh/mês}}$$

#### 4.1.3.2 - Consumo Energético do Sistema de Dessalinização

O sistema de dessalinização é composto por uma bomba de captação 3 CV, uma bomba de recalque 1,5 CV, uma bomba auxiliar 1,5 CV e uma bomba alta pressão 5C. a carga total do sistema de dessalinização é de 11 CV.

$$11 \text{ CV} \times 0,736 \text{ kWh/CV} = 8,1 \text{ kW}$$

Ao se considerar uma produção de  $2\text{m}^3/\text{h}$  durante  $6\text{h}/\text{dia}$  para o processo de dessalinização propriamente dito, sem considerar a captação e o pré-tratamento, o dessalinizador demandará da rede uma potencia de:

$$6,5 \text{ CV (bomba de alta pressão + bomba auxiliar)} \times 0,736 \text{ kW/CV} = 4,784 \text{ kW}$$

$$4,784 \text{ kW} \times 0,5 \text{ h/m}^3 = 2,39 \text{ kWh/m}^3$$

$$2,39 \text{ kWh/m}^3 \times 12 \text{ m}^3/\text{dia} \times 30 \text{ dias/mês} = \mathbf{861,12 \text{ kWh/mês}}$$

O consumo energético do dessalinizador relativo à geração resultara em um consumo mensal de 9,93% da capacidade mensal da fonte geradora. Este valor bastante significativo levando-se em conta que a produção da água traz inúmeros benefícios a população. Outro fator importante é que a dessalinização pode ser realizada em horário de maior disponibilidade energética do sistema.

### 4.2 - Sistema de Dessalinização Implantado

Para ser implantado na Vila foi necessário suplantado o obstáculo da alta turbidez e para isso aplicou-se um processo de decantação em repouso, seguido por um processo de filtração. O estudo foi desenvolvido no LABDES, com água trazida da Vila, onde foi observado que a turbidez foi reduzida 90% num intervalo de 1,5h.

O sistema implantado demanda da rede elétrica uma potência máxima de 10 kW. Entretanto, o sistema foi projetado para que a carga na rede seja a menor possível. Para isso, a operação normal será particionada de forma que a captação, seguida pela decantação, e processo de filtração, totalizando 4.5 CV, é realizada em função da disponibilidade de água no rio. Após a captação, decantação e filtração, que demanda algumas horas, o dessalinizador está apto a entrar em operação. O equipamento de dessalinização oferece à rede uma carga de 6 kVA.

#### 4.2.1 - Captação Implantada

Mostra-se a seguir a captação que foi implantada na Vila de Sucuriu, fazendo parte dela um trapiche que escora a captação e tubulação, conforme mostra a Figura 4.5. A água do

rio devido ao movimento da maré, só será coletada na preamar, quando as correntes cessam e há uma decantação natural possibilitando que haja a captação de uma água menos turva.



Figura 4.5 - Detalhe da Captação instalada

A Figura 4.6 mostra de forma panorâmica a plataforma do sistema de dessalinização implantado com todos os tanques, e a Figura 4.7 mostra o interior do abrigo com o dessalinizador evidenciado. Tanto o abrigo quanto a plataforma foram construídos quando da primeira expedição à Vila segundo o projeto arquitetônico mostrado na seção 3.1.2.3.





Figura 4.6 - Vista panorâmica da plataforma



Figura 4.7 - Detalhe do interior do abrigo do dessalinizador

### 4.2.2 - Análise Financeira

Para efeitos comparativos realizou-se um estudo de valores financeiros envolvidos na implantação do sistema de dessalinização na Vila de Sucuriju. Devido à inexistência de sistemas de dessalinização semelhantes e instalados em condições próximas à da Vila de Sucuriju, a comparação torna-se impossível. Contudo, como o dessalinizador foi concebido em duas etapas distintas, será feita uma comparação de custos do dessalinizador da Vila sem e com a implantação da automação. Embora a comparação não seja fidedigna, pois as diferenças entre as duas regiões são imensas no que tange à qualidade da água de alimentação e logística e sem considerar os custos de mão-de-obra especializada para realizar manutenção corretiva, caso seja necessária.

Os custos de operação e manutenção (O&M) para sistemas de dessalinização não automáticos no Nordeste do Brasil é de, aproximadamente, R\$ 7,50/m<sup>3</sup> (MELO, 2007). Estes custos devem ser bastante próximos ao da Vila levando-se em consideração que todos os procedimentos envolvidos são plenamente realizáveis pelo operador local, não necessitando assim da participação de terceiros. Um custo extra que pode ser acrescido é o de transporte das peças de manutenção entre a Vila e Macapá. Este custo pode ser completamente absorvido pela associação que gerenciará a O&M do sistema, já que a mesma possui um barco que faz periodicamente o traslado Vila de Sucuriju – Macapá – Vila de Sucuriju.

O dessalinizador da Vila de Sucuriju sem a automação e juntamente com os produtos, peças de reposição dos elementos filtrantes como: filtros de cartuchos e o recheio dos filtros de areia custaram R\$ 52.910,00. Para implantar a automação do sistema e para realizar a topologia mostrada no anexo A5 gastou-se R\$ 86.128,00. O total investido no sistema de dessalinização automático foi R\$ 139.038,71 que perfazem 7,72% dos recursos disponíveis para o projeto.

### 4.3 - Projeto de Automação

A automação do sistema iniciou-se com o levantamento das variáveis a serem controladas e isto ocorreu na reunião de partida do projeto, onde a equipe do LABDES levantou todas as possibilidades. A partir de então, iniciou-se a geração da documentação, sendo que primeiramente gerou-se a topologia do sistema e as redes lógicas para atender as

especificações, conforme descrito na seção 3.3.1.1, cujos resultados são mostrados nos anexos A5 e A6.

Em seguida elaborou-se a lista de Detalhamento de Entradas e Saídas (DIO). A DIO para o sistema consta no anexo A1. De posse da DIO, seguindo a metodologia aplicada, partiu-se para a confecção das listas de instrumentação e de motores que constam também no anexo A2 e A3, respectivamente.

Tendo estes documentos iniciais foi confeccionada a base de dados (BD) que será importada tanto para a memória do CLP quanto para o Supervisório. A base de dados é uma extensa lista de variáveis de programação contendo TAG, endereço e descrição que será usado em todo o projeto. A BD conta no anexo A4. Outros documentos gerados são os graficets de partida e de parada automática que foram de suma importância na elaboração da lógica no PLC. Estes graficets sofreram modificações no decorrer do projeto para contemplar as modificações e ajustes no projeto quando da instalação e seu resultado final é mostrado no anexo A7 deste documento.

De posse de toda documentação, pode-se então partir para o desenvolvimento dos aplicativos e configurações dos equipamentos. O desenvolvimento se dividiu, basicamente, em três etapas distintas: programação do CLP, Programação do Supervisório e Configuração de elementos de rede, incluindo-se aqui os inversores e computadores.

### **4.3.1- O Aplicativo do CLP**

De posse das documentações preliminares, partiu-se então, para o desenvolvimento do aplicativo do CLP. Este aplicativo foi desenvolvido em linguagem LADDER e STL de acordo com a estrutura previamente definida quando da elaboração da base de dados. A seguir será discutida a seqüência de passos seguida para a criação do aplicativo.

A primeira atitude foi criar um novo projeto e nomeá-lo conforme a aplicação. Neste caso, escolheu-se chamar de PDES, o painel de controle do sistema de dessalinização. Este procedimento é realizado ao iniciar programa no Simatic Manager, clicando no menu “file” e em seguida *new project* e assim escolher o nome do aplicativo. É no Simatic Manager, onde são realizadas a criação das sub-rotinas de controle, importação da base de dados e a instalação de funções predefinidas pelo fabricante para controle e *debugger* do software do CLP.

### 4.3.1.1 - Criação e montagem do “Hardware Configurator - HW Config”

Após a criação do novo projeto a primeira atitude é criar o Hardware da arquitetura do projeto. Este passo representa fielmente o que foi definido na DIO, acrescentando-se neste caso, a conexão dos inversores na rede Profibus DP. A configuração do “hardware” é feita, da forma mostrada na Figura 4.8, e inclui-se, também, o endereçamento dos cartões e dos entes da rede Profibus DP. É no HW Config que são definidos os endereços dos cartões e taxa de comunicação e endereços do IO’s dos inversores e das palavras de status.

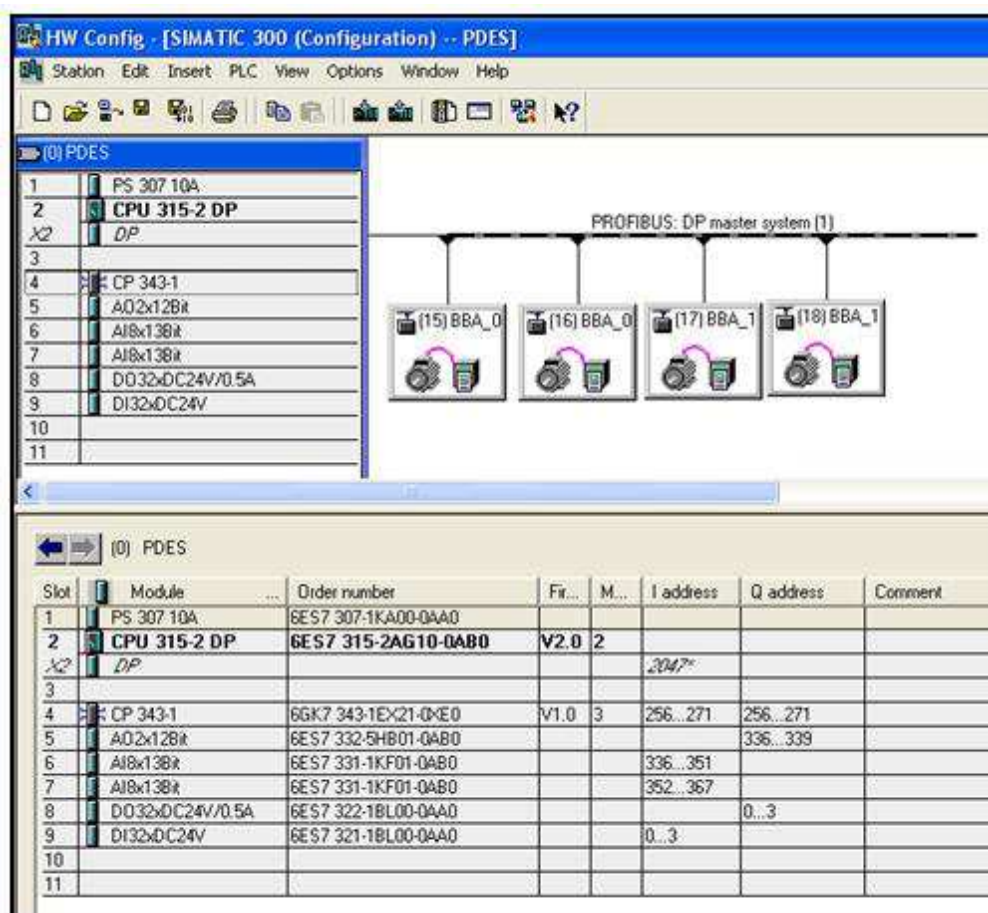


Figura 4.8 - Configuração do Hardware

### 4.3.1.2 - Importação da Base de dados

Os tags podem ser criados um a um criando-se todos os DB individualmente, contudo para facilitar a editoração e também possíveis correções que a base de dados foi criada no Microsoft Excel conforme mostrado na seção 3.3.1.1.6. A partir da base de dados executa-se

Santos, J. E  
Automação do Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa da Vila de Sucuriu - AP

## Capítulo IV - Resultados e Discussões

uma macro no Excel, criada para este fim, que adéqua ao formato aceito pelo PLC. Desta forma, após execução da macro chega-se ao arquivo “GERADB” mostrado na Figura 4.9. e na Figura 4.10. Compilando-se este arquivo, no PLC, automaticamente gera-se os DB, mostrados nas Figuras 4.11 e 4.12, que é a base de dados interna do PLC com seus tags, endereços e descrições.

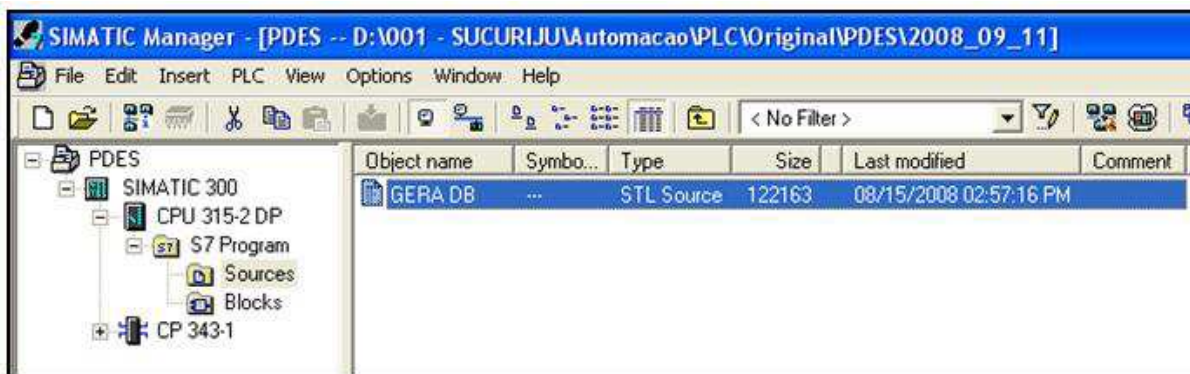


Figura 4.9 - Arquivo fonte da base de dados do PLC

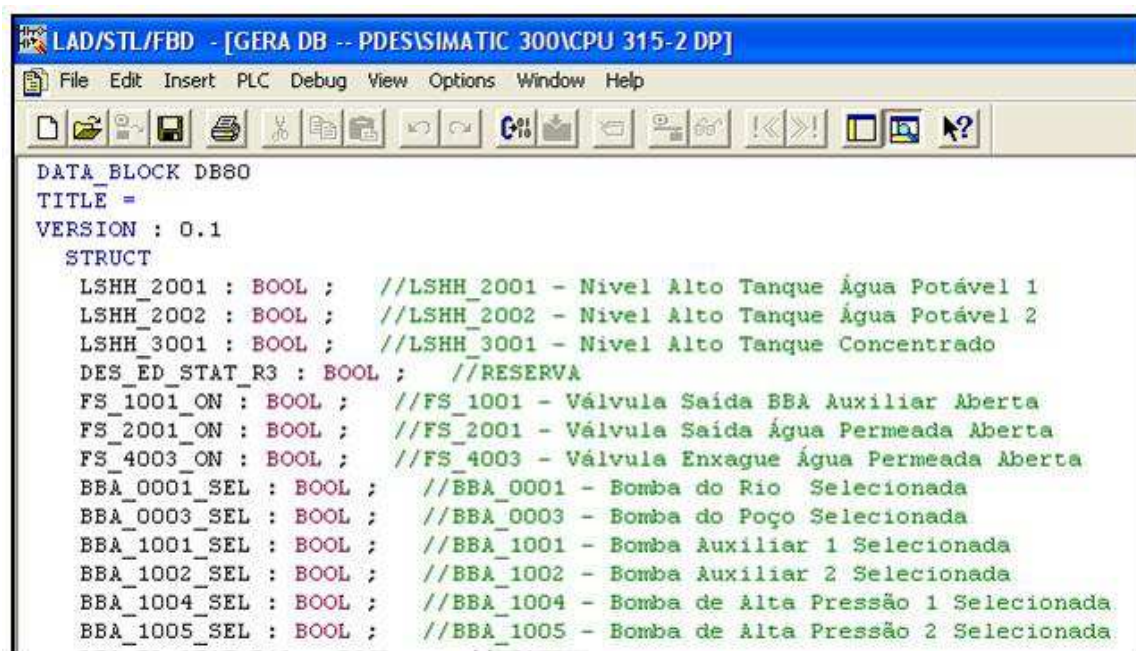


Figura 4.10 - Detalhe do DB80 do arquivo fonte da base de dados do PLC



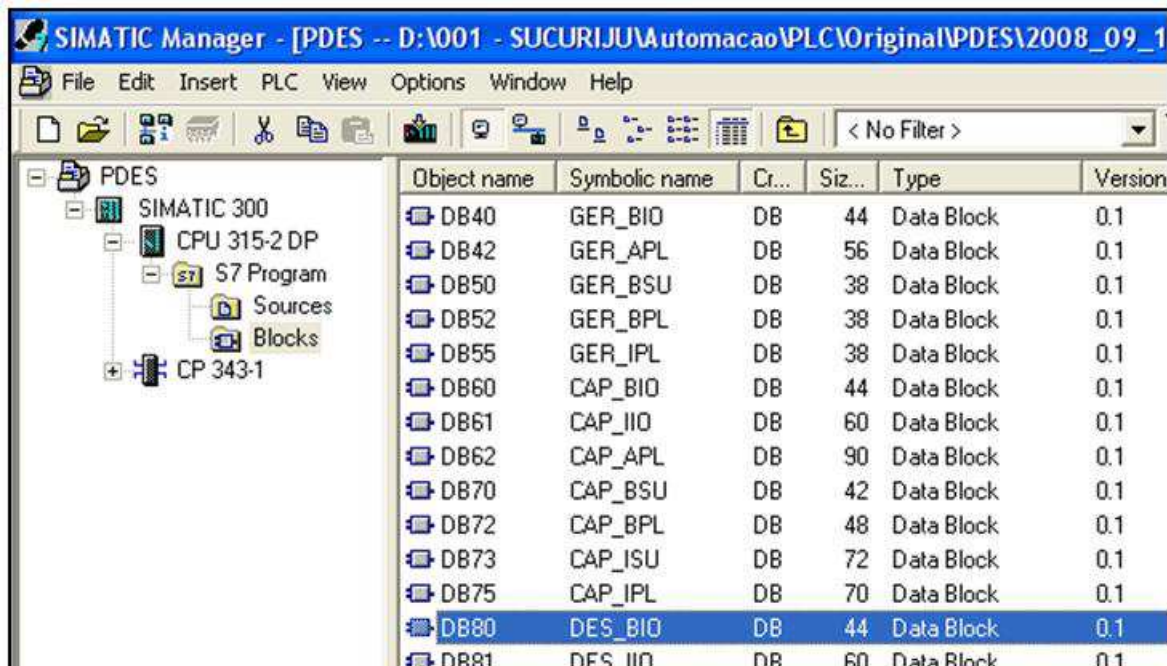


Figura 4.11 - Data Block Gerados no PLC

Address	Name	Type	Initia	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	LSHH_2001	BOOL	FALSE	LSHH_2001 - Nivel Alto Tanque Água Potável 1
+0.1	LSHH_2002	BOOL	FALSE	LSHH_2002 - Nivel Alto Tanque Água Potável 2
+0.2	LSHH_3001	BOOL	FALSE	LSHH_3001 - Nivel Alto Tanque Concentrado
+0.3	DES_ED_STAT_R3	BOOL	FALSE	RESERVA
+0.4	FS_1001_ON	BOOL	FALSE	FS_1001 - Válvula Saída BBA Auxiliar Aberta
+0.5	FS_2001_ON	BOOL	FALSE	FS_2001 - Válvula Saída Água Permeada Aberta
+0.6	FS_4003_ON	BOOL	FALSE	FS_4003 - Válvula Enxague Água Permeada Aberta
+0.7	BBA_0001_SEL	BOOL	FALSE	BBA_0001 - Bomba do Rio Selecionada
+1.0	BBA_0003_SEL	BOOL	FALSE	BBA_0003 - Bomba do Poço Selecionada
+1.1	BBA_1001_SEL	BOOL	FALSE	BBA_1001 - Bomba Auxiliar 1 Selecionada
+1.2	BBA_1002_SEL	BOOL	FALSE	BBA_1002 - Bomba Auxiliar 2 Selecionada
+1.3	BBA_1004_SEL	BOOL	FALSE	BBA_1004 - Bomba de Alta Pressão 1 Selecionada
+1.4	BBA_1005_SEL	BOOL	FALSE	BBA_1005 - Bomba de Alta Pressão 2 Selecionada

Figura 4.12 - Detalhe do DB80 da base de dados do PLC

### 4.3.1.3 - Criação da Lógica de Controle

De posse do BD, já importada, partiu-se então para a criação do aplicativo propriamente dito. Inicialmente algumas subrotinas e funções especiais, próprias do Simatic Manager, de autoria da Siemens têm que ser instaladas para gerenciar o funcionamento do programa do usuário, impedindo assim, travamento por erro durante a execução do aplicativo. As funções de controle de software instaladas e de execução da comunicação aparecem em detalhe na Figura 4.13.

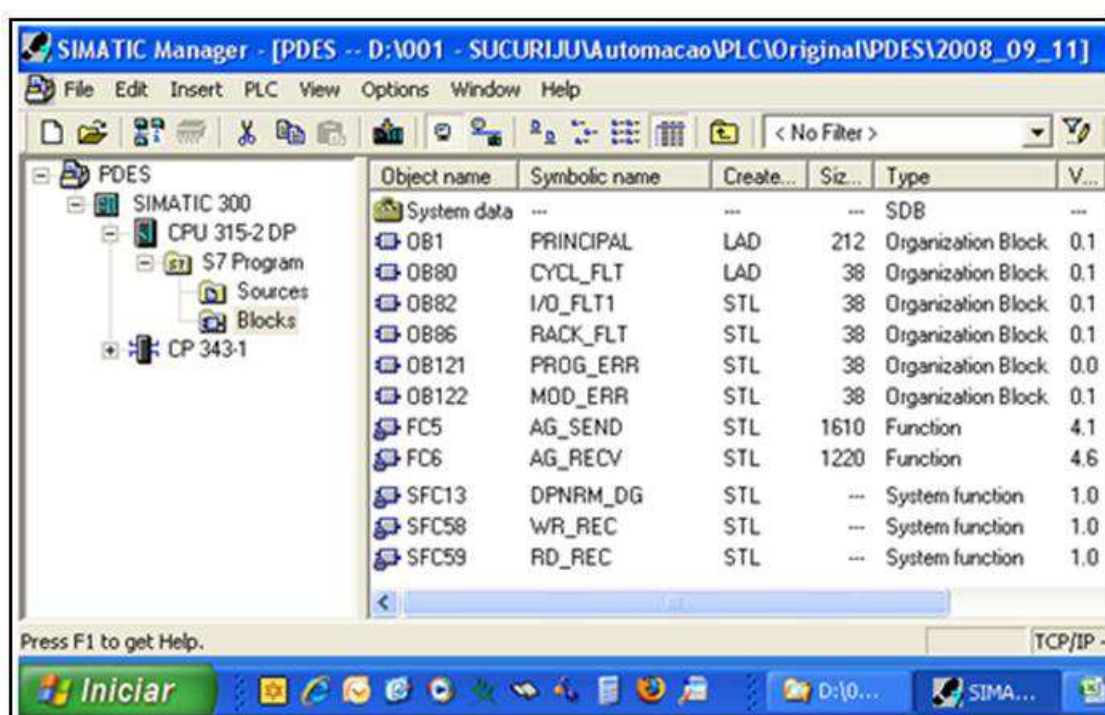


Figura 4.13 - Detalhe das funções de controle instaladas

#### 4.3.1.3.1 - Criação da Lógica de Controle

A partir de agora será discutido as lógicas internas para controle das ações referente ao sistema dessalinização. Devido a extensão da programação desenvolvida, serão mostrados pequenos fragmentos representativos de toda lógica desenvolvida para o controle do sistema de dessalinização. Na Figura 4.14 está representado estrutura geral da programa com chamada de cada função do programa.



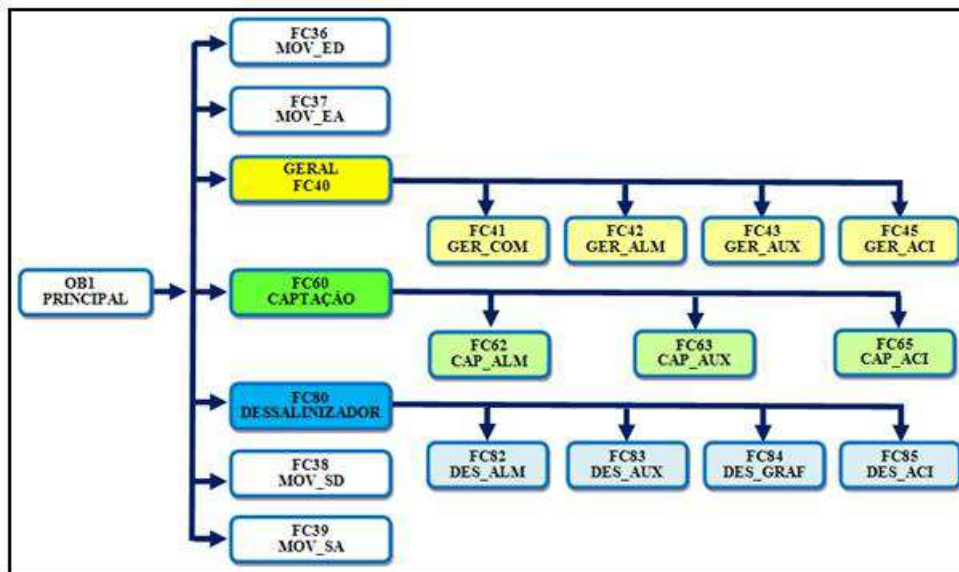


Figura 4.14 - Estrutura do programa do PLC

A Figura 4.15 mostra a subrotina OB1, que é a subrotina que chama todas as funções secundárias, controlando assim, e sequenciando toda a execução do programa. As funções secundárias se dividem em funções de movimentações de entradas e saídas, funções de controle das tarefas.

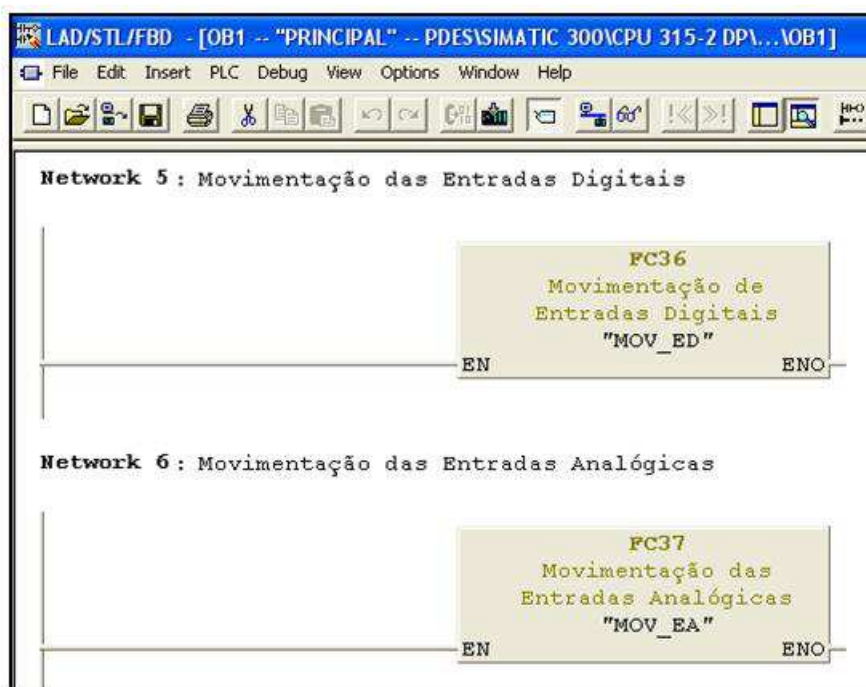


Figura 4.15 - Detalhe do lógica do OB1 - Sub-rotina principal

## Capítulo IV - Resultados e Discussões

As funções de movimentação de entradas digitais (MOV\_ED) e de entradas analógicas (MOV\_EA) mostradas nas Figura 3.16, 3.17, 3.18 e 3.19, que como o próprio nome já diz, faz a movimentação das entradas físicas oriundas dos sensores e dos equipamentos de campo para a memória interna do PLC.

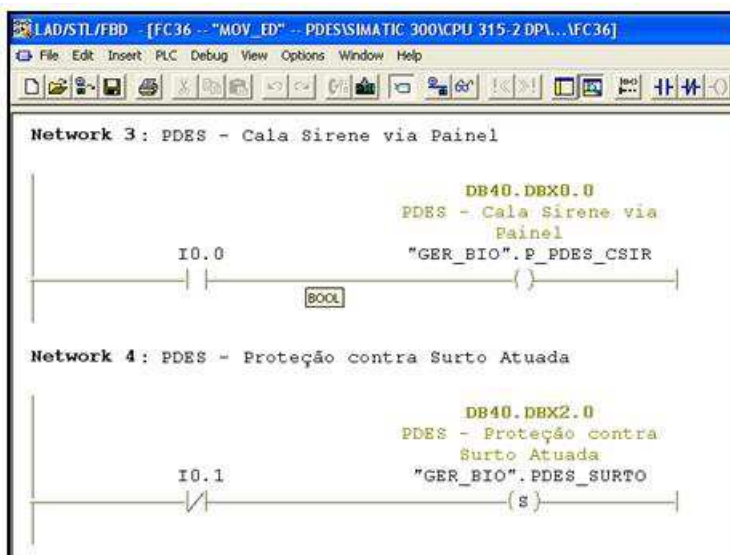


Figura 4.16 - Detalhe do FC36 - Movimentação das Entradas Digitais

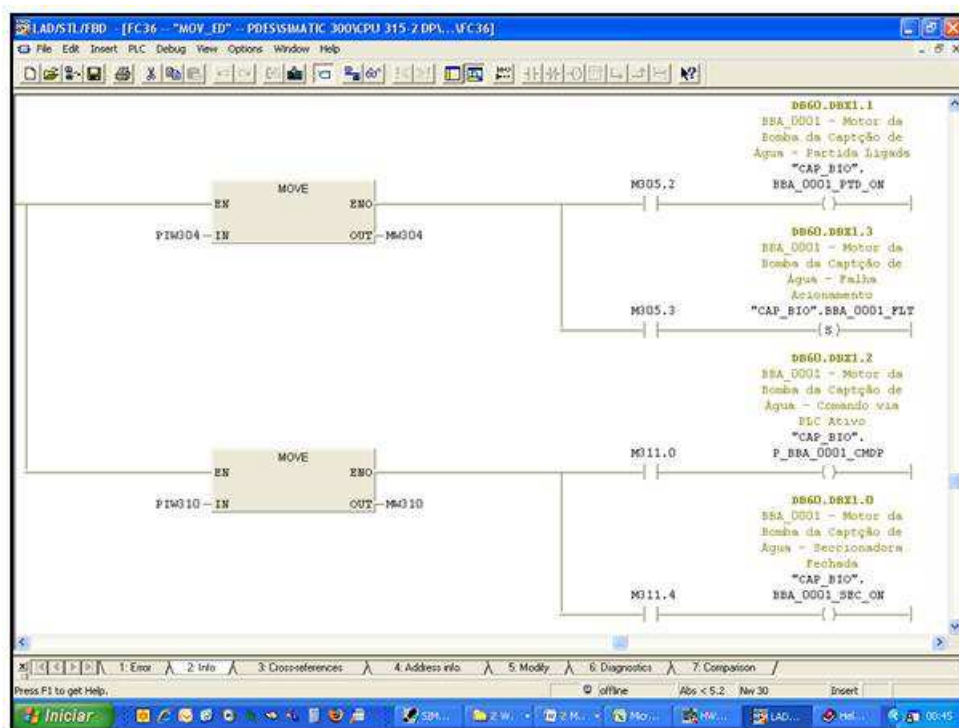


Figura 4.17 - Detalhe do FC36 - Movimentação das entradas Digitais dos Inversores

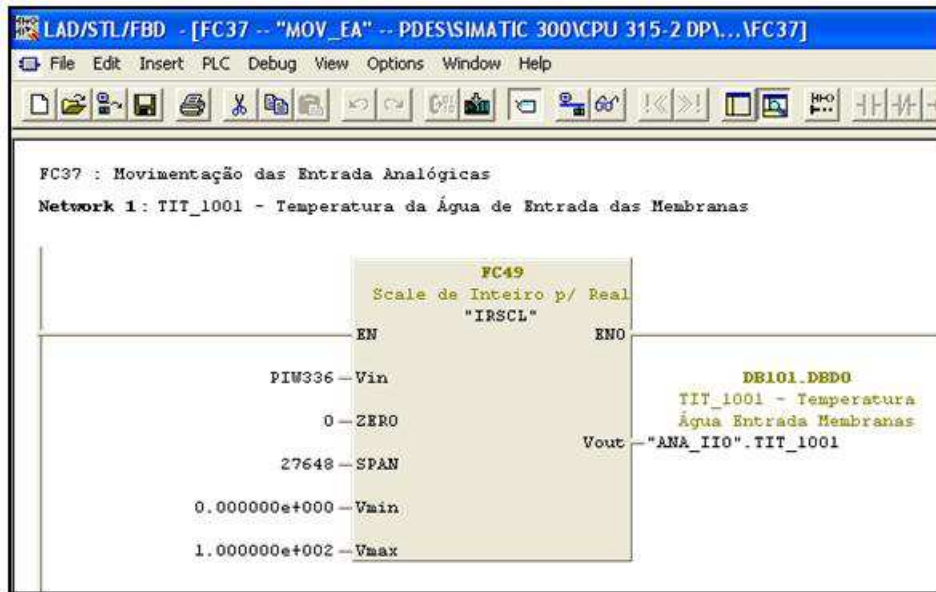


Figura 4.18 - Detalhe do lógica do FC37 - Movimentação das Entradas Analógicas

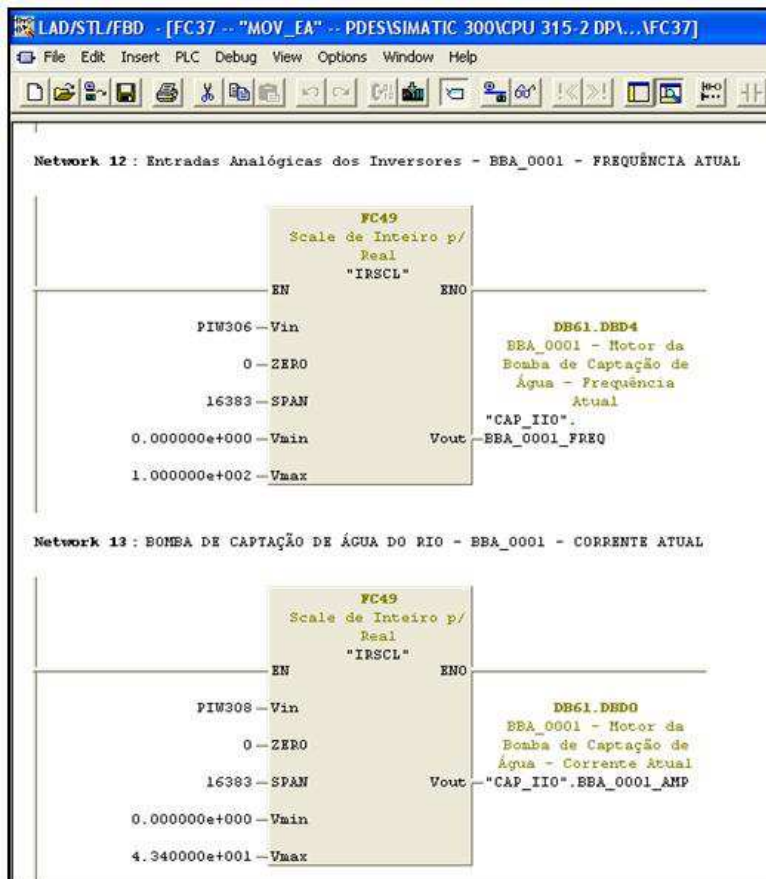


Figura 4.19 - Detalhe do FC37 - Movimentação das Entradas Analógicas dos inversores

Para a realização da movimentação de entradas analógicas uma função especial teve que ser desenvolvida, a FC 49. Ela tem a função de converter os dados das entradas físicas de inteiro para real, já realizando o escalonamento entre os valores mínimos e máximos definidos na instrumentação.

A chamada da função FC48 já foi mostrada nas Figuras 4.18 e 4.19; a sua lógica interna em linguagem STL é mostrada na Figura 4.20. A documentação usada quando da criação desta a torna auto-explicativa.

```

FC48 : Escalonamento de um Real em Inteiro
Network 1: Escalonamento de um Real em Inteiro
    L   #SPAN                //CALCULA O VALOR
    L   #ZERO                //DE (SPAN - ZERO)
    -R
    T   #RASC1

    L   #Vmax                //CALCULA O VALOR
    ITD
    DTR
    L   #Vmin                //DE (Vmax - Vmin)
    ITD
    DTR
    -R

    L   #RASC1              //Divide os valores
    /R                      //calculados acima

    L   #Vin                 //Multiplica a divisão//da entrada
    *R

    L   #Vmin                //Soma o resultado acima com
    ITD
    DTR
    +R                      //o valor mínimo
    RND

    T   #Vout
//      **** FAZ O "CLAMP" DA SAÍDA ENTRE Vmin E Vmax ****
    L   #Vmax                // Carrega Valor máximo configurado
    >I                      // se maior ou igual,
    JC  M001                 // pula
    TAK
    L   #Vmin                // Le o valor no Ponto de Entrada
    <I                      // se menor ou igual,
    JC  M002                 // Se não, pula
    JU  M004                 // Fim
M001: L   #Vmax              // Carrega Valor máximo configurado
    T   #Vout                // Transfere Posiç. escrita da Variável
    JC  M004                 // Fim
M002: L   #Vmin              // Carrega Valor mínimo configurado
    T   #Vout                // Transfere Posiç. escrita da Variável
M004: NOP  0
    
```

Figura 4.20 - Função de programação de conversão de variáveis em linguagem STL.

As funções FC40, FC60 e FC80 executam a chamada das funções terciárias que realizam todo o processamento lógico, armazenando os resultados na memória interna e saídas. A função FC40 executa os controles gerais da planta, a função FC60 executa o controle da tarefa relativo à captação da água e a função FC80 realiza o controle da tarefa dessalinizador. A Figura 4.21 mostra a lógica de chamada das funções de controle geral.

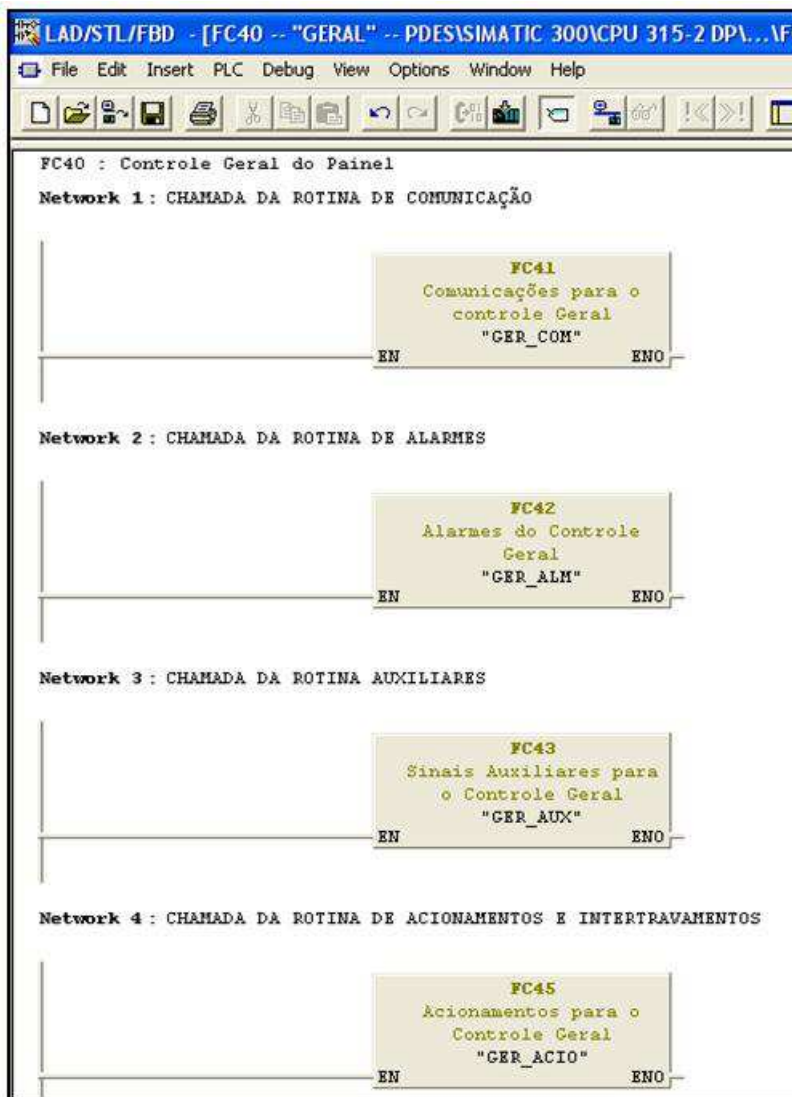


Figura 4.21 - Detalhe do lógica do FC36 - Movimentação das entradas

Como a Função FC41 (GER\_COM) é de aspecto global, quando há necessidade de comunicação ela é criada dentro da tarefa geral. Para este projeto ela é necessária pela existência dos inversores e dos dados de operação que ficam armazenados na memória interna deles ou são lidos por eles. A Figura 4.22 mostra a função de comunicação com os inversores.



Esta função realiza a chamada da SFC13, função de sistema de autoria da Siemens, para verificar o status do escravo de rede de endereço #15 e com endereço de diagnóstico #2045 ou #7FD em base hexadecimal. O diagnóstico do inversor ocupa 28 Bytes de memória, conforme “Help” do Simatic manager e manual, EN 50 170 Volume 2, PROFIBUS, e são armazenados a partir do DB31.DBX0.0. O status de falha de comunicação é verificado quando o bit DB31.DBX0.0 passa para nível lógico “1”. A configuração dos parâmetros de comunicação é vista na Figura 4.23.

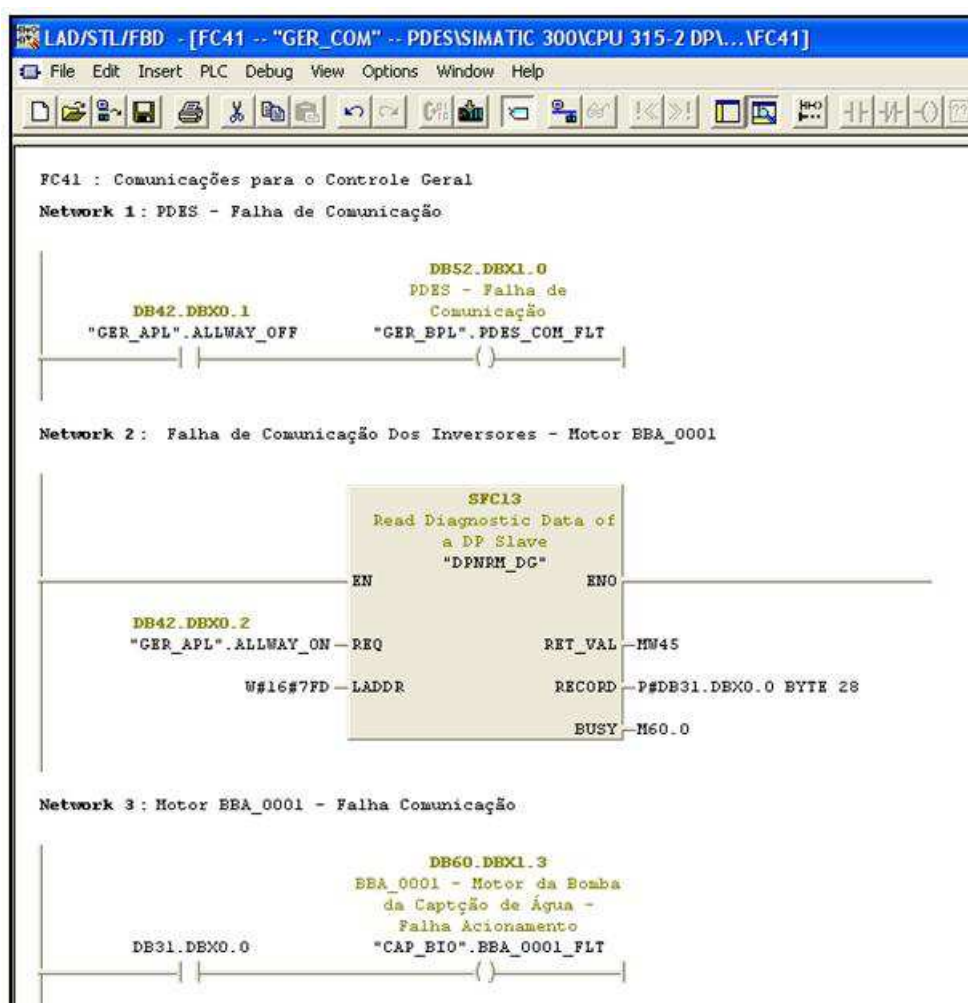


Figura 4.22 - Detalhe do lógica do FC41 - Leitura do status de um inversor

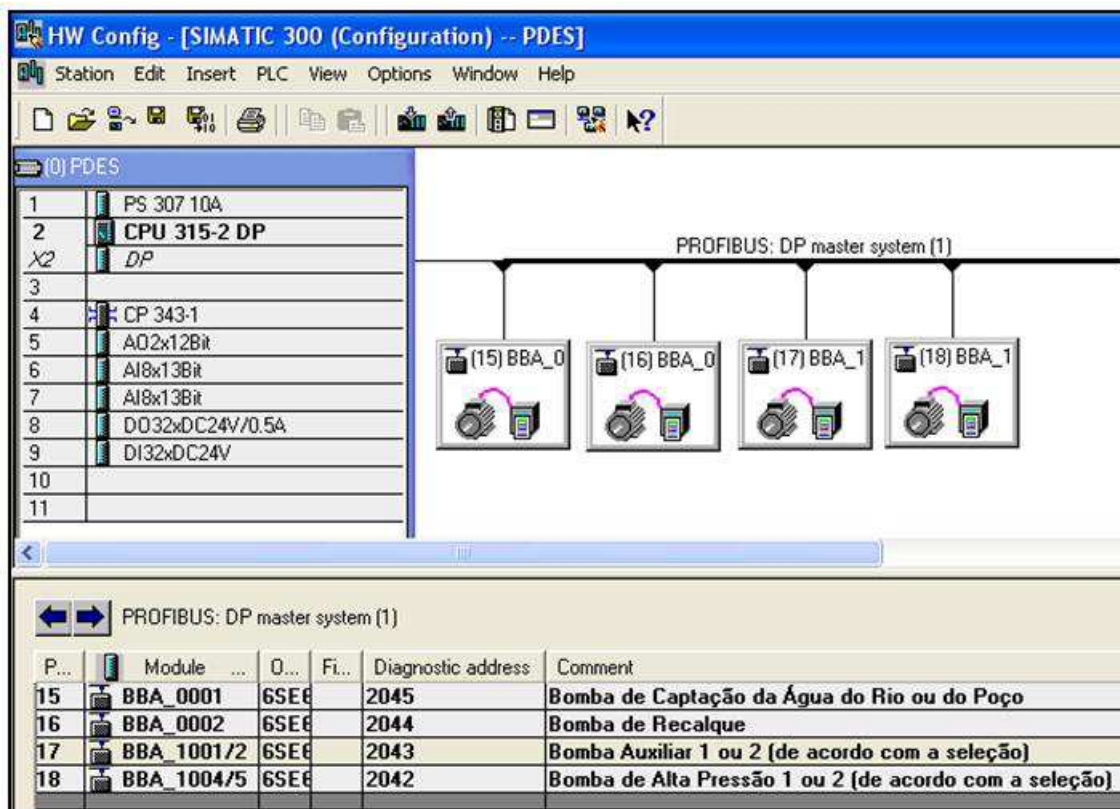


Figura 4.23 - Detalhe da *Hardware Configurator* - Configuração de rede Profibus

As lógicas das funções FC42, FC62 e FC82 executam as lógicas relacionadas aos alarmes de sua respectiva tarefa, tais como memorização dos defeitos gerados internamente, criação dos resumos de alarmes e trips e geração dos atuadores da sirene para sinalizar no supervisão ou na sirene local a presença de uma anormalidade no funcionamento da planta.

Como exemplo de desenvolvimento da lógica de alarmes será mostrado na Figura 4.24 a lógica para gerar alarme de manobra de uma válvula solenoide que consta da FC82. O funcionamento da lógica se dá seguinte forma: Se houver um comando de abertura ou fechamento da válvula, temporiza-se 5s e caso o comando esteja ativo ainda e não haja retorno positivo gera-se o respectivo alarme.

Outro exemplo de lógica de alarme, é a FC412 (Figura 4.25) que é a chamada dentro dessa mesma FC82 para fazer o controle específico do alarme dos inversores. Ela foi criada devido a otimização do software, pois estenderia-se ainda mais o aplicativo, se ao invés disto criarem-se as lógicas individualmente para cada inversor.



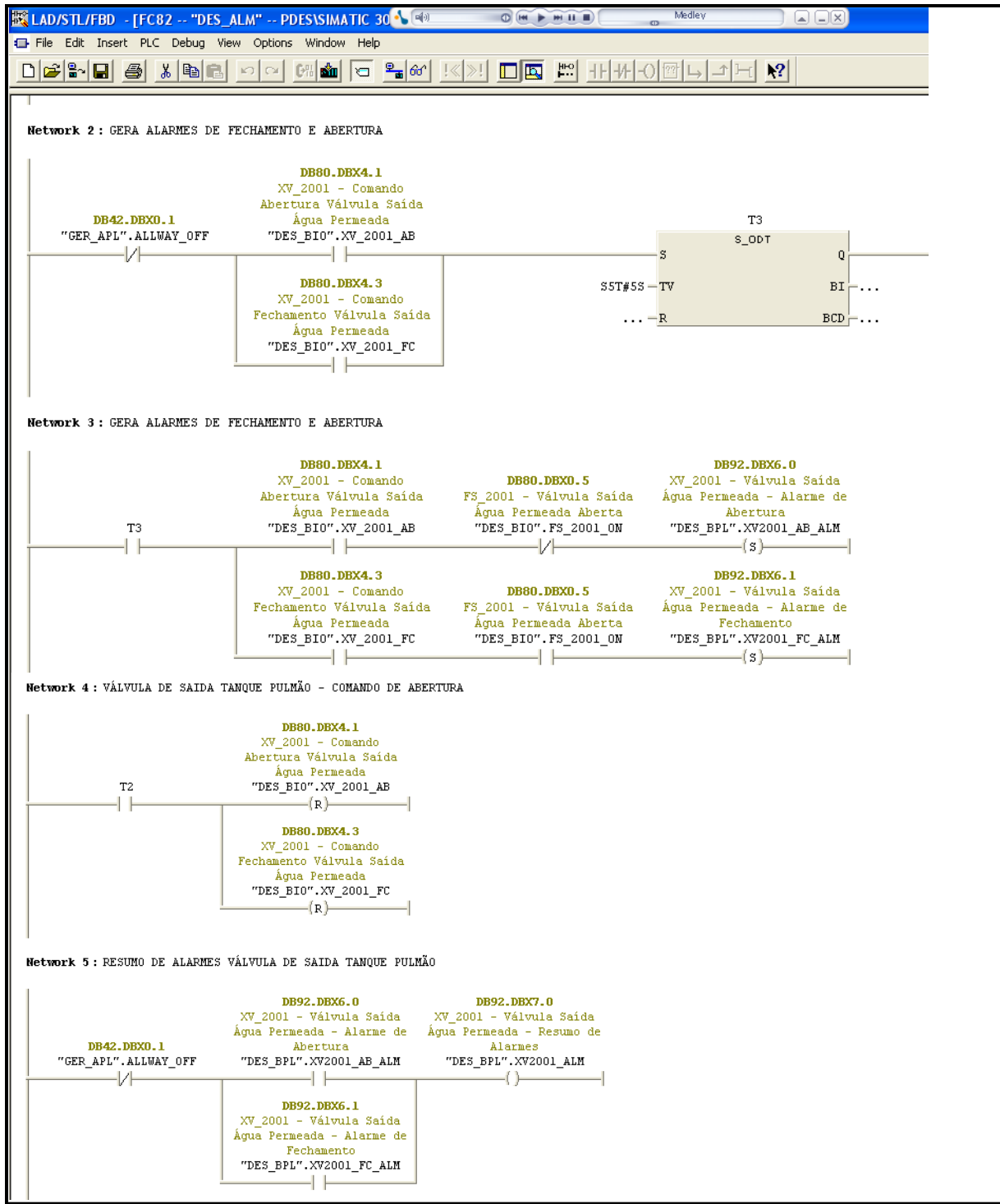


Figura 4.24 - Detalhe da FC82 - Alarme de manobra de válvula solenóide

Essa lógica conceitualmente é similar à de outros dispositivos. A diferença se dá no fato de se passar parâmetros específicos para a função e esta retornara o resultado da operação.

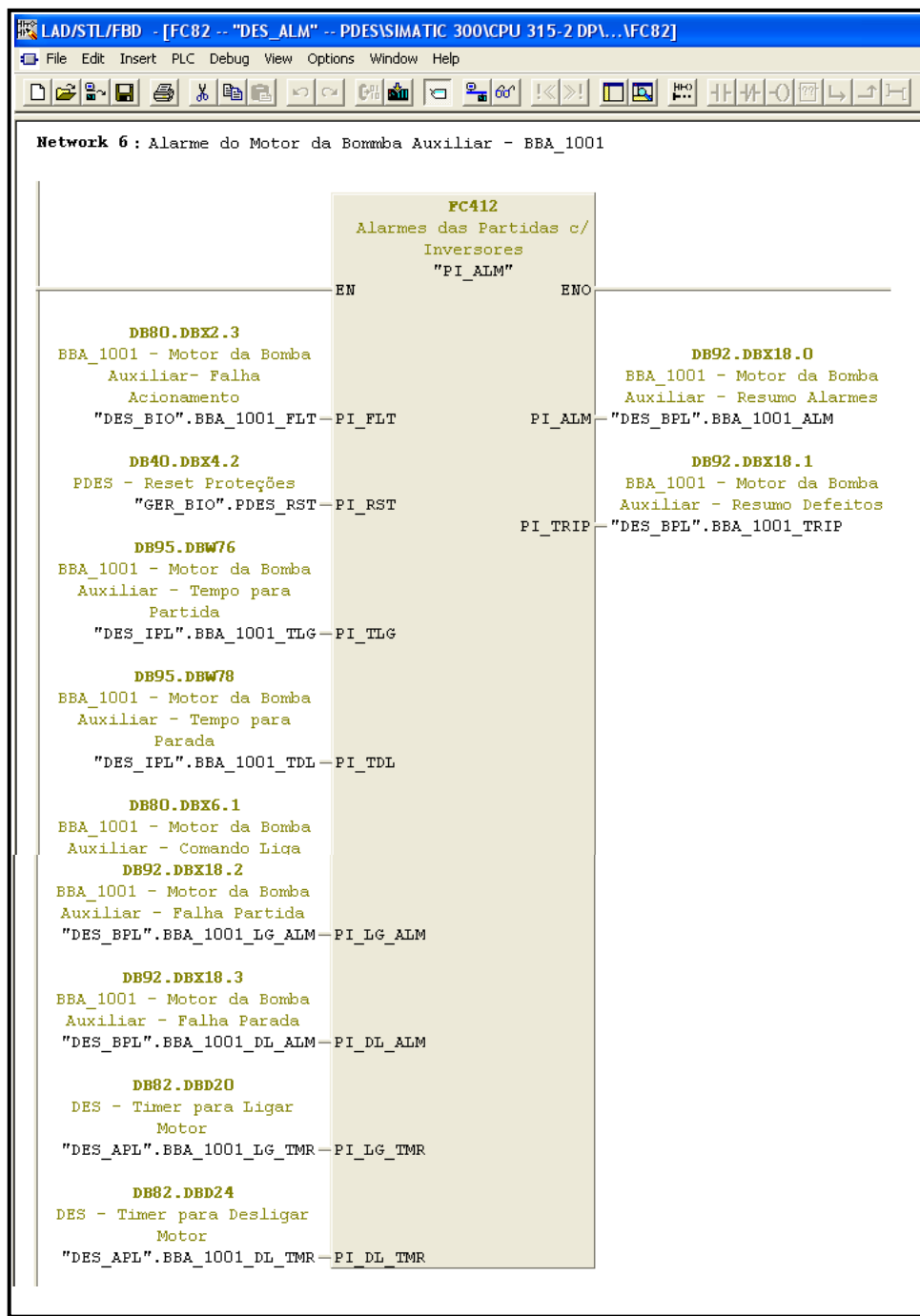


Figura 4.25 - Detalhe da FC412 - Lógica de Alarme para uma partida inversora

As lógicas realizadas nas funções de controles auxiliares de cada tarefa FC43, FC63, FC83 e FC413 são responsáveis por comparações para observar se os alarmes de cada tarefa estão ativos, e gerar um comando para tocar a sirene. Além disto, a lógica de reset dos defeitos, a lógica de seleção do modo de comando (Figura 4.26) e as seleções das bombas que estarão ativas também são feitas nesta lógica (Figura 4.27). As condições elétricas, mecânicas e de processos que habilitarão a partida das bombas estão descritas na lógica mostrada na Figura 4.28. Para cada motobomba estas condições não são necessariamente iguais.

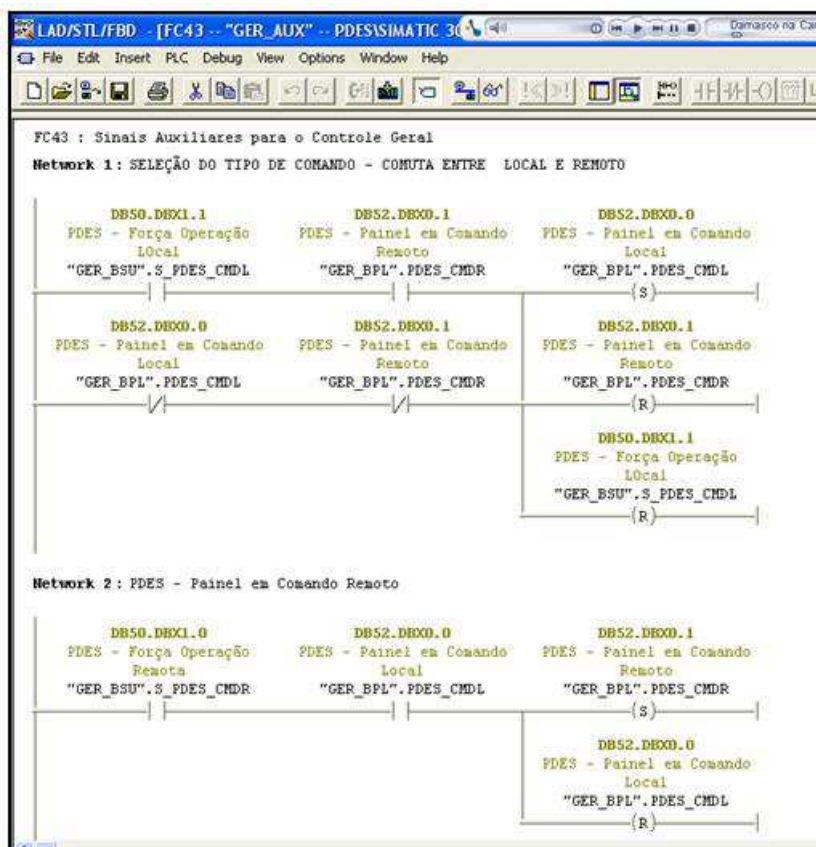


Figura 4.26 - Detalhe da FC43 - Lógica de seleção do modo de comando do painel

Outras lógicas para o tratamento dos auxiliares dos inversores, FC413 são mostrados na Figura 4.29. Essas lógicas têm a especificidade de gerar a habilitação de partida do motor, como também, fazer os ajustes dos tempos de partida, parada e retardo de partida do motor. Além disto, nesta lógica o controle do setpoint do motor é verificado e a animação dos status dos motores é gerada e quando lidos pelo supervisor são mostrados na tela, como será mostrado na próxima seção.



Figura 4.27 - Detalhe da FC63 - Lógica de seleção da Motobomba operante.

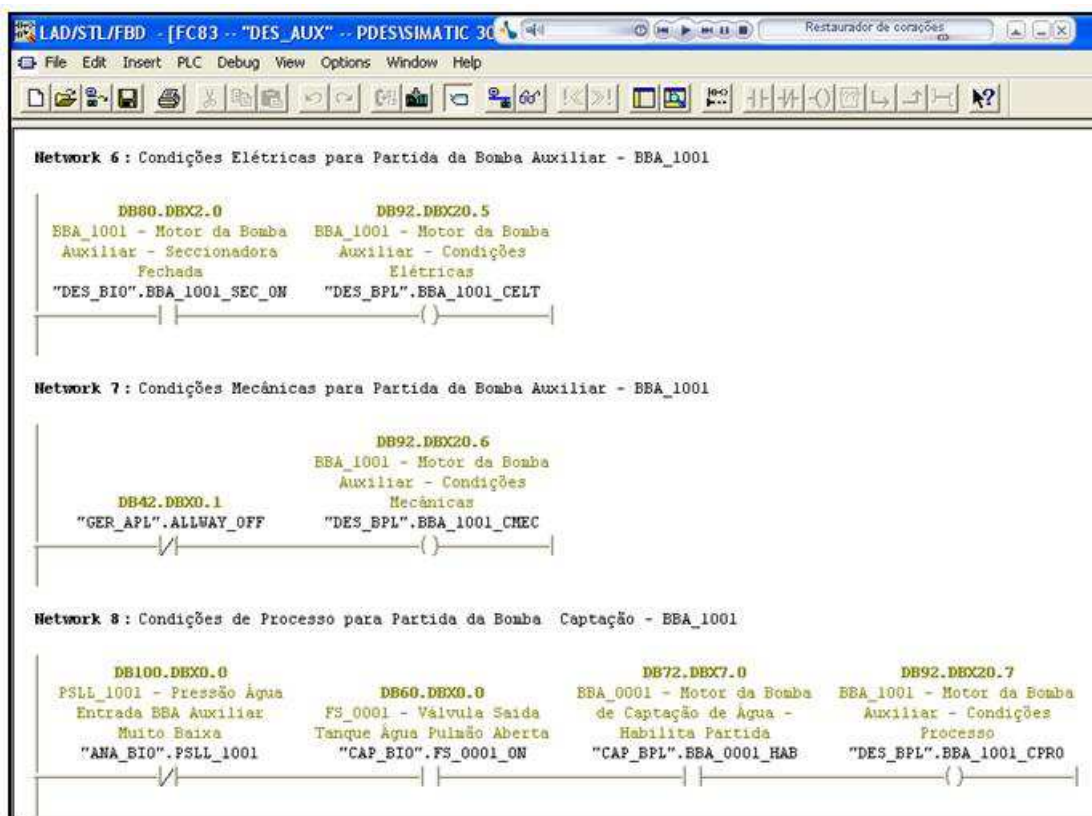


Figura 4.28 - Detalhe da FC83 - Habilitação das condições de partida da motobomba.



Figura 4.29 - Detalhe da FC413 - Lógica de habilitação da partida motobomba.

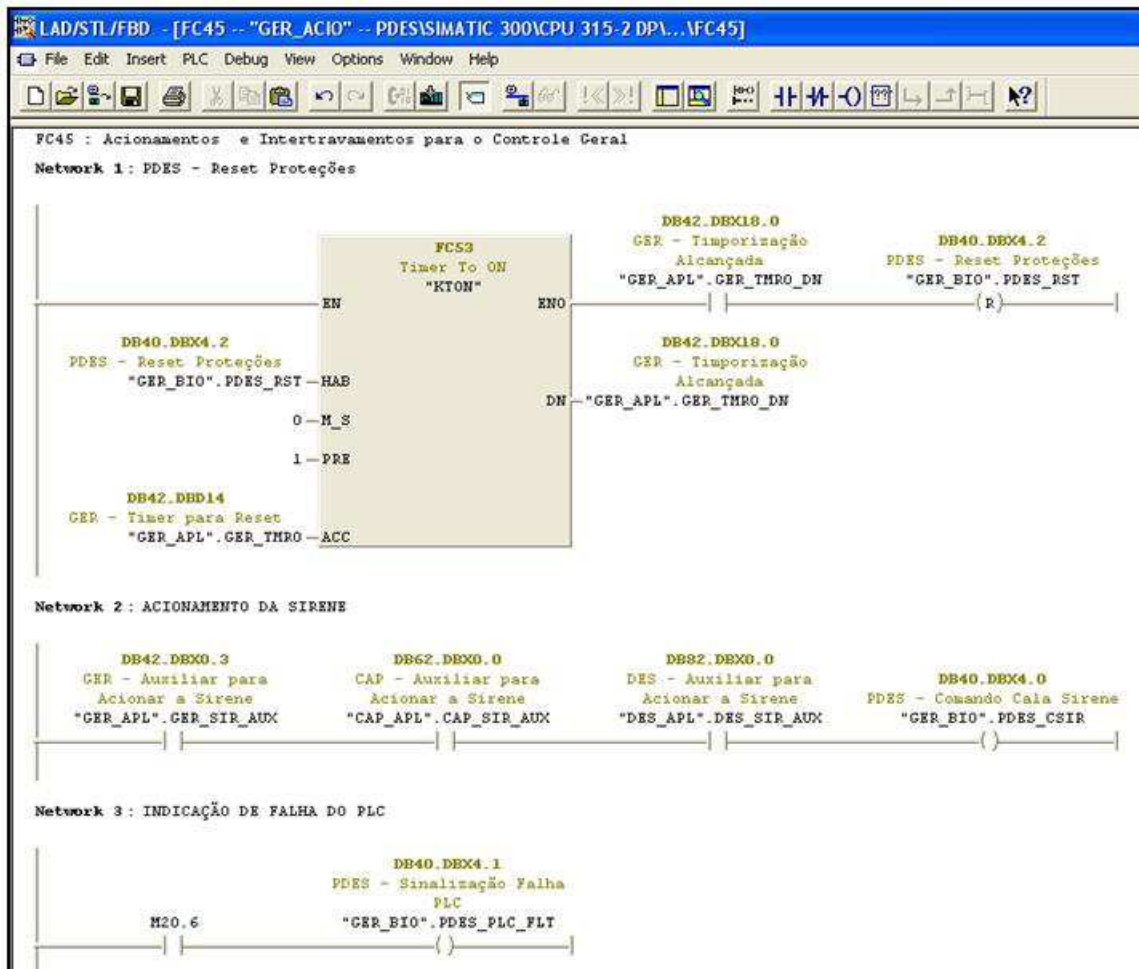


Figura 4.30 - Detalhe da FC45 - Lógica de *reset* e acionamento da sirene de alarme.

As funções que serão descritas, FC45, FC65, FC85 e a FC415 dizem respeito à realização dos acionamentos propriamente ditos. São nestas funções que serão executados os comandos de reset, acionamento da sirene, FC45, mostrados na Figura 4.30, comandos das válvulas (Figura 4.3)1 e a chamada, FC414, do acionamento dos motores. O FC65 e o FC85 realizam o comando de válvulas e também de motores, por isso será mostrado apenas um exemplo destes comandos, conforme Figuras 4.32.

O comando das válvulas solenóides se dá de forma simples. Primeiro espelha-se o modo de comando para a permissão de comando, este modo é definido anteriormente na lógica auxiliar, para o caso mostrado na Figura 4.30, no FC63. Se a permissão é para operação em remoto (PREM), monitora-se se o comando via supervisorio ou se é para automático (PAUT) monitora-se o comando via grafcet, FC84, que será descrito mais adiante. O retorno do comando é observado através do contator de fluxo que se localiza a jusante da válvula.

Com respeito a partida dos motores foi desenvolvida também uma função especial para este fim, a FC414. O conteúdo desta função é mostrado na Figura 4.32, ou seja, a lógica desenvolvida para realizar o controle do acionamento do motor. Ressalta-se, ainda, que os inversores são idênticos, mudando apenas a potência e a corrente que serão aplicadas. Com isto a lógica é idêntica para as motobombas, justificando assim a criação da função para este fim.

A chamada da FC414 é similar à mostrada na Figura 4.25, mudando-se os parâmetros passados para a nova função. Por isto será mostrada apenas a lógica interna criada para a execução desta função.

A lógica interna usa variáveis temporárias que espelham os parâmetros de entrada da função e após a execução espelham nas de saídas o resultado da operação. O uso de variáveis temporárias, válidas apenas em tempo de execução, se faz necessário para possibilitar a replicabilidade do uso da função, para tanto, toda vez que a função é iniciada o conteúdo destas variáveis é limpo automaticamente pelo programa.

## Capítulo IV - Resultados e Discussões

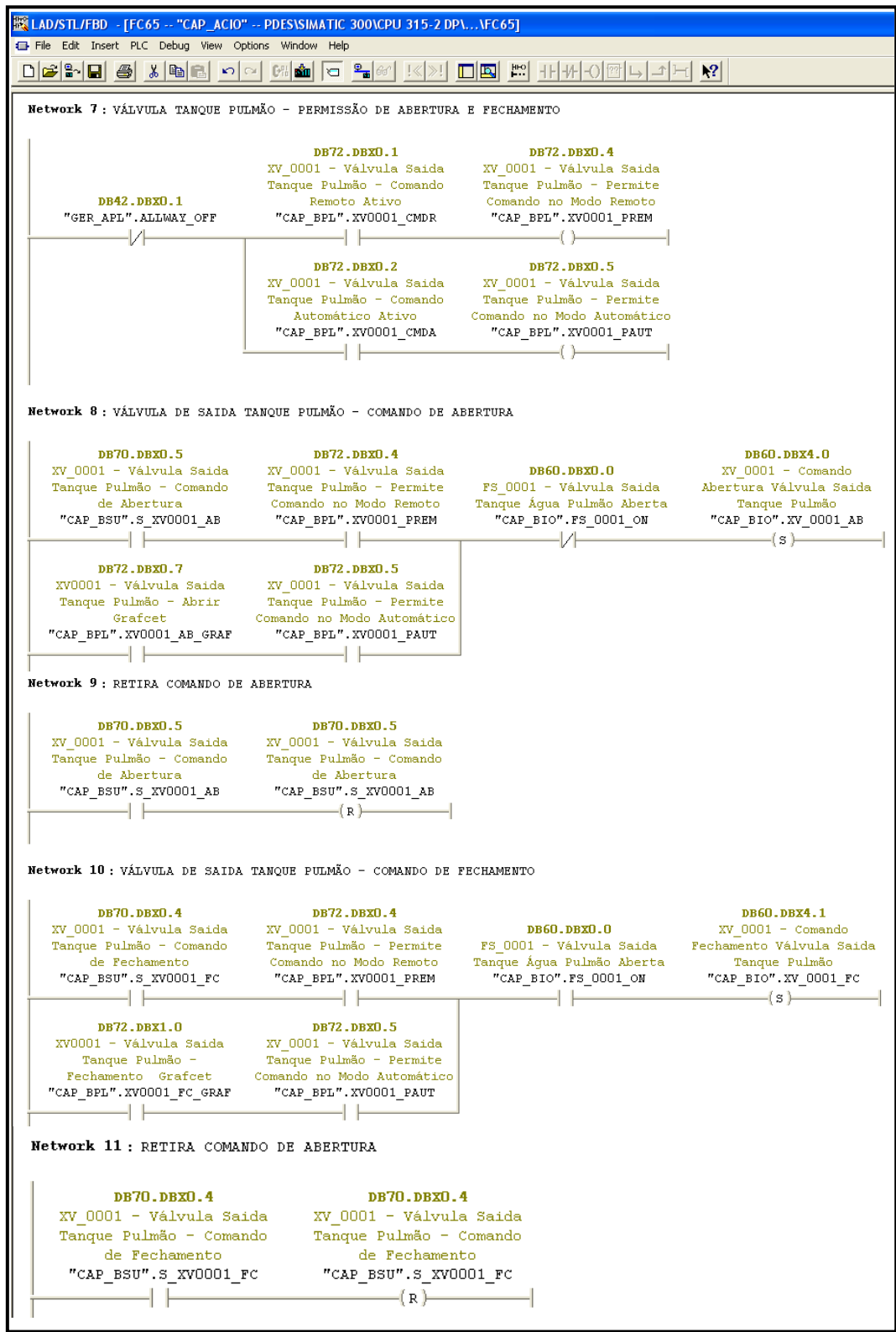


Figura 4.31 - Detalhe da FC65 - Lógica acionamento da válvula XV\_0001



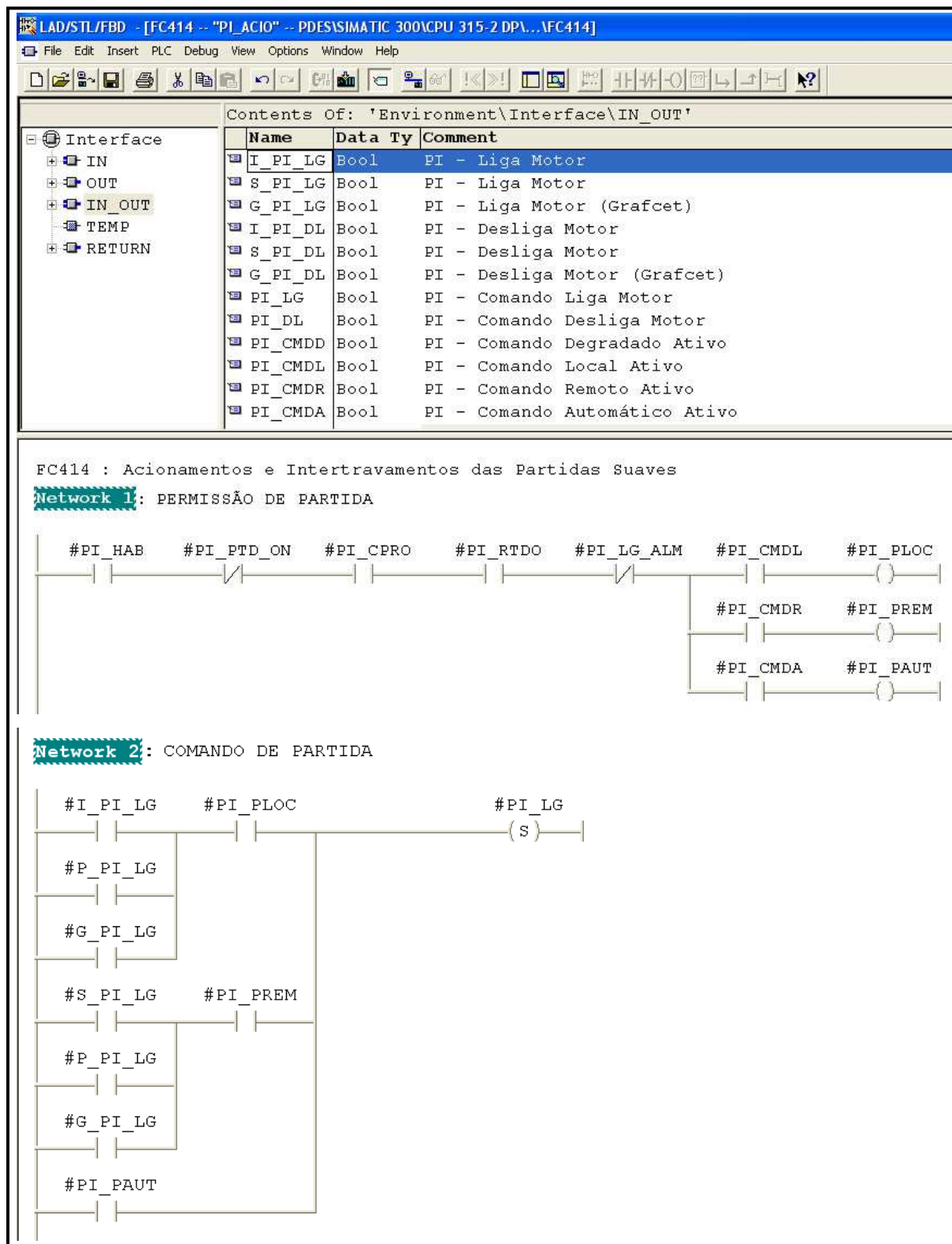


Figura 4.32 - Detalhe da FC415 - Lógica de acionamento da motobomba

Além de todas outras funções mencionadas anteriormente, merecem destaque, principalmente pela sua aplicação e uso difundido neste projeto. As funções que tratam as variáveis analógicas no que diz respeito, FC52, à lógica de alarmes e a lógica dos auxiliares FC51.

A lógica, mostrada na Figura 4.33, para habilitar e desabilitar os alarmes e os trips é desenvolvida na FC51. Nela também são realizados os ajustes dos valores definidos pelo operador, instrumentista ou engenheiro responsável através do supervisório, Figura 4.34. Entretanto, isto só acontece se os valores forem ajustados de forma coerente. Caso contrário o valor armazenado no CLP é transferido automaticamente para o supervisório, Figura 4.34. Se tentasse ajustar um valor para o alarme de nível baixo inferior ao do trip de muito baixo esta ação não será permitida e de forma dual par o alarme e de trip de valor alto.

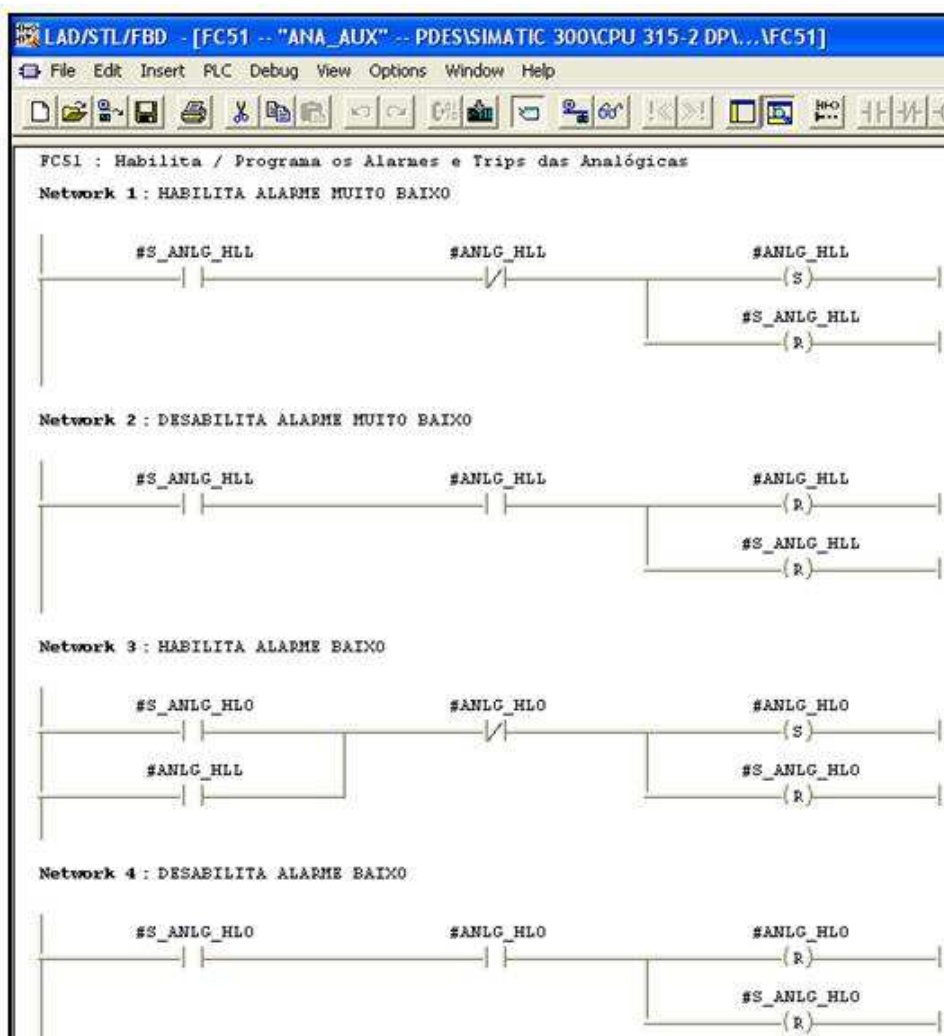


Figura 4.33 - Detalhe da FC51 - Lógica de habilitação das variáveis analógicas

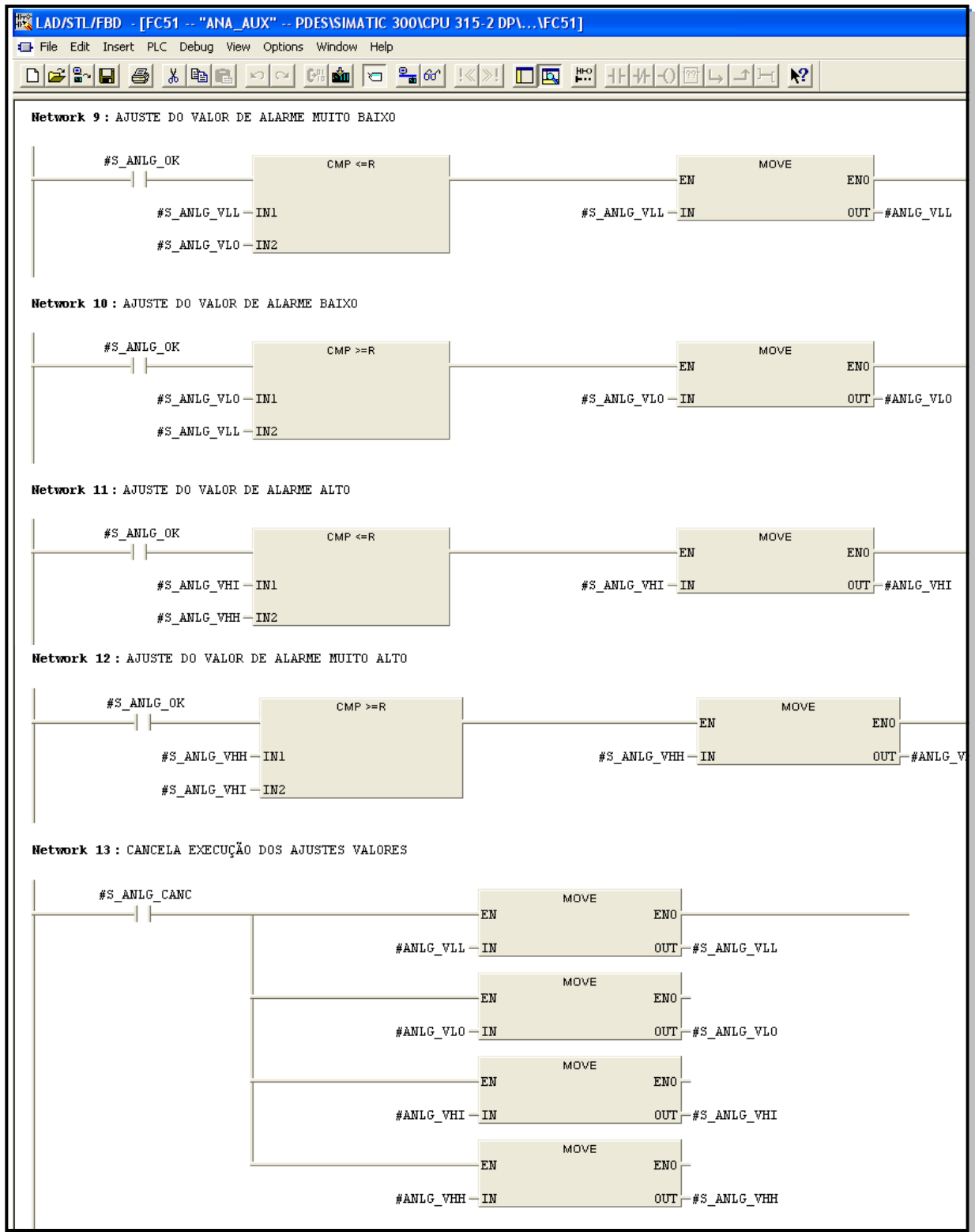


Figura 4.34 - Detalhe da FC51 - Lógica de ajustes das variáveis analógicas

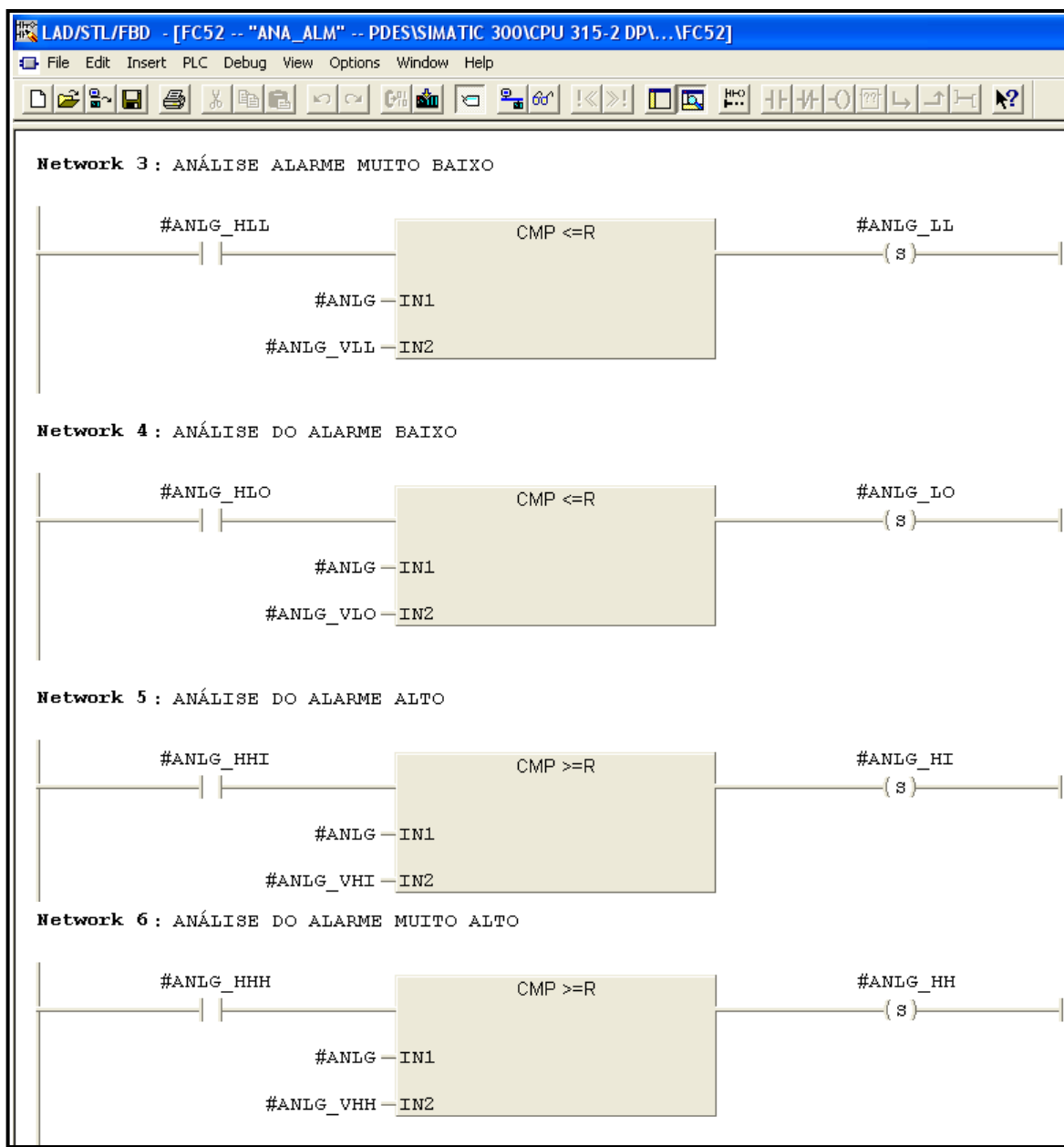


Figura 4.35 - Detalhe da FC52 - Lógica de alarmes das variáveis analógicas

A FC52, mostrada na Figura 4.35, realiza o teste da variável analógica com os valores definidos na instrumentação da seguinte forma. Se não houver falha no canal a lógica testa se o valor atual da variável é inferior ou igual ao definido como trip de valor muito baixo caso este esteja habilitado, se verdadeiro seta-se o trip de valor muito baixo (ANLG\_LL). Em seguida, da mesma forma, são testados os valores de alarme de valor baixo (ANLG\_LO), de alarme de valor alto (ANLG\_HI) e o de trip de valor muito alto (ANLG\_HI).

Caso haja falha no canal a seqüência de execução do programa é quebrada e os testes não são realizados. Por fim, de qualquer forma o resumo dos alarmes e de trips são gerados e acontece a saída da função. Depois de todas as lógicas de controle executadas é necessário, agora, movimentar os resultados delas para os atuadores ou para monitoração e tomadas ações de controle. Estas movimentações de saídas digitais e analógicas são executadas pelas FC38 e FC39, respectivamente. A movimentação das saídas digitais, FC38, é mostrada na Figura 4.36.

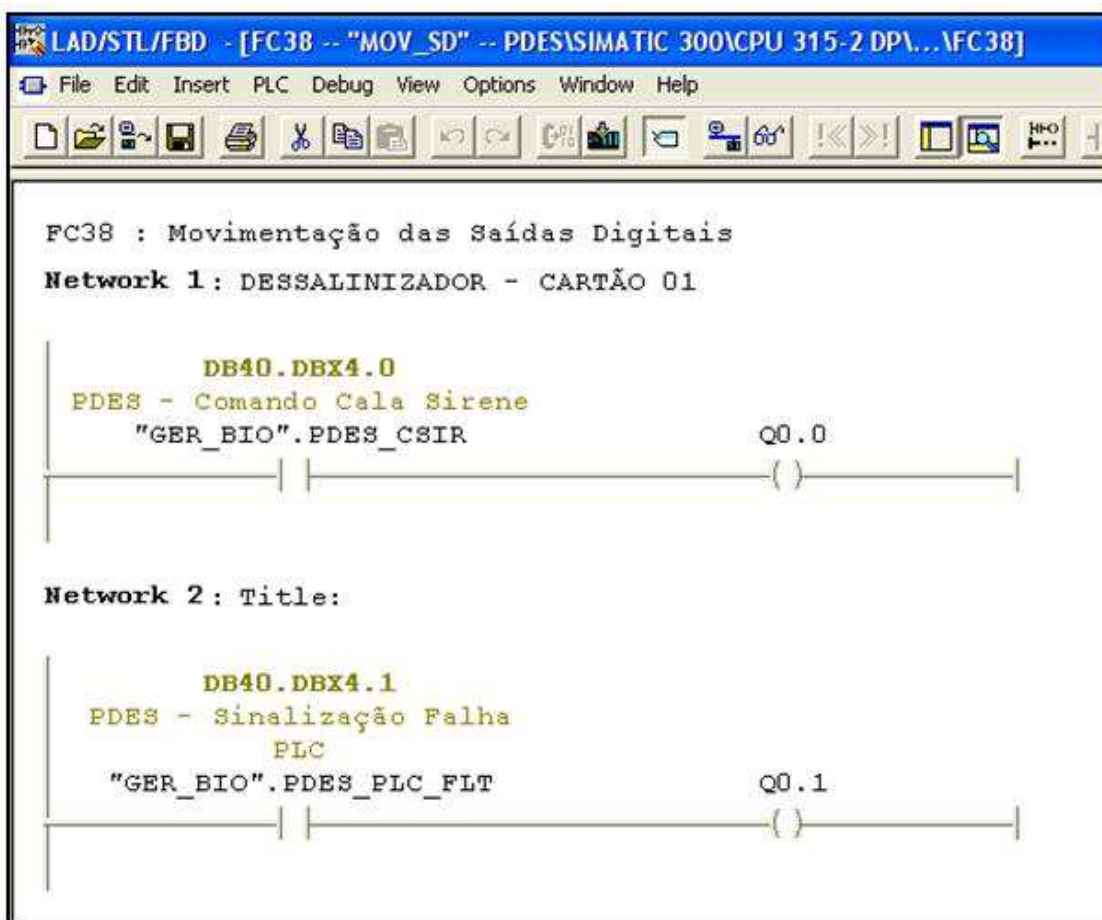


Figura 4.36 - Detalhe da FC38 - Movimentação de saídas digitais

A última função executada na seqüência definida no OB1 é a movimentação das saídas analógicas, entretanto dentro desta função, FC39, a função de conversão de real par inteiro, FC48, dual da FC49 e com a mesma capacidade de escalonamento. As duas últimas funções são mostradas nas Figuras 4.37 e 4.38.

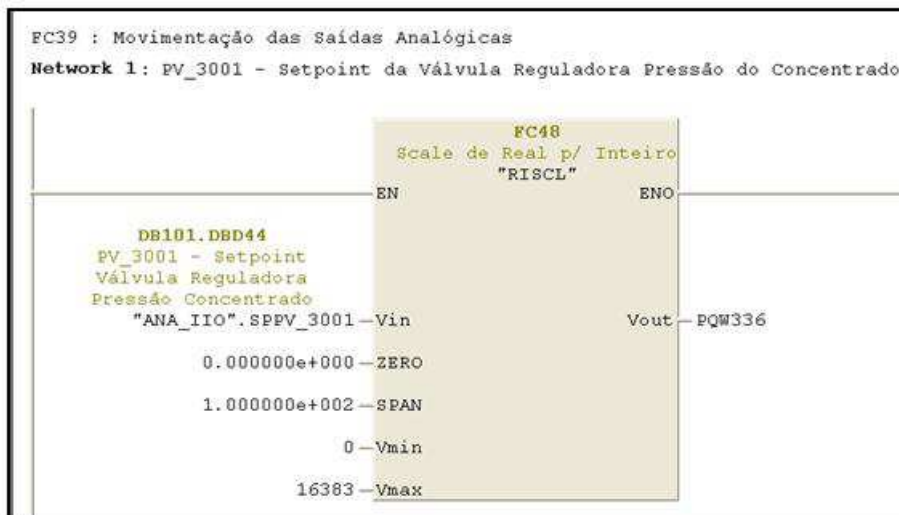


Figura 4.37 - Detalhe da FC38 - Movimentação de saídas analógicas

```

FC48 : Escalonamento de um Real em Inteiro
Network 1: Escalonamento de um Real em Inteiro
L #SPAN //CALCULA O VALOR
L #ZERO //DE (SPAN - ZERO)
-R
T #RASC1

L #Vmax //CALCULA O VALOR
ITD
DTR
L #Vmin //DE (Vmax - Vmin)
ITD
DTR
-R

L #RASC1 //Divide os valores
/R //calculados acima

L #Vin //Multiplica a divisão//da entrada
*R

L #Vmin //Soma o resultado acima com
ITD
DTR
+R //o valor mínimo
RND
T #Vout
// **** FAZ O "CLAMP" DA SAÍDA ENTRE Vmin E Vmax ****
L #Vmax // Carrega Valor máximo configurado
>I // se maior ou igual,
JC M001 // pula
TAK
L #Vmin // Le o valor no Ponto de Entrada
<I // se menor ou igual,
JC M002 // Se não, pula
JU M004 // Fim
M001: L #Vmax // Carrega Valor máximo configurado
T #Vout // Transfere Posiq. escrita da Variável
JC M004 // Fim
M002: L #Vmin // Carrega Valor mínimo configurado
T #Vout // Transfere Posiq. escrita da Variável
M004: NOP 0
    
```

Figura 4.38 - Detalhe da FC48 - Lógica de conversão de real para inteiro

### 4.3.2 - Programação do Supervisório

O programa supervisorio desenvolvido é responsável pelo controle e supervisão remota da planta. Será mostrado e discutido a seguir as funcionalidades e as telas principal do software de desenvolvimento, o WinCC, como também as principais telas do aplicativo estão mostradas a seguir.

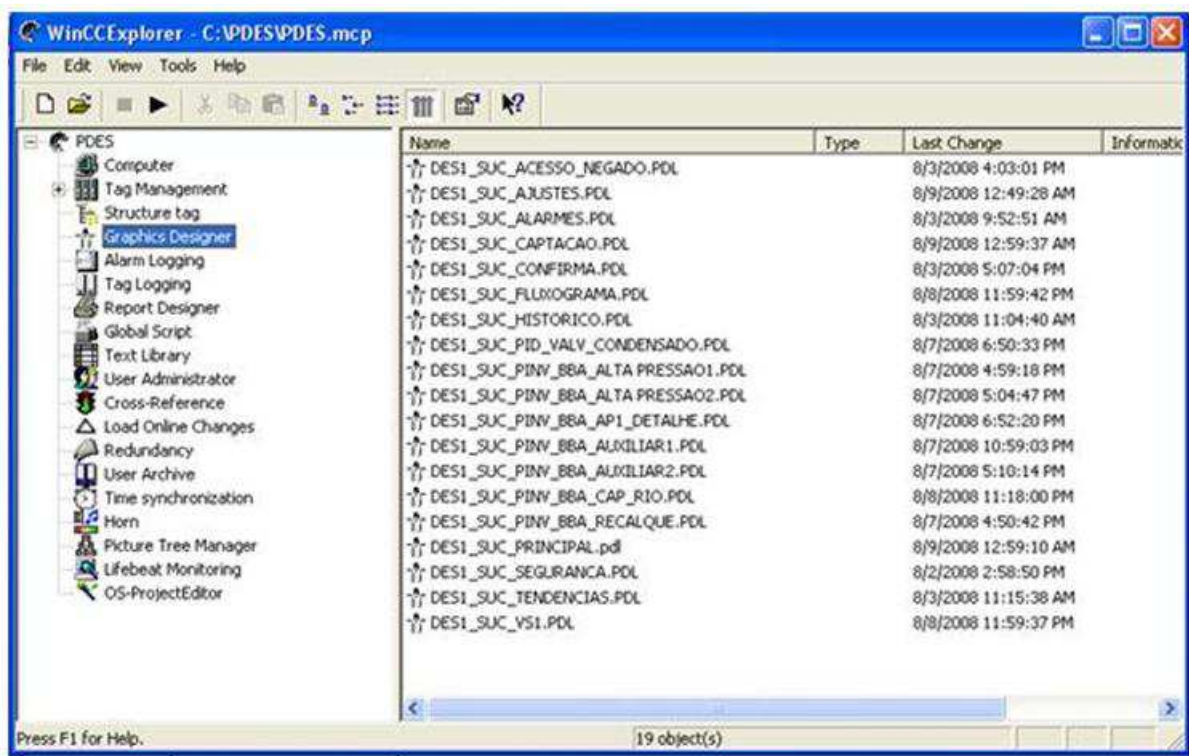


Figura 4.39 - Tela de desenvolvimento no WinCC - WinCCExplorer

#### 4.3.2.1 - Hierarquia Operacional

O acesso a estas informações e à operação dos dispositivos de campo é restrito às pessoas que forem cadastradas no Sistema Supervisorio. Os níveis de acesso, realizados através de senhas, são da seguinte forma: Engenharia, Plantão, Operação e Visita.

**Engenharia:** Usuários deste nível têm acesso a alteração de todos os parâmetros, inclusão ou exclusão de usuários e alteração da configuração do sistema de Supervisão.

**Plantão:** Além da total operação da planta, estes usuários podem também habilitar e desabilitar os alarmes e “trips” de variáveis analógicas.



**Operação:** Permite total operação da planta, incluindo ligar e desligar elementos do processo, alteração de *setpoint* e comando do sistema elétrico.

**Visita:** Este usuário pode apenas navegar pelo sistema, não podendo, no entanto, executar qualquer tipo de ação.

Ao clicar no primeiro ícone do *menu* principal, o *Login*, será inicializado o *login Panel*, como mostrado abaixo. O nome do usuário “logado” aparece na caixa, canto superior direito, como mostrado na Figura 4.40. O nível hierárquico também é sinalizado e identificado pelo aparecimento da chave abaixo do nível de acesso. Para realizar o *logout* deve-se clicar no botão *Logout* e, em seguida, no botão “Sair”.



Figura 4.40 - Tela de “login” do usuário

#### 4.3.2.2 - Captação de Água do Sistema de Dessalinização

O acesso à captação é obtido ao se clicar no menu principal no ícone referenciado. Nesta tela está implementada a partida das bombas de captação de água do rio e de recalque

dos filtros multimeios. O nível dos tanques de alimentação também é mostrado através do sinalizador, “LED”, sobre cada tanque, onde verde significa tanque cheio e laranja tanque vazio.

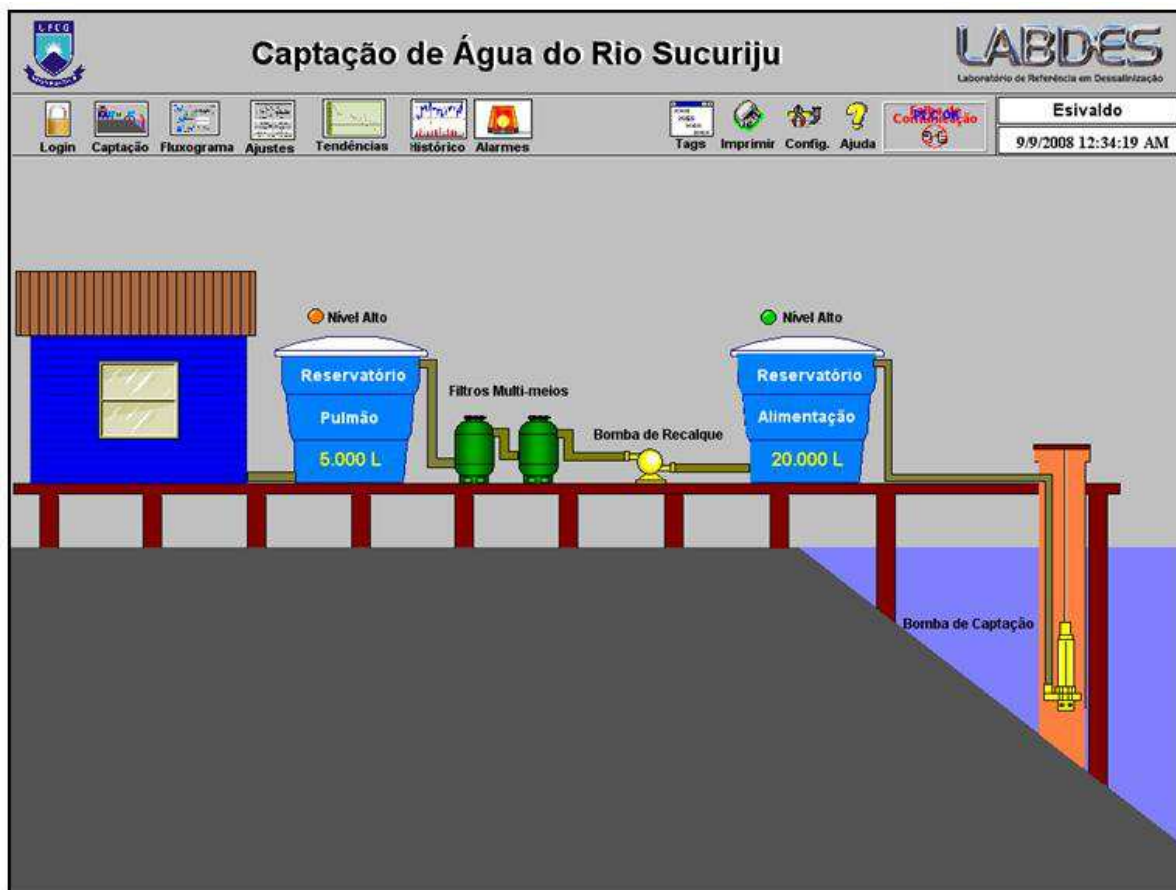


Figura 4.41 - Tela da captação de água

#### 4.3.2.3 - Fluxograma do Sistema de Dessalinização

Ao se clicar” no terceiro ícone do menu principal abre-se a telado fluxograma do sistema de dessalinização mostrada na Figura 4.42. É nesta tela que as bombas que entrarão em operação são selecionadas. Esta tela mostra o valor atual de todas as variáveis da planta, é aqui também onde as válvulas e bombas são comandadas. Os ajustes dos valores de “trip” e alarmes também podem ser realizados ao se clicar sobre o display de cada variável.

As animações desta tela, tais como cor dos *displays* e o status das bombas, irão ser detalhadas posteriormente neste capítulo. Um clique sobre o display irá provocar o aparecimento de uma tela de configurações dos ajustes.

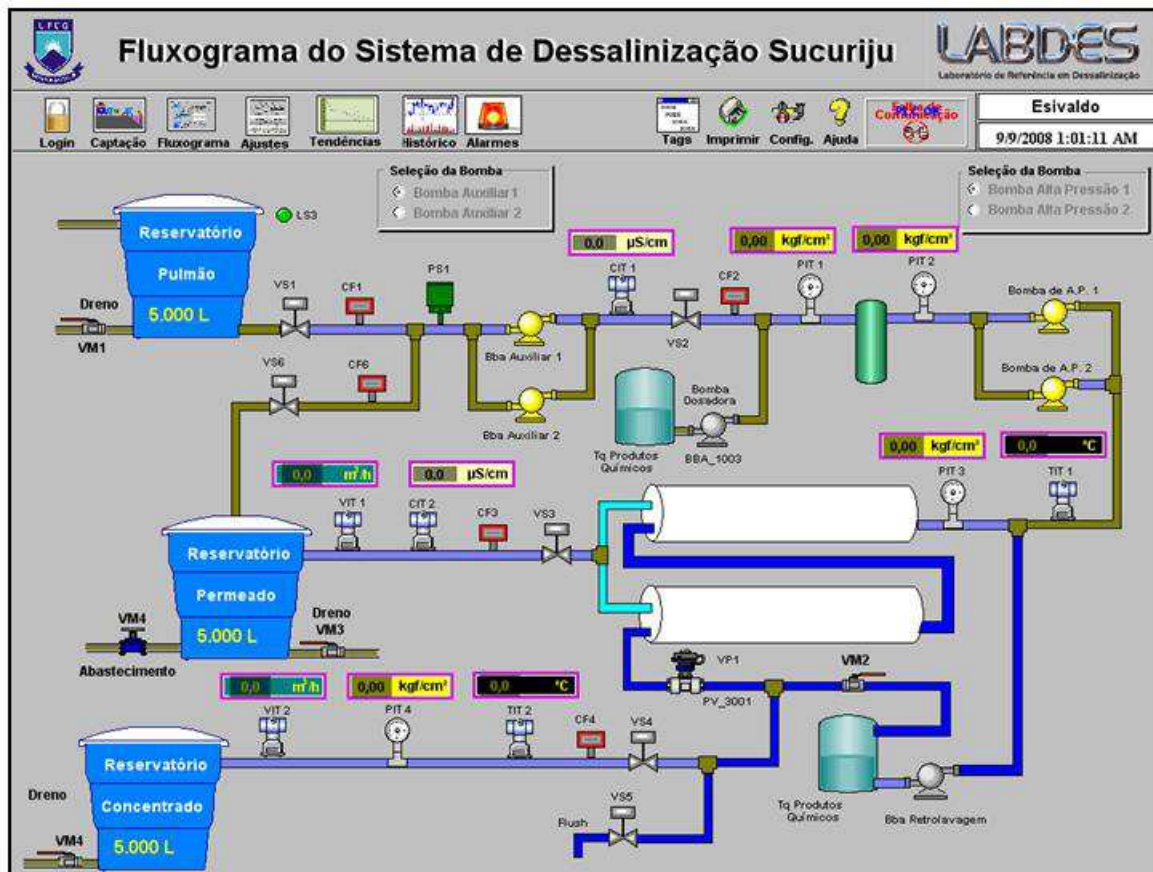


Figura 4.42 - Tela do fluxograma do sistema

Clicando sobre qualquer simbologia de bomba ou de válvula, da mesma forma, aparecerá uma tela de configurações dos ajustes. Só terão acesso a estes ajustes usuários do nível de acesso engenharia. Será possível também fazer o reset das proteções do respectivo motor por usuários do tipo plantão ou engenharia. As telas *pop-ups* de comando e de ajustes podem ser visualizados nas Figuras 4.43, 4.44 e 4.45.



Figura 4.43 - Tela de acionamento das motobombas



Figura 4.44 - Tela de acionamento das válvulas

Com o intuito de possibilitar a visualização geral e de forma clara das informações analógicas, é colocado o *display* na tela do fluxograma. Para exemplificar a animação de cada um deles, representaremos aqui as animações desenvolvidas para temperatura.

52,2 °C

Temperatura se encontra em sua faixa normal.

28,3 °C

Temperatura se encontra na faixa de alarme programada para a mesma. Quando isso ocorrer, a cor da fonte será laranja.

37,7 °C

Temperatura se encontra na faixa de trip programada para a mesma. Quando isso ocorrer, a cor da fonte será preta e a cor de fundo será vermelha.

28,3 °C

Temperatura não está nem com o trip de alta nem com o trip de baixa habilitado. Quando isso ocorrer, o display fica com uma borda roxa.

Uma tela de ajuste das analógicas foi desenvolvida e é nesta tela é possível habilitar os *trips* e alarmes, assim como ajustar os seus valores. A seguir a Figura 4.45 mostra como exemplo a telas de ajuste das pressões.



Figura 4.45 - Tela de Ajustes das Pressões

Todas as medições analógicas são padronizadas para as cores para alarmes e “trips”, se alterando apenas a cor de fundo para maior facilidade na visualização do tipo de medição. Nos displays de pressão é utilizado o fundo amarelo e a fonte preta.



#### 4.3.2.4 - Tela de Ajuste do Sistema de Dessalinização

Para facilitar os ajustes e tornar mais ágil a configuração inicial criou-se a tela de ajustes gerais. Neta tela (Figura 4.46) todas as variáveis estão inclusas e os ajustes são feitos de uma só vez.

**Ajuste das Variáveis Analógicas**

LABDES  
Laboratório de Referência em Dessalinização

Login Captação Fluxograma Ajustes Tendências Histórico Alarmes Grafset Tags Imprimir Config. Legenda PLC OK Esivaldo 10/7/2008 3:36:10 PM

### PRESSÕES

MEDIÇÕES	MUITO BAIXO (TRIP)	BAIXO (ALARME)	ALTO (ALARME)	ALTO (TRIP)
Água de Entrada Pré-Filtro - PIT_1001	2,54 kgf/cm <sup>2</sup>	+1,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+2,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+3,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado
Água de Saída Pré-Filtro - PIT_1002	2,59 kgf/cm <sup>2</sup>	+1,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+2,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+3,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado
Água de Entrada Membranas - PIT_1003	17,36 kgf/cm <sup>2</sup>	+12,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+13,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+18,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado
Água do Concentrado - PIT_3001	16,28 kgf/cm <sup>2</sup>	+12,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+13,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+17,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado

Reset  OK  Cancelar

### TEMPERATURAS

MEDIÇÕES	MUITO BAIXO (TRIP)	BAIXO (ALARME)	ALTO (ALARME)	ALTO (TRIP)
Água de Entrada das Membranas	54,25 °C	+10,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+20,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+60,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado
Água do Concentrado	54,98 °C	+10,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+20,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+60,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado

Reset  OK  Cancelar

### CONDUTIVIDADE

MEDIÇÕES	MUITO BAIXO (TRIP)	BAIXO (ALARME)	ALTO (ALARME)	ALTO (TRIP)
Água de Saída da Bomba Auxiliar	1,71 mS/cm	+1,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+1,20 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+3,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado
Água do Permeado	578,70 uS/cm	+200,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+400,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+700,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado

Reset  OK  Cancelar

### VAZÃO

MEDIÇÕES	MUITO BAIXO (TRIP)	BAIXO (ALARME)	ALTO (ALARME)	ALTO (TRIP)
Saída de Água do Permeado	1,11 m <sup>3</sup> /h	+0,50 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+1,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+3,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado
Saída de Água do Concentrado	2,82 m <sup>3</sup> /h	+1,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+2,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado	+3,00 <input checked="" type="checkbox"/> Habilitado

Reset  OK  Cancelar

Figura 4.46 - Tela de ajustes das variáveis analógicas

#### 4.3.2.5 - Programação Embutida no Supervisório

Para abertura e animação das telas animação são necessárias lógicas que são executadas em “background”. Estas lógicas foram realizadas em linguagem C, pois o Wincc já prove de forma natural e fácil o uso desta linguagem também de VBS. A Figura 4.47 mostra de forma exemplar o uso desta lógica.

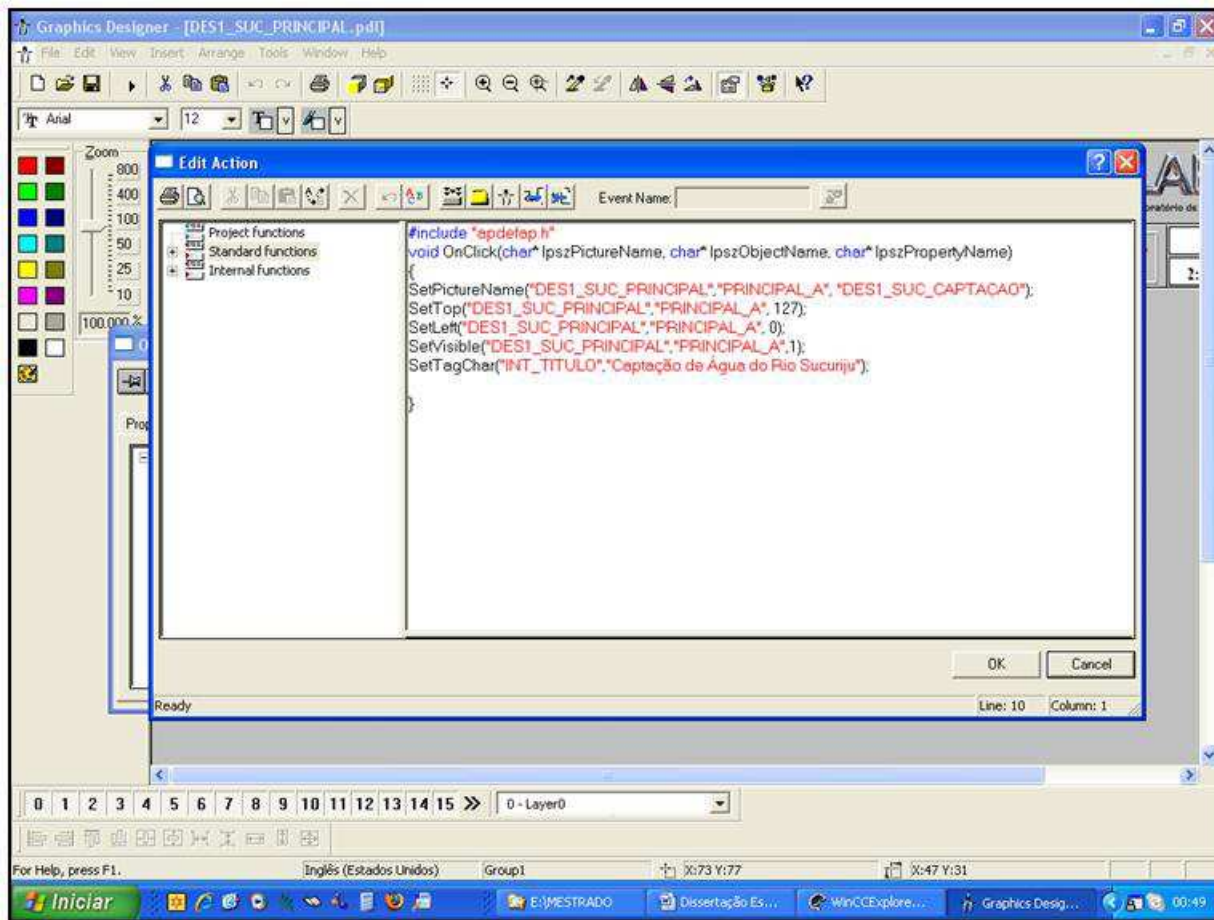


Figura 4.47 - Lógica interna para abertura de telas

#### 4.4 - Monitoração e Manutenção do Sistema

Todos os equipamentos instalados que fazem parte do sistema de automação são bastante robustos, entretanto, necessitam de ações de manutenção. Estas ações tem a finalidade de aumentar a vida útil dos equipamentos, evitando assim, defeitos mais graves e reparos mais difíceis e onerosos ao projeto.

Algumas estratégias de operação, como, a retro-lavagem, que quando executada tem um caráter semelhante à ação de manutenção preventiva é facilmente automatizada. Entretanto, existem outras como a o processo de limpeza química, descrita na próxima seção é difícil de ser automatizada, pois requer várias ações que necessitam de medições e avaliações qualitativas bastante detalhadas do processo. Estas medições e avaliações poderiam ser automatizadas, porém oneraria muito o projeto e se distanciaria muito do escopo do mesmo.

Santos, J. E  
 Automação do Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa da Vila de Sucuriu - AP



Outras ações bastante simples e não menos importante devem ser realizadas periodicamente pelo operador, tais como: limpeza dos reservatórios; re-aperto das tubulações e conexões; limpeza das instalações e equipamentos, evitando assim infestações.

Durante a monitoração de sistema de dessalinização é criada uma planilha de acompanhamento do sistema, onde são anotados pelo operador local, os valores indicados pelos instrumentos analógicos. Estas planilhas serão digitalizadas e comparadas com o banco de dados gerado pelo histórico do supervisor e assim, será definida a estratégia de manutenção preventiva para o sistema. Estas estratégias, quando tomadas, visam manter ou recuperar o desempenho de um sistema.

### 4.4.1 - Limpeza Química

A limpeza química dos elementos de membranas deve ser realizada periodicamente pelo operador sempre que a qualidade da água começar a cair. A periodicidade destas limpezas é definida quando da operação continuada do sistema e de acordo com a análise de alguns indicadores como rendimento e qualidade da água do permeado. Nos sistemas instalados no Nordeste o tempo médio entre as limpezas é de 3 meses.

A limpeza química tem o objetivo de eliminar possíveis bio-incrustação e é feita basicamente em duas etapas: a primeira com uma solução alcalina e a segunda com uma solução ácida. Os procedimentos a seguir foram ensinados aos operadores locais quando da realização do curso de operação e de manutenção realizados no LABDES.

Recomenda-se iniciar a limpeza química com uma solução alcalina como, por exemplo: hidróxido de sódio. O procedimento descrito abaixo apresenta etapas padrões para uma limpeza química de membranas:

- Lave (*flushing*) as membranas com água permeada a 30°C, durante 15 minutos sob uma pressão de 3,0 kg/cm<sup>2</sup>. Limpe cada estágio (banco de membranas) um de cada vez. No final dos 15 minutos mantenha as membranas embebidas com água permeada a 30°C durante 15 minutos e em seguida descarte a água no ralo (observe a coloração da água e faça suas observações).

- Preparar a solução de limpeza de acordo com as instruções do boletim da respectiva membrana. Ajuste o pH da solução e a temperatura de acordo com o limite máximo estabelecido pelo fabricante das membranas.
- Com ajuda de uma bomba, passe a solução de limpeza através dos elementos de membranas durante 1 a 2 minutos, e em seguida diluída no tanque de concentrado. Desligue a bomba e todas as válvulas durante 30 minutos.
- Repita o item 3 mais duas vezes. Monitore a cor da solução de limpeza. Se estiver ocorrendo mudança de cor, repita o item 3 até minimizar a coloração da solução.
- Recicle o concentrado para o tanque da solução de limpeza durante 45 minutos e monitore a temperatura e o pH da solução. Procurar manter a temperatura constante durante a limpeza. Quanto o pH, este variará em função do tipo de material que esta sendo usado na limpeza. Para soluções ácidas o pH tende a subir, para soluções alcalinas o pH tende a diminuir. Em ambas as situações no final da limpeza química o pH tende a ficar constante.
- Quando o pH da solução de limpeza se apresentar constante, dirija a solução de limpeza para o ralo. (Em caso de repetir a limpeza recomenda-se tirar amostras da solução anterior e a nova com o propósito de avaliar a taxa de remoção de impurezas a partir das análises físico-química).
- Recomenda-se que toda a tubulação hidráulica do sistema de dessalinização seja lavada com uma solução de ácido clorídrico de pH 3 e/ou hidróxido de sódio com pH 12.
- Em seguida lave as membranas e toda tubulação hidráulica com água permeada durante 15 minutos sob um fluxo moderado a  $3,0 \text{ kg/cm}^2$  (ou até se atingir a qualidade de permeado desejado). A temperatura da água deve se encontrar acima de  $20^\circ\text{C}$ , nunca acima de  $40^\circ\text{C}$ . No final desta operação o pH deve ficar próximo do valor do pH da água permeada. (Lembre-se que o concentrado e permeado desta operação deve ser drenado para o ralo ou um recipiente, o qual pode ser reutilizado).

### **Considerações importantes:**

No início da limpeza devem ser tomadas as seguintes medidas:

- Procurar medir o pH e a condutividade elétrica da água de alimentação, do permeado e concentrado do sistema e anotá-las em uma planilha de dados.
- Calcular o volume do tanque da solução de limpeza do sistema de dessalinização.
- Preparar a solução de limpeza com um volume superior de 10% ao calculado para não passar por dificuldade durante a limpeza.
- O controle de temperatura é muito importante durante a limpeza química.
- Não se esquecer de lavar as membranas com própria água de alimentação pelo menos 15 minutos antes de dar partida no sistema novamente.

### **4.4.2 - Substituição dos Filtros de Cartucho**

Os filtros de cartuchos deveram ser trocados periodicamente sempre que o rendimento do sistema começar a ser atingido. Este procedimento é bastante importante para prevenir danos aos elementos de membranas por incrustações. A periodicidade da troca depende muito de parâmetros que serão levantados durante a operação continuada do sistema uma vez que este projeto é singular e sem precedentes. O procedimento de realização desta estratégia de manutenção foi plenamente explicitado aos operadores durante os cursos realizados

## 5.0 - CONCLUSÕES

A Vila de Sucuriçu obteve, após a implantação completa deste projeto, uma melhoria acentuada da qualidade de vida, devido não somente à energia, mas também, à qualidade da água que será consumida. A água que é distribuída no chafariz está isenta de contaminação de qualquer espécie e agora atende todos os padrões de potabilidade do Ministério da Saúde. Para atender as demandas energéticas e de consumo de água, o sistema opera diariamente de 6 horas produzindo uma cota de 20 L/dia para cada habitante, atendendo assim as diretrizes estabelecidas pela Organização mundial de Saúde para o consumo de água potável.

A instrumentação foi toda desenvolvida, adquirida e instalada. Os equipamentos da George Fisher e Danfoss foram instalados pela empresa autorizada, a Orion Sistem Acessórios e Sistemas, que também forneceu tais equipamentos. Isto ocorreu sob supervisão do projetista e de acordo com a programação e prévia parametrização. Os demais equipamentos foram instalados pela equipe desenvolvedora do projeto e pela empresa Vega, montadora do dessalinizador.

A customização do equipamento de dessalinização se deu de forma bastante rápida e eficiente, pois se contou com o pleno comprometimento da empresa fornecedora do dessalinizador, o que facilitou muito a instalação dos quadros e painéis elétricos e também dos equipamentos de controle e automação.

A criação das estratégias de controle foi bastante natural devido ao amplo conhecimento do processo, e também, e principalmente, devido às experiências anteriores que a equipe detinha.

Os aplicativos foram desenvolvidos no tempo predeterminado, entretanto, devido à carência de água na vila, foi necessário antecipar drasticamente o comissionamento da planta, e por isso não foi possível realizar integralmente os testes de plataforma. No período de testes realizaram-se somente os testes de E/S e de algumas lógicas de controle do PLC. O teste do aplicativo do supervisor foi realizado a contento utilizando-se o simulador S7PLCSIM.

A comunicação ethernet entre o supervisor no LABDES e CLP na Vila de Sucuriçu só será possível quando a Telemar cumprir com o acordo de parceria instalando o *link*.

Durante o comissionamento do sistema, realizou-se na Vila um treinamento preliminar onde foram selecionados dois operadores para o sistema de dessalinização. Este treinamento foi bastante eficaz, pois, escolheu-se dentre cerca de dez moradores pré-selecionados, os dois

mais aptos que foram trazidos ao LABDES juntamente com a equipe da SETEC para um curso bem mais efetivo. O curso foi ministrado de forma intensiva durante uma semana direcionando-os à operação e pequenas manutenções do sistema de dessalinização. A efetividade dos cursos foi comprovada pela operação realizada na Vila, a qual, foi relatada pela equipe que foi instalar o sistema elétrico.

A automação do sistema de dessalinização, embora aumente o custo de desenvolvimento e de implantação, oferece muitos benefícios, tais como: redução de custos operacionais, aumento da confiabilidade, menor frequência dos procedimentos de manutenção e economia do consumo da energia elétrica demandada pelo sistema. Entretanto, estes benefícios somente serão prolongados se o acordo de sustentabilidade assinado entre em vigor na prática e não fique apenas no papel.

O dessalinizador apresenta um consumo médio de 4,06 kWh/m<sup>3</sup> nas seguintes condições: pressão de alimentação de 14,6 bar, pressão de saída de 13,6 bar, vazão do permeado de 2,0 m<sup>3</sup>/h, recuperação acima de 30% com total de sólidos dissolvidos de 164,0 mg/L. Caso haja disponibilidade energética a produção pode ser ampliada, aumentando-se o ciclo de trabalho do dessalinizador que *a priori* foi definido em 6 horas.

## 6.0 - PERSPECTIVAS

Este trabalho abre novas perspectivas para a Vila de Sucuriju, uma vez que, com as instalações do sistema de dessalinização da Vila e do novo abastecimento por fontes renováveis durante as 24 horas, os moradores poderão diversificar sua fonte de renda. Isto se dará com a instalação de unidades produtivas como padarias e também se pode criar, devido à beleza do local, uma rota de ecoturismo, já que agora a Vila é abastecida de energia e de água potável.

Com os benefícios do sistema de dessalinização e da energia, o Governo do Estado juntamente com o SEBRAE e a Eletronorte acordaram em criar mecanismos que viabilizassem a criação de indústria de beneficiamento do pescado, fábrica de gelo e outras atividades produtivas afins.

Outra implantação que surtiria bastante melhoria na qualidade de vida dos moradores da Vila seria a implantação da distribuição da água em cada residência principal. Esta possibilidade já foi alvo de projeto submetido pelo LABDES aos agentes fomentadores, que prevê tanto a distribuição da água permeada quanto a construção de banheiros e de rede de saneamento a partir da água do concentrado. O aproveitamento do concentrado nos banheiros seria alvo de tratamento efetivo para emissão no rio ou pra reuso em qualquer outro processo produtivo

A instalação do projeto Sucuriju II prevê que todos os equipamentos sejam integrados à automação existente., e que a distribuição doméstica de água do permeado seja tarifada e os medidores sejam eletrônicos de forma a possibilitar a integração dos mesmos ao sistema.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BÁRBARA, V. F. **Uso do modelo QUAL2E no estudo da qualidade da água e da qualidade da autodepuração do rio Araguari-AP (Amazônia)**. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

BARRETO, S. **Observatório das Águas - A Água e o Poder Público no Brasil, Programa Água para a Vida**. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br/informacoes/biblioteca/>>. Acesso em: 20 mai. 2008.

BLASQUES, L. C. M. **Estudo da viabilidade técnico-econômica de sistemas híbridos para geração de eletricidade**. 2005. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

BOARETTO, N. **Tecnologia de comunicação em sistema SCADA - enfoque em comunicação Wireless com espalhamento espectral**, CEFET-PR, Ponta Grossa, 2005. 95p.

BORGHETTI, N. R. B, BORGHETTI, J. R., FILHO, E. F. R. **O Aquífero Guarani**. Disponível em: <<http://www.oaquiferoguarani.com.br/>>. Acesso em: set. 2008.

BRAGA, C. M. P. **NORMA IEC 1131-3, Padronização em Programação de Controle Industrial**. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~carmela/>. Acesso em: 13 jun. 2008.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, PROBIO, **Inventário Biológico das Áreas do Sucuriu e Regiões dos Lagos no Estado do Amapá, 2006**, Disponível em: <<http://www.iepa.ap.gov.br/probio/relatorio.html>>, Acesso em: 20 mai. 2008.



## Capítulo VII - Referências Bibliográficas

BRASIL. Ministério dos Transportes (DNIT), **Investimentos do PAC ultrapassam 6 bilhões para Região Norte do País**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/noticias/pacnorte/>>. Acesso em: 05 mai. 2007.

CARTAXO, J. M. **Monitoramento do pré-tratamento químico de um Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa**. 2008. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

DOW. Water Solutions, Filmtec™ Reverse Osmosis Membranes. **Technical Manual**, Form. No609-00071-0808. p 5.

FILHO, A. B. L. **Estudo e Desenvolvimento de um Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa para Pequenas Comunidades Fazendo Uso de Painéis Fotovoltaicos**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2000.

HAYKIN, S., VAN VEEN, B. **Sinais e Sistemas**, Porto Alegre- RS, Bookman, 2001

JACK, H. Automating **Manufacturing Systems with PLCs Version 5.1**, Disponível em: <<http://www.eod.gvsu.edu/~jackh/books/plcs/pdf/>>, Acesso em: 13 mai. 2008

LOH, J.; COLLEN B.; MCRAE L.; HOLBROOK S.; AMIN R.; RAM M.; BAILLIE J. E. M. **Relatório Planeta Vivo 2006**. WWF International, Zoológica Society of London - ZSL, Global Footprint Network, 2006, p12-13;

MARCATTO, C.; JÚNIOR, F. P.; BRONZATTO, L. A.; NEVES, M. J. M.; MURTHA, N. A.; ALVES, M. L.; ZINATO, M. C.; MOREIRA M. M. M. A. **Água: Manual de Uso - Vamos Cuidar de Nossas Águas - Implementando o plano Nacional dos Recursos Hídricos**. SRH/MMA, Brasília, 2006, p11-27;

## Capítulo VII - Referências Bibliográficas

MELO, J. B. de. **Avaliação de Desempenho e Custo Benefício da Manutenção de Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa no Campo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

NETO, F. R., **Modelagem e controle de um sistema de dessalinização por osmose inversa utilizando redes de Petri**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

OLIVEIRA, A. R. de. **Desempenho de um Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa, em Escala Piloto, Alimentado por Painéis Fotovoltaicos**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

PLC OPEN, **IEC 61131-3: a norma para programação**. Disponível em: [http://www.plcopen.org/pages/pc2\\_training/](http://www.plcopen.org/pages/pc2_training/)>. Acesso em: jun. 2008.

SANTOS, J. E.; NETO, F. R.; SILVA, F. A.; FRANÇA, K.B. **Sistema Automático de Dessalinização via Osmose Inversa, para Abastecimento da Vila de Sucuriju - AP** In: VI Congresso Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia de Membranas (CITEM 2007), 2007, Campina Grande.

SAUTCHUK, C. E. **“Esse Rio Nasceu da Noite para o Dia” - A Vila de Sucuriju, comunidade pesqueira do litoral do Amapá.**, ACT Brasil Edições, Brasília, 2006.

SIEMENS, **Comunicação Profibus DP**, SITRAIN, 2003.

SIEMENS, **Communication Simatic Net - Industrial Ethernet**. SITRAIN, 2003.

SIEMENS, **Simatic HMI - Operating an Monitoring with Wincc**, SITRAIN, 2003.

SIEMENS, **Simatic S7 - Programação Básica**, SITRAIN, 2003.

## Capítulo VII - Referências Bibliográficas

SILVA, F. A. **Desenvolvimento e Caracterização de Membranas de Cordierita**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

SILVA, V. G., **Monitoramento de parâmetros físicos, químicos e biológicos em um reator anaeróbio híbrido (RAH) em escala piloto, tratando água residuária do café produzido por via úmida- Lavras**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Lavras, 2007,

SOUTO, W. A., - **Apostila do curso: Princípios de Automação Industrial com PLC's**, 2005.

SOUZA, F. C., **Desenvolvimento de metodologia de aplicação de rede de Petri para automação de sistemas industriais com controladores lógicos programáveis**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006,

TSIOURTIS, N. X. Desalination and Environment. **Desalination 141.**, 2001.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL I.; NETTO O. M. C. **Gestão da Água no Brasil 2001**, UNESCO, 2001, p37-43.

WEG S.A., **Automação de Processos Industriais - PC12 Design Center**. Apostila para treinamento interno, Weg S.A. Jaraguá do Sul. 2002.

## **8.0 - ANEXOS**

- Anexo A - Documentos Preliminares do Projeto
- Anexo B - Projeto Elétrico
- Anexo C - Projeto Hidráulico
- Anexo D - Laudos de Análise Físico-química

# **Anexo A**

## **( Documentos Preliminares do Projeto )**

**Anexo A0** - Projeto Sucuriju ( ROSA 6.14)

**Anexo A1** - Detalhamento de Entradas e Saída

**Anexo A2** - Instrumentação

**Anexo A3** - Lista de Motores

**Anexo A4** - Base de Dados

**Anexo A5** - Topologia

**Anexo A6** - Redes Lógicas

**Anexo A7** - Graficets

**Anexo A8** - Fluxograma

**Anexo A9** - Localização do Abrigo

**Anexo A10** - Relatório Técnico Perfilagem Geofísica de Poço

# **Anexo B**

## **( Projeto Elétrico )**

**Anexo C**  
**( Projeto Hidráulico )**



## **Anexo D**

### **(Laudos de Análises Físico-Química )**

Laudo.75.2002.Poço do bode.Sucuriju.

Laudo.76.2002.Comunidade.Sucuriju

Laudo.77.2002.Escola. Sucuriju

Laudo.78.2002.Água do rio Sucuriju decantada do tonel.Sucuriju

Laudo.79.2002.Maré seca decantada.Sucuriju

Laudo.80.2002.½ maré enchendo. Sucuriju

Laudo.81.2002.Beira do Rio. Sucuriju

Laudo.82.2002.Maré baixa. Sucuriju

Laudo.83.2002.Maré enchendo.Sucuriju

Laudo.84.Maré cheia.Sucuriju

Laudo.85.2002.Rio Sucuriju a 12 km da Vila de Sucuriju

Laudo.86.2002.Rio Sucuriju a 8 Km da Vila de Sucuriju

Laudo.103.2005.Sucuriju

Laudo.103\_136\_2005\_Sucuriju

Laudo\_211\_2007\_Proj\_Sucuriju\_Vila\_Sucuriju\_AP

Laudo\_212\_2007\_Proj\_Sucuriju\_Vila\_Sucuriju\_AP

Laudo\_213\_2007\_Proj\_Sucuriju\_Vila\_Sucuriju\_AP

Laudo\_214\_2007\_Proj\_Sucuriju\_Vila\_Sucuriju\_AP

Laudo\_215\_2007\_Proj\_Sucuriju\_Vila\_Sucuriju\_AP

Laudo\_SD1\_Sucuriju

Laudo\_SD\_per1\_Sucuriju

Laudo\_SD\_Sucuriju