



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
DE COMPUTAÇÃO



Implantação e Desenvolvimento de uma Rede de Automação Industrial e Sistema SCADA para Estação de Tratamento de Água Purificada

Fabício Roosevelt Melo da Silva

Orientador: Prof. Dr. Andrés Ortiz Salazar

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da UFRN (área de concentração: Automação e Sistemas) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Número de ordem PPgEEC: M512
Natal, RN, 19 de dezembro de 2017

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Silva, Fabricio Roosevelt Melo da.

Implantação e desenvolvimento de uma rede de automação industrial e sistema SCADA para estação de tratamento de água purificada / Fabricio Roosevelt Melo da Silva. - Natal, 2017.
115 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação.

Orientador: Prof. Dr. Andrés Ortiz Salazar.

1. Automação industrial - Dissertação. 2. CLP - Dissertação.
3. SCADA - Dissertação. 4. Redes industriais - Dissertação. 5.
Condutividade - Dissertação. 6. Água purificada - Dissertação.
I. Salazar, Andrés Ortiz. II. Título.

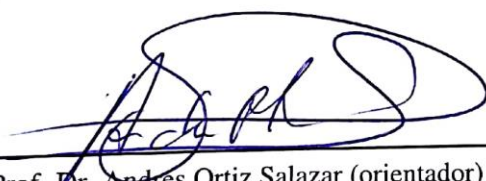
RN/UF/BCZM

CDU 681.5

Implantação e Desenvolvimento de uma Rede de Automação Industrial e Sistema SCADA para Estação de Tratamento de Água Purificada

Fabício Roosevelt Melo da Silva

Dissertação de Mestrado aprovada em 19 de dezembro de 2017 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Andrés Ortiz Salazar (orientador) DCA/UFRN



Prof. Dr. Alexandre Magnus Fernandes Guimarães ECT/UFRN



Prof. Dr. Rodrigo Soares Semente UFERSA

*A minha esposa Mariza e a meu filho
Victor, pelos momentos de
descontração durante o período de
realização deste trabalho.*

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Andrés Ortiz Salazar sou grato pela oportunidade de ser seu orientando e por está sempre disponível para indicar a direção a ser tomada nas dúvidas apresentadas.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da UFRN, pela chance de ingressar e concluir este mestrado.

A todos os colegas do LAMP, em especial ao Diego que me ajudou muito neste projeto de pesquisa e nos artigos enviados para publicação.

Aos amigos do dia-a-dia, sempre entendendo as ausências e furos durante esse período.

Aos demais colegas de pós-graduação, pelas críticas e sugestões.

Aos professores do PPGEEC, sempre dispostos a nos ajudar nas dúvidas surgidas durante suas disciplinas.

À minha família pelo apoio durante esta jornada, mesmo distante, mas sempre me apoiando e incentivando.

À UFRN, pela abertura e oportunidade de conseguir conciliar trabalho e estudo.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo a adequação de uma estação de tratamento de água, através do desenvolvimento e a implantação de um sistema de automação e supervisão voltado para produção de água purificada para fins farmacêuticos. A água tem importância fundamental na indústria farmacêutica, participa dos processos de limpeza de materiais e superfícies, além de ser utilizada como veículo em formulações, exigindo uma série de especificações físico-química e microbiológicas. O processo de purificação da água deve passar rotineiramente por um controle de qualidade rígido e deve possuir um processo industrial conciso, automatizado e eficiente, de acordo com a legislação vigente. A utilização de redes de automação e sistemas supervisórios está longe de ser novidade em qualquer tipo de indústria, porém, neste caso, a planta industrial objeto de estudo não utilizava estas ferramentas. Para atingir o objetivo proposto fez-se a implementação de uma rede de comunicação industrial entre os equipamentos da planta, através de uma rede padrão MODBUS, uma rede instrumental com sinal de corrente elétrica e uma rede padrão Ethernet. Concentrou-se os dados de leituras das variáveis dos equipamentos no CLP mestre, este por sua vez ligado a um sistema SCADA. Este SCADA fornece ao operador uma visão panorâmica do processo, informando-o em tempo real o comportamento das variáveis provenientes das etapas do processo, facilitando qualquer intervenção ou mudança no sistema. Os dados mais importantes são armazenados diariamente em arquivos na estação do SCADA, ficando disponíveis para futuras auditorias ou durante a validação anual da planta, comprovando a eficácia e segurança de todo o sistema.

Palavras-chave: Automação, CLP, SCADA, Redes Industriais, Condutividade, Água Purificada.

Abstract

This document propose the adequacy of a water treatment station, through the development and implementation of an automation and supervision system for purified water production used in the manufacture of medicines. Water is of fundamental importance in the pharmaceutical industry, it participates in the cleaning processes of materials and surfaces, as well as being used as a carrier in formulations, requiring a series of physicochemical and microbiological specifications. The process of water purification must routinely pass through a strict quality control and must have a concise, automated and efficient industrial process, according to the current legislation. The use of automation networks and supervisory systems is far from novelty in any type of industry, however, in this case, the industrial plant under study did not use these tools. In order to reach the proposed objective, an industrial communication network was implemented between the plant equipments, through a MODBUS default network, an electric current signal instrument network and an Ethernet network. The variables input data of equipments were concentrated in the master PLC, which was connected to a SCADA system. This SCADA provides the operator with a panoramic view of the process, informing it in real time the behavior of the variables from the process steps, facilitating any intervention or change in the system. The most important data is stored daily in files at the SCADA station, becoming available for future audits or during the annual validation of the station, proving the effectiveness and security of the entire system.

Keywords: Automation, PLC, SCADA, Industrial Networks, Conductivity, Purified Water.

Sumário

Sumário	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Lista de Símbolos e Abreviaturas	vii
1 Introdução	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Contribuições	3
1.3 Organização do Trabalho	3
2 Fundamentação Teórica	5
2.1 A Água e a Indústria Farmacêutica	5
2.1.1 Tipos de Água na Indústria Farmacêutica	6
2.1.2 Legislação e Normas	7
2.1.3 Sistemas de Tratamento de Água	8
2.1.4 Sanitização	12
2.2 Automação e Instrumentação	12
2.2.1 Controladores Lógicos Programáveis - CLP	14
2.2.2 SCADA	15
2.2.3 Operador	17
2.2.4 Interface Homem-Máquina	18
2.2.5 Estação MTU	18
2.2.6 Meios de Comunicação	19
2.2.7 Rede de Comunicação	20
2.2.8 Protocolo MODBUS	20
2.2.9 Protocolo TCP/IP	21
2.3 TIA Portal	21
2.3.1 WinCC Runtime	23
2.4 Conclusão do Capítulo	26
3 Estrutura	27
3.1 Estrutura da ETA	27
3.1.1 Dosagem de cloro	29

3.1.2	Deionizador	30
3.1.3	Osiose Reversa	31
3.1.4	Radiação Ultra Violeta (UV)	33
3.1.5	Armazenamento e reciclo	33
3.2	Conclusão do Capítulo	34
4	Implementação	35
4.1	Primeira fase (Mudanças Pontuais)	35
4.2	Segunda fase (Rede Industrial)	38
4.3	Terceira fase (Supervisório)	44
4.4	Conclusão do Capítulo	46
5	Experimentos e Resultados	47
5.1	SISETA	47
5.2	Relatórios	51
5.2.1	Estudo de anormalidade	53
5.3	Conclusão do Capítulo	56
6	Conclusão	57
6.1	Trabalhos futuros	58
	Referências bibliográficas	59
A	LADDER - CLP Delta	63
B	Tabela Modbus para CLP Delta DVP	65
C	Script VB para Gerar Planilhas Diárias	67

Lista de Figuras

2.1	Sistema básico de destilação simples em laboratório.	9
2.2	Princípio de Trocas Iônicas de um Sistema Deionizador.	10
2.3	Princípio da Osmose e Osmose Reversa.	10
2.4	Exemplo de um Sistema de Osmose Reversa.	11
2.5	Sistema de Radiação UV.	12
2.6	Modelo de Pirâmide da Automação.	13
2.7	Diagrama de Blocos Simplificado de um CLP.	15
2.8	Exemplo de interface gráfica de um Sistema SCADA.	16
2.9	Arquitetura típica do sistema SCADA.	17
2.10	Exemplo de Interface Homem-Máquina (IHM).	18
2.11	Condutímetro com sinal analógico de 4 a 20 mA.	19
2.12	Tela referente ao Portal view do TIA Portal.	22
2.13	Tela referente ao Project view do TIA Portal.	23
2.14	Sequencia para adicionar dispositivo SCADA no WinCC Runtime.	24
2.15	Caixa de ferramentas para projetos no WinCC Runtime do TIA Portal.	25
2.16	Dispositivos de configuração para projetos no WinCC Runtime (TIA Portal).	25
3.1	Fluxograma do processamento da água na ETA.	28
3.2	Divisão por etapas da ETA.	29
3.3	Sensor (a) e Analisador (b) de cloro residual.	30
3.4	CLP responsável pela lógica do sistema deionizador.	30
3.5	IHM de Condutividade.	31
3.6	pH-metro (atuador).	32
3.7	CLP Siemens Logo! responsável pela lógica do Sistema de Osmose Reversa.	32
3.8	Equipamento de Radiação Ultravioleta.	33
3.9	CLP Siemens S7-1200 responsável pela terceira etapa do sistema.	34
4.1	Tela Principal da IHM do CLP do deionizador após as modificações.	36
4.2	Válvula elétrica <i>ON/OFF</i> para utilização no reciclo do <i>loop</i>	37
4.3	Tela da IHM para configurações dos <i>setpoints</i> do nível do tanque de AP.	38
4.4	Bloco de configuração da válvula de reciclo no CLP Siemens.	38
4.5	Visão simplificada do sistema deionizador.	39
4.6	Visão simplificada do sistema de osmose reversa.	39
4.7	Visão simplificada do sistema de reciclo e <i>loop</i>	40
4.8	Visão simplificada do sistema após a implantação das redes industriais.	41
4.9	Configuração S7-1200 mestre para leitura/escrita em um escravo.	42

4.10	Leitura de um DB com dados de equipamento escravo na rede.	43
4.11	Blocos de normalização e escalonamento no CLP Siemens S7-1200.	44
4.12	Bloco de dados responsável por armazenar os valores das variáveis.	45
5.1	Tela principal do SISETA.	48
5.2	Tela do sistema deionizador do SISETA.	50
5.3	Tela do sistema de osmose reversa do SISETA.	51
5.4	Planilha gerada com os dados das principais variáveis durante o dia.	52
5.5	Gráfico de nível do tanque de água purificada.	53
5.6	Gráfico de nível do tanque de água purificada, dia 1.	53
5.7	Gráfico de nível do tanque de água purificada, dia 2.	54
5.8	Gráfico de nível do tanque de água purificada, dia 3.	54
5.9	Gráfico de nível do tanque de água purificada, dia 4.	55
5.10	Gráfico das variáveis do sistema, dia 1.	55
5.11	Gráfico das variáveis do sistema, dia 2.	56
5.12	Gráfico das variáveis do sistema, dia 3.	56

Lista de Tabelas

2.1	Tipos, aplicações e parâmetros de qualidade da água.	7
3.1	Principais diferenças entre água potável e água purificada.	27

Lista de Símbolos e Abreviaturas

CO_2	-	Fórmula Molecular do Dióxido de Carbono
H^+	-	Íon de hidrogênio
H_2O	-	Fórmula Molecular da Água
$NaHSO_3$	-	Bissulfito de sódio
OH^-	-	Íon de hidroxila
$\mu S/cm^2$	-	Micro-siemens por centímetro quadrado
ANVISA	-	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AP	-	Água Purificada
API	-	Água para Injetáveis
B-01	-	Bomba do sistema dionizador
B-04	-	Bomba do <i>loop</i>
BD	-	Banco de Dados
BI	-	Business Intelligence
BPF	-	Boas Práticas de Fabricação
CLP	-	Controlador Lógico Programável
COT	-	Carbono Orgânico Total
CPU	-	Sigla em inglês para Central Processing Unit
DNA	-	Sigla em inglês para deoxyribonucleic acid
E/S	-	Entrada e Saída
EDI	-	Eletrodeionização
EIA	-	Sigla em inglês para Associação Internacional de Eletrônica
ETA	-	Estação de Tratamento de Água

EUA - Estados Unidos da América

IHM - Interface Homem Máquina

IP - Sigla em inglês para Internet Protocol

ISA - Sigla em inglês para International Society of Automation

ISO - Sigla em inglês para International Organization for Standardization

KW - Kilowatt

L - Litro

mA - Miliampere

MES - Manufacturing Execution System

mg - Miligramas

mL - Mililitro

MTU - Sigla em inglês para Master Terminal Unit

nm - Nanômetro

OMS - Organização Mundial de Saúde

OR - Osmose Reversa

OSI - Sigla em inglês para Open Systems Interconnection

PCP - Planejamento e Controle da Produção

PW - Sigla em inglês para Purified Water

QD - Qualificação de Desempenho

QI - Qualificação de Instalação

QO - Qualificação de Operação

RDC - Resolução da Diretoria Colegiada

RFC - Sigla em inglês para Request for Comments

RNA - Sigla em inglês para ribonucleic acid

RTU - Sigla em inglês para Remote Terminal Unit

SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition

SDCD - Sistemas de Controle Distribuído

SISETA - Sistema Supervisório da Estação de Tratamento de Água

TCP - Sigla em inglês para Transmission Control Protocol

TIA - Sigla em inglês para Associação Internacional de Telecomunicações

TIA - Sigla em inglês para Totally Integrated Automation

UFC - Unidade Formadora de Cadeia

UV - Ultra-violeta

VB - Sigla em inglês para Virtual Basic

VD-03 - Válvula de descarte do deionizador

VD-04 - Válvula de reciclo do deionizador

VD-05 - Válvula de liberação de água deionizada

VD-08 - Válvula de liberação de água purificada

VD-09 - Válvula de reciclo do permeado

VD-11 - Válvula de reciclo

Capítulo 1

Introdução

A água na indústria farmacêutica tem importância fundamental em diversas etapas do processo. No preparo, sendo o veículo transportador em formulações, nas diversas etapas de higienização de materiais e superfícies e em operações unitárias nos laboratórios farmacêuticos (CARVALHO et al. 2013).

O controle da contaminação da água para uso farmacêutico é fundamental, uma vez que a água tem grande susceptibilidade para agregar compostos diversos e para sofrer recontaminação. Por essa razão, é importante que as especificações farmacopéicas sejam atendidas, mantidas e controladas, mesmo após sua purificação (CESARIO 2013).

Diante da importância no processo farmacêutico, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), órgão regulador dos medicamentos fabricados e comercializados no Brasil, determinou regras e normas para Boas Práticas de Fabricação (BPF) da água para fins farmacêuticos. Estas são encontradas na RDC Nº 17, de Abril de 2010 da ANVISA e na RDC Nº 49, de novembro de 2010, da 5ª Edição Farmacopeia Brasileira, as quais estabelecem respectivamente, as boas práticas de fabricação e os requisitos de qualidade da água para fins farmacêuticos (BRASIL 2013). Estes requisitos estão em constante atualização com o intuito de reduzir o risco de contaminação, seja química, biológica ou microbiológica (BRASIL 2013).

Pode-se classificar em três os tipos de água utilizada na fabricação de medicamentos, a água purificada que é utilizada para medicamentos não injetáveis e cosméticos, a água para injetáveis que é usada como veículo ou solvente para injetáveis e a água ultrapurificada que é utilizada no cultivo de células, em processos enzimáticos, etc. (BRASIL 2010).

A qualidade da água purificada depende de muitos fatores, um dos principais é a realização de avaliação constante do sistema de purificação, o qual envolve procedimentos como monitoramento, manutenção, limpeza, calibrações entre outros (BRASIL 2013).

Os métodos de tratamento mais comuns de remoção ou eliminação dos contaminantes da água são: abrandamento, adsorção em carvão ativado, destilação, deionização, eletrodeionização (EDI), filtração, fotoxidação (Radiação UV) e osmose reversa (OR) (BRASIL 2013).

A tecnologia a ser empregada na purificação da água depende do tipo de água que se pretende obter. Nenhuma tecnologia utilizada isoladamente é capaz de remover efetivamente todos os tipos de contaminantes, logo, é necessário o desenvolvimento de combinações tecnológicas (FREITAS 2013). A combinação dos diferentes métodos de tratamento

e/ou obtenção de água dará lugar aos distintos sistemas de tratamento de uso frequente na indústria farmacêutica com o objetivo de obter uma água que se ajuste plenamente às especificações legalmente exigidas em função da sua utilização (BRANDÃO 2015). Mas de forma genérica, pode-se dizer que os métodos mais comuns e confiáveis para obtenção de água purificada (AP) são a troca iônica, a osmose reversa e a ultrafiltração. Para obtenção de água para injetáveis (API) utiliza-se o processo de destilação ou outro método de tecnologia igual ou superior a esta (BRASIL 2013).

Segundo (CESARIO 2013), um sistema de tratamento é constituído por:

- Unidades de pré-tratamento;
- unidade de tratamento;
- dispositivos de armazenagem e distribuição de água;
- dispositivos necessários para a monitoração e o controle do processo;
- sistemas de limpeza química e de sanitização.

Com todas estas etapas, espera-se ter um sistema coeso, seguro, contínuo e confiável, conforme normas da ANVISA. Segundo a ANVISA, o equipamento de tratamento da água deve funcionar continuamente por períodos significativos de tempo para evitar ineficiência e desgaste. Deve conter um fluxo de circulação turbulento no sistema de distribuição de água, a qual reduz a probabilidade de formação de biofilmes. Desta forma, os sistemas devem promover constante recirculação da água. Condições sem fluxo ou baixo fluxo podem causar a proliferação microbiana e o desenvolvimento de biofilme, especialmente nas tubulações de distribuição de água. Considerando a relevância do fluxo de água para controle da carga microbiana, este parâmetro deve ser monitorado constantemente (FREITAS 2013).

Contudo, a estação de tratamento de água (ETA) objeto de estudo, não seguia alguns requisitos da ANVISA. Sua planta de produção de AP estava segmentada, descontínua (produção por bateladas) e não possuía nenhum tipo de monitoramento constante, além de só operar com a presença de um operador localmente. Isso levou a fábrica a suspender sua produção de medicamentos até se adequar as normas vigentes, pois do contrário, perderia seu credenciamento junto à ANVISA (BRASIL 2010).

1.1 Objetivo

Diante desse cenário adverso, o principal objetivo deste trabalho foi o de utilizar técnicas de automação de sistemas para adequar esta ETA às normas e resoluções impostas pelo órgão regulador, e dessa forma torná-la apta a produzir medicamentos. Para tal, fez-se o estudo e a análise da planta da ETA. Identificando e separando a planta em células ou sistemas, facilitando a compreensão do processo. Identificou-se os equipamentos instalados e quais sistemas pertenciam.

Fez-se as modificações necessárias em cada sistema individualmente. Após tais ações, cada sistema foi analisado, verificando se estava operando conforme o programado ou se precisaria de mais alguma intervenção. Em seguida, fez-se a interconexão entre os sistemas através da implantação de uma rede industrial de comunicação, dos equipamentos de automação para todos os possíveis sistemas, unificando a planta. O desenvolvimento

e a implantação de um sistema supervisório, tornou o sistema mais seguro através do monitoramento e controle remotamente, além da coleta e armazenamento dos dados do processo. Com todas estas modificações e implementações concluídas a fábrica pode pleitear a validação do processo e o recredenciamento para a retomada na produção de medicamentos.

1.2 Contribuições

Dessa forma, melhora-se a qualidade do processo, além de possibilitar a coleta metodológica dos dados de forma integrada, hierarquizada e através destas informações, pode-se estabelecer metodologias e parâmetros que melhorem a eficiência da planta, podendo o sistema de automação agir de forma autônoma sobre os estados e as grandezas do processo a fim de obter os resultados desejados. Logo, com a implantação destas modificações, adequando a ETA para novas normas da ANVISA, tornando-a novamente apta a retomar sua produção normalmente.

Logo, com a fábrica em pleno funcionamento espera-se a geração de mais empregos com a admissão de pessoal para o processo produtivo, pode-se também aproveitar a parceria com a UFRN e efetuar a contratação de mais pesquisadores que podem pesquisar novos tipos de medicamentos mais acessíveis a população. Assim como, novos convênios com entidades públicas e/ou privadas para promover e desenvolver novas tecnologias farmacêuticas, com o objetivo de baratear custos e preço de fármacos.

1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho está dividido em 6 (seis) capítulos, no Capítulo 1 se contextualizou a proposta deste documento com uma pequena introdução do tema. O Capítulo 2 apresenta uma breve fundamentação teórica sobre as Estações de Tratamento de Água Purificada, seus sistemas e suas aplicações, além da instrumentação e automação com o ferramental necessário para o desenvolvimento deste trabalho. O Capítulo 3 apresenta os sistemas que compõem a estrutura da ETA e o seu funcionamento. O Capítulo 4 exhibe as modificações e as implementações efetuadas no projeto para as adequações necessárias. O Capítulo 5 faz a descrição das telas e ferramentas do sistema supervisório e alguns resultados obtidos a partir de sua implantação. Já no Capítulo 6 serão expostas as considerações finais, com conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos básicos sobre os tipos de água, conceitos de estações de tratamento de água purificada, legislação vigente, sistemas de tratamento e suas etapas. Assim como também alguns conceitos básicos de instrumentação, automação de sistemas, componentes de uma rede de automação, meios e protocolos de comunicação e sistemas supervisórios. Tal estudo foi elaborado através de pesquisas e revisões bibliográficas.

2.1 A Água e a Indústria Farmacêutica

A água (H_2O) é uma molécula muito polarizada (polar) e possui ligações de hidrogênio que produzem força suficiente para manter as moléculas unidas no estado líquido (BRASIL 2010). Essas propriedades tornam a água um excelente solvente, dessa maneira ela pode carregar consigo algumas substâncias indesejáveis, inclusive contaminantes, que comprometem não somente a sua qualidade, mas também a vida útil dos sistemas utilizados em seu tratamento (LIMA 2017).

As indústrias farmacêuticas surgiram no final do século 19 e no início do século 20, com a missão de produzir medicamentos, com inovação e desenvolver terapêuticas que respondam às necessidades de tratamento de diversas patologias. Tem como atividade, pesquisar, desenvolver, comercializar e distribuir, onde possa contribuir com a melhoria da saúde e qualidade de vida das populações. Para isto, defende elevados padrões de qualidade, segurança e eficácia dos medicamentos produzidos (FERNANDES et al. 2015).

As etapas da cadeia produtiva iniciam-se desde a fabricação com a adição do princípio ativo, adição de outros insumos, material de acondicionamento e embalagem. Os medicamentos podem ser classificados em líquidos e sólidos, podendo ser disponibilizados comercialmente em diversas apresentações, de acordo com a dosagem ou quantidade necessária ao tratamento (BRASIL 2013).

A água para uso farmacêutico pode ser considerada uma das mais importantes matérias-primas para a indústria de medicamentos, devendo ser analisada em sua composição. Conhecer os contaminantes da água e sua origem para removê-los eficazmente, através da combinação de tecnologias apropriadas, representa um desafio constante na rotina do processo produtivo na indústria farmacêutica (FREITAS 2013).

Para que seja possível obter água no nível de qualidade desejado, é necessário considerar a qualidade da água disponível e a qualidade da água desejada, avaliando desta maneira as possíveis técnicas de tratamento e as restrições, possibilitando a utilização de sistemas complementares ao tratamento.

O controle de qualidade microbiológico é prioridade, uma vez que alguns tipos de microrganismos podem se proliferar nos componentes dos sistemas de tratamento e de distribuição da água para uso farmacêutico. Portanto, é importante minimizar a contaminação microbiológica por meio de tecnologias e ações apropriadas.

2.1.1 Tipos de Água na Indústria Farmacêutica

Diante dessa busca de qualidade da água, podemos dizer de uma maneira geral que existem apenas três tipos de água que são utilizadas para a fabricação de medicamentos: água purificada, a água para injetáveis e a água ultrapurificada. A água potável também é amplamente utilizada na indústria farmacêutica, porém apenas para limpeza de instalações, equipamentos e para geração de água de um dos três tipos de água pura (BRASIL 2013).

Água purificada é a água potável que passou por algum tipo de tratamento para retirar os possíveis contaminantes e atender aos requisitos de pureza estabelecidos. Pode ser produzida por destilação, troca iônica, osmose reversa ou por outro processo adequado. Deve estar livre da adição de quaisquer substâncias dissolvidas. Geralmente é utilizada na preparação de medicamentos que não requeiram água estéril nem apirogênica, destinados ao uso não parenteral (FARMACOPEIA 2010). É a matéria-prima utilizada em cerca de 90% dos produtos fabricados na indústria farmacêutica. Se estiver contaminada, pode interferir na qualidade dos medicamentos gerando perda de produtos, efeitos farmacológicos indesejáveis e provocando prejuízo à empresa (CESARIO 2013). A qualidade da água purificada depende de fatores como o sistema de tratamento, procedimentos de armazenamento e distribuição. Ela deve atender as especificações das normas vigentes, que assegura a qualidade microbiológica e físico-química da mesma, uma vez que a água tem grande susceptibilidade para agregar compostos diversos e para sofrer re-contaminação, mesmo após ser purificada.

Água para injetáveis é o insumo utilizado na preparação de medicamentos para administração parenteral, como veículo ou na dissolução ou diluição de substâncias ou de preparações. Para aplicações de princípios ativos de uso parenteral, para lavagem final de equipamentos, tubulação e recipientes usados em preparações parenterais e na limpeza de certos equipamentos.

Água ultrapurificada é a água purificada que passou por tratamento adicional para retirar os possíveis contaminantes e atender aos requisitos de pureza estabelecidos. Geralmente é utilizada em aplicações que requeiram água de alta pureza ou na maioria de procedimentos laboratoriais, que requeiram leituras em baixas concentrações ou que a pureza da água possa afetar a sensibilidade, a reprodutibilidade ou a robustez do método analítico.

A Tabela 2.1 apresenta um resumo dos parâmetros de qualidade e comparativo entre os tipos de água para uso farmacêutico.

Tabela 2.1: Tipos, aplicações e parâmetros de qualidade da água.

Tipo da água	Características	Parâmetros Críticos Sugeridos	Exemplo de Aplicação
Água Potável	Obtida de Mananciais ou rede de distribuição.	Possui legislação específica.	Limpeza em geral e fone de alimentação de sistemas de tratamento.
Água Purificada	Pode ser obtida por osmose reversa ou a combinação de técnicas de purificação a partir da água potável.	Condutividade de 0,1 a 1,3 $\mu S/cm^2$ a 25°C; COT < 0,50 mg/L; Contagem de bactérias < 100 UFC/mL.	Produção de medicamentos e cosméticos em geral, lavagem de materiais, preparo de soluções reagentes e análises clínicas.
Água para injetáveis	Água purificada tratada por destilação ou processo similar.	Atende s requisitos mínimos de água purificada e exige controle de endotoxina, partículas e esterilidade. COT < 0,50 mg/L; Contagem microbiológica < 10 UFC/100mL.	Fabricação de princípios ativos de uso parenteral, veículo e solvente de injetáveis.
Água ultrapurificada	Para análises que exigem mínima interferência e máxima exatidão. Água purificada tratada por processo complementar.	Condutividade de 0,055 a 0,1 $\mu S/cm^2$ a 25°C; COT < 0,05 mg/L.	Dosagem de resíduos minerais ou orgânicos, endotoxinas, preparações de calibradores, controles, procedimentos enzimáticos, biologia molecular e cultivo de células.

2.1.2 Legislação e Normas

Para assegurar que os produtos serão fabricados e controlados com padrões de qualidade apropriados para uso pretendido e requerido, as indústrias farmacêuticas fazem uso das Boas Práticas de Fabricação (BPFs), determinam que todos os processos de fabricação devam ser claramente definidos e sistematicamente revisados em função da experiência adquirida. Além disso, devem ser capazes de fabricar medicamentos dentro dos padrões

de qualidade exigidos (BRASIL 2013).

O conjunto de normas obrigatórias descritas pelas BPFs para medicamentos e produtos afins, surgiu nos EUA em 1902, e serviram de base para as normas adotadas por quase todos os países. O cumprimento tem como objetivo diminuir os riscos inerentes a qualquer produção farmacêutica. Atualmente existe uma maior exigência por parte dos órgãos fiscalizadores, que garantem produtos de qualidade que servirão para restabelecer a saúde da população (FERNANDES et al. 2015).

No Brasil, os requisitos de qualidade da água para uso farmacêutico são estabelecidos em normas técnicas de Boas Práticas de Fabricação (BPF) e também na Farmacopeia Brasileira. O regulamento técnico vigente que descreve os princípios de BPF é a RDC Nº. 17, de Abril de 2010 e a Farmacopeia Brasileira, 5ª Edição, que foi estabelecida pela RDC Nº. 49, de 23 de Novembro de 2010. Apesar de esses documentos serem publicados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), seus conteúdos são fundamentados em recomendações internacionais, fazendo com que estejam em consonância com as tendências mundiais (BRASIL 2013).

Entre os documentos considerados pela ANVISA como referência para elaboração de normas técnicas estão os guias publicados pela Organização Mundial de Saúde (OMS). O guia da OMS referente à produção de água para uso farmacêutico foi atualizado em 2012 e publicado na Série de Relatórios Técnicos Nº. 970. Em consonância com essas alterações, a legislação brasileira será em breve atualizada (BRASIL 2013).

Como as BPFs são dinâmicas e estão em constante evolução, é importante que as indústrias farmacêuticas sempre busquem melhorias nos processos de purificação da água, com o intuito de reduzir os riscos de contaminação (BRASIL 2013).

2.1.3 Sistemas de Tratamento de Água

Os requisitos de qualidade da água dependerão de sua finalidade e emprego, e a escolha do sistema de purificação destina atender ao grau de pureza estabelecido. É preciso que esse controle seja feito rotineiramente, com rigidez e de acordo com a legislação vigente e com os compêndios oficiais, e que exista um processo responsável pelo fornecimento da água eficaz e eficiente para atender a demanda e essas especificações (FERNANDES et al. 2015).

A escolha do melhor método para obtenção de água purificada, ou seja, a sequência de etapas de purificação deve ser apropriado à qualidade da água produzida. Deve levar em consideração os seguintes itens: volume e tipo de água produzido, facilidade e gastos com manutenção, material de consumo, energia, parada para trocas, manutenção e limpeza. As especificações para os equipamentos de purificação da água e para os sistemas de armazenamento e distribuição devem possuir configurações que evitem a proliferação microbiológica (BRASIL 2013).

Existem alguns métodos de produzir AP, tais como destilação, deionização, osmose reversa, eletrodeionização, radiação ultravioleta, etc. Mas, normalmente utiliza-se a combinação de duas ou mais tecnologias para conseguir atingir um tratamento adequado.

Na destilação a água é aquecida até ferver e evaporar. Este vapor é então condensado e coletado (Figura 2.1). O equipamento para realizar a destilação (o destilador)

é relativamente barato. Porém consome uma quantidade muito grande de energia, em torno de 1KW de eletricidade por litro de água produzida, além disso, esta água destilada pode sofrer modificações dependendo da maneira de como é armazenada e carregar consigo impurezas como CO_2 , sílica, amônia e uma variedade de compostos orgânicos (FARMACOPÉIA 2010).

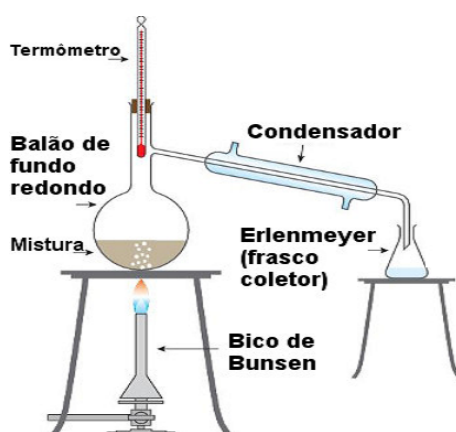


Figura 2.1: Sistema básico de destilação simples em laboratório.
Fonte: Adaptado de (UOL 2016)

A deionização e a eletrodeionização contínua são tecnologias eficazes para a remoção de sais inorgânicos dissolvidos. Os sistemas de deionização (Figura 2.2), também conhecidos como sistemas de deionização convencional, produzem água deionizada, é comumente utilizada nos laboratórios para produzir água purificada de consumo rotineiro; funciona através da adsorção das impurezas pelas resinas de troca iônica, específicas para cátions e ânions. Essas resinas são polímeros orgânicos, geralmente sulfonados, na forma de pequenas partículas. As resinas catiônicas trocam seus íons hidrogênio (H^+) por contaminantes catiônicos (cálcio, magnésio, cobre, alumínio, ferro e outros metais e cátions diversos). Enquanto que, as resinas aniônicas trocam seus íons hidroxila (OH^-) por contaminantes aniônicos (sílica, sulfato, sulfito, fosfato, nitrato, cloreto e outros ânions) (CESARIO 2013).

Com o tempo estas resinas saturam, ou seja, perdem a capacidade de troca iônica e precisam ser recuperadas. Faz-se então um processo inverso com ácidos e bases. Este processo inverso é chamado de regeneração, a qual faz a substituição, nas partículas das resinas, dos cátions e ânions sequestrados durante a operação normal por íons H^+ e OH^- , respectivamente (BRASIL 2013).

Esse processo isolado não produz água de alta pureza, pois o processo libera pequenos fragmentos da resina, facilita o crescimento microbiano e promove baixa remoção de resíduos orgânicos. Portanto, deve-se combinar a deionização com outros processos de purificação para se conseguir o grau de pureza de água necessário para pesquisa e análises de maiores precisão e sensibilidade (BRASIL 2010).

O sistema de eletrodeionização é uma tecnologia que combina resinas de troca iônica e membranas íon-seletivas com corrente direta para remover íons de forma contínua, isso é, sem necessidade de parada para regeneração das resina. O processo da remoção de

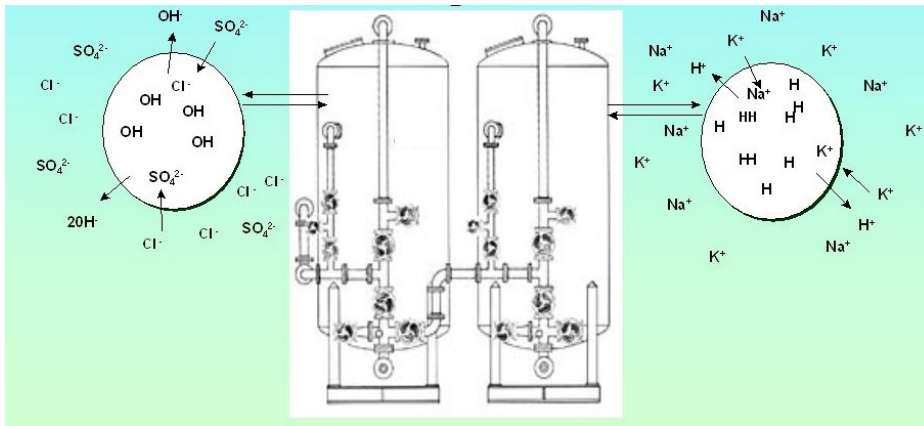


Figura 2.2: Princípio de Trocas Iônicas de um Sistema Deionizador.
Fonte: Próprio Autor (2016).

íons é contínuo, em que a água corre em canais, migra para o canal do eletrodo, atravessa membranas permeáveis a ânions e cátions e, por fim, passa pelo canal de concentração. O campo elétrico criado remove os íons através de canais por onde transitam e ficam concentrados, enquanto o produto transita por outro canal e é estocado (ALVES 2013).

A técnica mais empregada como etapa final de tratamento para a produção da AP é a osmose reversa, pois ela é capaz de reduzir consideravelmente o risco de contaminação microbiana da água, além de ser de fácil operação e manutenção. A ultrafiltração e a destilação também podem ser utilizadas para este propósito (BRASIL 2013).

No caso da osmose reversa, para se entender tal método, primeiramente vamos entender o processo de osmose, facilitando assim o aprendizado da osmose reversa. A osmose é um método que consiste na passagem de uma solução diluída que será separada de outra solução concentrada por meio de uma membrana semipermeável (Figura 2.3). A água, transportada pela força, gera a pressão osmótica, decorrente da diferença da concentração de contaminantes, que atravessam a membrana no sentido da solução concentrada (BRASIL 2010).

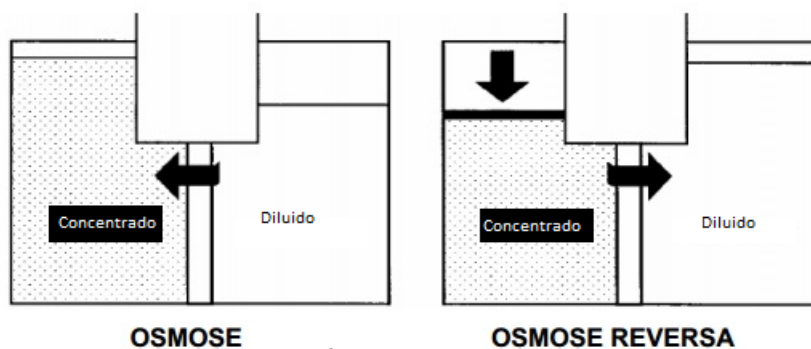


Figura 2.3: Princípio da Osmose e Osmose Reversa.
Fonte: Próprio Autor (2017).

O fluxo de água continua, até que as concentrações atinjam o equilíbrio ou que a pressão no lado mais concentrado se torne alta o suficiente para impedir o fluxo. Nesse ponto ocorre o equilíbrio osmótico (MARTELLI 2016).

Quando se aplica, na solução mais concentrada, uma pressão maior do que a pressão osmótica, usando uma bomba de alta pressão, a direção normal do fluxo osmótico é revertida. As moléculas de água são empurradas de volta através da membrana para o lado menos concentrado, fazendo com que a água pura passe pela membrana a partir da solução concentrada sendo, então, separada de seus contaminantes. Isso resulta na purificação da água e caracteriza o princípio básico da osmose reversa (OR), conforme mostrado na Figura 2.3 (CESARIO 2013).

Osmose reversa é o nível mais elevado de filtração disponível. A membrana de OR age como uma barreira à todos os sais e moléculas inorgânicas dissolvidas. Por outro lado, moléculas de água atravessam a membrana que cria um fluxo de produto purificado livremente (BRASIL 2013). Um sistema de osmose reversa industrial pode ser vista na Figura 2.4.



Figura 2.4: Exemplo de um Sistema de Osmose Reversa.

Fonte: Próprio Autor (2017).

Já a radiação ultravioleta é utilizada em sistemas de purificação de água para promover dois efeitos: bactericida, no comprimentos de onda 254 nm, e oxidação de contaminantes orgânicos a 185 nm (ALVES 2013).

Em contato com a luz, os micro-organismos são inativados pela luz UV (na faixa de 250 a 270 nm), resultado do dano fotoquímico ao DNA microbiano e de enzimas (RNA

polimerase), afetando o mecanismo de replicação, porém não removendo os microrganismo (Figura 2.5). É utilizada na recirculação da água sob o foco de luz ultravioleta, que minimiza a proliferação microbológica, incluindo os biofilmes (ALVES 2013).

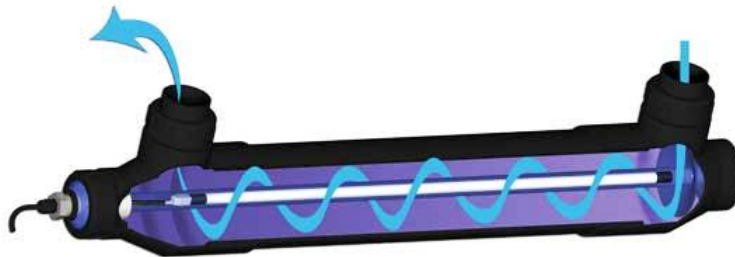


Figura 2.5: Sistema de Radiação UV.

Fonte: Próprio Autor (2017).

A oxidação por ultravioleta resulta da absorção da luz a 185 nm, produzindo radicais hidroxila, que, por sua vez, oxida os materiais orgânicos ionizáveis, transformando-os em dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O), mas este processo, isoladamente, não garante a remoção das substâncias orgânicas da água (ALVES 2013).

2.1.4 Sanitização

A sanitização tem o objetivo de eliminar contaminantes e materiais incrustados no interior de equipamentos. Deve ser executada em todas as etapas do sistema de para manter o nível de qualidade da água, controlar a qualidade microbológica, evitando a contaminação bacteriana e a disseminação patogênica, além de minimizar o aparecimento de biofilmes (CAS 2015).

Consiste na passagem ou contato de compostos sanitizantes pela superfície ou local a serem desinfetados por um determinado tempo. A eficiência dos sistemas de purificação de água depende da correta e frequente manutenção e reposição dos elementos filtrantes e da sanitização com agentes químicos como, hidróxido de sódio, ácido cítrico e ácido paracético, dentre outros, que provoquem a morte dos microrganismos. Deve ser efetuada com uma frequência regular, já que a contaminação diminui a eficiência do sistema e aumenta o custo da produção de água purificada (CAS 2015).

2.2 Automação e Instrumentação

Automação industrial consiste na aplicação da teoria de sistemas, por meio de determinados equipamentos e softwares, para controlar máquinas e processos. Planejando, quando e como converter o controle de um processo manual para automático. Ela também permite a coleta metodológica e precisa de dados que podem ser aplicados para se obter o aprimoramento de processos. Apesar dos diversos tipos de indústrias exigirem aplicações diferentes, os controles básicos são os mesmos (SCOTTI 2015).

A automação possibilita a redução dos custos de todo um sistema produtivo, e consequentemente o aumento dos lucros. Sua implantação pode trazer consigo aumento nos investimentos iniciais e na manutenção, já que necessita de mão-de-obra especializada. Contudo, esses gastos serão compensados pela garantia de qualidade de uma produção mais homogênea e segura.

Com a crescente evolução da automação industrial e devido às muitas tarefas da automação, uma subdivisão das tarefas é necessária. Sendo assim, a *International Society of Automation (ISA)*, ou Sociedade Internacional de Automação, em português, classificou a automação em cinco níveis hierárquicos, que vão desde os equipamentos e dispositivos em campo até o gerenciamento corporativo da empresa (SCOTTI 2015). Essa subdivisão foi atualizada na ISA-95/2010, e é a mais importante publicação sobre integração de sistemas industriais e se tornou a referência no desenvolvimento destas soluções. A subdivisão é vista na Figura 2.6.



Figura 2.6: Modelo de Pirâmide da Automação.

Fonte: Próprio Autor (2016).

Observa-se, na Figura 2.6, os 5 níveis de pirâmide da automação. O nível 1, também conhecido como “chão de fábrica”, é o nível em que estão as máquinas diretamente ligadas à produção, é composto por dispositivos de campo, como sensores, transmissores, atuadores, etc.

O nível 2 é encarregado pelo controle de todos os equipamentos de automação do nível anterior e abrange os Controladores Lógicos Programáveis (CLP), os Sistemas de Controle Distribuído (SDCD), Unidades Terminais Remotas, Dispositivos Eletrônicos Inteligentes, dentre outros. Da mesma maneira, esses equipamentos são encarregados de repassar os comandos dos níveis superiores para as os dispositivos do nível inferior.

O nível 3, também chamado de coordenação, concentra, controla, aloca recursos, supervisiona e estabelecem pontos de operação dos controladores dos níveis 1 e 2. Neste

nível encontram-se os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), esses centralizam todas estas informações em banco de dados e as transferem para os níveis administrativos (níveis 4 e 5), além de prover muitas aplicações para supervisão da planta.

O nível 4 é encarregado pelo planejamento e a programação da planta fabril, realizando o controle e a logística dos suprimentos e determinando as tarefas para o nível 3. É também nesse nível que se encontra o Sistema de Execução da Manufatura (*Manufacturing Execution System - MES*), responsável por acompanhar a produtividade da indústria em tempo real.

Já a administração de todos os recursos da empresa está no nível 5, no qual é gerenciado todo o sistema. Neste nível encontram-se softwares para gestões de venda e financeira, além de Inteligência empresarial (*Business Intelligence - BI*), que ajudam na tomada de decisões que influenciam a empresa como um todo (SANTOS 2015). É nesse nível que o Planejamento e Controle da Produção (PCP) é realizado.

Com essa hierarquia, pode-se ter uma organização maior dos diferentes níveis de controle existentes. Nos níveis mais baixos encontram-se os equipamentos que estão diretamente relacionados à utilização em campo, já nos níveis mais altos são tratadas questões mais gerenciais da empresa e da planta.

Os sistemas automatizados são compostos de pequenas funções realizadas sequencialmente, seguindo uma lógica pré-programada. Todas as funções e a estrutura em que são realizadas são comandadas por um controlador lógico programável (CLP). Ele é responsável pelo controle do sistema automatizado, obtendo sinais de sensores e atuadores, processando esses sinais conforme a lógica do sistema, e enviando sinais de saída para realizar tarefas. Mesmo com as funções sendo definidas pelo CLP, geralmente necessita-se de um operador para acionar alguns comandos do sistema ou para supervisionar o andamento dos processos.

2.2.1 Controladores Lógicos Programáveis - CLP

O CLP pode ser descrito como um dispositivo eletrônico de tecnologia digital capaz de armazenar instruções para implementações de funções de controle e rotinas específicas. Pode realizar manipulação de dados, comunicação em rede, funções lógicas, sequenciamento, contagem, temporização e aritmética. Baseia-se em microprocessadores, que com o rápido processamento das informações, possibilita a execução e o aprimoramento de funções mecânicas, elétricas e eletrônicas.

O CLP basicamente é composto por: entradas, saídas e unidade central de processamento (CPU). A CPU é formada pelo processador, pela memória e pelo barramento que faz a conexão com as entradas e saídas, conforme apresentado na Figura 2.7. A CPU é o cérebro do CLP, ela lê o sinal das entradas na memória de dados, executa operações aritméticas e lógicas baseadas na memória de programa, e gera os devidos comandos para controlar o estado das saídas.

A execução de programas no CLP após sua inicialização é basicamente ordenado em três tarefas:

- Transfere os sinais existentes das interfaces de entrada para a memória de dados;

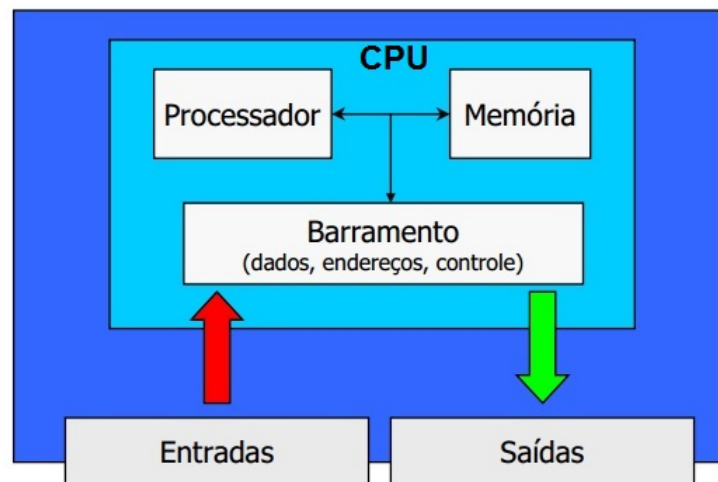


Figura 2.7: Diagrama de Blocos Simplificado de um CLP.
Fonte: Próprio Autor (2016).

- Inicia a varredura do software aplicativo armazenado em sua programação. Utiliza os dados colhidos nas entradas para executar as operações programadas em seu software;
- Após essa varredura do software, transfere os dados, resultados das operações, para as interfaces de saída.

Os CLPs podem operar de forma isolada ou de forma integrada, conectados em rede entre si com um sistema supervisório. O crescimento do CLP e de suas funcionalidades permitiu a sua utilização em indústrias de processo e a conexão com um sistema SCADA (AL-DALKY et al. 2014).

2.2.2 SCADA

A sigla SCADA vem do inglês “*Supervisory Control and Data Acquisition*”, ou Controle Supervisório e Aquisição de Dados e se caracteriza como um sistema que permite supervisionar e controlar um processo produtivo ou instalação física, através da troca de informação entre uma estação central e uma ou mais unidades remotas.

A utilização de um sistema SCADA visa a segurança do operador e uma maior capacidade de acompanhamento dos processos. Um sistema SCADA é formado de sensores e dispositivos de acionamento conectados ao longo de um painel de controle, que será manipulado pelo operador do sistema, chamado de Interface Homem-Máquina (IHM). Esse painel pode acomodar interruptores, botoeiras, lâmpadas sinalizadoras, painéis luminosos, assim como pode possuir telas sensíveis ao toque (AL-DALKY et al. 2014).

Os sistemas SCADA são sistemas que aplicam tecnologias de computação e comunicação para automatizar o monitoramento e o controle de processos industriais. Estes sistemas são parte integrante da maioria dos ambientes industriais complexos ou geograficamente dispersos, estão presentes em diversas áreas industriais (celulose, petróleo,

farmacêutica, metalurgia, química, etc), nos controles aeroviário e ferroviário, e em redes de computadores comerciais, industriais e residenciais.

A principal função de um sistema SCADA é propiciar uma interface de alto nível do operador com o processo, informando-o em tempo real. Eles coletam rapidamente os dados de uma quantidade grande de variáveis, em seguida exibe a um operador de uma forma amigável, conforme exemplo apresentado na Figura 2.8. Os sistemas SCADA melhoram a eficácia do processo de controle e monitoramento, fornecendo a informação correta, tornando a tomada de decisões e operações mais precisas (COELHO 2010).

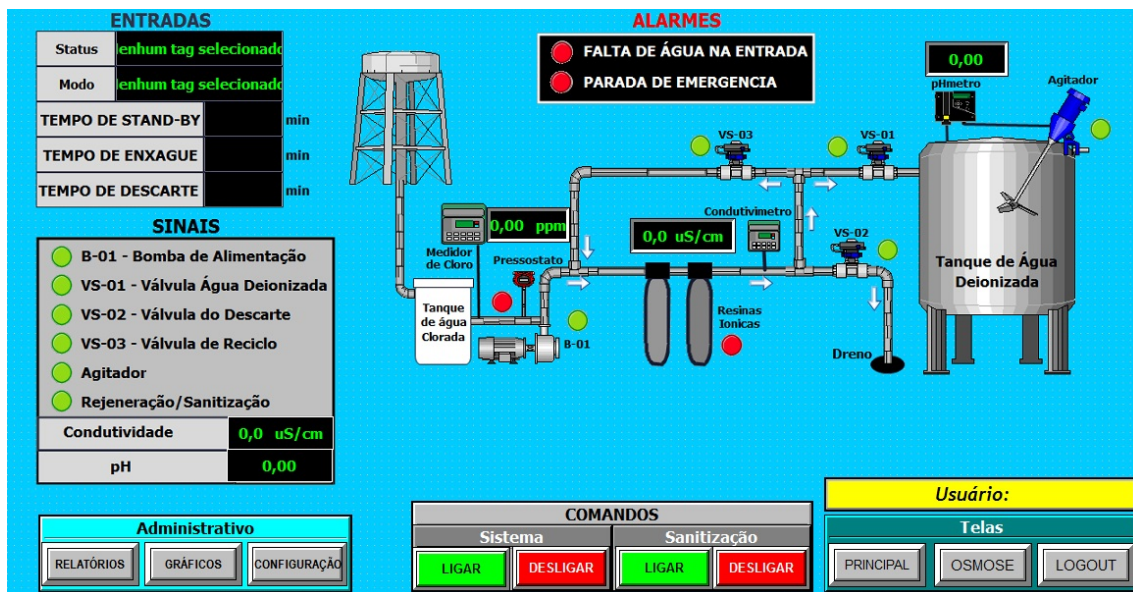


Figura 2.8: Exemplo de interface gráfica de um Sistema SCADA.

Fonte: Próprio Autor (2017).

Estes sistemas são geralmente formados por: unidades terminais mestres, unidades remotas (CLP por exemplo), dispositivos de campo (sensores e atuadores) e toda a tecnologia de comunicação envolvida para interconexão desses componentes (SCOTTI 2015).

Através desses equipamentos é efetuada a coleta de dados dos dispositivos de campo, fazendo-se necessário a utilização de redes de comunicação para atingir este objetivo. As informações coletadas são manipuladas, observadas, analisadas, conservadas e, finalmente apresentadas ao operador em multiplicidade de formas, através de uma interface de alto nível (COMER 2017).

A Figura 2.9 apresenta a arquitetura típica de um sistema SCADA e seus componentes. Dentre as funcionalidades dos sistemas SCADA, podemos descrever:

- Configuração das variáveis de entrada e de saída;
- Configuração dos operadores que terão acesso ao sistema;
- Configuração da(s) interface(s) de comunicação;
- Construção da representação gráfica dos processos industriais;
- Geração de gráficos de tendências, que observam a evolução das variáveis do sistema;

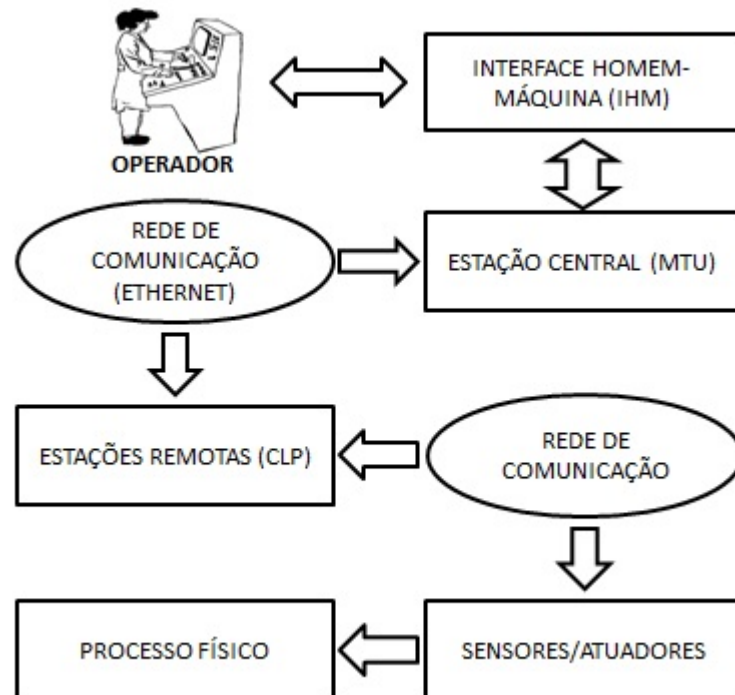


Figura 2.9: Arquitetura típica do sistema SCADA.
Fonte: Adaptado de (KRUTZ 2006).

- Geração de alarmes, quando uma variável ou condição do processo de produção está fora dos valores previstos, avisa ao operador;
- Geração de históricos, que registram dados e eventos relevantes;
- Produção de relatórios de acesso de dados e dos alarmes ocorridos em um intervalo de tempo;
- Geração de *scripts* ou programas, que desenvolvem alguma lógica para o controle do processo;
- Criação de receitas, que configuram os equipamentos da planta para que essa possa produzir determinado(s) produto(s); e
- Geração de informação para níveis gerenciais.

Todas estas funcionalidades tornam os sistemas SCADA parte essencial da estrutura de gestão das informações corporativas e do chão de fábrica. Eles são vistos pela gerência, não simplesmente como ferramentas operacionais, mas como recurso importante de informação.

2.2.3 Operador

O operador tem a função de interagir com o sistema SCADA, monitorando-o e executando remotamente as funções de manipulação e controle do sistema.

2.2.4 Interface Homem-Máquina

Interface Homem-Máquina (IHM) é responsável por apresentar dados ao operador, fornecer entradas de controle em uma variedade de formatos, incluindo gráficos, esquemáticos, janelas, menus suspensos, telas de toque e assim por diante.



Figura 2.10: Exemplo de Interface Homem-Máquina (IHM).
Fonte: Próprio Autor (2016).

A IHM (Figura 2.10) geralmente é ligada a um CLP ou ao SCADA através de sua porta de comunicação. É constituída por software e hardware, que permite aos operadores visualizar um diagrama esquemático da planta controlada, monitorar o estado de um processo, modificar os valores de referência (*setpoint*) (CONSTAIN 2011).

Diante disso, torna-se uma ferramenta importante, já que fornece um meio para que os operadores humanos monitorem o estado do processo e interajam com o controlador para mudar o objetivo do controle e também podem incluir opções de controle manual (para o caso de emergência).

2.2.5 Estação MTU

A estação central ou MTU (sigla em inglês para *Master Terminal Unit*) é a principal unidade do sistema SCADA, pode se assemelhar a uma unidade mestre numa arquitetura mestre-escravo. É responsável por coletar, armazenar e processar as informações produzidas pelas estações remotas. Estes dados estarão a disposição e poderão ser coletados pelos operadores, que através destas informações age de acordo com os eventos detectados. A taxa de transmissão de dados entre a MTU e a estação remota é relativamente baixa e o controle é usualmente em malha aberta devido a possíveis atrasos de comunicação ou interrupção no fluxo dos dados (COELHO 2010).

A MTU pode estar centralizada em uma única estação (servidor SCADA) ou compartilhada numa rede de computadores ou clientes, compartilhando as informações oriundas do servidor SCADA. Ela também pode possuir equipamentos e dispositivos auxiliares como impressoras e registradores e servidores redundantes, para os casos de falha, evitando a parada do sistema (SCOTTI 2015).

A MTU reúne o agrupamento de dados (entrada e saída), status, históricos, alarmes, e informações em um Banco de Dados (BD). Geralmente este BD está incluso no SCADA ou pode pertencer a servidores secundários conectados em rede (COELHO 2010).

Links de comunicação dedicados ou redes de área local são utilizados para as conexões entre a MTU e os outros sistemas.

2.2.6 Meios de Comunicação

A comunicação entre os dispositivos de um sistema automatizado é feita por meio de uma rede industrial, estas utilizam vários tipos de meios físicos e tipos de comunicação. Nos sistemas mais antigos, mas ainda utilizados hoje, podemos citar os sinais analógicos de tensão (0 a 10 v) e de corrente (4 – 20 mA) como os condutivímetros instalados na ETA (Figura 2.11), porém estes são bastante suscetíveis a ruídos, e dependendo do meio onde são aplicados, isso torna-se um problema (SILVA 2015).



Figura 2.11: Condutivímetro com sinal analógico de 4 a 20 mA.
Fonte: Próprio Autor (2016).

Para solucionar este e outros problemas surgiram as redes de campo, ou *Fieldbus*, a qual baseia-se na conexão dos equipamentos que integram um sistema de automação por meio de cabos ou até sem fio. Estas conexões formam uma rede que utiliza protocolos de mensagens padronizadas, podendo serem acessados individualmente.

As redes de campo industriais contribuem de forma significativa para os sistemas industriais, porque possuem grande confiabilidade e modularidade, facilidade de entendimento e, na maioria dos casos, redução de custos. Outra vantagem é a viabilidade de conectar diversos dispositivos sem perda no funcionamento e operação do sistema, permitindo o tráfego de informações pela rede sem perdas (ZÚQUETE 2013).

Estas redes, geralmente, fazem uso do sistema de troca de dados em série (interfaces seriais) e seguem padrões estabelecidos pela Associação Internacional de Telecomunicações e pela Associação Internacional de Eletrônica. Estas especificam as características elétricas, mecânicas e funcionais entre dispositivos, além de determinar nomes, números e fios necessários para se estabelecer a comunicação (CONSTAIN 2011).

Dentre os protocolos de comunicação, podemos citar o RS-485, ou EIA-485. Ele utiliza apenas um par de fios para transmissão e recepção de dados. Sua grande vantagem é de possibilitar a interligação de vários equipamentos no mesmo cabo de comunicação, o que torna o projeto mais simples, barato e fácil de implementação, além do seu grande alcance de transmissão, que pode chegar a 1200 metros.

Sua desvantagem é de utilizar um meio de comunicação *half-duplex*, ou seja, a transmissão e a recepção de dados não podem ser simultâneos, enquanto um equipamento transmite os outros esperam. Na ocorrência de dois dispositivos tentarem uma transmissão ao mesmo instante, é identificado uma colisão de dados, interrompe-se o processo e

eles tentam enviar novamente, mas desta vez em tempos distintos. Todavia, suas vantagens superam essa pequena desvantagem, tornando o RS-485 o tipo de comunicação mais utilizado no meio industrial (SCOTTI 2015).

2.2.7 Rede de Comunicação

Considerando as condições e as distancias a cobrir do sistema, as redes de comunicação podem ser montadas através dos seguintes meios físicos: Par-trançado, cabos elétricos ou cabos de fibra óptica (serial, Ethernet), redes sem fio, linhas telefônicas dedicadas ou discadas, rádio, satélite, entre outros (ZÚQUETE 2013).

Visando a compatibilidade e a interconexão entre os fabricantes, as redes industriais seguem determinados protocolos. Geralmente, utilizam-se protocolos de comunicação padrão como o MODBUS nas versões RTU (Padrão serial RS-232 ou RS-485) e TCP (Padrão Ethernet). O desempenho e a confiabilidade do sistema SCADA é determinado pelo tipo de projeto de comunicação (COELHO 2010).

2.2.8 Protocolo MODBUS

MODBUS é um protocolo de comunicação de dados baseado na arquitetura Mestre/Escravo, ou Cliente/Servidor. Criado pela Modicon em 1979, possui protocolo aberto (com suas normas e especificações disponibilizadas para domínio público), simples e de fácil implementação. Segundo (ZOU et al. 2017) é considerado um dos protocolos de comunicação mais populares na área de automação. Está posicionado na camada 7 (a camada de aplicação do modelo OSI). Ele suporta outros protocolos, tais como transmissão assíncrona mestre/escravo, Modicon MODBUS Plus e Ethernet. Também foi desenvolvido o MODBUS/TCP, que aproveita as ferramentas de apoio, hardware e software que são utilizados para a Internet. Esse também é baseado no modelo OSI, ainda que nem todas as camadas sejam utilizadas.

Geralmente são utilizados dois tipos:

- Protocolo de linha serial, em que a camada física compreende os padrões RS-232, RS-422 e RS-485;
- Protocolo TCP/IP (ou também UDP/IP), onde o meio físico é baseado pela Ethernet.

A comunicação baseia-se em transações por meio de uma requisição, contudo apenas o dispositivo mestre (ou cliente) pode iniciar o processo. E após esta requisição é que os escravos (ou servidores) podem enviar uma resposta. O serviço de comunicação baseia-se em códigos de função, onde cada função é pré-definida e bem determinada, informando ao escravo qual ação executar (SCOTTI 2015).

A estrutura de mensagens do MODBUS é composta por bytes, que variam entre 1 a 255, sendo que o intervalo de 128 a 255 é reservado exclusivamente para utilização de respostas. Nos protocolos de linhas seriais existem dois tipos de transmissão:

- O MODBUS/ASCII foi o primeiro Modbus, geralmente utilizado na camada física RS-232 ou RS-485. Todos os escravos são requisitados pelo mestre, e há apenas

um mestre. O quadro de mensagem pode ter até 252 bytes de comprimento e até 247 endereços são possíveis. Neste modo cada byte de mensagem é enviado na forma de dois caracteres ASCII, com intervalo de até um segundo entre caracteres. Embora gere mensagens legíveis para as pessoas, este modo consome mais recursos da rede;

- O MODBUS/RTU é uma pequena variação no protocolo Modbus ASCII. A única diferença está na codificação dos dados. ASCII codifica a mensagem em caracteres ASCII, enquanto RTU usa bytes, aumentando assim o throughput do protocolo. Em geral, RTU é mais popular, especialmente em novas instalações. Neste modo cada byte de mensagem é enviado como um byte de dados, de forma contínua. Este é mais utilizado devido proporcionar que o tamanho do pacote fique mais compacto (SCOTTI 2015).

2.2.9 Protocolo TCP/IP

A ISO (*International Organization for Standardization*), ou Organização Internacional para Padronização, em português, é uma entidade de padronização e normatização, criada em Genebra, na Suíça, em 1947. Tem como objetivo principal validar normas internacionais em todas as áreas técnicas. A ISO cria documentos que fornecem requisitos, especificações, diretrizes ou características que podem ser usados de forma consistente para garantir que materiais, produtos, processos e serviços sejam adequados ao seu propósito. Estes, denominados de RFC, são documentos em que componentes técnicos, como a arquitetura da Internet, a estrutura de protocolos e a forma de cabeçalhos de e-mail, por exemplo, são descritos em detalhes, estão disponíveis gratuitamente na Internet (ZÚQUETE 2013).

O modelo de referência OSI (do inglês, *Open System Interconnection*) da ISO foi elaborado para abordar a interconexão de sistemas abertos. Dentre estes sistemas, um dos mais utilizados é o TCP/IP

O *Transport Control Protocol (TCP)* ou Protocolo de Controle de Transmissão, em português, é um protocolo padrão descrito pela RFC 793, surgiu a mais de 30 anos, mas sua aplicação no meio industrial se deu há apenas alguns anos. O objetivo principal do TCP é fornecer serviço de conexão confiável e seguro entre pares de processos. Sua principal utilidade se deve à necessidade de unificar um único e exclusivo padrão de rede (TCP/IP) para interligar todos os níveis da pirâmide da automação.

2.3 TIA Portal

O *Totally Integrated Automation*, ou como é mais conhecido, TIA Portal, é um programa que faz implementação e configuração de projetos para os CLPs, IHMs e sistemas SCADA do fabricante Siemens. Este pode ser adquirido junto com os equipamentos ou separadamente com o fabricante. É um software concentrador, onde cada pacote que adicionamos é uma ferramenta para um determinado hardware ou função (SIMATIC 2015b).

Dentre estas ferramentas, podemos destacar:

- *Step 7 Professional*: ferramenta para programar e configurar CLPs da família S7;
- *WinCC Comfort*: ferramenta para acesso, programação e configuração de IHMs *touchscreen*;
- *PLC SIM*: programa simulador de CLP, pode simular CLPs da família S7-1200 e S7-1500;
- *WinCC Runtime*: programa para desenvolver e simular sistema SCADA;
- *WinCC Loader*: programa para gerar aplicativo executável do SCADA.

Para sua utilização, basta interligar o computador onde o programa está instalado na mesma rede Ethernet dos equipamentos a serem configurados. Através dele, pode-se criar um novo projeto ou importar (copiar do CLP) e editá-lo, para em seguida transferi-lo para o(s) equipamento(s) (SIMATIC 2014).

Este programa utiliza lógica *LADDER* de programação, Blocos de Funções (FB), Bloco de Dados (DB) e outros diversos acessórios e ferramentas para configuração de CLPs, além de uma grande variedade de figuras e símbolos para a incrementação de projetos e facilitar a visualização na IHMs e/ou no SCADA (SIMATIC 2015b).

Este programa também pode fazer o monitoramento em tempo real do CLP, a comparação entre o projeto que está sendo editado e o que está sendo executado no CLP.

A visualização e edição de projetos no TIA Portal pode ser feito de duas formas, pelo *Portal view* ou pelo *Project view*, Figuras 2.12 e 2.13, respectivamente. A escolha da forma fica a critério do projetista (SIMATIC 2015a).

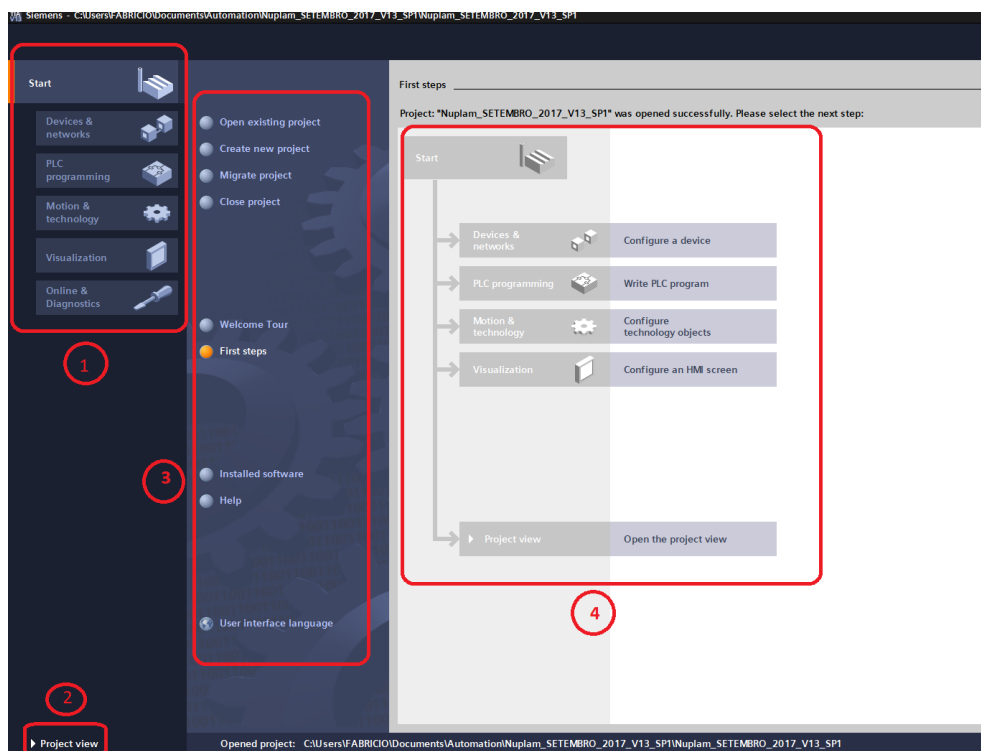


Figura 2.12: Tela referente ao Portal view do TIA Portal.
Fonte: Próprio Autor (2017).

As principais ferramentas (opções) do *Portal view* (Figura 2.12) são:

1. Seleção de diferentes tarefas;
2. Comutar para o modo *Project View*;
3. Opções da tarefas selecionada;
4. Painel de seleção para a opção selecionada.

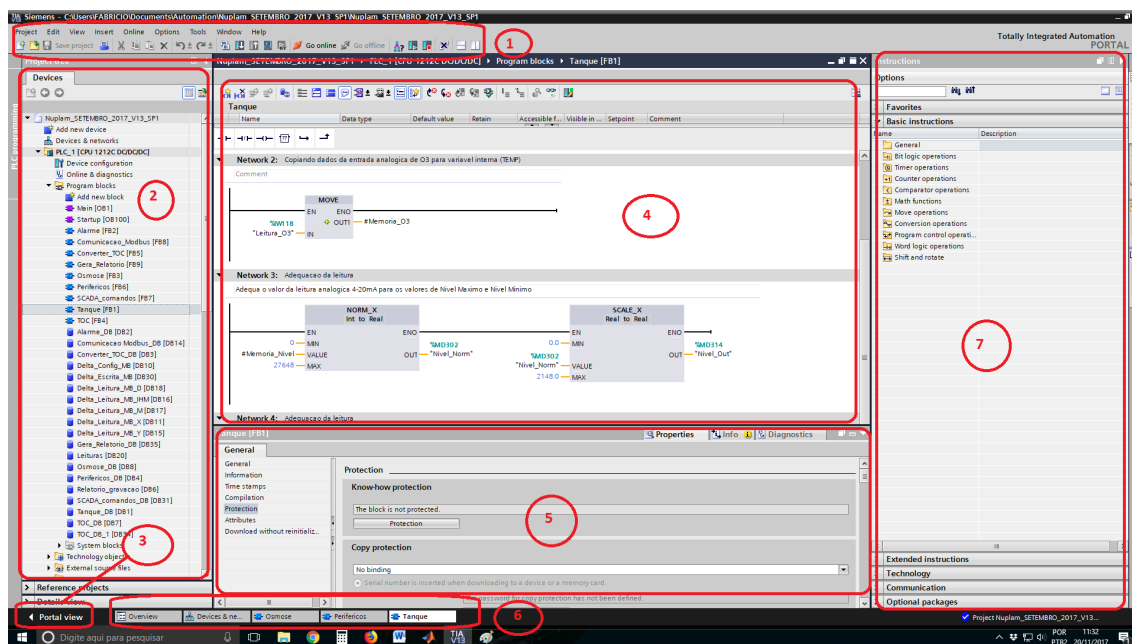


Figura 2.13: Tela referente ao Project view do TIAPortal.

Fonte: Próprio Autor (2017).

As principais ferramentas (opções) do *Project view* (Figura 2.13) são:

1. Menus e barra de ferramentas;
2. Explorador de dispositivos do projeto;
3. Comutar para o modo *Portal view*;
4. Área de trabalho;
5. Propriedades do dispositivo selecionado da área de trabalho;
6. Abas abertas pelo editor;
7. Opções, lista e ferramentas de edição.

2.3.1 WinCC Runtime

O aplicativo WinCC Runtime está inserido na plataforma TIA Portal, porém para utilizá-lo é necessário uma licença extra. Ele é o responsável pelo desenvolvimento do sistema supervisor da planta. Sua utilização é bem simples, para inserir e conectar-se a um dispositivo SCADA no software Siemens Simatic TIA Portal (Figura 2.14), basta seguir os passos abaixo (SIMATIC 2013):

1. Clicar em adicionar dispositivos (*add new devices*);
2. Entrar no catálogo do dispositivo;
3. Entrar em *PC System* e selecionar *PC Station*;
4. Em seguida, neste mesmo catálogo, adiciona-se o módulo *WinCC RT Advanced*, nas aplicações IHM (*Simatic HMI application*);
5. Por fim, um módulo de comunicação (*communication modules*), o *IE General* como dispositivos de rede.

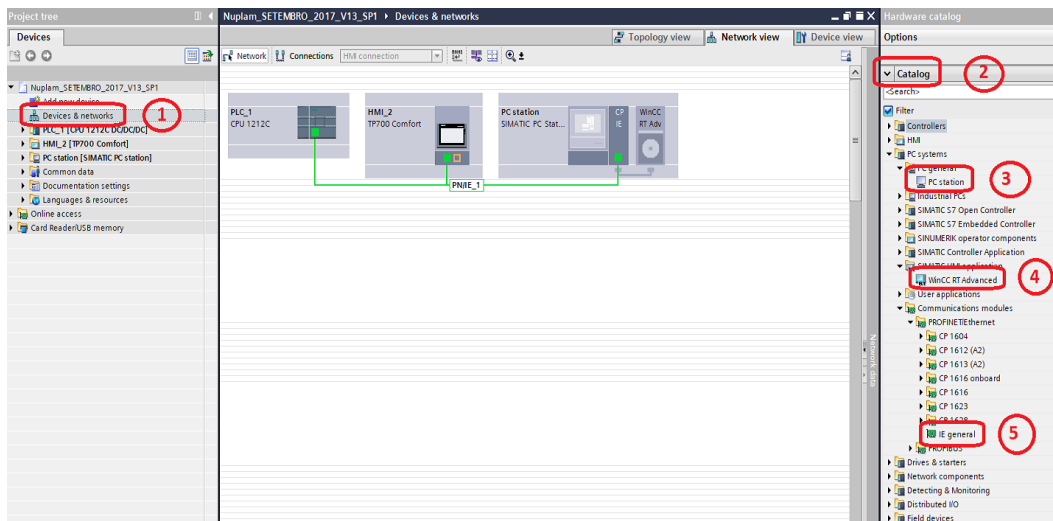


Figura 2.14: Sequencia para adicionar dispositivo SCADA no WinCC Runtime.

Fonte: Próprio Autor (2017).

Assim, cria-se um *PC Station*, que será o sistema SCADA. Em seguida, configura-se esta estação para o mesmo intervalo IP do CLP, tornando possível a conexão lógica entre os dois. Após isso, pode-se projetar as telas do sistema SCADA na tela do TIA Portal. Todos os controles que podem ser colocados na tela estão localizados na caixa de ferramentas do lado direito da tela (Figura 2.15). Há dispositivos gráficos de objetos básicos (linha, círculo, quadrado, rótulos, imagens); comandos para interagir com o operador: campo E/S; botões; campo E/S simbólico; campo E/S gráfico (ícone); campo data/hora; instâncias temporais de entrada; bar; controles de nível de acesso; segurança; alarmes; impressoras; dentre outros. Para projetar o sistema SCADA é relativamente simples, basta selecionar e arrastar os controles da caixa de ferramentas que estão disponíveis na tela de desenvolvimento (SIMATIC 2013).

Para qualquer controle que seja adicionado na tela, com exceção aos objetos gráficos básicos, é necessário atribuir uma TAG no CLP e ajustar suas respectivas propriedades. As TAGs, os controles e as telas (screens) são os itens básicos para configurar um sistema SCADA no WinCC Runtime através do TIA Portal, mas este software possui muitas ferramentas que aprimoram e incrementam essas interfaces, conforme pode ser visto na Figura 2.16, como roteiro de funções (*Scripts*), processos cíclicos (Scheduled tasks e Cycles), serviço de auditoria (Reports), controle de usuários (User administration), dentre outros (SIMATIC 2013).

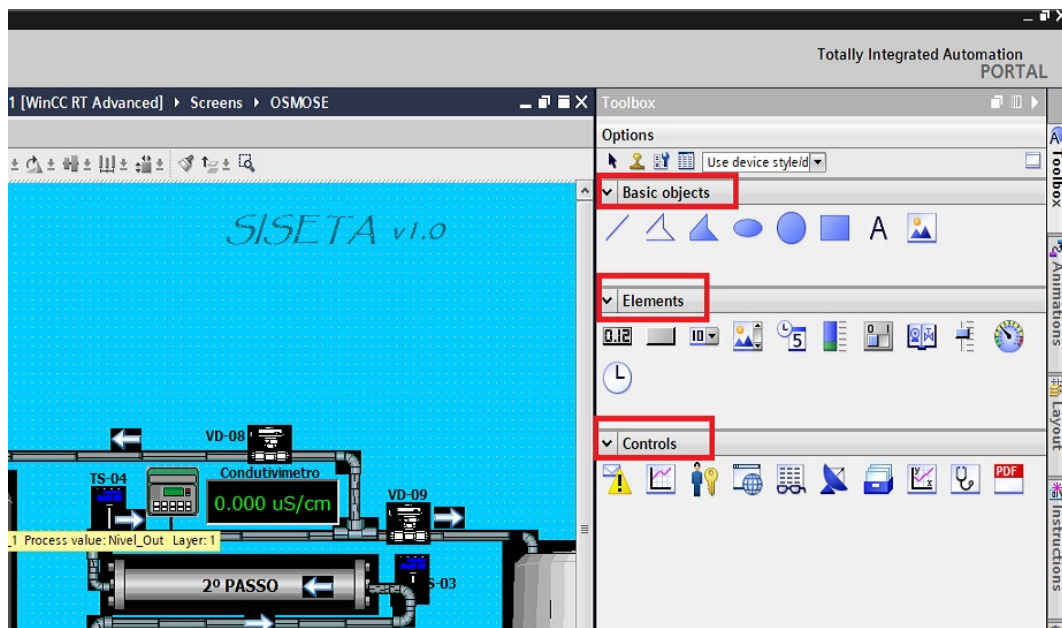


Figura 2.15: Caixa de ferramentas para projetos no WinCC Runtime do TIA Portal.
Fonte: Próprio Autor (2017).

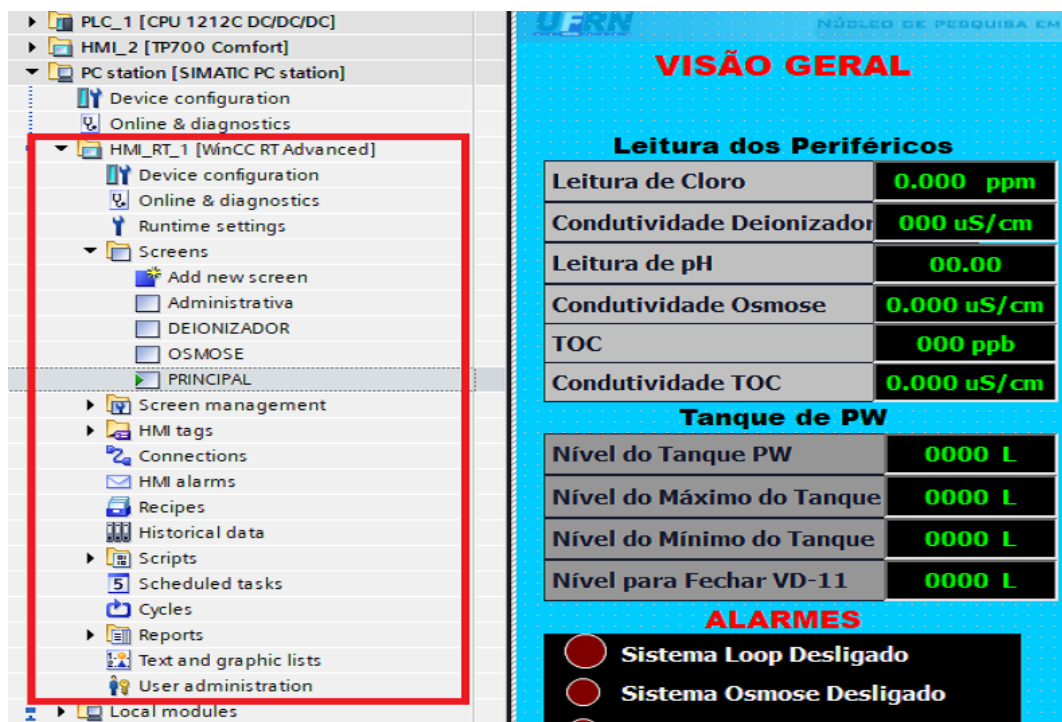


Figura 2.16: Dispositivos de configuração para projetos no WinCC Runtime (TIA Portal).
Fonte: Próprio Autor (2017).

2.4 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo demonstrou-se todo referencial teórico que foi utilizado ao longo deste trabalho. Apresentou-se a importância da água na indústria farmacêutica, os tipos e os métodos utilizados para processá-la e manter suas características de pureza. Essa base foi importante para entender "o que" e "onde" foram feitas as alterações necessárias para adequação da ETA. Já na área de automação, foco do trabalho, por meio de diversas pesquisas bibliográficas conseguiu-se reunir o embasamento teórico sobre componentes, técnicas, meios e tipos de comunicação industrial, além de sistemas supervisórios. Estes fundamentos da automação proporcionou o suporte necessário para saber "onde" e "como" atuar na referida planta.

Capítulo 3

Estrutura

Neste capítulo serão explicadas as etapas, a estrutura e o funcionamento da planta da Estação de Água Purificada, antes das nossas intervenções. Serão expostas as ideias de modificação da planta da ETA.

3.1 Estrutura da ETA

Sabe-se que a principal meta da ETA abordada neste documento é produzir água purificada para uso farmacêutico. Conforme já visto na Seção 2.1.1, água purificada é resultante da água potável que passou por determinados tipos de tratamento. Logo, esta ETA utiliza a combinação de três sistemas: a deionização, a osmose reversa e a radiação ultravioleta. Estes farão com que ao final do processo, esta água fique dentro das especificações técnicas recomendadas pelo órgão regulador.

As principais características que diferenciam estes dois tipos de água são a condutividade, medida em micro-siemens por centímetros ($\mu S/cm^2$), e a quantidade de Carbono Orgânico Total, comumente conhecida pela sigla em inglês TOC (*total organic carbon*), medida em miligramas por litro (mg/L):

Tabela 3.1: Principais diferenças entre água potável e água purificada.

Tipo da água	Condutividade	TOC
Água Potável	de 100 a 200 $\mu S/cm^2$	< 1,0 mg/L
Água Purificada	< 1,3 $\mu S/cm^2$	< 0,50 mg/L

Conforme visto na Tabela 3.1 nota-se que a diferença crucial entre os tipos de água se dá nos valores de condutividade. Dessa forma, a variável central a ser monitorada e controlada nesta planta será a condutividade, não que outras como pH, dióxido de cloro e o próprio TOC possam ser desprezadas, mas o foco é diminuir a condutividade da água, pois se esta estiver dentro da faixa aceitável pressupõe-se que as outras também estarão (FARMACOPÉIA 2010). Tirando como exemplo resultados práticos coletados, com os operadores, pode-se afirmar que a condutividade cai de 150 para 0,7 $\mu S/cm^2$, após passar por todas as etapas do tratamento.

A Figura 3.1 ilustra o fluxograma de todo o percurso da água, durante seu processamento, desde a sua entrada na ETA, como água potável, até o retorno do loop, já como água purificada.

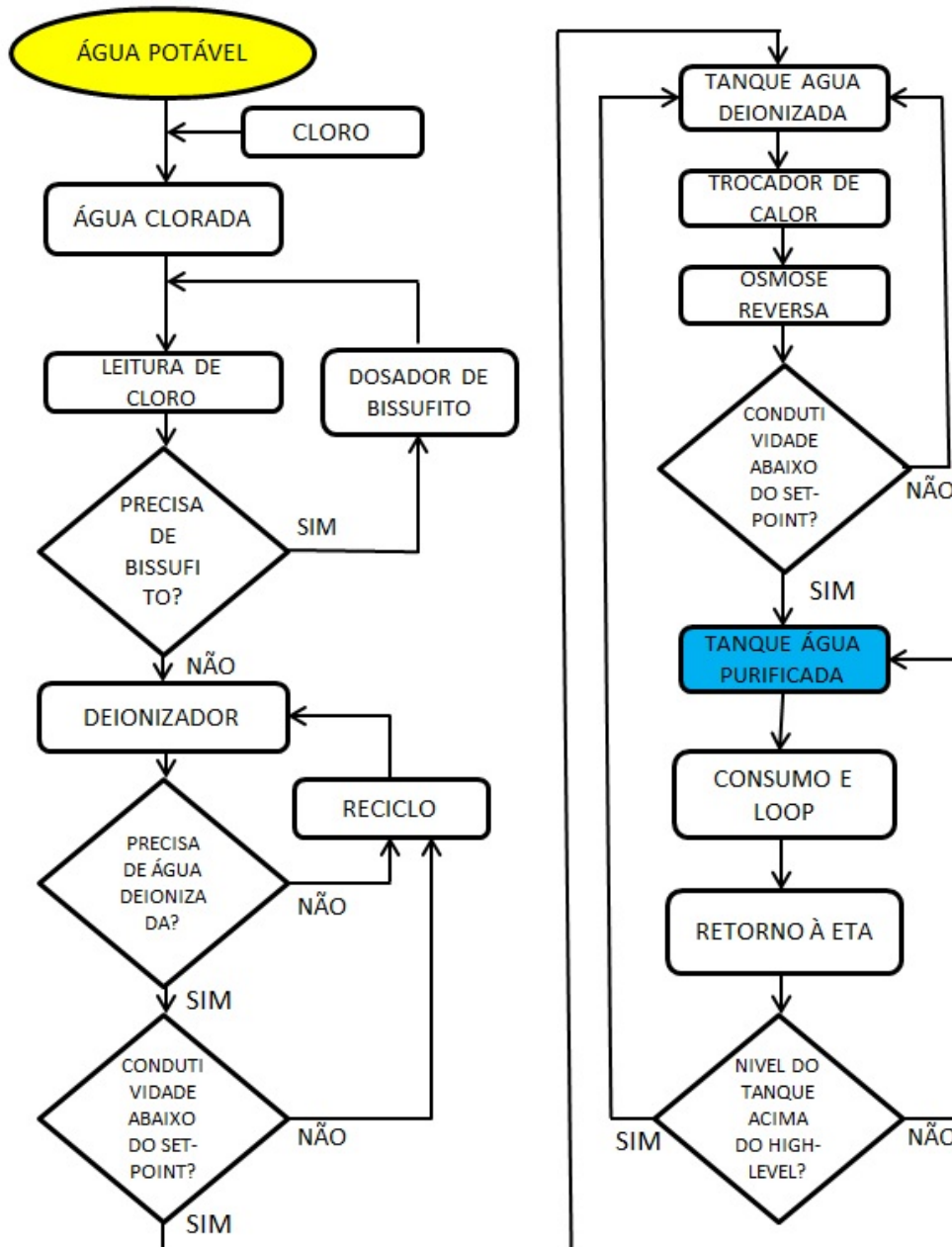


Figura 3.1: Fluxograma do processamento da água na ETA.

Fonte: Próprio Autor (2017).

Para melhor compreensão, fez-se a divisão do sistema em etapas de processamento da água, esta divisão pode ser ilustrada conforme a Figura 3.2. Estas serão explicadas nas próximas seções deste capítulo.

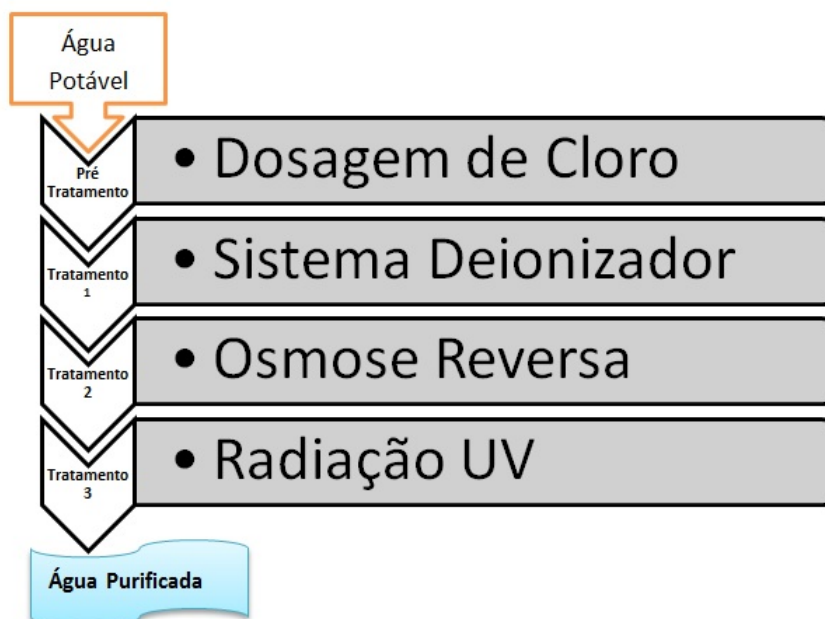


Figura 3.2: Divisão por etapas da ETA.
Fonte: Próprio Autor (2017).

3.1.1 Dosagem de cloro

O sistema de geração de água purificada é alimentado com água potável proveniente da caixa d'água da fábrica. A primeira etapa do sistema de produção chamada de pré-tratamento tem a função de dosar uma determinada quantidade de cloro para eliminar possíveis contaminantes da água vinda da caixa d'água da fábrica (água potável). Esta água dosada com cloro é armazenada em uma segunda caixa d'água esta para uso exclusivo da ETA. Estes procedimentos são feitos fora do ambiente da ETA propriamente dita.

A água proveniente desta segunda caixa d'água é levada a ETA através de tubulações de PVC. Ela passa por um sensor de cloro instalado na linha, este envia o valor lido ao analisador/controlador de cloro, que indicará de forma visual ao operador se há necessidade de reduzir ou aumentar a quantidade de cloro dosada na entrada da caixa d'água da ETA.

Porém este cloro dissolvido na água, não pode entrar no primeiro sistema de tratamento (sistema deionizador), uma vez que cloro pode saturar as resinas iônicas rapidamente, diminuindo suas vidas úteis. Deste modo, a eliminação de um possível excesso é feita pela adição de bissulfito de sódio ($NaHSO_3$) na linha que, através da reação química, elimina o cloro residual da água. A quantidade de bissulfito de sódio é regulada através de um sensor (Figura 3.3a) que lê a quantidade de cloro residual, esse valor medido é mostrado num analisador de cloro (Figura 3.3b), e de acordo com este valor injeta o bissulfito de sódio na linha através de uma bomba dosadora.

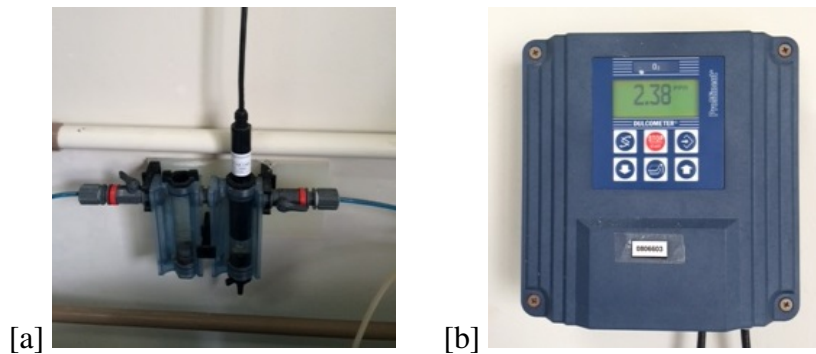


Figura 3.3: Sensor (a) e Analisador (b) de cloro residual.
Fonte: Próprio Autor (2017).

3.1.2 Deionizador

No sistema deionizador, o principal objetivo é diminuir rapidamente a condutividade da água. Esta diminuição é feita através de trocas iônicas, onde a água passa por dois tanques com resinas, uma com íons positivos e outra com negativos. Ao final dessa passagem a condutividade da água diminui drasticamente. De aproximadamente 150 para $25 \mu S/cm^2$. Este sistema é comandado por um CLP (Figura 3.4) que através da lógica programada comanda o acionamento de uma bomba de entrada de água e a abertura e fechamento das válvulas de acordo com a condutividade.

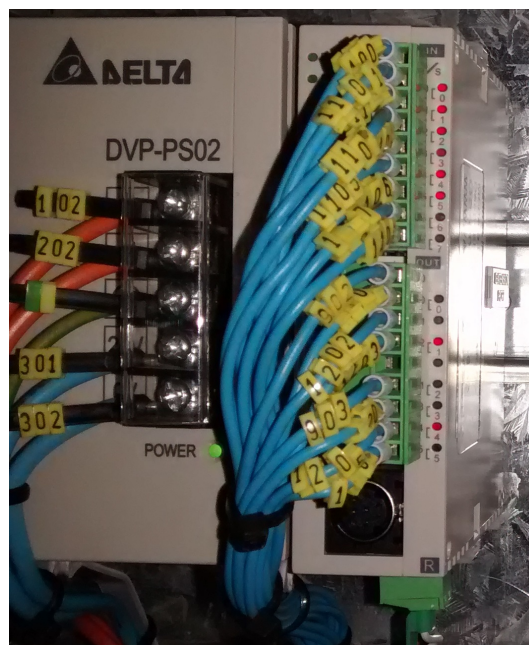


Figura 3.4: CLP responsável pela lógica do sistema deionizador.
Fonte: Próprio Autor (2017).

Na saída da linha existe um condutivímetro (Figura 2.11) que, de acordo com o set-point configurado em sua IHM (Figura 3.5), acionará ou não um relé. Este relé, ligado a

uma entrada digital do CLP (Figura 3.4), permitirá que este saiba se a condutividade está dentro ou ultrapassou o valor pré-definido, e assim fazer a lógica necessária de acordo com sua programação. Ou seja, se a condutividade continua alta, descarta ou reprocessa a água, senão a transfere para o tanque de água deionizada.



Figura 3.5: IHM de Condutividade.
Fonte: Próprio Autor (2017).

3.1.3 Osmose Reversa

A água produzida nesta etapa é então armazenada no tanque de água deionizada com capacidade de 2000 litros. Este tanque, portanto, tem a finalidade de fornecer água para a terceira etapa do processo, o sistema de osmose reversa. Apesar da condutividade estar dentro de uma faixa aceitável, existem dois outros fatores que devem ser levados em consideração antes da água chegar à osmose reversa: o pH deve estar abaixo de 7 e a temperatura abaixo de 20° C.

A primeira condição é verificada por um sensor de pH instalado no tanque. Se o pH ultrapassar o valor de 7, o seu atuador (Figura 3.6) envia dois sinais para:

1. acionar uma bomba dosadora que injeta ácido clorídrico no tanque;
2. acionar um agitador, também instalado no tanque, a fim de homogeneizar a solução.

Esse procedimento faz com que esse valor do pH reduza e entre na faixa desejada, aproximadamente 6,8. Uma vez adequada a condição de pH a água passa por um trocador de calor do tipo placa para diminuir sua temperatura, isso ocorre por dois motivos:

- A condutividade é diretamente proporcional à temperatura, então quanto menor a temperatura da água, menor será sua condutividade;
- As membranas osmóticas da osmose reversa trabalham melhor numa temperatura abaixo de 20°C.



Figura 3.6: pH-metro (atuador).
Fonte: Próprio Autor (2017).

Após o trocador de calor, a água segue para a etapa de osmose reversa, cuja lógica de operação fica a cargo de um CLP dedicado (Figura 3.7). Seu principal objetivo é controlar a saída da água, liberando-a ou não para a fase seguinte. Na saída da linha de produção deste sistema existem duas válvulas de acionamento elétrico que levam a água a dois caminhos distintos: um para o tanque de água purificada, caso a condutividade esteja abaixo do *setpoint*, $0,7 \mu\text{S}/\text{cm}^2$, e o outro retorna a água para o tanque de água deionizada para um novo processamento, caso a condutividade esteja acima do *setpoint*.

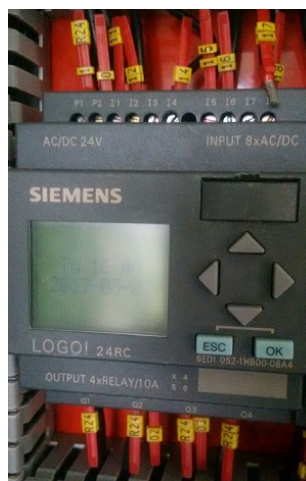


Figura 3.7: CLP Siemens Logo! responsável pela lógica do Sistema de Osmose Reversa.
Fonte: Próprio Autor (2017).

Esta etapa do processo trabalha com sistema pressurizado, conseqüente da passagem da água por uma bomba centrífuga multiestágio para elevação da pressão. Desta maneira, para melhor segurança do sistema e evitar sobrecargas existem quatro pressostatos ao longo da linha, que medem a pressão em diferentes pontos. Caso algum deles seja

acionado, será enviado um sinal ao CLP que, de acordo com sua programação, aciona um alarme luminoso e desliga a operação da osmose reversa.

A água abaixo do *setpoint* ($0,7 \mu\text{S}/\text{cm}^2$) liberada pelo sistema de osmose reversa segue para um tanque de 2000 litros totalmente lacrado, denominado de tanque de água purificada. Entretanto, essa água não pode ficar apenas armazenada. De acordo com as normas da ANVISA água parada é sinal de contaminação, portanto, ela deve estar em constante movimento. Em virtude dessa necessidade foi implantada uma linha de recirculação da água pela fábrica, que passa pelos pontos de uso e retorna para a ETA formando um *loop*, evitando que a água purificada permaneça parada.

3.1.4 Radiação Ultra Violeta (UV)

Antes do seu consumo esta água ainda passará pela última parte de seu tratamento, o sistema de radiação ultravioleta, que nada mais é do que uma luz ultravioleta instalado na tubulação de saída da ETA (Figura 3.8). Este tem o objetivo de inibir qualquer tipo de crescimento microbiano na água. Este equipamento não possui nenhum tipo de controlador, está sempre ligado, com exceção do desligamento total de todo o sistema.



Figura 3.8: Equipamento de Radiação Ultravioleta.

Fonte: Próprio Autor (2017).

3.1.5 Armazenamento e reciclo

Ao retornar do *loop* à ETA, uma parte da água entra novamente no tanque de AP, outra parte retorna para o tanque de água deionizada passando por um novo processamento. Este retorno ao tanque de água deionizada tem dois objetivos:

- Diminuir sua condutividade, já que ao circular pela fábrica a temperatura da água aumenta e conseqüentemente sua condutividade tende a aumentar. E com o retorno da água para o tanque de água deionizada obrigatoriamente faz a água passar novamente pelo trocador de calor diminuindo sua temperatura;
- Evitar que o tanque de AP transborde, já que este possui um filtro de ar hidrofóbico em sua extremidade superior e que em hipótese alguma pode entrar em contato com a água.

A divisão da quantidade de água que segue para os dois tanques é feita pela abertura ou não da válvula de reciclo, instalada na linha de retorno ao tanque de água deionizada. Esta é controlada de acordo com o nível de tanque de água AP. Se o nível ultrapassar o nível máximo configurado pelo operador na IHM, ocorre a abertura desta válvula, fazendo com que a maior parte da água vinda do *loop* vá para o tanque de água deionizada. O nível do tanque de AP diminuirá e quando este atingir metade do nível máximo configurado, o CLP fecha a válvula, e o nível começa a subir novamente até atingir o nível máximo, iniciando um novo ciclo.

A última etapa do processo, armazenamento da água purificada e recirculação, assim como as demais, é controlada por um CLP dedicado (Figura 3.9) que tem a função de controlar o nível do tanque de água pura, acionar a bomba de recirculação e controlar a abertura e fechamento da válvula de reciclo.

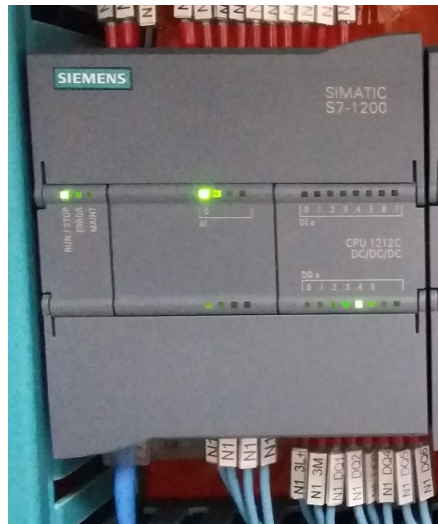


Figura 3.9: CLP Siemens S7-1200 responsável pela terceira etapa do sistema.
Fonte: Próprio Autor (2017).

3.2 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foi visto o passo a passo do funcionamento da ETA, desde a captação da água potável a partir da caixa d'água, passando pelas etapas de pré-tratamento, deionização, osmose reversa e radiação UV até a água ser considerada água purificada. Apresentamos uma visão macro com os principais sensores, instrumentos de medição e controle em cada um dos sistemas da planta. Dessa forma, pode-se atuar precisamente nas modificações necessárias, com intervenções, configurações e realocações pontuais ao longo dos sistemas da ETA.

Capítulo 4

Implementação

Este capítulo aborda os problemas encontrados, com suas respectivas soluções, assim como as modificações efetuadas na Estação de Tratamento de Água (ETA). Conforme já descrito anteriormente, estas mudanças tornaram-se essenciais para adequação às novas Normas e validação junto à ANVISA.

Tendo em vista que a construção desta planta foi feita de forma segmentada e com adaptações, com adição e retirada de diferentes métodos de tratamento ao longo dos anos, esta ETA tornou-se uma miscelânea de equipamentos distintos, aumentando sua complexidade e diminuindo a confiabilidade do sistema.

Diante desse quadro, decidiu-se dividir as implementações em três fases. A primeira constituiu-se em fazer algumas modificações pontuais no sistema deionizador e no sistema de recirculação (*loop*) de água purificada. Estas modificações serão explicadas ao longo deste capítulo. A segunda etapa consistiu em unificar todos os segmentos da planta, com a criação de uma rede industrial em torno de um CLP mestre e concentrador de dados da planta. Já na terceira etapa, tem-se o desenvolvimento de um sistema SCADA para supervisão e monitoramento da planta, a qual exibe os dados em tempo real, armazenando os dados das principais variáveis em local seguro, além de acompanhar a fase de testes do sistema após todas estas modificações, e atuar em quaisquer problemas que por ventura pudessem ocorrer.

4.1 Primeira fase (Mudanças Pontuais)

A primeira modificação se deu no sistema de deionizador. Neste foram feitas modificações na programação no CLP de controle, modelo DVP-14SS2, da Delta, com o objetivo de incluir mais uma etapa no processo, a sanitização.

A sanitização, conforme já visto na Seção 2.1.4, é um procedimento que tem de ser feito periodicamente, mas sua execução estava sendo feita de maneira improvisada, pois não havia tal opção na programação do CLP. Para executá-la, o operador tinha de aguardar até o pedido de regeneração do sistema, ou seja, a saturação das resinas de troca iônica do equipamento. Para isso, o operador substituía os recipientes de reposição das resinas por recipientes contendo sanitizantes. Assim, o sistema executava uma sanitização, mas em sua programação estava fazendo uma regeneração, ao fim deste processo o operador desfazia a troca dos recipientes sanitizantes pelos de ácido e base corretos. Em seguida,

quando o sistema retomava o seu funcionamento normal, certamente sua condutividade não diminuiria até o valor desejado, já que as resinas continuariam saturadas, então o sistema entrava novamente num novo processo de regeneração e em seu final seguiria seu rito de trabalho normal.

No caso de uma contaminação microbiológica do sistema, isso tornava-se um grande problema, já que, neste caso, haveria a necessidade de uma sanitização imediata. Mas, como o operador não dispunha desta opção, ele teria que deixar o sistema produzir água continuamente até as resinas saturarem para só em seguida fazer a sanitização. Todavia, esta água produzida seria totalmente descartada, já que estava contaminada.

Esse procedimento tinha um grande impacto negativo, pois além de desperdiçar água, energia e insumos (resinas), ainda desperdiçava o tempo do operador, que tinha de ficar monitorando o sistema continuamente para efetuar a troca dos tanques de regeneração por sanitizantes, e vice-versa no final do processo.

Para solucionar este problema fez-se a reconfiguração do CLP desta etapa através do aplicativo WPL Soft, versão 2.34, que utiliza a lógica *LADDER* em sua programação. Deste modo, foi efetuado o incremento da opção de sanitização sem o comprometimento das outras etapas e funções já configuradas no CLP, conforme o Apendice A em anexo.

Para o perfeito funcionamento do sistema, também configurou-se sua IHM, esta através de um software próprio fornecido pelo fabricante do equipamento (TP Editor, versão 1.40), assim o operador pode acessar e executar a sanitização através da tela de operações deste dispositivo, quando houver necessidade, conforme ilustra a Figura 4.1.

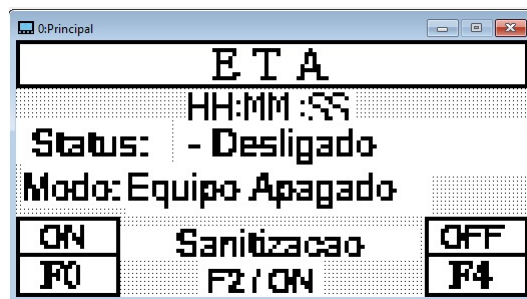


Figura 4.1: Tela Principal da IHM do CLP do deionizador após as modificações.

Fonte: Próprio Autor (2017).

Outra modificação nesta fase do projeto foi efetuada no sistema de armazenamento e recirculação do *loop* pela fábrica. No projeto original deste sistema havia uma válvula elétrica (Figura 4.2), do tipo ON/OFF, está seria responsável em abrir ou não o caminho que dividira o fluxo de água provinda do *loop*, entre os tanques de água purificada e o de água deionizada. Porém, por um erro na programação do CLP de comando desta válvula, esta nunca funcionara corretamente e foi retirada do sistema, com isso, a única forma de controlar esta vazão, era através do ajuste de uma válvula manual instalada no lugar desta elétrica, onde o operador ajustava o fluxo de abertura de acordo com o nível do tanque de água pura.

Esse procedimento, além de tomar muito tempo do operador, uma vez que um controle manual não era preciso, ainda tornou-se um dos grandes entraves para que o sistema

não pudesse produzir continuamente, vinte quatro horas por dia. Visto que, haveria a necessidade da presença do operador constantemente durante a produção, pois do contrário, poderia haver o transbordamento do tanque de água purificada e queima um filtro de ar hidrofóbico localizado em sua extremidade superior.



Figura 4.2: Válvula elétrica *ON/OFF* para utilização no reciclo do *loop*.

Fonte: Próprio Autor (2017).

Como esta parte do sistema é comandada por um CLP Siemens S7-1200, efetuou-se a análise da programação pelo seu software padrão: TIA Portal, versão 12, o qual possui as ferramentas necessárias para a configuração de CLPs da marca Siemens para os modelos da família S7-1200. Com algumas modificações realizadas em sua programação conseguiu-se adicionar a válvula elétrica de reciclo em sua lógica, conectando-a fisicamente em uma das saídas digitais deste CLP.

A lógica de abertura ou fechamento desta válvula do reciclo foi associada ao nível da água no tanque de AP. Assim, quando o nível atingir o *setpoint* máximo estipulado pelo operador no CLP, campo LAH da Figura 4.3, a válvula será aberta, liberando também, parte do fluxo para o tanque de água deionizada, dividindo a água vinda do *loop*, dessa forma, o nível do tanque de água purificada diminui. Quando este nível chegar a metade do *setpoint*, o CLP envia o comando para a válvula fechar, assim, agora toda a água vinda do *loop* entra apenas no tanque de água purificada, até atingir novamente o *setpoint* máximo (LAH), iniciando um novo ciclo de abertura e fechamento. Esta lógica de programação está ilustrada na Figura 4.4.

À vista disso, desvinculou-se a atuação do operador a tentar manter o nível do tanque, este, por sua vez, não precisará perder horas tentando ajustar o nível pela válvula manual. Com isso, o nível do tanque estará automatizado e o operador ficará livre para exercer outras atividades que a planta necessite, assim como, o sistema pode trabalhar continuamente sem o perigo do transbordamento do tanque de água purificada.

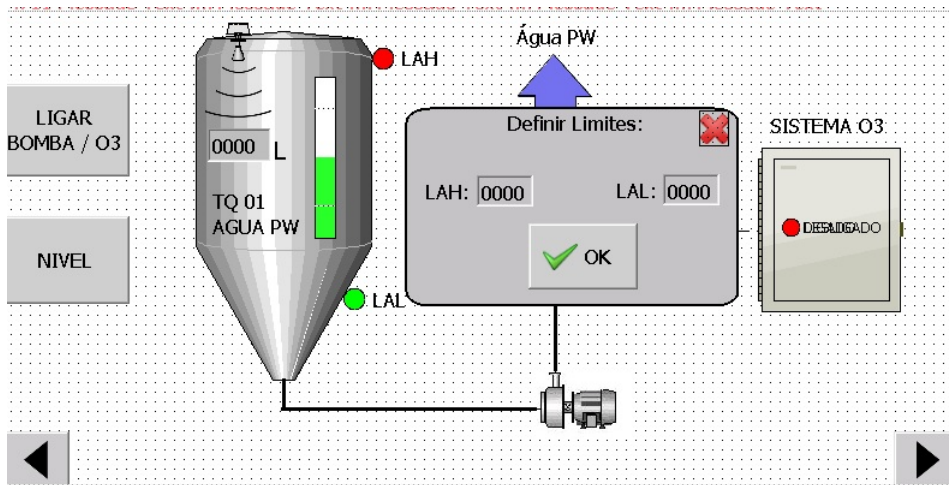


Figura 4.3: Tela da IHM para configurações dos *setpoints* do nível do tanque de AP.

Fonte: Próprio Autor (2017).

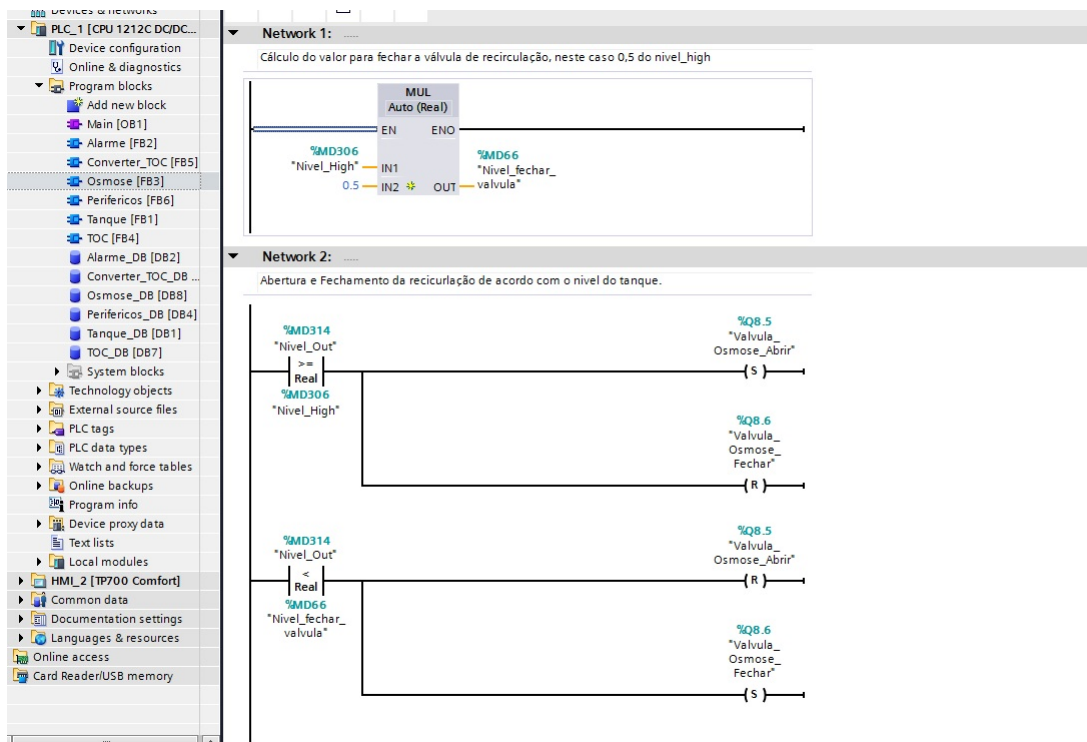


Figura 4.4: Bloco de configuração da válvula de reciclo no CLP Siemens.

Fonte: Próprio Autor (2017).

4.2 Segunda fase (Rede Industrial)

O alvo da segunda fase proposta foi a interligação dos sistemas da planta, proporcionando a unificação dos dados de leituras dos equipamentos periféricos e de outros CLPs da planta em um único CLP, o mestre. Para isso, fez-se a implantação de uma rede de

automação industrial. Anteriormente, a planta era segmentada em sistemas autônomos individuais e sem nenhuma comunicação entre si, conforme ilustram as Figuras 4.5, 4.6 e 4.7, onde tem-se uma visão simplificada dos sistemas deionizador, osmose reversa e do armazenamento com reciclo e *loop*, respectivamente, antes das implementações.



Figura 4.5: Visão simplificada do sistema deionizador.
Fonte: Próprio Autor (2017).



Figura 4.6: Visão simplificada do sistema de osmose reversa.
Fonte: Próprio Autor (2017).

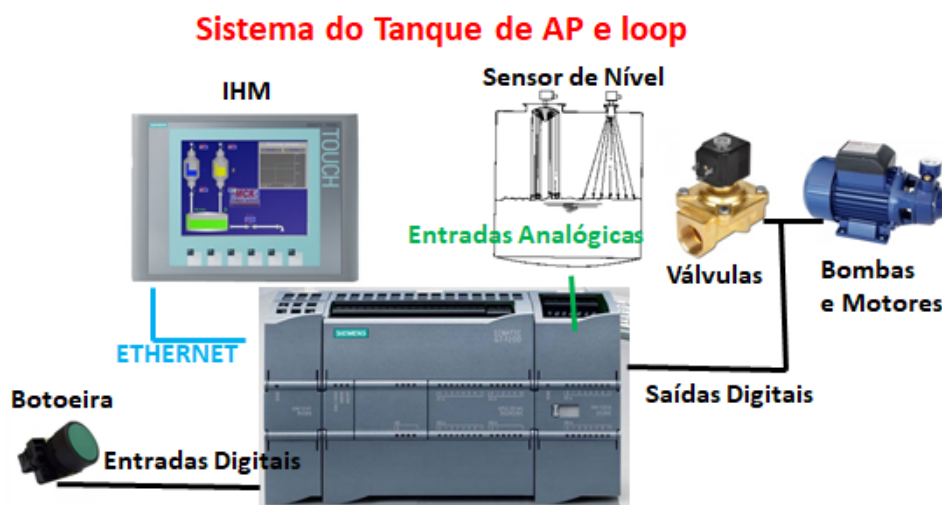


Figura 4.7: Visão simplificada do sistema de reciclo e *loop*.
Fonte: Próprio Autor (2017).

A rede de "chão de fábrica" implantada utiliza dois meios de comunicação, uma rede padrão RS-485 e uma rede instrumental com sinal de corrente, de 4 a 20 mA. A rede RS-485 interliga os equipamentos periféricos e os CLPs em uma única rede. Os equipamentos que não possuem este tipo de comunicação utilizam o sinal de corrente, estes foram interligados diretamente às portas analógicas do CLP concentrador.

A rede RS-485 foi confeccionada utilizando um cabo instrumental blindado com um par de fios. Uma das extremidades do cabo foi conectado ao módulo de comunicação RS-485 do CLP S7 1200 (módulo CM-1241), passando por todos os equipamentos desta nova rede até a outra extremidade, no CLP do sistema deionizador. Devido a maior parte dos equipamentos da plantas terem compatibilidade com o protocolo de comunicação MODBUS/RTU, utilizou-se este protocolo como padrão desta rede.

Conforme já descrito na Seção 2.2.8, o protocolo MODBUS possui uma arquitetura mestre/escravo. Dessa forma, o CLP escolhido para ser o mestre desta rede foi o da última etapa (armazenamento, reciclo e *loop*), o Siemens S7-1200. Este possui uma maior capacidade de processamento, maior robustez, além de possuir dois tipos de interface de comunicação, Ethernet e RS-485, condicionando-o a fazer a interconexão de dados entre os equipamentos escravos da rede RS-485 e o sistema SCADA na próxima fase das modificações. Dessa forma, a Figura 4.8 ilustra a nova topologia da rede após estas implantações.

Após a instalação e conexões da parte física da nova rede, efetuou-se então, a reprogramação do CLP S7-1200 para a adição de suas novas atribuições de mestre da rede. Assim, novamente utilizou-se o software TIA Portal para o desenvolvimento e implementação das modificações neste CLP.

Primeiramente, foram implantados novos comandos em sua lógica de programação, acrescentados novos blocos de funções responsáveis pela comunicação do CLP mestre com os equipamentos escravos. Para cada escravo da rede foi confeccionado um bloco

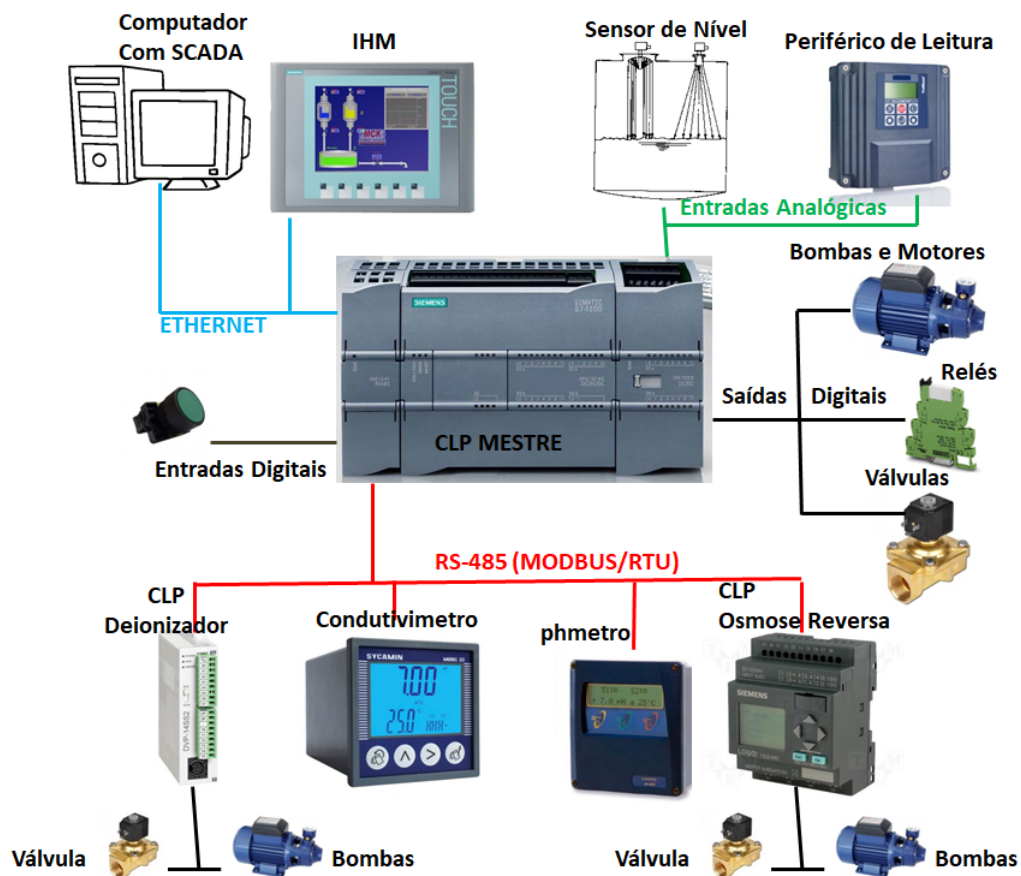


Figura 4.8: Visão simplificada do sistema após a implantação das redes industriais.
Fonte: Próprio Autor (2017).

de funções, com um bloco de configuração MODBUS (Figura 4.9). Para a perfeita comunicação entre o CLP e o equipamento escravo foi necessário a configuração de seis parâmetros neste bloco MODBUS:

- REQ: Requisição de informação, quando '0' não há requisição de leitura/escrita, quando '1' há o pedido de leitura/escrita;
- Campo MB-ADDR: Endereço do escravo, para cada escravo é atribuído um endereço, esse deve ser único, vai de 1 até 255;
- MODE: Modo do tipo de comunicação, se '0', significa leitura, se '1', escrita;
- DATA-ADDR: Este é o endereço de memória interna do escravo onde a informação se encontra, cada equipamento possui um endereço para guardar determinado dado para a comunicação MODBUS, um exemplo encontra-se no Apêndice B é a tabela do CLP Delta (DELTA 2012);
- DATA-LEN: Determina o tamanho desse dado, no caso pode ser 1, para um bit, 8 se for um byte, depende do escravo e do tipo de informação que o mestre requer;
- DATA-PTR: este é o local, geralmente um bloco de dados (DB), onde o CLP armazena os dados providos do escravo.

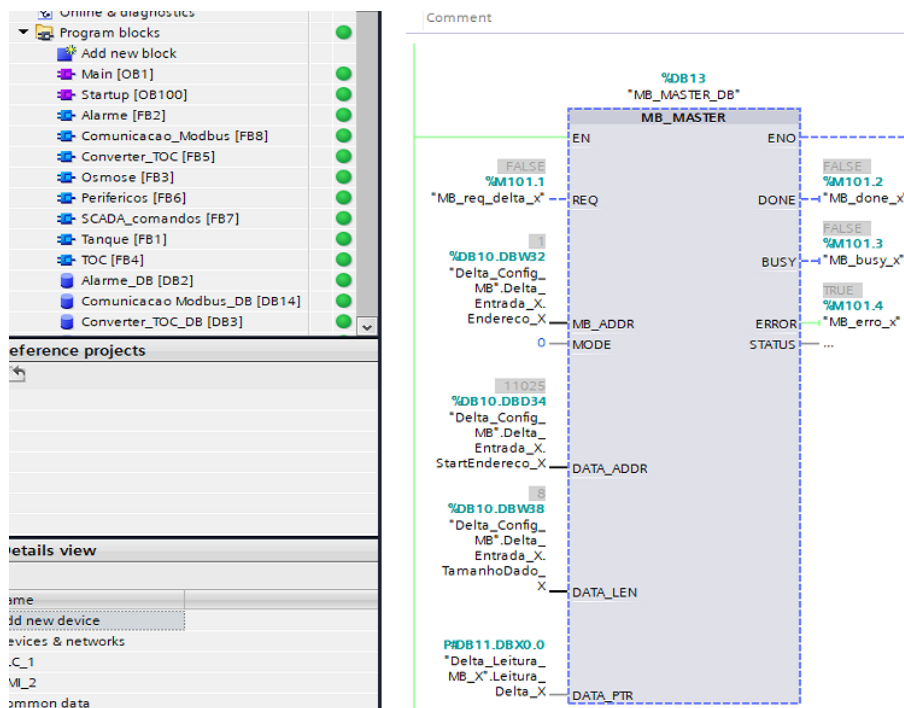


Figura 4.9: Configuração S7-1200 mestre para leitura/escrita em um escravo.
Fonte: Próprio Autor (2017).

Por exemplo, para fazer leitura do estado das entrada 'X' do escravo 1 (um):

- REQ = 1 (habilita requisição);
- MB-ADDR = 1 (Escravo um, CLP Delta DVP-14SS2);
- MODE = 0 (Modo leitura de dados);
- DATA-ADDR = 11025 (Inicia leitura a partir do endereço 11025, porta X0 do CLP);
- DATA-LEN = 8 (Leitura de oito posições de memória a partir do endereço 11025, ou seja, portas de X0 a X7 do CLP), (DELTA 2012);
- DATA-PTR = P#DB11.DBX0.0 (Local onde esses dados irão ser armazenados, neste caso, posição 0.0 da DB 11).

Para que todos os dados necessários estejam disponíveis ao mestre em tempo real, foi necessário criar um ciclo de leituras. Assim, utilizando a linguagem *LADDER*, adicionou-se algumas linhas de comando, em um bloco de funções de sua lógica de programação, com um arranjo, para que o mestre leia os dados dos escravos, um a um, do primeiro até o último conectado, e ao final, reinicie este ciclo. Para o caso de algum escravo não enviar a resposta ao mestre, configurou-se também um tempo para o sequenciamento, ou seja, caso o mestre não obtenha nenhuma resposta do escravo no intervalo de um segundo, ele segue para o próximo da fila, continuando a sequência.

Os dados são lidos e armazenados em bloco de dados, estes mais conhecidos como DB (sigla em inglês para *Data Block*), que servem para armazenar quaisquer dados de variáveis no CLP S7-1200. O uso de bloco de dados além de melhorar a organização de dados no CLP mestre, também facilita sua visualização, que podem ser vistos em uma

única tela, conforme ilustra a Figura 4.10. Além disso, simplificam o armazenamento em quaisquer sistema SCADA, visto que os dados podem ser coletados em um único pedido de leitura.

Delta_Leitura_MB_D					
	Name	Data type	Offset	Start value	Monitor value
1	Static				
2	Leitura_Delta_D	Struct	0.0		
3	D408	Int	0.0	0	1
4	D409	Int	2.0	0	50
5	D410	Int	4.0	0	0
6	D411	Int	6.0	0	30
7	D412	Int	8.0	0	33
8	D413	Int	10.0	0	40
9	D414	Int	12.0	0	69
10	D415	Int	14.0	0	0
11	D416	Int	16.0	0	0

Figura 4.10: Leitura de um DB com dados de equipamento escravo na rede.

Fonte: Próprio Autor (2017).

Após o término destas configurações, pode-se então acompanhar os valores das variáveis a partir do CLP mestre da rede. Executou-se vários testes, a fim de comprovar se os dados condiziam com aos valores ou estados expostos nos equipamentos escravos, todos com êxito. Partiu-se então, para a adição dos equipamentos que não possuíam interface para RS-485, que iriam utilizar as entradas analógicas do CLP mestre.

Verificando a quantidade de equipamento, viu-se a necessidade de quatro entradas analógicas, para a adição de quatro equipamentos que possuíam apenas a opção de comunicação via sinal de corrente elétrica. Foram eles, o analisador de cloro, o condutivímetro do sistema deionizador, o pH-metro do tanque de água deionizada e o condutivímetro do sistema de osmose reversa.

O CLP mestre dispunha até então de nove entradas analógicas, contando uma do próprio CLP mais oito portas de dois módulos analógicos (CM 1231) acoplados no CLP. Seis destas portas estavam disponíveis, assim adicionou-se estes equipamentos periféricos ao CLP, onde cada equipamento ficou conectado a uma porta analógica.

No CLP, as entradas analógicas conectadas aos instrumentos recebem um sinal de corrente, que varia entre 4 e 20 mA. Porém, este valor é interpretado pela lógica de programação do CLP como uma palavra de 16 bits, do tipo "Word", que varia entre 0 e 27648, onde 0 representa o nível mais baixo, 4 mA, enquanto que 27648 é o nível mais alto, 20 mA. Todavia, este número tem de ser convertido em alguma unidade para que o usuário possa entendê-lo. Então, para que o CLP reproduza corretamente ao usuário o valor real da variável lida em suas entrada analógica, utiliza-se a técnica de normalizar e escalonar este valor, conforme mostra a Figura 4.11.

Da mesma maneira que testou-se os periféricos do barramento RS-485, também foram testados os valores lidos e os representados pelo CLP, neste caso, todos com êxito.

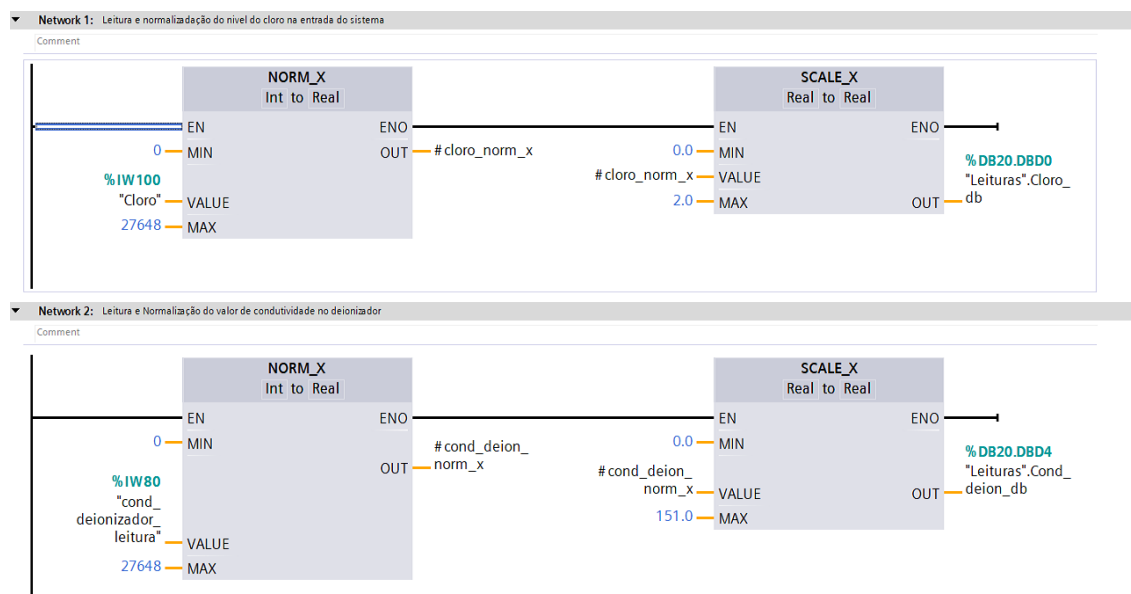


Figura 4.11: Blocos de normalização e escalonamento no CLP Siemens S7-1200.
Fonte: Próprio Autor (2017).

4.3 Terceira fase (Supervisório)

Logo, com a planta da ETA já disponível para trabalhar continuamente e os dados concentrados em um CLP mestre, pôde-se então partir para a terceira fase de modificações e adequações, esta baseada no desenvolvimento e implantação de um sistema supervisório SCADA.

Este sistema foi instalado num computador, numa ante-sala fora da área de produção da ETA. A comunicação entre o SCADA e o CLP mestre se deu através de uma rede cabeada Ethernet, em par trançado. No SCADA o operador ou supervisor têm a visão da planta e suas principais leituras, além de enviar comandos para controlar alguns processos da planta.

O sistema SCADA foi desenvolvido através do software WinCC Runtime v.12, a qual é atrelado ao pacote de softwares do aplicativo TIA Portal, mas que deve possuir uma licença própria. Para a construção deste sistema seguiu-se o passo a passo descrito na Seção 2.3.1.

Basicamente, o sistema foi constituído em quatro telas distintas: uma tela principal com a visão geral da planta; uma do sistema deionizador; uma do sistema de osmose reversa; e uma tela gráfica com os valores de leituras de variáveis. O sistema foi batizado de Sistema de Supervisão da Estação de Tratamento de Água, ou SISETA.

O sistema possui quatro níveis de usuários: administrador, supervisor, operador e monitor, onde:

- administrador: tem todos os privilégios e acesso ao sistema, este usuário foi apenas utilizado no desenvolvimento do sistema;
- supervisor: tem todos os privilégios do sistema, monitorar, controlar e acrescentar

usuários;

- operador: tem acesso para monitorar e controlar o sistema;
- monitor: tem acesso apenas para monitorar (visualizar) o sistema, porém não tem acesso a nenhum tipo de comando.

Com isso, restringem-se determinados comandos e/ou telas para um determinado usuário, aumentando a segurança do sistema. Outra ferramenta para o aumento da segurança é a trilha de auditoria, ou do inglês Audit Trail, que tem como finalidade gerar um arquivo "log" com todos os acessos ao sistema. Esta, pode ser gerada como arquivo eletrônico ou em formato para impressão, num arquivo com extensão "PDF". Pode ser configurada para ser periódica ou conforme a solicitação do usuário, desde que este tenha permissão para tal. Todas estas ferramentas estão disponíveis no Siemens Simatic TIA Portal v12 SP2 (SIMATIC 2015b).

Neste projeto, adicionou-se um *Script VB* (onde VB é a sigla em inglês para *Virtual Basic*) que foi elaborado para gerar diariamente uma planilha do tipo Microsoft Excel (Apêndice C). Esta planilha contém os dados das principais variáveis do processo em determinados intervalos de tempo, tornando-se um histórico de variáveis. Para isso, foi criado um novo bloco de funções que periodicamente (neste caso, a cada cinco minutos) lê os dados das principais variáveis de processo e os grava de forma sequencial em uma determinada localização de memória em um bloco DB, criado para receber e armazenar os dados das variáveis (Figura 4.12).

	Name	Data type	Offset	Start value
1	Static			
2	Variaveis	Struct	0.0	
3	Horario	DTL	0.0	DTL#1970-01-01-014
4	Hora	Array [0..287] of Int	12.0	
5	Minuto	Array [0..287] of Int	588.0	
6	Segundo	Array [0..287] of Int	1164.0	
7	Cloro	Array [0..287] of Real	1740.0	
8	temperatura	Array [0..287] of Real	2892.0	
9	PH_tanque_deion	Array [0..287] of Real	4044.0	
10	Cond_osmose	Array [0..287] of Real	5196.0	
11	Nivel_tq_pw	Array [0..287] of Real	6348.0	
12	TOC	Array [0..287] of Real	7500.0	
13	Condut_TOC	Array [0..287] of Real	8652.0	
14	Cond_deionizador	Array [0..287] of Real	9804.0	

Figura 4.12: Bloco de dados responsável por armazenar os valores das variáveis.

Fonte: Próprio Autor (2017).

Ao final do dia (mais precisamente às 23:58 hs), o CLP executa este *script*, que lê os valores das variáveis configuradas em cada posição deste bloco DB. Em seguida, esses dados são organizados em formato de planilha eletrônica, gerando um arquivo Microsoft Excel, que logo em seguida é armazenado no PC do sistema SCADA. Por fim, o *script* é

encerrado, o CLP zera as posições do bloco de dados e um novo ciclo é iniciado para o dia seguinte.

Assim, após todas as configurações e telas finalizadas pode-se gerar o arquivo executável do SISETA. Tal procedimento é feito através do aplicativo WinCC Runtime Loader, pertencente ao pacote de softwares TIA Portal, sincroniza-se o IP do PC Station com o IP do TIA Portal e faz-se a transferência do arquivo. Após o término desta transferência um arquivo executável está pronto (Siseta.FWC), este será o supervisorio (SISETA). Ao fim deste procedimento não será mais necessário executar o software TIA Portal para acessar o SCADA, apenas executar o arquivo gerado pelo WinCC Runtime Loader (SIMATIC 2013).

No SISETA é possível ver em tempo real a leitura das variáveis sem a necessidade de ir até a planta, melhorando e tornando mais rápida a tomada de decisões. Facilitando o trabalho do operador que não precisa passar muito tempo na área de produção coletando dados e/ou verificando parâmetros, diminuindo também o impacto auditivo o qual este é submetido ao permanecer por muito tempo na área da planta.

4.4 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foram explicados as fases do projeto. A escolha pela divisão por fases facilitou o desenvolvimento do trabalho no ambiente prático. Tendo em vista que cada fase dependia do andamento da fase anterior, pôde-se fazer as modificações passo a passo, estipulando metas e prazos. Portanto, conseguiu-se cumprir todas as metas e prazos dentro do esperado em todas as fases.

Capítulo 5

Experimentos e Resultados

Este capítulo apresenta a fase experimental e os resultados das implementações impostas ao longo deste trabalho, com a descrição dos principais comandos, campos de leituras e alarmes nas telas do SISETA. Além disso, os efeitos destas mudanças no ambiente da estação, assim como os relatórios criados.

5.1 SISETA

Conforme já descrito na Seção 4.3, para acessar o sistema supervisor, basta executar o arquivo SISETA, localizado na área de trabalho do PC do sistema supervisor. A primeira tela a surgir será a tela principal, denominada "Visão Geral", conforme ilustra a Figura 5.1, onde, como seu próprio nome diz, tem-se a visão geral de toda a parte monitorada da ETA.

Logo, seguindo-se o fluxo de tratamento da água na planta, que inicia-se na entrada da água vinda da caixa d'água até o retorno do *loop*, tem-se a exibição dos valores das seguintes variáveis:

- Leitura do cloro do analisador de cloro residual;
- Leitura da condutividade na saída do sistema deionizador;
- Leitura de pH no tanque de água deionizada;
- Leitura da condutividade da água na saída do sistema de osmose reversa;
- Leitura do nível de água no tanque de água purificada;
- Leitura do TOC no retorno do *loop*;
- Leitura da condutividade da água no retorno do *loop*.

Além de estarem dispostos no decorrer do percurso da água na ETA, estes valores lidos, com exceção a leitura de nível do tanque de água purificada, também estão dispostos no quadro lateral desta tela, denominado "Leitura dos Periféricos". Assim, o usuário do sistema tem dois locais para visualização destes valores, ao longo da planta, ou compilados em um único quadro.

As leituras de nível do tanque estão dispostas em outro quadro, "Tanque de PW", onde o "PW", é a sigla em inglês para *Purified Water*, ou água purificada em inglês. Neste quadro, além da leitura do nível deste tanque, tem-se ainda os *setpoints* para os níveis

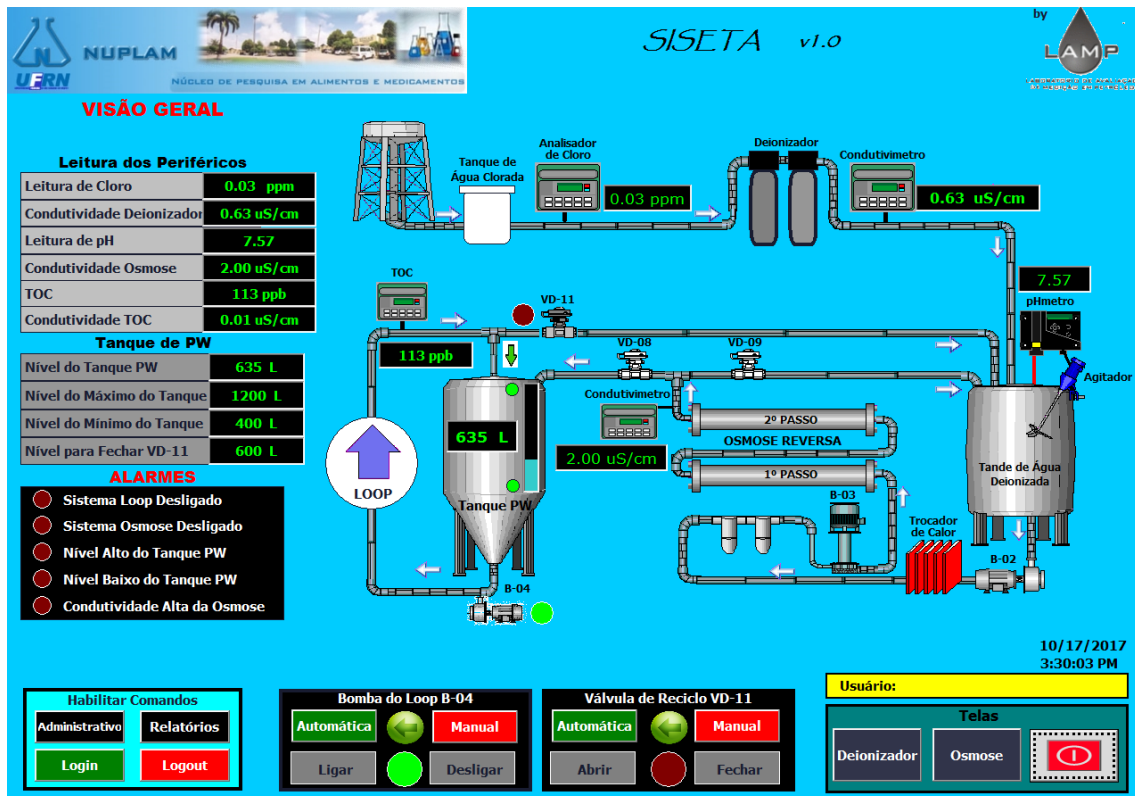


Figura 5.1: Tela principal do SISETA.

Fonte: Próprio Autor (2017).

mínimo e máximo do tanque e o valor do nível em que a válvula do reciclo será fechada, normalmente, metade ($1/2$) do *setpoint* máximo.

Outro quadro de visualização no lado direito da tela é o quadro de alarmes, onde encontram-se os principais alarmes da ETA:

- Sistema *loop* Desligado: esse alarma irá acender quando o sistema não estiver em funcionamento, ou quando a bomba do *loop* (bomba B-04 da tela) estiver desligada;
- Sistema Osmose Desligado: se o sistema de osmose reversa estiver desligado este irá acender;
- Nível alto do tanque de PW: esse alarme acenderá enquanto o nível do tanque de água purificada estiver acima do *setpoint* configurado;
- Nível Baixo do tanque PW: esse alarme acenderá se o nível do tanque atingir um valor menor do que o *setpoint* configurado;
- Condutividade Alta na Osmose: se a condutividade estiver acima do *setpoint* configurado no condutivimetro da osmose reversa, esse alarme irá ser ativado.

Além da demonstração dos valores lidos ao longo do percurso de purificação da água, tem-se também a visualização de estados de alguns equipamentos, como a bomba do *loop* (B-04) e a válvula de reciclo do *loop* (VD-11). No caso da bomba, se está desligada (led em vermelho), se ligada (led em verde), enquanto que a válvula ficará em vermelho, caso esteja fechada e verde se estiver aberta.

Na parte de comando, temos o quadro "Habilitar Comandos", onde tem-se quatro opções:

- **Administrativo:** ao clicarmos nesse botão, abre-se a quarta tela do SISETA, a tela "administrativa", nesta tela tem-se um gráfico mostrando os valores lidos das variáveis e um quadro com os usuários;
- **Relatórios:** esta opção serve para gerar os relatórios diários em qualquer horário;
- **Login:** abre-se uma *popup* para por o nome do usuário e sua respectiva senha;
- **Logout:** faz-se o logout do usuário logado no sistema.

Para acessar as duas primeiras opções acima é necessário estar logado e ter permissão, caso não esteja logado, o SISETA abrirá um *popup* para efetuar o *login*. Para segurança do sistema, o SISETA faz o logout automático dos usuários do sistema após dois minutos de inatividade, assim, mesmo que o usuário esqueça de fazer o *logout* o sistema o fará.

Na tela principal existem dois comandos para a planta, um para a bomba do *loop* (B-04) e o outro para a válvula de reciclo (VD-11). Estes comandos são similares e servem para comutar o estados destes dois equipamentos, de manual para automático, ligar e desligar. Para efetuar estes dois comandos também é necessário estar logado e ter permissão para tal.

No canto inferior direito da tela tem-se um campo com a data e hora atual do sistema, além de um quadro mostrando qual o usuário está logado no sistema, se este estiver em branco, significa que não há usuário logado. O outro quadro denominado "Telas" dá a opção de abrir as outras telas de monitoramento do SISETA, a tela do "Deionizador" e "Osmose", além de um botão para fechar totalmente o SISETA, porém, para este último caso, também é necessário ter permissão para tal.

A segunda tela de monitoramento do sistema é denominada "Deionizador", ela esboça uma visão mais detalhada do sistema deionizador, conforme ilustra a Figura 5.2.

Assim como a tela principal esta tela tem a opção de visualizar os valores das variáveis em dois locais distintos, ao longo do sequenciamento do planta e num quadro lateral. Na parte da planta pode-se ver também os estados das três válvulas (VD-03, VD-04 e VD-05) deste sistema, assim como também o estado da bomba (B-01), do pressostato de entrada do sistema e se o sistema está em regeneração ou não. Todos estes estados também estão representados no quadro lateral denominado de "Sinais".

Além deste quadro tem-se o quadro de alarmes onde visualiza-se se este sistema está sem água na entrada ou se o botão de emergência está acionado.

O quadro de "Entradas", localizado na parte superior esquerda mostra:

- **Status:** em qual estado de trabalho o sistema está operando, este possui sete estados: desligado, produzindo, *stand-by*, enxágue, descarte, regeneração e sanitização.
- **Modo:** mostra se o sistema está ligado ou desligado.
- **Tempo de Stand-by:** mostra o tempo em que o sistema irá ficar em *stand-by*, este tempo varia entre 30 e 180 minutos;
- **Tempo de Enxágue:** mostra o tempo em que o sistema fica em processo de enxágue, varia de 1 à 10 minutos;

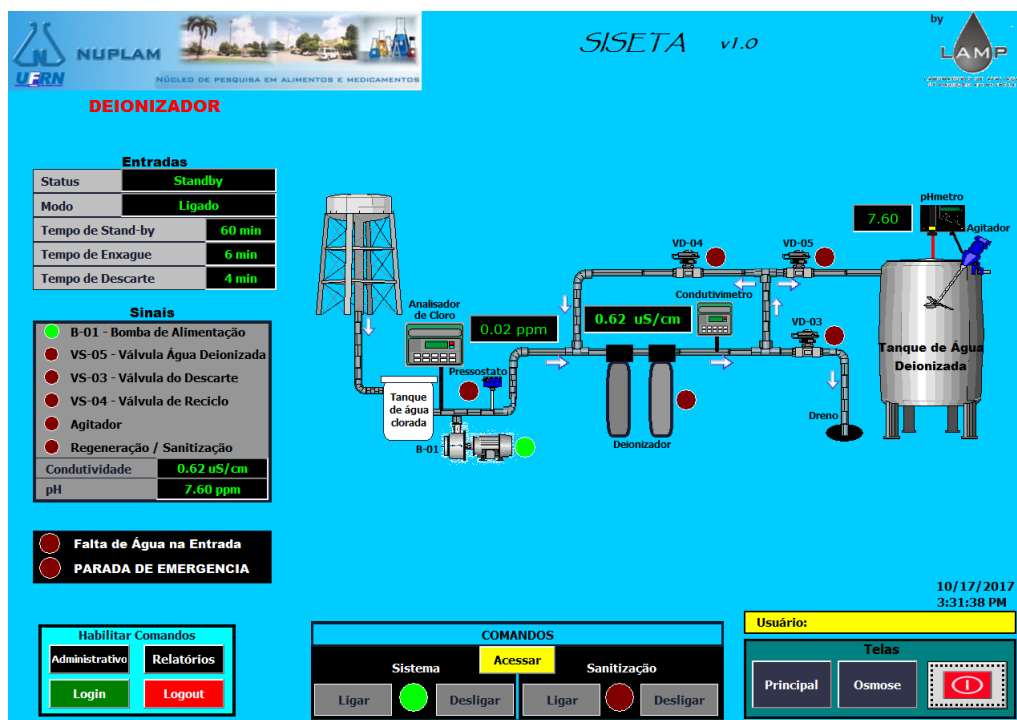


Figura 5.2: Tela do sistema deionizador do SISETA.

Fonte: Próprio Autor (2017).

- Tempo de Descarte: mostra o tempo de descarte de água do sistema, pode variar de 1 à 10 minutos.

Quanto aos comandos desta tela, tem-se apenas os comandos para ligar e desligar o sistema e efetuar a sanitização, já que todas as outras operações são automáticas e dependem do processo químico e da leitura da condutividade, com exceção da sanitização, que não é um procedimento automático, mas sim uma intervenção do operador na planta. Os outros quadros: "Habilitar comandos", "Usuários" e "Telas", funcionam da mesma maneira como foi descrito na "Tela principal".

Por fim, temos a terceira tela de supervisão, "Osmose Reversa", que conforme o nome já diz, demonstra os sinais do sistema de osmose reversa (Figura 5.3).

Igualmente as anteriores, esta tela exibe os valores de variáveis lidos tanto na sequência do processamento, quanto num quadro lateral. No quadro "Sinais" pode-se ver também o estado da bomba de alta pressão (B-03), das válvulas de saída do sistema (VD-08 e VD-09) e do agitador do tanque de água deionizada.

No quadro de alarmes mostra se o sistema de osmose reversa for desligado, se algum dos pressostatos foi acionado e se a condutividade de saída está elevada, acima do *setpoint*.

No quadro de "Comandos" existem os botões para ligar e desligar este sistema, assim como o agitador do tanque de água deionizada, este último apesar de funcionar de forma automática, também pode ser ligado e desligado manualmente. Quanto aos outros quadros desta tela, estes são idênticos as telas anteriores.

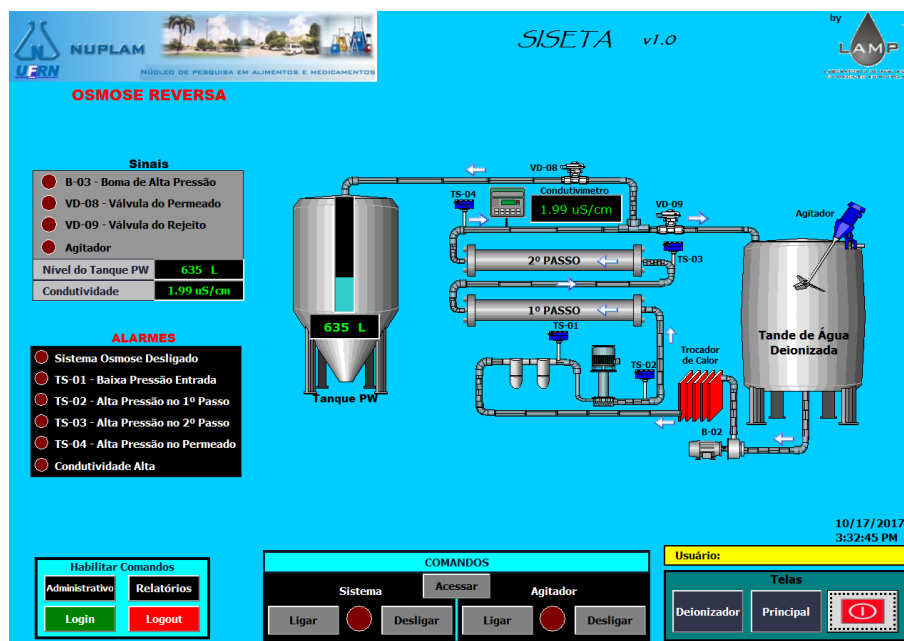


Figura 5.3: Tela do sistema de osmose reversa do SISETA.
Fonte: Próprio Autor (2017).

5.2 Relatórios

Após sua implantação, iniciou-se a fase de testes do SISETA, as quais incluem três fases:

- Qualificação de Instalação (QI): visa verificar se o programa cumpre satisfatoriamente com os requisitos previamente aprovados na especificação técnica;
- Qualificação de Operação (QO), verifica-se as condições de operação do sistema e se este cumpre satisfatoriamente com os requisitos pré-definidos para sua operação;
- Qualificação de Desempenho (QD): tem como objetivo referenciar, verificar e documentar que o sistema, após ser instalado no ambiente de produção e estar adequadamente parametrizado, cumpre satisfatoriamente com os requisitos pré-definidos pelo supervisor da planta.

Na primeira fase, QI, o SISETA foi instalado num PC designado, onde após algumas semanas de testes, sua instalação foi aprovada por parte do supervisor da planta. Na segunda fase, QO, verificou-se que o sistema cumpriu com a exposição e visualização de dados de todos os equipamentos disponíveis para o monitoramento da planta.

Na terceira fase, QD, fez-se os ajustes necessários para a correta aplicação do sistema, assim como seu manuseio. Com isso, algumas arestas foram aparadas, como:

- A padronização dos valores das variáveis lidas para exibição tanto na tela como nos relatórios, com duas casas decimais após a vírgula, com exceção aos valores de níveis do tanque e do TOC, as quais são representados por números inteiros;

- Um melhor ajuste no processo de normalização dos valores lidos nas entradas analógicas, as quais tinham algumas pequenas discrepâncias nos valores exibidos pelos equipamentos e o exibido pelo SISETA;
- A criação dos campos com os nomes das variáveis no relatório diário de dados do processo, a qual estava anteriormente salvando apenas os valores, sem exibir a quem eles pertenciam.

Com relação aos relatórios, o sistema gera e armazena em disco, no PC do SISETA. A Figura 5.4 ilustra parte de um relatório gerado. Este relatório tem como objetivo comprovar o desempenho do sistema ao longo dos dias e, conseqüentemente, nos meses em que o mesmo está sob o período de validação, imposto pela ANVISA (BRASIL 2010).

RELATORIO DE DADOS DO PROCESSO								
Data	Hora	Cloro	Condutividade	pH	Cond. Osmose	Nivel Tq PW	TOC	Condut. TOC
16/10/2017	00:04	0,00	6,68	7,49	0,52	807,44	112,94	0,90
16/10/2017	00:09	0,00	6,62	7,46	0,53	876,82	112,77	0,90
16/10/2017	00:14	0,00	6,56	7,48	0,53	936,72	112,81	0,91
16/10/2017	00:19	0,00	6,61	7,46	0,54	1000,35	112,75	0,90
16/10/2017	00:24	0,00	6,60	7,53	0,54	1065,38	112,83	0,90
16/10/2017	00:29	0,00	6,64	7,58	0,54	1125,20	112,88	0,90
16/10/2017	00:34	0,00	6,61	7,59	0,54	1187,27	112,80	0,91
16/10/2017	00:39	0,00	6,54	7,57	0,54	1185,02	112,75	0,90
16/10/2017	00:44	0,00	6,59	7,61	0,53	1153,40	112,86	0,90
16/10/2017	00:49	0,00	6,60	7,53	0,53	1127,84	112,84	0,90
16/10/2017	00:54	0,00	6,61	7,59	0,53	1100,10	112,73	0,91
16/10/2017	00:59	0,00	6,61	7,53	0,53	1074,85	112,73	0,90
16/10/2017	01:04	0,00	6,64	7,55	0,53	1051,00	112,77	0,92
16/10/2017	01:09	0,00	6,62	7,53	0,52	1022,88	112,77	0,90
16/10/2017	01:14	0,00	6,56	7,53	0,53	1000,89	112,79	0,91
16/10/2017	01:19	0,00	6,59	7,52	0,53	973,08	112,91	0,91
16/10/2017	01:24	0,00	6,59	7,46	0,53	949,85	112,82	0,91
16/10/2017	01:29	0,00	6,61	7,45	0,53	924,37	112,90	0,90
16/10/2017	01:34	0,00	6,58	7,46	0,53	897,49	112,83	0,90
16/10/2017	01:39	0,00	6,74	7,45	0,52	872,47	112,77	0,91
16/10/2017	01:44	0,00	6,56	7,45	0,52	845,43	112,89	0,91
16/10/2017	01:49	0,00	6,61	7,49	0,52	825,08	112,81	0,92
16/10/2017	01:54	0,00	6,65	7,46	0,52	798,74	112,83	0,91
16/10/2017	01:59	0,00	6,64	7,49	0,52	778,93	112,63	0,90
16/10/2017	02:04	0,00	6,62	7,47	0,52	754,07	112,73	0,91
16/10/2017	02:09	0,00	6,60	7,46	0,52	732,70	112,77	0,90
16/10/2017	02:14	0,00	6,65	7,48	0,52	705,67	112,79	0,91
16/10/2017	02:19	0,00	6,67	7,49	0,52	681,74	112,77	0,90
16/10/2017	02:24	0,00	6,63	7,53	0,52	656,18	112,81	0,90

Figura 5.4: Planilha gerada com os dados das principais variáveis durante o dia.

Fonte: Próprio Autor (2017).

Assim, com esses dados catalogados pode-se fazer, caso necessário, gráficos de desempenho e verificar se existiu alguma anormalidade no sistema ao longo do dia, da semana, do mês ou do ano. Pode-se verificar se há algum horário específico com alguma anomalia, ou até mesmo o comportamento após algum procedimento do operador no sistema, como uma sanitização, por exemplo.

5.2.1 Estudo de anormalidade

A Figura 5.5 ilustra bem o esboço gráfico do nível do tanque PW em seu funcionamento normal, onde nota-se bem os ciclos de subida e descida do nível de água no tanque PW, pode-se ver bem que o *setpoint* máximos está configurado para 1200 litros, e o nível para o fechamento da válvula de reciclo está em 600 litros, metade do *setpoint* máximo conforme descrito anteriormente.

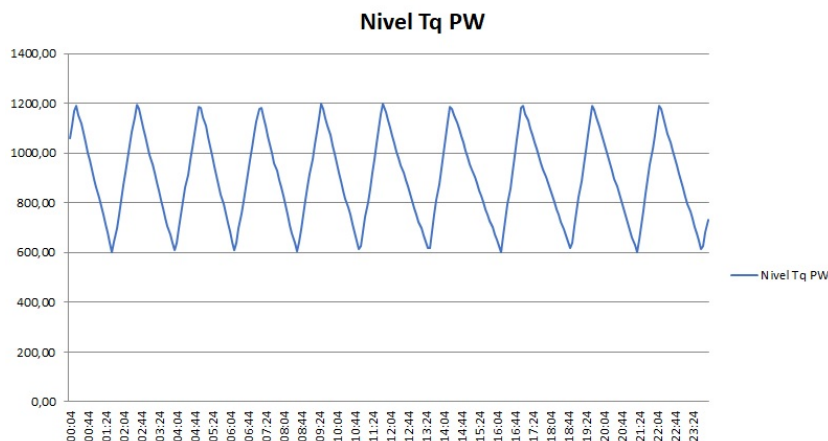


Figura 5.5: Gráfico de nível do tanque de água purificada.

Fonte: Próprio Autor (2017).

As Figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9, representam o esboço gráfico do comportamento do nível do tanque durante quatro dias seguidos de operação da planta, denominados de dias 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

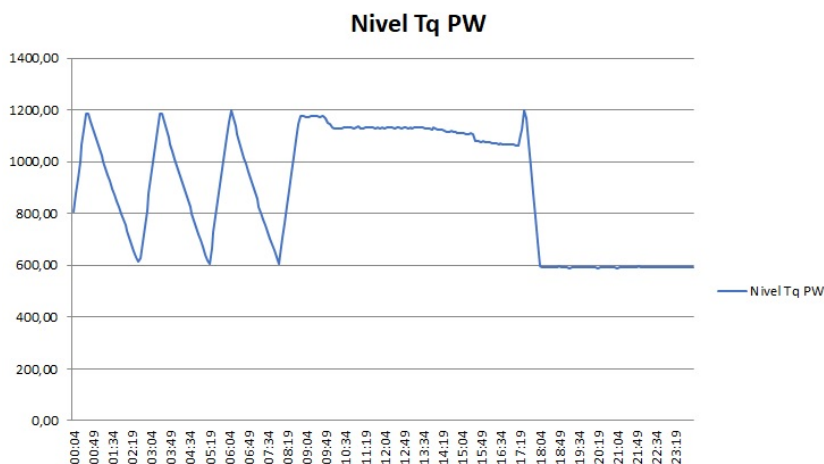


Figura 5.6: Gráfico de nível do tanque de água purificada, dia 1.

Fonte: Próprio Autor (2017).

Dessa forma, pode-se fazer uma análise do comportamento desta variável durante certo período e se aconteceu algo fora da normalidade. Verificando-se o esboço gráfico

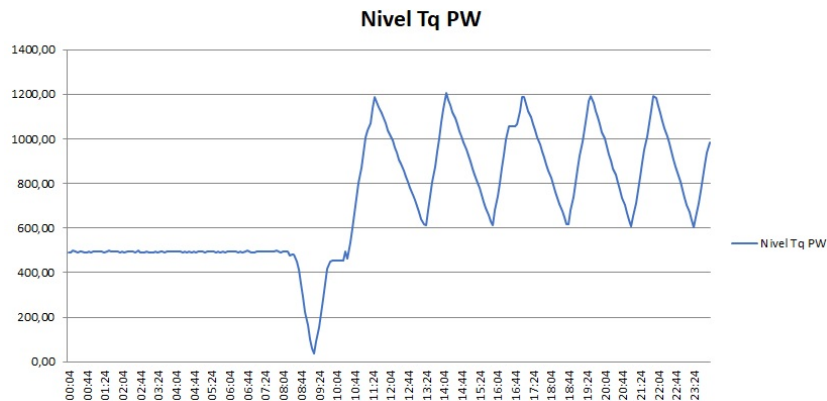


Figura 5.7: Gráfico de nível do tanque de água purificada, dia 2.

Fonte: Próprio Autor (2017).

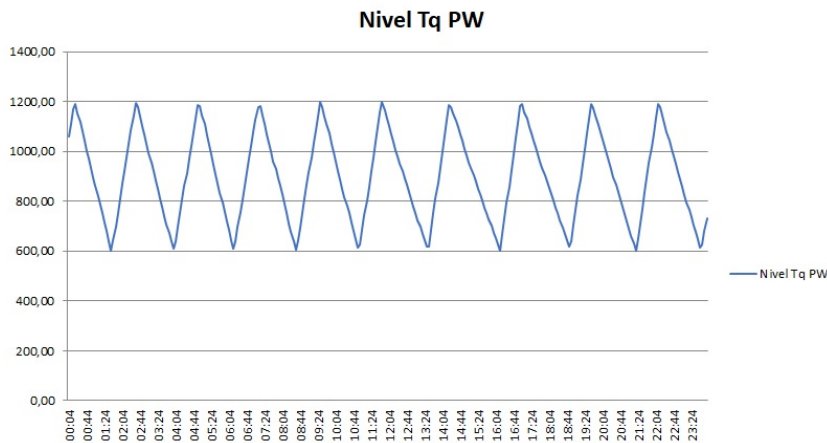


Figura 5.8: Gráfico de nível do tanque de água purificada, dia 3.

Fonte: Próprio Autor (2017).

do "dia 1" (Figura 5.6), nota-se que, por volta de 9 horas que o ciclo parou, e que nível do tanque pouco mudou até as 17 horas, em seguida, próximo às 18 horas. Ele aparenta voltar a normalidade mas logo estaciona novamente, dessa vez em torno de 600 litros.

Seguindo a análise no dia seguinte, "dia 2", a Figura 5.7 ilustra que o nível continuou estacionado até um determinado horário e em seguida o tanque foi praticamente esvaziado. Depois disso, o tanque voltou a receber água novamente e retomou o seu ciclo de funcionamento normal. Este ciclo normal, pode ser comprovado através dos gráficos dos dois dias seguintes, "dias 3 e 4", conforme mostram as Figuras 5.8 e 5.9.

Diante disso, pode-se afirmar que entre o "dia 1" e o "dia 2" aconteceu alguma anormalidade, ao indagar o operador sobre tal, o mesmo informou que, realmente houve uma parada na produção no "dia 1" para sanitização do sistema deionizador e osmose reversa e no "dia 2" para a sanitização do tanque de água purificada. Explicando-se então o que ocasionou este comportamento fora do normal do sistema.

Da mesma forma, pôde-se também verificar o comportamento das outras variáveis

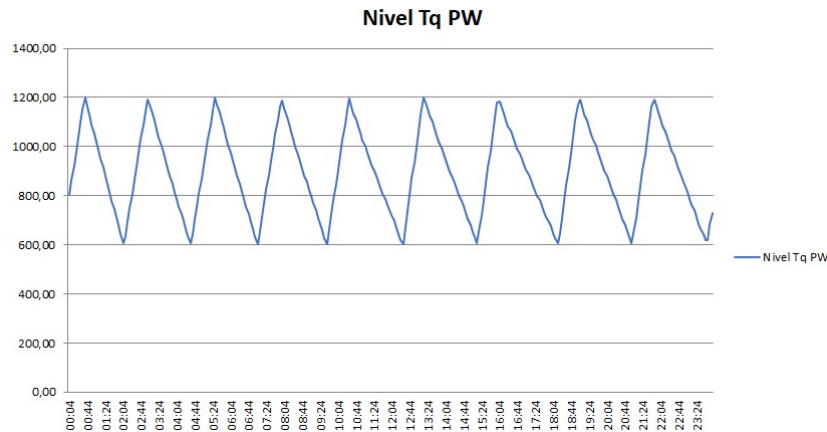


Figura 5.9: Gráfico de nível do tanque de água purificada, dia 4.
Fonte: Próprio Autor (2017).

do sistema. As Figuras 5.10, 5.11 e 5.12, representam o esboço gráfico das principais variáveis do sistema: Cloro, Condutividade (condutividade no deionizador), pH, Condutividade na Osmose Reversa e Condutividade no TOC, respectivamente, nos mesmos dias 1, 2 e 3, demonstrados nos gráficos do tanque de água purificada.

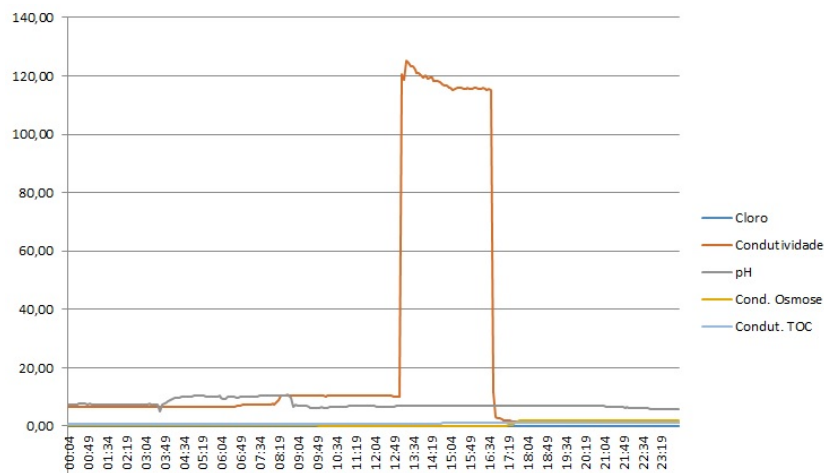


Figura 5.10: Gráfico das variáveis do sistema, dia 1.
Fonte: Próprio Autor (2017).

Percebe-se que no "dia 1", houve uma subida abrupta da condutividade no deionizador, com cinco horas de duração, após este tempo ele retomou seu percurso linear. Esse fato conferiu com as informações passadas pelo operador que neste dia efetuou a sanitização do sistema deionizador. Ainda neste dia a condutividade do sistema de osmose reversa também atingiu o pico máximo de $2 \mu S/cm^2$, comprovando a informação do operador da sanitização do sistema de osmose também. No "dia 3", nota-se uma certa continuidade nos valores das variáveis, já que nesses dias o sistema trabalhou em seu funcionamento normal.

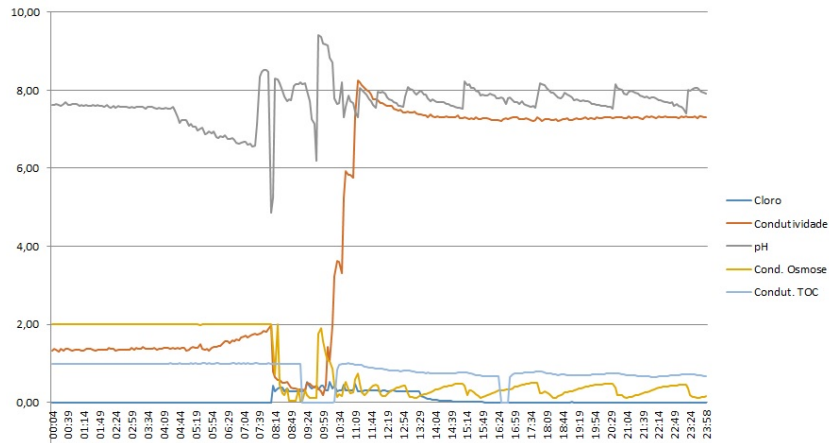


Figura 5.11: Gráfico das variáveis do sistema, dia 2.

Fonte: Próprio Autor (2017).

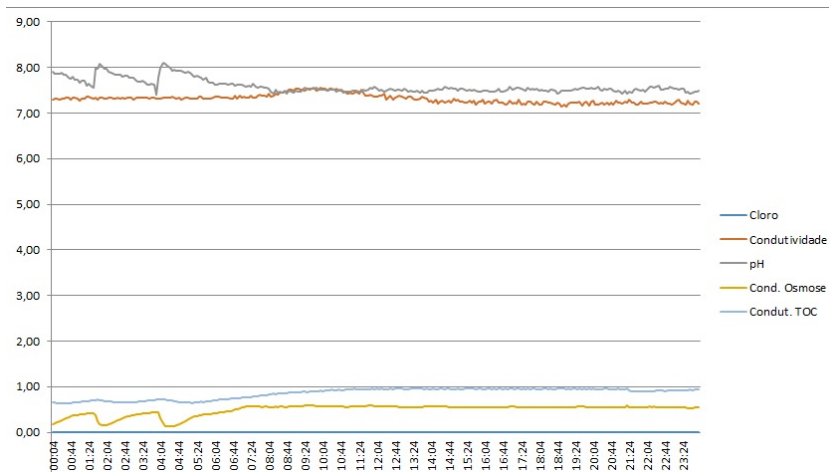


Figura 5.12: Gráfico das variáveis do sistema, dia 3.

Fonte: Próprio Autor (2017).

5.3 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo viu-se os resultados obtidos no trabalho, a disposição, comandos e controles nas telas do sistema. Portanto, o sistema pode ser monitorado e controlado remotamente, diminuindo o tempo da tomada de decisões, e conseqüentemente, aumentando a eficiência do processo. O sistema tem proteção para evitar que usuários não autorizados façam mudanças indevidas no sistema, assim como um histórico de controle de *log* dos usuários. Além disso, viu-se também que os relatórios estão sendo gerados e armazenados e servem de banco de dados para consultas e eventuais pesquisas de desempenho do sistema.

Capítulo 6

Conclusão

Este trabalho explica o projeto de melhorias e adequações efetuadas para o funcionamento de uma estação de tratamento de água para uso na fabricação de medicamentos. As mudanças pontuais e as melhorias efetuadas possibilitaram o sistema trabalhar num processo de fabricação contínuo, algo improvável antes deste trabalho. Permitiu também, a inclusão de processos exigidos em procedimentos padrões, mas que não estavam habilitados ou sequer existam nas programações dos controladores. Com apenas essas implementações conseguiu-se, diminuir o número de horas-extras dos operadores, economizar em insumos e diminuir o desperdício da matéria-prima (água) pois, constantemente sua produção estava sendo desperdiçada devido a contaminações no sistema.

A implementação de uma rede industrial padrão RS-485, entre os instrumentos, controladores e analisadores, assim como a interconexão entre equipamentos que utilizavam apenas sinais instrumentais de corrente e o CLP mestre, proporcionou a unificação das etapas da planta em torno de um único CLP concentrador. Isso possibilitou a coleta e concentração dos dados de equipamentos anteriormente isolados no processo, facilitando sua visualização, controle e armazenamento. Evitou também, a presença constante dos operadores na área da planta, diminuindo o impacto auditivo sobre os mesmos.

Apesar de esbarrar na questão orçamentária, os objetivos do trabalho foram atingidos, já que conseguiu-se unificar os sistemas, esse agrupamento de dados e comandos em um CLP mestre, favoreceu o desenvolvimento de um sistema SCADA. A utilização do sistema SCADA (SISETA), possibilita a supervisão e a operação da planta de forma remota. O SISETA seguiu os requisitos pedidos pelo supervisor da estação, seguindo as normas impostas pela ANVISA, que descreve as exigências para sistemas computadorizados nas ETAs, tornando-se apto para passar por tal validação. Estas implantações tornaram-se essenciais para modernizar e habilitar esta parte da fábrica às normas.

O SISETA possui controle de acesso a usuários, controle de auditoria, proporciona o armazenamento de dados das variáveis que servirão de histórico de produção, é uma ferramenta para que o supervisor da planta possa verificar seu funcionamento ao longo do tempo, são importantes para futuros questionamentos sobre o processo produtivo da ETA. Assim como também, evitar quaisquer questionamentos sobre manipulação de valores, uma vez que agora estes valores estão sendo coletados diretamente nos equipamentos e salvos em arquivos seguros. Ademais, com pequenas modificações este sistema pode ser adaptado a outras plantas industriais.

Os controladores e o sensores tornaram-se peças fundamentais para o controle e mo-

nitramento das variáveis, esses dados colhidos também serão analisadas pelo controle de qualidade da fábrica, através de amostras, o que comprovará a eficácia do atual sistema. Logo, espera-se que com a ETA produzindo e o sistema em pleno funcionamento, a fábrica consiga ser aprovada no período de validação e possa retomar sua produção.

6.1 Trabalhos futuros

Embora, o SISETA esteja em funcionamento, ainda existem melhorias que podem ser efetuadas com o passar do tempo, quando a fábrica voltar a produzir e principalmente, melhorar suas condições financeiras. Dentre as melhorias podemos citar:

- Substituir os equipamentos que utilizam sinais de corrente, por equipamentos que utilizem a comunicação digital, RS-485 (Modbus), assim o sistema poderá ficar mais homogêneo e menos susceptível a interferências, como ruídos, ou até mesmo por equipamentos que utilizem redes sem fio;
- Substituir o CLP Logo, do sistema de osmose reversa, por um CLP mais moderno e que utilize níveis de sinais DC em suas entradas e saídas, isso facilitaria a comunicação e até a permuta de instrumentos entre os CLPs;
- Aquisição de um sensor de nível para o tanque de água deionizada, isso tornaria o processo mais seguro, evitando assim, o transbordamento deste tanque;
- Aperfeiçoar o SISETA com a implantação de novos comandos a medida em que sensores e controladores sejam substituídos;
- Desenvolver um sistema de intertravamento da planta, para eventuais emergências;
- Adquirir mais analisadores e controladores que permitam a redundância de equipamentos nos principais pontos da ETA;
- Incluir um sistema de análise de dados com inteligência artificial.

No âmbito de pesquisas mais aprofundadas, quando a fábrica atingir o ponto de produção satisfatório, pode-se tentar esboçar um modelo matemático para calcular os valores de produção e consumo de água. Dessa forma, pode-se criar e aperfeiçoar vários métodos de processo produtivo de acordo com a demanda e o período do ano, com isso diminui-se o desperdício de água e de insumos.

Referências Bibliográficas

- AL-DALKY, Rami, Omar Abduljaleel, Khaled Salah, Hadi Otrok & Mahmoud Al-Qutayri (2014), A modbus traffic generator for evaluating the security of scada systems, *em* 'Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP), 2014 9th International Symposium on', IEEE, pp. 809–814.
- ALVES, Roberta Barbosa Teodoro (2013), Qualidade e diversidade microbiana da água obtida pelo sistema de purificação instalado no prédio dos laboratórios de qualidade e segurança de alimentos., Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa MG.
- BRANDÃO, Ivaneide Alexandre Pereira (2015), 'Validação do sistema de água purificada na indústria farmacêutica'.
- BRASIL (2013), 'Guia de qualidade para sistemas de purificação de Água para uso farmacêutico', *Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA* .
- BRASIL, Resolução ANVISA RDC nº. 17 (2010), 'Rdc nº. 17 de 16 de abril de 2010, dispõe sobre as boas práticas de fabricação de medicamentos.', *Diário Oficial da União, 16 abr. 2010* .
- CARVALHO, Patrícia Lunardelli Negreiros, Samir Antonio Rodrigues Abjaude, Taciane Maira Magalhães Hipolito, Antônio dos Reis Lopes, Luiz Carlos do Nascimento & Sandra Maria Oliveira Morais Veiga (2013), 'Água purificada para laboratório: qualidade microbiológica, formação de biofilme e uso do ozônio como sanificante alternativo.', *Revista da Universidade Vale do Rio Verde* **10**(2), 260–269.
- CAS, Franciele da & Silva, Macáliston Gonçalves da & Luz Daniel da & Jesus Pacheco Diego Augusto de (2015), 'Implicações da redução de setup na produtividade da indústria farmacêutica', *Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias* **5**(1), 1764–1779.
- CESARIO, Bruna Carvalho (2013), 'A qualidade do sistema de purificação de Água para uso farmacêutico', *Congresso Nacional de Excelencia e Gestão* .
- COELHO, MS (2010), 'Apostila de sistemas supervisórios', *Curso superior de tecnologia em automação e controle de processos industriais contínuos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo campus Cubatão* .
- COMER, Douglas (2017), *Interligação de Redes com TCP/IP–Vol. 1: Princípios, Protocolos e Arquitetura*, Vol. 6, Elsevier Brasil.

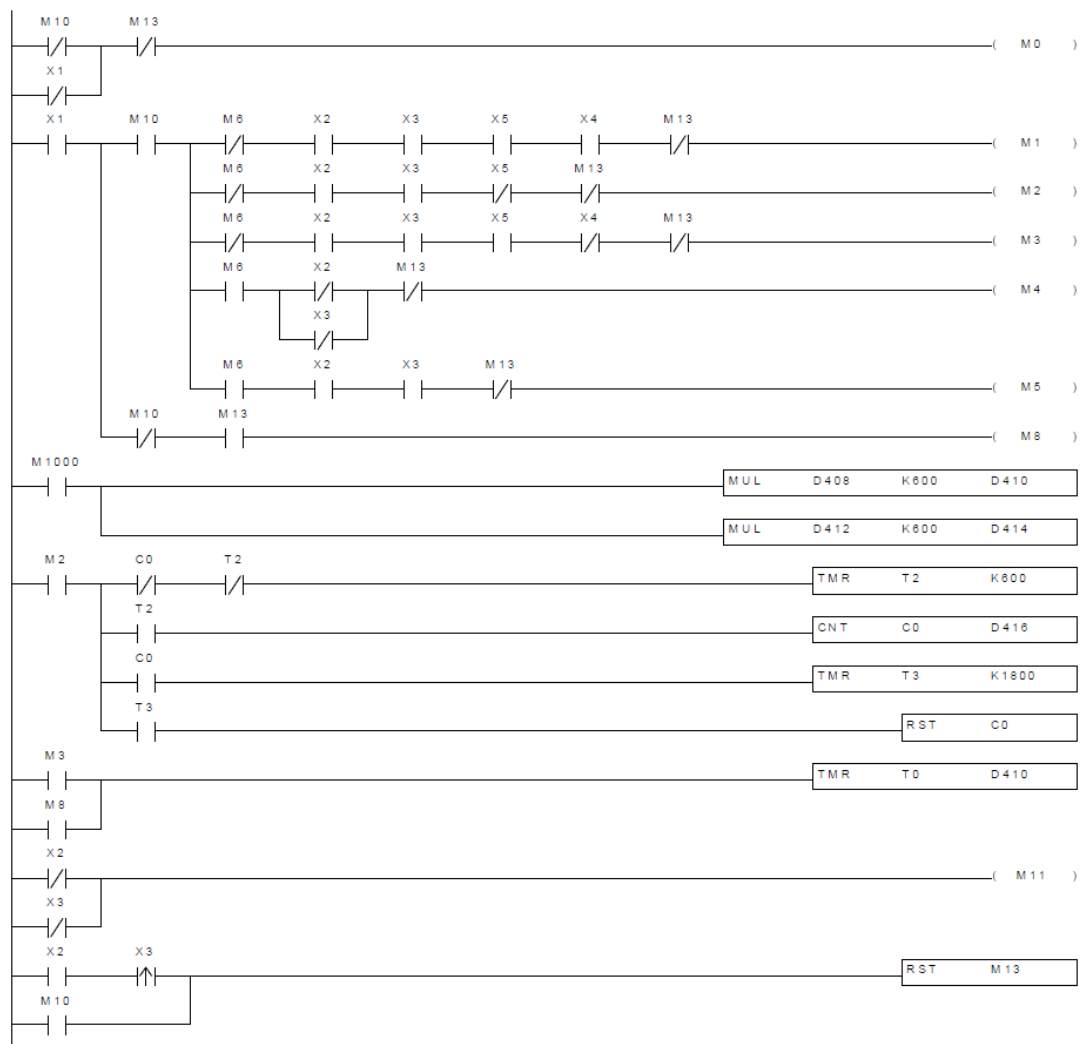
- CONSTAIN, Nicole Beatriz Portilla (2011), Integração de sistemas scada com a implementação de controle supervísório em clp para sistemas de manufatura, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- DELTA (2012), 'Dvp-plc application manual (programming) revision v', <https://www.delta.com.tw/ia/plcdelta-130220001053-phpapp02.PDF>. Delta Electronics Inc.. Acesso em 20 de Janeiro de 2017.
- FARMACOPÉIA, Comissão Permanente de Revisão (2010), 'Farmacopéia brasileira, rdc nº. 49 de 23 de novembro de 2010', *Farmacopéia Brasileira* **5^a. Ed.**
- FERNANDES, Cristiane, Marcos Mariano, Raphael Naves, Thiago Freitas, Mariana Pinto, Sueza Souza & Antonio Júnior (2015), 'Controle de qualidade físico-químico de comprimidos de dipirona sódica adquiridos em drogarias de são luis de montes belos (go) 1', *Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos* **8(2)**.
- FREITAS, Eduardo Alves de Oliveira (2013), Avaliação da qualidade da água de uso farmacêutica sobre a consideração da carga microbiológica, Dissertação de mestrado, Fundação Oswaldo Cruz.
- KRUTZ, Ronald L (2006), *Securing SCADA systems*, John Wiley & Sons.
- LIMA, Sandra Cristina Alves de & Santos, Carlos Alberto Batista (2017), 'Educação e saúde pública: Determinação de cloro e escherichia coli, na água utilizada para consumo no ifpe, campus afogados da ingazeira', *Revista Ouricuri* **6(2)**, 029–041.
- MARTELLI, Cláudia (2016), 'Uso sustentável dos recursos hídrico e energético do instituto de química: uma economia anual de 1 milhão de litros de água potável e uma experiência disseminada', *Sínteses: Revista Eletrônica do SIMTEC* **1(3)**, 96–97.
- SANTOS, João Alberto dos (2015), 'Estudo sobre a questão da mudança e da resistência à mudança nas organizações', *Revista de Ciências Gerenciais* **9(11)**, 62–71.
- SCOTTI, William Andrey Faustino (2015), Arquitetura de sistema de controle supervísório integrando clp, scada e roteamento de tarefas, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SILVA, Flavio Batista da & Pinto, Fabio Jose Dos Santos (2015), 'Interferência eletromagnética na comunicação em redes industriais', *COGNITIO/PÓS-GRADUAÇÃO UNILINS* (1).
- SIMATIC (2013), 'Wincc professional v12.0 sp1, system manual', https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932474/wincc_professional_v12_sp1_en-US.pdf. Siemens AG. Acesso em 29 de Maio de 2017.
- SIMATIC (2014), 'Step 7 basic v13 sp, system manual', https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf. Siemens AG. Acesso em 12 de Abril de 2017.

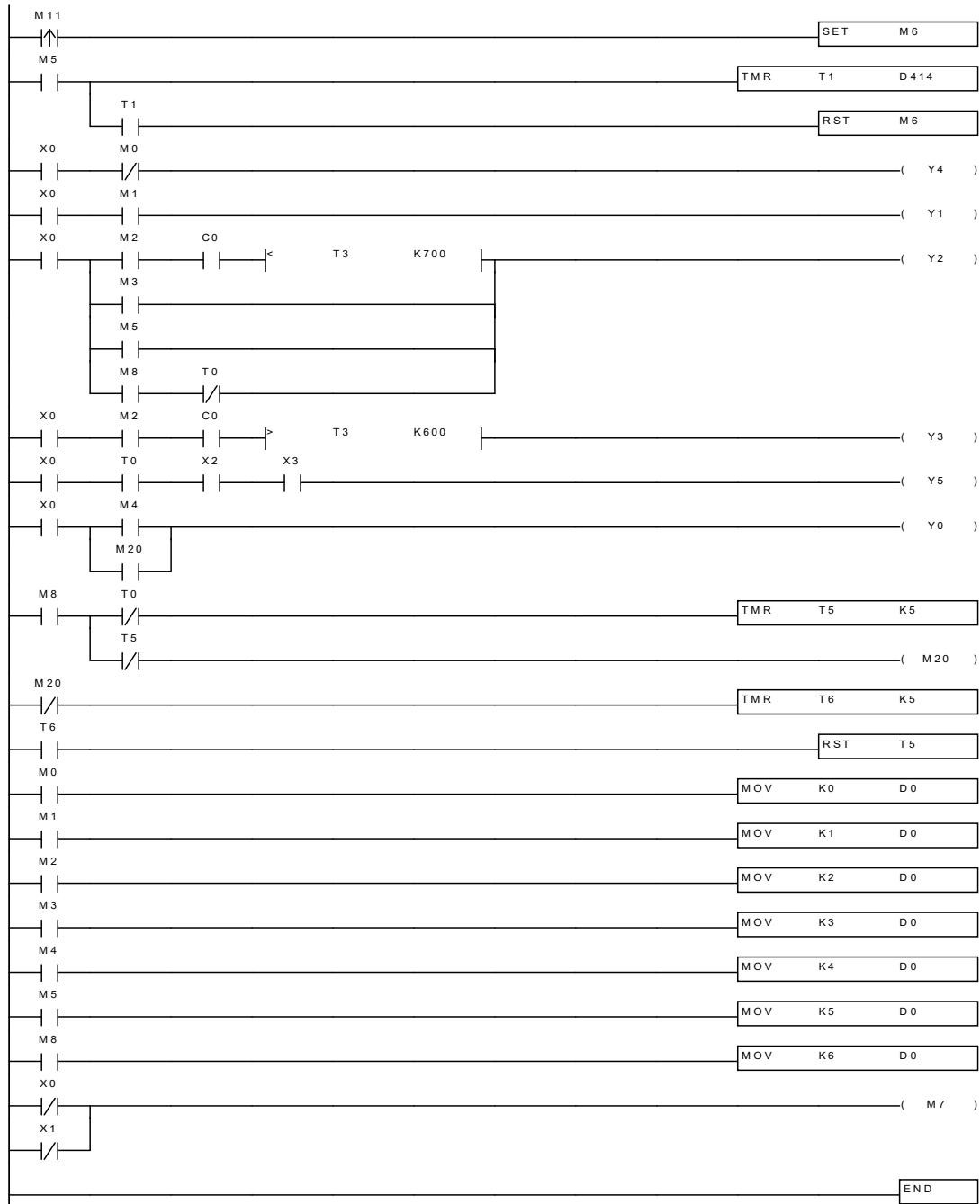
- SIMATIC (2015a), 'S7 s7-1200 programmable controller', http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/automatizacni_systemy/mikrosystemy/simatic_s71200/manualy/gsg_step7-basic-v10-5_2014-12_en.pdf. Siemens AG. Acesso em 14 de Março de 2017.
- SIMATIC (2015b), 'Step 7 basic v12 sp, easy book', https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/3693246774/att_106119/v1/s71200_easy_book_en-US.pdf. Siemens AG. Acesso em 22 de Abril de 2017.
- UOL (2016), 'Manual da química', <http://manualdaquimica.uol.com.br/quimica-geral/destilacao.htm>. Universo On Line. Acesso em 15 de Outubro de 2016.
- ZOU, Yi-min, Fu-dong MENG & Lu ZHANG (2017), 'A master-slave type thermostat system based on modbus-tcp communication', *Instrumentation Technology* **2**, 003.
- ZÚQUETE, André (2013), *Segurança em redes informáticas*, FCA-Editora de Informática.

Apêndice A

LADDER - CLP Delta

Programação LADDER do CLP Delta DVP-14SS2.





Apêndice B

Tabela Modbus para CLP Delta DVP

Communication Addresses of Devices in DVP Series PLC

Device	Range	Type	DVP Com. Address (hex)	Modbus Com. Address (dec)	Applicable to			
					ES/EX/SS	SA/SX/SC	EH2/EH3/SV1/SV2	
S	000 ~ 255	bit	0000 ~ 00FF	000001 ~ 000256	0 ~ 127			
S	246 ~ 511	bit	0100 ~ 01FF	000247 ~ 000512	-	0 ~ 1,023	0 ~ 1,023	
S	512 ~ 767	bit	0200 ~ 02FF	000513 ~ 000768				
S	768 ~ 1,023	bit	0300 ~ 03FF	000769 ~ 001024				
X	000 ~ 377 (Octal)	bit	0400 ~ 04FF	101025 ~ 101280				0 ~ 177
Y	000 ~ 377 (Octal)	bit	0500 ~ 05FF	001281 ~ 001536	0 ~ 177	0 ~ 177	0 ~ 377	
T	000 ~ 255	bit	0600 ~ 06FF	001537 ~ 001792	0 ~ 127	0 ~ 255	0 ~ 255	
		word	0600 ~ 06FF	401537 ~ 401792				
M	000 ~ 255	bit	0800 ~ 08FF	002049 ~ 002304	0 ~ 1,279	0 ~ 4,095	0 ~ 4,095	
M	256 ~ 511	bit	0900 ~ 09FF	002305 ~ 002560				
M	512 ~ 767	bit	0A00 ~ 0AFF	002561 ~ 002816				
M	768 ~ 1,023	bit	0B00 ~ 0BFF	002817 ~ 003072				
M	1,024 ~ 1,279	bit	0C00 ~ 0CFF	003073 ~ 003328				
M	1,280 ~ 1,535	bit	0D00 ~ 0DFF	003329 ~ 003584				
M	1,536 ~ 1,791	bit	B000 ~ B0FF	045057 ~ 045312				
M	1,792 ~ 2,047	bit	B100 ~ B1FF	045313 ~ 045568				
M	2,048 ~ 2,303	bit	B200 ~ B2FF	045569 ~ 045824				
M	2,304 ~ 2,559	bit	B300 ~ B3FF	045825 ~ 046080				
M	2,560 ~ 2,815	bit	B400 ~ B4FF	046081 ~ 046336				
M	2,816 ~ 3,071	bit	B500 ~ B5FF	046337 ~ 046592				
M	3,072 ~ 3,327	bit	B600 ~ B6FF	046593 ~ 046848				
M	3,328 ~ 3,583	bit	B700 ~ B7FF	046849 ~ 047104				
M	3,584 ~ 3,839	bit	B800 ~ B8FF	047105 ~ 047360				
M	3,840 ~ 4,095	bit	B900 ~ B9FF	047361 ~ 047616				
C	0 ~ 199	16-bit	bit	0E00 ~ 0EC7	003585 ~ 003784	0 ~ 127	0 ~ 199	0 ~ 199
			word	0E00 ~ 0EC7	403585 ~ 403784			
	200 ~ 255	32-bit	bit	0EC8 ~ 0EFF	003785 ~ 003840	232 ~ 255	200 ~ 255	200 ~ 255
			word	0700 ~ 076F	403785 ~ 403840			
D	000 ~ 256	word	1000 ~ 10FF	404097~404352	0 ~ 1,311	0 ~ 4,999	0 ~ 9,999	
D	256 ~ 511	word	1100 ~ 11FF	404353 ~ 404608				

Apêndice C

Script VB para Gerar Planilhas Diárias

```
Sub Gerar_planilha()

'===== Declaração de Variáveis
Dim Arquivo, Planilha, NomeArquivo, Salvar, SalvarComo, Destino
Dim Hora, Data
Dim index, contador

NomeArquivo = Right("0" & DatePart("d", Now), 2) & Right("0" & DatePart("m", Now), 2) &
Right(DatePart("yyyy", Now), 2) & "_" & Right("0" & DatePart("h", Now), 2) & Right("0" &
DatePart("n", Now), 2) & Right(DatePart("s", Now), 2)
Salvar = "D:\wincc\modelo.xlsx"
SalvarComo = "D:\wincc\relatorios\Relatorio_" & NomeArquivo & ".xlsx"
Set Arquivo = CreateObject("Excel.Application")
Arquivo.Workbooks.Open Salvar
Set Planilha = Arquivo.ActiveWorkbook.Worksheets(1)

'===== Formatar fonte das celucas em Negrito
Planilha.Range("A1:l285").Font.Bold = True

'===== Aplicar tamanhos distintos de fonte para grupo de celulas
Planilha.Range("A1:l1").Font.Size = 28
Planilha.Range("A2:l3").Font.Size = 11
Planilha.Range("A4:l283").Font.Size = 11

'===== Alinhamento de texto nas celulas (2 = esquerda, 3 = centro, 4 = direita)
Planilha.Range("A1:l3").HorizontalAlignment = 3
Planilha.Range("A4:A283").HorizontalAlignment = 2
Planilha.Range("B4:B283").HorizontalAlignment = 3
Planilha.Range("C4:l283").HorizontalAlignment = 3
Planilha.Range("A284:l285").HorizontalAlignment = 3
```

```

'===== Ajustar Largura das Colunas
    Planilha.Cells(1,1).ColumnWidth = 12
    Planilha.Cells(2,2).ColumnWidth = 8
    Planilha.Range("C1:I1").ColumnWidth = 15
'
    Planilha.Cells(3,10).ColumnWidth = 16

'===== Mesclar Celulas
    Planilha.Range("A1:I1").MergeCells = True
    Planilha.Range("A2:I2").MergeCells = True
    Planilha.Range("A284:I284").MergeCells = True
    Planilha.Range("C3:I3").MergeCells = False

'===== Formatar cor das celulas
    Planilha.Range("A1:I1").Interior.Color = RGB(160,180,218)
    Planilha.Range("A3:I3").Interior.Color = RGB(150,225,18)
    Planilha.Range("A285:I285").Interior.Color = RGB(255,150,100)

'===== Formatar estilo das linhas das Celulas
    Planilha.Range("A3:I283").Borders.LineStyle = -4119
    Planilha.Range("A1:I1").Borders.LineStyle = -4119
    Planilha.Range("A285:I285").Borders.LineStyle = -4119

'===== Lê Data e Hora
    Data = Date
    Hora = Time

    Planilha.Cells(1,1).Value="RELATÓRIO DE DADOS DO PROCESSO"
    Planilha.Cells(3,1).Value="RELATÓRIO DE DADOS DO PROCESSO"
    Planilha.Cells(3,2).Value="RELATÓRIO DE DADOS DO PROCESSO"
    Planilha.Cells(1,1).Value="RELATÓRIO DE DADOS DO PROCESSO"
    Planilha.Cells(1,1).Value="RELATÓRIO DE DADOS DO PROCESSO"
    Planilha.Cells(1,1).Value="RELATÓRIO DE DADOS DO PROCESSO"
    Planilha.Cells(1,1).Value="RELATÓRIO DE DADOS DO PROCESSO"
    Planilha.Cells(1,1).Value="RELATÓRIO DE DADOS DO PROCESSO"
    Planilha.Cells(1,1).Value="RELATÓRIO DE DADOS DO PROCESSO"
'
    Planilha.Cells(1,1).Value="RELATÓRIO DE DADOS DO PROCESSO"

'===== Lê Data e Hora

    Planilha.Cells(1,1).Value="RELATORIO DE DADOS DO PROCESSO"
    Planilha.Cells(3,1).Value="Data"
    Planilha.Range("A4:A283").Value= Data
    Planilha.Cells(3,2).Value= "Hora"
    Planilha.Cells(3,3).Value="Cloro"
    Planilha.Cells(3,4).Value="Condutividade"

```

```
Planilha.Cells(3,5).Value="pH"  
Planilha.Cells(3,6).Value="Cond. Osmose"  
Planilha.Cells(3,7).Value="Nivel Tq PW"  
Planilha.Cells(3,8).Value="TOC"  
Planilha.Cells(3,9).Value="Condut. TOC"  
Planilha.Cells(285,1).Value="Media"  
contador = 0  
For index = 4 To 283
```

```
'===== Carregar dados do horario  
    Planilha.Cells(index,2).Value=  
SmartTags("Relatorio_gravacao_Variaveis.Hora")(contador) &":"&  
SmartTags("Relatorio_gravacao_Variaveis.Minuto")(contador)  
  
'===== Carregar dados de cloro  
    Planilha.Cells(index,3).Value=  
SmartTags("Relatorio_gravacao_Variaveis.Cloro")(contador)  
  
'===== Carregar dados de condutividade deionizador  
    Planilha.Cells(index,4).Value=  
SmartTags("Relatorio_gravacao_Variaveis.Temperat_TOC")(contador)  
  
'===== Carregar dados de pH  
    Planilha.Cells(index,5).Value=  
SmartTags("Relatorio_gravacao_Variaveis.PH_tanque_deion")(contador)  
  
'===== Carregar dados de condutividade osmose  
    Planilha.Cells(index,6).Value=  
SmartTags("Relatorio_gravacao_Variaveis.Cond_osmose")(contador)  
  
'===== Carregar dados de Nivel do Tanque PW  
    Planilha.Cells(index,7).Value=  
SmartTags("Relatorio_gravacao_Variaveis.Nivel_tq_pw")(contador)  
  
'===== Carregar dados de TOC  
    Planilha.Cells(index,8).Value=  
SmartTags("Relatorio_gravacao_Variaveis.TOC")(contador)  
  
'===== Carregar dados de condutividade do TOC  
    Planilha.Cells(index,9).Value=  
SmartTags("Relatorio_gravacao_Variaveis.Condut_TOC")(contador)  
  
'===== Carregar dados de temperatura do TOC  
'    Planilha.Cells(index,4).Value=  
SmartTags("Relatorio_gravacao_Variaveis.Temperat_TOC")(contador)
```

```
contador = contador+1
If contador > 280 Then
    contador = 0
End If
Next

Arquivo.ActiveWorkbook.Save
Arquivo.ActiveWorkbook.SaveAs SalvarComo
Arquivo.Workbooks.Close
Arquivo.Application.Quit
```

```
End Sub
```