

DAS Departamento de Automação e Sistemas
CTC Centro Tecnológico
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

Controlador Fuzzy implementado em ScadaBR para o controle de pressão numa adutora de água em Florianópolis

Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina

como requisito para a aprovação da disciplina:

DAS 5511: Projeto de Fim de Curso

Fábio Nuno Oliveira Assunção

Florianópolis, 27 de Junho de 2016

Controlador Fuzzy implementado em ScadaBR para o controle de pressão numa adutora de água em Florianópolis

Fábio Nuno Oliveira Assunção

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina
DAS 5511: Projeto de Fim de Curso
e aprovada na sua forma final pelo
Curso de Engenharia de Controle e Automação

Prof. Carlos Barros Montez

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a minha família, meus pais pelo suporte financeiro e juntamente a minha irmãs pelo apoio emocional.

A Casan pela oportunidade, a Ezequiel, Edgar, Marcelo, Diego, Alcino pela ajuda e suporte dado para a realização desse projeto.

Aos meus orientadores e professores, que estiveram comigo durante a graduação e me ajudaram a chegar a esse ponto.

Resumo

A Companhia Catarinense de Águas e Saneamento - CASAN , com matriz em Florianópolis, é uma empresa de capital misto, criada em 1970 cujo objetivo é fornecer água tratada, além de coletar e tratar esgoto sanitário. Presente em mais de 200 municípios catarinenses. A empresa atende uma população de 2,5 milhões de habitantes com distribuição de água tratada e 319 mil com coleta, tratamento destino final de esgoto sanitário, promovendo saúde, conforto, qualidade de vida e desenvolvimento sustentável.

Entre os processos desenvolvidos na empresa, podem-se citar: captação de água bruta, tratamento de água bruta, transporte e armazenamento de água tratada, coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário.

O serviço de telemetria é estratégico para a CASAN, pois permite criar um ambiente de monitoramento remoto de centenas de pontos de atuação, contemplando ETEs (Estação de Tratamento de Esgoto), ETAs (Estação de Tratamento de Água), EEEs (Estação Elevatória de Esgoto) e boosters, tornando mais fácil o controle do sistema.

Este trabalho aborda o problema de controle de pressão, no qual foi desenvolvido uma aplicação com controlador fuzzy implementado uma plataforma open source scadaBR para supervisão e controle do processo.

Este projeto envolve: pesquisa de tecnologias, soluções de integração entre componentes, construção de redes de comunicação, concepção de um sistema de automação, implementação do projeto piloto e demonstração prática.

Como resultado atingido, foi demonstrado um sistema totalmente funcional para a aplicação de controle de pressão. Nesse sistema, a unidade de medição de pressão em São José coletará a informação da pressão, enviará esta informação através de uma rede sem fio via GPRS até o ScadaBR, o qual, por sua vez, se comunicará com uma aplicação desenvolvido em Java, fazendo o papel de controlador. Esse controlador será responsável pela tomada de decisão e enviar a informação para um atuador remoto. Além disso, o ScadaBR também se comunicará com uma IHM (Interface Homem Máquina) através de uma rede Modbus que mostrará a percentagem da abertura da válvula. Como um extra, o ScadaBR ainda poderá receber comandos de operador através da IHM, alterando variáveis e sinais para o atuador da válvula borboleta que fica na saída da estação de tratamento de água.

Palavras-chave: Lógica Fuzzy, ScadaBr, Telemetria, identificação de sistemas, CASAN

Abstract

Companhia Catarinense de Água e Saneamento - CASAN, headquartered in Florianópolis, is a mixed capital company, created in 1970 whose purpose is to provide treated water, besides collecting and treating sewage. Present in more than 200 cities in Santa Catarina.

The company serves a population of 2.5 million people with treated water supply and 319,000 with collection, processing final destination of sanitary sewer, promoting health, comfort, quality of life and sustainable development.

Among the processes developed within the company, it might be mentioned: Capture of raw water, raw water treatment, transportation and reservation of treated water, collection, transportation and treatment of sewage.

This presents work deals with the pressure control problem, which has developed an application with fuzzy controller implemented an open source ScadaBR platform for monitoring and process control.

With CASAN telemetry has a remote monitoring environment of hundreds of performance points, contemplating ETEs (Sewage Treatment Plant), ETAs (Water Treatment Plant), EEEs (Sewage Pumping Station) and boosters. This led to my interest to develop this project in the same area.

As results achieved, will be demonstrated fully functional system for the rush control application, where the pressure measurement unit in São José will collect pressure information, send this information through a wireless network via GPRS to the ScadaBR that in turn communicate with one with the application developed in Java, playing the role of controller, which will take decision and send the control signal to be taken to the actuator remotely. Furthermore the ScadaBR further communicates with an HMI (Human Machine Interface) via a Modbus network that shows given percentage of valve opening, and as an extra can still receive operator commands by the terminal, changing variables, and signals for the actuator butterfly valve is off the water treatment plant.

Keywords:Fuzzy Logic, ScadaBR, Telemetry, system identification, CASAN

Lista de ilustrações

Figura 1 – Configuração das quatro Superintendências (fonte: CASAN 2014)	30
Figura 2 – Estação Elevatória de Esgotos (Imagem Ilustrativa).	32
Figura 3 – Esquema de um sistema de lodo ativado convencional.	35
Figura 4 – Estação de tratamento de esgoto lodo ativado.	36
Figura 5 – Sistemas de potecas (fonte: CASAN).	37
Figura 6 – ETA Xavantina (fonte: CASAN).	39
Figura 7 – Esquema vertical de um filtro lento	40
Figura 8 – Estação de tratamento de água tipo convencional	42
Figura 9 – ETA Meleiro (fonte: CASAN)	43
Figura 10 – Tipos de reservatórios	44
Figura 11 – Pressão de sucção e de recalque no booster	46
Figura 12 – Rio Pilões (fonte: CASAN)	49
Figura 13 – Rio Cubatão (fonte: CASAN)	50
Figura 14 – Fluxograma das etapas de tratamento	50
Figura 15 – ETA Morro dos Quadros (fonte: CASAN)	52
Figura 16 – Croqui do sistema macro adutor por gravidade (Fonte: CASAN)	52
Figura 17 – Diagrama do fluxo de troca de informações	55
Figura 18 – Representação esquemática do modelo ARX (Fonte: Aguire 2004)	57
Figura 19 – Representação esquemática do modelo manipulada ARX (Fonte: Aguire 2004)	57
Figura 20 – Representação esquemática do modelo ARMAX (Fonte: Aguire 2004) .	58
Figura 21 – Representação esquemática do modelo manipulada ARMAX (Fonte: Aguire 2004)	58
Figura 22 – Representação esquemática do modelo de erro na saída (Fonte: Aguire 2004)	59
Figura 23 – Representação esquemática do modelo Box-Jenkins (Fonte: Aguire 2004)	60
Figura 24 – Malha fechada e malha aberta.	64
Figura 25 – Intersecção de dois conjuntos fuzzy	66
Figura 26 – União de dois conjuntos fuzzy	66
Figura 27 – Complemento conjuntos fuzzy	67
Figura 28 – Fuzzyficação das variáveis linguísticas de entrada x e y, resultando nos seus respectivos conjuntos fuzzy e graus de pertinênciaComplemento conjuntos fuzzy	69
Figura 29 – Conjuntos fuzzy e graus de pertinência da variável linguística de saída z e respectivos graus de pertinência, produzidos pela aplicação das regras fuzzy 1, 2 e 3	70

Figura 30 – Conjunto fuzzy resultante do processo de agregação das regras fuzzy 1, 2 e 3	70
Figura 31 – Princípio de funcionamento	77
Figura 32 – Sistema de supervisão e controle (fonte: adaptado)	79
Figura 33 – Topologia Típica de conexão remota ao servidor GPRS	84
Figura 34 – Nível do reservatório pulmão (fonte: CASAN)	88
Figura 35 – Nível do reservatório R1 (fonte: CASAN)	88
Figura 36 – Pressão pela abertura da Válvula (fonte: CASAN)	89
Figura 37 – Variação da Pressão pela abertura da Válvula	92
Figura 38 – Variação do nível pela abertura da válvula	92
Figura 39 – Modelo estimado de primeira Ordem $n_a=1, n_b=0$	92
Figura 40 – Erro de estimação do modelo de primeira ordem	93
Figura 41 – Modelo de segunda ordem $n_a=2, n_b=1$	93
Figura 42 – Erro de estimação do modelo de segunda ordem	93
Figura 43 – Diagrama de blocos da estrutura básica de um controlador fuzzy	96
Figura 44 – Estrutura de controle para o controlador fuzzy	96
Figura 45 – Toolbox fuzzy do Matlab	97
Figura 46 – variáveis linguística do Erro	97
Figura 47 – Variáveis linguísticas da Variação do erro	98
Figura 48 – variáveis linguísticas do Sinal de controle	99
Figura 49 – Conjunto de regras para o controlador fuzzy	99
Figura 50 – Gráfico da superfície do controlador fuzzy de 15 regras	99
Figura 51 – Estrutura no simulink do controlador fuzzy	100
Figura 52 – Simulação de controlador fuzzy para modelo de primeira ordem	101
Figura 53 – sinal de controle para o sistema de primeira ordem ARX	101
Figura 54 – Simulação de controlador fuzzy para modelo de segunda ordem ARX	101
Figura 55 – sinal de controle para o sistema de segunda ordem ARX	102
Figura 56 – Visualização das regras aplicadas no controlador fuzzy	102
Figura 57 – topologia da rede	105
Figura 58 – Quadro de Telemetria em São José	106
Figura 59 – Manómetro e transmissor de pressão	107
Figura 60 – Transmissor de pressão no reservatório R1	108
Figura 61 – Quadro de telemetria para medição de nível do reservatório	108
Figura 62 – Transmissor hidrostática de nível	109
Figura 63 – Válvula Borboleta bi-excêntrica na adutora de 1200mm	110
Figura 64 – Válvula borboleta bi-excêntrica	110
Figura 65 – Ventosas de ar	111
Figura 66 – IHM MT6070IH / MT8070IH	112
Figura 67 – Quadro de telemetria na ETA Morro dos Quadros	114

Figura 68 – Data source da válvula 1200mm	115
Figura 69 – Meta Data source Para conversores- Pressão	116
Figura 70 – Data point com o script de conversão da pressão	117
Figura 71 – Data point da adutora de 1200mm	117
Figura 72 – Propriedades data point “Nível Pulmão”	118
Figura 73 – Propriedades data point “Porcentagem atual”	119
Figura 74 – Propriedades data point “Online”	119
Figura 75 – Tela de interface gráfica (fonte: CASAN)	121
Figura 76 – integração scadabr com aplicação Java	122
Figura 77 – Formato JSON	123
Figura 78 – Método send	124
Figura 79 – Método Get	124
Figura 80 – Fuzzificação	125
Figura 81 – defuzzificação	125
Figura 82 – regras	125
Figura 83 – Função fuzzy controller	127
Figura 84 – Loop de requisição e processamento dos dados	127
Figura 85 – Classe principal Main	127
Figura 86 – Configuração No scadabr para o sinal de controle	128
Figura 87 – Point link do sinal recebido da aplicação java com o data point virtual	128
Figura 88 – representação gráfica teste	129
Figura 89 – representação gráfica teste	130
Figura 90 – Variação do erro	130
Figura 91 – Sinal de controle	131

Lista de tabelas

Tabela 1 – T-norms básicas	67
Tabela 2 – T-Conorms básicas	67
Tabela 3 – Principais funções do protocolo Modbus	75
Tabela 4 – Algoritmo de estimação Mínimos Quadrados Recursivo	91
Tabela 5 – Variáveis linguísticas do erro	97
Tabela 6 – Variáveis linguísticas do erro	98
Tabela 7 – Variáveis linguísticas da saída de controle	98

Lista de abreviaturas e siglas

<i>CCO</i>	Centro de Controle e Operação
<i>ETA</i>	Estação de Tratamento de de Água
<i>ETE</i>	Estação de Tratamento de Esgoto
<i>EEE</i>	Estação Elevatória de Esgoto
<i>ETAR</i>	Estação de Tratamento de Água Residuais
<i>ERAT</i>	Estação de Recalque de Água Tratada
<i>DIPAE</i>	Divisão de Políticas de automação e Eficiência Energética
<i>GPO</i>	Gerência de Políticas Operacionais
<i>IHM</i>	Interface humano-máquina
<i>SCADA</i>	Supervisory Control And Data Acquisition
<i>SRM</i>	Superintendência Regional de Negócios da Região da Grande Florianópolis
<i>SRN</i>	Superintendência Regional de Negócios Norte
<i>SRS</i>	Superintendência Regional de Negócios Sul
<i>SRO</i>	Superintendência Regional de Negócios Oeste
<i>ASCII</i>	American Standard Code for Information Interchange
<i>TCP/IP</i>	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
<i>PDU</i>	Protocol Data Unit
<i>RTU</i>	Remote terminal Units
<i>GPRS</i>	General Packet Radio System
<i>GSM</i>	Global System for Mobile Communications

Lista de símbolos

A	Ampere
CO_2	Dióxido de Carbono
Hz	Hertz
mca	Metros por coluna de água
rpm	Rotações por minutos
ppm	Partes por milhões
ph	Potencial hidrogeniônico
$u(k)$	Entrada de sistemas não autônomos no instante k
$y(k)$	Sinal de saída no instante k
$v(k)$	Variável aleatória (sempre) branca
q^{-1}	Operador de atraso
$e(k)$	Erro no instante k , pode ou não ser branco
$\epsilon(k)$	Erro de Modelagem

Sumário

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Descrição do Problema	24
1.2	Localização e Escopo	26
1.3	Motivação	26
1.4	Justificativa	26
1.5	Argumentação Principal e Metodologia Empregada	27
1.6	Plano de Desenvolvimento do Projeto	27
2	A EMPRESA	29
2.1	CASAN	29
2.2	Processos operacionais	31
2.2.1	Estação Elevatória de Esgoto	31
2.2.2	Estação de tratamento de Esgoto - ETE	33
2.2.2.1	Lodo Ativado	34
2.2.2.2	Lagoas de Estabilização	36
2.2.2.3	Filtro Biológico	37
2.2.3	Estação de tratamento de Água	37
2.2.3.1	Casa de Química com Desinfecção	39
2.2.3.2	Filtração Lenta	39
2.2.3.3	Estação Convencional	40
2.2.3.4	ETA Compacta fechada	42
2.2.3.5	Filtração Direta Ascendente	42
2.2.3.6	Filtração Direta Descendente	43
2.2.4	Reservatórios de Água Tratada	43
2.2.5	Captação de água bruta	45
2.2.6	Boosters	45
2.3	Desafios Operacionais da CASAN	46
2.4	Desafio do Projeto	47
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	49
3.1	Descrição do Problema	49
3.1.1	Problema Foco	53
3.2	Conceitos Teóricos	53
3.2.1	Identificação e Modelagem de sistemas	55
3.2.1.1	Etapas de Identificação de sistema Lineares	55
3.2.1.2	Modelo ARX	56

3.2.1.3	Modelo ARMAX	57
3.2.1.4	Modelo de Erro na Saída	58
3.2.1.5	Modelo de Box-Jenkins	59
3.2.1.6	Determinação da estrutura do modelo e estimação dos parâmetros	60
3.2.2	Interface	61
3.2.2.1	Interface Homem-Máquina	61
3.2.3	Controle	62
3.2.3.1	Controle em malha aberta e malha fechada	63
3.2.3.2	Lógica Nebulosa	65
3.2.3.3	Regras fuzzy	68
3.2.3.4	Inferência fuzzy	68
3.2.4	Atuação	71
3.2.4.1	Motor Elétrico	72
3.2.4.2	Acionamento motor Elétrico	72
3.2.5	Redes e transmissão de dados	73
3.2.5.1	Modulação	73
3.2.5.2	Canais de comunicação	74
3.2.5.3	Modbus	74
3.2.6	Medição	76
3.2.6.1	Sensor de pressão e nível	77
3.2.7	SCADA	78
3.2.7.1	Arquitetura: Componentes de um sistema SCADA	79
3.2.7.2	ScadaBr	80
3.2.8	Telemetria	83
3.2.8.1	Serviço GPRS	83
3.2.9	Considerações finais	85
4	DESENVOLVIMENTO	87
4.1	Metodologia	87
4.1.1	Entendo o Processo/Sistema	87
4.2	Identificando o modelo do sistema	89
4.2.1	Aquisição dos dados	89
4.2.2	Estimação de parâmetros	92
4.2.3	Validação do Modelo	94
4.3	Projeto do Controlador Fuzzy	95
4.3.1	Estrutura de Controle	95
4.3.2	Funções pertinências para variáveis linguísticas	96
4.3.3	Base de Regras	99
4.3.4	Resultados do Controlador Fuzzy	100
4.3.5	Considerações finais	102

5	IMPLEMENTAÇÃO	105
5.1	Topologia de rede do sistema	105
5.2	Sistema de Medição	106
5.3	Atuação e elementos finais de controle	109
5.3.1	Válvula Borboleta e Ventosa	109
5.3.2	IHM	112
5.3.3	Drive de acionamento e servomotor	114
5.4	Programação e configuração do scadaBR	115
5.4.1	Data source	115
5.4.2	Data Point	116
5.4.2.1	Nível pulmão	118
5.4.2.2	Porcentagem atual	119
5.4.2.3	online	119
5.4.3	Eventos e Alarmes	120
5.4.4	Representação Gráfica	121
5.5	Desenvolvimento do controlador Fuzzy	122
6	RESULTADOS	129
7	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	133
	REFERÊNCIAS	135

1 Introdução

Este trabalho foi desenvolvido no contexto da disciplina de projeto de fim de curso, com carácter obrigatório na grade curricular do curso da engenharia de controle e automação da universidade federal de Santa Catarina. Esta disciplina tem características práticas, voltada para execução real de problemas de engenharia. Seguindo esta linha de trabalho, este projeto foi elaborado com finalidade de agregar novas tecnologias e ferramentas de automação úteis para empresa que trabalhei.

O trabalho neste documento envolveu:

- Estudo da problemática geral da CASAN, onde as áreas de atuação foram analisadas para descobrir possíveis pontos de ataque para a solução de automação presente neste projeto.
- Analisar o nível de automação atualmente e a compatibilidade com o sistema proposto no trabalho para que haja uma simbiose entre ambos e não conflitos.
- Procura bibliográfica de prováveis soluções na áreas, entendendo o funcionamento de cada uma delas e de como é feita a integração entre soluções parciais em uma solução global.
- Análise de equipamentos dos fornecedores, comparando versões diferentes para diferentes utilidades.
- Compra de equipamentos para a fase de testes, buscando aprimorar o entendimento das funcionalidades e aprovar soluções.
- Montagem da solução final com os equipamentos e configuração estudada na fase anterior.
- Ajustes finais na solução encontrada e montagem final do conjunto.
- Implementação e testes para validação final da solução.

Este trabalho foi supervisionado na empresa pelo Engenheiro Eletricista Ezequiel Medeiros e na Universidade pelo Professor Carlos Barros Montez.

1.1 Descrição do Problema

Atualmente, na Superintendência Regional Metropolitana da CASAN, com sede em Florianópolis, Santa Catarina, encontram-se centenas de pontos de coleta e retenção de esgoto, além de pontos de coleta e tratamento de água. Com isso, é bastante dificultada a operação e o controle da situação individualmente, em cada ponto, sendo, este caso, um candidato potencial para um projeto de automação.

Entre os processos desenvolvidos dentro da empresa, pode-se citar: captação de água bruta, tratamento de água bruta, transporte e armazenamento de água tratada, coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário.

Para a captação de água bruta, é realizado um estudo geológico de potenciais regiões para se encontrar vertentes de água, tais como lagos, rios, mananciais, poços, entre outros. A qualidade inicial desta água é que determina o quanto de tratamento é necessário para transformá-la em água potável.

A poluição é um fator predominante para o aumento de custos. O tratamento de água é considerado simples, quando a água bruta se encontra sem poluentes. Neste caso, o tratamento consiste em dosar cloro (um bactericida) e flúor (para prevenção de cárie dentária). Por outro lado, o tratamento de água completo, geralmente realizado em ETAs (Estação de Tratamento de Água), consiste primeiramente na aeração da água (facilitando as reações químicas), coagulação (adição de produtos químicos transformando as impurezas dispersas em estado coloidal), floculação (formação de aglomerados de impurezas), decantação (onde os flocos de impurezas são retirados pelo efeito da gravidade), correção da dureza (onde são controlados os sais de cálcio e magnésio, que conferem cheiro e gosto na água), correção de pH (para corrigir acidez ou alcalinidade da água), desinfecção (eliminação de elementos patogênicos), fluoretação e oxidação (controle de elementos como o ferro presentes na água).

O transporte de água tratada é realizado por tubulação, atingindo todos os diversos pontos das comunidades. Este transporte pode ser realizado por gravidade, onde, pelos princípios físicos, a água se movimenta de um lugar mais alto naturalmente para um lugar mais baixo. Pode também ser realizado por recalque, onde boosters são responsáveis por aumentar a pressão da água dentro da tubulação, podendo atingir localidades mais altas.

A reservação (armazenamento) da água tratada é feita em reservatórios, com o intuito de possibilitar a armazenagem de água tratada em diferentes localidades, atendendo as necessidades das mesmas.

A captação do esgoto sanitário é feita por tubulações até as residências e empreendimentos. Após a coleta, o esgoto passa por EEEs (Estação Elevatória de Esgoto), onde o mesmo é armazenado em tanques até ser enviado para as ETEs (Estação de Tratamento de Esgoto).

A CASAN utiliza três tipos de tratamento de esgoto: lodo ativado, lagoa de estabilização e filtro biológico.

- Lodo ativado é um processo biológico onde o esgoto afluyente, na presença de oxigênio dissolvido, agitação mecânica e pelo crescimento e atuação de microrganismos específicos, forma flocos denominados lodo ativado ou lodo biológico. Essa fase do tratamento objetiva a remoção de matéria orgânica biodegradável presente nos esgotos. Após essa etapa, a fase sólida é separada da fase líquida em outra unidade operacional denominada decantador. O lodo ativado separado retorna para o processo ou é retirado para tratamento específico ou destino final.
- Lagoa de estabilização é um processo simples e natural, com o objetivo de remover matéria orgânica. O processo geralmente passa por mais de uma lagoa, sendo que a primeira, denominada anaeróbia, tem o objetivo de minimizar ao máximo o oxigênio, para que a estabilização da matéria orgânica se dê estritamente em condições anaeróbicas. Depois deste processo, geralmente o esgoto restante passa por uma série de lagoas do tipo facultativo, que são lagoas repletas de algas onde na região superficial ocorrem processos fotossintéticos aeróbicos e no fundo ocorrem os processos anaeróbicos.
- Filtros biológicos são destinados à oxidação da matéria biológica restante de decantadores. O efluente do decantador é disperso sobre um leito de rochas onde o ar possa circular. Com isso, este leito de rochas desenvolve uma colônia de micro-organismos aeróbicos. Em locais onde o ar não circula, desenvolvem-se organismos anaeróbicos e com isso se gera uma condição semelhante às lagoas de estabilização.

Com uma complexidade operacional alta, a CASAN necessita de profissionais experientes e competentes nos mais diversos setores e campos de atuação, sempre buscando ferramentas administrativas e operacionais para facilitar o trabalho destes indivíduos. O problema em questão é então responder a pergunta fundamental: – Como auxiliar e facilitar a operação dentro da empresa?

A intenção do trabalho é propor uma solução em automação flexível, que possa ser utilizada em diversos processos diferentes citados acima onde basicamente deve-se receber um sinal da variável medida com o objetivo de controlá-la, através da atuação sobre as variáveis de processo. Este projeto visa ser uma ferramenta útil para a empresa, no intuito de auxiliar a base operacional nas suas tarefas, modernizando os processos e melhorando as condições de trabalho envolvidas.

1.2 Localização e Escopo

No Brasil, as empresas de água e saneamento estão em uma verdadeira corrida, devido à competição acirrada entre elas, para modernização e melhorias operacionais. Com isso, os projetos de automação florescem cada vez mais nestas áreas.

Observar a proximidade da automação com essas empresas também é bastante evidente. Com milhares de atuadores, válvulas, sensores de nível, conjuntos motor-bomba, entre outros, estas oferecem um leque muito grande para projetos na área do curso, sendo que o apresentado neste trabalho é apenas um dos diversos acontecendo simultaneamente na CASAN.

A equipe técnica da CASAN/GPO/DIPAE implementou o sistema remoto de monitoramento para a supervisão e controle de estações elevatórias e de tratamento. A visibilidade dos pontos monitorados pelo sistema oferece ao centro de operação a possibilidade de agir rapidamente em casos de falhas e prevenir ocorrências com o crescimento da demanda. O controle de bombas em ETAs e EEEs pode ser realizado remotamente e, em caso de falhas, os operadores podem acionar os técnicos de campo da CASAN para uma ação rápida.

Monitorando o nível de reservatórios, e acompanhando o histórico, a CASAN pode se preparar para o aumento de consumo em épocas de veraneio e garantir assim o abastecimento para a população residente e para o público turístico

1.3 Motivação

O uso de soluções completas de automação implementadas por terceirizados é algo muito recorrente na empresa. Fazer um projeto de concepção totalmente dentro da CASAN representa uma experiência de grande valor para o meu currículo e para minha vida profissional.

Como trabalho no setor de Pesquisa e Desenvolvimento, outro fator de motivação para mim foi estar sempre em contato com equipamentos e tecnologias novas, as quais testamos regularmente para observar o comportamento. E uma delas foi pilar para concepção deste projeto. Desde o início fiquei encantado com seu potencial e sabia que gostaria de fazer um projeto com aquela tecnologia.

1.4 Justificativa

Este projeto tem como base a automação da estação de tratamento de água, tirando do domínio do operador a capacidade de poder atuar de maneira empírica e heurística o controle da válvula de pressão. Como parte do corpo de engenharia, devo encontrar

soluções que melhorem a qualidade do serviço tanto de água tratada como de esgoto para as comunidades espalhadas pelas cidades.

1.5 Argumentação Principal e Metodologia Empregada

Para chegar à solução presente neste documento, foi realizada uma pesquisa bibliográfica extensa sobre tecnologias sem fio aplicadas na automação, elementos de tomada de decisão, elementos sensores, além de uma extensa pesquisa na parte de eletrônica para criar componentes de ligação entre os diversos elementos presentes. Nesta primeira etapa, três livros foram de fundamental importância e serão utilizados como base para a fundamentação teórica deste documento.

Após chegar a conclusão de algumas prováveis soluções, as mesmas foram testadas no laboratório da CASAN para observar comportamentos, anomalias, e para familiarização com as tecnologias diferentes.

1.6 Plano de Desenvolvimento do Projeto

No segundo capítulo é apresentada a empresa em que este projeto foi realizado, mostrando os processos e áreas de atuação para situar melhor o trabalho dentro do escopo da CASAN e de sua complexidade operacional.

No terceiro capítulo é apresentado o problema em questão deste projeto, mostrando todos os detalhes que circularam a escolha do mesmo. Também é apresentada a fundamentação teórica por trás dos conceitos apresentados neste projeto bem como iniciação e primeiras análises das tecnologias empregadas.

No quarto capítulo são apresentadas as soluções envolvendo as tecnologias do capítulo anterior, apresentando onde elas serão inseridas no problema para melhorar o resultado final.

No quinto capítulo é apresentada a implementação física do projeto, mostrando telas de captura do desenvolvimento de software bem como explicações para decisões de comando e de execução.

No sexto capítulo são apresentados os resultados do projeto, mostrando em que pontos o mesmo melhorou o fluxo de operação e a maneira do processo interagir com os operadores.

Finalmente, no sétimo capítulo são apresentadas as conclusões deste projeto e as perspectivas de futuro para novas implementações além de expectativas de melhorias.

2 A empresa

Neste capítulo é apresentada a empresa em que o projeto se realizou, os processos que têm relevância para esta proposta, além de esquemáticos para auxiliar a compreensão da CASAN como um todo.

2.1 CASAN

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento, criada em dezembro de 1970, através da Lei Estadual nº 4.547¹, e constituída pelo Decreto nº SSP- 30.04.71/58, de 02 de julho de 1971, é uma empresa de economia mista, atuando como concessionária na prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

A missão Casan está apoiada em quatro bases fundamentais, interrelacionadas e complementares:

- **Desenvolvimento Econômico e Social** - Participar ativamente no desenvolvimento econômico e social dos municípios conveniados.
- **Preservação Ambiental** - Desenvolver ações de forma sustentável através da educação ambiental, recuperação e preservação do meio ambiente.
- **Saúde Pública** - Participar de forma pró-ativa com ações focadas na saúde ambiental e qualidade de vida da população atendida por seus serviços.
- **Função social** - Cumprir seu dever para com a sociedade e pelo empreendimento público que ela representa, executando seus serviços com respeito e valorização.

A Casan está presente em 67% dos municípios no Estado de Santa Catarina, além de 1 município no Estado do Paraná, atendendo em 2014 uma população de mais de R\$ 2,7 milhões de pessoas em 199 municípios Catarinenses², colaborando de forma definitiva para a melhoria dos indicadores de saúde pública e sustentabilidade do meio ambiente.

Para atender essa demanda são operados:

- 248 Sistemas de Abastecimento de Água – SAA, que beneficiam 320 localidades em Santa Catarina: 198 Sedes Municipais, 47 distritos e 75 vilas.
- 35 Sistemas de Esgotamento Sanitário – SES que atendem 16 municípios.

¹ <http://server03.pge.sc.gov.br/LegislacaoEstadual/1970/004547-011-0-1970-000.htm>

² <http://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/municipios-atendidos>

A CASAN está dividida em quatro Superintendências Regionais de Negócios, sendo elas: Norte Vale do Itajaí (SRN), Oeste (SRO), Sul/Serra (SRS), e Metropolitana da grande Florianópolis (SRM).

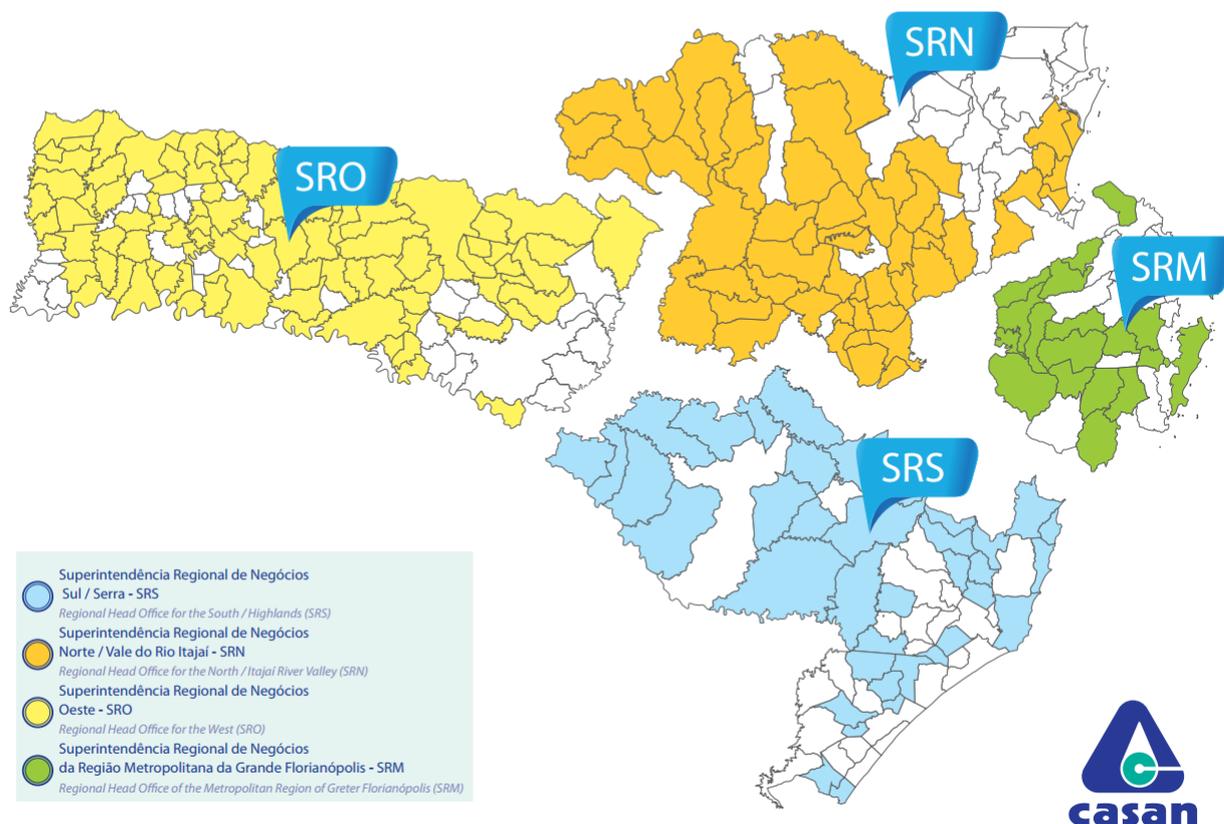


Figura 1 – Configuração das quatro Superintendências (fonte: CASAN 2014)

A primeira obra se deu no município de Urubici em 1972, com a implantação da rede de água tratada no município e desde lá vem crescendo tanto em tamanho quanto em investimentos, podendo-se citar o investimento de mais de R\$ 404 milhões de reais em 2012 para execução de obras de água e esgoto nos municípios de Florianópolis, Criciúma, São José, Biguaçu, Concórdia e Rio do Sul.

As ações desenvolvidas pela empresa, neste período contribuíram para a evolução da qualidade de vida da população de Santa Catarina, apresentando um quadro que evolui de maneira favorável e consolidada. Sua atuação é fator preponderante no desenvolvimento econômico e social em sua área de concessão. Desta forma, a empresa elaborou um arrojado plano de investimento para o período de 2011-2017 que totaliza R\$ 1,5 bilhão e que conta com apoio da União e agentes financiadores nacionais e estrangeiros e aporte de recursos próprios como contrapartida aos contratos. O plano prevê investimentos de R\$ 1,2 bilhões em esgotamento sanitário e R\$ 250 milhões em sistemas de abastecimento de água.

Segundo dados de 2013, 96.5% da população urbana dos municípios atendidos pela CASAN são contemplados com água tratada (fonte: CASAN, 2013), fazendo deste o índice mais alto do Brasil. Em Florianópolis o percentual chega a 99.5%.

Quando o assunto é esgoto sanitário, os índices são bem mais baixos, e Santa Catarina é o 11º pior Estado em tratamento de esgoto do Brasil (fonte: Ministério Público de Santa Catarina, 2008), com 16% dos municípios com rede de esgoto sanitário. As médias dos municípios atendidos pela CASAN são de 19.8% sobre a população contemplada. Em Florianópolis, este número chega a 51,6% e Itá é o único município Catarinense com 100% de índice de atendimento urbano de esgoto (fonte: CASAN, 2013).

Alguns dados brutos da CASAN ajudam a demonstrar o tamanho da empresa, como por exemplo, (fonte: CASAN, 2014):

- Foram atendidos mais de 2,75 milhões de consumidores com água tratada e 493 mil usuários servidos com coleta, tratamento e destinação final de esgoto sanitário.
- O volume de água faturado é de 181,98 milhões de metros cúbicos;
- 750.656 ligações de água e 71.022 ligações de esgoto;
- A Casan auferiu em 2014 uma receita de R\$ 820 milhões em decorrência da prestação dos seus serviços;
- Possui cerca de 2500 pessoas efetivadas ;
- Número de estações de tratamento: 299;

2.2 Processos operacionais

A CASAN atua sobre diversos processos desde a captação de água bruta até o tratamento do esgoto sanitário. Entre estes se podem citar: estação elevatória de esgoto, estação de tratamento de esgoto, reservatórios de água tratada, boosters, estação de tratamento de água e captação de água bruta.

2.2.1 Estação Elevatória de Esgoto

Todas as vezes que por algum motivo não seja possível, sob o ponto de vista técnico e econômico, o escoamento dos esgotos pela ação da gravidade, é necessário o uso de elevatórias, para elevar o esgoto de um ponto para outro de cota normalmente mais elevada.

Após sair da rede de esgoto doméstica o material coletado segue até a estação de tratamento, mas não sem antes passar por uma série de ramais residenciais e por tubulações maiores, nos quais recebe um volume cada vez maior de resíduos sólidos. Para

atingir as estações de tratamento, a rede de esgoto conta em grande parte com a força da gravidade, que age naturalmente levando água e resíduos. Em alguns momentos no entanto, é necessário que haja o bombeamento desse conteúdo pela tubulação.

Essas unidades de bombeamento são as chamadas estações elevatórias de esgoto e existem para bombear a água e os resíduos de tubulações muito profundas, que exigem a necessidade de um equipamento para transpor essa profundidade, ou ainda quando existe uma baixa declividade ou porção elevada do terreno para assim permitir que a gravidade volte a atuar no transporte do esgoto até chegar às estações nas quais ele será tratado.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992), na NBR 12.208, “é a instalação destinada ao transporte de esgoto do nível do poço de sucção das bombas ao nível de descarga da saída do recalque, acompanhando aproximadamente as variações de vazões afluentes” [1].

Como partes componentes de uma EEE podemos citar: dispositivos de entrada, unidades de remoção de sólidos, medidor de nível, poço úmido, conjunto moto-bomba e poço seco.

O esgoto entra em uma EEE através de uma tubulação de entrada protegida contra resíduos sólidos (grade de proteção) e é reservada no poço úmido.

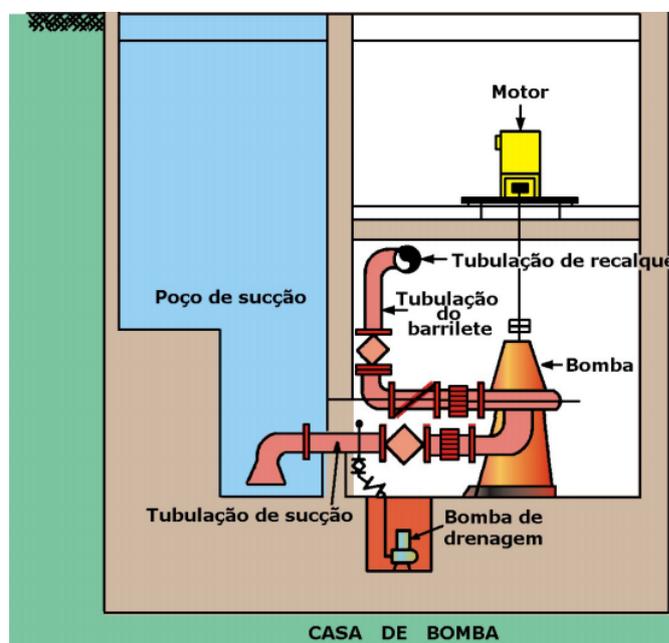


Figura 2 – Estação Elevatória de Esgotos (Imagem Ilustrativa).

Uma estação elevatória de esgoto também age na retirada de parte desses resíduos sólidos. Isso porque, em um dado momento, a quantidade de sólidos atinge um volume capaz de provocar entupimentos e causar outros danos às tubulações. Por isso toda a rede

de esgoto está equipada com dispositivos que permitem a retirada de sólidos do sistema. A estação elevatória de esgoto funciona como uma espécie de filtro e geralmente está equipada com dispositivos de pré-tratamento como grades, barras ou cestos

Nas estações elevatórias de esgoto da CASAN, um sensor de nível é instalado no poço úmido, gera o sinal para que o conjunto bomba-motor, localizado no poço seco, atue, enviando o esgoto pela tubulação de saída com uma pressão de recalque maior que a de sucção. Com isso o esgoto pode ser enviado para outras EEEs ou para estações de tratamento.

O poço úmido tem uma limitação de capacidade de esgoto que pode conter e é especialmente importante que este poço nunca extravase, pois causaria uma contaminação do solo com esgoto. Por isso tem-se muito cuidado para dimensionar estes poços conforme o tamanho da comunidade que o atende e uma manutenção constante no conjunto bomba-motor para que os mesmos nunca fiquem estragados quando há a necessidade dos mesmos.

A CASAN ainda implanta mais uma medida de segurança nestas elevatórias, que é a presença de um conjunto bomba-motor reserva, para que possa assumir o funcionamento em caso de parada ou manutenção do outro conjunto.

2.2.2 Estação de tratamento de Esgoto - ETE

A ETA é uma unidade operacional do sistema de esgotamento sanitário que através de processos físicos, químicos ou biológicos removem as cargas poluentes do esgoto, devolvendo ao ambiente o produto final, efluente tratado, em conformidade com os padrões exigidos pela legislação ambiental.

Todas essas questões sobre legislação Ambiental constam do art. 44 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007:

Art. 44. *O licenciamento ambiental de unidades de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes gerados nos processos de tratamento de água considerará etapas de eficiência, a fim de alcançar progressivamente os padrões estabelecidos pela legislação ambiental, em função da capacidade de pagamento dos usuários.*

§1º *A autoridade ambiental competente estabelecerá procedimentos simplificados de licenciamento para as atividades a que se refere o caput deste artigo, em função do porte das unidades e dos impactos ambientais esperados.*

§2º *A autoridade ambiental competente estabelecerá metas progressivas para que a qualidade dos efluentes de unidades de tratamento de esgotos sanitários atenda aos padrões das classes dos corpos hídricos em que forem lançados, a partir dos níveis presentes de tratamento e considerando a capacidade de pagamento das populações e usuários envolvidos.*

A CASAN utiliza os seguinte tratamentos de esgotos:

- Lodos Ativados
 - Modalidade aeração prolongada
 - Modalidade valo de oxidação
- Lagoas de Estabilização
 - Anaeróbia
 - Facultativa
- Filtro Biológico

O tratamento é realizado até que esta água esteja com um nível de poluentes aceitável pelo órgão vigente, neste caso a FATMA (Fundação de Amparo à Tecnologia e Meio Ambiente). Após este estágio a água tratada é retornada ao meio ambiente.

2.2.2.1 Lodo Ativado

Sistemas de lodo ativado são sistemas biológicos de tratamento de águas residuárias, um dos mais difundidos no mundo e também muito utilizados no Brasil, devido, principalmente à qualidade do efluente e os baixos requisitos por área, além da possibilidade de se variar alguns processos [2].

Em sistemas de lodo ativado a matéria orgânica é em parte convertida em biomassa bacteriana (lodo) e em parte mineralizada para CO₂ e H₂O. Devido às boas características de sedimentabilidade do lodo, a biomassa bacteriana pode ser separada do efluente tratado por simples sedimentação.

É fundamental que a água a ser tratada não possua outros componentes que prejudiquem a vida de tais bactérias. As condições adequadas para o tratamento, tais como a concentração de oxigênio dissolvido, pH e a velocidade da água são essenciais ao perfeito funcionamento desse processo.

No Sistema ETE Insular da CASAN, ocorre um processo denominado lodo ativado de aeração prolongada. Este tratamento se divide em duas fases distintas: Pré-tratamento e tratamento secundário.

Na fase de pré-tratamento o esgoto é preparado para a próxima fase, e tem o objetivo de retirar partículas sólidas do mesmo. Primeiramente o esgoto passa por um sistema de gradeamento com duas grades mecanizadas do tipo cremalheira, evitando a passagem de objetos sólidos grandes.

Após o esgoto passar pela grade, ocorre a desarenação. Este processo pretende retirar grãos de areia e outras partículas sólidas através de um processo mecânico do tipo

gravimétrico, utilizando uma caçamba do tipo clamshell (concha dupla) e operada por uma talha elétrica.

Na segunda fase, denominada tratamento secundário, é composto das seguintes unidades: Seletor biológico, câmara de desnitrificação, tanques de aeração, decantador secundário, adensadores de lodo, sistema de desidratação e prensa desaguadora.

O seletor biológico é a primeira unidade do processo cujo a função, através de misturador submersível, é misturar o esgoto bruto afluente com o lodo ativado proveniente do processo de tratamento de aeração prolongada, evitando assim o desenvolvimento de microorganismos indesejáveis ao tratamento e melhorando a sedimentabilidade do lodo.

Os tanques de aeração recebem da câmara e despejam o conteúdo em reservatórios onde é feita a aeração através de aeradores mecânicos. A quantidade de oxigênio inserida pelos aeradores propicia o desenvolvimento de bactérias aeróbicas que irão digerir a matéria orgânica carbonácea e a nitrificação do nitrogênio orgânico total remanescente do efluente.

No decantador secundário, os flocos formados nos tanques de aeração se sedimentam e são encaminhados para um poço central onde o lodo se acumula (dai o nome lodo ativado).

Os adensadores de lodo servem para reduzir a quantidade de água presente no lodo sedimentado, e geralmente são do tipo gravimétrico.

O sistema de desidratação é um tanque de armazenamento do lodo adensado onde um sistema de pré-condicionamento químico à base de suspensão de cal e solução de polieletrólito prepara o lodo para seu descarte final.

Por último, a prensa desaguadora é responsável por comprimir o lodo resultante em blocos que serão despejados no aterro sanitário.

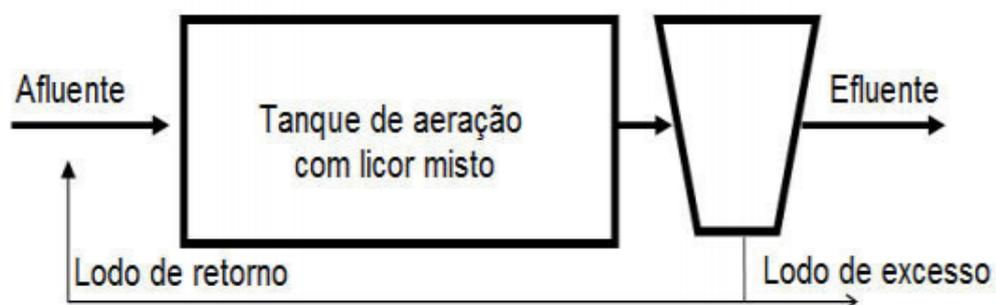


Figura 3 – Esquema de um sistema de lodo ativado convencional.

A figura 3, representa um esquema de um sistema convencional de lodo ativado onde se distinguem o reator biológico e um decantador secundário. Em sistemas de lodos

convencionais os sólidos são recirculados do fundo unidade de decantação, por meio de bombeamento, para a unidade de aeração.



Figura 4 – Estação de tratamento de esgoto lodo ativado.

Na figura 4, o tanque quadrado com divisões é onde ficam os aeradores, os tanques redondos maiores são os decantadores e os tanques redondos menores são o adensador e sistema de desidratação.

2.2.2.2 Lagoas de Estabilização

Os sistemas de lagoas de estabilização são processos simples e natural para tratar esgotos domésticos e o seu principal objetivo é remover matéria orgânica.

São indicados para as condições brasileiras devido ao clima favorável, suficiente disponibilidade de área, à operação simples e à utilização de poucos equipamentos.

As lagoas de estabilização podem ser classificadas em três tipos: lagoas anaeróbias, lagoas facultativas e lagoas de maturação.

Lagoas anaeróbias, são lagoas com profundidades da ordem de 3 a 5 metros, cujo objetivo é minimizar ao máximo a presença de oxigênio para que a estabilização da matéria orgânica ocorra estritamente em condições anaeróbias.

A eficiência nesse tipo de sistema poderá atingir até 60% na remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) dependendo da temperatura.

Lagoas facultativas, são lagoas com profundidade de 1,5 a 3 metros. Neste tipo de lagoa ocorrem 2 processos distintos: aeróbios e anaeróbios. Na região superficial ocorre os processos fotossintéticos realizados pelas algas onde há liberação de oxigênio no meio, favorecendo o processo aeróbio e, no fundo quando a matéria orgânica tende a sedimentar ocorrem os processos anaeróbios.

Lagoas de maturação, são lagoas com profundidades de 0,8 a 1,5 m e sua principal função é remover patogênicos devido a boa penetração de radiação solar, elevado pH e elevada concentração de oxigênio dissolvido.

Na CASAN, o Sistema de Potecas na grande Florianópolis utiliza uma lagoa anaeróbia seguida de três lagoas facultativas chicanadas (com desníveis).



Figura 5 – Sistemas de potecas (fonte: CASAN).

A lagoa anaeróbia possui uma superfície triangular de 72.972 m² com profundidades úteis médias de 2,60 m junto aos diques e 3,30 na área restante e a alimentação do esgoto bruto é feita na extensão do triângulo através de um canal.

2.2.2.3 Filtro Biológico

Filtros biológicos são unidades de tratamento de esgotos destinados a oxidação biológica da matéria orgânica remanescente de decantadores.

O efluente do decantador é aspergido continuamente sobre um leito de pedras justapostas entre os quais o ar pode circular.

O ambiente ecológico desempenhado pelo filtro biológico tem como condicionantes a matéria orgânica, luz, oxigênio temperatura e pH. O leito de pedras, atravessado por líquido contendo matéria orgânica e os outros fatores acima citados, propicia o desenvolvimento de microrganismos aeróbios. A variabilidade dos fatores de oxigenação também permite desenvolvimento anaeróbio resultando uma alternância de condições que permite a predominância de organismos facultativos.

As populações microbianas nos leitos dos filtros biológicos são principalmente bactérias heterotróficas formadoras da zooglea, são consumidoras da matéria orgânica predominante e por isso consideradas os principais agentes primários da purificação.

2.2.3 Estação de tratamento de Água

Estações de tratamentos de água são infraestruturas que recebem como entrada água bruta (forma como é encontrada na natureza), proveniente da captação visando a potabilização para posterior distribuição à população pelas redes de abastecimentos.

As impurezas presentes na água são constituídas por gases, líquidos e partículas que podem ser vistos a olho nu. A identificação da natureza dessas impurezas pode ser feita por meio de suas características físicas, químicas e biológicas.

A Resolução CONAMA357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como condições e padrões de lançamento de efluentes. A classificação foi feita a partir dos usos prioritários da água. A água doce é classificada em: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3, e classe 4, sugerindo diferentes usos para cada classe. A classe especial é considerada uma água de melhor qualidade. Já a classe 4, por ser muito poluída, não é recomendada para tratamento ³.

Como finalidade do tratamento da água, pode-se citar:

- **Higiênica:** remoção de bactérias, elementos venenosos ou nocivos, minerais e compostos orgânicos em excesso, protozoários e outros microorgânicos.
- **Estética:** correção da cor, turbidez, odor, sabor.
- **Econômica:** redução da corrosividade, dureza, cor, turbidez, ferro, manganês, odor, sabor, etc.

A PORTARIA DO MINISTÉRIO DA SAÚDE 518, De 25/03/2004 estabelece as responsabilidades por parte de quem produz a água, a quem cabe o exercício do controle de qualidade da água e das autoridades sanitárias, a quem cabe a missão de “vigilância da qualidade da água” para consumo humano ⁴.

Esta Portaria contém parâmetros de qualidades física, química e bacteriológica que a água deve possuir para ser considerada potável, e também estabelece que água produzida e distribuída para o consumo humano deve ser controlada e além de estabelecer a quantidade mínima de frequência com que a água devem ser coletadas, bem como os parâmetros e limites permitidos.

Seguindo as orientações da portaria do ministério da saúde, a CASAN adotada diversas técnicas para o tratamento de água:

- Casa de Química com desinfecção;
- Filtração lenta;
- Estação convencional;
- ETA compacta fechada;
- Filtração direta ascendente;

³ <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>

⁴ http://www.aeap.org.br/doc/portaria518de25de_marco2004.pdf

- Filtração direta descendente;

2.2.3.1 Casa de Química com Desinfecção

Utilizado para águas que possuem naturalmente boas características de qualidade, em geral, água de poços.

Na casa de Química, uma bomba de cloro retira cloro líquido de um recipiente de armazenamento e envia para um dosador, que regula a quantidade de cloro que será inserida na água conforme índices pré-estabelecidos pois o excesso pode ser nocivo à saúde.

No tratamento de água, o cloro é utilizado pelo seu poder desinfetante, matando microrganismos patogênicos, sendo que os mais comuns são protozoários que podem causar doenças como a Giardíase e a Amebíase, comuns em lugares sem saneamento básico.

Na CASAN, existem diversos poços em Florianópolis, na região da Praia dos Ingleses e Praia do Santinho em que se utiliza esta técnica. As casas de Química, neste caso, se localizam em anexo aos poços de captação, evitando desperdícios por transporte.



Figura 6 – ETA Xavantina (fonte: CASAN).

A ETA Xavantina é outro exemplo da utilização dessa técnica, na figura 6, nota-se que a dosagem de cloro é feita nos tanques até completar o tratamento e depois é enviado para as redes de abastecimento.

2.2.3.2 Filtração Lenta

A filtração lenta apresenta a capacidade de remoção de microrganismos, toxinas produzidas por cianobactérias, agroquímicos e matéria orgânica natural, além de apresentar um baixo custo de construção e manutenção e simplicidade de operação.

A filtração é um processo físico em que a água atravessa um leito filtrante, em geral areia ou areia e carvão, de modo que partículas em suspensão sejam retidas produzindo um efluente mais limpo. Tradicionalmente existem dois processos distintos de filtração: filtração lenta e filtração rápida. A opção por um dos métodos depende principalmente da

qualidade da água bruta e do volume a ser tratado e implica em profundas diferenças no projeto da ETA.

Após a filtragem da água bruta, esta recebe a dosagem de cloro indicada como no processo anterior e é enviada a rede de abastecimento. A figura 7 mostra um esquema genérico de um filtro lento.

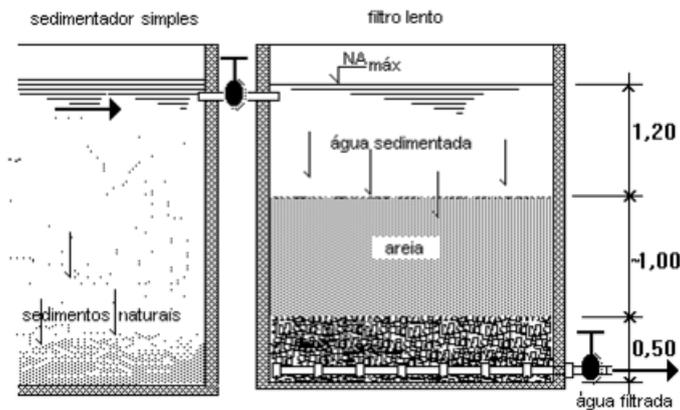


Figura 7 – Esquema vertical de um filtro lento

Operacionalmente esta técnica possui vantagem da facilidade e simplificação de operação e o fácil controle, porém a sua principal desvantagem é a sua inviabilidade para turbidez superior a 40 ppm, também a sua baixa velocidade de filtração, o que implica grandes áreas de ocupação. Assim, a filtração lenta tem sua aplicabilidade restrita a tratamento de pequenas vazões de consumo. Atualmente este processo é pouco usado pela CASAN para tratamento de água.

A turbidez em água é causada geralmente pela presença de partículas suspensa e colóides, derivado de argila, lama, plâncton e outros microrganismos microscópicos [3].

2.2.3.3 Estação Convencional

Tipo de tratamento mais comum na CASAN, este processo considera que a água bruta captada contém agentes poluentes nocivos à população atendida. É um sistema composto de Adutora, floculadores, decantadores, filtros e reservatórios e é denominado convencional por ser comumente encontrado na maioria das estações de tratamento de água. Conforme descrito, o sistema convencional atende plenamente as necessidades de um eficiente processo de tratamento, compondo a maioria das estruturas de Tratamento de Água do CASAN.

Para realizar o tratamento completo da água, a mesma deve passar por diversos procedimentos nos quais eventuais falhas podem ocorrer, resultando em custos operacionais. Assim, o tratamento de água é dividido nas seguintes etapas: Antes do tratamento: comprometimento dos mananciais, necessidade de busca de mananciais mais distantes

exigindo maior consumo de energia, infra-estrutura para adução, bombeamento, entre outros; Durante o tratamento: consumo de produtos químicos, controle operacional, perda de água, consumo de energia elétrica e geração de resíduos; Após o tratamento: qualidade da água tratada, análise de resíduos gerados e seu destino final. O controle de qualidade em cada etapa possibilita à estação de tratamento de água atender à critérios de qualidade e legislações pertinentes [4].

O tratamento convencional consiste nos seguintes passos:

- **Aeração:** Processo de tratamento pelo qual a área de contato entre água e o ar é aumentada, de modo a facilitar o intercâmbio ou troca de gases e substâncias voláteis entre a água e o ar.
- **Coagulação:** Tem por objetivo transformar as impurezas que se encontram em suspensões finas, em estado coloidal, e algumas que se encontram dissolvidas em partículas que possam ser removidas pela decantação ou flotação e filtração. Como principais agentes coagulantes podem ser citados o sulfato de alumínio, cloreto férrico e o policloreto de alumínio.
- **Floculação:** Processo que ocorre logo após ou simultaneamente com a coagulação e cuja característica fundamental é a formação de aglomerados gelatinosos chamados flocos, resultantes da reação entre o produto químico coagulante e as impurezas da água.
- **Decantação ou Flotação:** A decantação é o processo pelo qual se verifica a deposição dos flocos pela ação da gravidade. Na flotação, por injeção de ar, os flocos, ao invés de sedimentarem, vão à superfície onde são recolhidos.
- **Tratamento por contato:** Utilizado apenas nas ETAs que não necessitam de unidades de decantação e floculação, sendo que após coagulada a água é encaminhada diretamente aos filtros para retenção das impurezas.
- **Correção de dureza:** Neste processo são controlados excessos de sais de cálcio e magnésio presentes na água, que tem características incrustantes e conferem gosto.
- **Correção de PH:** Aplicação de produtos químicos que visando corrigir a acidez ou alcalinidade excessivas da água. Esta providência visa principalmente proteger estruturas de distribuição e armazenamento de água. Os principais corretores são: hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio e carbonato de sódio.
- **Desinfecção:** Destruição ou inativação de organismos patogênicos, capazes de produzir doenças, ou de outros organismos indesejáveis. Os principais desinfetantes são o cloro, o hipoclorito de sódio e o hipoclorito de cálcio.

- **Controle de sabor e odor:** Processos químicos e físicos que visam melhorar o paladar. As principais causas para o odor e sabor são as algas, decomposição de vegetais, bactérias e resíduos industriais.
- **Fluoretação:** Aplicação de fluossilicato de sódio ou ácido fluossilícico (mais conhecidos como flúor) para prevenção de cáries dentárias.
- **Oxidação:** Processo químico responsável pela retirada de metais da água através da oxidação. Utilizam-se ortopolifosfatos para gerar a reação.

Exemplos de estações da CASAN que utilizam este tratamento são: ETA Morro dos Quadros (Santo Amaro da Imperatriz), ETA Caçador e ETA Criciúma, na qual a figura 8 ilustra as instalações da estação de tratamento de água no morro dos quadros.



Figura 8 – Estação de tratamento de água tipo convencional

2.2.3.4 ETA Compacta fechada

São estações que também realizam o tratamento convencional, sendo que estas unidades funcionam sob pressão, forçando a entrada de água bruta pela tubulação.

Estas ETAs são adquiridas prontas com capacidades de tratamento estabelecidas pelo fabricante. Em geral são utilizadas em cidades de pequeno porte.

A ETA da cidade de Meleiro, em Santa Catarina, mostrada na figura 9 é uma ilustração de uma ETA fechada compacta.

2.2.3.5 Filtração Direta Ascendente

As águas apropriadas para este tipo de tratamento possuem características de qualidade que exigem tratamento convencional, mas sem a necessidade de passagem por



Figura 9 – ETA Meleiro (fonte: CASAN)

unidades específicas para floculação e decantação. Neste tipo de ETA a filtração se dá em fluxo inverso, ou seja, de baixo para cima.

2.2.3.6 Filtração Direta Descendente

A mesma descrição de filtração direta ascendente, com a diferença de que neste tipo de tratamento o sentido do fluxo é descendente.

2.2.4 Reservatórios de Água Tratada

Os reservatórios de água tratada são unidades hidráulicas de acumulação e passagem de água situados em pontos estratégicos das cidades com o intuito de atender as seguintes situações:

- Garantia da quantidade de água;
- Garantia da adução com vazão constante;
- Garantia de absorção dos picos de demanda;
- Reserva emergencial para suprir necessidade de outra localidade;

Quanto à sua configuração, os reservatórios podem ser:

- Enterrados;
- Semi-apoiados;
- Apoiado;
- elevado;
- Stand Pipe;

Uma imagem dos tipos de reservatórios é apresentada abaixo, onde NT representa o nível do terreno:

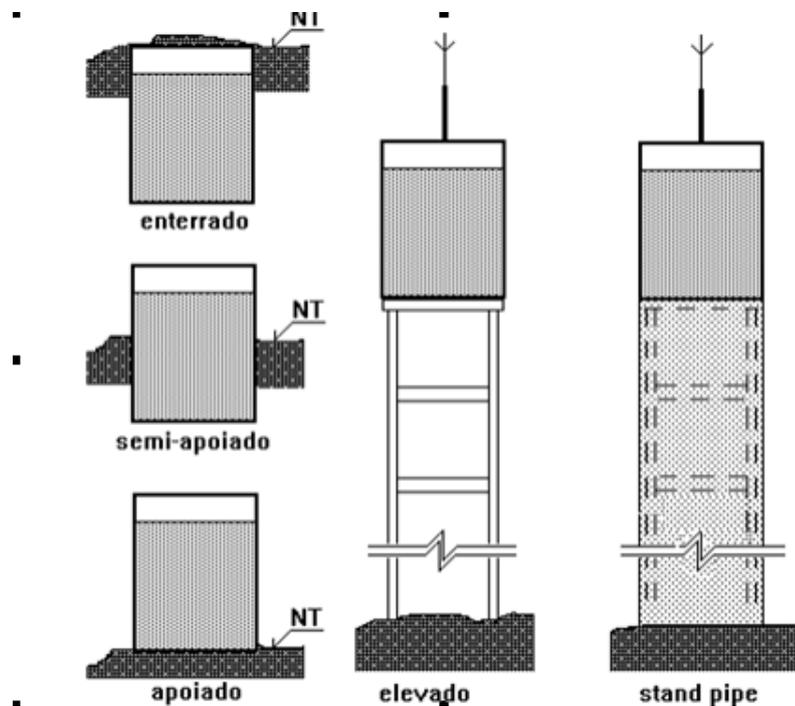


Figura 10 – Tipos de reservatórios

Um reservatório enterrado é aquele que está completamente embutido no terreno, sem ser visível. O reservatório semi-apoiado, por sua vez, é aquele onde parte da construção se encontra abaixo do nível do terreno e parte acima. O apoiado tem a laje de fundo apoiada no terreno em que se encontra, sendo totalmente visível. O reservatório elevado apoia-se em estruturas de elevação e o stand pipe é semelhante ao elevado porém contém uma estrutura de elevação emutida de forma a manter contínuo o perímetro de secção transversal da edificação.

Os dois tipos de reservatórios mais comuns são os semi-apoiados e os elevados. Os elevados são utilizados quando necessita-se uma cota piezométrica de montante superior a cota de apoio do reservatório no terreno local, ou seja, quando a rede de água necessita de uma pressão mínima e as cotas do terreno não oferecem tais condições, sendo necessário criar altura artificialmente.

Já os reservatórios semi-apoiados oferecem uma estabilidade estrutural elevada aliada a uma facilidade de construção e manutenção e são comuns quando se pode escolher um terreno de mais elevação natural. Na CASAN, encontram-se exemplos de reservatórios semi-apoiados, apoiados, elevados e stand pipe.

Em relação á localização no sistema os reservatórios podem ser:

- Montantes;

- Jusantes;

Os reservatórios montantes são os que atuam antes da rede de distribuição de água, sendo que estes tem entrada por sobre o nível máximo de água e saída no nível mínimo e tem dimensionamento efetivo para manter a vazão do sistema de adução constante.

Os reservatórios jusantes são instalados após a rede de distribuição e servem para armazenar água nos períodos em que a capacidade da rede for superior à demanda. Quando a situação se inverte eles proporcionam a água extra necessária para abastecer as comunidades. Estes tem apenas uma tubulação que serve de entrada e saída simultaneamente, localizada no fundo do reservatório.

Como a CASAN tem uma rede de distribuição de recalque, onde a meta é manter a pressão constante em todas as localidades, o nível do reservatório varia durante o dia conforme o consumo das comunidades, aumentando com o baixo consumo e diminuindo com o aumento do consumo.

2.2.5 Captação de água bruta

Existe dois tipos de fontes para o abastecimento de água, que são as águas superficiais (rios, Lagos, canais, etc) e as subterrâneas (lençóis subterrâneas). A captação de água bruta é feita em mananciais. Mananciais são todas as fontes de água, superficiais ou subterrâneas, que podem ser usadas para o abastecimento público.

A captação tem por finalidade criar condições para que a água dos manancial abastecedor em quantidade capaz de atender o consumo e em qualidade tal que dispense tratamentos ou os reduza ao mínimo possível. É, portanto, a unidade de extremidade de montante do sistema.

Os mananciais de água utilizados pela CASAN para o abastecimento da Ilha de Santa Catarina estão distribuídos em lençóis subterrâneos no norte da Ilha e superficiais nas demais regiões, sendo dez insulares e um continental.

Os mananciais superficiais, com exceção da Lagoa do Peri, são mananciais de pequeno porte e estão integrados ao sistema continental Cubatão/Pilões, e atendem a um pequeno núcleo populacional na região onde estão localizados. É interessante esclarecer que, tecnicamente, com a implantação de algumas estações de bombeamento de água, estes mananciais poderiam ser desativados. Entretanto, por questões conservacionistas e históricas, a CASAN ainda mantém estes pequenos mananciais em operação.

2.2.6 Boosters

Boosters, ou em tradução livre: intensificadores, são bombas que intercaladas à tubulação aumentam a pressão, auxiliando o escoamento de água. Estas proporcionam

a pressão necessária quando as condições topográficas ou as perdas de carga nas linhas assim o exigirem.

Em um booster, as duas variáveis em questão são a pressão de sucção e a pressão de recalque. O equipamento irá atuar quando a pressão de sucção estiver abaixo de um valor nominal estudado, fazendo com que a pressão de recalque (saída) atinja este valor através da atuação do motor.

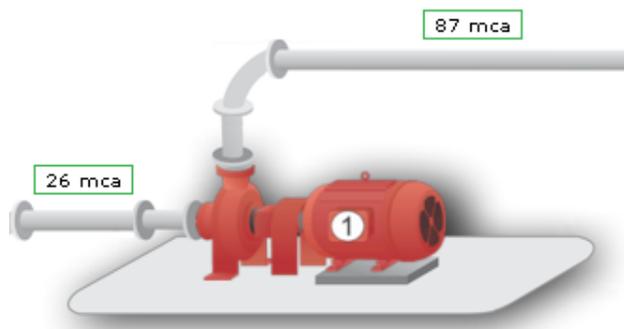


Figura 11 – Pressão de sucção e de recalque no booster

Os boosters da CASAN estão conectados ao sistema de supervisão e controle, preparada para enviar e receber informações a distancia para sistemas de supervisão e controle através de uma painel de telemetria. Na figura pode-se observar o valor da pressão de sucção e a pressão de recalque do booster.

O sistema scadabr oferece telas de monitoramento dos boosters, contendo leds, alarmes de falta de energia ou fase assim como informações da corrente (A), frequência (Hz) e velocidade (rpm).

2.3 Desafios Operacionais da CASAN

Nas secções anteriores foram demonstrados os tipos dos processos operacionais da CASAN, com finalidade de situar o contexto do trabalho e iniciar a base do trabalho.

A empresa abrange varias áreas de conhecimento técnico, enfrentando problemas, dificuldades complexidades operacionais muito ampla. O uso de um conjunto de ferramentas computacionais e na capacitação interna faz parte da CASAN no controle de perdas físicas e comerciais, e um dos principais desafios da concessionária de saneamento.

Associando banco de dados já usados pelo seu corpo técnico à ampliação de sua capacidade de macromedição e de telemetria, a Companhia investe na implementação do sistema integrado de gerenciamento operacional.

Com a divisão de superintendências, os esforços podem ser concentrados mais exclusivamente na região de atuação, focando a resolução dos problemas destas áreas.

Em Florianópolis, um grande problema é o aumento da população nas época balnear, faz com que a rotina de trabalho, planejamento e dimensionamento de sistemas de abastecimento de água e captação de esgoto seja muito difícil.

Voltado mais para a Automação, os grandes desafios nesta área dentro da empresa são relacionados mais a área operacional em si. Florianópolis possui centenas de pontos de operação da CASAN, onde algum tipo de equipamento realiza uma função citada nos capítulos anteriores. A falta de um padrão em alguns casos e a falta de ferramentas de auxílio para os operadores causam o efeito de muitos destes pontos não estarem alinhados aos preceitos de eficiência necessários.

A empresa vem buscando novas alternativas sustentáveis e soluções em automação que atendem bem os anseios do nicho de operação da empresa. No departamento onde trabalho é justamente oferecer soluções que possam ser facilmente aceite e utilizada pela base operacional.

A implementação dos processos automatizados vem lentamente ganhando espaço na CASAN, visto que esta mudança deve transpor a barreira pessoal, onde os funcionários que há muitos anos fazem o mesmo procedimento. A falta de profissionais especializados em automação e questões de ordem financeira são os principais motivos para ainda os processos não sejam totalmente automatizados, porém há que atender as necessidades da empresa sem ferir o ego ou emocional dos funcionários, fazendo com que eles se sintam valorizados pelo trabalho e que ganham uma ferramenta de auxílio para a realização das atividades e não uma ferramenta que irá substituí-los.

No caso desse projeto, há uma consciência que criar soluções em automação visando o auxílio dos processos sem alienar os funcionários é o grande desafio em questão, e o proposto por este trabalho irá auxiliar a atingir este objetivo. Resumidamente a automação só aumenta a eficiência da empresa para melhor atender a população de Santa Catarina.

2.4 Desafio do Projeto

Diante da necessidade da CASAN de melhorias no setor da operacional, e da complexidade dos processos, tentar adotar uma estratégia que promove uma fácil resolução, particionando os problemas em parte para que possam ser analisados separadamente e posteriormente encontrar uma solução flexível e global.

Nesta concepção de solução bottom-up, são os pequenos avanços em soluções para problemas específicos que vão se generalizando com o aumento da aceitação por parte da empresa até atingir processos maiores e sistemas mais complexos.

O objetivo deste trabalho então não é apenas promover um auxílio a uma operação singular do processo, mas também incentivar a pesquisa de outras soluções, construindo

um círculo virtuoso de realizações.

3 Fundamentação Teórica

Este capítulo discorre sobre aspectos conceituais, teorias gerais e técnicas. Fundamentalmente nele é formalizado o problema que gerou a solução em questão e uma breve análise. Definido problema, também são apresentadas, neste capítulo, as técnicas para a solução propostas. É realizado o embasamento teórico por detrás de cada tecnologia empregada, bem como suas vantagens, desvantagens e adequação ao projeto. Ao final do capítulo, é apresentado de forma geral a base do projeto, para que no próximo capítulo a solução específica seja estudada.

3.1 Descrição do Problema

A Estação de Tratamento de Água do Morro dos Quadros possui capacidade de 2.000 L/s, possibilitando o abastecimento de cerca de 700 mil usuários nos municípios de Florianópolis, São José, Biguaçu, Palhoça e Santo Amaro da Imperatriz. A referida estação está localizada no município Palhoça/SC é do tipo Filtração Direta de Fluxo Ascendente. É composta por 12 filtros e 24 células que recebem água na maior parte do tempo somente do manancial de Pilões, sendo que em havendo necessidade é acionada a captação do Rio Cubatão.

A Captação do Rio Pilões é a principal captação do Sistema Integrado da Grande Florianópolis e está localizado na Unidade de Conservação da Serra do Tabuleiro. A água captada é conduzida por gravidade até a ETA Morro dos Quadros.



Figura 12 – Rio Pilões (fonte: CASAN)

O Rio Cubatão, apesar de ter uma maior área de drenagem que o Rio Pilões (e ainda o tem como afluente), é utilizado apenas em casos de estiagem, visto que a sua água

tem as características de cor e turbidez superiores ao do Rio Pilões. A água captada é bombeada à ETA Morro dos Quadros.



Figura 13 – Rio Cubatão (fonte: CASAN)

Da mesma forma, dependendo da qualidade da água bruta é utilizada a coagulação/floculação através da dosagem de Sulfato de Alumínio para auxiliar na tratabilidade da água.

Para um melhor entendimento das unidades operacionais que compõe a ETA Morro dos Quadros, bem como do seu funcionamento, é apresentado a seguir um fluxograma das etapas de tratamento.

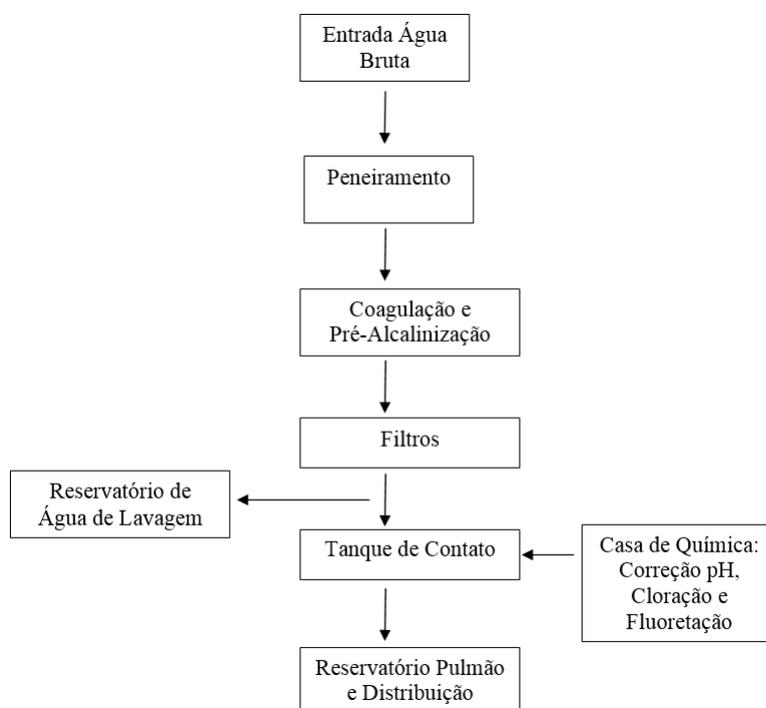


Figura 14 – Fluxograma das etapas de tratamento

Na estação de tratamento de água do Morro dos Quadros, foi instalado em 2011 um sistema de automação que contemplou a substituição das bombas dosadoras de cal, de

sulfato de alumínio e a substituição do sistema de cloração. Para o controle de qualidade do tratamento foram instalados sensores para medição online de Turbidez e pH da água bruta; de Turbidez, pH, Cloro e Flúor para a água tratada e medidor da corrente de fluxo para água coagulada, a fim de otimizar a dosagem de coagulante.

A operação e supervisão de todo o sistema é realizado a partir do supervisório gráfico instalado na sala dos operadores (CCO), estando também disponível para o Engenheiro responsável pela estação. A implantação do sistema representa uma grande melhoria do processo de tratamento, pois permite automaticamente o ajuste das dosagens dos produtos químicos de acordo com as variações da qualidade da água bruta e refletirão num melhor controle de qualidade da água por apresentar todas as informações online para os operadores da estação.

O sistema de automação funciona de tal modo em que ocorre a concentração de todos os dados lidos no processo no microcomputador do CCO (Centro de Controle e Operação) o qual, por sua vez, executa as ações de modo a dosar a quantidade necessária dos produtos químicos no processo.

Neste computador, ocorre a concentração dos dados provenientes da leitura da instrumentação analítica por meios de fios com sinal de 4 a 20 mA que são lidos e transformados na escala apropriada para cada instrumento. Além de tais sinais, os dados da vazão instantânea são lidos através do protocolo modbus mestre-escravo no qual o computador é o mestre.

Na ETA existe um espaço exclusivo para que o operador exerça o controle de qualidade da água através da realização de análises físico-químicas. Esse espaço é denominado de Laboratório Operacional, fica situado no segundo piso da estação. Esse laboratório possui os equipamentos básicos para as análises de controle operacional do tratamento, exigidas pela portaria ministerial em vigor.

Com a implantação do sistema de automação, as análises de pH e Turbidez de água bruta; medidor da corrente de fluxo da água coagulada; pH, Turbidez, Cloro e Flúor passaram a ser realizadas automaticamente em modo online. Já o parâmetro Cor por não dispor de instrumentação analítica deverá continuar sendo realizado pelo operador no Laboratório Operacional. Mesmo que através do sistema de automação a ETA esteja realizando análises online para o controle de qualidade da água, sugere-se que diariamente o operador realize uma análise através dos equipamentos do Laboratório para comparação dos resultados.

Encerrado o processo de tratamento, a água é conduzida até as adutoras de distribuição que são em número de cinco, sendo que uma se encontra em fase de construção. A partir daí, segue para toda a rede. Além disso, também é armazenada em um reservatório chamado de Pulmão, para o caso do consumo ser muito elevado e a estação não conseguir

suprir a demanda.



Figura 15 – ETA Morro dos Quadros (fonte: CASAN)

O reservatório Pulmão, localizado na ETA Morro dos Quadros possui capacidade de reservação de $7500m^3$ sendo 20 % desse volume, ou seja, $1500m^3$, é disponibilizado para a rede de distribuição.

O sistema macro adutor por gravidade, inicia na ETA e segue até R1 na ilha de Florianópolis, a extensão total entre estes dois pontos é de ordem de aproximadamente 25 km e a adução é efetuada por gravidade a partir da ETA. Com a energia gravitacional e fluxo de água alimenta aos diversos centros de reservação da ilha que estão instalados em cotas variando de 44,60 m (R1) 46,37 m (R5) para o nível máximo de água.

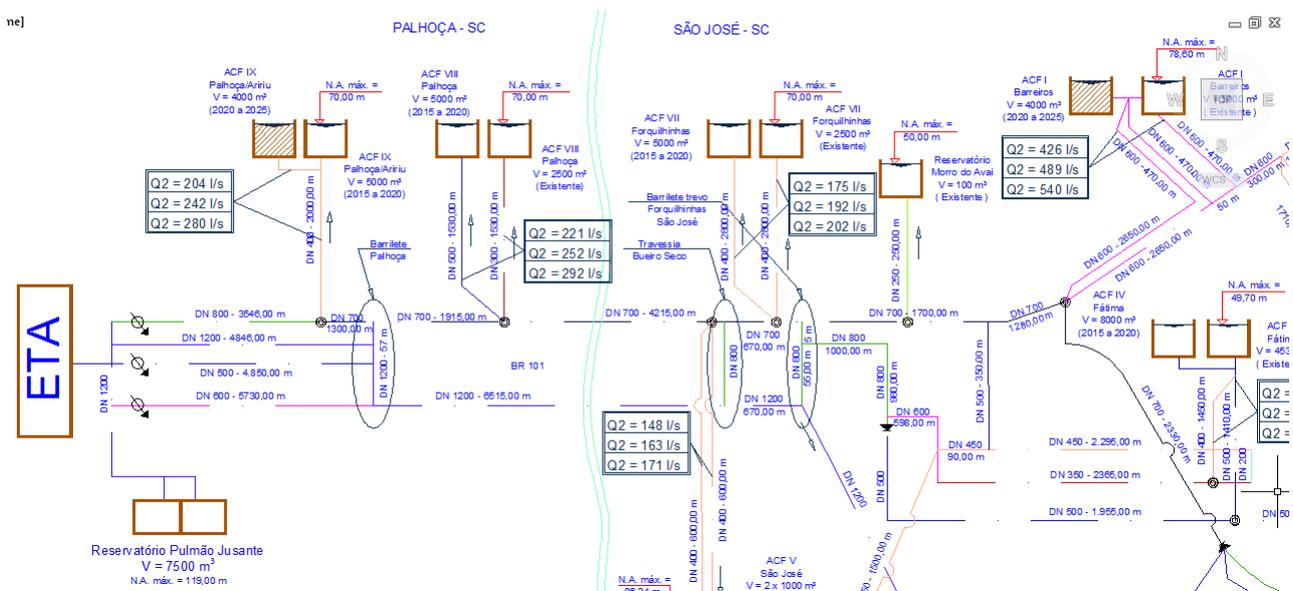


Figura 16 – Croqui do sistema macro adutor por gravidade (Fonte: CASAN)

As adutoras apresentam um caminhamento paralelo entre si, ao longo da BR101, sentido norte. Existem várias interligações entre as adutoras, ficando com a conformação de

vários anéis intermediários, de modo que este sistema apresente um comportamento similar a uma grande adutora de diâmetro equivalente que percorre quase toda sua extensão. Em São José, faz-se a medição da pressão na rede adutora, neste local existe uma unidade que fica monitorado 24 horas por dia a variação da pressão da rede.

Com isso o problema proposto é realizar controle de pressão da adutora 1200 mm manipulando a abertura da válvula via ScadaBR de maneira a deixar a pressão entre 76 à 84 mca.

3.1.1 Problema Foco

Atualmente o controle é feito por um operador que ajusta o posicionamento da válvula através de uma requisição do operador em termos de percentuais (0 a 100%). Essa requisição pode ser realizada através da IHM ou por sistema de supervisão, possibilitando inclusive o comando via celular ou microcomputador.

O supervisório mostra em tempo de execução a posição atual da abertura da válvula em forma percentual (0 a 100%), ela também mostra a posição requerida, que é a posição estabelecida pelo sistema/operador para ser alcançado. o nível do reservatório pulmão e a pressão na rede também podem ser acompanhados no supervisório.

Nesse projeto, o foco principal é o de automatizar este processo deixando o sistema totalmente autônomo sem que haja ação direta do operador.

3.2 Conceitos Teóricos

Para o desenvolvimento da projeto, é importante um embasamento teórico das prováveis soluções, apresentando os conceitos e de que maneira estas soluções atingem os objetivos propostos. As áreas de conhecimento técnico abordados que servirão de base para a solução do problema estão estruturados da seguinte maneira:

- Identificação e modelagem de sistemas;
- Interface;
- Controle;
- Atuação;
- Redes e transmissão de dados;
- Medição;
- ScadaBr;

- Telemetria;

A classificação e estruturação das áreas do conhecimento técnico tem com objetivo sistematizar informações sobre o desenvolvimento científico e tecnológico e um engenheiro de controle e automação ciente das suas capacidades adquiridas durante o curso consegue aliar diversos conhecimentos de determinadas áreas de engenharia para resolver problemas.

A área de identificação e modelagem de sistemas, vem se desenvolvendo no meio acadêmico e é de extrema importância para representação de modelos matemáticos o comportamento de sistemas a ser estudados.

A área de interface é o canal que permite a fácil visualização das informações e atuação dos processos.

A área de controle, por sua vez, irá unir o resultado da leitura dos elementos sensores com a ação dos elementos atuadores. É no controle que a lógica de execução é proposta e seguida.

Para redes e transmissão de dados, o importante é como os elementos descritos acima, se comunicam entre si e trocam informações e comandos por meio de protocolos. O papel pode ser definido como o elemento de ligação entre dois ou mais blocos distintos que desejam se comunicar, alcançando o objetivo geral do controle.

A medição é o elemento pelo qual se obtém a mensuração da grandeza referente ao processo, e baseado nesta medição o controlador deve ser capaz de tomar decisões e também através dela pode-se saber se a grandeza gerada está nos levando a decisão requerida.

Scadabr é um supervisor que permite desenvolvimento de aplicações automatizadas em qual quer ambiente.

Por fim a telemetria, que está fortemente ligado ao supervisor scadabr juntamente com outros elementos nomeadamente com instrumentos de medição e atuação registrar, e enviar via rede informações de um processo.

Depois de apresentar as áreas de conhecimentos que serão abordados nesse projeto, podemos sintetizá-los em um único diagrama que servirá de base para a concepção do projeto.

Neste esquema, a interface é o canal de comunicação entre o operador e o controle sendo que esta recebe as informações do controlador para apresentar dados e envia comandos para alterar o controle. Este por sua vez, envia comandos via rede para o atuador depois de decidir sua lógica com as informações do sensor proveniente do processo. O atuador altera fisicamente o processo, que reage a esta alteração definindo uma nova operação, que por sua vez é captada pelo sensor e começa um novo ciclo.

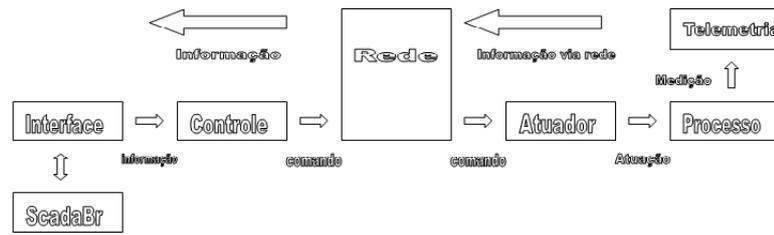


Figura 17 – Diagrama do fluxo de troca de informações

Nas próximas secções será aprofundado cada área de conhecimento apresentados neste tópico.

3.2.1 Identificação e Modelagem de sistemas

A identificação de sistemas, também conhecida como modelagem empírica, é a área de conhecimento que estuda maneiras de modelar e analisar sistemas a partir de observações, ou seja de dados [5]. O modelo originado dessa abordagem deve ser capaz de reproduzir uma noção do comportamento do sistema, a partir da qual, por exemplo um controlador poderá ser projetado para atingir um determinado desempenho, e também deve ter a capacidade de predição, estimação de parâmetros de estados, simulação, etc...

A identificação para controle é a tentativa de integrar a etapa do experimento de identificação do modelo ao projeto de controladores robustos. Em outras palavras, as técnicas de identificação para controle têm o objetivo de obter o modelo matemático do processo que seja apropriado para o projeto de controladores robustos [6].

A seleção de modelos matemáticos e o ajuste dos parâmetros são influenciados por diversos fatores entre os quais: (i) conhecimento *a priori* do sistema (linearidade, grau de não linearidade, atraso de transporte); (ii) propriedade do modelo do sistema identificado (complexidade); (iii) seleção da medida do erro a ser minimizado; (iv) presença de ruídos [7].

3.2.1.1 Etapas de Identificação de sistema Lineares

A identificação de sistemas se propõe a obter um modelo matemático que explique a relação de causa e efeito, em parte e de forma aproximada, presentes nos dados de entrada $u(k)$, e de saída $y(k)$ [5].

As principais etapas de um problema de identificação de sistemas são:

1. **Testes dinâmicos e coleta de dados.** Como mencionado anteriormente a identificação obtém modelos através de dados, logo e necessário gerar tais dados. O

desejável e efetuar testes para a extração de dinâmica(s) do sistema.

2. **Escolha da representação matemática a ser usada.** Nesta etapa é decidido o modelo a ser usado para representar o sistema. No caso deste projeto, no domínio do tempo, os modelos utilizados são o ARX, ARMAX, modelo de erro na saída e modelo Box-jenkins. No domínio da frequência, tem-se a identificação no domínio paramétrica da resposta em frequência.
3. **Determinação da estrutura do modelo.** No caso de modelos lineares, a estrutura e a escolha do número de polos e de zeros, e a determinação do atraso puro de tempo.
4. **Estimação de parâmetros.** Essa etapa é a escolha do algoritmo a ser utilizado para a estimação dos parâmetros do modelo, os quais vêm da etapa 2 e 3.
5. **Validação do modelo.** Tendo uma família de modelos é necessário verificar se as características de interesse do sistema original estão representadas no respectivo modelo. Como parte principal deste projeto tem-se a motivação para a comparação de modelos entre si a fim de decidir sobre um candidato melhor para utilizar no contexto de controle.

Para simplificar o processo de identificação são feitas algumas considerações como: o sistema se comporta de maneira linear ou aproximadamente linear dentro da faixa de operação a ser avaliada e usada para identificação; o sistema deve ser invariável no tempo, ou seja, o comportamento dinâmico do sistema uma vez modelado permanece inalterado; e por último, o sistema deve ter parâmetros concentrados para que o modelo apresente equações diferenciais ordinárias, não parciais. Isso implica que as variáveis de interesse variam somente com o tempo e não no espaço.

Praticamente todos os sistemas reais são contínuos no tempo, apesar disso, a representação de modelos dinâmicos discretos no tempo é de grande utilidade visto que a maioria dos métodos de identificação estocásticos tem como resultado um sistema discreto no tempo. Tais métodos são conhecidos como algoritmos para a estimação de parâmetros e a seguir serão apresentadas duas representações matemáticas adequadas a esse tipo de identificação de sistemas.

3.2.1.2 Modelo ARX

O modelo ARX é representado segundo a equação 3.1. O ruído $v(k)$ presente diretamente na equação faz com que o modelo ARX seja classificado como sendo da classe de modelos de identificação baseado no erro de previsão.

$$y(k) = \frac{B(q)}{A(q)}u(k) + \frac{1}{A(q)}v(k) \quad (3.1)$$

sendo $A(q)$ e $B(q)$ polinômios arbitrários da seguinte forma:

$$A(q) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_naq^{-na} \quad (3.2)$$

$$B(q) = 1 + b_1q^{-1} + \dots + b_n bq^{-nb} \quad (3.3)$$

e o q^{-1} operador atraso, de forma que $y(k)q^{-1} = y(k+1)$

O sinal $e(k)$ representa o erro na equação e é um ruído não branco que aparece adicionado à saída. Nesta representação o ruído é modelado como um processo branco que passa por um filtro auto-regressivo, com polos idênticos aos do processo, pois $e(k) = v(k)/A(q)$.

Na figura 18 pode ser apreciada a representação da equação 2.1 em diagrama de blocos do modelo ARX. Na figura 19 o diagrama de bloco referente a mesma equação do modelo, após algumas manipulações, para facilitar o entendimento do porque o modelo pertencer a classe de modelos para identificação baseada no erro de previsão.

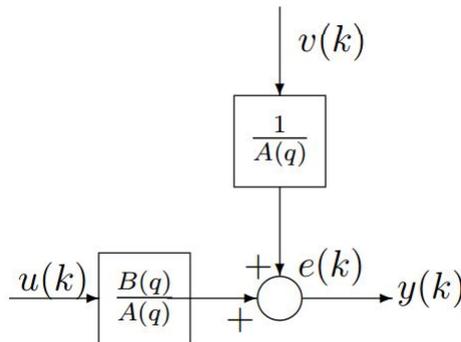


Figura 18 – Representação esquemática do modelo ARX (Fonte: Aguire 2004)

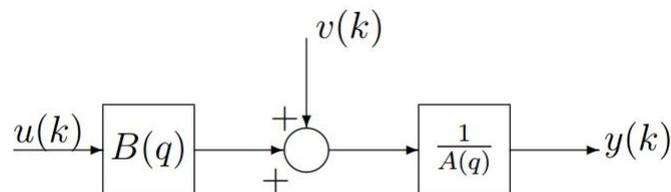


Figura 19 – Representação esquemática do modelo manipulado ARX (Fonte: Aguire 2004)

3.2.1.3 Modelo ARMAX

O modelo ARMAX é representado pela equação 3.4, onde os polinômios $A(q)$, $B(q)$ e $C(q)$ são arbitrários com o formato da equação 3.2 para $A(q)$, equação 3.3 para $B(q)$ e

da equação 3.5 para $C(q)$.

$$y(k) = \frac{B(q)}{A(q)}u(k) + \frac{C(q)}{A(q)}v(k) \quad (3.4)$$

$$C(q) = 1 + c_1q^{-1} + \dots + c_{nc}q^{-nc} \quad (3.5)$$

Semelhantemente ao modelo ARX, o ARMAX pertence a classe de modelos de identificação baseado no erro de previsão como e representado na figura 20. No que se refere ao ruído adicionado a saída, $e(k)$, e modelado como um ruído branco pelo filtro $C(q)/A(q)$.

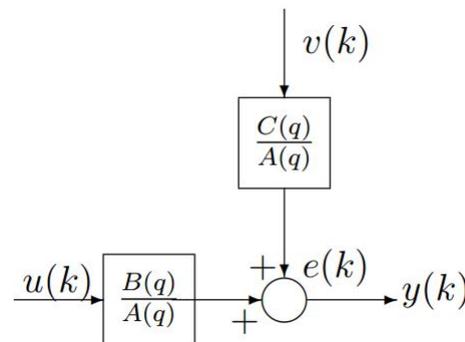


Figura 20 – Representação esquemática do modelo ARMAX (Fonte: Aguire 2004)

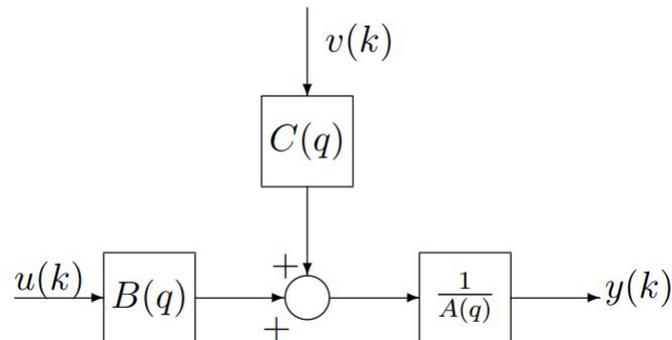


Figura 21 – Representação esquemática do modelo manipulada ARMAX (Fonte: Aguire 2004)

3.2.1.4 Modelo de Erro na Saída

Este modelo pode ser obtido a partir do modelo geral tomando-se $A(q)=C(q)=D(q)=1$ e $B(q)$ e $F(q)$ polinômios arbitrários, resultando em:

$$y(k) = \frac{B(q)}{F(q)}u(k) + v(k) \quad (3.6)$$

sendo que o fato ruído branco $v(k)$ ser diretamente adicionado a saída justifica o nome desta classe de modelos. É comum representar esse tipo de modelo usando uma variável auxiliar $w(k)$

$$F(k)w(k) = B(q)u(k) \quad (3.7)$$

$$y(k) = w(k) + u(k) \quad (3.8)$$

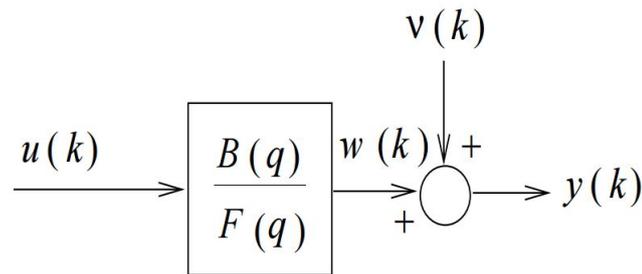


Figura 22 – Representação esquemática do modelo de erro na saída (Fonte: Aguire 2004)

3.2.1.5 Modelo de Box-Jenkins

Este modelo pode ser obtido a partir do modelo geral tomando-se $A(q)=1$ e polinômios arbitrários, resultando em:

$$y(k) = \frac{B(q)}{F(q)}u(k) + v(k) \quad (3.9)$$

As funções de transferências do sistema $B(q)/A(q)$ e do ruído branco $C(q)/D(q)$ não tem parâmetros comum, ou seja, são independentemente parametrizados. O modelo Box-Jenkins também é do tipo erro na saída:

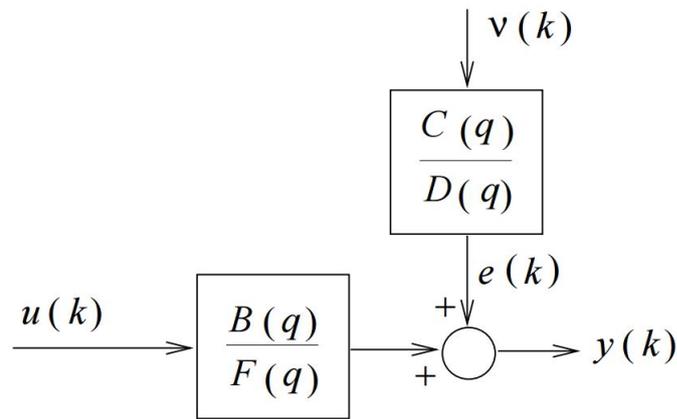


Figura 23 – Representação esquemática do modelo Box-Jenkins (Fonte: Aguire 2004)

3.2.1.6 Determinação da estrutura do modelo e estimação dos parâmetros

A determinação da estrutura do modelo e a escolha do grau de cada um dos polinômios $A(q)$, $B(q)$ e $C(q)$. Em particular, a representação por uma equação a diferenças de um modelo ARX tem $n_a + n_b + 1$ parâmetros a estimar, conforme a seguir:

$$y(k) = -a_1y(k-1) - a_2y(k-2) - \dots - a_{n_a}y(k-n_a) + b_0u(k) + b_1u(k-1) + b_{n_b}u(k-n_b) + \epsilon(k) \quad (3.10)$$

onde $\epsilon(k)$ é o erro de modelagem, o erro de medição ou o ruído na saída do tipo estocástico, determinístico ou offset.

A técnica de estimação de parâmetros utilizada e denominada de Estimador de Mínimos Quadrados (MQ). O método é um dos mais conhecidos e mais utilizados nas mais diversas áreas, a origem da ideia básica pode ser encontrada nos trabalhos de Gauss sobre estudos astronômicos [5].

A seguir uma breve noção de como aplica-se o MQ. Os valores de $a_1, a_2, \dots, a_{n_a}, b_1, b_2, \dots, b_{n_b}$ são os valores a serem estimados que formam o vetor de parâmetros θ . A matriz de regressores Ψ é formada pelos valores da saída (k) e da entrada (k) , logo o estimador linear dos parâmetros θ é dado por pela equação 3.11, onde y é o vetor de saída formado pelos sinais $y(k)$ do sistema.

$$\theta = [\psi^T \psi]^{-1} \psi^T Y \quad (3.11)$$

Exemplo é válido somente para o modelo ARX, sendo que o problema MQ em modelos ARMAX é um problema de otimização não linear.

3.2.2 Interface

A interface tem o objetivo também de facilitar a inspeção visual de variáveis e estados do processo, bem como apresentar mensagens de atenção e emergência.

As interfaces podem ser funcionalmente e estruturalmente muito simples como teclados ou botões, sendo que sua complexidade pode aumentar conforme as aplicações, como por exemplo, um computador.

Quanto ao tipo, as interfaces possuem diversas classificações, porém três delas são mais importantes dentro do contexto da automação, sendo que uma será utilizada por este projeto. São elas:

- Graphical User Interface (GUI): são interfaces que aceitam entradas via teclados e mouse e geram saídas em telas de computadores.
- Interface baseada em web: podem prover controles em tempo real utilizando programas separados em localidades diferentes. A interface entre controlador e controle é feita baseada no envio de páginas tipo web.
- Telas de toque: São dispositivos que aceitam entradas via toque de dedos ou canetas especiais. Com o aumento da popularidade de dispositivos móveis utilizando esta tecnologia, hoje é comum encontrarmos interfaces deste tipo em nossos lares.

Uma interface de caráter industrial que chama a atenção é a interface comumente chamada de IHM (Interface Homem-Máquina). Esta interface tem uma gama de aplicação muito grande na área de automação e por se constituir de uma interface totalmente programável provém uma flexibilidade desejável neste projeto

3.2.2.1 Interface Homem-Máquina

As Interfaces Homem-Máquina, ou simplesmente IHM, representam uma forma de conferir mais produtividade e flexibilidade aos sistemas informatizados. As interfaces de tela gráfica e colorida dão ao sistema melhores condições para o controle e supervisão do número de variáveis existentes.

As IHMs são disponíveis em duas opções, a saber, hardware específico e software executado em computador.

O hardware é um dispositivo totalmente integrado ao controlador adotado, normalmente, adapta-se bem ao ambiente industrial, porém só pode ser utilizado com os equipamentos disponíveis pelo fabricante eleito. Os softwares permitem que projetista tenha várias opções de comunicação com quaisquer marcas e modelos disponíveis no mercado. É a análise do custo x benefício e as exigências de cada sistema que determinarão o uso de uma ou de outra forma de IHM.

O desenvolvimento tecnológico que possibilitou o uso de visores alfanuméricos, teclados de funções e comunicação serial e fez as IHMs como as conhecemos hoje, apresenta diversos benefícios, tais como a facilidade de programação e manutenção, a alteração de parâmetros do processo, maior flexibilidade frente às alterações necessárias no campo, além de uma operação totalmente amigável.

Entre as diversas aplicações da IHM podemos citar:

- Visualização de alarmes em caso de condições anormais do sistema;
- Visualização de dados de equipamento de uma linha de produção;
- Visualização de dados de processo da máquina;
- Alteração de parâmetros do processo;
- Operação em modo manual de componentes da máquina;
- Alteração de configurações de equipamentos

Através da visualização gráfica em cores e com alta definição o operador pode obter informações precisas a respeito do status do processo de forma muito mais prática e rápida.

A comunicação entre a IHM e o controlador usualmente se dá por meio de um protocolo de comunicação específico que reproduz as variáveis do processo (Tags) na IHM. Uma Tag é, portanto, uma variável do tipo discreta, numérica ou alfanumérica, que, por ser bidirecional no sentido da comunicação entre o controlador e IHM, monitora o status do controlador e envia valores a ele.

As IHMs permitem armazenar conjuntos de setpoints gravados em arquivo que definem as diversas parametrizações do sistema, ou receitas de produção quando são enviados ao controlador. Assim, com um simples envio de comando, é possível, por exemplo, alterar rapidamente a produção de um determinado tipo de peça para outro tipo.

Quanto à alarmes, se desejado, as IHMs têm a capacidade de, através de sinais de alarme, isentar a CPU do controlador de monitorar situações anômalas do processo.

3.2.3 Controle

O sistema de controle é o ramo da engenharia que trabalha com o comportamento dinâmico de um dado sistema para a variação de entrada e saída. Um sistema pode ser sistema controlado, quando a saída é controlada para seguir uma referência e o controle manipula as entradas do sistema para obter o efeito desejado na saída do sistema. O objetivo genérico do controle é calcular soluções que gerem a ação corretiva apropriada que resultem em estabilidade do sistema.

Os primeiros sistemas de controle foram desenvolvidos durante a revolução industrial, no final do século 19. As funções de controle eram implementadas através de engenhosos dispositivos mecânicos, os quais automatizavam algumas tarefas críticas e repetitivas das linhas de montagem da época¹.

Uma verificação mais formal da área começou a ser desenvolvida a partir da análise dinâmica do governador centrífugo conduzida pelo físico James Clerk Maxwell em 1868 através da obra intitulada *On Governors* [8].

O Centrifugal Governor era uma espécie de dispositivo capaz de regular a velocidade de antigos motores à vapor controlando a quantidade de vapor que entrava nos mesmos, mantendo a mesma velocidade independentemente da carga a qual o mesmo era aplicado, utilizando os princípios básicos de um controlador proporcional.

Uma aplicação notável do controle dinâmico é no voo tripulado. Os irmãos Wright fizeram seus primeiros voos de teste bem sucedidos em 17 de dezembro, 1903 onde era perceptível a habilidade deles em controlar seus voos por curtos períodos (além da habilidade de produzir sustentação de um aerofólio, que já era conhecida). O controle do avião era necessário para voos seguros.

Na Segunda Guerra Mundial, a teoria de controle era uma parte importante dos sistemas de controle de incêndio, sistemas de orientação e eletrônica. A corrida espacial dependia, também do controle preciso de espaçonaves. Apesar de tudo é visto um crescente uso da teoria de controle em áreas como a Economia e Sociologia².

3.2.3.1 Controle em malha aberta e malha fechada

Antes de discutirmos os sistemas de controle, vamos definir algumas terminologias.

- **Variável controlada** é a condição que é medida e controlada, geralmente é a saída do sistema.
- **Variável manipulada** é a condição modificada pelo controlador, assim alterando o valor da variável controlada.
- **Plantas** qualquer objeto que pode ser controlado.
- **Perturbações/ ruídos** é um sinal que tende causar alterações no valor da variável de saída.

Um sistema dinâmico é um sistema cujo comportamento muda ao longo do tempo, muitas vezes em resposta a estímulos externos ou forçar. O termo realimentação refere-se a uma situação na qual dois (ou mais) sistemas dinâmicos são ligados entre si de tal modo

¹ <http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaII/Download/DownloadFiles/HistoriaControladores.PDF>

² https://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_de_controle

que cada sistema influencia o outro e sua dinâmica são, portanto, fortemente acoplado [9]. Um sistema diz-se ser um sistema de malha fechada, se os sistemas estão interligados em um ciclo, conforme mostrado na Figura 24. Se quebrar a interligação, nos referimos à configuração como um sistema de malha aberta.

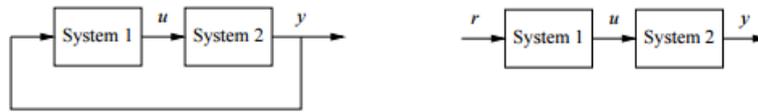


Figura 24 – Malha fechada e malha aberta.

Os sistemas de controle de malha aberta são utilizados quando os processos são relativamente simples pela sua facilidade e baixo custo de instalação e operação, especialmente em sistemas onde a realimentação não é crítica. Exemplos de sistemas de controle em malha aberta é a torneira de um chuveiro elétrico e a operação de um fogão residencial.

Uma desvantagem é que, pela falta de conhecimento das condições da saída, o sistema não tem capacidade para corrigir algum erro que ocorra quando o sistema flutua para outro ponto de operação, mesmo que este seja muito distante da referência.

Mais uma desvantagem deste tipo de controle é que os mesmos estão pobremente equipados para lidar com perturbações ou mudanças nas condições as quais podem reduzir sua habilidade em completar a tarefa desejada. Estes erros podem causar distúrbios nos processos e por isso necessitam supervisão extra dos operadores.

Com isso, pode-se resumir um controle de malha aberta como tendo as características abaixo:

1. Não há comparação entre valores atuais e desejados.
2. Não há autorregulação ou ação de controle sobre o valor da saída.
3. Cada entrada determina um ponto de operação fixo do controlador.
4. Mudanças ou perturbações não alteram o comportamento do controlador.

O controle de malha fechada, também conhecido como controle de realimentação, é um sistema que utiliza os conceitos de malha aberta para seu caminho direto, mas contém uma ou mais voltas para comparar a saída atual com a saída desejada. A medição da saída é denominada sinal de realimentação e é ela que define a ação de controle.

Estes tipos de controladores são projetados para alcançar automaticamente uma condição de saída idêntica à desejada e mantê-la nesta condição através da realimentação.

O termo malha fechada sempre implica no uso da realimentação para reduzir erros no sistema de controle, e é esta a grande diferença entre malha aberta e fechada. A precisão

da saída depende da realimentação, sendo que atualmente pode-se realizar esta medição com uma precisão muito alta, sendo o controle de malha fechada a decisão de operação na maioria dos casos.

Com isso, pode-se resumir um controle de malha aberta como tendo as seguintes características abaixo:

1. Reduz erros automaticamente ajustando a entrada do sistema.
2. Aumenta estabilidade de sistemas instáveis em malha aberta.
3. Reduz a sensibilidade do sistema a mudanças.
4. Aumenta a robustez do sistema perante perturbações.
5. Produz desempenhos confiáveis e previsíveis.

Nem sempre, os sistemas em malha fechada são aconselháveis. Nos sistemas em que as entradas são conhecidas e não estão sujeitas as perturbações, a operação em malha aberta deve ser preferida. Entretanto, quando o sistema estiver sujeito a perturbações e variações imprevisíveis devem-se preferir a operação em malha fechada. Porém, estes sistemas devem ser analisados e projetados com bastante cuidado, visto que outros problemas podem ser gerados como, por exemplo, instabilidade e oscilações.

3.2.3.2 Lógica Nebulosa

A lógica fuzzy, também conhecida como lógica nebulosa, lógica difusa, ou ainda como teoria das possibilidades, tem como base a Teoria dos Conjuntos Fuzzy introduzida pelo Professor Zadeh em seu artigo “Fuzzy Sets” publicado no ano de 1965.

A lógica nebulosa Fuzzy permite o tratamento de expressões que envolvem grandezas descritas de forma não exata [10]. Este conceito contrapõe-se ao da lógica clássica, bivalente, fundada por Aristóteles, segundo a qual uma determinada proposição somente pode assumir os valores: Verdadeiro ou Falso, representados respectivamente pelos números 0 e 1, excluindo-se definitivamente qualquer possibilidade de ocorrerem valores intermediários. Trata-se do Princípio do Meio Excluído [11].

A lógica fuzzy incorpora a forma como o ser humano realiza inferências, através de regras de raciocínio e atribuição de valores fuzzy às variáveis que observa. Valores dotados de incertezas e representados por expressões muitas vezes vagas e imprecisas. Estas variáveis, presentes no pensamento e comunicação humanos, são consideradas válidas para a lógica fuzzy, haja vista que um termo lingüístico pode ser representado por um conjunto fuzzy [12].

3.2.3.5.1 A Teoria dos Conjuntos Fuzzy

A teoria dos conjuntos fuzzy é uma extensão da teoria dos conjuntos clássica. Esta teoria foi concebida porque os graus de pertinência dos conjuntos fuzzy variam no intervalo contínuo $[0,1]$. Portanto, uma nova formalização seria necessária para descrever as operações de união, interseção e complemento.

Sejam X um conjunto de pontos, A e B conjuntos contidos em X , e $\mu(x)$ o grau de pertinência de $x, \forall x \in X$. Segue a definição das três operações básicas da teoria dos conjuntos fuzzy.

Definição 2.1 A interseção de A e B é definida como sendo:

$$\mu_{(A \cap B)}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$$

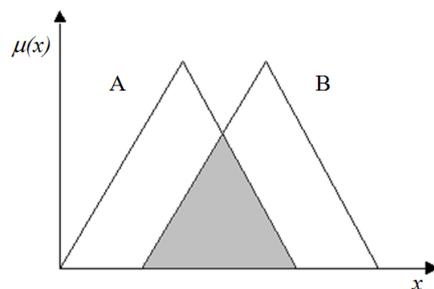


Figura 25 – Interseção de dois conjuntos fuzzy

Definição 2.2 A união de A e B é definida como sendo:

$$\mu_{(A \cup B)}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x)$$

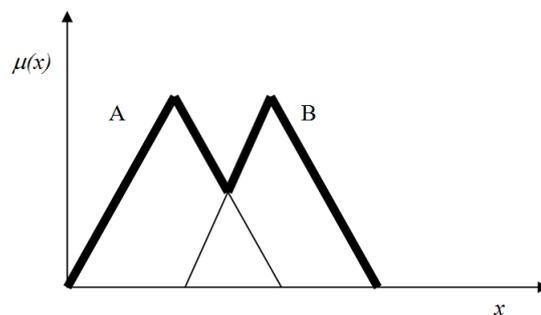


Figura 26 – União de dois conjuntos fuzzy

Definição 2.3 O complemento de A é definido como sendo:

Na teoria dos conjuntos fuzzy, as normas triangulares, ou t-norms são bastante usadas para modelar o conectivo lógico and [9 e 16]. As t-norms foram introduzidas por Schweizer and Sklar em 1963. Segue a definição da t-norm.

Definição 2.4 T-norm

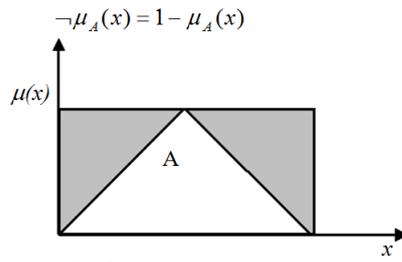


Figura 27 – Complemento conjuntos fuzzy

Um mapeamento $T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ é uma t-norm se satisfaz as seguintes propriedades:

$$T(x,y) = T(y,x) \text{ (simetria)}$$

$$T(x,T(y,z)) = T(T(x,y),z) \text{ (associatividade)}$$

$$T(x,y) \leq T(x',y') \text{ se } x \leq x' \text{ e } y \leq y' \text{ (monotonicidade)}$$

$$T(x,1) = x, \quad x \in [0,1] \text{ (identidade 1)}$$

Minimum	$\text{MIN}(a,b) = \min a, b$
Lukasiewicz	$\text{LAND}(a,b) = \max a + b - 1, 0$
probabilistic	$\text{PAND}(a,b) = ab$

Tabela 1 – T-norms básicas

As t-conorms são extensivamente usadas para modelar o operador lógico or.

Definição 2.5 T-conorm

Um mapeamento $S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ é uma t-conorm se satisfaz as seguintes propriedades:

$$S(x,y) = S(y,x) \text{ (simetria)}$$

$$S(x,S(y,z)) = S(S(x,y),z) \text{ (associatividade)}$$

$$S(x,y) \geq S(x',y') \text{ se } x \leq x' \text{ e } y \leq y' \text{ (monotonicidade)}$$

$$S(x,0) = x, \quad x \in [0,1] \text{ (identidade 0)}$$

Maximum	$\text{MAX}(a,b) = \max a, b$
Lukasiewicz	$\text{LOR}(a,b) = \min a + b, 1$
Probabilistic	$\text{POR}(a,b) = a + b - ab$

Tabela 2 – T-Conorms básicas

3.2.3.3 Regras fuzzy

Um modelo fuzzy consiste numa série de regras geradas com base no conhecimento adquirido. Os relacionamentos entre a entrada e a saída são representados pelas regras que são expressas na forma de proposições, tais como:

If x is A and/or x is B Then y is C.

Os operadores lógicos *and* e *or* representam as operações fuzzy de união e interseção, x é um escalar do domínio e A, B e C são as variáveis linguísticas. O efeito da proposição fuzzy x is A corresponde ao grau de pertinência de x sobre o conjunto fuzzy A, ou seja:

$$A \mu (x \in A)$$

Diferentemente dos modelos convencionais baseados em regras onde elas são executadas sequencialmente e algoritmos são usados para reduzir o número de regras disparadas, o modelo fuzzy é baseado no paralelismo e todas as regras são disparadas.

A velocidade da execução das regras é boa pois, um sistema baseado em lógica fuzzy necessita de poucas regras para modelar seu ambiente[5,10]. Num modelo fuzzy, a ordem de execução das regras não é importante, exceto quando uma regra depende dos resultados da execução de outras regras[10].

3.2.3.4 Inferência fuzzy

A inferência fuzzy é um processo de avaliação de entradas com o objetivo de, através das regras previamente definidas e das entradas, obter conclusões utilizando-se a teoria de conjuntos fuzzy. Esse processo pode ser feito através de modelos de inferência, cuja escolha deve levar em consideração o tipo de problema a ser resolvido, obtendo-se assim um melhor processamento. Existem vários métodos de inferência, mas o que geralmente é mais utilizado é o método Mamdani.

3.2.3.4.1 Fuzzyficação

Essa etapa obtém o grau de pertinência com que cada entrada pertence a cada conjunto fuzzy. Cada uma dessas entradas foi previamente limitada no universo de discurso em questão e associada a um grau de pertinência em cada conjunto fuzzy através do conhecimento do especialista. Então para obter o grau de pertinência de uma determinada entrada crisp basta buscar esse valor na base de conhecimento do sistema fuzzy.

Para o exemplo em questão, tem-se os conjuntos fuzzy e graus de pertinência para cada uma das variáveis de entrada, conforme mostrado na figura 28.

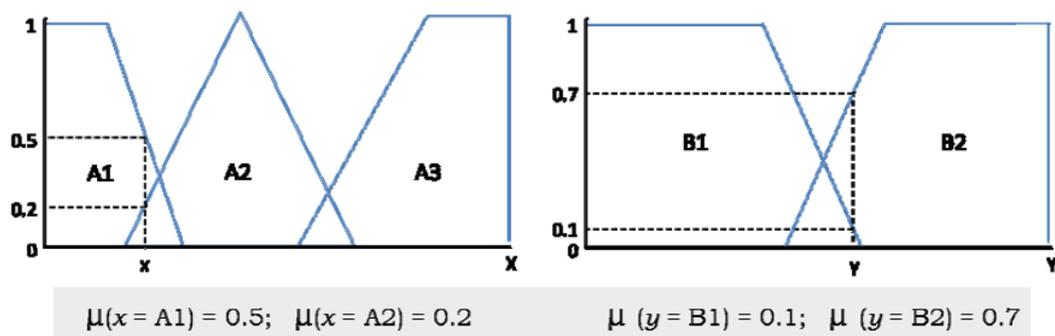


Figura 28 – Fuzzyficação das variáveis linguísticas de entrada x e y, resultando nos seus respectivos conjuntos fuzzy e graus de pertinência

3.2.3.4.2 Avaliação das regras fuzzy

Depois de obter as entradas fuzzyficadas é só aplica-las nos antecedentes obtendo assim o valor do conseqüente para cada regra. Para um antecedente composto, os operadores e e ou são utilizados para obter um único resultado; no caso do operador ou é utilizada a operação de união (pega o maior grau de pertinência), e, no caso do operador e, é utilizada a de interseção (pega o menor grau de pertinência). Depois de obter um único valor para o antecedente é necessário obter o valor do conseqüente através de um método de correlação dos mesmos. O método mais comum é conhecido como clipped, onde o conseqüente é “cortado” para o nível de valor verdade do antecedente da regra avaliada, ou seja, o valor obtido é simplesmente passado para o conseqüente dessa regra.

Por exemplo, com base nos graus de pertinência e nas correlações entre as variáveis linguísticas, têm-se as regras

- 1: IF (x is A3 (0) or y is B1 (0.1)) THEN (z is C1 (0.1))
- 2: IF (x is A2 (0.2) and y is B2 (0.7)) THEN (z is C2 (0.2))
- 3: IF (x is A1 (0.5)) THEN (z is C3 (0.5))

É importante notar que, na regra 1, com a operação ou (or), tem-se que o grau de pertinência de z é 0.1, o maior entre os graus de x e de y; de forma similar, com a operação e (and) na regra 2, o grau de pertinência de z é 0.2, o menor dentre os graus de x e y. Na regra 3 foi aplicado o clipped: como tem-se apenas um valor na variável linguística de entrada que consta no antecedente (no caso, x), então o mesmo é passado para a variável linguística de saída que consta no conseqüente (no caso, z).

3.2.3.4.3 Agregação das regras fuzzy

Como o nome sugere, nessa etapa são agregadas todas as funções membro dos conseqüentes de cada regra em um único conjunto fuzzy. Para o exemplo em questão,

considerando os conjuntos fuzzy para a variável z e respectivos graus de pertinência, produzidos pela aplicação das regras fuzzy 1, 2 e 3 (figura 28) a agregação desses conjuntos resulta no conjunto fuzzy da figura 30.

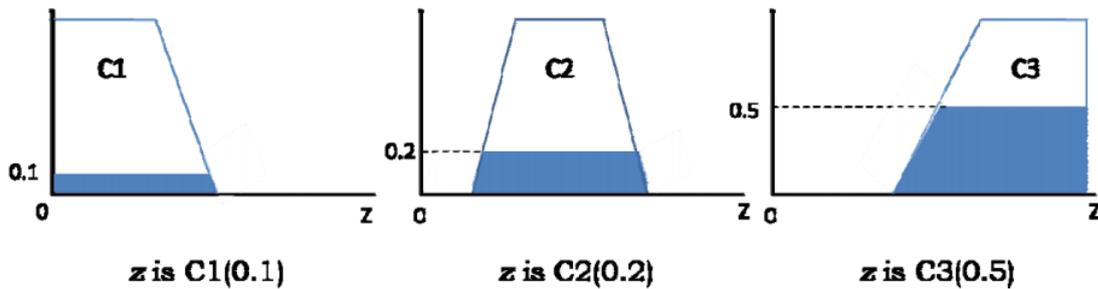


Figura 29 – Conjuntos fuzzy e graus de pertinência da variável linguística de saída z e respectivos graus de pertinência, produzidos pela aplicação das regras fuzzy 1, 2 e 3

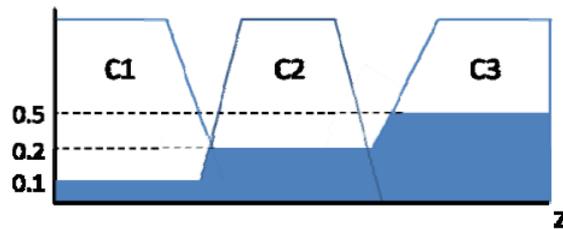


Figura 30 – Conjunto fuzzy resultante do processo de agregação das regras fuzzy 1, 2 e 3

3.2.3.4.4 Defuzzyficação

Para se obter uma saída numérica é necessário defuzzyficar a saída obtida na etapa anterior. O método de defuzzyficação mais comum é a técnica do centróide, que obtém o ponto onde uma linha vertical divide ao meio um conjunto agregado. A fórmula matemática que obtém esse ponto é expressa da seguinte forma (expressão 3). A precisão do método depende do intervalo escolhido, quanto maior mais impreciso, porém mais rápido de calcular.

$$COG = \frac{\sum_{i=a}^b \mu(x)x}{\sum_{i=a}^b \mu(x)} \quad (3.12)$$

Considerando o conjunto fuzzy da figura 30, o resultado numérico obtido com a aplicação da técnica do centróide (COG) é dado por (considerando intervalos percentuais de 10%, variando de 0% a 100%)

3.2.4 Atuação

A atuação é o processo pelo qual o controle tem acesso a alguma alteração física no sistema de automação com o objetivo de alterar uma saída conforme leis de controle pré-definidas.

Os atuadores são os elementos que produzem movimento atendendo aos comandos, manuais, elétricos ou mecânicos³. Existem quatro tipos principais de atuadores, sendo eles:

- Atuadores Mecânicos;
- Atuadores Hidráulicos;
- Atuadores Pneumáticos;
- Atuadores Elétricos;

Um atuador mecânico funciona através da conversão de energia rotatória em energia linear para executar movimento. Isto é alcançado com o uso de polias, engrenagens, correntes e outros dispositivos que gerem este movimento.

Um atuador hidráulico consiste basicamente de um motor que utiliza de energia hidráulica para facilitar operações mecânicas. Esta operação mecânica gera movimentos que podem ser lineares, rotatórios ou oscilatórios. Devido ao fato de que líquidos não podem ser comprimidos, um atuador hidráulico pode atingir forças muito altas, porém é limitado em velocidade e aceleração⁴.

Um atuador pneumático converte energia proveniente de ar comprimido em altas pressões em movimento linear ou rotatório. Energia pneumática é empregada quando se deseja respostas rápidas de inicialização e parada de movimento, e tem como vantagem a fonte de energia ser renovável⁵.

Um atuador elétrico é alimentado por energia elétrica e a transforma em um torque mecânico. É um dos tipos de atuação mais utilizados nas indústrias pela sua facilidade de instalação e diversidade comercial muito grande de modelos de atuadores diferentes⁶.

Na CASAN, a maioria dos atuadores é elétrico, porém em alguns casos, quando a carga a ser movimentada é extremamente grande, onde são empregados atuadores pneumáticos e hidráulicos.

Como neste projeto, o atuador a ser utilizado é do tipo motor elétrico, um pouco mais sobre este dispositivo é comentado no tópico abaixo.

³ <https://pt.wikipedia.org/wiki/Atuador>

⁴ <https://pt.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%A1ulica>

⁵ <https://pt.wikipedia.org/wiki/Pneum%C3%A1tica>

⁶ https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9trico

3.2.4.1 Motor Elétrico

Um Motor elétrico ou atuador elétrico [13] é qualquer dispositivo que transforma energia elétrica em mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da energia elétrica - baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando – com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos.

Motores elétricos podem ser alimentados com corrente contínua (motores DC), tais quais baterias ou retificadores de onda, ou alimentados por corrente alternada (AC), tais quais suprimento de energia da rua, inversores ou geradores.

Como principais partes do motor podem-se citar:

- Rotor.
- Estator.
- Enrolamento.
- Comutador.

O rotor é a parte que se movimenta de um motor, sendo que este é responsável pelo giro do eixo, entregando a energia mecânica ao processo. Nos rotores ficam geralmente localizados condutores que carregam correntes elétricas capazes de interagir com o campo magnético do estator, gerando o movimento. Em alguns casos os rotores carregam os magnetos e os estatores que possuem os campos elétricos.

O estator é a parte estática do motor, nele se encontra os enrolamentos que conduzem a corrente elétrica geradora do campo elétrico. Enrolamentos são compostos geralmente por fios metálicos enrolados ao redor de um metal imanizado, capaz de gerar polos magnéticos quando energizado com corrente.

Finalmente, o comutador é um mecanismo utilizado para alterar a entrada de alimentação de alguns motores AC e DC, fazendo com que o rotor altere seus polos magnéticos através da inversão da corrente. Na ausência de tal inversão, o motor poderia aumentar sua velocidade indefinidamente até sua falha ou quebra.

3.2.4.2 Acionamento motor Elétrico

Motores DC são geralmente alimentados por fontes de tensão contínua alimentadas por baterias, de maneira que a bateria deve ser escolhida com capacidade para drenar a corrente gerada pelo motor. Geralmente motores DC são motores de pouca potência, como pequenos motores de brinquedos, e nestes casos pilhas fornecem uma boa fonte de alimentação.

Motores AC possuem diversas alimentações distintas. Por exemplo, quando a tensão

de alimentação proveniente do sistema elétrico ou de bateria é contínua, o motor AC é acionado através de inversores, que são equipamentos capazes de transformar ondas contínuas de corrente e tensão em uma onda alternada, necessária para o motor. Quando o motor AC é de pequeno e médio porte, com poucos cavalos de potência, o acionamento pode ser realizado de forma direta, geralmente através de uma contatora bobinada, cortando a alimentação trifásica do motor quando sua bobina não está energizada e deixando passar a alimentação quando há energia em suas bobinas.

Para motores de maior porte, a corrente de partida pode causar danos ao motor, pois geralmente é muito maior que a corrente nominal, chegando a mais de cinco vezes este valor em uma partida seca. Nestes casos é necessária a utilização de um equipamento denominado Soft-Starter, que não é nada mais do que um regulador de partida de motor, aumentando lentamente a alimentação do motor durante sua partida, desta maneira protegendo o mesmo contra as altas correntes.

Na CASAN, é muito comum ver implementações destes três tipos de partida AC, sendo difícil estipular qual é o mais utilizado.

3.2.5 Redes e transmissão de dados

O envio ou transmissão de dados é o processo onde ocorre a transferência física de um dado entre componentes diferentes. Esta transmissão pode ser realizada ponto-a-ponto, onde a comunicação se faz unitariamente entre um par de elementos de cada vez, ou por difusão, onde um elemento pode transmitir seu conteúdo para diversos receptores.

Exemplos de canais de comunicação são fios trançados, fibras óticas, transmissão sem fio e dispositivos de armazenamentos, como CDs ou DVDs. Os dados são representados como sinais magnéticos tais quais: tensão elétrica, ondas de rádio, micro-ondas, ondas infravermelho, entre outros.

Enquanto que a transmissão analógica é a transferência de um sinal analógico contínuo variável (como um sensor, por exemplo), transmissão digital é a transferência de mensagens discretas. Estas mensagens são representadas ou por uma sequência de pulsos gerada por um método de codificação de linha ou por um conjunto limitado de ondas variáveis através de uma modulação (transmissão de banda passante).

3.2.5.1 Modulação

A modulação é o processo de modificação de um ou mais parâmetros de uma onda periódica, denominados sinais portadores, através de um sinal modulado o qual contém as informações a serem transmitidas.

Os três parâmetros fundamentais de uma onda são sua amplitude, frequência e fase. Qualquer um destes parâmetros pode ser modificado de maneira a se obter um sinal

modulado.

Um dispositivo capaz de realizar a modulação é conhecido como modulador, e o dispositivo que transforma o sinal modulado em sinal original é denominado demodulador.

Na modulação digital, o sinal portador analógico é modulado por um sinal discreto através de um método de modulação e transmitidos. Estes sinais ao serem recebidos, podem ser transformados novamente em sinais analógicos através do demodulador. Entre os métodos de modulação digitais podem ser citados:

- **PSK (Phase-shift keying)** Modulação por Deslocamento de Fase, converte sinais de portador modificando ou modulando a fase do mesmo

- **FSK (Frequency-shift keying)** Modulação por Chaveamento de Frequência, converte sinais de portador modificando ou modulando sua frequência

- **ASK (Amplitude-shift keying)** Modulação por Deslocamento de Amplitude, converte sinais do portador através da variação de amplitude

3.2.5.2 Canais de comunicação

Quando o assunto é redes de computação, um canal de comunicação refere-se ou à conexão física entre dois ou mais componentes para transmissão de dados (através de um fio, por exemplo) ou a conexão lógica entre estes mesmo elementos através de um canal sem fio de comunicação (ondas de rádio, por exemplo).

As topologias destes canais podem ser as mais diversas, sendo que algumas geram mais interesse industrial, com grandes aplicações e aceitação no meio, enquanto outras são mais recentes, recém-inseridas no meio.

Entre os tipos de canais de comunicação, podem ser citados: Comunicação Simplex, Half-Duplex, Full-Duplex, Ponto-a-Ponto e Multiponto. Mais sobre cada uma destas configurações é apresentado abaixo

3.2.5.3 Modbus

Modbus é um protocolo de rede criado em 1979 pela Schneider Eletric inicialmente com intuito de fazer a ligação entre sensores e CLPs. Devido a grande gama de aplicações encontradas nos últimos anos, se tornou um padrão de facto de comunicação [14].

O Modbus é tipicamente usado na comunicação de rede do tipo SCADA entre dispositivos. Por exemplo, um servidor de grande porte pode ser usado para controlar um controlador lógico programável ou controlador programável para automação, onde o CLP/PAC pode, por sua vez, controlar um sensor, válvula, motor ou qualquer outro dispositivo embarcado [15].

Existem atualmente dezenas de versões do protocolo Modbus, como Modbus TCP/IP (utilizado para comunicação Modbus em redes TCP/IP) e Modbus ASCII (representação em ASCII para comunicação). Neste projeto é utilizado o Modbus RTU, um protocolo para comunicação serial através de cabos RS-232, RS-485, Ethernet, entre outros.

O Modbus é considerado um protocolo de mensagem da camada de aplicação, a sétima camada no modelo OSI. Com isso, o protocolo deve trabalhar com pedidos e respostas para as camadas mais abaixo e entregar serviços especificados por funções de código. Estas funções de código são elementos da arquitetura do PDU (Protocol Data Unit) do protocolo.

A tabela com estas principais funções é apresentada abaixo:

Número de comandos	Descrição
01	Lê as saídas digitais.
02	Lê as entradas digitais.
03	Lê saída analógica ou memória
04	Lê entrada analógica.
05	Altera estado de uma saída digital.
06	Altera estado de uma saída analógica.
07	Lê registro de erros.
08	Função de diagnóstico de erro.
15	Alteram várias saídas digitais
16	Alteram várias saídas analógicas.

Tabela 3 – Principais funções do protocolo Modbus

Para a aplicação construir uma unidade de dados Modbus, o cliente deve iniciar uma transação Modbus. Realizada esta parte, o mestre da rede cria um pedido no formato do protocolo e envia ao escravo. O escravo recebe esta mensagem e seu servidor sabe exatamente qual ação deve tomar analisando o bit do pacote referente a função apresentada na tabela acima.

As mensagens no protocolo Modbus RTU são pacotes de tamanho variável com CRC (Cyclic-Redundant Checksum) de 16 bits. Estes CRCs são responsáveis pela validação do pacote, a através de uma soma dos valores da sequência de 16 bits, o receptor pode entender se o pacote recebido condiz com o pacote enviado através da comparação deste valor de CRC do emissor com o valor de CRC que o receptor próprio realiza

Geralmente, na camada física, o protocolo Modbus conta com fiação RS-232 ou RS-485. Estes são dois padrões de comunicação serial e tem como diferença básica o número de fios e a sua configuração no terminal DB9 (presente em ambos).

Para comunicação Full-Duplex, o RS-232 geralmente necessita de 5 fios, enquanto o RS-485 necessita de 4 fios. Outra diferença é que o RS-232 necessita necessariamente de uma configuração ponto-a-ponto, enquanto que o RS-485 permite até 32 nodos no mesmo

sistema. Expansões comerciais podem aumentar este valor para 64, 128 ou 256 nodos.

Como desvantagens do Modbus e de maneira mais geral, como desvantagem da topologia bus pode-se citar:

- Se o cabo principal falhar, todo o sistema falha.
- Reconfiguração de rede pode ser dificultosa.
- Quanto mais longe estão os equipamentos do mestre mais a potência do sinal é dissipada no meio.
- Os dados são removidos ao serem recebidos pelo escravo ou mestre, para evitar repetições na linha.
- Quesitos de segurança de pacotes contra acessos ilegais externos não são bem definidos.

Analisando os prós e contras do protocolo em questão e lembrando sempre a questão fundamental que circula este projeto, da busca pela solução adequada e que atende as especificações do problema, fica claro que utilizar o protocolo Modbus como forma de comunicação entre Arduino e IHM é a solução correta.

3.2.6 Medição

Medição é o processo de aferir valores a objetos ou eventos. Qualquer medição pode ser julgada pelos três critérios básicos: Magnitude, dimensão (unidade de medida) e grau de incerteza. Com estes três critérios básicos pode-se comparar medidas realizadas por diferentes equipamentos e julgar a qualidade e a adequação dos mesmos ao projeto.

Em automação quando se fala em medição, indiretamente se fala de sensores. Um sensor é um conversor capaz de medir/quantificar um fenômeno físico e convertê-la em um sinal analógico/ digital que pode ser lido pelo ser humano, ou na maioria dos casos por um controlador.

As principais qualidades que se procura em um sensor para automação são:

- Sensível apenas as propriedades medidas.
- Insensível às variações do meio em que se encontra.
- Não influência no processo ao qual está medindo.

É evidente que é impossível encontrar um sensor que contemple estas três qualidades totalmente, pois mudanças como, por exemplo, na temperatura, irão alterar o valor medido pelo sensor e não há como evitar. O que se busca então, ao selecionar sensores para um

projeto, é o grau de incerteza dos mesmos, ou em outros termos, a precisão que o sensor atinge na medida quando dentro de uma faixa nominal de condições.

Um característica fundamental nos sensores é a sua resolução. Resolução significa qual a menor variação no processo que será detetada pelo sensor e causará uma variação no sinal emitido pelo mesmo. Geralmente a resolução dos sensores é diretamente proporcional ao valor comercial dos mesmos, sendo que quanto maior a resolução mais caro é o equipamento.

Geralmente sensores comerciais indicam a precisão para uma faixa de temperatura, pois esta é considerada um dos fatores externos mais influenciadores nas medias. Precisões de 5% parecem ser altas a princípio, mas às vezes em casos em que a qualidade do processo permite folgas pode ser uma opção muito mais robusta que sensores com precisão na casa dos décimos de por cento. Cabe ao projetista dos sistemas adequar o sensor ao seu projeto de maneira a atingir seus objetivos.

3.2.6.1 Sensor de pressão e nível

Os sensores utilizados na CASAN são do tipo transmissor de pressão submersível, capaz de ler o nível da coluna de água através da pressão exercida sobre uma sonda sendo que existem diversas opções de pressão nominal.

Dependendo da aplicação o transmissor pressão pode ser utilizado para medição de nível em alguns reservatórios da CASAN, este sensor se baseia nas propriedades piezoelétrico do quartzo, que quando sofre um deformação gera uma diferencia de potencial em seus terminais.

A figura abaixo ilustra o principio de funcionamento do transmissor de pressão com piezoelétrico:

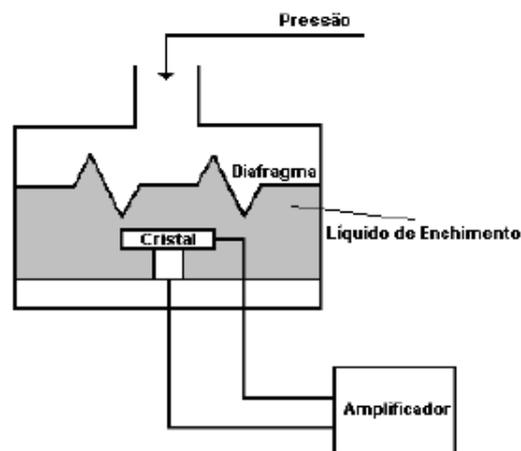


Figura 31 – Princípio de funcionamento

Quando a pressão aumenta, o diafragma, mostrado acima, se distende, deformando o cristal de quartzo. Com este dispositivo, é possível operar num campo de frequência de

100kHz com linearidade de 1%, porém com uma tensão média na ordem de 1mV. Por isso sempre existe a associação com um amplificador operacional e dependendo se a leitura for em corrente, um circuito resistivo.

A maioria dos reservatório e estações elevatórias de esgoto da CASAN usam sensores de 10 metros que tem uma pressão nominal de 10 bar, vale também lembrar que que estes sensores geram sinais 4-20mA em corrente, onde é necessário fazer uma conversão de medidas para a leitura correta dos valores. Mas sobre técnicas de solução desse problema serão apresentados no próximo capítulo.

3.2.7 SCADA

A sigla SCADA vem do inglês para Supervisory Control And Data Acquisition, ou Controle Supervisório e Aquisição de Dados. Sistemas SCADA servem como interface entre o computador e equipamentos eletrônicos como máquinas industriais, controladores automáticos e sensores dos mais variados tipos. Com sistemas SCADA são construídos desde aplicativos simples de sensoreamento e automação, até os famosos "Painéis de Controle" em empresas de geração e distribuição de energia elétrica, centrais de controle de tráfego e assim por diante.

De forma geral os sistema de supervisão oferecem 3 funções, que depende do fabricante [16]:

- **Supervisão** Inclui todos as funções de monitoramento do processo tais como sinóticos animados, gráficos de tendência de variáveis analógicas e digitais, relatórios em vídeo e impressos, etc.
- **Operação** Atualmente os sistemas SCADA substituíram com vantagens as funções da mesa de controle. As funções de operação incluem: ligar e desligar equipamentos e sequência de equipamentos, operação de malhas PID, mudança de modo de operação de equipamentos, etc.
- **Controle** Alguns sistemas de supervisão possuem uma linguagem que permite definir diretamente ações de controle, sem depender de um nível intermediário de controle representado por remotas inteligentes. Todas as operações de entrada e saída são executadas diretamente através de cartões de I/O ligados diretamente ao barramento do micro, ou por remotas mais simples. Os dados são amostrados, um algoritmo de controle como um controlador PID por exemplo, é executado, e a saída é aplicada ao processo (ação direta sobre uma variável manipulada). Isto entretanto só é possível quando a velocidade do processo assim o permite. Em alguns casos requisitos de confiabilidade tornam desaconselhável este tipo de solução.

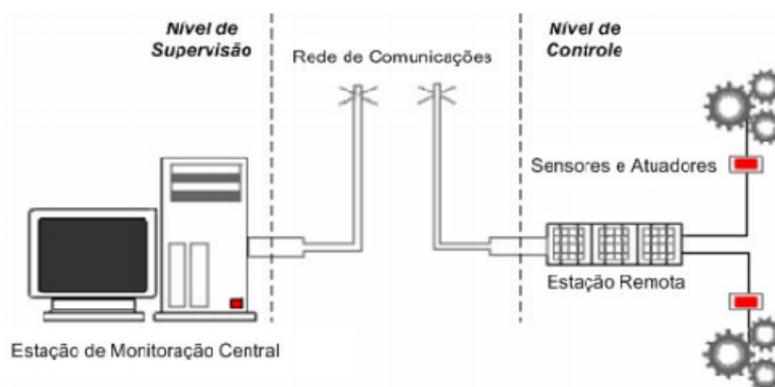


Figura 32 – Sistema de supervisão e controle (fonte: adaptado)

3.2.7.1 Arquitetura: Componentes de um sistema SCADA

Os componentes de um sistema físico de um sistema SCADA são classificados da seguinte forma: Sensores e atuadores, redes de comunicação, estações remotas de aquisição/control e monitorização central- Sistema computacional SCADA.

Através das estações remotas de entrada e saída é que se tem controle e aquisição de dados do equipamentos do processo, onde são compostos equipamentos diversos como CLP e/ou RTU (Remote Terminal Units), portanto, são equipamentos que permitem a entrada de dados e saída de comandos para que o processo seja manipulado.

A rede de computação é o meio por onde circulam as informações das estações remotas para o sistema SCADA. Elas podem ser implementadas por meios de cabos metálicos, fibra óticas, links de rádios, etc [17].

Essas estações de monitorização centrais (MTU) são consideradas como unidades principais do SCADA [18], sendo responsável por reunir a informação gerada pelas estações e agir de acordo com os eventos acontecidos, podendo estar em uma unidade central de processamento ou distribuídos pela rede. A figura 32 apresenta um resumo da estrutura física de um sistema SCADA.

Os componentes SCADA têm capacidade de ser multi-tarefa essa característica faz com que o software execute varias tarefas ou módulos ao mesmo tempo. Dessa forma as principais componentes arquitetura lógica são divididos nas seguintes tarefas:

- Sistema de aquisição de dados/banco de dados em tempo real;
- Gerenciamento de Alarmes;
- Gráfico de tendências instantânea/Gráfico de tendências históricas;
- Geração de Relatório;

- interface Gráfica;
- Modulo de Gráfico;
- Geração de script;
- Log de eventos;

3.2.7.2 ScadaBr

O ScadaBR é um sistema supervisório completo, disponibilizado em licença Open Source (software livre) sob a licença pública geral GNU onde o código-fonte e a documentação podem ser acessados no site (www.scadabr.com.br) para quem quiser usufruir. Ela foi adaptado e melhorado para para o uso no Brasil, iniciado em meados de 2009, através de uma parceria com empresas em Florianópolis/SC, de entre elas a fundação CERTI, MCA, Unis Sistemas, Conetec, com patrocínio da FINEP - Financiadora de estudos de estudos e projetos, SEBRAE - Serviço Brasileiro de apoio às Micro e Pequenas Empresas e apoio da UFSC [19].

Este Software roda em diversos sistemas operacionais como: Windows, Linux, ou mesmo outros sistemas operacionais e tem como base de linguagem Java. É executado a partir de um servidor web open - source que é o Apache Tomcat que é utilizado nos mais de 70% dos servidores web do mundo, garantindo estabilidade robustez e segurança ao sistema.

Este projeto recebe todas as características e funcionalidade do projeto mango-Canadá, todas traduzidas para o português, incluindo adições como um API web-service-Application Programming Interface tornando possível estender o SCADA para qualquer linguagem de programação como: Java, C/C#, PHP, Python e entre outros. O ScadaBR também possui suporte OPC, Modbus, TCP/IP, protocolos do setor elétrico DNP3 e IEC101, disponibilizando mais de 30 tipos de protocolos, além de sistemas de scripts, help e manual de usuário, entre outras facilidades(fonte: Manual Usuário ScadaBR).

Quando instalado, o ScadaBr pode funcionar como um servidor de aplicações web em java. O usuário, através de qualquer navegador de Internet, pode acessar as funcionalidade, configurações, telas (IHM- interface Homem Máquina) do sistema. Através da linguagem Java tornou-se mais fácil o desenvolvimento de aplicações web Internet, onde as comunicações são baseadas em pacotes e no relacionamento entre cliente-servidor.

3.2.7.2.1 Funcionalidades ScadaBr

- **Data Source**

São fontes de dados recebidos pelo sistema, ou seja, as configuração dos equipamentos que irão ser fisicamente controlados, constituindo parte fundamental para

o funcionamento do sistema, podendo virtualmente ser representado por qualquer coisa desde que os protocolos sejam aceitas pela aplicação.

- **Data Points**

São os pontos de medição e controle e tags - são todas as variáveis numéricas e alfanuméricas envolvido em uma aplicação, funcionam como uma coleção de valores e históricos e que contem atributos como: nome, de que forma os dados são registrados, se totalmente ou quando muda de valor ou nenhum, por quanto tempo mantém esse dados em que condições esse dados devem ser formatados para exibição e de que maneira traçar um determinado gráfico para exibição de valores medidos.

O sistema suporta cinco tipos de dados: Binário, Estados Múltiplos- liga/desliga/desativado, Numéricos ou Analógico, Alfanuméricos, portanto os data points armazenam todos os valores de dados que são coletados por um data source.

- **Representações Gráficas ou Telas**

Nas representações gráficas conhecidas como IHM é que são criados os painéis de controle, onde os data points podem ser monitorados em tempo real e também pode ser disponibilizados elementos gráficos como botões, ícones, gráficos, componentes HTML e displays representando o processo real que está sendo representado ou controlado.

- **Relatórios**

Através dos relatórios é possível ter uma visualização dos dados que são guardados no banco de dados, possui um histórico completo dos dados captados pelo sistema que podem ser importados para software de planilhas eletrônicas - excel, na CASAN o banco de dados utilizados é o MYSQL. Os relatórios podem ser agendados automaticamente, selecionando os dados points assim como a data, hora e minutos desejado.

- **Scripts**

Através de script pode se criados linha de códigos lógica computacional como cálculos, operações aritméticas, lógica booleana, contadores podendo atuar em determinados tags com base em valores de outros, pode-se utilizar meta data source para combinar valores de um dado para calculo de outro dado. A linguagem comunalmente usado é o javascript, que é provavelmente a linguagem mais conhecido para scripts.

- **Monitoramento**

No sistema os pontos são monitorados, onde são criadas lista dinâmicas de pontos com os seus valores monitorados em tempo real, sem que seja atualizado o navegador com os últimos pontos de atualização.

- **Controle**

O controle de sistemas externos é iniciado através da configuração no data source do tipo de protocolo que vai ser utilizado na aplicação. Para o protocolo Modbus-RTU cada fabricante utiliza parâmetros configuráveis que podem ser acessados, lidos ou escritos através da tabela de registradores que servem para localizar os valores dos pontos. Esses valores podem ser binários ou numéricos e estão em determinados faixas de registro de valores. Dessa forma para obter o controle externo no ScadaBR utilizando protocolo Modbus-RTU deve-se verificar na tabela do fabricante de instrumento, qual controle deve ser feito pelo instrumento e marcar no "detalhe do data point" e preencher as configurações de faixa de registro, tipo de dados Modbus, offset- numérico.

- **Alarmes**

São ocorrências usualmente assíncronas, isto é, que não ocorre e se efetiva ao mesmo tempo, de uma medição com valores fora dos limites de pré-estabelecidos, ou eventos que necessitam ação de operador para interpretar e reconhecer o evento pelo alarme que pode significar diversos problemas. o sistema permite automaticamente a sinalização sonora de alarmes na ocorrência de eventos críticos, eventos de aviso, eventos de riscos.

- **Eventos**

o sistema suporta 500 eventos por segundo e considera um evento como sendo uma ocorrência na planta supervisionada de uma condição definida no sistema. os eventos podem ser definidos pelo sistema ou pelo usuário, os definidos pelo sistema incluem erros de operação de data points, data source, logins de usuários e inicialização e parada do sistema. Entretanto os definidos pelo usuário incluem detectores de valores, eventos de valores, eventos agendados e eventos compostos que detectam condições sobre pontos múltiplos.

- **Integração com eventos externos**

O ScadaBr permite a integração com dois gerenciadores de banco de dados: Derby e MySQL. Desta forma pode-se acessar diretamente o banco de dados para execução dos queries e updates, tendo esta funcionalidade como função principal para manutenção do sistema.

O ScadaBr permite que seja ampliada a sua funcionalidade, através de API-application programming interface, que é um conjunto de especificações que permite diversos softwares e diferentes módulos se comuniquem entre si.

3.2.8 Telemetria

Na CASAN são utilizadas aplicações de telemetria⁷ utilizando serviço GPRS do sistema de telefonia celular GSM para o enlace privado de pacote de dados. Nessa seção será abordado o sistema GPRS e uma descrição das aplicações desse sistema e outras tecnologias associadas a essa tecnologia. Também é apresentada uma breve descrição de requisitos de unidades remotas para estas aplicações.

3.2.8.1 Serviço GPRS

O serviço GPRS cria uma rede de pacotes sobre a rede de telefonia celular GSM para o envio e recepção de dados. Neste sistema de comutação de pacotes, um canal de rádio só é utilizado quando o usuário está efetivamente enviando ou recebendo dados, ficando o canal livre para outros usuários do serviço que compartilham o mesmo canal [20]. Este tipo eficiente de uso de canais permite que vários usuários usem o sistema no mesmo componente.

o serviço oferece aplicações importante para telemetria como:

- **Rápida conexão** o sistema remoto tem acesso quase instantâneo ao serviço.
- **Tarifação por tráfego** As operadoras usualmente tarifam o serviço pelo volume de dados transportado. Aplicações de telemetria tipicamente são de baixo tráfego, resultando em uma tarifa mensal bastante reduzida.
- **Velocidade** As operadoras usualmente tarifam o serviço pelo volume de dados transportado. Aplicações de telemetria tipicamente são de baixo tráfego, resultando em uma tarifa mensal bastante reduzida.
- **Integração com a Internet** Uma vez estabelecida a conexão GPRS, o dispositivo remoto tem acesso pleno à Internet e todos os serviços associados. A rede GPRS pode ser entendida como uma sub-rede da Internet, utilizando os mesmos protocolos.
- **Disponibilidade de equipamentos** Há diversos fornecedores de modems GPRS no mercado, e grande número de aplicações de sucesso.
- **Cobertura de serviços** Atualmente as operadoras GSM no Brasil oferecem o serviço GPRS em todas as áreas em que o sistema de voz GSM está em operação.
- **Origem da conexão** Os sistemas de telemetria baseados em GPRS devem se basear em conexões originadas pela unidade remota. Esta é uma questão apenas de iniciativa de conexão, visto que uma vez estabelecida, a troca de dados é bi-direcional.

⁷ **Telemetria** é uma tecnologia que permite a medição e comunicação de informações de interesse do operador ou desenvolvedor de sistemas

- **Custo de Modem do GPRS** O modem GPRS tem um custo equivalente ao de um bom aparelho celular GSM, o que pode ser um limitante na aplicação da tecnologia na medição de serviços ou sistemas de baixo valor.

A CASAN instala nas suas estações de tratamento tanto de água e esgoto quadros de telemetria com modems GPRS, onde a unidade remota envia dados diretamente para o supervisor na internet com protocolo TCP/IP.

Uma aplicação rodando no servidor aguarda a requisição de conexão originada pela unidade remota, recebe e envia dados através desta conexão e armazena os dados recebidos. A Figura 33 apresenta uma topologia típica para esta modalidade.



Figura 33 – Topologia Típica de conexão remota ao servidor GPRS

Este tipo de aplicação é adequado para registro periódico de informações de campo diretamente no banco de dados do servidor corporativo, eliminando as atividades de coleta e digitação de informações. Pode ser aplicado em sistemas de tarifação (energia, água, gases, combustíveis) ou qualquer outro sistema em que o registro histórico de variáveis de campo seja necessário. A unidade remota deve ter capacidade de armazenar localmente os dados para envio até que o recebimento dos mesmos seja confirmado pelo servidor. A capacidade de armazenamento local é também importante para o caso de falha do sistema GPRS ou do acesso à Internet do servidor.

A oferta de unidades remotas com capacidade de comunicação via Internet ainda é pequena, e a escolha da mais adequada para cada aplicação deve ser feita com bastante cuidado. Hoje já são disponíveis no mercado unidades remotas compactas com grande capacidade de comunicação, que resultam em um melhor compromisso entre custo e benefício que as soluções anteriores.

A unidade remota de telemetria deve ter recursos adequados à interface com o sistema sob supervisão e à rede GPRS. Destacam-se os seguintes recursos:

- Entradas e saídas para monitoração e atuação no sistema sob supervisão;
- Interface RS232 para interface com modem GPRS;
- Interface Ethernet e RS232 ou RS485 para interface com equipamentos do sistema sob supervisão;
- Memória para retenção dos dados de telemetria até o envio para a central de supervisão;
- Protocolo TCP/IP para acesso aos serviços de Internet;
- Protocolos associados aos serviços de Internet;

As soluções de telemetria utilizando a infra-estrutura de telefonia celular para transporte de dados através da Internet alcançaram maturidade e já há disponibilidade de diferentes opções para implantação. A utilização dos protocolos e serviços da Internet permite a implementação de diferentes sistemas de telemetria, e ainda soluções mistas baseadas nas alternativas apresentadas.

A seleção da operadora de telefonia celular e do sistema de transmissão de dados utilizado depende mais de negociação de tarifas e disponibilidade do serviço do que de questões técnicas. Já a escolha da unidade remota e o projeto do sistema de informática associado devem se basear em uma análise técnica rigorosa.

3.2.9 Considerações finais

Foram apresentados neste capítulo a fundamentação necessária para a construção deste projeto, iniciando com a apresentação do problema a ser resolvido, passando pelas teorias gerais de controle e se aprofundando um pouco nos elementos integrantes do sistema de automação deste trabalho.

O objetivo principal foi o de apresentar brevemente as tecnologias envolvidas no mesmo e motivar o trabalho em si, de maneira a fomentar o interesse pelas soluções presentes no documento.

No próximo capítulo é atacado o projeto de automação realizado, apresentando a metodologia e o caminho feito para se chegar na implementação que por fim será apresentada no capítulo 5.

4 Desenvolvimento

Neste capítulo são apresentadas as etapas percorridas até a solução final, incluindo os modelos preliminares, testes que levaram ao entendimento das tecnologias envolvidas, ferramentas auxiliares envolvidas e desenvolvimento de componentes necessários para a integração e funcionamento do sistema.

Além disso, na parte final do capítulo é apresentado o modelo proposto neste projeto, mostrando a nova maneira do processo problema funcionar, incluindo diagramas, modelos e arquiteturas envolvidas para que o projeto finalmente tome forma.

Neste capítulo não será abordada a implementação do sistema de telemetria. Esse assunto será tratado no capítulo 5.

4.1 Metodologia

Lançado o desafio e por não estar familiarizado com o processo, procurei conhecer ao máximo o funcionamento do sistema, estudar e intender na prática os equipamentos utilizados, detalhes técnicos e tecnológicos que compõem o sistema que abrange varias áreas da engenharia.

Esta secção será dividido por tópicos, cada um deles focado em alguma parte específica da solução, em uma estratégia bottom-up de construção aonde cada parte menor vai se juntando com outras partes para formar o todo, mais complexo.

4.1.1 Entendo o Processo/Sistema

Com intuito de estabelecer uma base de estudo para o comportamento da pressão na rede de distribuição, é de suma importância fazer uma breve análise do consumo de água da população da grande Florianópolis ao longo do dia e de como a pressão e o nível dos reservatório é influenciada.

A área do SRM é monitorada pelo sistema de telemetria implementada na CASAN pela GPO/DIPAE, utilizando o software livre ScadaBR. Pode-se monitorar Reservatórios, Eta's, Erat's, Erab's, Booster's, Poços, Pressões, Vazões ou qualquer outra grandeza que seja interessante para o bom desempenho das operações, consultando o banco de dados, foi gerado relatórios para avaliar o desempenho da abertura da válvula, a variação da pressão, o comportamento do reservatório pulmão e o reservatório R1.

O reservatório pulmão foi dimensionado de modo que tenha capacidade de acumular um volume útil de volume de água que supra da demanda de água.

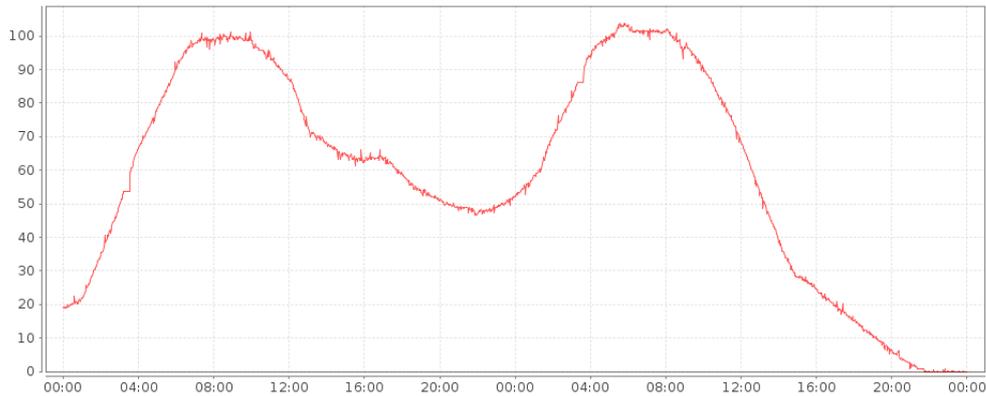


Figura 34 – Nível do reservatório pulmão (fonte: CASAN)

A figura acima mostra o comportamento do nível do reservatório pulmão ao longo de dois dias, nota-se um acúmulo nas horas de menor consumo para compensação nas de maior demanda, ou seja, como o consumo é flutuante e a vazão de adução não é constante, principalmente nas aduções por recalque, nas horas em que o consumo for inferior a demanda o reservatório enche para que nas horas onde o consumo na rede for maior o volume acumulado anteriormente compense o déficit em relação à vazão que entra.

Ao longo do dia tem-se valores distintos de picos de vazões diárias. Há determinados horários do dia onde a vazão de consumo é máxima, mas em outros, devido ao consumo, o nível tende-se a diminuir. Portanto, deve-se garantir sempre a chegada de água ao reservatório.

O gráfico 35 mostra o nível do reservatório ao longo de um dia.

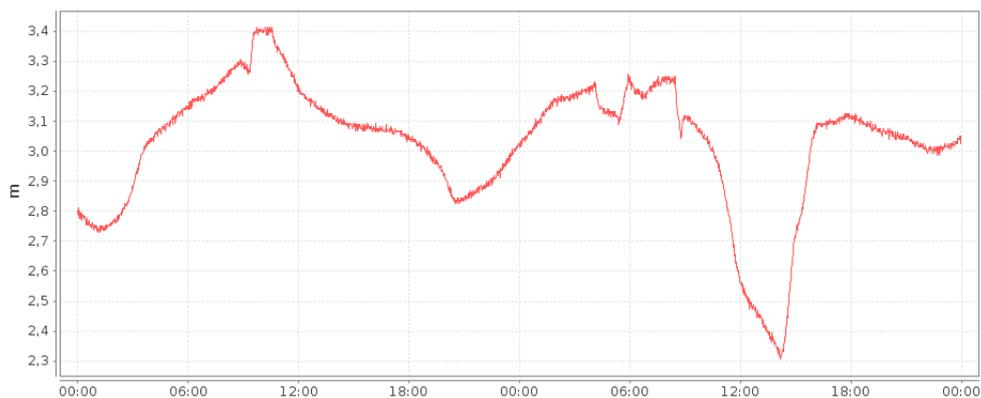


Figura 35 – Nível do reservatório R1 (fonte: CASAN)

A figura 36 mostra o comportamento dinâmico da pressão, mediante a manipulação da abertura da válvula pelo operador. No gráfico, a variação da pressão é representado pela cor azul e a variação da abertura da válvula é representada pela cor vermelha. Nota-se que, ao longo do dia, o operador fica mexendo na abertura da válvula para deixar a pressão no ponto de operação.



Figura 36 – Pressão pela abertura da Válvula (fonte: CASAN)

Fazendo um análise do comportamento das variáveis que afetam o sistema, partiu-se então para os estudo das melhor estratégia de controle para o sistema.

4.2 Identificando o modelo do sistema

Um dos grandes desafios desse projeto é o de obter um sistema análogos ao processo e/ou fenômenos observados e descritos na secção anterior.

Nesta presente secção trata-se da coleta de sinais necessários á identificação e de como proceder para escolha da estrutura do modelo. Pretende-se descrever algumas ferramentas, técnicas e todas as considerações feitas para fazer a melhor identificação do modelo.

4.2.1 Aquisição dos dados

Um dos aspectos fundamentais da teoria de identificação de sistemas é como e onde o sistemas é excitado. Neste caso, as variáveis estão bem definidas, então pode-se garantir que existe uma correlação significativa entre elas. Além do tipo de sinal de excitação, outro fator importante é o tempo de amostragem.

Não foi possível fazer ensaios experimentais, porque envolve parte burocrática da CASAN, para aquisição dos dados para a identificação do modelo do sistemas, foi gerado no ScadaBr relatórios de dados de maneira conveniente de acordo com os data points que corresponde as variáveis que estão sendo monitoradas. Desse modo, foram gerados vários relatórios com datas e períodos de amostras diferentes.

Para a identificação o MQR foi implementado através de uma rotina computacional no programa computacional Matlab. O MATLAB interpreta rotinas codificadas em uma linguagem de programação própria de alto-nível. Esta linguagem de programação é estruturada e foi utilizada para implementar internamente ao ambiente uma série de ferramentas

úteis no processamento de sinais e na modelagem e controle de sistemas dinâmicos.

A estimação de parâmetros pelo método dos mínimos quadrados recursivos se baseia no princípio de que os parâmetros desconhecidos de um modelo matemático devem ser escolhidos de tal maneira, que a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e os valores calculados, multiplicado por números que medem o grau de precisão, seja mínimo.

O código no Matlab da implementação do estimador dos mínimos quadrados recursivo aplicado ao para identificação dos modelo da planta pode ser visto na tabela 4.

Observações:

1. Se uma condição inicial para os valores iniciais dos parâmetros está disponível a partir do conhecimento a priori do processo, então estes valores devem ser utilizados. Caso contrário, deve-se iniciar com valores pequenos.

Os valores de inicialização utilizados na implementação do algoritmo foram:

- Vetor $\theta(0) = 0.0$
 - Matriz $P(0) = 10^6 * \text{Matriz identidade}$
 - Fator de esquecimento = 0.99
2. Outro aspecto que se deve levar em conta é o erro de previsão de saída, onde o erro entre a saída do processo e a saída prevista utilizando as estimativas do vetor de parâmetros a partir dos instantes anteriores ao instante de tempo.

```

%DEFININDOONMERODEAMOSTRAS”N” :
N=length(u2);
%DEFININDOASCONDIESINICIAIS :
lamb=0.99;
p2 = 1002 * eye(4, 4);

teta2=[0;0];
erro2(1:t) = 0;
ERROq2(1:t) = 0;
ERROqm2(1:t) = 0;
y2est = 0;
yy(1:t) = 0;

for t=1:2:2;
erro2(t)= 0.0;
y2(t)= 0.0;
y2est(t)= 0.0;

%INICIALIZAODOVETORDEPARMETROS(VETORTETA) :
a1=teta2(1);b1=teta2(2);
end

for k=3:t;
y=[];
%MONTANDOAMATRIZFI :
fi2=[-y2(k-1); u2(k-1)];
%CLCULODOERRODEESTIMATIVA :
y2est=teta2'*fi2;
erro2(k)=y2(k)-y2est;
%CLCULODOGANHODOESTIMADOR :
k2=p2*fi2/(lamb+fi2'*p2*fi2);
%CLCULODOVETORDEPARMETROS :
teta2=teta2+k2*erro2(k);
%CLCULODAMATRIZDECOVARINCIA :
p2 = 1/lamb * (p2 - k2 * fi2' * p2);
%ATUALIZAODOVETORDEPARMETROS : a1(k)=teta2(1); b0(k)=teta2(2);

%*****CLCULODOERRODEPREVISOEQUADRTICO
ybarra2=mean(y2(k));
ERROq2(k) = ERROq2(k - 1) + (y2(t) - y2est)2;
ERROqm2(k) = ERROqm2(k - 1) + (y2(k) - ybarra2)2;
end
for k = 3:length(dados6)

yy(k) = -a1(k)*yy(k-1)+ b0(k)*u2(k-1);

end

```

4.2.2 Estimação de parâmetros

A figura 37 ilustra os dados que foram utilizados para identificação do modelo do sistema. Foram adquiridas 720 amostras com um período de aquisição dos dados pelo scadaBR de 2 minutos.

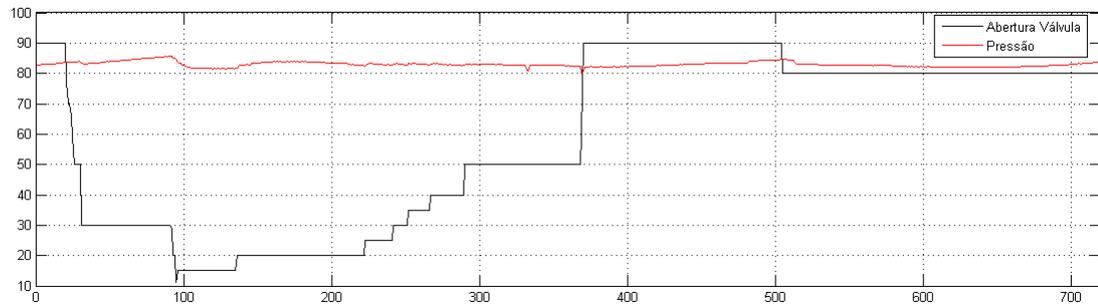


Figura 37 – Variação da Pressão pela abertura da Válvula

A figura 38 mostra os dados que foram utilizados para identificação do modelo do reservatório pulmão.

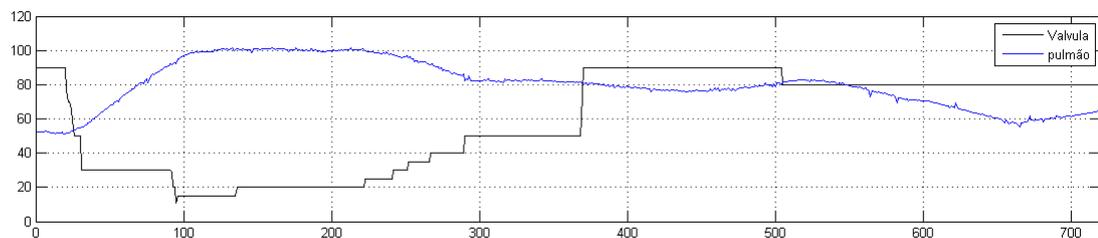


Figura 38 – Variação do nível pela abertura da válvula

Aplicando o algoritmo de MQR da tabela 4, foram geradas as curvas das respostas, dados coletados e estimadas. A linha de cor azul representa os dados reais e a linha de cor vermelha, a saída estimada.

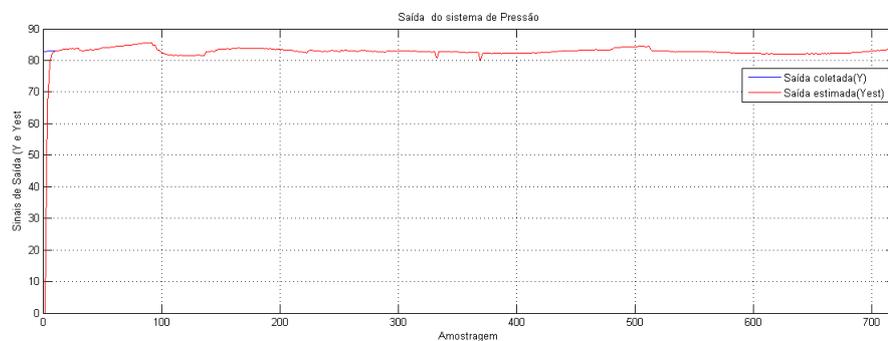


Figura 39 – Modelo estimado de primeira Ordem $n_a=1$, $n_b=0$

O gráfico acima mostra modelo de primeira ordem foi bem estimada e pode-se ver pelo gráfico 40 que o erro é praticamente zero desconsiderando a parte inicial.

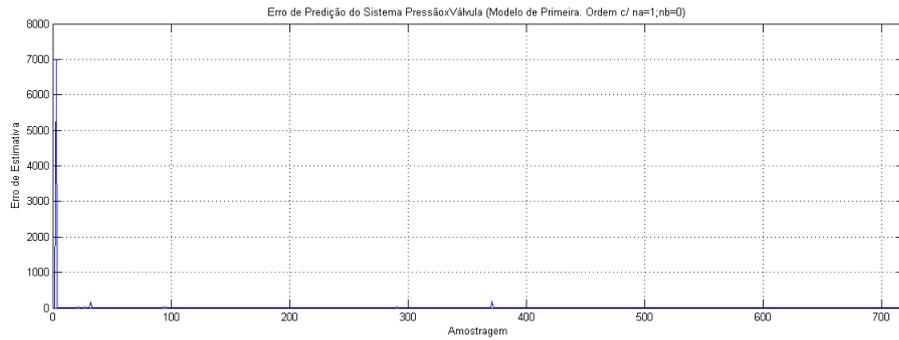


Figura 40 – Erro de estimação do modelo de primeira ordem

Também foi estimado um modelo de segunda ordem que pode ser visto pela figura

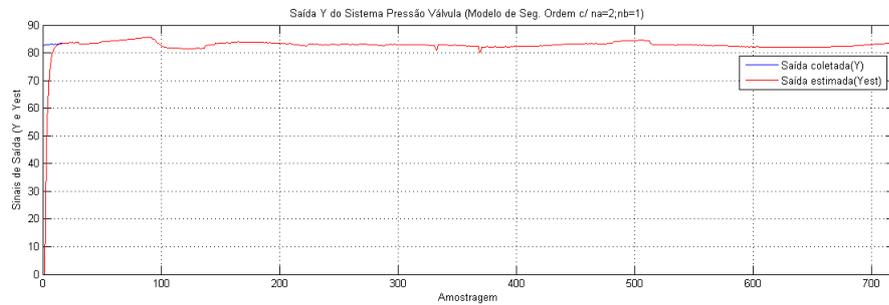


Figura 41 – Modelo de segunda ordem na=2,nb=1

O erro de previsão tende a zero, isto mostra que os parâmetros dos dois modelos foram bem estimados.

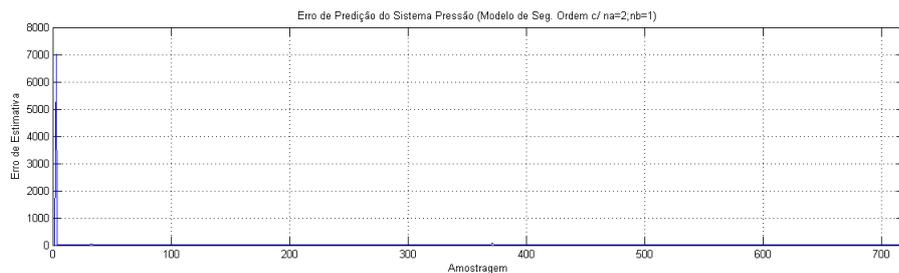


Figura 42 – Erro de estimação do modelo de segunda ordem

A determinação da ordem do modelo do sistema é importante na tarefa de estimação de parâmetros. Sabendo que quando a ordem do modelo empregado na estimação de parâmetros é aumentado, a soma dos quadrados do erro de previsão diminui à medida que obtém-se o melhor ajuste.

Para o problema abordado, foi escolhido como representação matemática o Modelo Autor-regressivo com Entradas Exógenas (ARX), pois o sistema é considerado linear cuja entrada e saída sofrem perturbações. O formato do modelo ARX é mostrado pela equação

de primeira e segunda ordem, assim como a representação ARX do modelo do reservatório pulmão.

Representação ARX para o modelo de primeira ordem:

$$P_1(Z) = \frac{0.4928}{z - 0.52889} \quad (4.1)$$

Representação ARX para o modelo de segunda ordem:

$$P_2(z) = \frac{0.23674z + 0.27075}{z^2 - 0.256z + 0.258} \quad (4.2)$$

Representação ARX para o modelo de primeira ordem para o reservatório pulmão:

$$H(Z) = \frac{0.2528}{z - 0.8523} \quad (4.3)$$

Os índices de desempenho para a avaliação da qualidade dos modelos matemáticos podem ser calculados pelas seguintes modelos matemáticos:

- Somatório do erro quadráticos;
- Coeficiente de correlação múltipla;

A partir dos índices de desempenho pode-se avaliar a qualidade do modelo estimado do sistema, que depende do sinal de entrada aplicado durante a fase de coleta das amostra.

4.2.3 Validação do Modelo

A etapa de validação é necessária para se determinar a importância e a adequação do modelo para a aplicação. O desempenho do modelo pode ser medido em termos do erro quadrático médio entre a saída real e a estimada.

A validação dos modelos estimados, que se constitui na última etapa de um processo de identificação [5] e particularmente na mais importante delas, não é uma tarefa trivial.

Através das Figuras 39 e 41 vê-se que o desempenho dos modelos é satisfatório para cada modelo, pois produzem respostas estimadas praticamente iguais às saídas medidas do sistema, o que é confirmado através das Figuras 40 e 42, de erros de previsão, que oscilam em torno da média nula durante todo o tempo da identificação e pelos coeficientes de correlação múltipla.

Dessa forma, para o modelo referente da primeira ordem tem-se $R^2 = 0.999203$, enquanto da segunda ordem $R^2 = 0.9997$.

O coeficiente de correlação múltipla pode variar entre $0 < R^2 < 1$. Para o valor de R^2 igual à 0 (zero), representa um “péssimo” ajuste, e para o valor 1(um), significa que o modelo estimado descreve exatamente a saída do sistema real com base em uma

dada entrada. Em situações práticas, valores do R^2 estão entre 0,9 a 1 são suficientes para muitas aplicações práticas em identificação, por exemplo, os sistemas de controle.

4.3 Projeto do Controlador Fuzzy

Como particularidade para os sistemas de abastecimento, temos as unidades localizadas a quilômetros de distâncias umas das outras, com vistas a atender os pontos estratégicos e críticos em relação às necessidades de abastecimento de água em Florianópolis, identificou-se a lógica fuzzy como ferramenta adequada a ser aplicada como método de controle neste sistema.

Neste trabalho foram estabelecidas como objetos para o desenvolvimento das funções de pertinência associadas variáveis linguísticas dos erro, variação do erro e sinal de controle. Tais variáveis foram denominadas como variáveis de entrada e saída para um sistema fuzzy.

A idéia proposta consiste na leitura de duas variáveis de entrada, erro que é a diferença entre o valor desejado e a pressão que está sendo medido, a variação do erro onde pretende saber o comportamento do erro ao longo de um determinado tempo, e a variável de saída é o sinal de controle para abertura da válvula.

O sistema irá controlar com bastante influência da pressão, porém o objetivo continua o mesmo, manter a pressão na referência desejada. Este controle só foi possível graças à facilidade que a lógica fuzzy possui de ser modelada baseada na experiência de operações passadas, com informações dos operadores.

Neste trabalho desejou-se obter uma representação matemática para a Planta, através da utilização de um modelo autorregressivo do tipo ARX visto na seção anterior.

Inicialmente o sistema do controlador fuzzy foi modelado em Matlab. No Fuzzy Logical Toolbox estão disponibilizados arquivos e funções destinados ao uso da teoria de conjuntos fuzzy.

4.3.1 Estrutura de Controle

Uma arquitetura geral para um controlador baseado na lógica fuzzy é mostrada na figura 43. Os principais elementos de uma arquitetura geral de um controlador fuzzy são: a fuzzificação, a base de regras fuzzy (conhecimento), máquina de inferência fuzzy (sistema Decisão) e a defuzzificação.

Um sistema básico de controle é mostrado na figura 44. Neste sistema tem-se que $u(t)$ é a entrada da planta, (t) é a saída da planta e $r(t)$ é a entrada de referência. O controlador fuzzy utilizado tem como entrada duas variáveis, que são o erro e a variação (derivada) do erro, e uma saída.

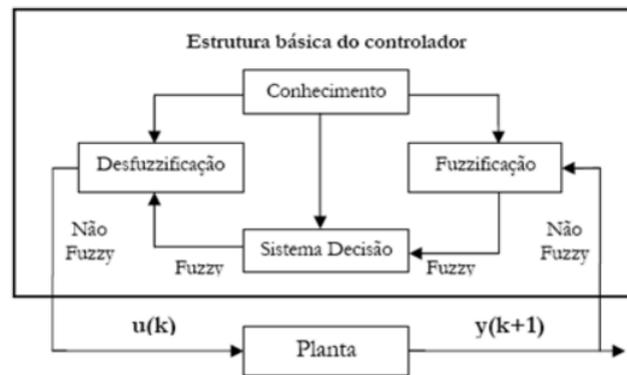


Figura 43 – Diagrama de blocos da estrutura básica de um controlador fuzzy



Figura 44 – Estrutura de controle para o controlador fuzzy

A figura 44 mostra o sistema implementado no Simulink. Na entrada tem-se o valor de referência da pressão, ou seja, sua pressão desejada, a pressão que deve-se obter na saída. O bloco que faz o controle fuzzy por meio do toolbox fuzzy do Matlab, e temos o bloco de modelo da planta.

4.3.2 Funções pertinências para variáveis linguísticas

Para criar um sistema de inferências no Matlab é necessário utilizar o FIS Editor do *Fuzzy Logic Toolbox*. No editor, é possível escolher o tipo de modelo utilizado (Mamdani ou Sugeno), o método de defuzzificação, número de entradas, entre outras coisas.

Como pode ser notada na Figura 45, a opção referente ao tipo de análise fuzzy está destacada com o nome MAMDANI. Primeiro, definiu-se os domínios de cada variável linguística. Importante notar que o domínio das variáveis adotadas foi determinado empiricamente.

A tabela 5 mostra a faixa (range) de erro de cada variável linguística do erro observado na figura 49. As funções de pertinência foram definidas por meio de simulações. Buscou-se organizar as variáveis de forma que a dinâmica fosse eficaz e suave ao mesmo tempo.

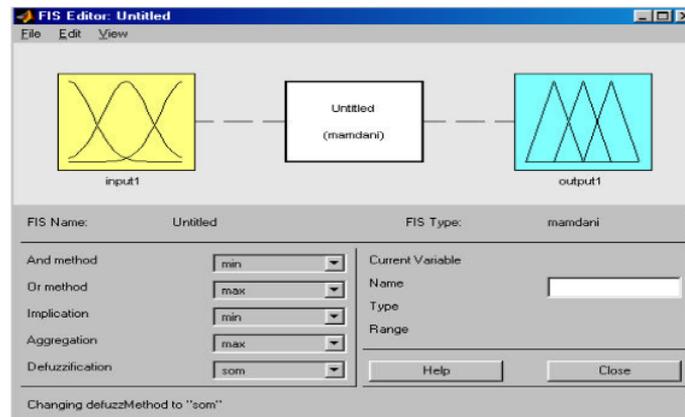


Figura 45 – Toolbox fuzzy do Matlab

Variáveis linguísticas	Range
NG	$[-80;0]$
NM	$[-4;0]$
Zero	$[-0.5;0.5]$
PM	$[0;4]$
PG	$[0;80]$

Tabela 5 – Variáveis linguísticas do erro

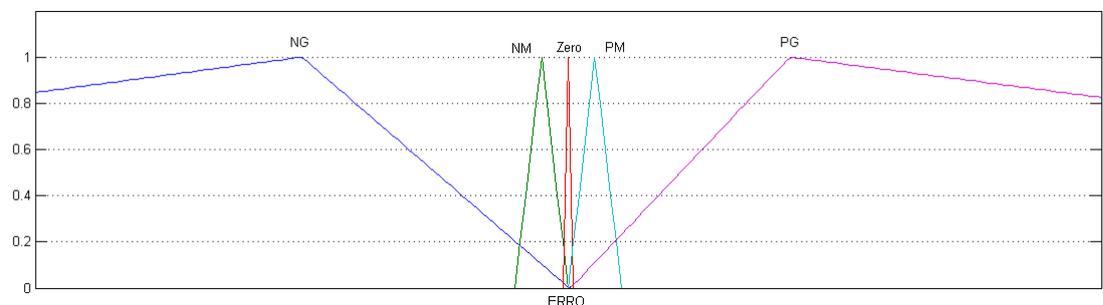


Figura 46 – variáveis linguística do Erro

As funções pertinências ficaram da seguinte forma: Os termos utilizados para a função de pertinência do erro foram NG (Negativo Grande), NM (Negativo Moderado), Z (Zero), PM (Positivo Moderado), PG (Positivo Grande), os dois primeiros para o caso em que a pressão medida seja maior que a desejada, o zero para quando a pressão medida seja próxima ou igual a desejada e os dois últimos para quando a pressão seja menor que a pressão desejada.

A tabela 6 mostra o range da variação do erro de cada variável linguística da variação do erro observado na figura 47.

Os termos utilizados para a função pertinência da variação do erro foram N (Negativo), Z (zero), P (Positivo). A utilização da variação do erro como variável linguística

Variáveis linguísticas	Range
N	[-0.5;0]
Zero	[0.01;0.01]
P	[0;0.5]

Tabela 6 – Variáveis linguísticas do erro

da entrada permite ao controlador antecipar uma ação corretiva, pois ao considerar o erro no instante anterior, pode perceber para onde os valores da variável estão tendendo. Ou seja, ao comparar o valor atual com o anterior o controlador é capaz de perceber o aumento ou decréscimo do valor do erro.

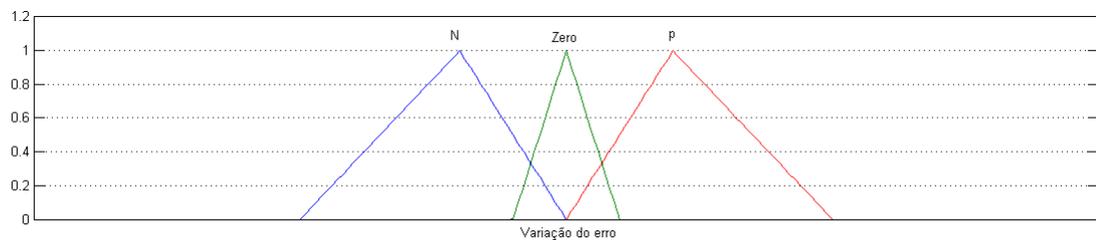


Figura 47 – Variáveis linguísticas da Variação do erro

Para a saída, os termos utilizados foram os mesmos da entrada, porém a faixa de 0 a 100% se deve ao fato da válvula variar nessa faixa, portanto o controle foi adaptado seguindo essa condição.

Variáveis linguísticas	Range
PP	[10;20]
PPM	[15;45]
PM	[30;70]
PG	[60;95]

Tabela 7 – Variáveis linguísticas da saída de controle

Os termos utilizados para a função de pertinência do erro foram PP (positivo pequeno), PPM (positivo pequeno moderado), PM (positivo médio), PG (Positivo Grande).

As funções de pertinência podem ter diferentes formas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas. A região de influência de uma regra dependerá da abrangência, em termos do universo considerado, dos conjuntos fuzzy das entradas. No caso de conjuntos com a mesma abrangência, mas com funções de pertinência de diferentes formas, a forma dos conjuntos dos antecedentes de cada regra afeta no consequente (ou saída) de cada regra, e no resultado final, nesta aplicação escolheu-se a a função pertinência triangular devido a sua abrangência.

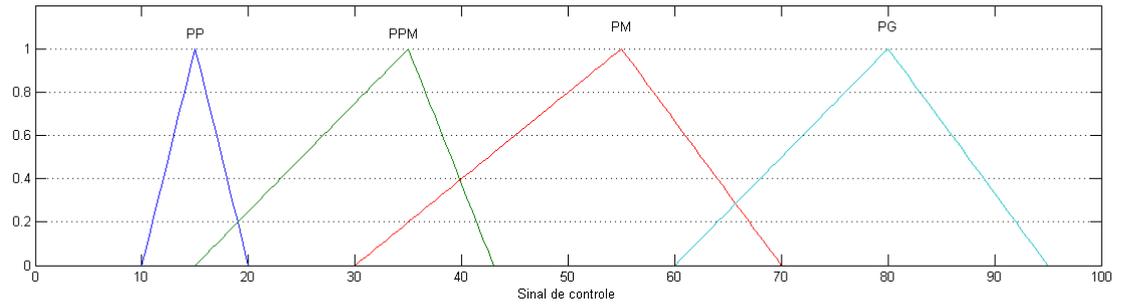


Figura 48 – variáveis linguísticas do Sinal de controle

4.3.3 Base de Regras

Baseado nas observações e análise do sistema e nos conhecimentos adquiridos, definiu-se as inferências e base de regras, que representam a ação do controlador para as situações passíveis de acontecer.

A solução se dá interpolando-se os valores de entrada do erro e variação do erro. O intervalo de saída foi dividido em quatro regiões que representa a saída de controle. Abaixo as regras para o controle do sistema.

```

1. If (erro is NG) and (Vareiro is N) then (sinal_de_controle is P) (0.5)
2. If (erro is NG) and (Vareiro is zero) then (sinal_de_controle is P) (0.5)
3. If (erro is NG) and (Vareiro is P) then (sinal_de_controle is PP) (1)
4. If (erro is NM) and (Vareiro is N) then (sinal_de_controle is PP) (1)
5. If (erro is NM) and (Vareiro is zero) then (sinal_de_controle is PP) (1)
6. If (erro is NM) and (Vareiro is P) then (sinal_de_controle is PM) (1)
7. If (erro is zero) and (Vareiro is N) then (sinal_de_controle is PM) (1)
8. If (erro is zero) and (Vareiro is zero) then (sinal_de_controle is PM) (1)
9. If (erro is zero) and (Vareiro is P) then (sinal_de_controle is PM) (1)
10. If (erro is PM) and (Vareiro is N) then (sinal_de_controle is PG) (1)
11. If (erro is PM) and (Vareiro is zero) then (sinal_de_controle is PG) (1)
12. If (erro is PM) and (Vareiro is P) then (sinal_de_controle is PG) (1)
13. If (erro is PG) and (Vareiro is N) then (sinal_de_controle is PGG) (1)
14. If (erro is PG) and (Vareiro is zero) then (sinal_de_controle is PGG) (1)
15. If (erro is PG) and (Vareiro is P) then (sinal_de_controle is PGG) (1)

```

Figura 49 – Conjunto de regras para o controlador fuzzy

O controlador fuzzy é composto por quinze regras:

A superfície não-linear de controle para este controlador de 15 regras se portou da seguinte maneira e pode ser visto na figura 50.

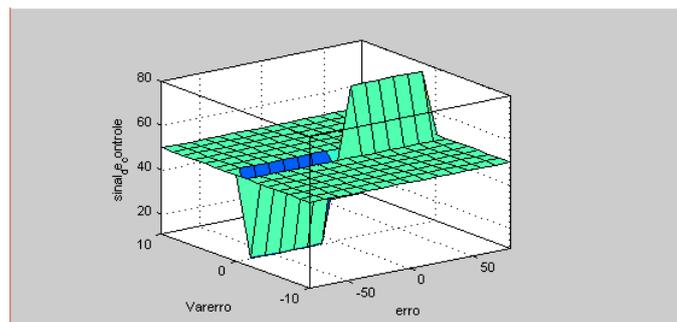


Figura 50 – Gráfico da superfície do controlador fuzzy de 15 regras

Muitos autores fazem uso do estudo da superfície de controle para escolher os seus controladores. O gráfico de superfície do controlador de 15 regras sofreu mudanças com as variações realizadas nos parâmetros dos controladores. A superfície aqui demonstrada teve o objetivo de visualizar a não-linearidade que controladores fuzzy obtiveram neste trabalho.

4.3.4 Resultados do Controlador Fuzzy

Os resultados obtidos têm por finalidade avaliar o desempenho, assim como a robustez do controlador nebuloso para o problema.

A implementação do sistema foi desenvolvida no Simulink. O Simulink permite a simulação de fenômenos físicos e, assim, ajustar os controladores para que eles tenham o melhor desempenho. As simulações foram feitas iniciando-se com a construção do diagrama de blocos que representa o sistema de controle de pressão.

Definiu-se o valor de referencia com o bloco step, ou seja, o valor desejado para saída da pressão. Colocou-se o bloco Fuzzy controller e acrescentou-se um bloco (Transfer Fcn) que possui o modelo matemático da pressão estimados na secção anterior. Fez-se a realimentação da saída do sistema para comparação entre a referencia e a saída atual, gerando um sinal de erro para que o controlador possa atuar e ainda a variação do erro. Além disso, depois de um certo tempo é adicionado uma perturbação do tipo degrau unitário que representa das variações da rede ao longo da adutora de 1200mm para verificar o comportamento do controlador.

o sistema também contém diagrama de bloco para o controle do reservatório pulmão, da mesma forma foi colocado no sistema de controle a dinâmica do reservatório pulmão.

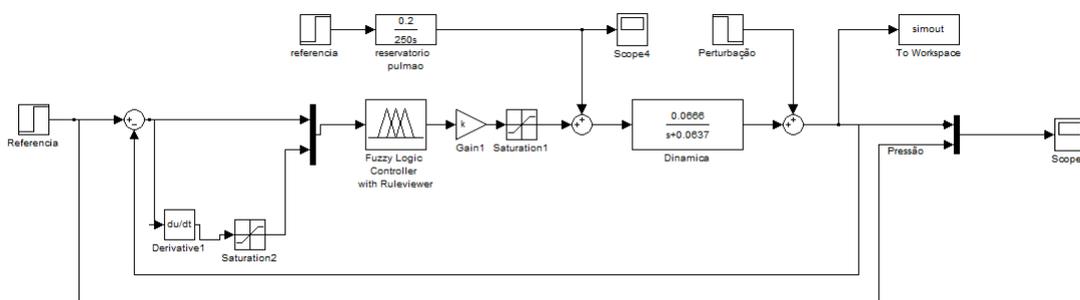


Figura 51 – Estrutura no simulink do controlador fuzzy

O controlador Fuzzy conseguiu ser eficiente quanto à resposta a perturbação porém, há um pequeno erro em regime permanente após colocado a perturbação.

As figuras temos as repostas das simulações do comportamento saída do sistema aplicado aos modelos matemáticos ARX da primeira e segunda ordem, assim como o o

signal de controle gerado pelo controlador fuzzy.

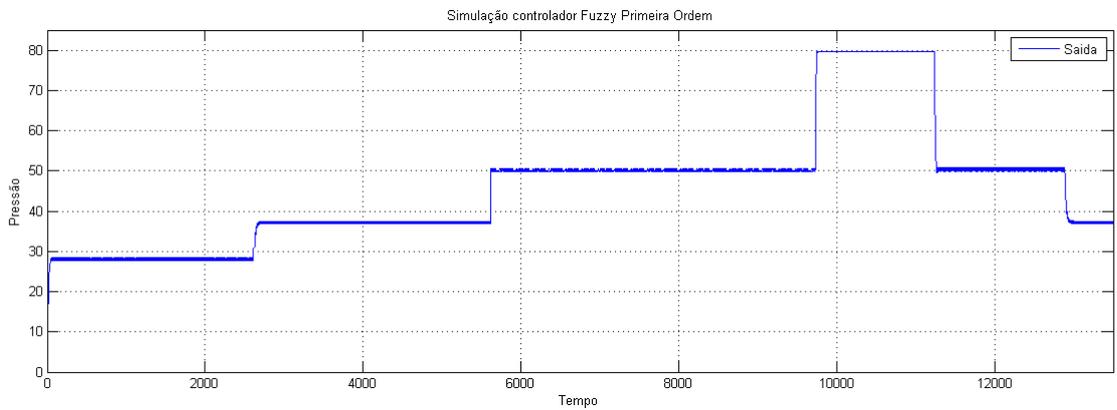


Figura 52 – Simulação de controlador fuzzy para modelo de primeira ordem

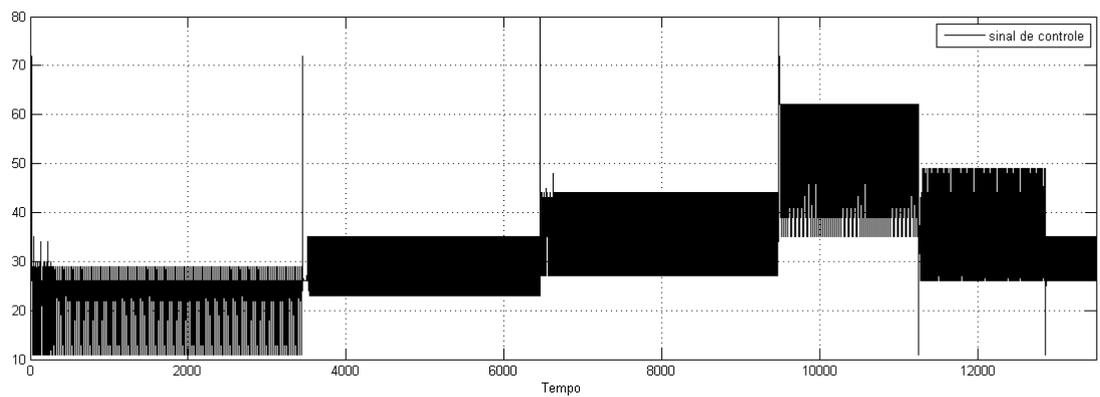


Figura 53 – sinal de controle para o sistema de primeira ordem ARX

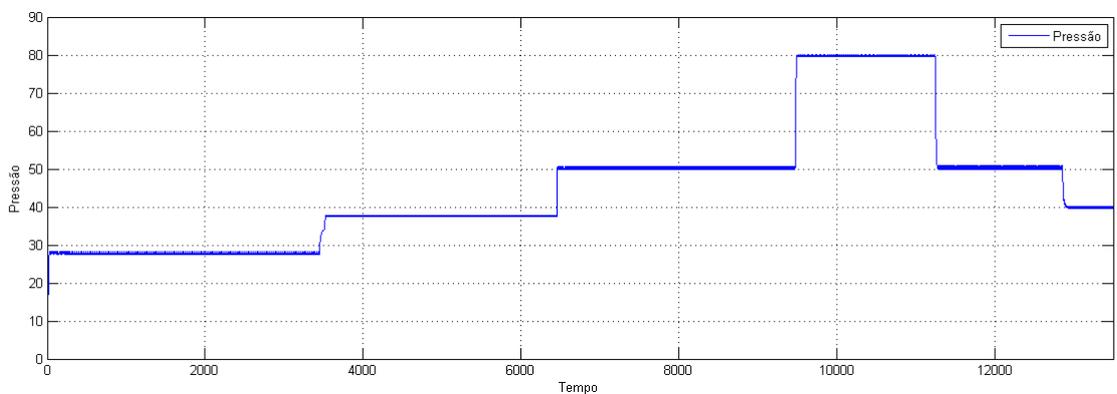


Figura 54 – Simulação de controlador fuzzy para modelo de segunda ordem ARX

As repostas das figuras 52 e 54 foram praticamente idênticas para os dois tipos de modelo.

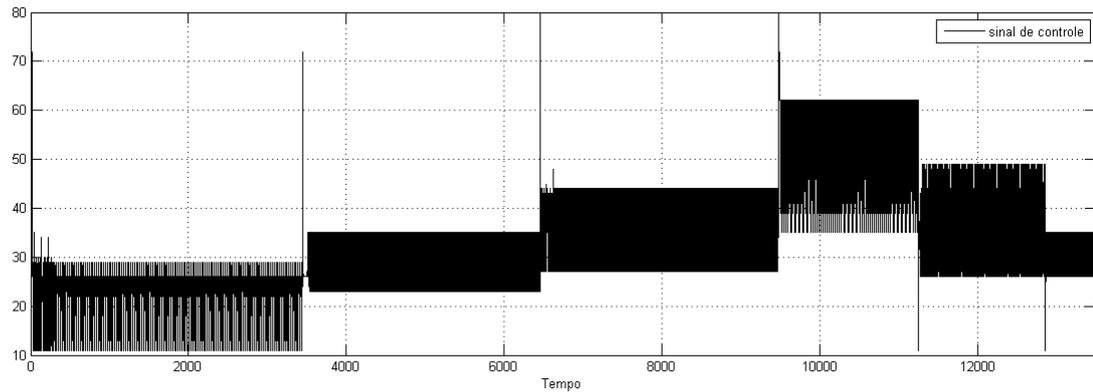


Figura 55 – sinal de controle para o sistema de segunda ordem ARX

Para o modelo de primeira e segunda ordem o sistema tiveram repostas satisfatórias para vários pontos de operação seguindo a referência e rejeitando a porém o sinal de controle pode provocar desgaste no atuador, mas a estratégia de implementação será de forma a preservar o atuador.

Com o bloco *Fuzzy logic controller with ruleviewer* é possível selecionar valores para as variáveis de entrada e verificar como o controlador Fuzzy responde a cada regra previamente estipulada, além do valor numérico obtido na defuzzificação.

A figura 56 demonstra claramente esta situação para um controlador de uma entradas e uma saída.

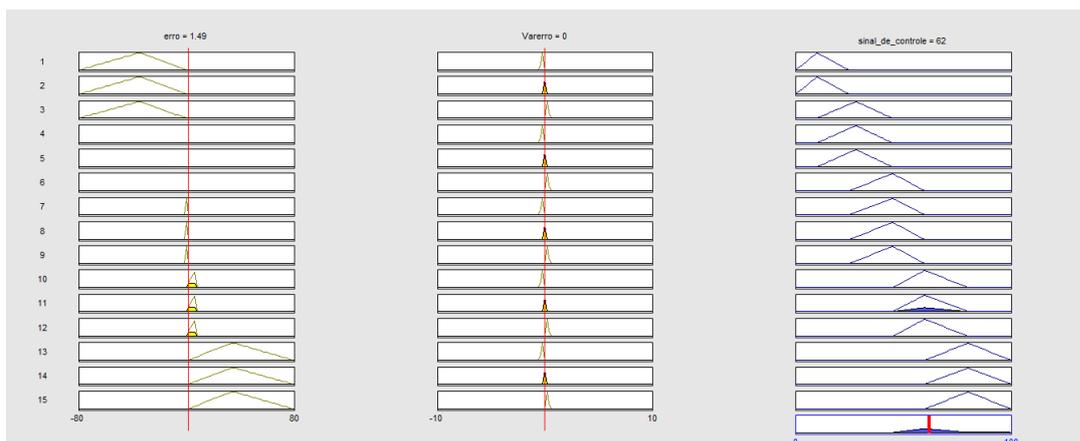


Figura 56 – Visualização das regras aplicadas no controlador fuzzy

4.3.5 Considerações finais

Este capítulo tinha como objetivo apresentar a metodologia de como a solução final para este projeto foi sendo criada, mostrando um pouco de cada passo que foi dado através dos exemplos utilizados. Também era objetivo apresentar um pouco mais da tecnologia

empregada, principalmente a parte de configuração e uma breve apresentação dos softwares de auxílio.

Aumentando a complexidade dos exemplos, a solução final foi tomando forma, juntando cada um dos componentes conforme proposto pela aproximação bottom-up e finalmente esta foi apresentada de maneira conceitual no final do capítulo, servindo de iniciação para o próximo.

No próximo capítulo, será atacada a solução final, apresentando todos os detalhes do projeto e como os problemas foram solucionados.

5 Implementação

Neste capítulo é apresentada a implantação da solução do problema. Todos os detalhes construtivos e de programação são apresentados e discutidos. Este capítulo é dividido por elemento do sistema de automação para facilitar o entendimento e compreensão.

5.1 Topologia de rede do sistema

O modelo de arquitetura deste projeto é fundamentado na teoria de sistemas distribuídos, ou seja, seguirá padrões que melhoram o seu desempenho através do posicionamento e relacionamento entre os elementos deste sistema, atendendo as necessidades atuais e garantindo futuramente uma expansão segura. A definição de uma arquitetura para o sistema é fazer com que o sistema seja confiável, adaptável e gerenciável.

Se não for corretamente planejado, pode acarretar falhas e comprometer o desempenho do sistema.

A figura 57 apresenta em forma de diagrama de blocos de como está estruturada topologicamente a rede do sistema medição e de atuação.

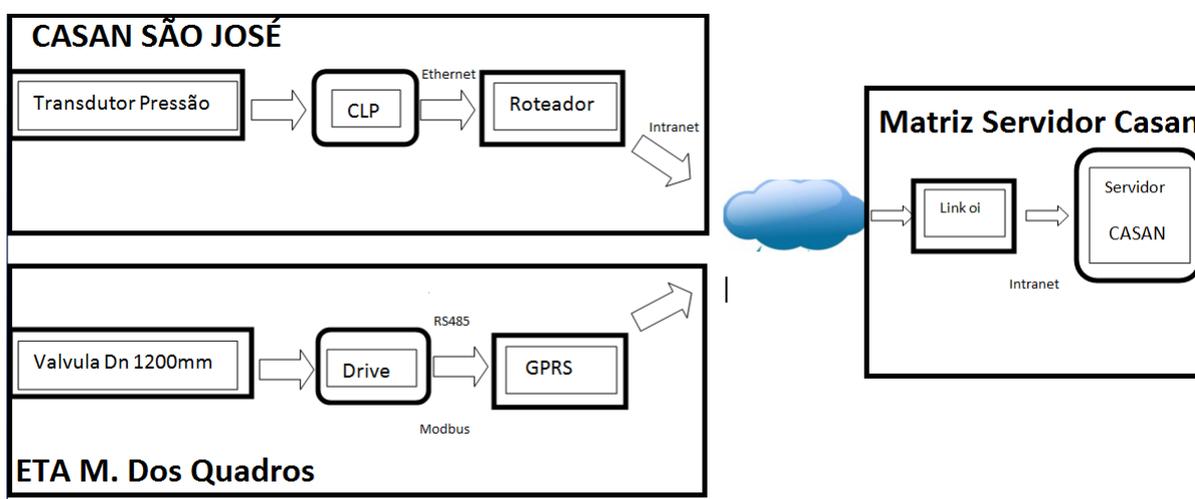


Figura 57 – topologia da rede

Pela topologia da rede pode-se observar que temos diferentes forma de comunicação. Em São José se tem CLP com modulo ethernet que permite o envio da informação pela intranet da CASAN e essa informação vai para a matriz da CASAN onde se encontra o servidor ScadaBr com o *link da OI* processa os dados recebidos, o mesmo acontece quando a informação é recebido da Eta morro dos Quadros, mas a comunicação é feito via pacote de dados GPRS/GSM.

Os dados GPRS – Modbus TCP deve atualizar suas bases de dados (envio e recebimento de dados) obedecendo a um ciclo de tempo pré-determinado, configurado no software.

5.2 Sistema de Medição

Na CASAN de São José é onde se encontra o sistema de medição composto por um quadro de telemetria que é responsável por enviar os dados adquirido da pressão para o supervisor ScadaBr ilustrado na figura 58.



Figura 58 – Quadro de Telemetria em São José

Pela figura destaca-se a fonte de alimentação para o caso de falta de energia tem um bateria, CLP da altus que oferece uma alta velocidade de processamento de dados, disjuntores e reles e contadoras.

As pressões da rede hidráulica são as variáveis controladas, portanto, no intuito de verificar a pressão foi utilizado um manómetro tipo Bourdon ¹ cujas funções são a fácil visualização das pressões e a comparação dos valores medidos com os dados obtidos pelos transdutores de pressão. Na figura 59 temos um manómetro e um transmissor de pressão. os transmissores são sensores destinados a fazer conversão de um sinal que se deseja medir, em um sinal elétrico que pode ser conectado a um dispositivo que possa fazer a conversão e tratamento deste sinal em valores que possam ser mostrado no sistema de controle e supervisão. O transmissor utilizado é da Wika, modelo S-20 está disponível

¹ [http : //www.wika.com.br/company_ptbr.WIKA](http://www.wika.com.br/company_ptbr.WIKA)



Figura 59 – Manómetro e transmissor de pressão

com diferentes classes de precisão (0,125%, 0,25% e 0,5% *BFSL*), faixas de temperatura de processo estendida e customização de pinagem na conexão elétrica, mesmo sob as condições mais adversas, o transmissor de pressão fornece resultados precisos.

Na medição do nível de água no reservatório R1 que está localizada no centro da cidade de Florianópolis, está colocado um transmissor de pressão da Zurich² com um display local, o modelo PSI.420 é um transmissor de alta performance, seu sensor é totalmente em aço inox AISI 316/304. Compatível com a grande parte dos fluidos industriais em processos pneumáticos, hidráulicos, gases corrosivos. A eletrônica microcontrolada, garante precisão e durabilidade aliada a um sensor Piezorresistivo, onde as técnicas de fabricação são as mais atuais.

A figura 60 ilustra o transmissor que registra o nível da água no reservatório R1.

² <http://www.zurichpt.com.br>



Figura 60 – Transmissor de pressão no reservatório R1

Para que os dados sejam enviados para o supervisor ScadaBr, está instalado um quadro de telemetria com modems GSM/GPRS da ABS telemetria³ que é desenvolvido especialmente para aplicações de automação industrial.

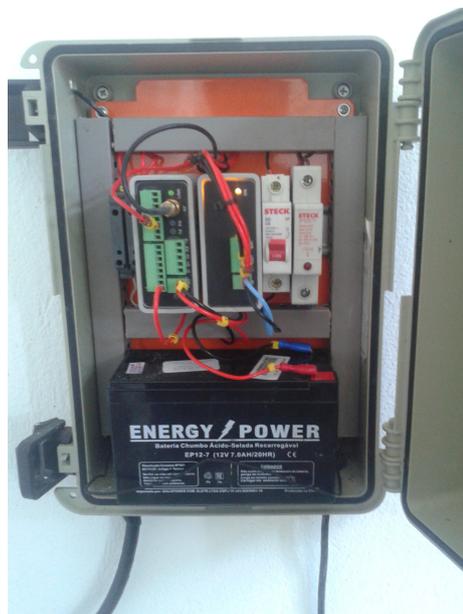


Figura 61 – Quadro de telemetria para medição de nível do reservatório

A CASAN utiliza modems GSM/GPRS para diferentes operadoras telefônicas, com a intenção de conectar o modem ao serviço GPRS, é necessário que o modem execute

³ <http://www.abstelemetry.com/>

uma série de comandos AT para configura-lo. Estes comandos verificam se o modem está preparado para a conexão, indicam a porta e o endereço IP do servidor local que receberá os dados, o seu tipo de funcionamento. Após a conexão ser estabelecida inicia-se a troca de dados. Caso alguma das etapas falhar, o modem reinicia seu processo de configuração.

A operadora de telefonia móvel disponibilizará as informações enviadas pelo modem através da Internet para um computador com IP (fixo preferencialmente), que servirá como servidor de dados para uma rede local. Este então enviará as informações via Ethernet para um Sistema de Supervisão

Para a medição do nível do pulmão, utiliza-se uma transmissor hidrostática de nível submersível, com o sinal de saída analógica de 4-20 mA e a utilização da tecnologia 2 fios permite uma integração fácil nas aplicações.



Figura 62 – Transmissor hidrostática de nível

5.3 Atuação e elementos finais de controle

Nesta secção será apresentado alguns elementos de atuação e elementos finais de controle que constituem o sistema de controle, de entre os elementos temos um conjunto de três ventosas, válvula borboleta, quadro de telemetria, IHM, drive de acionamento e servomotor para o acionamento elétrico da válvula.

5.3.1 Válvula Borboleta e Ventosa

Para o controle de pressão, uma válvula borboleta bi-excêntrica de 1200mm é utilizado como elemento final de controle, esta válvula encontra-se junto a saída da estação de tratamento do Morro dos Quadros onde a água é distribuída. As figura 63 mostra a válvula com o servomotor que permite a abertura e fechamento da válvula borboleta e na

figura 64 mostra um ilustra para a fácil entendimento de como é a válvula borboleta que será foi utilizado no script de animação no ScadaBr.



Figura 63 – Válvula Borboleta bi-excêntrica na adutora de 1200mm



Figura 64 – Válvula borboleta bi-excêntrica

A válvula borboleta flangeada ⁴ bi-excêntrica pode ser usada para isolar ou regular

⁴ www.valloy.com.br

a vazão de uma rede. O elemento de vedação tem a forma de um disco, e seu acionamento por um mecanismo elétrico.

A escolha dessa válvula é devido ao seu baixo custo em comparação com outros modelos, além de serem mais leves requerendo suportes mais simples e ocupando menos espaço que as válvulas gavetas ou globo. O disco está posicionado no centro da válvula e, atravessando-o de um lado ao outro, há uma haste conectada a um atuador do lado de fora da válvula. A rotação do atuador faz o disco girar para uma posição paralela ou perpendicular ao fluxo. Ao contrário de uma válvula esfera, o disco está sempre presente dentro do fluxo, portanto uma queda de pressão é sempre induzida no fluxo, independentemente da posição da válvula.

Acoplado a válvula borboleta com acionamento manual, um linha distinta de redutor, que permitiu uma fácil automação. Os mecanismos de redução são do tipo porca viajante ou coroa e sem fim da linha C são de concepção simples, robustos e precisos, oferecem o máximo de segurança durante as manobras.

Junto a válvula borboleta está um conjunto de três ventosas que permite a saída do ar que tenha ficado ou entrado em adutoras por gravidade.



Figura 65 – Ventosas de ar

As ventosas são equipamentos complementares indispensáveis ao bom funcionamento dos condutos forçados. A sua importância, contudo, é frequentemente subestimada em projetos de sistemas adutores, ocorrendo, em muitos casos, a omissão de detalhes e de especificações essenciais.

5.3.2 IHM

Na CASAN, uma das IHMs utilizadas é a MT6070IH / MT8070IH - 7" da fabricante Weintek⁵. As interfaces de operação Homem-Máquina (IHM) da serie MT6000 são produtos de uma nova geração muito mais poderosa e eficiente e confiável.

Equipada com uma tela de LCD de alta definição TFT com alta definição e contraste muito acima da média do mercado.

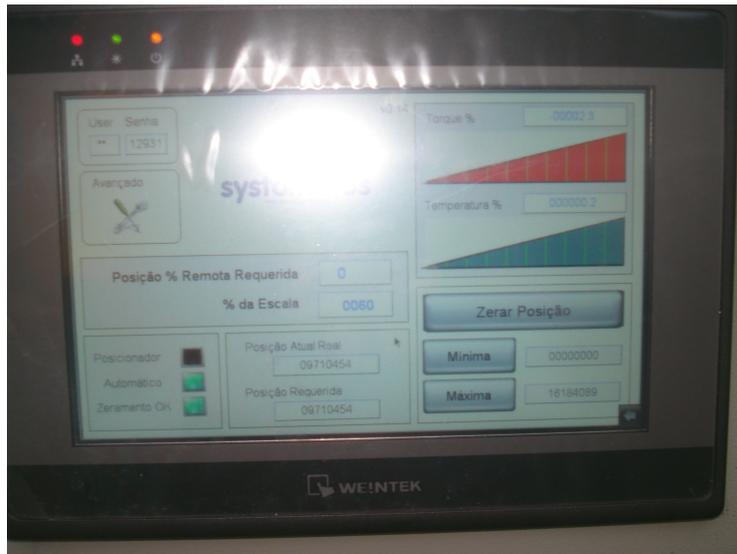


Figura 66 – IHM MT6070IH / MT8070IH

Entre as características da IHM MT6070IH / MT8070IH pode-se citar:

- Processador RISC de 400MHz;
- Resolução de 800x480 px com 65.536 cores;
- Luminosidade do display: 375 cd/m²
- Contraste: 500:1;
- 3 portas de comunicação: RS-232 e RS-485;
- 1 porta USB 1.1 (HOST);
- 1 porta USB 2.0 (Client);
- 1 porta Ethernet 10/100 Base-T (MT8070i);
- Memória DRAM: 64Mb DDR2;
- Memória Flash de 128Mb;
- Interface para cartão de memória CompactFlash (MT8070iH);
- Saída de audio (MT8070iH);

⁵ <http://www.weintek.com/>

- Relógio de tempo real (RTC) com calendário;
- Alimentação: 12/24 Vcc consumo 250mA;
- Grau de proteção frontal: IP65;
- Certificação de segurança pela UL;

Quanto à alimentação, a IHM deve receber uma tensão de 24 Vdc e consome uma potência de 20 W.

A programação das IHMs da weintek é feita através de um software proprietário chamado EasyBuilderPro, exclusivo para ambiente Windows.

Através do software foi possível criar representações gráficas para a aplicação do projeto, telas diferentes, menus animados, escrita e leitura de parâmetros do controlador, e da posição do servomotor.

De entre as representações desenvolvidas podemos citar os recursos mais importante implementados no IHM:

- Ajuste de Escala: O operador pode ajustar a escala da abertura da válvula através de uma IHM no painel do quadro de comando. Esse ajuste é necessário sempre que o sistema é instalado pela primeira vez, vinculando uma relação de voltas e percentual, ou seja, 0% para totalmente fechada e 100% para totalmente aberta;
- “Zeramento” do Posicionador: O operador pode fazer uma calibração de forma manual, recalculando de forma automática a relação de escala. Basta posicionar a válvula manualmente até o zero (totalmente fechada) e pressionar esse botão na IHM do painel de comando;
- Posição Atual: O sistema mostra em tempo de execução a posição atual da válvula em forma de percentual (0 a 100%). Posição Requerida: Posição estabelecida pelo sistema/operador para ser alcançada;
- Posição Requerida: Posição estabelecida pelo sistema/operador para ser alcançada;
- Gráfico de Torque: Mostra em tempo de execução o torque aplicado ao sistema mecânico através de um gráfico;
- Gráfico de Velocidade: Mostra em tempo de execução a velocidade aplicada ao motor;
- Níveis de Acesso;

O IHM deve-se comunicar com o drive de acionamento do servomotor para abertura da válvula, uma das soluções é a utilização de um driver de configuração padrão da IHM, denominado “Modbus Master/Slave”, Nesta configuração a IHM irá formar uma rede

Modbus RTU half-duplex, onde ela é o mestre e o drive, ou qualquer outro dispositivo, seu escravo.

O canal de comunicação desta rede pode ser via cabo RS-232, RS-485 ou RS-422, sendo necessário alterar as chaves da IHM para o formato de comunicação correto.

5.3.3 Drive de acionamento e servomotor

Na figura 67 tem-se um, quadro de telemetria, onde se destaca o drive SLDV-N da Parker⁶, uma fonte de alimentação, modems GSM/GPRS, e protetor de surto.

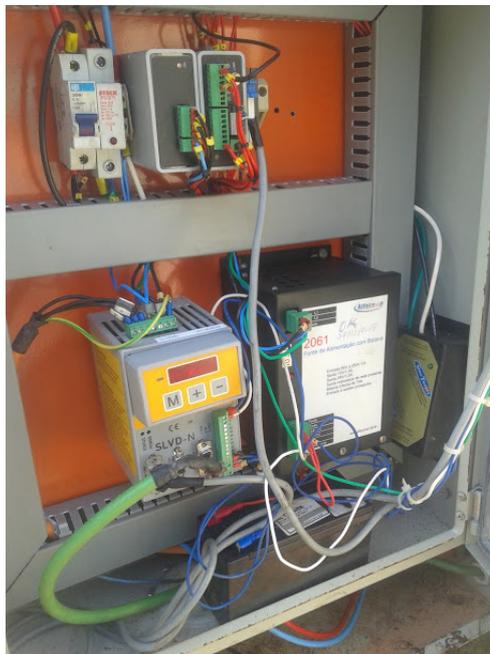


Figura 67 – Quadro de telemetria na ETA Morro dos Quadros

O drive SLDV-N é uma família de servo drives digitais compactas para motores brushless, que, além de aplicações de posicionamento com perfil trapezoidal, eixo elétrico, eletrônico, orientação do fuso, simulador de motor de passo e controle de torque, detém uma CLP embarcado capaz de comunicar com os sistemas de programação industriais mais comuns, dando uma grande liberdade de uso das entradas e saídas. Ele também permite o desenvolvimento de configurações adicionais para as características de base da unidade, tais como ganhos de ajuste do ciclo em relação à velocidade ou espaço, monitoramento de torque usado para ferramentas.

Para prover a comunicação entre o drive de acionamento com servomotor, um cabo resolver é utilizado com a configuração adequado do encoder, que é responsável pelo controle e medição de velocidade do motor, medição posição e sentido de giro da válvula.

⁶ <http://www.parker.com/>

5.4 Programação e configuração do scadaBR

5.4.1 Data source

Ao acessar o ScadaBR, uma barra de ícones das aplicações é mostrada logo abaixo do logotipo da marca CASAN. Para definir uma nova comunicação com esse software deverá ser acessado o ícone Data Source (Fonte de Dados). Essa aplicação é aonde os dados são recebidos, os valores de dados coletados são então armazenados em Data Points (Pontos de Dados). Virtualmente, qualquer dado pode ser data source desde que o protocolo de comunicação seja suportada pela aplicação.

A configuração do data source pode ser vista na figura 68. Note que o Protocolo utilizado foi o modbus serial.

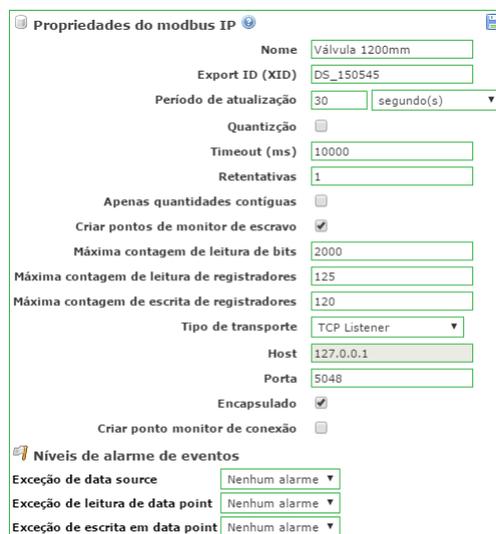


Figura 68 – Data source da válvula 1200mm

Acima temos a imagem da tela de configuração geral do data source que criamos e a explicação dos itens alterados:

Nome: nome do data source - configuramos como “Valvula 1200mm”.

Export ID: Identificação do ponto no arquivo geral do sistema supervisório.

Período de Atualização: Intervalo de tempo em que o sistema atualizará as informações dos data points.

Timeout: Tempo para o sistema considerar perda dos pacotes – definimos em 1000 milissegundos.

Tentativas: Quantidade de tentativas de reenviar os pacotes em caso de timeout - 10000.

Porta: Porta de comunicação - definido de acordo com a disponibilidade.

Tipo de Transmissão: Qual o protocolo de transporte - definido com TCP listener.

Os demais itens permaneceram inalterados, pois já nos atendiam no modo default.

Para que seja possível o recebimento dos dados da pressão foi configurado um Meta Data Source a qual pode ser visto na figura 69.



Figura 69 – Meta Data source Para conversores- Pressão

O Meta data source tem esse nome por sua capacidade de combinar pontos existentes em novos. Ao invés de obter sua informação de uma fonte externa, utiliza valores de outros pontos e permite manipulação de maneiras arbitrárias pelo usuário.

Nome: nome do data source - configuramos como “conversores”.

Export ID: Identificação do ponto no arquivo geral do sistema supervisor.

Este data source requer algum conhecimento de JavaScript, também conhecido como ECMAScript.

5.4.2 Data Point

Em seguida, criam-se os Data Points, onde foram nomeados os sensores e atuadores, tipo de dado trafegado e endereço do offset do sistema ScadaBR.

Meta pontos são configurados criando um "contexto" de pontos existentes acessados pelo script quando executado. Estes pontos de contexto podem ser quaisquer pontos salvos no ScadaBR, incluindo o ponto sendo editado. (O ponto corrente deve ser salvo—ou seja, não pode ser "novo"—antes de aparecer na lista de pontos de contexto.)

A figura 70 mostra o Data Point habilitado para a leitura desses valores, este Data Point recebe o valor da medição e é utilizado um script para conversão do valor.

O Contexto do script define os pontos que estarão disponíveis para o script quando for executado. Cada ponto adicionado deve receber um nome de variável, chamado de Var, que referencia o ponto no script.

O Tipo de dado determina o tipo esperado de retorno para o script. O ponto tenta converter valor retornado do script para este tipo. No nosso caso o dado retornado é numérico e convertido a unidade desejada.

Detalhes do data point

Nome:

Export ID (XID):

Tipo de dado:

Configurável:

Contexto do Script: 1-insular - analogico

Nome do ponto	Tipo de dado	Var
ARSJE - Nivel de Pressão	Numérico	p10
ARSJE - Online	Binário	p299

Script:

```
return ((p10.value / 130)*10)
```

Atualizar evento:

Atraso de execução (segundos):

Figura 70 – Data point com o script de conversão da pressão

Para o sistema de válvula 120mm foi criado 11 data points, como pode ser visto na figura 72.

Válvula 1200mm		Modbus IP 127.0.0.1:5048			
Nome do data point	Descrição	Status			
Automático	Binário / Id do escravo 2, offset 12				
Driver Online	Binário / Monitor do Id do escravo 2				
ED_1	Binário / Id do escravo 1, offset 64101/0				
habilita sonda	Alfanumérico / Id do escravo 1, offset 64500				
Nível do Pulmão	Numérico / Id do escravo 1, offset 64104				
Online	Binário / Monitor do Id do escravo 1				
Porcentagem Atual	Numérico / Id do escravo 2, offset 100				
Porcentagem Requerida	Numérico / Id do escravo 2, offset 200				
Qualidade do Sinal	Numérico / Id do escravo 1, offset 65000				
sonda habilitada	Binário / Id do escravo 1, offset 64102/0				
Zeramento OK	Binário / Id do escravo 2, offset 15				

Página 15 de 15 (281 - 290 de 290 colunas) Anterior [10](#) [11](#) [12](#) [13](#) [14](#) [15](#)

Figura 71 – Data point da adutora de 1200mm

Após a criação de cada variável, faz-se a associação interna delas para os pontos do sistemas que se deseja monitorar.

Na figura 72 pode-se observar:

- Tipo do dado trafegado (binário, booleano, numérico e alfanumérico);
- O status (verde – habilitado, vermelho – desabilitado);
- O número de identificação do escravo (como será apenas um dispositivo desenvolvido, apenas o número 1 estará contido na configuração);
- O offset que corresponde ao endereço Modbus reservado no firmware para comunicação;

Irá ser apresentado detalhadamente 3 data point, já que a configuração é praticamente igual para todos os outros.

5.4.2.1 Nível pulmão

The image shows a configuration window titled "Detalhes do data point" with a blue information icon and a red close button. The window contains the following fields:

Nome	Nível do Pulmão
Export ID (XID)	DP_699572
Id do escravo	1
Faixa do registro	Registrador de entrada ▼
Tipo de dados modbus	Inteiro de 2 bytes sem sinal ▼
Offset (baseado em 0)	64104
Bit	0
Número de registradores	0
Codificação de caracteres	ASCII
Configurável	<input type="checkbox"/>
Multiplicador	1
Aditivo	0

Figura 72 – Propriedades data point “Nível Pulmão”

Os itens configurados são:

Nome: Nome do data point - Nível do Pulmão

Export ID: mesma função do item criado por default no data source.

Id do escravo: Identificação do IHM – Neste caso foi definido como 1 que será o Id do SLAVE_01. Este Id deverá ser o mesmo configurado na programação do controlador IHM.

Faixa de registro: “Tipo” de data point – Para este tipo de sensor a opção correta é “Registrador de entrada”.

Tipo de dados modbus: Tipo de registrador que será enviado ou recebido – Para este caso serão números inteiros de 2 bytes sem sinal.

Offset (baseado em 0): Id do sensor na faixa de registro – Para este sensor, cadastrado como 0.

Configurável: Esta caixa permite se marcada, que o data point tenha o valor alterado pelo supervisor – Para este caso deve permanecer desmarcada, pois só se deve habilitar para atuadores ou registradores e não para sensores, pois estes são somente de leitura.

Multiplicador e Aditivo: São campos utilizados para multiplicar ou se adicionar algum valor aos dados lidos do data point para que o valor apresentado esteja em alguma escala pretendida.

The screenshot shows a configuration window titled 'Detalhes do data point'. The fields are as follows:

Nome	Porcentagem Atual
Export ID (XID)	DP_023797
Id do escravo	2
Faixa do registro	Registrador holding
Tipo de dados modbus	Inteiro de 2 bytes com sinal
Offset (baseado em 0)	100
Bit	0
Número de registradores	0
Codificação de caracteres	ASCII
Configurável	<input checked="" type="checkbox"/>
Multiplicador	1
Aditivo	0

Figura 73 – Propriedades data point “Porcentagem atual”

5.4.2.2 Percentagem atual

Os itens configurados são:

Nome Nome do data point - Percentagem atual.

Export ID: mesma função do item criado por default no data source.

Id do escravo: Neste definido como 2 que será o Id do SLAVE_01. **Faixa de registro:** Para este tipo de atuador a opção correta é “Status do coil”.

Tipo de dados modbus: Inteiros de 2 bytes com sinal.

Offset (baseado em 0): Para este atuador, cadastrado como 100. **Configurável:** Para este caso deve estar marcada, pois necessitaremos alterar o valor para ativar ou desativar o atuador. **Multiplicador e Aditivo:** Para este caso não utilizaremos valores adicionais, por tanto deixaremos como default, ou seja, 1 no “Multiplicador” e 0 no “Aditivo”.

5.4.2.3 online

The screenshot shows a configuration window titled 'Detalhes do data point'. The fields are as follows:

Nome	Online
Export ID (XID)	DP_520060
Id do escravo	1

Figura 74 – Propriedades data point “Online”

Os itens configurados são:

Nome: Nome do data point - Online

Export ID: mesma função do item criado por default no data source.

Id do escravo: Neste caso foi definido como 1.

Estes data point é do tipo Binário. Ambas as redes serial e IP utilizam os mesmos atributos de pontos para localizar valores. O Id do escravo é o id com o qual o nó Modbus foi configurado; é um número entre 1 e 240.

5.4.3 Eventos e Alarmes

Para este sistema, foram criados 3 alarmes 2 para o data point da pressão e um para data point válvula de 1200mm e estão diposto da seguinte forma no detalhes de detetor de Alarmes

- Informação ARSJE Offline - Aciona o alarme que a telemetria da medição da pressão está offline.
- Informação ARSJE Offline por mais de 15 mins- Aciona o alarme que a telemetria da medição da pressão está offline por 15 minutos.
- Válvula de 1200 fora do ar- Aciona o alarme que a telemetria da válvula está fora do ar.

Detetores de alarmes ou eventos compostos são utilizados para detetar condições entre múltiplos eventos ao mesmo tempo. Ao invés de detetar quando um valor se encontra muito alto ou baixo, se determinado dispositivo está num dado estado ou se encontra-se em determinado dia da semana, detetores compostos permitem definir relações de lógicas entre vários eventos. Por exemplo, você pode detetar situações quando um valor está muito alto ou baixo e outro dispositivo está em determinado estado, mas não em um determinado dia da semana.

Detetores compostos agem como detetores de condições lógicas entre os detetores simples já existentes. Assim, todos os detetores necessários à lógica em questão devem existir no sistema e já terem sido configurados. Veja "detetores de data points e eventos agendados" para mais informações.

Para a pressão, foram criados níveis de eventos. Um nível classificado como “inferior”, para quando a temperatura ultrapassar 76 mca e outro classificado como “superior” para caso a temperatura ultrapasse 84 mca.

Na guia de configuração do data point “Pressão”, configuramos na guia “Detetores de eventos” os alarmes mencionados acima. Os itens que precisamos configurar foram: Tipo: Selecionado “Detector de limite superior” Nível do alarme: Selecionamos aqui a criticidade dos eventos, de acordo com a temperatura ultrapassada: Urgente para maior que 76 e Crítico para acima de 84. Limite superior: Foram nestes campos que definimos os limites mencionados acima.

Foram criados dois níveis de alarme. Um nível classificado como “limite inferior” para quando a pressão ultrapassar 76 mca e outro classificado como “superior” para caso a temperatura ultrapassar 84 mca. Abaixo segue a configuração estes alarmes.

5.4.4 Representação Gráfica

Para o monitoramento do sistema, existem duas interfaces, uma chamada Watch list e outra chamada Interface Gráfica. O Watch list é a interface com a lista de variáveis do sistema, com valores atualizados de acordo com a frequência configurada no Data Source, gráficos de cada variável, com registro dos valores variando no tempo. Os valores e os gráficos são atualizados em tempo real sem ter que atualizar o browser.

O uso de interfaces gráficas é a forma mais intuitiva do operador ter acesso aos valores que realmente importam. A figura 75 mostra a interface gráfica do sistema.

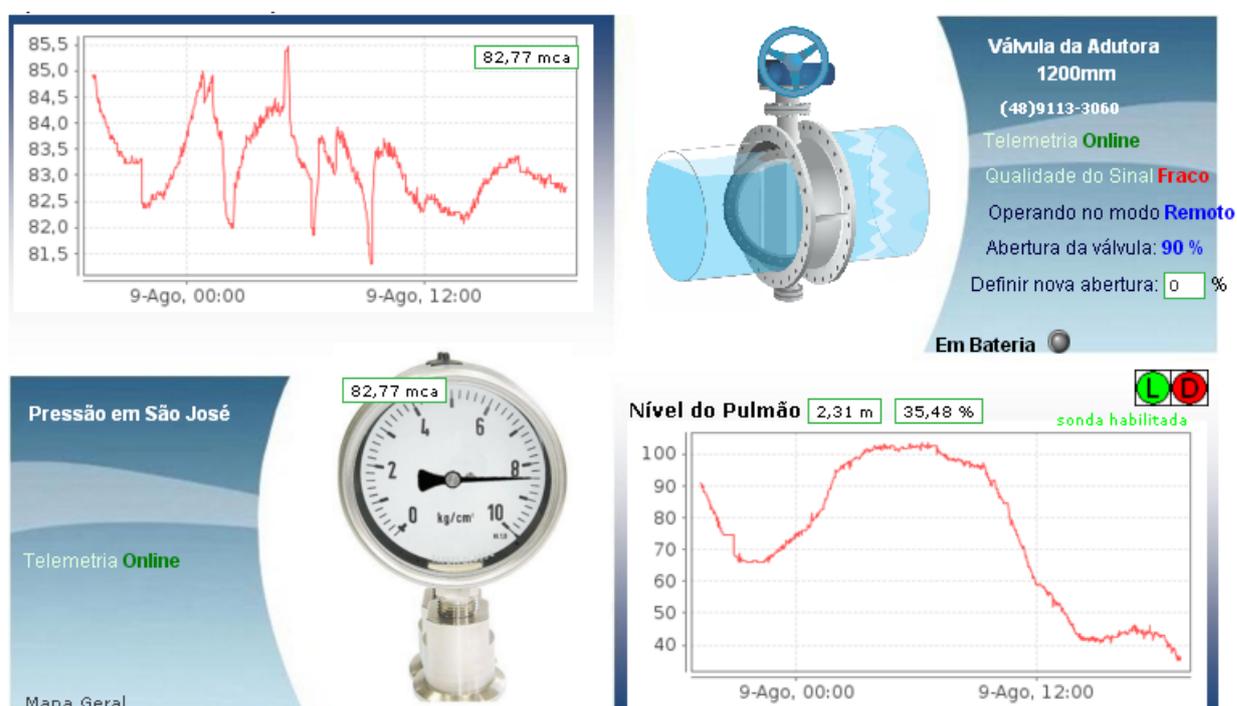


Figura 75 – Tela de interface gráfica (fonte: CASAN)

Usando a funcionalidade Drag and Drop pode-se posicionar gráficos acima de imagens arbitrárias. Usando imagens animadas para acompanhar a dinâmica do sistema. E como a monitoramento exemplificado anteriormente pode ser representado em tempo real sem atualização do navegador.

Os valores visualizados na lista são:

- Pressão medida em São José;
- Telemetria, pode estar online ou offline;

- Abertura da válvula, indica a posição em percentagem da válvula;
- Definição da abertura da válvula;
- Qualidade do sinal;
- Modo de Operação, remoto ou automático;
- Imagem animado da válvula;
- gráfico da pressão e do reservatório pulmão;

5.5 Desenvolvimento do controlador Fuzzy

O software de controle foi desenvolvido na linguagem Java. Essa linguagem permite maior portabilidade entre plataformas de hardware diferentes.

O processo de desenvolvimento do software é relativamente complexo. O mesmo é organizado em módulos, para o fácil entendimento do funcionamento da implementação do controlador fuzzy.

Na figura 76 é apresentada uma arquitetura do sistema de controle proposto, tanto o software de controle como o ScadaBR trocam informações.

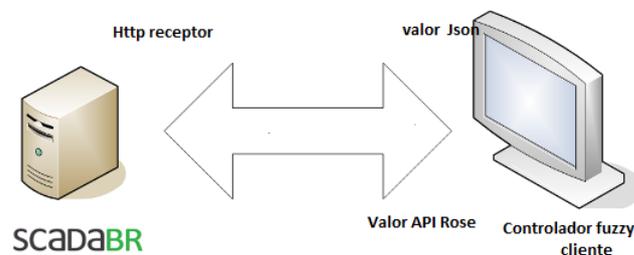


Figura 76 – integração scadaabr com aplicação Java

A arquitetura do ScadaBR não oferece uma maneira totalmente flexível de se adicionar novos protocolos no sentido de que, além de adicionar as classes do novo protocolo em si, outras classes gerais e também alguns arquivos de configuração devem ser modificados, de modo que uma nova compilação do sistema é exigida.

As alterações nos arquivos compartilhados, no entanto, são simples e as classes que dão apoio à implementação do protocolo em si estão muito bem arranjadas de modo que as funcionalidades comuns a todos os protocolos estão centralizadas em superclasses e evitam a repetição de código, fazendo com que seja necessário apenas codificar aquilo que é específico ao protocolo em si. O desenvolvimento de um novo protocolo para o ScadaBR envolve duas partes bem distintas: a implementação do código Java e a implementação da interface gráfica. Estas duas partes serão abordadas separadamente.

Para utilizar a API, deve-se utilizar a infra-estrutura de acesso da linguagem escolhida para desenvolvimento. Normalmente, isto se resume a utilizar uma biblioteca de acesso, seguindo sua documentação específica.

Foi instalado no servidor da CASAN uma API Rose que retorna os valores as informações dos data points desejados. A figura 79 mostra as informações do data point retornado no formato JSON. O formato JSON é uma formatação leve de troca de dados. Para seres humanos, é fácil de ler e escrever. Para máquinas, é fácil de interpretar e gerar. Está baseado em um subconjunto da linguagem de programação JavaScript, Standard ECMA-262 3a Edição -Dezembro - 1999. JSON é em formato texto e completamente independente de linguagem, pois usa convenções que são familiares às linguagens C e familiares, incluindo, Java, JavaScript, Perl, Python e muitas outras.

Digitando o endereço do url do servido Scadabr juntamente com o XID do data point no navegador é possível visualizar as informações do data Point.

```
{"timestamp":"15/08/2016 18:16:00","name":"erro","value":-1.0769230769230802"}
```

Figura 77 – Formato JSON

JSON está constituído em duas estruturas:

- Uma coleção de pares nome/valor. Em várias linguagens, isto é caracterizado como um object, record, struct, dicionário, hash table, keyed list, ou arrays associativas.
- Uma lista ordenada de valores. Na maioria das linguagens, isto é caracterizado como uma array, vetor, lista ou sequência.

Com a API ROSE foi possível fazer a integração, permitindo assim a troca de informação entre Scadabr e a aplicação em Java. A API ROSE do ScadaBR expõe as funcionalidades mais importantes do Scada, que são leitura e escrita de tags, consulta a dados históricos e acesso a alarmes e eventos, entre outros. A API pode ser estendida conforme necessidades específicas do usuário.

Para que fosse possível ler os dados do Scadabr na aplicação do controlador fuzzy, foi criada uma classe **ClientHttpScadabr** que é baseado na arquitetura cliente servidor, onde o aplicação do do controlador fuzzy é o cliente. Portanto essa classe é o programa principal que faz a requisição HTTP.

Dentro dessa classe tem-se dois métodos uma para fazer requisição de dados do ScadaBr e outra para enviar o sinal de controle para o ScadaBr. As figura abaixo ilustram os métodos implementados.

```

void sendValue(String param, double value){

    String url = URL+"/https?" +param+"="+String.valueOf(value);
    String result="";

    try {
        result=sendPost(url);
    } catch (Exception e) {
        // TODO Auto-generated catch block
        e.printStackTrace();
    }

    System.out.println(result);

}

```

Figura 78 – Método send

```

static final String URL = "http://supervisorio.casan.com.br:8080/CASAN";

double getValue(String xid) {

    String url = URL+ "/rose/datapoint/" +xid; // Endereco url do scada isntalado o API Rose + datapoint+ codigo do datapoint
    String result="";
    double value=-1; // recebe valor -1 mostrando valor nulo

    try {
        result = sendGet(url); // pega os resusltado do endereco do url
        JSONObject json = new JSONObject(result); //criar e recebe um novo objecto
        value=json.getDouble("value"); // e pega o valor do result
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
    return value;
}

```

Figura 79 – Método Get

O componente de controlador fuzzy é a parte central do software, o sistema foi baseado na Norma IEC 61131-7, que descreve de como deve funcionar o controlador fuzzy para equipamentos industriais, tais como controladores programáveis e de como devem ser programados. Para isso foi definido uma linguagem FCL (fuzzy control Language).

A figura 80 mostra o código sistemático implementado em FCL para o controlador da lógica fuzzy, nesta figura será ilustrada apenas a parte de fuzzificação. A figura 81 mostra a parte de defuzzificação do código implementado. A figura 82 mostra a parte das regras do código implementado.

O código do FCL não é de controle por realimentação; apenas é um rotina que recebe os dados do ScadaBr e envia o sinal de controle novamente para o ScadaBr. O controle proposto envolve as variáveis de entrada que foram abordadas nos capítulo anterior, onde o tipo de valor passado por ser int, real ou word.

A linguagem Fuzzy pode ser declarativa similar à SQL de banco de dados relacionais. o mesmo pode ser separado por áreas e subáreas para declarar as porções que são:

- definição do bloco Fuzzy

```

⊖ FUNCTION_BLOCK Pressao //Bloco de Definições (Pode ter mais de um block_Function)

  VAR_INPUT                // Variáveis linguísticas de entradas
  Erro: REAL;
  Var_Erro: REAL;
  PULMAO: REAL;
  END_VAR

  VAR_OUTPUT                // Variável de saída (saída do sinal de controle)
  Saida_Control: REAL;
  Saida_Control_Pulmao: REAL;
  END_VAR

⊖ FUZZIFY Erro // Fuzzificação da variável linguística "Erro": {'NG', 'NM', 'Zero', 'PM', 'PG'}
  TERM NG := (-80,0) (-20,1) (0,0) ;
  TERM NM := (-4, 0) (-2, 1) (0,0);
  TERM Zero:= (-0.5,0) (0,1) (0.5,0);
  TERM PM := (0,0) (2,1) (4,0);
  TERM PG:= (0,0) (40,1) (80,0) ;

  END_FUZZIFY

⊖ FUZZIFY PULMAO // Fuzzificação da variável linguística "PULMAO": {'P', 'M', 'G'}
  TERM P1 := (0,0) (15,1) (30,0) ;
  TERM M1 := (20, 0) (40, 1) (70,0);
  TERM G1:= (60,0) (80,1) (100,0);
  END_FUZZIFY

⊖ FUZZIFY Var_Erro // Fuzzificação do termo linguístico Var_Erro: { 'N', 'Zero', 'P' }
  TERM N := (-0.5, 0) (-0.25,1) (0,0) ;
  TERM Zero:= (-0.01,0) (0,1) (0.01, 0);
  TERM P:= (0,0) (0.25 ,1) (0.5,0);
  END_FUZZIFY

```

Figura 80 – Fuzzificação

```

⊖ DEFUZZIFY Saida_Control // Desfuzzificação {'NG', 'NM', 'Zero', 'PM', 'PG'}
  TERM PP := (10,0) (15,1) (20,0);
  TERM PPM := (15,0) (30,1) (40,0);
  TERM PM:= (30,0) (55,1) (70,0);
  TERM PG := (60,0) (80,1) (95,0);
  METHOD : COG; //Usa 'Centro de Gravidade' para o metodo de Dessifuzzificação
  DEFAULT := 0; // caso não as regras não forem ativadas o valor é 0

  END DEFUZZIFY

⊖ DEFUZZIFY Saida_Control_Pulmao // Incremento de controle Desfuzzificação {'P', 'M', 'G'}
  TERM P := (0,0) (5,1) (10,0);
  TERM M := (2,5,0) (10,1) (15,0);
  TERM G := (7,5,0) (15,1) (20,0);

  METHOD : COG; //Usa 'Centro de Gravidade' para o metodo de Dessifuzzificação
  DEFAULT := 0; // caso não as regras não forem ativadas o valor é 0

  END DEFUZZIFY

```

Figura 81 – defuzzificação

```

⊖ RULEBLOCK No1
  AND : MIN; // Use 'min' for 'and' (also implicit use 'max' for 'or' to fulfill DeMorgan's Law)
  ACT : MIN; // Use 'min' activation method
  ACCU : MAX; // Use 'max' accumulation method

  RULE 1 : IF Erro IS NG AND Var_Erro IS Zero THEN Saida_Control IS PP;
  RULE 2 : IF Erro IS NG AND Var_Erro IS N THEN Saida_Control IS PP;
  RULE 3 : IF Erro IS NG AND Var_Erro IS P THEN Saida_Control IS PP;
  RULE 4 : IF Erro IS NM AND Var_Erro IS Zero THEN Saida_Control IS PPM;
  RULE 5 : IF Erro IS NM AND Var_Erro IS N THEN Saida_Control IS PPM;
  RULE 6 : IF Erro IS NM AND Var_Erro IS P THEN Saida_Control IS PPM;
  RULE 7 : IF Erro IS Zero AND Var_Erro IS Zero THEN Saida_Control IS PM;
  RULE 8 : IF Erro IS Zero AND Var_Erro IS N THEN Saida_Control IS PM;
  RULE 9 : IF Erro IS Zero AND Var_Erro IS P THEN Saida_Control IS PM;
  RULE 10 : IF Erro IS PM AND Var_Erro IS N THEN Saida_Control IS PM;
  RULE 11 : IF Erro IS PM AND Var_Erro IS Zero THEN Saida_Control IS PPM;
  RULE 12 : IF Erro IS PM AND Var_Erro IS P THEN Saida_Control IS PPM;
  RULE 13 : IF Erro IS PG AND Var_Erro IS Zero THEN Saida_Control IS PM;
  RULE 14 : IF Erro IS PG AND Var_Erro IS N THEN Saida_Control IS PG;
  RULE 15 : IF Erro IS PG AND Var_Erro IS P THEN Saida_Control IS PG;

  END_RULEBLOCK

```

Figura 82 – regras

1. Declaração das variáveis de entrada (Erro, variação de erro e Pulmão);
2. Declaração das variáveis de saída (Sinal de cont);
3. fuzzyficação figura 80
 - Definição das funções pertinências a partir das variáveis de entrada;
 - Definição dos termos existentes para cada pertinência;

- Definição do ponto ou curva para cada um dos termos;
4. Defuzzificação figura 81
 - Definição das funções pertinências a partir das variáveis de saída;
 - Definição dos termos existentes para cada pertinência;
 - Definição do ponto ou curva para cada um dos termos;
 - Definição da acumulação;
 - Definição do método de defuzzificação;
 - Definição do valor mínimo ou padrão
 5. Bloco de regras "se-então" figura 82;

O código principal é delimitado pelas palavras chaves **FunctionBlock** e **END-Functionblock**. Logo após a palavra chave **Functionblock** é informado o nome do bloco que deve ser gerenciado pelo controlador.

As regras junto com as funções pertinências correspondem ao conhecimento sobre como controlador o processo. Esta área está compreendida entre as palavras chaves **RULESBLOCK** e **ENDRULESBLOCK**. Na primeira linha dentro deste bloco ou área está sendo atribuída a equivalência do operador **AND** como o operador **MIN**, em outras palavras, a operação "E" lógico é o mínimo entre as pertinências. Na sequência são definidas as regras, após as palavras chaves **RULE** e o número da regra, é definida a própria regra, se utilizando das variáveis e dos termos linguísticos.

Os métodos de fuzzyficação, defuzzificação, os termos, todas as funções visto no FCL foram implementados no java, mas não serão apresentados nesse relatório.

Foi implementada um classe chamada **FuzzyController** que recebe os dados de entrada e aplica ao FCL. Nesta rotina é passado o endereço XID do data point para a variável de entrada e em seguida faz com que seja executado a rotina de controle e no final da execução envia para os Scadabr o valor do sinal de controle defuzzificado.

Esta classe é o mais importante do sistema, porque recebe todos parâmetros do endereço do data point, o período de amostragem que o sistema fica fazendo a requisição dos valores.

A classe responsável por executar e chamar todas as classe do sistema é **Main** e pode ser vista na figura 85.

```

import net.sourceforge.jFuzzyLogic.FIS;

public class FuzzyController implements Runnable{

    private ClientHttpScadaBR scadabrClient;
    private FunctionBlock fb;
    private String xidpError;
    private String xidpErrorVariation;
    private String xidpLevel;
    private String httpParameter;
    private int loopInterval;
    private String filename;
    int Int;
    int casas;
    int ceilOrFloor;

    FuzzyController(String xidpError, String xidpErrorVariation,String xidpLevel, String httpParameter, int loopInterval, String file

        this.xidpError = xidpError;
        this.xidpErrorVariation = xidpErrorVariation;
        this.xidpLevel = xidpLevel;
        this.loopInterval = loopInterval;
        this.filename = filename;
        this.httpParameter = httpParameter;

        loadControlConfig();
        scadabrClient = new ClientHttpScadaBR();
    }

```

Figura 83 – Função fuzzy controller

```

private void controlLoop(){
    while (true) {

        Locale locale = new Locale("pt","BR");
        GregorianCalendar calendar = new GregorianCalendar();
        SimpleDateFormat formatador = new SimpleDateFormat("dd' de 'MMMM' de 'yyyy' - 'HH':'mm'h'",locale);

        double valueErr= scadabrClient.getValue(xidpError);
        double valueErrVar = scadabrClient.getValue(xidpErrorVariation);
        double valueP = scadabrClient.getValue(xidpLevel);

        fb.setVariable("Erro", valueErr);
        fb.setVariable("Var_Erro", valueErrVar);
        fb.setVariable("PULMAO", valueP);

        // Evaluate
        fb.evaluate();

        // Show output variable's chart
        fb.getVariable("Saida_Control").defuzzify();
        fb.getVariable("Saida_Control_Pulmao").defuzzify();

        double valueOut = fb.getVariable("Saida_Control").getValue() + fb.getVariable("Saida_Control_Pulmao").getValue();
    }
}

```

Figura 84 – Loop de requisição e processamento dos dados

```

public class Main {

    public static void main(String [] args){

        FuzzyController pulmaoController = new FuzzyController("DP_061946","DP_930018","DP_100089", "point",500,"controle.fcl");
        new Thread(pulmaoController).start();

        /*
        * Para criar outros controladores é só fazer o código abaixo
        * Os primeiros parâmetros são os XIDs dos data-points,
        * o quarto é o parametro http para onde é enviado o resultado,
        * o quinto é o intervalo de atualização do controlador,
        * e o último é o nome do arquivo com as definições do controlador fuzzy
        */
        FuzzyController pulmaoController = new FuzzyController("DP_061946","DP_930018","DP_100089",10,"controle.fcl");
        new Thread(pulmaoController).start();
    }
}

```

Figura 85 – Classe principal Main

Após a implementação da rotina do controlador Fuzzy é necessário que sinal de controle seja enviado para o Scadabr, para isso seja possível é preciso configurar o data source como sendo HTTP Receiver. O Data Source HTTP Receiver é basicamente um listener, consequentemente, necessita de poucas configurações.

A figura 88 mostra como é feita a configuração do ScadaBR para que seja possível a leitura do sinal de controle enviado pela aplicação em Java.

Para fazer a comunicação entre diferentes ScadaBRs, utiliza-se o conceito de

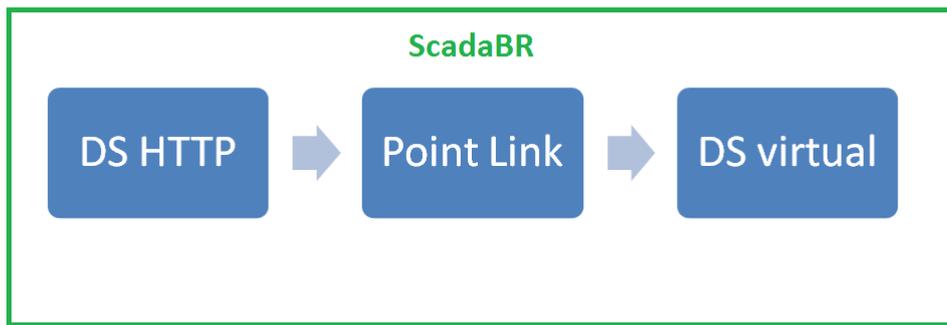


Figura 86 – Configuração No scadabr para o sinal de controle

Publisher-Receiver, representado respectivamente pelo menu Publishers, que permite publicar valores de data points por meio do protocolo HTTP, e pelo Data Source HTTP Receiver, que gera um Listener capaz de receber os valores dos data points publicados pelo publisher. Este conceito pode ser utilizado, por exemplo, quando se tem diversas estações com ScadaBR, e deseja-se manter um centralizador.

Criado o Data source HTTP é preciso que seja feito o point link com o data point que virtual que deve enviar o sinal de controle para o atuador.

A imagem mostra uma janela de software intitulada "Detalhes de point link". O formulário contém os seguintes campos e controles:

- Export ID (XID):
- Data point de origem:
- Data point de destino:
- Script: (com ícone de checkmark verde)
- Evento:
- Desabilitado:

Figura 87 – Point link do sinal recebido da aplicação java com o data point virtual

6 Resultados

Para demonstrar o funcionamento do sistema, foi criada uma representação gráfica "teste" onde pode ser observado o comportamento das variáveis passado para a aplicação feito no Eclipse.

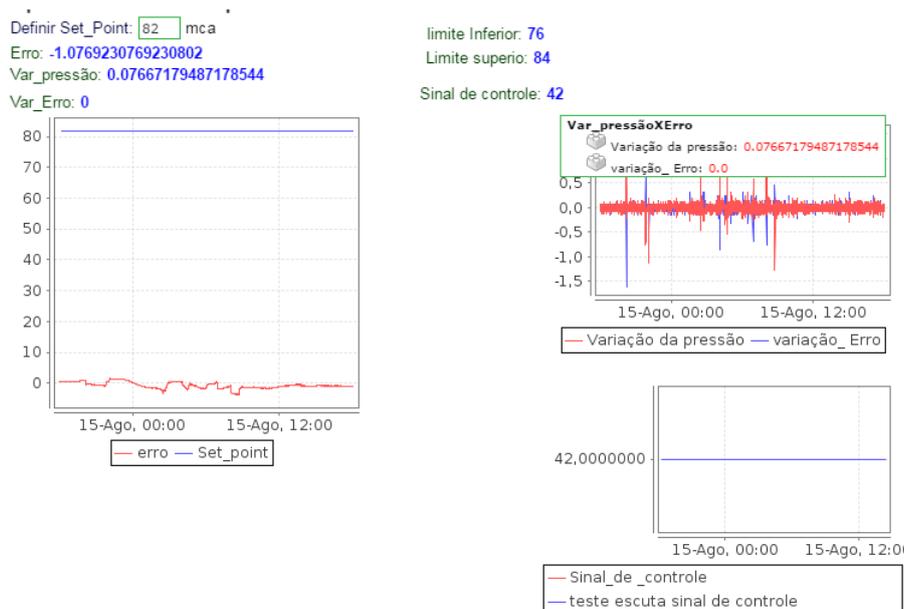


Figura 88 – representação gráfica teste

O software de supervisão foi implementado no ScadaBr, e tem por objetivo apresentar graficamente o processo de controle de pressão. Este software consiste de apenas uma tela onde pode-se destacar os seguintes itens:

- Gráfico do erro e valor do set point;
- Gráfico da variação pressão e variação do erro;
- Gráfico do sinal de controle;
- Data point virtual;
- Detecção de valores limites dos alarmes;

Nesta tela foi configurado o erro através no script que foi feito no ScadaBr e observado na figura 91. Este data point é a diferença entre o valor desejado e valor da pressão medida em São José.

Detalhes do data point

Nome: erro

Export ID (XID): DP_061946

Tipo de dado: Numérico

Configurável:

Contexto do Script: 1-insular - analogico

Nome do ponto	Tipo de dado	Var
_CONVERSOES - Pressão em ARSJE	Numérico	p852
Set_point - Set_point	Numérico	p8346

Script: return(p8346.value-p852.value)

Atualizar evento: Início do minuto

Atraso de execução (segundos): 0

Figura 89 – representação gráfica teste

Foi definida a pressão de referencia em torno de 82 mca. Para que seja criado um data point virtual, deve-se adicionar a tela quando está sendo configurado um script na linguagem de javascript para que reconheça os valor que se deseja.

A variação do erro foi implementada usando a função encontrada no Scadabr. Cada variável de script também implementa quatro funções. Os objetos retornados por essas funções dependem do tipo de dado que a variável representa. A propriedade help pode ser usada para obter uma descrição das propriedades do objeto retornado. Para o parâmetro "periodType" em todas as funções abaixo, as seguintes variáveis globais podem ser usadas: SECOND, MINUTE, HOUR, DAY, WEEK, MONTH e YEAR.

Detalhes do data point

Nome: variação_ Erro

Export ID (XID): DP_316758

Tipo de dado: Numérico

Configurável:

Contexto do Script: 1-insular - analogico

Nome do ponto	Tipo de dado	Var
Erro - erro	Numérico	p8362

Script: return (p8362.value - p8362.past(MINUTE,1).average)

Atualizar evento: Início do minuto

Atraso de execução (segundos): 0

Figura 90 – Variação do erro

A função `past()` retorna um objeto que contém estatísticas sobre um período informado, que inicia no valor passado e termina agora.

O gráfico abaixo mostra o resultado do sinal de controle aplicado junto a válvula

dn 1200mm. Percebe-se que o sistema reponde bem ao que se pretende, mas como este ainda está em fase de testes, ainda são necessários alguns ajustes.

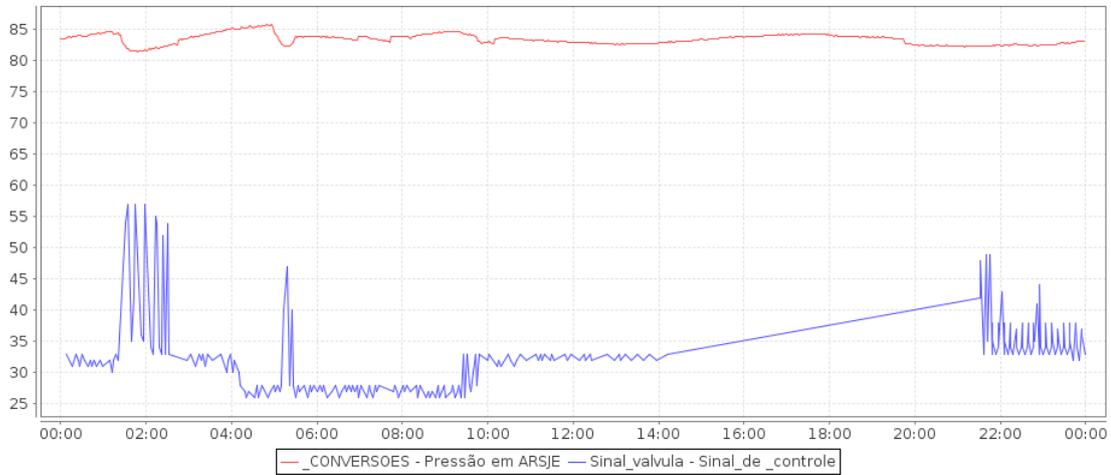


Figura 91 – Sinal de controle

O período de amostragem utilizado para que o controle atue no sistema é de 8 minutos. A ação de controle é praticamente instantâneo, demora frações de segundos para que a válvula mude para posição desejada.

7 Conclusões e Perspectivas

Os controladores Fuzzy vêm sendo aplicados com sucesso no controle de processos onde os controladores convencionais falham ou não exibem um bom desempenho devido, principalmente, a um conhecimento impreciso do comportamento dinâmico e dos parâmetros do processo. Portanto, o estudo e desenvolvimento de sistemas com essa abordagem é um tópico de muita importância para os dias atuais.

Os controladores Fuzzy permitem o controle de sistemas por meio de informações qualitativas, sem a necessidade de modelar o sistema. Desta forma, sistemas de dinâmica complexa podem ter um controle eficiente sem necessidade de linearização do sistema. É importante saber que à medida que o sistema fica mais complexo é necessário definir as regras de controle buscando-se abranger a complexidade do sistema.

Estes controladores podem ser melhorados tendo que sua base de regras no permite uma fácil alteração, alguns métodos automáticos de aprendizado têm facilitado o projeto de controladores fuzzy a fim de que obtivéssemos controladores mais precisos e melhor ajustados para cada sistema de forma independente. Algumas implementações podem ser feita aos controladores fuzzy a fim de torná-los mais robustos.

Existem uma grande quantidade de trabalhos ainda a serem desenvolvidos como continuação desse projeto, essa implementação do fuzzy pode servir de alavanca para gerar um controle fuzzy muito mais completo para a melhoria de sistemas reais e com suas características não lineares.

O SCADABR, utilizado na aquisição e armazenamento de dados, apresentou-se como uma ferramenta de monitoramento bastante versátil, possibilitando além da visualização de gráficos do comportamento das variáveis do sistema, a criação de relatórios onde se pode visualizar os valores das variáveis a cada período e o gráfico de seu comportamento.

Referências

- 1 ABNT. *Projeto de estações de elevatórias de esgoto sanitário*. [S.l.], abril de 1992. Citado na página 32.
- 2 SPERLING, M. V. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 4. Lodos Ativados*. 2nd. ed. [S.l.]: Belo Horizonte DESA-UFMG, 2002. Citado na página 34.
- 3 OLIVEIRA, R. P. e V. Avaliações físicas, químicas e biológicas da microbacia do córrego modeneis. *Revista Engenharia Ambiental*, v. 5, p. 86–96, 2008. Citado na página 40.
- 4 ACHON, C. *Ecoeficiência de Sistemas de Tratamento de Água a Luz dos Conceito da ISO 14.001*. Tese (Doutorado) — USP, 2008. Citado na página 41.
- 5 AGUIRRE, L. A. *Introdução á identificação de Sistema e técnicas Lineares e Não-Lineares aplicadas a sistemas reais*. 2. ed. [S.l.]: Belo Horizonte UFMG, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 55, 60 e 94.
- 6 GEVERS XAVIER BOMBOIS, B. C. G. S. B. D. A. M. *Model validation for control and controller validation in a prediction error identification framework*. [S.l.]: Automtica, 2003. Citado na página 55.
- 7 JOHANSSON, R. *Sytem Modeling and Identification*. [S.l.]: Prentice-Hall, upper saddle River, 1993. Citado na página 55.
- 8 MAXWELL, J. C. On governors. *Proceedings of the Royal Society of London, Vol. 16*, p. 270–283, 1868. Citado na página 63.
- 9 ASTRÖM, R. M. M. K. J. *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. 2.10b. ed. [S.l.]: PRINCETON UNIVERSITY PRESS, 2009. Citado na página 64.
- 10 JUNIOR, T. Y. C. L. N. *Inteligência artificial em controle e Automação*. [S.l.]: Edgard Blucher, 2011. Citado na página 65.
- 11 BOYER, C. *História da Matemática*. [S.l.]: Editora Edgar Blücher, 1996. Citado na página 65.
- 12 SOUSA, J. N. de Paula e. *APLICAÇÃO DE LÓGICA FUZZY EM SISTEMAS DE CONTROLE DE TRÁFEGO METROPOLITANO EM RODOVIAS DOTADAS DE FAIXAS EXCLUSIVAS PARA ÔNIBUS*. Tese (Doutorado) — UFRJ, 2005. Citado na página 65.
- 13 PETRUZELLA, F. *Motores Elétricos e Acionamentos: Série Tekne*. [S.l.]: Bookman, 2013. Citado na página 72.
- 14 MODBUS. Acessado em 06/07/2016. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Modbus#cite_note-1>. Citado na página 74.
- 15 INSTRUMENTS, N. Introdução ao modbus. Citado na página 74.

- 16 FILHO, C. S. Scada. 2002. Acessado em 04/07/2016. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaII/Download/DownloadFiles/Scada.PDF>>. Citado na página 78.
- 17 DAYTON-KNIGHT. Scada explainde. Acessado em 05/07/2016. Disponível em: <http://www.daytonknight.com/Projects/SCADA/scada_explained.htm>. Citado na página 79.
- 18 ROSÁRIO, J. M. *Principios da Mecatronica*. 1. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2005. Citado na página 79.
- 19 CERTI, F. Manual de usuario. Acessado em 06/07/2016. Disponível em: <https://sites.google.com/a/certi.org.br/certi_scadabr/home/minicursos/iniciando-scadabr>. Citado na página 80.
- 20 DILLENBURG, M. R. Alternativas de aplicação do serviço gprs da rede celular gsm em telemetria pela internet. 2008. Acessado em 06/07/2016. Citado na página 83.