

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROPOSTA DE PROJETO DE GRADUAÇÃO**



ALESSANDRA COMERIO

**DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES DE OPERAÇÃO E
MODELAGEM DE UMA PLANTA PILOTO**

**VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2016**

ALESSANDRA COMERIO

**DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES E MODELAGEM DE UMA
PLANTA PILOTO**

Parte manuscrita da Proposta de Projeto de Graduação da aluna **Alessandra Comerio**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Celso José Munaro

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2016

ALESSANDRA COMERIO

DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES DE OPERAÇÃO E MODELAGEM DE UMA PLANTA PILOTO

Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna **Alessandra Comerio**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Celso José Munaro
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Orientador

Prof. Dr. José Leandro Félix Salles
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Examinador

Prof. Dr. Klaus Fabian Côco
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Examinador

Dedico este projeto primeiramente à Deus que iluminou o meu
caminho durante esta caminhada.
À minha família e ao meu noivo que com muito carinho, apoio e
compreensão, não mediram esforços para que eu chegasse até
esta etapa de minha vida.
Aos meus amigos e professores que me acompanharam durante
a graduação, em especial ao Prof. Dr. Celso José Munaro,
responsável pela realização deste trabalho.

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades durante esta caminhada. Aos meus pais, meus irmãos e ao meu noivo pelo apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Aos meus amigos, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida. Agradeço aos professores que tentaram fazer de nós graduandos bons profissionais, pela atenção e pelo conhecimento compartilhado. Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Celso José Munaro por toda ajuda e pela oportunidade de aprendizagem que me foi dada. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo realizar alguns estudos e melhorias na planta piloto localizada na Universidade Federal do Espírito Santo. A planta piloto possui basicamente dois tanques, uma bomba, duas válvulas de controle, dois transmissores de pressão, um transmissor de temperatura, um resistor trifásico, um Controlador Lógico Programável, um inversor de frequência e utiliza água como fluido. Para tal determinou-se as regiões de operação das variáveis controladas vazão e nível e posteriormente, através dessas regiões foi possível realizar a modelagem da planta a partir da resposta ao degrau. Futuramente essa modelagem será utilizada para realizar o controle do planta. Alterou-se o sistema supervisório para os tons de cores adequados de forma que enfatize as situações anormais para o operador. Ainda no sistema supervisório, foi realizado a inserção das *tags* dos equipamentos conforme descritas no *Piping and Instrumentation Diagrams* da planta. Desenvolveu-se a proteção para a bomba contra nível baixo e foi obtido o orçamento do que será preciso para que futuramente isto seja implementado. Adicionou-se no sistema supervisório os alarmes de nível baixo tanto para o tanque superior quanto para o inferior. Ambos os alarmes alteram as cores do banco de resistores e da bomba para informar ao operador uma situação anormal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Planta Piloto	14
Figura 2 – Reservatório superior (esquerda) e inferior (direita).....	16
Figura 3 – Banco trifásico de resistores (esquerda) e termopar tipo K (direita).....	17
Figura 4 – Transmissor de temperatura TF12-Ex (esquerda) e transmissor de pressão diferencial 2010TD (direita).....	18
Figura 5 – Bomba (esquerda) e inversor de frequência (direita).....	19
Figura 6 – Válvula de controle de vazão (esquerda) e transmissor de pressão diferencial 3051 (direita)	19
Figura 7 - Compressor	20
Figura 8 – Válvula destinada ao estudo de cavitação	21
Figura 9 - Bomba	21
Figura 10 – Painel de comando (esquerda) e painel de potência (direita).....	22
Figura 11 – Módulo de I/O S900.....	22
Figura 12 – Módulo de I/O S800.....	23
Figura 13 - Multibarreira MB 204-Ex	23
Figura 14 – Tela de apresentação do Control Builder F.....	24
Figura 15 - Diagrama de blocos da malha de controle de vazão	25
Figura 16 – Diagrama de blocos da malha de controle de nível.....	26
Figura 17 – Sistema de supervisão	27
Figura 18 – P&ID da planta piloto	30
Figura 19 - Legenda do P&ID da planta piloto	31
Figura 20 – Diagrama do painel de controle	33
Figura 21 – Diagrama do painel de potência.....	33
Figura 22 - Relação bomba x vazão	35
Figura 23 - Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão	36
Figura 24 - Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão	37
Figura 25 - Região de operação da vazão	37
Figura 26 – Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão	38
Figura 27 - Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão	39
Figura 28 – Região de operação da vazão	39
Figura 29 - Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão	40
Figura 30 - Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão	41

Figura 31 – Região de operação da vazão	41
Figura 32 – Efeito do nível sobre a vazão	42
Figura 33 – Resposta da modelagem do efeito do nível sobre a vazão	43
Figura 34 – Relação vazão x nível.....	44
Figura 35 – Influência da abertura da válvula de saída no nível	45
Figura 36 – Região de operação do nível	45
Figura 37 - Influência da abertura da válvula de saída no nível.....	46
Figura 38 - Região de operação do nível	47
Figura 39 - Influência da abertura da válvula de saída no nível.....	47
Figura 40 - Região de operação do nível	48
Figura 41 - Resposta ao degrau de um sistema de primeira ordem.	50
Figura 42 – Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido.....	51
Figura 43 - Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido	52
Figura 44 - Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido	53
Figura 45 - Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido	54
Figura 46 - Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido	55
Figura 47 - Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido	56
Figura 48 – Boia de nível e suas especificações técnicas.....	57
Figura 49 – Diagramas de força e controle.....	58
Figura 50 – Tela HMI da planta piloto	60
Figura 51 – Simulação de situações anormais para a bomba e o banco de capacitores	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de materiais e orçamento	59
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador lógico programável
CBF	Control Builder F
HMI	Interface Homem Máquina
I/O	Input/Output (entrada/saída)
ISA	International Society of Automation
OLE	Object Linking and Embedding
OPC	OLE for Process Control
P&ID	Piping and Instrumentation Diagrams
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	PLANTA PILOTO	14
2.1	Apresentação da planta piloto	14
2.2	Componentes da planta piloto	15
2.3	Control Builder F.....	24
2.4	Sistema de Supervisão	26
2.5	Aquisição de dados.....	27
2.6	P&ID.....	28
2.7	Diagrama unifilar.....	32
3	DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES DE OPERAÇÃO.....	34
3.1	Faixas admissíveis para a vazão	34
3.1.1	Relação Velocidade da Bomba x Vazão	35
3.1.2	Influência da abertura da válvula de controle na vazão	35
3.1.2.1	Bomba em 30% de sua velocidade nominal.....	36
3.1.2.2	Bomba em 45% de sua velocidade nominal.....	38
3.1.2.3	Bomba em 60% de sua velocidade nominal.....	40
3.1.3	Efeito do nível sobre a vazão	42
3.2	Faixas admissíveis para o nível	43
3.2.1	Relação Velocidade da Bomba x Nível.....	43
3.2.2	Influência da válvula de controle no nível	44
3.2.2.1	Bomba em 30% de sua velocidade nominal.....	45
3.2.2.2	Bomba em 45% de sua velocidade nominal.....	46
3.2.2.3	Bomba em 60% de sua velocidade nominal.....	47
4	MODELAGEM DO PROCESSO	49
4.1	Modelagem da variável controlada vazão	50
4.1.1	Modelagem da vazão com a bomba em 30% da sua velocidade nominal	51
4.1.2	Modelagem da vazão com a bomba em 45% da sua velocidade nominal	51
4.1.3	Modelagem da vazão com a bomba em 60% da sua velocidade nominal	52
4.2	Modelagem da variável controlada nível	53
4.2.1	Modelagem do nível com a bomba em 30% da sua velocidade nominal.....	53
4.2.2	Modelagem do nível com a bomba em 45% da sua velocidade nominal.....	54

4.2.3 Modelagem do nível com a bomba em 60% da sua velocidade nominal.....	55
5 MELHORIAS NA PLANTA	57
5.1 Proteção da bomba d'água contra partida/funcionamento com nível baixo.....	57
5.1.1 Funcionamento	58
5.1.2 Lista de materiais e orçamento	58
5.2 Adequação do sistema supervisório	59
5.3 Inserção dos alarmes de níveis baixos dos reservatórios na tela HMI	60
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1 INTRODUÇÃO

O uso de recursos didáticos complementares são desafios que, contextualizados adequadamente, podem fazer muito mais que simplesmente testar e medir conhecimentos, podem ajudar significativamente a construção de conhecimento tanto de aluno quanto de professor. (BAZZO e PEREIRA, 2000)

A planta didática industrial pode ser considerada um objeto educacional nos cursos de engenharia e é um exemplo de recurso didático complementar que pode ser usado para consolidação do conhecimento. Trata-se de uma planta de controle de processos industriais que tem como objetivo demonstrar didaticamente a operação de suas diversas malhas de controle usando dos mesmos equipamentos e ferramentas utilizados em aplicações de automação industrial.

O contato com um processo real e o seu *hardware* associado consiste em um aspecto importante concernente a educação em engenharia (Saco Et Al., 2002), de forma que a educação em controle e automação pode ser melhorada com o uso de demonstrações de alto impacto, as quais desperta o interesse e a motivação dos estudantes para problemas reais onde podem aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos (Abusleme Et Al., 2003). Experiências baseadas em atividades de laboratório proporcionam uma melhor compreensão para o conteúdo teórico e encoraja os estudantes para o confronto com desafios práticos (Rocha et al., 2003). Assim, a educação deve ser uma mistura de partes experimentais e conceituais (Coelho et al., 2001).

Considerando que experimentos em laboratório oferecem uma maneira de introduzir maior realismo na educação em controle automático, a utilização de uma planta piloto em escala de laboratório como plataforma para implementação de aulas práticas representa uma boa maneira de superar muitas das dificuldades existentes, permitindo a compreensão de vários conceitos relativos ao controle de processos e favorecendo o processo de aprendizagem, uma vez que o estudante é colocado em contato com diversas situações encontradas pelos profissionais de instrumentação e controle, tais como a validação de modelos, avaliação de efeito dos distúrbios e da medição sobre a planta, análise de técnicas e estratégias de controle, implementação e sintonia de reguladores, etc.

O objetivo deste projeto é determinar as regiões de operação e a modelagem da planta piloto em estudo, para que posteriormente seja implementado um controle adequado. Também serão realizadas algumas melhorias na planta no que se refere a proteção de instrumentos e alterações na HMI.

No capítulo 2 será feito uma breve descrição da planta piloto, no qual são citados os instrumentos responsáveis por monitorar e atuar no processo, o controlador utilizado, o sistema supervisório e o sistema de aquisição de dados. Também são apresentados o diagrama unifilar e o P&ID da planta.

No capítulo 3 será realizado o estudo da região de operação de cada variável manipulada e controlada.

No capítulo 4 será determinada a modelagem de cada variável controlada por meio da resposta ao degrau.

No capítulo 5 será exposto o estudo de algumas implementações a serem realizadas na planta piloto.

No capítulo 6 será feito a análise dos resultados bem como as propostas para trabalhos futuros.

2 PLANTA PILOTO

2.1 Apresentação da planta piloto

A planta piloto existente como elemento principal deste trabalho possui elementos suficientes para que o seu uso possa contemplar situações típicas da indústria, proporcionando a proximidade com certo grau de fidelidade entre o ambiente acadêmico e o chão de fábrica, assim como mostrado na Figura 1.

Figura 1- Planta Piloto



Fonte: Produção do próprio autor.

As variáveis controladas na planta didática em questão são: nível, vazão e temperatura, utilizando como fluido de processo a água e vários instrumentos para o controle das respectivas malhas. Para o acionamento das válvulas de controle será utilizado ar comprimido proporcionado por meio do compressor.

As malhas de controle de nível, vazão e temperatura deverão interagir entre si, a fim de prover experimentos com distúrbios, perturbações e acoplamento entre malhas. Sendo assim, este

trabalho tem como objetivos obter a região de operação de todas as variáveis, determinar a modelagem para cada variável controlada e desenvolver algumas melhorias na planta piloto.

Utiliza-se o controlador Freelance Select 2000 da ABB para controlar as variáveis e os diversos instrumentos existentes na planta. Este controlador permite o uso de todas as linguagens de programação previstas na norma IEC 61131-3, possui um ambiente de desenvolvimento do sistema de supervisão e como este *software* não possui um armazenamento de histórico de dados, é utilizada a comunicação OPC para que no MATLAB se tenha a possibilidade de usar o OPC toolbox e assim poder armazenar um histórico das variáveis do processo.

A topologia da rede de comunicação utilizada consiste em um PC utilizado tanto para programação como para supervisão, interligado ao controlador por meio de uma conexão Ethernet. Este por sua vez se comunica com diversos instrumentos de características tanto digitais quanto analógicas existentes na planta, através protocolo HART ou Profibus.

2.2 Componentes da planta piloto

A planta foi construída sobre uma estrutura móvel de forma que o seu transporte fosse fácil, portanto a mesma dispõe de um conjunto de seis rodas para satisfazer esta necessidade. Suas dimensões são restritas a dois metros de comprimento, setenta centímetros de largura e dois metros de altura.

A planta é composta por dois reservatórios cilíndricos como é possível visualizar na Figura 2, estes através do armazenamento de água interagem com os demais elementos do processo.

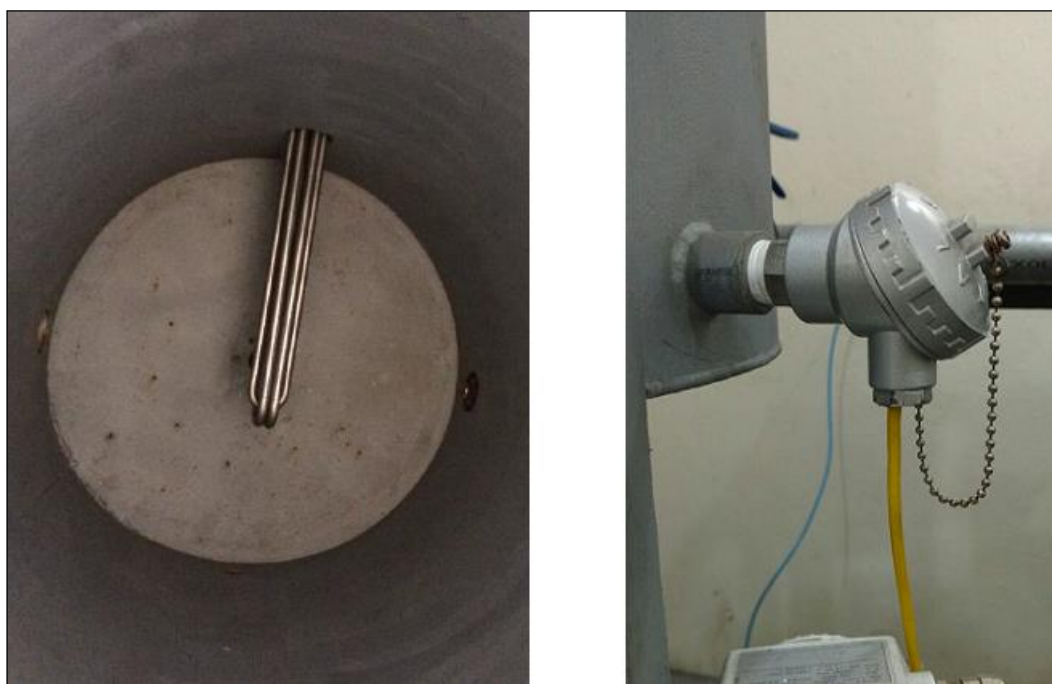
Figura 2 – Reservatório superior (esquerda) e inferior (direita)



Fonte: Produção do próprio autor.

O tanque superior possui como dimensões 40 cm de diâmetro e 80 cm de altura e está localizado à cerca de 70 cm da base da planta. Neste está instalado um banco trifásico de resistores (6000W/220V) no qual mantém o fluido deste reservatório na temperatura desejada. Utiliza-se o sensor termopar tipo K localizado no lado oposto ao resistor para realizar a medição da temperatura do fluido. Este sensor se comunica com o controlador através do transmissor de temperatura TF12-Ex da ABB utilizando o protocolo Profibus. Ainda neste tanque, tem-se o transmissor de pressão diferencial 2010TD da ABB, este tem sua tomada de alta pressão ligada na base do tanque e a tomada de baixa pressão na atmosfera com o objetivo de estabelecer uma relação entre a pressão do ponto onde está conectado e o nível do reservatório em questão. Ambos os instrumentos estão apresentados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Banco trifásico de resistores (esquerda) e termopar tipo K (direita)



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 4 – Transmissor de temperatura TF12-Ex (esquerda) e transmissor de pressão diferencial 2010TD (direita)



Fonte: Produção do próprio autor.

O tanque inferior possui como dimensões 40 cm de diâmetro e 80 cm de altura e está situado 20 acima da base da planta. Este reservatório possui um ponto de tomada de água por onde pode-se conectar uma mangueira para alimentar o sistema com o fluido em questão. Na Figura 1 é possível visualizar o tanque inferior.

A tubulação pelo qual o fluido é direcionado do reservatório inferior para o superior é composta por uma bomba localizada próxima ao tanque inferior. Deve-se ressaltar que o controle sobre este dispositivo é realizado através do inversor de frequência. Ainda nesta tubulação existem o transmissor de pressão diferencial 3051 da Rosemount utilizado para a medição de vazão através do uso de uma placa de orifício e uma válvula de controle destinada ao controle de vazão.

Figura 5 – Bomba (esquerda) e inversor de frequência (direita)



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 6 – Válvula de controle de vazão (esquerda) e transmissor de pressão diferencial 3051 (direita)



Fonte: Produção do próprio autor.

A tubulação pelo qual o fluido é direcionado do reservatório superior para o inferior é composta por uma válvula de controle destinada ao controle de nível. Esta válvula é igual a válvula utilizada para o controle de vazão como mostrado na Figura 6.

O acionamento das válvulas de controle descritas anteriormente está diretamente ligado à presença de um compressor, exibido na Figura 7, responsável por fornecer através de mangueiras a alimentação de ar necessária para que o posicionador microprocessado existente nas mesmas possa fazer o controle da posição do obturador.

Figura 7 - Compressor



Fonte: Produção do próprio autor.

Existe uma terceira tubulação localizada entre as duas tubulações descritas acima no qual encontra-se uma válvula manual ligando diretamente os dois tanques do processo, podendo ser usada como perturbação ou mesmo como segurança (para evitar transbordamento por exemplo).

Na planta piloto existem ainda uma outra bomba, válvula e uma quarta tubulação. Estes são destinados à um outro projeto.

Figura 8 – Válvula destinada ao estudo de cavitação



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 9 - Bomba



Fonte: Produção do próprio autor.

A planta piloto possui dois painéis elétricos nas extremidades de sua estrutura, de acordo com a Figura 10. Estes por sua vez podem ser divididos em painel de comando e painel de potência. O Painel de comando contém o controlador Freelance 2000 Select, o módulo de I/O S900, uma fonte CC de 24V, um conversor Profibus PA/DP além dos bornes e disjuntores relativos à alimentação dos componentes existentes neste quadro. O painel de potência por sua vez dispõe do inversor de frequência utilizado para o acionamento da bomba, do contator responsável por ligar o resistor citado anteriormente, do relé para fazer com que o contator entre em funcionamento além dos disjuntores para proteção e os bornes para conexão.

Figura 10 – Painel de comando (esquerda) e painel de potência (direita)



Fonte: Produção do próprio autor.

Inicialmente a planta estava com o módulo de I/O S900, como mostra a Figura 11. No entanto, no decorrer dos experimentos um dos cartões CI920N responsável por estabelecer a conexão entre o módulo e o controlador queimou. Como não foi viável a compra deste cartão para efetuar sua troca, a Vale doou o módulo de I/O S800 da ABB para a planta piloto, como é possível visualizar na Figura 12.

Figura 11 – Módulo de I/O S900



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 12 – Módulo de I/O S800



Fonte: Produção do próprio autor.

Na planta piloto existem dois elementos utilizados para medição que se comunicam com o controlador através da rede Profibus, estes são o transmissor de pressão diferencial 2010TD e o transmissor de temperatura TF12-Ex, ambos produzidos pela ABB. Estes dispositivos estão interconectados na multibarreira MB 204-Ex, uma estrutura similar a uma caixa de interligação para distribuir a comunicação entre os elementos da rede Profibus, apresentada na Figura 13.

Figura 13 - Multibarreira MB 204-Ex

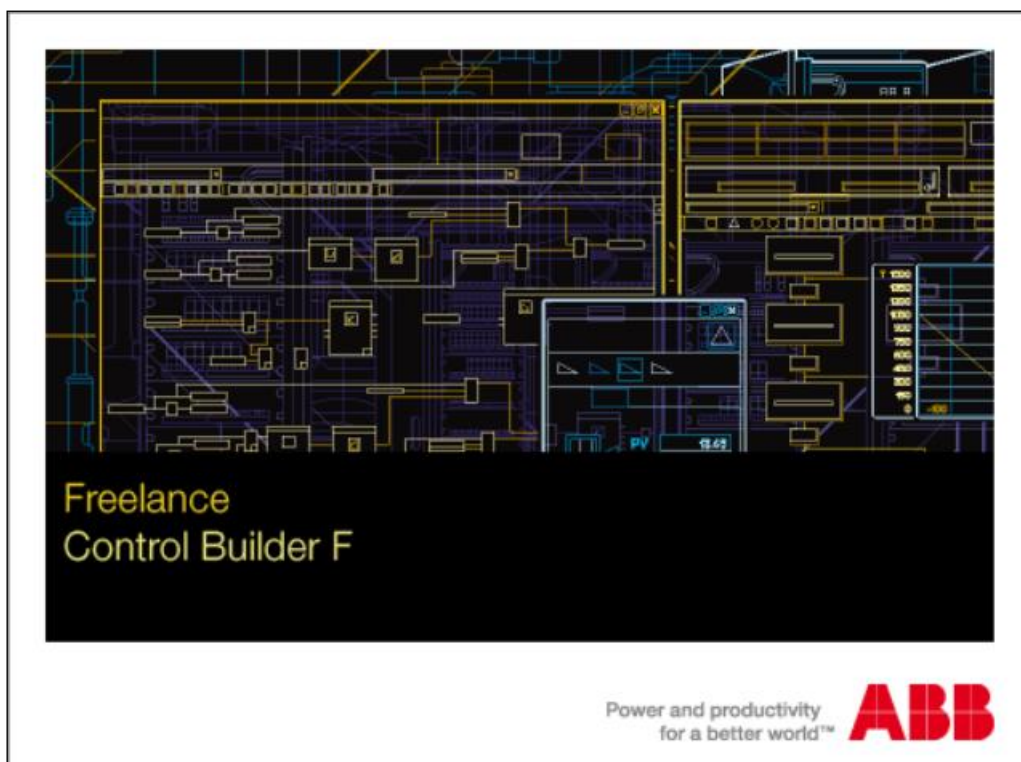


Fonte: Produção do próprio autor.

2.3 Control Builder F

O software utilizado no desenvolvimento da lógica de programação do cenário constituído pela planta piloto e os demais instrumentos é o Control Builder F. Este permite que sejam feitas configurações *online* e *offline* de uma série de controladores, incluindo o Freelance 2000 existente na planta. Através deste software define-se o hardware e software do projeto, incluindo a lógica de aquisição de dados e acionamentos, sistema supervisor, entre outros.

Figura 14 – Tela de apresentação do Control Builder F



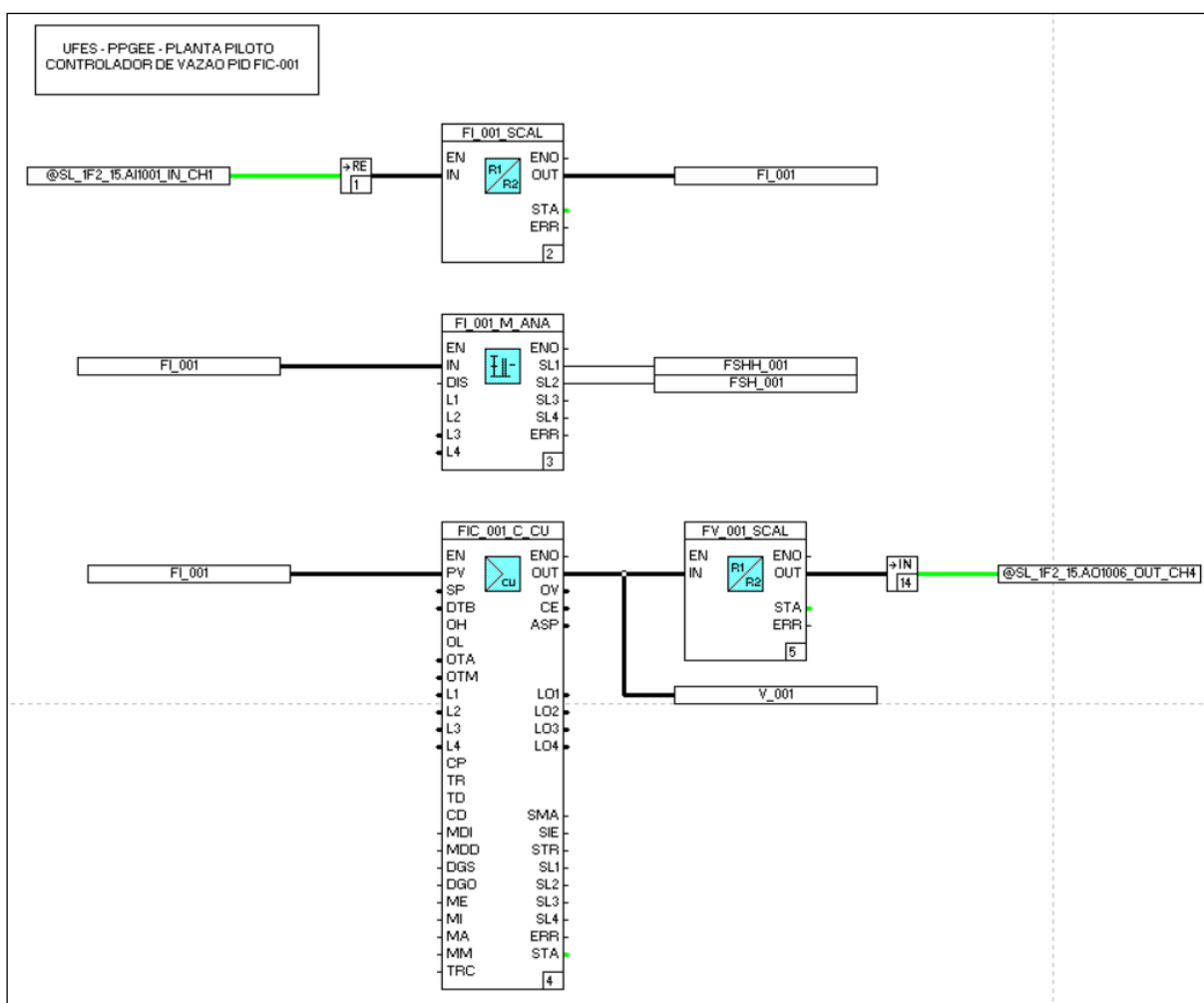
Fonte: Produção do próprio autor.

O Control Builder F dá suporte a todas as linguagens de programação previstas na norma IEC 61131-3:

- Diagrama de Blocos Funcionais;
- Ladder;
- Lista de Instruções;
- Texto Estruturado;
- Sequenciamento Gráfico de Funções

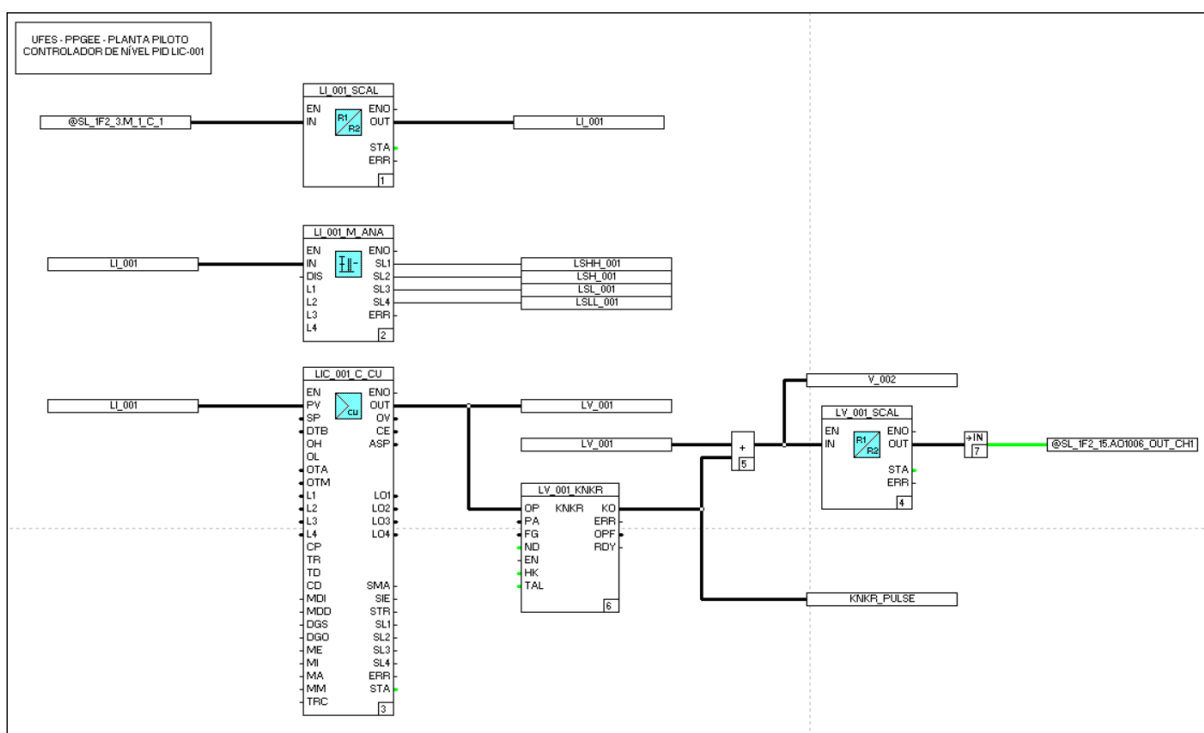
O programa responsável por manipular as variáveis de processo da planta piloto foi desenvolvido em diagrama de blocos. Seguem nas figuras abaixo a lógica de programação utilizada na implementação das malhas de vazão e de nível, onde primeiro é medida a variável controlada, depois é escalonada, entra no bloco de indicação de alarme e posteriormente é conectada na entrada de variável do processo do bloco PID (PV). Por fim o sinal é escalonado e enviado para as válvulas.

Figura 15 - Diagrama de blocos da malha de controle de vazão



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 16 – Diagrama de blocos da malha de controle de nível



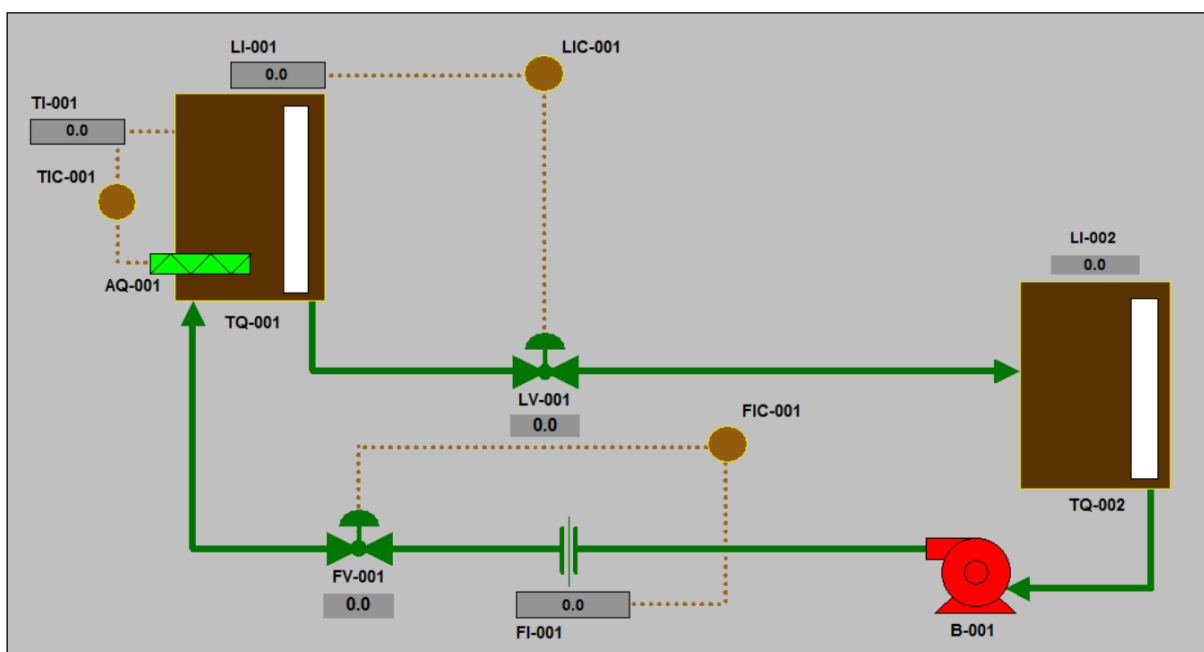
Fonte: Produção do próprio autor.

2.4 Sistema de Supervisão

Atualmente, os sistemas de automação industrial utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitoração e controle dos processos industriais, efetuando coleta de dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, e a respectiva apresentação de modo amigável para o operador, com recursos gráficos elaborados (interfaces homem-máquina) e conteúdo multimídia.

O Control Builder F fornece a funcionalidade HMI, que é um ambiente utilizado para o desenvolvimento do sistema supervisório. Na Figura 17 está contido o sistema supervisório desenvolvido para o controle da planta piloto. Neste, todos os dados são disponibilizados a cada instante para serem observados e também para serem modificados bastando clicar nos *displays* apropriados para a manipulação das variáveis passíveis de modificação.

Figura 17 – Sistema de supervisão



Fonte: Produção do próprio autor.

2.5 Aquisição de dados

O Control Builder F não apresenta mecanismos de armazenamento de histórico das variáveis utilizadas no processo, portanto para resolver este problema foi utilizado o servidor OPC. Este consiste em uma interface padronizada de comunicação criada como tentativa de minimizar os problemas relacionados à inconsistência entre os equipamentos industriais de diferentes fabricantes. A OPC Foundation é a organização dedicada ao desenvolvimento de tecnologias aplicadas a interoperabilidade na automação a fim de criar e gerenciar especificações que padronizam a comunicação das arquiteturas de acesso a dados online, alarmes, registros de eventos, comandos e bancos de dados de diferentes equipamentos, de vários fabricantes que comunicam em diferentes protocolos.

O OPC propõe a interface amigável entre sistemas que trabalham usando protocolos diferentes. Assim diversas aplicações recebem dados no mesmo formato da sua base de dados, embora a fonte desses dados possa trabalhar com um padrão diferente de formatação e comunicação de dados. O OPC unifica o padrão de comunicação de dados de controle de processo e a permite que diferentes produtos sejam interfaceados com uma única tecnologia, promovendo interações

dos sistemas de operação e integração de vários processos em um só sistema, isso com custo e tempo de implementação reduzidos (IWANITZ F. E LANGE, 2006).

Os elementos que compõe o padrão OPC se classificam em duas categorias: Clientes OPC e Servidores OPC. O cliente OPC é basicamente um usuário dos dados enquanto o Servidor OPC assume o papel de uma fonte de dados que coleta ou gera estes a partir de um processo, disponibilizando-os aos Clientes OPC.

Para armazenar as variáveis provenientes da planta piloto e manipula-las, utilizou-se o OPC Toolbox existente no MATLAB para criar um cliente OPC e desta forma garantir o acesso aos dados presentes no servidor OPC configurado no controlador.

2.6 P&ID

Em todo tipo de processo, há passos e funções que precisam ser medidas e controladas para permitir produção e qualidade dos produtos. A instrumentação é utilizada para monitorar e controlar cada etapa do processo. A fim de desenvolver e permitir o entendimento das funções de processo, é fundamental que se saiba:

- Quais dispositivos/instrumentos de medição estão instalados;
- Onde estão instalados;
- Para que estão sendo utilizados (funcionalidade);
- Quais são os instrumentos relacionados entre si compondo uma malha de controle.

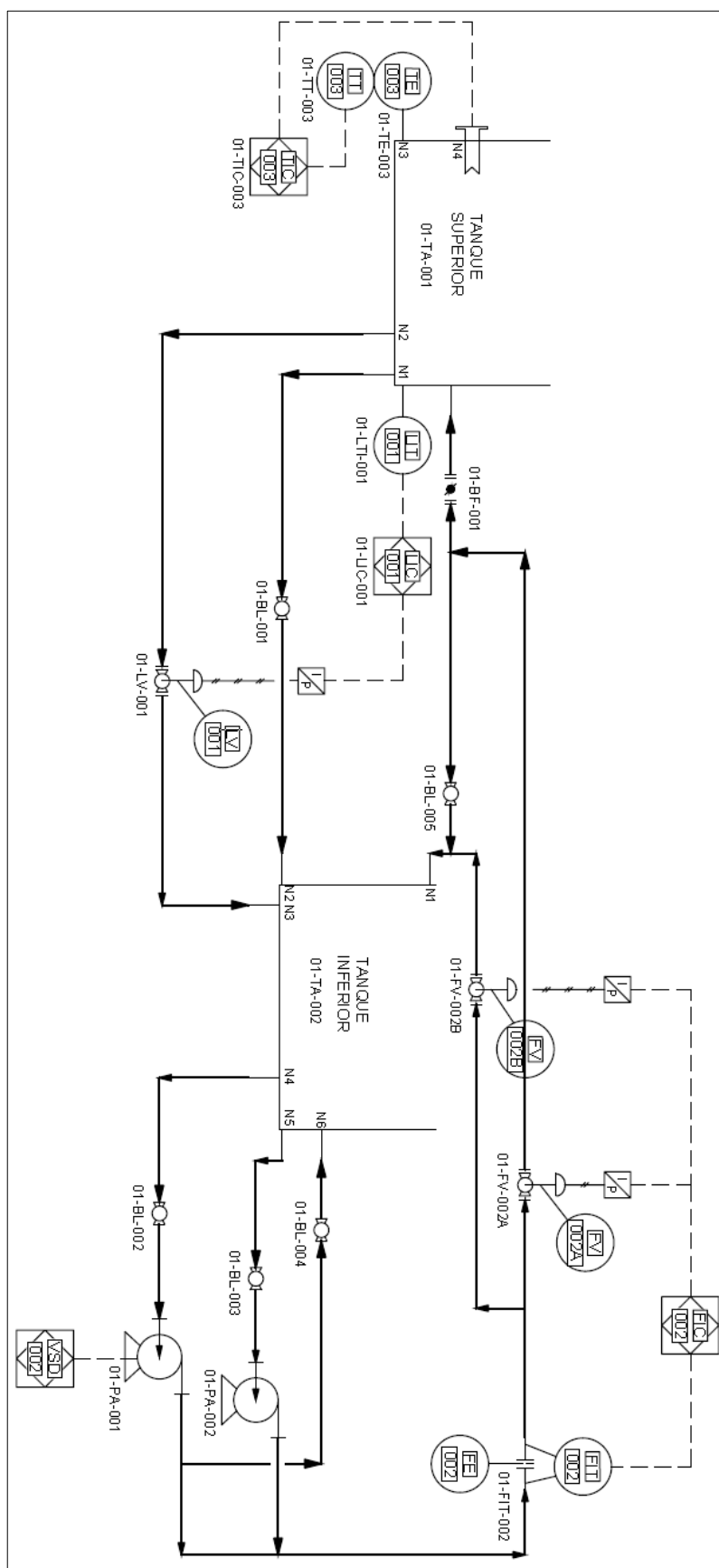
Fluxogramas de Engenharia, conhecidos internacionalmente como P&ID, são uma das formas utilizadas de documentar e obter as informações listadas acima. Na construção de um P&ID são utilizadas uma série de normas amplamente adotadas mundialmente. Estas normas foram desenvolvidas em diversos países, com objetivo de simplificar e globalizar o entendimento dos documentos utilizados para representar as configurações das malhas de instrumentação.

No Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através de sua norma NBR 8190 apresenta e sugere o uso de símbolos gráficos para representação dos diversos instrumentos e suas funções ocupadas nas malhas de instrumentação. No entanto, como é dada

a liberdade para cada empresa estabelecer/escolher a norma a ser seguida na elaboração dos seus diversos documentos de projeto de instrumentação outras normas são utilizadas. Assim, devido a sua maior abrangência e atualização, uma das normas mais utilizadas em projetos industriais no Brasil é a estabelecida pela ISA.

Com base nas informações adquiridas na ISA 5.1 e utilizando o software AutoCAD P&ID foi possível desenvolver o P&ID da planta piloto, conforme Figura 18.

Figura 18 – P&ID da planta piloto



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 19 - Legenda do P&ID da planta piloto

SÍMBOLOS	CÓDIGOS DOS EQUIPAMENTOS	NUMERO DO SISTEMA	TAG PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS
	FE	01 Sistema de transferência de água	NN-AA - NNN
	FIC		Nº sequencial
	FIT	TAG PARA O EQUIPAMENTO/INSTRUMENTO	Nº da bomba
	FV	NN - CC-AA - NNN	Nº do sistema
	LIC		
	UIT		
	UIC		
	TE		
	TIC		
	TT		
	VSD		
	PA		

TAG PARA VÁLVULAS MANUAIS	TAG PARA OS TANQUES	TAG PARA AS TOMADAS DOS TANQUES
NN-AA - NNN	NN-AA - NNN	NA
Nº sequencial	Nº sequencial	Nº da tomada
Tipo da válvula	Tanque	
Nº do sistema	Nº do sistema	

Fonte: Produção do próprio autor.

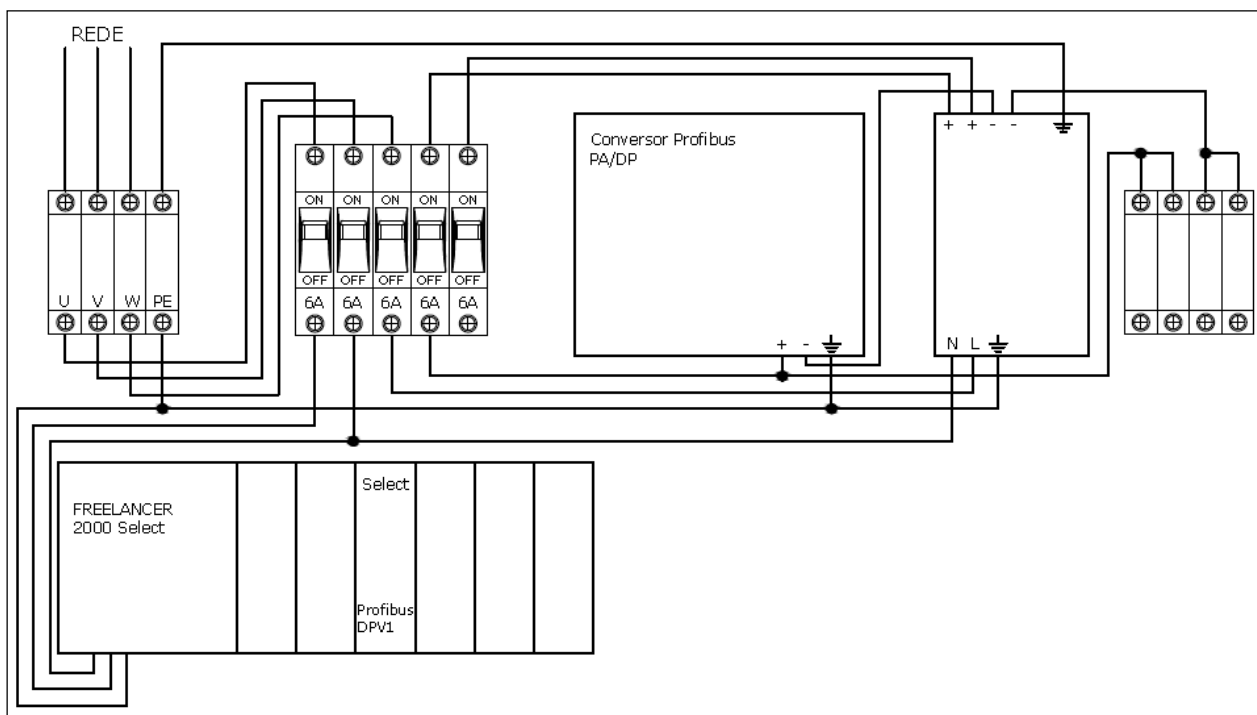
É importante identificar o equipamento pelo número do sistema, pois na hora de fazer um relatório ou manobra pode ser que exista dois sistemas diferentes com o mesmo instrumento. Por exemplo, o instrumento com a identificação LV-001 pode estar presente no sistema de controle do nível de óleo produzido (01) e no sistema de controle de nível de água de injeção (02), logo é necessário que para o sistema de controle do nível de óleo produzido o instrumento seja identificado por 01-LV-001 e para o sistema de controle da água de injeção o instrumento seja identificado por 02-LV-001. Desta forma, se houver algum tipo de manutenção ou operação a ser realizado no instrumento, não haverá qualquer tipo de dúvida em qual instrumento se deseja atuar. Assim como também é necessário identificar o instrumento pela malha do sistema, pelas mesmas razões.

2.7 Diagrama unifilar

O diagrama unifilar do sistema elétrico é um elemento importante para se entender o sistema e o arranjo das conexões. Ele pode ser especialmente crítico para transmitir informações durante o planejamento, a instalação, a partida inicial ou a manutenção do sistema. Estes diagramas evidenciam os principais componentes como equipamentos de comutação de energia, relés de proteção, proteção contra sobrecorrente e o esquema geral de conexões. Um diagrama unifilar deve ser desenvolvido tão cedo quanto possível no planejamento do projeto para auxiliar no desenho do sistema.

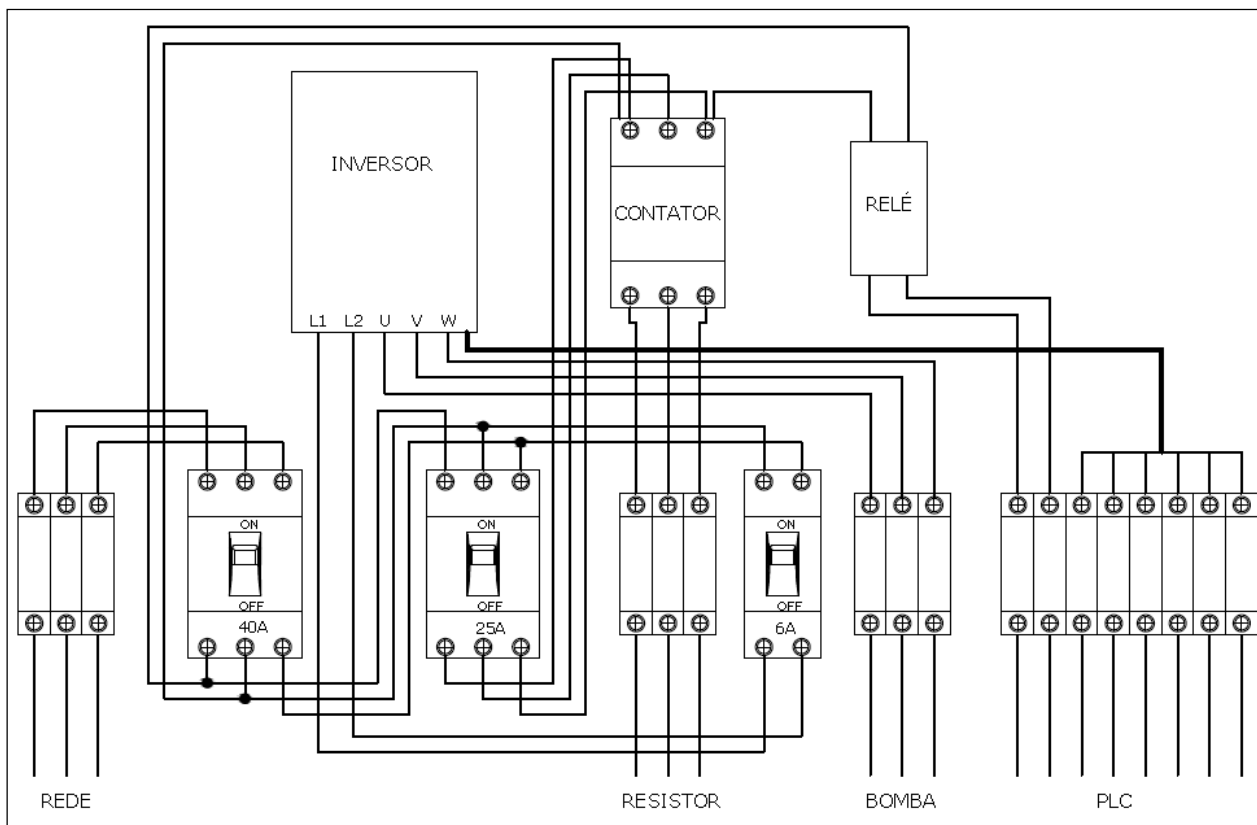
Segue nas figuras abaixo os diagramas unifilares dos painéis de comando e potência.

Figura 20 – Diagrama do painel de controle



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 21 – Diagrama do painel de potência.



Fonte: Produção do próprio autor.

3 DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES DE OPERAÇÃO

A variação da vazão é dada pelo acionamento da bomba e pela manipulação da válvula de controle de vazão. Portanto, o controle da vazão será realizado tanto pela variação da rotação da bomba quanto pela válvula de controle de vazão.

Já a variação do nível no reservatório superior se dá tanto pela manipulação da válvula de saída quanto pela variação da vazão de entrada. A variação da vazão de entrada será proporcionada pelo acionamento da bomba. Esta escolha foi devido ao fato de que a bomba fornece uma faixa maior de vazão quando comparado com a válvula de controle de vazão, pois esta apenas restringe a vazão máxima fornecida pela bomba, implicando desta forma em uma região de operação maior para o nível. Sendo assim, o controle do nível será dado somente pela válvula de controle de nível.

A faixa de variação da velocidade de rotação da bomba é limitada de 30 à 70% da sua velocidade nominal, pois abaixo de 30% a vazão é zero e acima de 70% a bomba começa a cavitatar.

O limite inferior da abertura da válvula de controle de vazão é de 20%, pois por estar em série com a bomba não é possível fechá-la completamente para não forçar a bomba.

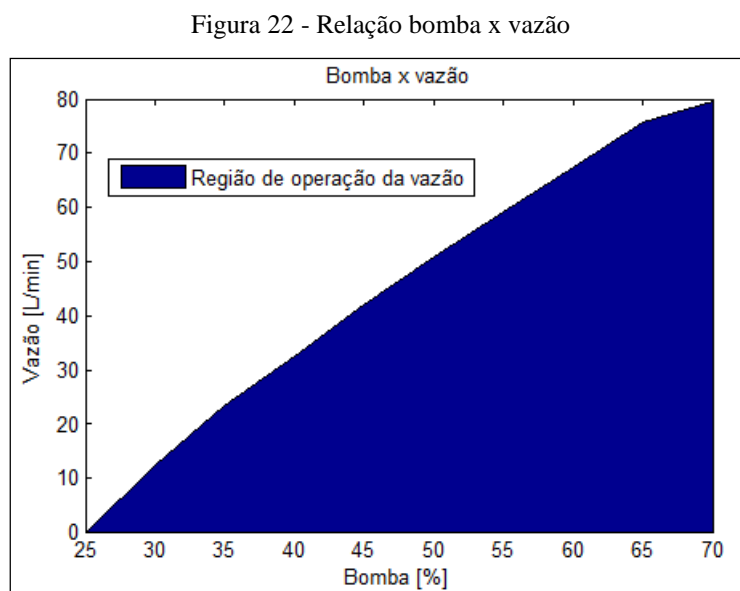
Encontram-se abaixo os testes realizados que determinam as regiões de operação para a vazão e o nível, a partir destas regiões posteriormente serão obtidas as modelagens correspondentes. Neste item também realizou-se o teste que relaciona a influência que o nível provoca na vazão.

3.1 Faixas admissíveis para a vazão

A vazão pode ser controlada através da bomba e da válvula de controle de vazão, além disso o nível do reservatório superior provoca certo efeito na vazão. Nos itens a seguir serão efetuados testes para analisar as regiões de operação da vazão e o efeito do nível na mesma.

3.1.1 Relação Velocidade da Bomba x Vazão

Para este teste as válvulas de controle de vazão e nível estão 100% abertas e varia-se a velocidade da bomba através da aplicação de degraus de 5%. O objetivo é verificar a relação entre a velocidade da bomba versus a vazão.



Fonte: Produção do próprio autor.

Como é possível observar a região de operação da vazão é a região abaixo da curva, tendo como vazão mínima de zero e a máxima de aproximadamente 80 L/min.

3.1.2 Influência da abertura da válvula de controle na vazão

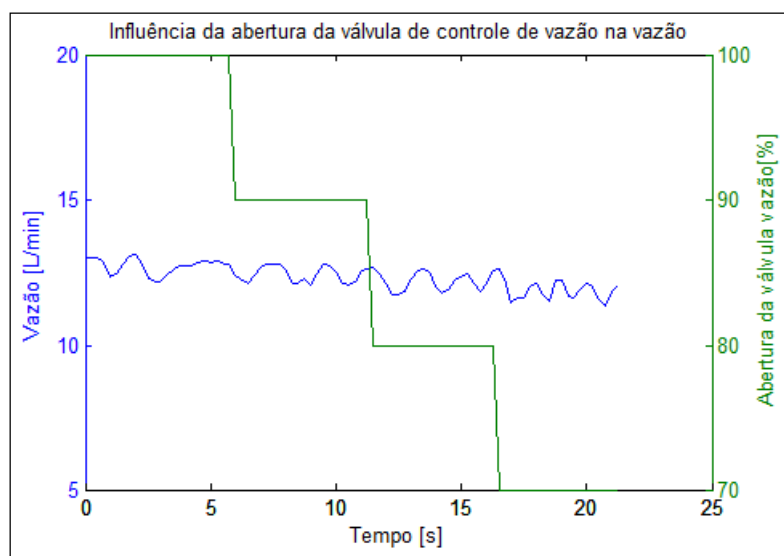
O objetivo destes testes é obter a relação entre a abertura da válvula de controle de vazão versus a vazão, podendo desta forma verificar qual abertura da válvula tem efeito sobre a vazão.

Foram realizados três testes com velocidades diferentes da bomba. O primeiro, a bomba está em 30%, o segundo em 45% e o terceiro em 60% da sua velocidade nominal. Em ambos os testes a válvula de controle de nível está em 100% e varia-se a abertura da válvula de controle de vazão de 100% a 20%, com degraus de 10%. Além de obter o efeito que a válvula provoca na vazão, para cada velocidade da bomba obtém-se uma região de operação diferente para a vazão. Desta forma, cada região de operação tem sua respectiva modelagem que permitirá posteriormente escolher o método de controle mais adequado.

3.1.2.1 Bomba em 30% de sua velocidade nominal

A Figura 23 apresenta o teste realizado com a bomba em 30% da velocidade nominal e varia-se a abertura da válvula de controle de vazão de 100% a 70%. Observa-se que nessa faixa de abertura, a válvula de vazão não exerce influência sobre a vazão.

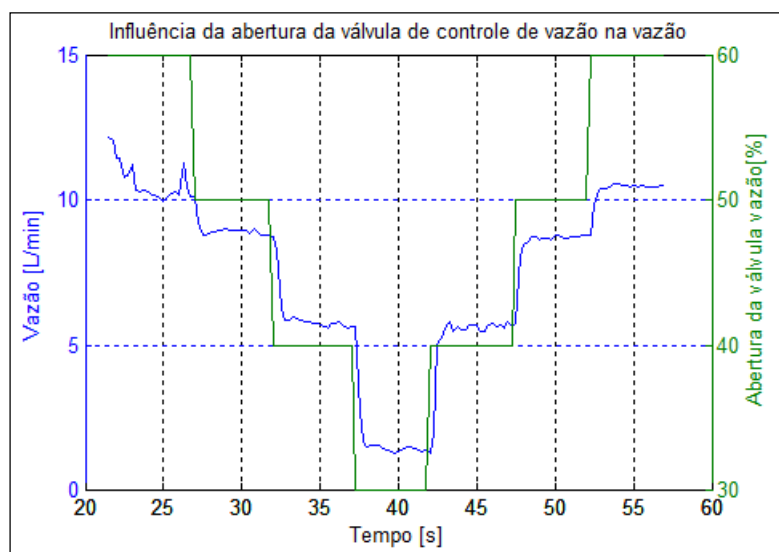
Figura 23 - Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão



Fonte: Produção do próprio autor.

Para a abertura da válvula de controle de vazão entre 60% e 30%, observa-se através da Figura 24 que a válvula exerce influência sobre a vazão.

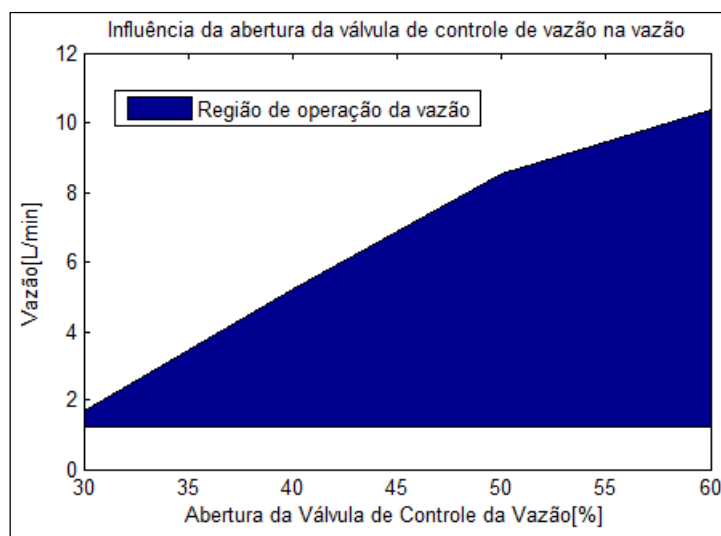
Figura 24 - Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão



Fonte: Produção do próprio autor.

Portanto, a região de operação da vazão dada as condições descritas acima é de aproximadamente 1.5 à 10.5 L/min, como mostra a Figura 25.

Figura 25 - Região de operação da vazão

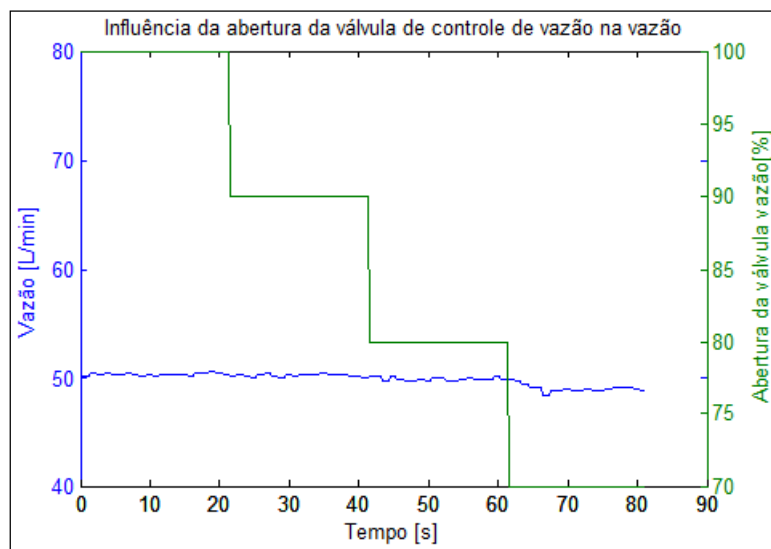


Fonte: Produção do próprio autor.

3.1.2.2 Bomba em 45% de sua velocidade nominal

A Figura 26 apresenta o teste realizado com a bomba em 45% da velocidade nominal e varia-se a abertura da válvula de controle de vazão de 100% a 70%. Observa-se que nessa faixa de abertura, a válvula de vazão não exerce influência sobre a vazão.

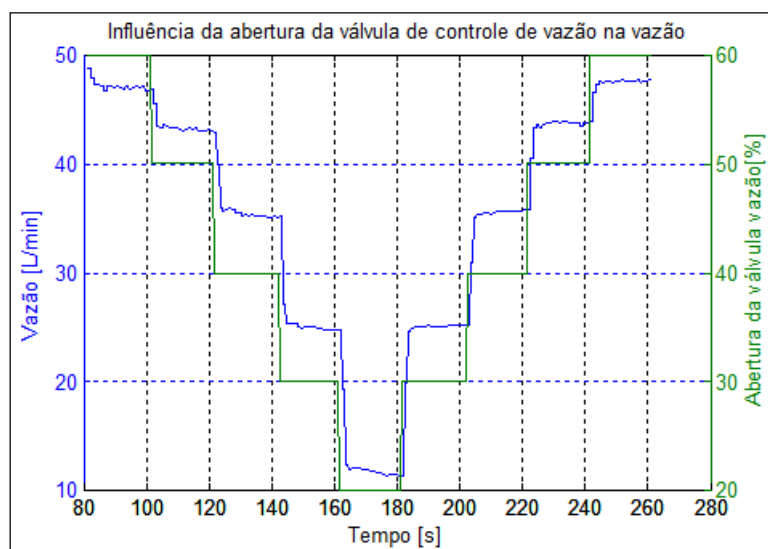
Figura 26 – Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão



Fonte: Produção do próprio autor.

Para a abertura da válvula de controle de vazão entre 60% e 20%, observa-se através da Figura 27 que a válvula exerce influência sobre a vazão.

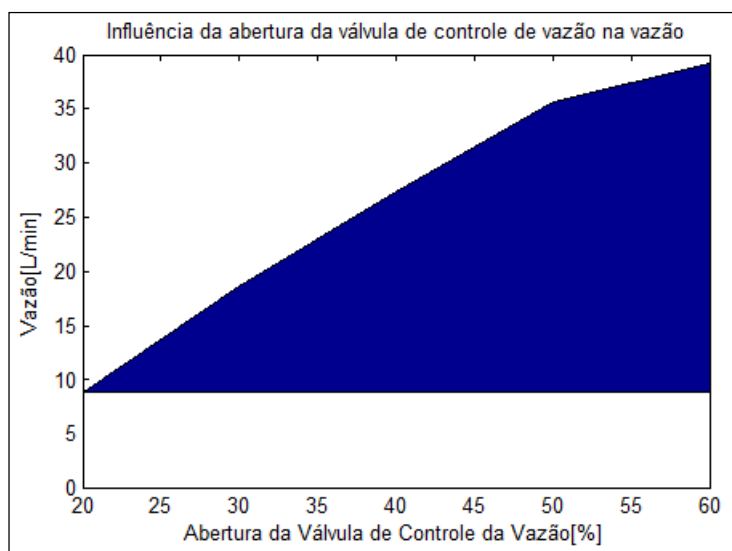
Figura 27 - Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão



Fonte: Produção do próprio autor.

Portanto, a região de operação da vazão dada as condições descritas acima é de aproximadamente 8 a 39 L/min, como mostra a Figura 28.

Figura 28 – Região de operação da vazão

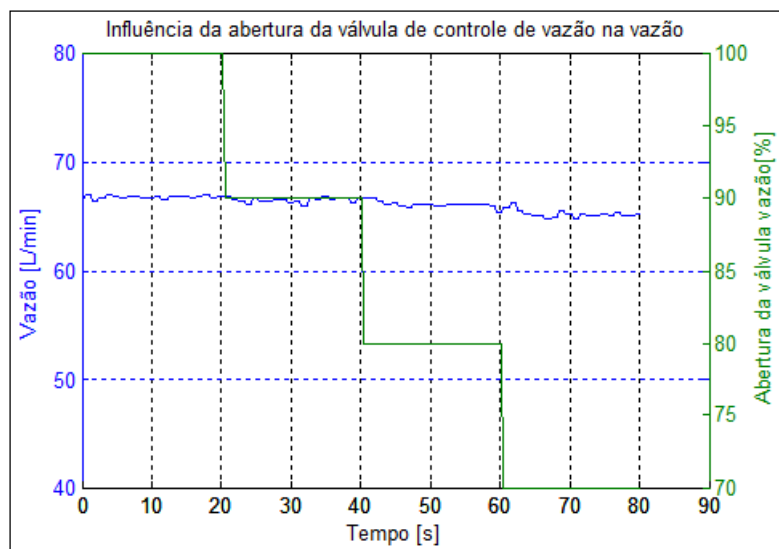


Fonte: Produção do próprio autor.

3.1.2.3 Bomba em 60% de sua velocidade nominal

A Figura 29 apresenta o teste realizado com a bomba em 60% da velocidade nominal e varia-se a abertura da válvula de controle de vazão de 100% a 70%. Observa-se que nessa faixa de abertura, a válvula de vazão não exerce influência sobre a vazão.

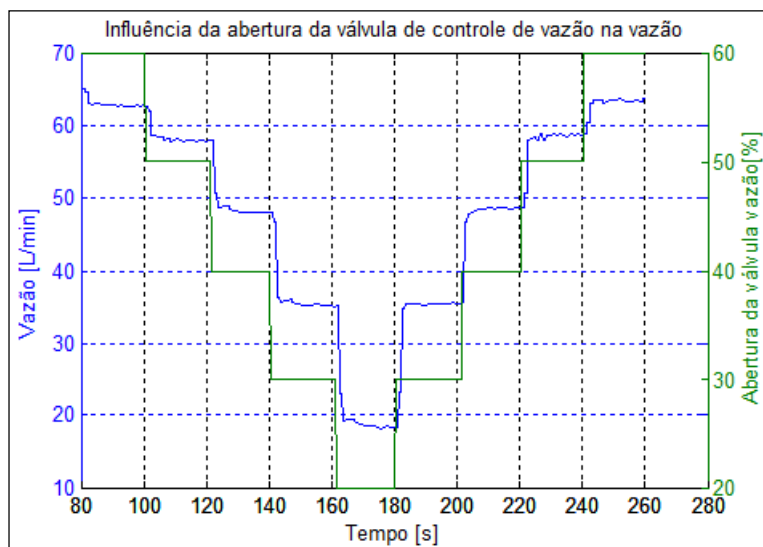
Figura 29 - Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão



Fonte: Produção do próprio autor.

Para a abertura da válvula de controle de vazão entre 60% e 20%, observa-se através da Figura 30 que a válvula exerce influência sobre a vazão.

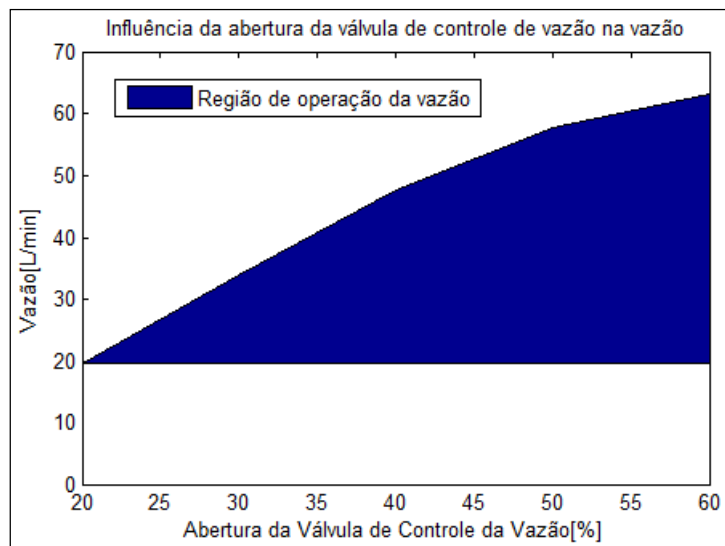
Figura 30 - Influência da abertura da válvula de controle de vazão sobre a vazão



Fonte: Produção do próprio autor.

Portanto, a região de operação da vazão dada as condições descritas acima é de aproximadamente 18 à 63 L/min, como mostra a Figura 31.

Figura 31 – Região de operação da vazão

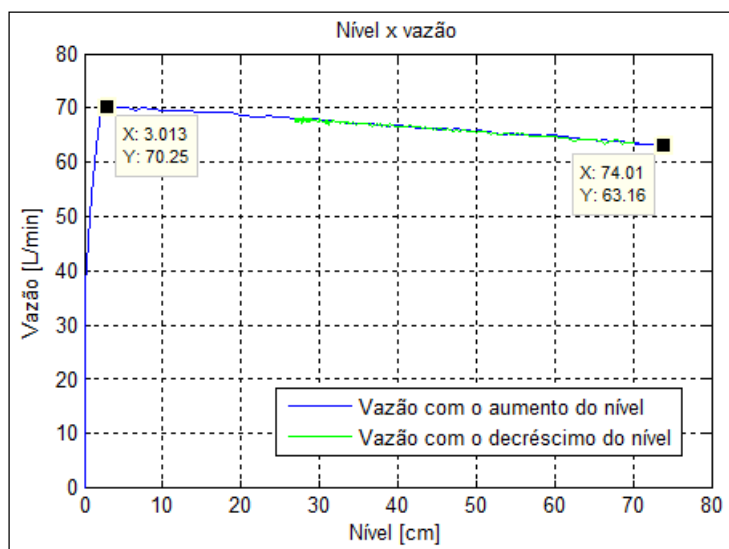


Fonte: Produção do próprio autor.

3.1.3 Efeito do nível sobre a vazão

Este teste foi realizado com a bomba em 60% da velocidade nominal, válvula de entrada 100% aberta e inicialmente a válvula de saída se encontra fechada. Quando o nível atingiu próximo ao nível máximo, a válvula de saída foi aberta em 100%. Desta forma foi possível quantificar o efeito do nível na vazão.

Figura 32 – Efeito do nível sobre a vazão



Fonte: Produção do próprio autor.

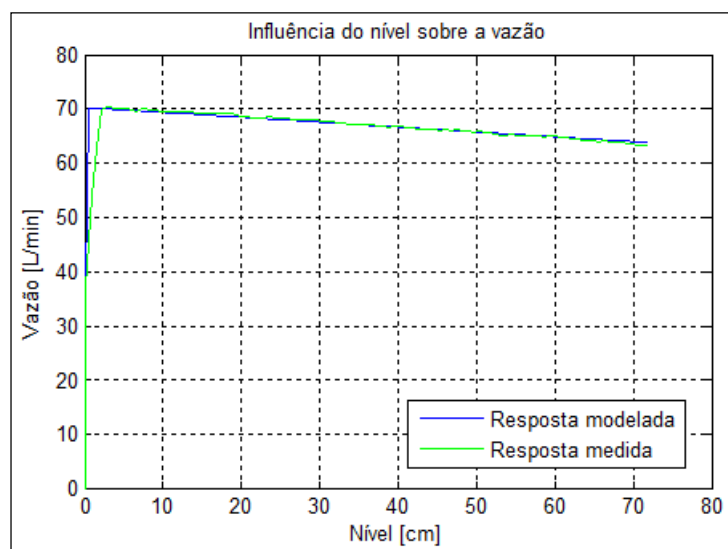
Como é possível observar, quando o nível é pequeno tem-se uma vazão de aproximadamente 70 L/min, com o aumento do nível a vazão vai diminuindo até chegar em 63 L/min o que corresponde próximo ao nível máximo. Portanto, foi comprovado que o nível realmente exerce uma influência sobre a vazão.

A relação entre o nível e a vazão é dada pela Equação (1).

$$vazão = vazão(nível\ zero) - 0.09 * nível(t) \quad (1)$$

Tem-se na Figura 33 o gráfico da resposta medida e da modelagem dada pela equação acima.

Figura 33 – Resposta da modelagem do efeito do nível sobre a vazão



Fonte: Produção do próprio autor.

Através da relação obtida na Equação 1 é possível determinar a influência do nível sobre a vazão.

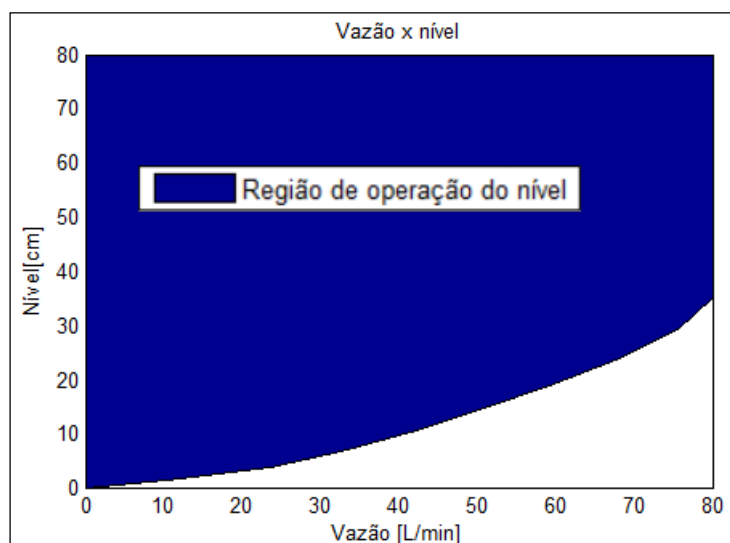
3.2 Faixas admissíveis para o nível

O nível do reservatório superior será controlado através da válvula de controle de nível e sofre influência da vazão de entrada. Nos itens a seguir serão efetuados testes para analisar as regiões de operação do nível.

3.2.1 Relação Velocidade da Bomba x Nível

Para este teste as válvulas de controle de vazão e nível estão 100% abertas e varia-se a velocidade da bomba através da aplicação de degraus de 5%. O objetivo é verificar a relação entre a vazão de entrada versus o nível em regime.

Figura 34 – Relação vazão x nível



Fonte: Produção do próprio autor.

Como é possível observar na Figura 34, a região de operação do nível é a região acima da curva, ou seja, os níveis possíveis de serem obtidos manipulando a velocidade da bomba é de zero a aproximadamente 80 cm.

3.2.2 Influência da válvula de controle no nível

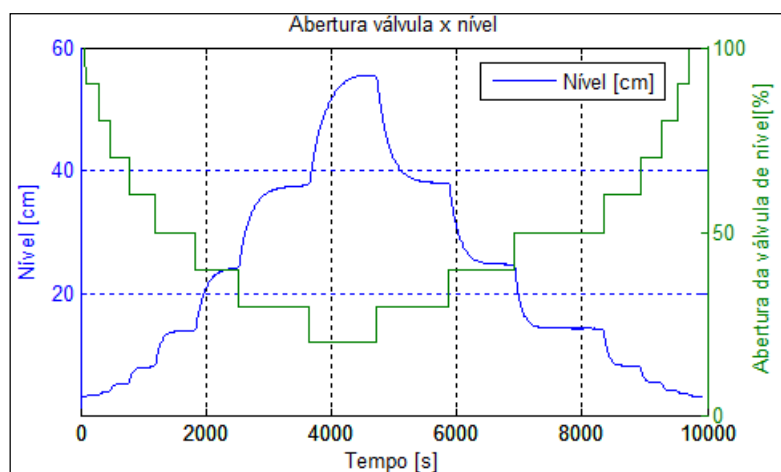
O objetivo destes testes é obter a relação entre a abertura da válvula de controle de nível versus o nível, podendo desta forma verificar qual abertura da válvula tem efeito sobre o nível.

Foram realizados três testes com velocidades diferentes da bomba, o primeiro a bomba está em 30%, o segundo em 45% e o terceiro em 60% da sua velocidade nominal. Em ambos os testes a válvula de controle de vazão está em 100% e varia-se a abertura da válvula de controle de nível, com degraus de 10%. Além de obter o efeito que a válvula provoca no nível, para cada velocidade da bomba obtém-se uma região de operação diferente para o nível. Desta forma, cada região de operação tem sua respectiva modelagem que permitirá posteriormente escolher o método de controle mais adequado.

3.2.2.1 Bomba em 30% de sua velocidade nominal

A Figura 35 apresenta o teste realizado com a bomba em 30% da velocidade nominal e a válvula de saída variando entre 100 à 20%.

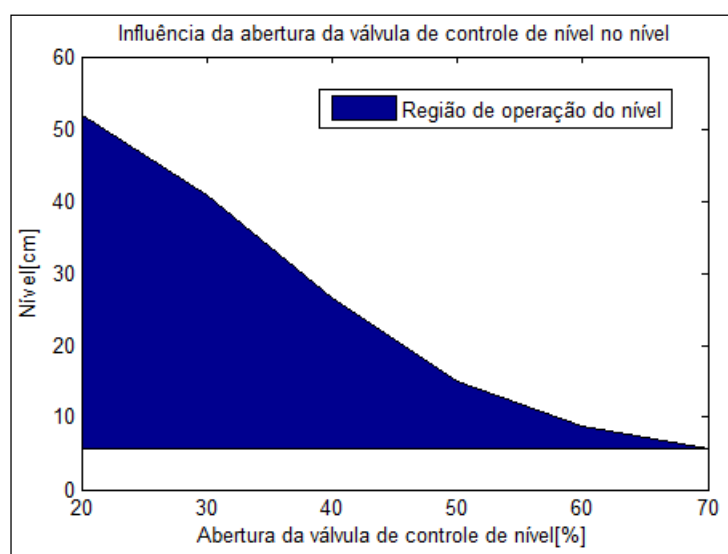
Figura 35 – Influência da abertura da válvula de saída no nível



Fonte: Produção do próprio autor.

Como é possível observar, aberturas entre 100 à 80% da válvula não implica numa variação significativa do nível. No entanto de 70 à 20% a válvula possui um efeito relevante no nível. Portanto, para a válvula de controle de nível operando entre 20 à 70% e a bomba em 30% de sua velocidade nominal, temos que a região de operação do nível é de aproximadamente 5 à 55 cm. Este resultado pode ser visualizado Figura 36.

Figura 36 – Região de operação do nível

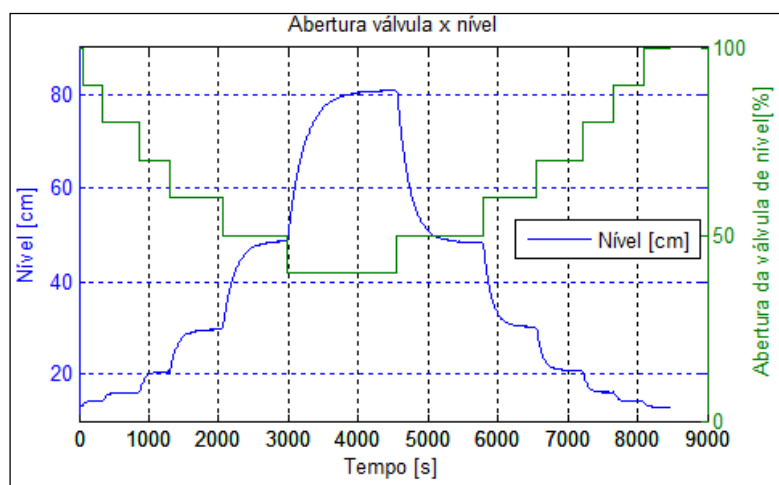


Fonte: Produção do próprio autor.

3.2.2.2 Bomba em 45% de sua velocidade nominal

A Figura 37 apresenta o teste realizado com a bomba em 45% da velocidade nominal e a válvula de saída variando entre 100 à 40%.

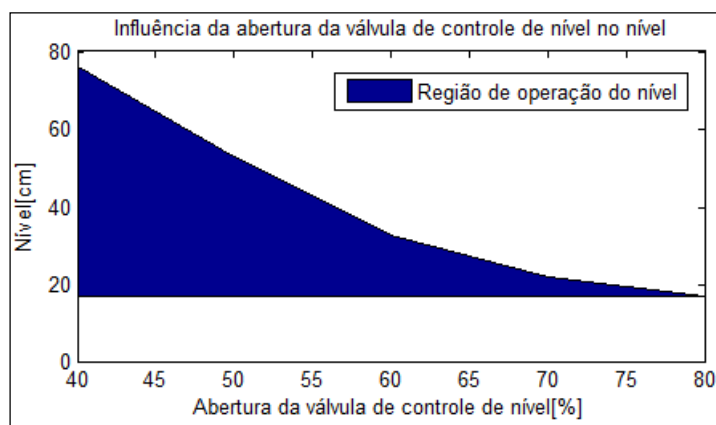
Figura 37 - Influência da abertura da válvula de saída no nível



Fonte: Produção do próprio autor.

Como é possível observar, aberturas entre 100 à 90% da válvula não implica numa variação significativa do nível. No entanto de 80 à 40% a válvula possui um efeito relevante no nível. Portanto, para a válvula de controle de nível operando entre 40 à 80% e a bomba em 45% de sua velocidade nominal, temos que a região de operação do nível é de aproximadamente 16 à 76 cm. Este resultado pode ser visualizado Figura 38.

Figura 38 - Região de operação do nível

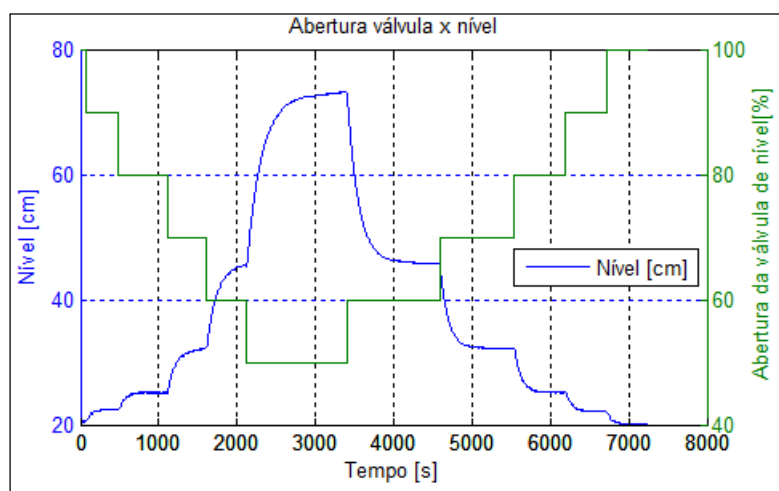


Fonte: Produção do próprio autor.

3.2.2.3 Bomba em 60% de sua velocidade nominal

A Figura 39 apresenta o teste realizado com a bomba em 60% da velocidade nominal o que corresponde a um nível mínimo de aproximadamente 21cm e a válvula de saída variando entre 100 à 50%.

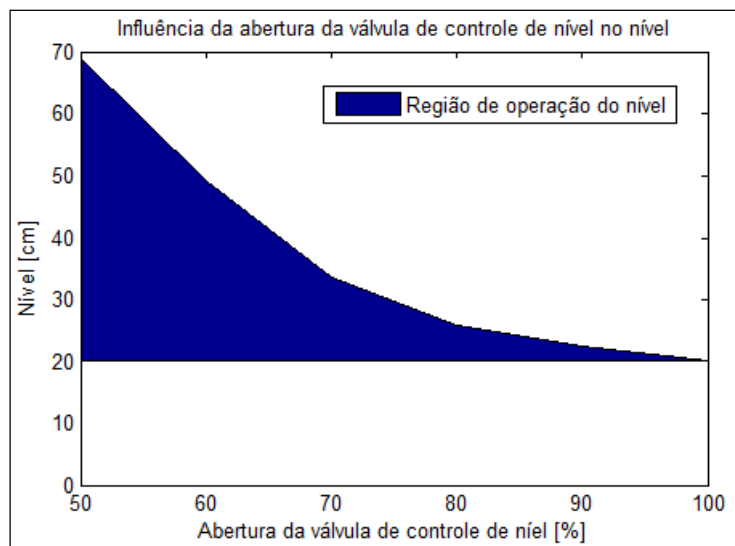
Figura 39 - Influência da abertura da válvula de saída no nível



Fonte: Produção do próprio autor.

Como é possível observar, para todas as aberturas a válvula de controle de nível possui um efeito relevante no nível. Portanto, para a válvula de controle de nível operando entre 50 à 100% e a bomba em 60% de sua velocidade nominal, temos que a região de operação do nível é de aproximadamente 21 à 70 cm. Este resultado pode ser visualizado Figura 40.

Figura 40 - Região de operação do nível



Fonte: Produção do próprio autor.

4 MODELAGEM DO PROCESSO

Muitos sistemas na prática podem descrever-se aproximadamente com um modelo muito simples, de primeira ou segunda ordem. Com frequência estes modelos são suficientes para realizar um primeiro projeto de controle.

Estes modelos podem obter-se mediante ensaios experimentais sobre o sistema. A ideia é propor a estrutura, por exemplo um de primeira ordem com retardo, como mostra a equação abaixo, e logo inferir os valores dos parâmetros K , θ e τ . Neste trabalho foi empregado a resposta ao degrau.

$$G(s) = \frac{Ke^{(-\theta s)}}{\tau s + 1} \quad (2)$$

O processo em estudo pode ser aproximado por um modelo linear de primeira ordem, logo os parâmetros do modelo podem ser obtidos por inspeção da curva de reação do processo. A resposta do modelo de primeira ordem descrito pela equação acima, para uma variação ao degrau de magnitude M é dada pela equação a seguir.

$$y(t) = KM(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (3)$$

A tangente inicial está dada por:

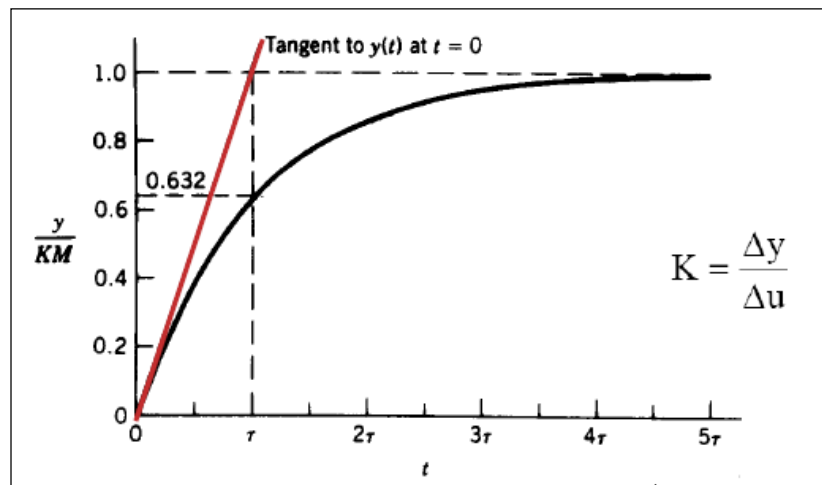
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{y}{KM} \right)_{t=0} = \frac{1}{\tau} \quad (4)$$

O ganho pode ser calculado a partir das mudanças no estado de equilíbrio em u e y :

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{\Delta y}{M} \quad (5)$$

Onde Δy é a variação no estado de equilíbrio em y .

Figura 41 - Resposta ao degrau de um sistema de primeira ordem.



Fonte: Seborg (2004).

Para o modelo descrito na Figura 41, observa-se as seguintes características da sua resposta a uma perturbação ao degrau:

- A resposta atinge 63,2% da sua variação total tempo $t = \tau + \theta$;
- A linha traçada tangente à resposta ($t = \theta$) na máxima tangente intersecta a $\frac{y}{KM} = 1$ na linha $t = \theta + \tau$.
- A resposta ao degrau é essencialmente completa em $t = 5\tau$.

Note que, quanto menor a constante de tempo τ , mais rapidamente o sistema responde. De posse dessas informações, é possível realizar a modelagem do sistema.

Com base nas informações descritas acima, obteve-se o modelo para cada região de operação das variáveis controladas vazão e nível para posteriormente em trabalhos futuro realizar o controle da planta.

4.1 Modelagem da variável controlada vazão

Nos itens a seguir tem-se a modelagem da vazão para cada região de operação, no qual foi aplicado um degrau de 10% na válvula de controle.

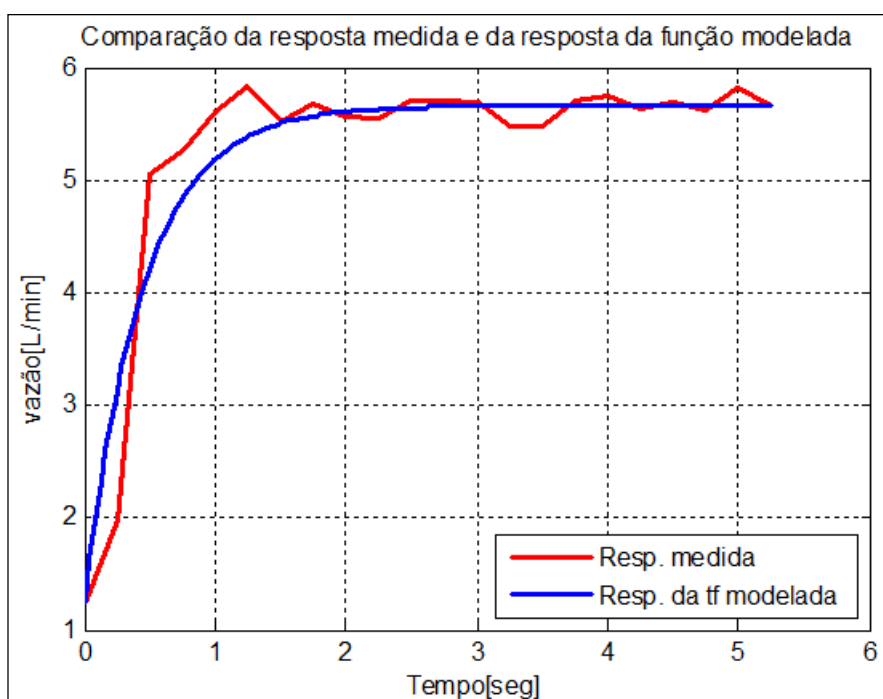
4.1.1 Modelagem da vazão com a bomba em 30% da sua velocidade nominal

Através dos testes realizados no item 3.1.2.1 foi possível obter a função de transferência da vazão para essa dada região de operação. A função em questão é dada na Equação 6.

$$G(s) = \frac{0.44223}{(0.45s + 1)} \quad (6)$$

Na Figura 42 tem-se a comparação da resposta ao degrau da função de transferência calculada e da resposta medida. Pode-se observar que a modelagem representa bem o sistema.

Figura 42 – Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido



Fonte: Produção do próprio autor.

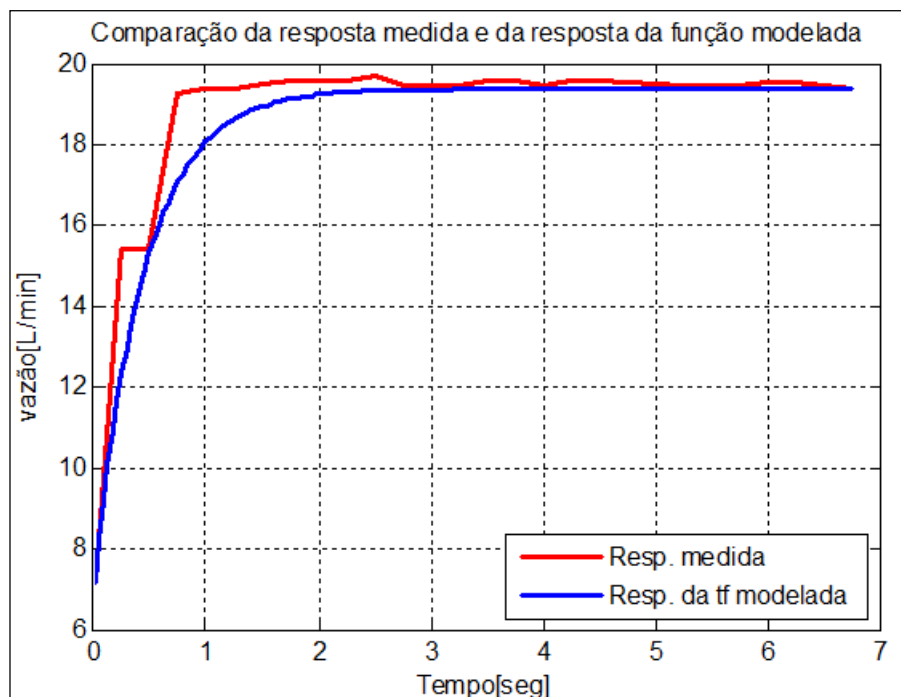
4.1.2 Modelagem da vazão com a bomba em 45% da sua velocidade nominal

Através dos testes realizados no item 3.1.2.2 foi possível obter a função de transferência da vazão para essa dada região de operação. A função em questão é dada na Equação 7.

$$G(s) = \frac{1.221}{(0.45s + 1)} \quad (7)$$

Na Figura 43 tem-se a comparação da resposta ao degrau da função de transferência calculada e da resposta medida. Pode-se observar que a modelagem representa bem o sistema.

Figura 43 - Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido



Fonte: Produção do próprio autor.

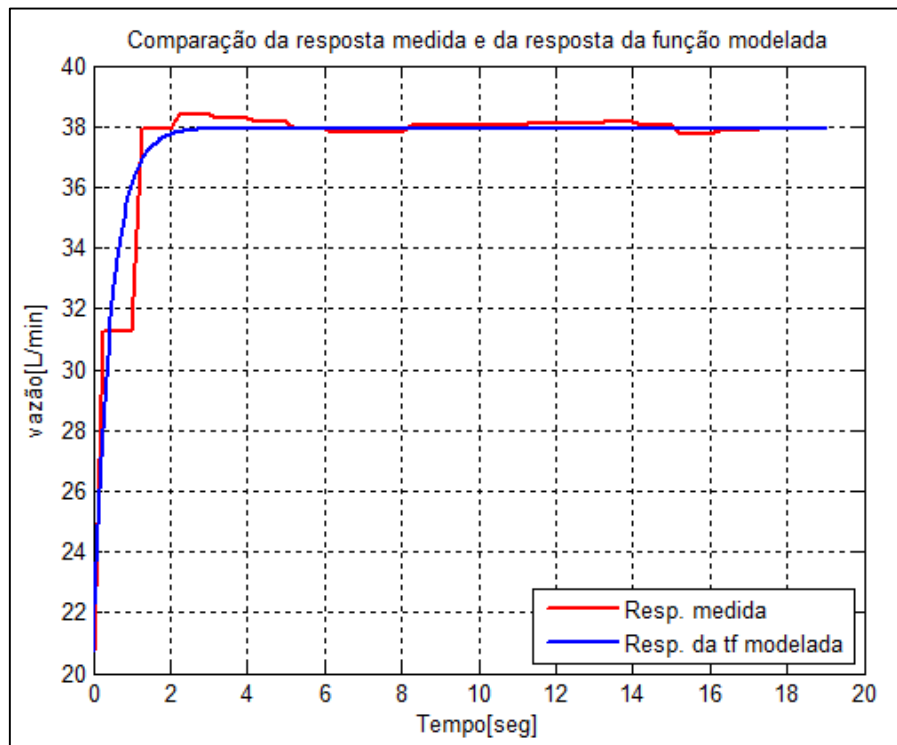
4.1.3 Modelagem da vazão com a bomba em 60% da sua velocidade nominal

Através dos testes realizados no item 3.1.2.3 foi possível obter a função de transferência da vazão para essa dada região de operação. A função em questão é dada na Equação 8.

$$G(s) = \frac{1.72}{(0.45s + 1)} \quad (8)$$

Na Figura 44 tem-se a comparação da resposta ao degrau da função de transferência calculada e da resposta medida. Pode-se observar que a modelagem representa bem o sistema.

Figura 44 - Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido



Fonte: Produção do próprio autor.

Como é possível observar, quanto maior a vazão maior é o ganho obtido.

4.2 Modelagem da variável controlada nível

Nos itens a seguir tem-se a modelagem do nível para cada região de operação, no qual foi aplicado um degrau de 10% na válvula de controle de nível.

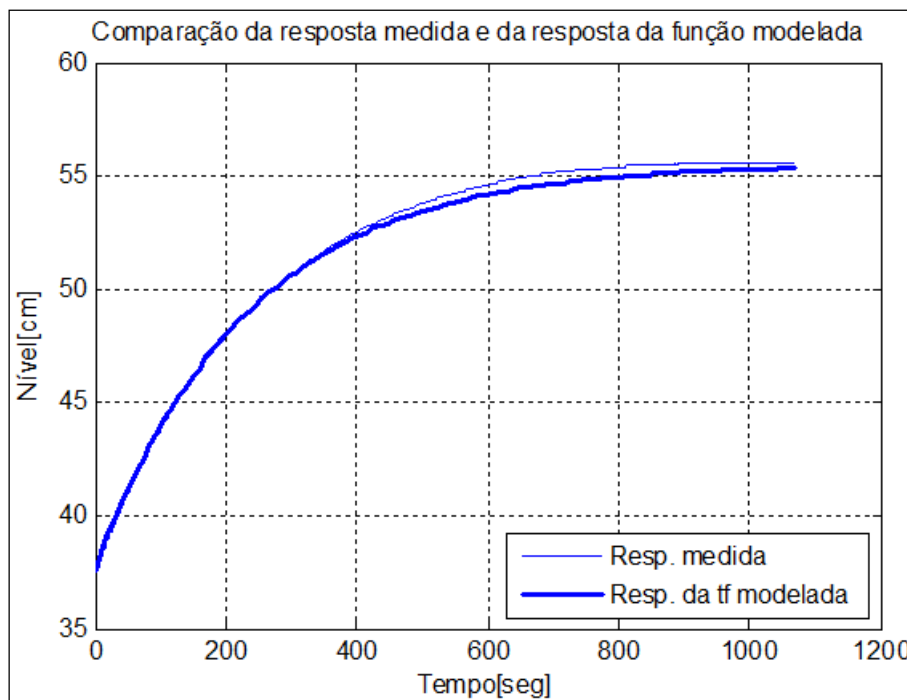
4.2.1 Modelagem do nível com a bomba em 30% da sua velocidade nominal

Através dos testes realizados no item 3.2.2.1 foi possível obter a função de transferência do nível para essa dada região de operação. A função em questão é dada na Equação 9.

$$G(s) = \frac{1.791}{(233s + 1)} \quad (9)$$

Na Figura 45 tem-se a comparação da resposta ao degrau da função de transferência calculada e da resposta medida. Pode-se observar que a modelagem representa bem o sistema.

Figura 45 - Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido



Fonte: Produção do próprio autor.

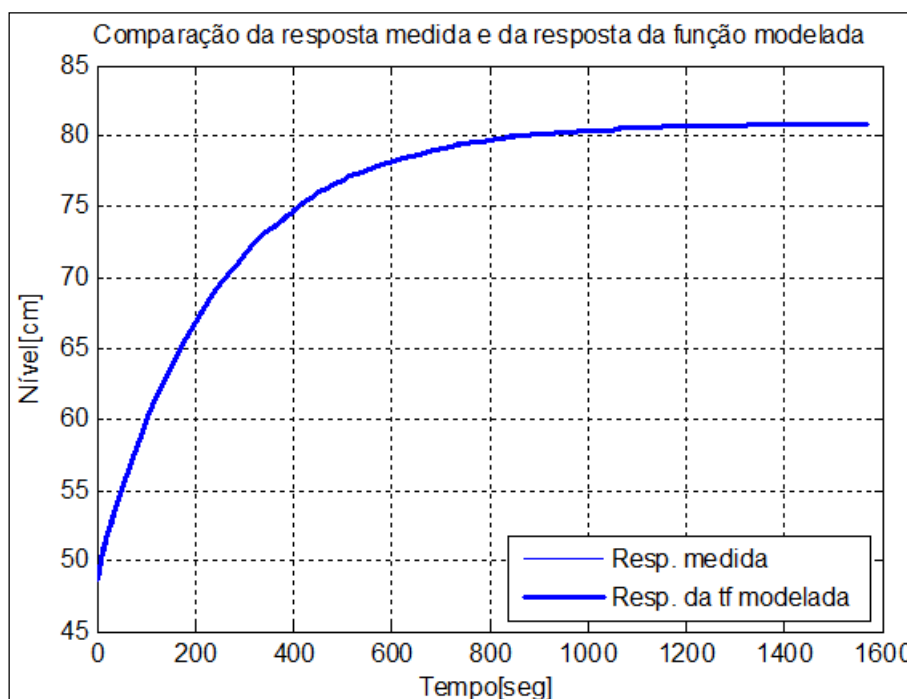
4.2.2 Modelagem do nível com a bomba em 45% da sua velocidade nominal

Através dos testes realizados no item 3.2.2.2 foi possível obter a função de transferência do nível para essa dada região de operação. A função em questão é dada na Equação 10.

$$G(s) = \frac{3.215}{(242.8s + 1)} \quad (10)$$

Na Figura 46 tem-se a comparação da resposta ao degrau da função de transferência calculada e da resposta medida. Pode-se observar que a modelagem representa bem o sistema.

Figura 46 - Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido



Fonte: Produção do próprio autor.

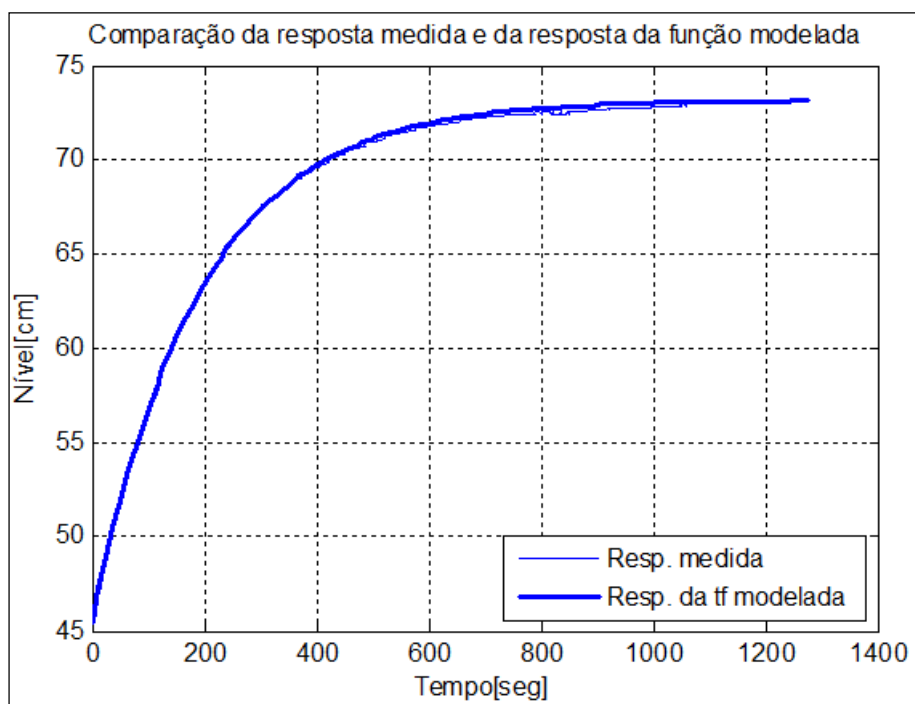
4.2.3 Modelagem do nível com a bomba em 60% da sua velocidade nominal

Através dos testes realizados no item 3.2.2.3 foi possível obter a função de transferência do nível para essa dada região de operação. A função em questão é dada na Equação 11.

$$G(s) = \frac{2.7638}{(192.8s + 1)} \quad (11)$$

Na Figura 47 tem-se a comparação da resposta ao degrau da função de transferência calculada e da resposta medida. Pode-se observar que a modelagem representa bem o sistema.

Figura 47 - Comparação da resposta ao degrau da modelagem com o medido



Fonte: Produção do próprio autor.

5 MELHORIAS NA PLANTA

5.1 Proteção da bomba d'água contra partida/funcionamento com nível baixo

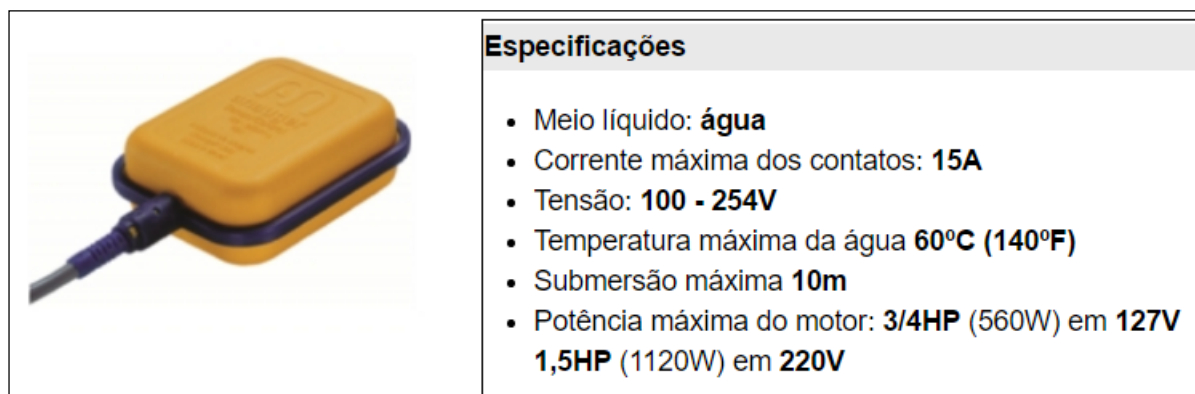
Dentre as variações de sistemas automáticos de nível para controle de reservatórios de água/fluido, o controle de nível de tanque superior abastecido por tanque inferior é o mais comum, este sistema é muito utilizado para encher caixas d'água em locais onde existam poços artesianos, cisternas, etc. Isso para sistemas residenciais, sem contar as inúmeras utilizações industriais, sejam em processos, máquinas e equipamentos para controle de sistemas de fluidos.

Geralmente só observa-se o nível do reservatório que se deseja controlar, como por exemplo na planta piloto, somente o reservatório superior possui o controle de nível. No entanto, é de suma importância existir a proteção para que a bomba não seja acionada quando não houver nenhum líquido no tanque de origem do líquido (tanque inferior).

Com este propósito, desenvolveu-se um circuito para a proteção da bomba d'água contra nível baixo. Logo, a bomba é desligada quando o nível mínimo for atingido e também não é permitido a sua partida se o nível inicial também for baixo.

O sensor utilizado para este objetivo é a boia de nível da Anauger e ele funciona como um interruptor. Segue na Figura 48 o sensor e suas especificações técnicas.

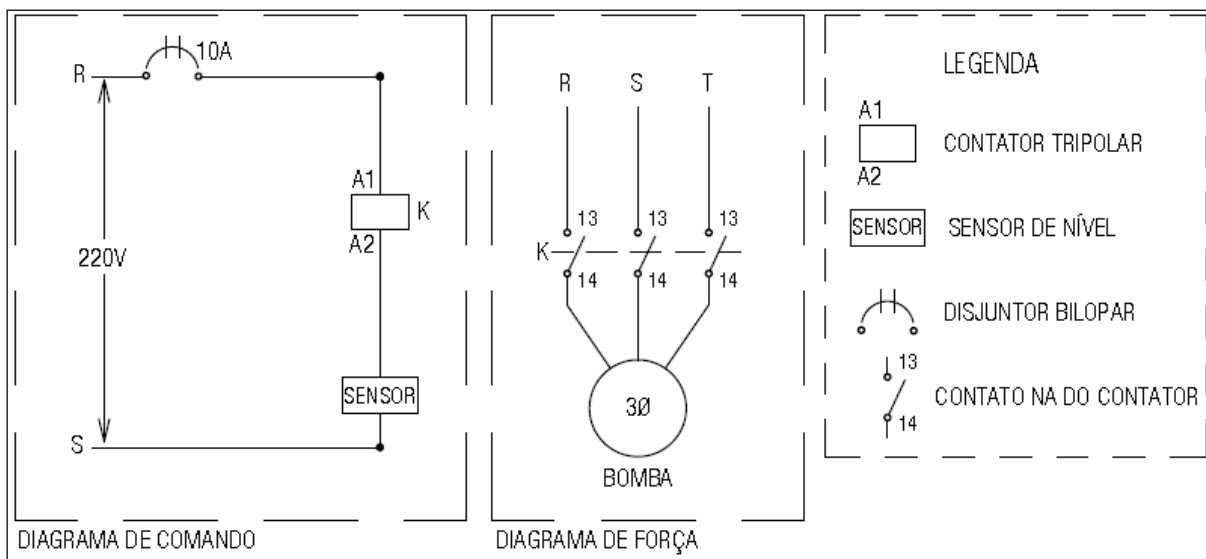
Figura 48 – Boia de nível e suas especificações técnicas



Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 49 apresenta o diagramas de força e controle para a proteção da bomba.

Figura 49 – Diagramas de força e controle



Fonte: Produção do próprio autor.

5.1.1 Funcionamento

Quando o reservatório estiver vazio, os contatos do sensor de nível está aberto e não permite a energização da bobina (A1/A2) do contator, deixando a bomba desligada ou desligando em caso de já estar em funcionamento.

Quando o nível do reservatório se eleva o contato do sensor fechará, energizando a bobina do contato e por consequência ligando a bomba.

5.1.2 Lista de materiais e orçamento

Segue na Tabela 1 a lista de materiais juntamente com os seus respectivos preços para a implementação da proteção à bomba d'água.

Tabela 1 – Lista de materiais e orçamento

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	TOTAL NECES.	CUSTO	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	Disjuntor bipolar 10A 220V tipo DIN da ABB	pç	1	25,00	25,00
2	Contator tripolar 12A 220V da Soprano	pç	1	55,00	55,00
3	SensorControl anauger	pç	1	40,00	40,00
				TOTAL	120,00

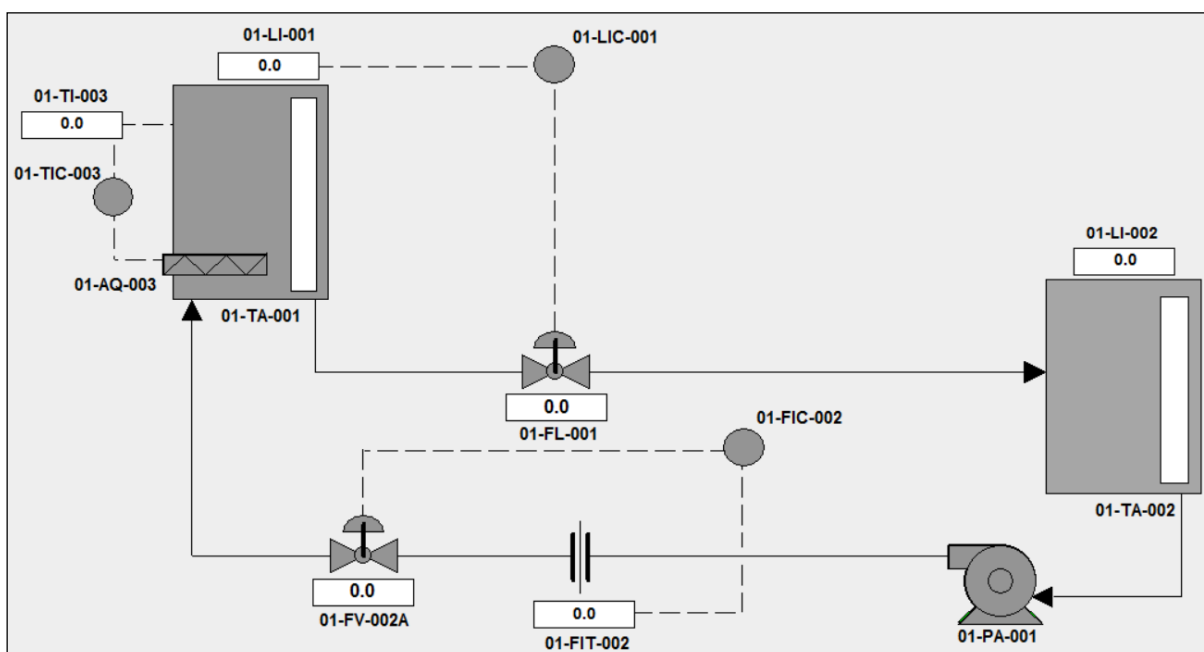
5.2 Adequação do sistema supervisório

As normas e práticas das indústrias atualmente em vigor no que se refere à HMI estão mudando, com ênfase em indicar claramente aos operadores as situações anormais. Pela apresentação de informações importantes e relevantes em destaque, a ação adequada do operador pode ser alcançada muito mais rapidamente.

Um método atual de fornecer orientação visual para o operador que vem ganhando aceitação é informalmente conhecido como a abordagem em tons de cinza. Esta abordagem é também apresentada mais formalmente por organizações como o Consórcio (ASM – *Abnormal Situation Managment*). Nesta abordagem, a maioria das informações apresentadas ao operador é em tons de cinza. Equipamentos, linhas de processo e instrumentos estão todos mostrados em um tom de cinza sobre um fundo cinza claro. Assim, a informação constante típica não é enfatizada. No entanto, situações anormais são indicadas com a utilização de cores brilhantes e a cor vermelha tipicamente seria utilizada para indicar uma situação anormal.

Visando essa norma, alterou-se a tela do sistema supervisório da planta para os tons de cores adequados e as *tags* dos equipamentos conforme descritas no P&ID da planta no item 2.6.3. É possível visualizar essas mudanças na Figura 50.

Figura 50 – Tela HMI da planta piloto



Fonte: Produção do próprio autor.

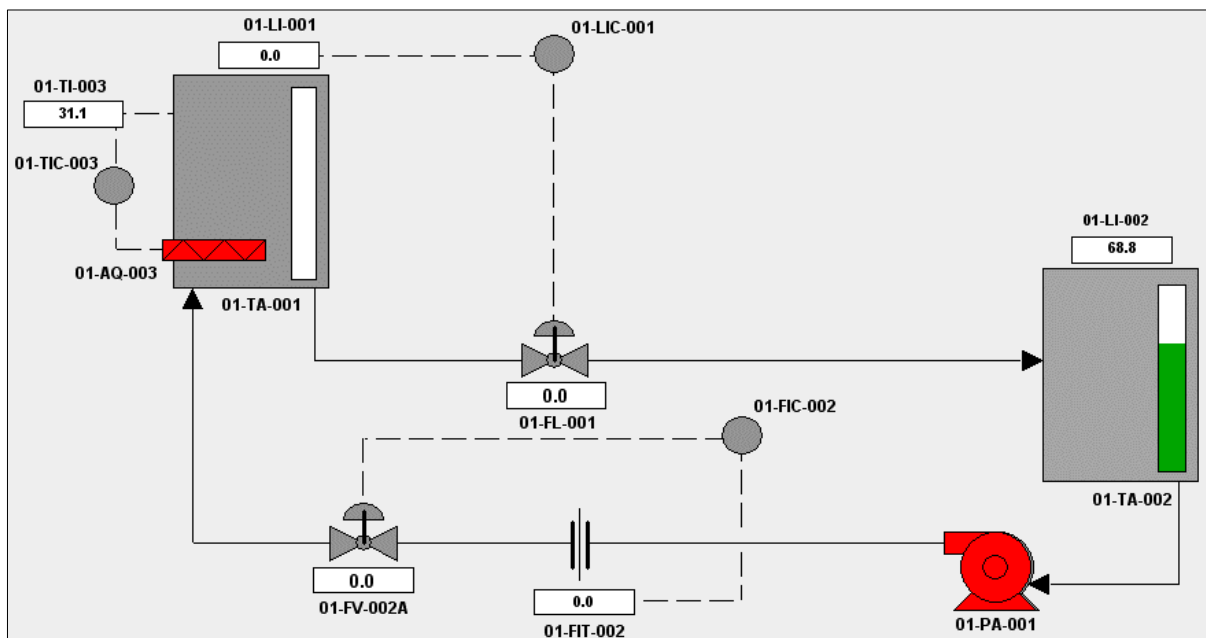
5.3 Inserção dos alarmes de níveis baixos dos reservatórios na tela HMI

Atualmente a planta piloto possui um sensor do tipo bóia como mostrado na Figura 48, cuja função é desligar o banco de resistores se o nível do reservatório superior estiver abaixo do nível mínimo admitido. Futuramente será adicionado outro sensor bóia para a proteção da bomba contra nível baixo no reservatório inferior, como descrito no item 5.1.

Ambos os sinais dos sensores serão lidos pelo cartão de entrada digital do módulo de I/O S800. O sensor do reservatório superior será conectado ao canal 1 e o sensor do reservatório inferior será conectado ao canal 3 do cartão de entrada digital. No Control Builder, esse sinal será lido, barrado e armazenado em uma variável booleana. Quando o nível ficar inferior ao permitido, o sensor irá atuar, passando para nível lógico zero, posteriormente barrado tem-se nível lógico 1. Esse nível lógico 1 fará com que a cor do equipamento mude de cinza, que é operação normal, para a cor vermelha, que simboliza uma situação anormal. Os equipamentos que mudarão de cor serão o banco de resistores e a bomba, simbolizando que eles foram desligados devido ao nível mínimo ter caído abaixo do admissível. Desta forma, o operador poderá intervir no processo mais rapidamente, solucionando a situação anormal.

A Figura 51 apresenta uma simulação no qual ambos os reservatórios estão com o nível abaixo do permitido, portanto a bomba e o banco de resistores estão em vermelho.

Figura 51 – Simulação de situações anormais para a bomba e o banco de capacitores



Fonte: Produção do próprio autor.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste projeto foi apresentada a planta piloto existente para realização de estudos e experimentos por parte dos cursos de graduação e pós graduação do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo.

Primeiramente foi realizado uma breve descrição da planta piloto, no qual são citados os instrumentos responsáveis por monitorar e atuar no processo, o controlador utilizado, o sistema supervisório e o sistema de aquisição de dados. Também são apresentados o diagrama unifilar dos painéis contidos na planta e o P&ID da planta.

Posteriormente foram obtidos as regiões de operação das variáveis controladas para determinados pontos de operação da bomba e desta forma determinaram-se as modelagens para cada região de operação do nível e da vazão.

Também foi realizado algumas melhorias na planta, como a padronização dos tons de cores e da *tags* dos instrumentos que compõem a tela HMI, a elaboração do projeto para a proteção da bomba contra nível baixo no reservatório inferior, a elaboração do P&ID da planta conforme a norma ISA 5.1 e a inserção de dois alarmes de nível baixo de ambos reservatórios no supervisório.

As modelagens obtidas para cada região de operação da vazão e do nível permitirão que seja implementado um método de controle adequado para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUENO, D. M. **Automação de uma planta piloto para controle de malhas de nível, vazão e temperatura**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

DA SILVA, F. A. **Controle e detecção de falhas em uma planta piloto**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

SEBORG, D. E.; EDGAR, T. E.; MELLICHAMP, D. A. **Process Dynamics and Control**. 2. ed. John Wiley & Sons, 2004.

MARGON, G. M.; FILGUEIRAS, M. S. **Especificação de planta piloto para estudo e pesquisas em modelagem e projeto de controladores**. Artigo científico (Curso de Especialização em Instrumentação e Controle de Processos Industriais) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

JOCHHEIN, A.; ROEHRIG, C. **The virtual lab for teleoperated control of real experiments**. 38. ed. IEEE Conference on Decision and Control, 1999.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V.; LINSINGEN, I. V. **Educação tecnológica**. 1. ed. Editora da UFSC, Florianópolis, 2000.

IWANITZ, F., LANGE, J. **OPC – Fundamentals, Implementation and Application**. Huthig Verlag, Heidelberg, 2006.

ISA. **ISA-S5.1 Instrumentation Symbols and Identification**. Research Triangle Park, North Carolina 27709, 1984.

ABB. **ABB Automation Products | S800 Remote I/O System Data Sheet/Catalog**. Disponível em: <<http://www.abb.com/controlsystems>>. Acesso em: 27 nov. 2016.

RATUNDE, A. C.; SANTOS, M. C.; CRUZ, Y. O. **O Padrão de Comunicação OPC e Suas Características**. Disponível em: <[http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18219/material/Trabalho%20OPC%20\(Matheus,%20Ana%20Clara%20e%20Yago\).pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18219/material/Trabalho%20OPC%20(Matheus,%20Ana%20Clara%20e%20Yago).pdf)>. Acesso em: 25 out. 2016.