

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLUMINENSE
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação
Profissional e Tecnológica

Ministério
da Educação



INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

ALVARO BATISTA DE ANDRADE
DIEGO BASILIO ARAÚJO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR PARA A PLANTA
DIDÁTICA PD3 DA SMAR UTILIZANDO ESTRATÉGIA DE
CONTROLE FEEDBACK E CASCATA**

Campos dos Goytacazes – RJ

2013

ALVARO BATISTA DE ANDRADE
DIEGO BASILIO ARAÚJO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR PARA A PLANTA
DIDÁTICA PD3 DA SMAR UTILIZANDO ESTRATÉGIA DE
CONTROLE FEEDBACK E CASCATA**

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense como requisito parcial para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: D.Sc. Adelson Carvalho

Campos dos Goytacazes – RJ

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca. Setor de Processos Técnicos (IFF)

A553d Andrade, Alvaro Batista de.
Desenvolvimento de um simulador para planta didática PD3 da
SMAR utilizando estratégia de controle de feedback e cascata
/ Alvaro Batista de Andrade, Diego Basilio Araújo – Campos dos
Goytacazes, RJ : [s.n.], 2013.
75f. il.

Orientador: Adelson Carvalho

Monografia (Engenharia de Controle e Automação). Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campus
Campos Centro, 2013.

Referências bibliográficas: p. 74 - 75.

1. Controle de processos – Métodos de simulação. 2. Indústria -
Automação. I. Araújo, Diego Basilio. II. Carvalho, Adelson, orient.
III. Título.

CDD – 620.004.4

ALVARO BATISTA DE ANDRADE

DIEGO BASILIO ARAÚJO

DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR PARA A PLANTA PD3 DA
SMAR UTILIZANDO ESTRATÉGIA DE CONTROLE FEEDBACK E
CASCATA

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Educação, ciência e tecnologia Fluminense como requisito parcial para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Adelson Siqueira Carvalho

Aprovada em 16 de Maio de 2013

Banca Avaliadora:

.....

Profº D.Sc. Adelson Siqueira Carvalho (Orientador)

Doutor em Informática na Educação/UFRGS

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense/Campos

.....

Profº Sergio Assis Galito de Araujo

M.Sc. Engenharia Mecânica /UFF

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense/Campos

.....

Profª Milena Bissonho Soares

Tecnóloga em Automação/IFFluminense

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense/Campos

RESUMO

Foi desenvolvido no presente trabalho um simulador para a planta didática PD3 da SMAR utilizando as estratégias de controle feedback e cascata. Para tal, foi feito um estudo sobre quais e quantos sistemas de controles seriam simulados, usando as estratégias citadas anteriormente, e decidiu-se por desenvolver quatro sistemas com estratégia *feedback* e um, com estratégia cascata. O desenvolvimento do simulador foi feito através da integração de um software de simulação matemática dinâmica e um software de supervisão de processos, que utilizam o protocolo DDE (*Dynamic Data Exchange*) para se comunicar. As telas de supervisão foram desenvolvidas de maneira que ficassem semelhantes às telas do sistema supervisório original da planta, a fim de proporcionar um fácil entendimento por parte dos alunos, além de uma interface mais próxima à realidade encontrada em um ambiente profissional. Seu uso torna possível que os testes realizados em um computador sejam posteriormente implementados já de forma refinada na planta didática, reduzindo assim a necessidade de contato com a mesma. A aplicação dos conhecimentos ocorre de maneira mais eficiente, uma vez que é possível visualizar as mudanças das variáveis nos processos simulados. O simulador desenvolvido foi considerado uma boa ferramenta para estudos futuros e para uma melhor aprendizagem das disciplinas na área de controle.

Palavras-chave: Simulador. Planta Didática. Estratégias de Controle. Feedback. Cascata.

ABSTRACT

This monograph was developed a simulator to SMAR PD3 didactic plant using feedback and cascade control strategies. For this purpose, a study was done about which and how many controls were in the didactic plant, using the strategies mentioned above, and four cascade and one feedback have been identified. The simulator development was made through the integration of a dynamic mathematical simulation software and a supervision of processes software, that use protocol DDE (Dynamic Data Exchange) to communicate themselves. The supervision screens has been developed in similar way to the screens of the original supervision system, in order to provide an easy understanding by the future users, beyond providing an interface next to the reality and remaining faithful practices founded in a professional environment. Its use becomes possible that the tests made on a computer are subsequently implemented already refined in the didactic plant, thus reducing the need for physical contact with the same one. The knowledge application occurs in a more efficient way, a time that is possible to visualize the changes of the all variables in the simulated processes. This simulator was considered a good tool for future studies and for one better way to learn control disciplines area.

Keywords: Simulator. Didactic Plant. Control Strategies. Feedback. Cascade

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Sistema de controle de temperatura	16
Figura 2.2 – Sistema de controle de malha aberta.....	18
Figura 2.3 – Estratégia de controle Feedback.....	19
Figura 2.4 – Estratégia de controle Cascata	21
Figura 2.5 – Comparação Feedback x Cascata	22
Figura 2.6 – Comparação do tempo de resposta	22
Figura 3.1 – Planta Didática PD3 SMAR.....	23
Figura 3.2 – Disposição das malhas 31 e 32 da planta.....	24
Figura 3.3 – Fluxograma da planta com estratégia de controle Feedback.....	27
Figura 3.4 – Fluxograma da planta com estratégia de controle Cascata	28
Figura 3.5 – Diagrama esquemático da planta PD3 SMAR	29
Figura 4.1 – Tela inicial do Matlab®.....	33
Figura 4.2 – Tela do Simulink Library Browser.....	34
Figura 4.3 – Bloco Matlab® Function	34
Figura 4.4 – Edição do bloco Matlab Function	35
Figura 4.5 – Criando Function no Matlab®.....	36
Figura 5.1 – Estrutura do Controlar PID	37
Figura 5.2 – Controlador PID compactado	38
Figura 5.3 – Modelo do sistema de controle de vazão na malha 32	39
Figura 5.4 – Condição da bomba 2	40
Figura 5.5 – Chave manual / automático.....	40
Figura 5.6 – Sistema anti Wind-up	42
Figura 5.7 – Saídas de dados para o sistema supervisório.....	42
Figura 5.8 – Modelo do sistema de controle de temperatura na malha 32.....	44
Figura 5.9 – Blocos do sistema de controle	45
Figura 5.10 - Modelo do sistema de controle de nível na malha 31	46
Figura 5.11 – Bloco somador	47
Figura 5.12 – Bloco subtrator	48
Figura 5.13 – Sistema de controle de temperatura da malha 31	48
Figura 5.14 – Condição dos instrumentos.....	49
Figura 5.15 – Bloco somador	50

Figura 5.16 – Fluxograma de controle cascata	51
Figura 5.17 – Diagrama de blocos	52
Figura 5.18 – Controlador mestre.....	53
Figura 5.19 – Controlador escravo	54
Figura 5.20 – Realimentação do sistema	55
Figura 6.1 – Fluxograma de navegação das janelas do intouch	59
Figura 6.2 – Índice.....	60
Figura 6.3 – Barra de menu.....	60
Figura 6.4 – Painel	61
Figura 6.5 – Acionamento das bombas.....	61
Figura 6.6 – Alarmes	62
Figura 6.7 – Segurança.....	62
Figura 6.8 – Aquecedor.....	63
Figura 6.9 – Sirene.....	64
Figura 6.10 – Tela de supervisão dos sistemas controle feedback	64
Figura 6.11 – Sistema de controle de nível na tela do sistema supervisório	65
Figura 6.12 – Janela do controlador de nível	65
Figura 6.13 – Sistema de controle de temperatura da malha 31 na tela do supervisório	66
Figura 6.14 – Janela do controlador de temperatura da malha 31	67
Figura 6.15 – Sistema de controle de vazão na tela do sistema supervisório	67
Figura 6.16 – Janela do controlador de vazão	67
Figura 6.17 – Sistema de controle de temperatura da malha 32 na tela do sistema supervisório.....	68
Figura 6.18 – Janela do controlador de temperatura da malha 32	68
Figura 6.19 – Tela de supervisão do sistema de controle cascata.....	69
Figura 6.20 – Controlador mestre, TIC-32, e controlador escravo, FIC-32	70
Figura 6.21 – Janela de gráficos de tendência dos sistemas de controle com estratégia feedback	70
Figura 6.22 - Janela de gráficos de tendência dos sistemas de controle com estratégia cascata	71
Figura 6.23 – Tela de supervisão de alarmes	72
Figura 6.24 - Tela de supervisão da planta didática PD3 da SMAR.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	APRESENTAÇÃO	9
1.2	OBJETIVO.....	11
1.3	JUSTIFICATIVA.....	11
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	12
2	CONTROLE DE PROCESSOS	14
2.1	INTRODUÇÃO AO CONTROLE.....	14
2.2	SISTEMAS DE CONTROLE.....	15
2.3	TIPOS DE CONTROLE	16
2.4	ESTRATÉGIAS DE CONTROLE.....	19
2.4.1	CONTROLE FEEDBACK	19
2.4.2	CONTROLE CASCATA.....	20
3	PLANTA DIDÁTICA PD3 SMAR.....	23
3.1	FUNCIONAMENTO	24
3.2	INSTRUMENTAÇÃO.....	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
5	DESENVOLVIMENTO DO SIMULADOR	37
5.1	CONTROLE DE VAZÃO NA MALHA 32	38
5.2	CONTROLE DE TEMPERATURA NA MALHA 32.....	43
5.3	CONTROLE DE NÍVEL NA MALHA 31	45
5.4	CONTROLE DE TEMPERATURA NA MALHA 31.....	48
5.5	CONTROLE DE TEMPERATURA NA MALHA 32 UTILIZANDO ESTRATÉGIA DE CONTROLE CASCATA	50
6	O SIMULADOR	58
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

O primeiro capítulo desse trabalho disserta sobre simuladores. Ele detalha a importância dessa técnica no processo de aprendizagem e apresenta um breve apanhado sobre o uso de simuladores, não só no processo de ensino, mas também no mundo industrial.

Além disso, são apresentados os objetivos e a justificativa do trabalho, e também a forma como ele é dividido.

1.1 APRESENTAÇÃO

O funcionamento o sistema didático vem passando por constantes reformulações para que se obtenha uma melhoria do processo ensino-aprendizagem. A fim de que esse objetivo seja alcançado, novos métodos, estratégias e recursos de ensino vêm sendo desenvolvidos. Esses métodos variam de acordo com a área de estudo. No curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial, o uso de simuladores é uma alternativa para que alunos desenvolvam um maior interesse pelo ensino da disciplina.

Neiva (2011) destaca uma possível justificativa para esse processo educacional ser tão efetivo em Abreu (1990), que diz que alguns princípios devem ser comuns a todos os que se preocupam com a aprendizagem, independentemente do cenário. Para a autora, um dos mais importantes desses princípios é que toda aprendizagem precisa visar objetivos realísticos, isto é, que possam de fato ser significativos para seus partícipes e que possam concretamente ser atingidos nas circunstâncias em que o conhecimento é compartilhado.

Para Martinelli (1987), a simulação é um meio de se experimentar ideias e conceitos sob condições que estariam além das possibilidades de se testar na prática, devido ao custo, demora ou riscos envolvidos. Já Cassel (1996), complementa essa visão, afirmando que a simulação permite que se verifique o funcionamento de algum sistema real em um ambiente virtual, gerando modelos que se comportam como aquele, considerando a variabilidade do sistema e demonstrando o que acontecerá na realidade de forma dinâmica.

O controle automático de sistemas industriais desempenha um papel de vital importância no desenvolvimento desse campo da ciência, sendo parte integrante do estudo e funcionamento de processos industriais típicos, tanto na manufatura, quanto em processos contínuos. O controle automático é essencial, por exemplo, em operações industriais que envolvam o controle de variáveis como posição, velocidade, pressão, vazão, temperatura, entre outras.

É comum não só nos cursos de graduação, mas também em empresas, o emprego de simuladores para que se possam aprimorar sistemas de controle evitando perda de tempo e eliminando gastos e riscos que passam a ser desnecessários.

Considerando que as características de um sistema real podem ser reproduzidas por sistemas análogos, cuja implementação prática é mais fácil, esta técnica pode ser uma interessante alternativa para o ensino em controle de processos, onde um circuito análogo reproduziria o comportamento dinâmico de um sistema genérico, o qual pode ser mecânico, elétrico, químico, térmico, hidráulico, econômico, biológico, etc. (Rocha et al., 2003)

Carvalho (2006) apud Silva e Glória (2012) apresenta o desenvolvimento de um simulador utilizando a linguagem de programação Visual C++ para treinamento dos operadores do reator IEA-R1 de uma usina nuclear. O simulador permite o usuário navegar por interfaces gráficas dos sistemas e monitorar tendências dos transientes de operação sendo uma ferramenta interativa para ensino e treinamento de operadores do IEA-R1. Este também pode ser usado por alunos e professores no ensino de teorias de reatores, térmica e hidráulica. O simulador permite simulações de partida, manobra de potência e parada.

O simulador de Angra 2, por exemplo, consiste de uma réplica funcional da sala de controle da Central Nuclear Angra 2. Foi reproduzido o comportamento dinâmico da sala de controle da usina incluindo itens principais dos equipamentos. Foram instalados os equipamentos de sala de controle, sistema de

computação digital, sistema de instrutor e sistema de IHM. Todos os dados de Angra 2 e seus modelos matemáticos foram codificados na linguagem FORTRAN e ASSEMBLER. Também foram configurados: programa monitor em tempo real e programas utilitários, para operação e alocação de recursos do sistema de computação digital. Por meio do sistema do instrutor, pode-se selecionar condições iniciais de operação de Angra 2, ativar o mau funcionamento e funções que permitem uma completa supervisão do exercício de treinamento. (CARVALHO, 2006 apud SILVA; GLÓRIA, 2012)

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do projeto é o desenvolvimento de um simulador da planta PD3 para fins didáticos.

O trabalho tem como objetivos específicos os seguintes:

- Estudar e compreender o funcionamento do processo da Planta PD3 Smar;
- Pesquisar a metodologia das estratégias de controle utilizadas;
- Montar um sistema supervisor da planta;
- Desenvolver o simulador;
- Simular o processo, com objetivo de obter os valores adequados para implementação;

1.3 JUSTIFICATIVA

Foi instalado no Instituto Federal Fluminense Campus Campos – Centro, uma planta piloto PD3 da SMAR, para possibilitar que os alunos apliquem o conhecimento adquirido nas aulas das disciplinas da área de controle. O simulador da planta torna possível que esses alunos realizem os testes preliminares através de um computador, e implementem suas teorias já de forma refinada para o meio físico. Desta forma, se alivia um pouco a necessidade de contato com a planta, o que é um problema quando se tem uma grande turma, e também em casos onde o sistema real se encontra indisponível ou apresenta algum tipo de dano.

Com uso do simulador, é possível também comparar a resposta do sistema real com o sistema virtual, afim de avaliar e validar os métodos estudados. Além disso, os alunos de Engenharia de Controle e Automação e também os alunos do curso Técnico de Automação podem aprender sobre diversos temas, como sintonia de controladores PID, o efeito resultante de cada ação de controle, sistemas supervisórios e estratégias de controle.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido da seguinte forma:

CAPÍTULO I – Introdução

Este capítulo apresenta uma introdução sobre os assuntos abordados neste trabalho, descrevendo sucintamente a apresentação do tema, a justificativa pela qual o tema foi escolhido, a descrição dos objetivos desse trabalho e a forma a qual ele está dividido.

CAPÍTULO II – Controle de Processos

Neste capítulo é feito um breve resumo sobre sistemas de controle. São faladas algumas definições básicas para o entendimento do trabalho como *setpoint*, variável manipulada e de processo, e distúrbio. Também são explicados os conceitos de controle de malha aberta e controle de malha fechada, além das estratégias utilizadas nesse trabalho.

CAPÍTULO III – Planta didática PD3 SMAR

Este capítulo detalha as características da planta didática. Ele é dividido em duas seções. A primeira fala sobre como a planta funciona e o que é necessário para que isso ocorra. O segundo disserta sobre a instrumentação utilizada na mesma.

CAPÍTULO IV – Materiais e Métodos

O quarto capítulo apresenta programas utilizados para o desenvolvimento do simulador, o protocolo DDE, utilizado para estabelecer a comunicação entre eles, e os comandos necessários para isso.

CAPÍTULO V – Desenvolvimento do Simulador

Este capítulo explica como cada modelo foi construído no Matlab/Simulink® e fala sobre as particularidades de cada um. Também é explicado como foi o processo de obtenção das funções de transferência utilizadas ao longo do trabalho.

CAPÍTULO VI – O Simulador

Esse último capítulo apresenta as janelas construídas do sistema supervisor explicando a funcionalidade das mesmas e por fim, faz uma comparação entre a tela de supervisão do simulador e a tela original da SMAR.

CAPÍTULO VII – Considerações Finais

O último capítulo do trabalho reitera algumas observações importantes acerca da construção e utilização do simulador, e apresenta sugestões de trabalhos que poderão vir a ser executados a partir deste trabalho.

2 CONTROLE DE PROCESSOS

2.1 INTRODUÇÃO AO CONTROLE

Com o avanço tecnológico cada vez mais acelerado, como se vê nos dias de hoje, é impossível se pensar em um processo industrial totalmente rústico, artesanal, sem que se faça uso dos benefícios proporcionados pelo controle automático. Alguns fatores, além do vertiginoso avanço tecnológico, como a globalização e a consequente concorrência fizeram com que as indústrias percebessem a necessidade de melhorar a qualidade de seus produtos, diminuir o custo e tempo necessário para a produção dos mesmos, além de reduzir os riscos envolvidos no processo produtivo. Esse conjunto de fatores fez com que a Engenharia de Controle e Automação ganhasse a importância que tem hoje.

Apesar de todas essas vantagens, não é simples fazer com que um processo industrial funcione de forma harmônica apenas acrescentando a este, máquinas e instrumentos que, em geral, são suscetíveis a erros diversos além de necessitarem de vários cuidados, além de manutenção periódica. O papel do controle automático é fazer com que as variáveis de um sistema se comportem de acordo com o esperado, corrigindo os possíveis erros que estas possam assumir.

É comum em processos industriais variáveis como pressão, nível, temperatura, vazão, força, posição, densidade, viscosidade entre outras. Essas variáveis devem sempre ser monitoradas e sujeitas, em caso de erro, a um processo de correção baseado em cálculos pré-estabelecidos, para que alcancem um valor mais próximo possível ao valor desejado.

Para o melhor entendimento do tema, é necessário que haja a definição de uma terminologia básica.

- *Variável controlada ou variável de processo:* é a grandeza medida e controlada. A proposta do controle é fazer com que o valor dessa variável esteja sempre o mais próximo possível do seu valor ideal, o *setpoint*. A informação sobre essa variável é obtida na grande maioria dos casos através do sinal de saída de transdutores específicos para cada situação.

- *Variável manipulada*: é a saída do sistema. A grandeza alterada pelo controlador de modo a fazer com que o valor da variável controlada retorne ao seu valor ideal, em caso de erro. Essas variáveis estão na maioria dos casos nos elementos finais de controle, como uma válvula.
- *Distúrbios*: também considerados variáveis, são sinais que podem afetar de várias formas o valor da variável de saída de um sistema, prejudicando o controle da planta. Um distúrbio pode ser causado propositalmente, com a finalidade de analisar como a planta reage e se comporta após sua ação. Um distúrbio pode aparecer num sistema de controle de várias formas, como, por exemplo, em mudança de condições externas ao sistema, falha em equipamentos, ou até mesmo com a simples alteração do *setpoint*.
- *Setpoint*: é o valor que a variável controlada deverá assumir. O *setpoint* não é um valor fixo, podendo ser ajustado pelo operador.

2.2 SISTEMAS DE CONTROLE

Um sistema é a combinação de componentes que agem em conjunto para atingir determinados objetivos. A ideia de sistema não fica restrita apenas a algo físico. O conceito de sistema pode ser aplicado a fenômenos abstratos dinâmicos, como aqueles encontrados na economia. Dessa maneira, a palavra 'sistema' pode ser empregada para se referir a sistemas físicos, biológicos, econômicos, e outros. (OGATA, 2003)

Considerando que um sistema de controle é um conjunto de dispositivos que a partir de informações medidas, são capazes de regular o funcionamento de outro dispositivo, a planta, é imprescindível que se saiba o máximo possível de informações sobre mesma.

A figura 2.1 ilustra o diagrama de blocos de um sistema de controle de temperatura do interior de um carro onde a temperatura desejada (*setpoint*) convertida em tensão elétrica é a entrada de um controlador. A temperatura real do interior do carro (*variável controlada*), também convertida em tensão elétrica através de um transdutor adequado, realimenta o controlador para que

este possa comparar a temperatura desejada com a temperatura real. A temperatura ambiente e o calor transferido pela radiação solar, neste caso, agem como distúrbios.

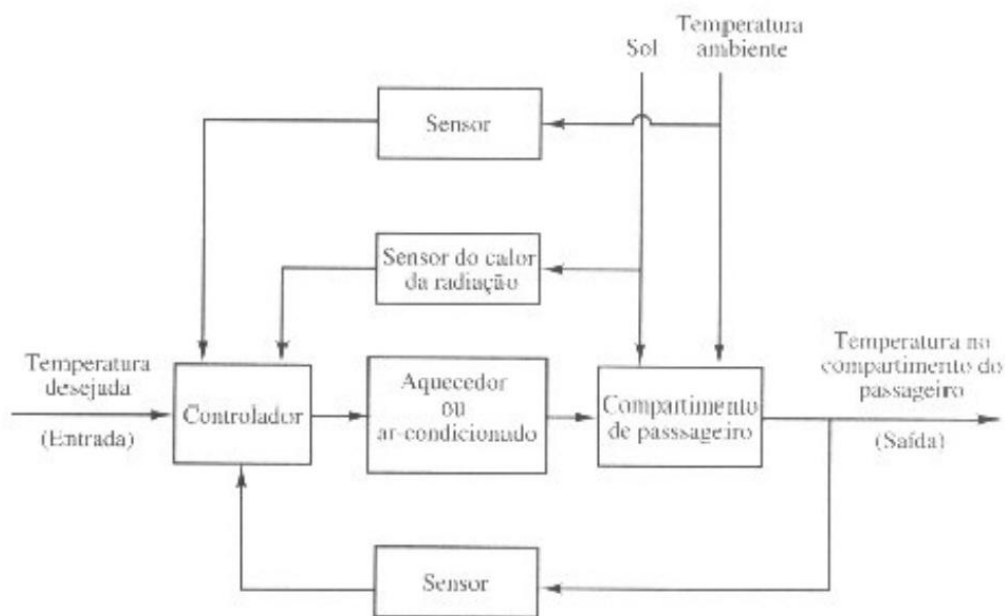


Figura 2.1 – Sistema de controle de temperatura (OGATA, 2003, p.4)

O controlador recebe os sinais da entrada e saída, e os sinais dos sensores das fontes de distúrbios, e gera um sinal de controle que é enviado ao elemento final de controle (ar-condicionado ou aquecedor, neste caso). Este, por sua vez, atuará aquecendo ou resfriando, de acordo com o sinal recebido, visando deixar a temperatura do interior do carro o mais próximo possível da temperatura desejada.

2.3 TIPOS DE CONTROLE

Existem basicamente dois tipos de controle diferentes que podem ser aplicados a um sistema.

- *Sistema de controle de malha fechada*: também chamado de sistema de controle com realimentação. O controle é feito baseado na diferença entre o sinal de entrada, o setpoint, e o sinal da realimentação, que

pode ser o próprio sinal de saída, ou uma função do sinal de saída, de modo a minimizar essa diferença deixando o sinal de saída do sistema o mais próximo possível do *setpoint*.

Um sistema que estabeleça uma relação de comparação entre a saída e a entrada de referência, utilizando a diferença como meio de controle, é denominado sistema de controle com realimentação. Um exemplo poderia ser o sistema de controle de temperatura de um ambiente. Medindo-se a temperatura ambiente real e comparando-a com a temperatura de referência (temperatura desejada), o termostato ativa ou desativa o equipamento de aquecimento ou resfriamento, de modo que assegure que a temperatura ambiente permaneça em um nível confortável, independentemente das condições exteriores.

Os sistemas de controle com realimentação não estão limitados à engenharia, podendo ser encontrados em várias outras áreas. O corpo humano, por exemplo, é um sistema extremamente desenvolvido de controle com realimentação. Tanto a temperatura corporal como a pressão sanguínea são mantidas constantes por meio de realimentação de ordem fisiológica. Nesse caso, a realimentação realiza uma função vital: faz com que o corpo humano seja relativamente insensível a perturbações externas, permitindo seu perfeito funcionamento nos casos de mudanças no ambiente. (OGATA, 2003)

- *Sistema de controle de malha aberta*: nesse tipo de controle, o sinal de saída não exerce nenhuma interferência na ação de controle do sistema. Não há realimentação desse sinal para comparação. Para a utilização de um sistema de controle de malha aberta, a relação entre a entrada e a saída deve ser conhecida e não pode haver distúrbios externos. Sistemas de controle onde as ações ocorrem em função do tempo, são sistemas de malha aberta. São exemplos desses sistemas a máquina de lavar, e o controle do tráfego através de semáforos, ambos operando em função do tempo.

A figura 2.2 apresenta um sistema de controle de malha aberta, onde a variável controlada é o nível. A vazão de entrada é fixa, e a vazão de saída controlada pela válvula manual (variável manipulada). O controle de nível é feito fazendo com que a vazão de saída assuma o mesmo valor da vazão de entrada. Mudando-se a vazão de saída, chega-se a outro valor de nível.

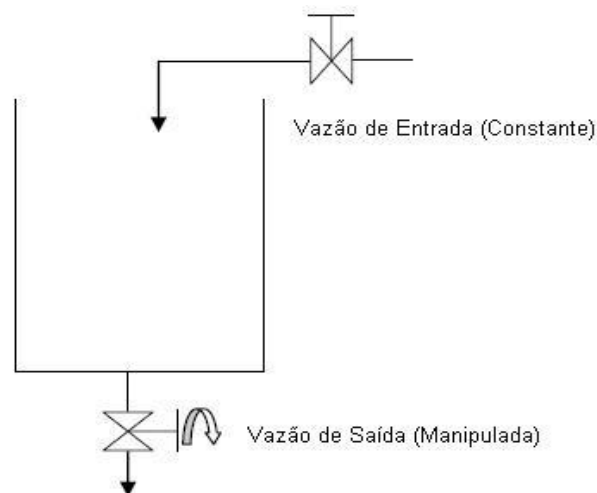


Figura 2.2 – Sistema de controle de malha aberta (FERNANDES; DE OLIVEIRA, 2012, p. 14)

Em um sistema de controle de malha aberta, a maior vantagem seria a fácil obtenção da estabilidade se não houver interferências por distúrbios externos e se as entradas são conhecidas. Ainda analisando o quesito estabilidade, existe um grande problema nos sistemas de malha fechada, pois pode haver uma tendência à correção de erros além do necessário causando oscilações de amplitude constante ou variável.

Por outro lado, em casos onde seja possível o aparecimento de distúrbios externos ou variações internas nos parâmetros do sistema, ou ainda onde não se conheça a entrada, o sistema de controle que melhor se encaixa é o de malha fechada, pois a realimentação fará com que sempre haja a comparação entre a entrada e a saída do controlador corrigindo a saída de forma contínua. Um exemplo de sistema de controle de malha fechada é o sistema de controle de temperatura ilustrado na figura 2.1.

No aspecto econômico, sempre será um pouco maior o custo de um sistema de controle de malha fechada se comparado a um sistema manual equivalente, pois se faz necessário o uso de mais componentes. Se os recursos disponíveis para um projeto de sistema de controle são escassos, o sistema manual se faz mais adequado. Também há casos onde se combina adequadamente o controle de malha aberta e o controle de malha fechada, tornando o sistema mais econômico e apresentando um sistema satisfatório como um todo.

2.4 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE

Há várias formas de se arrumar um sistema visando obter a correta ação de controle às possíveis perturbações ou variações dos seus diversos parâmetros. Essas formas são chamadas estratégias de controle. No trabalho em questão, as estratégias de controle usadas são:

2.4.1 CONTROLE FEEDBACK

Essa estratégia de controle é a mais simples. O controle é baseado no erro que é a diferença entre o setpoint e o valor real da variável controlada, que é medido através de transdutores específicos. A ação de controle *feedback* possui as seguintes etapas:

1. Medir o valor da saída utilizando instrumento de medição adequado para cada tipo de variável.
2. Comparar o valor recebido da saída com o valor desejado, achando a diferença entre eles (erro).
3. Enviar um sinal de controle ao elemento final de controle, visando modificar o valor de saída para o mais próximo possível do valor de *setpoint*.

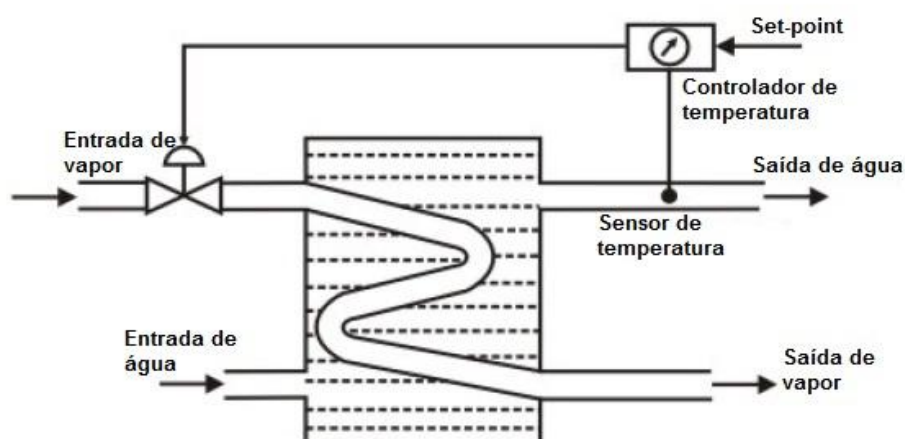


Figura 2.3 – Estratégia de controle *Feedback*

(Fonte:< http://www.foz.unioeste.br/~chsantos/ENG_CONT/Aula_02.pdf>)

A figura 2.3 ilustra um sistema de controle de temperatura baseado na estratégia *feedback*, onde o controlador recebe informações sobre o setpoint e o valor atual da variável controlada (temperatura), através do sensor de temperatura. A diferença entre esses valores é analisada e de acordo com o resultado, é enviado um sinal de controle ao elemento final de controle, neste caso, a válvula que controla a entrada de vapor no sistema.

2.4.2 CONTROLE CASCATA

Esse tipo de controle é bastante utilizado quando, por melhor que seja o controlador, a variável controlada demora muito para atingir o *setpoint* devido à ocorrência de distúrbios externos. Neste caso, qualquer tipo de perturbação em uma variável secundária causa alteração na variável controlada.

O controle cascata serve para melhorar a malha fechada simples de um processo que possui grande inércia (grande constante de tempo e/ou tempo morto), diminuindo os efeitos de uma ou mais perturbações que atuam sobre a variável controlada ou a variável secundária. Isso é obtido através de uma malha de controle rápida (escrava) que recebe valor de *setpoint* de uma malha mais lenta (mestra). Uma malha de controle cascata necessita de no mínimo dois pontos de medição, dois controladores e um elemento final de controle.

A principal vantagem do controle cascata é que ele corrige os distúrbios, através do controlador secundário, antes que eles influenciem a variável primária.

No entanto, o controle cascata necessita que haja pelo menos uma variável secundária adequada, e a mesma possa ser medida. Caso contrário, não poderá ser implementada a estratégia.

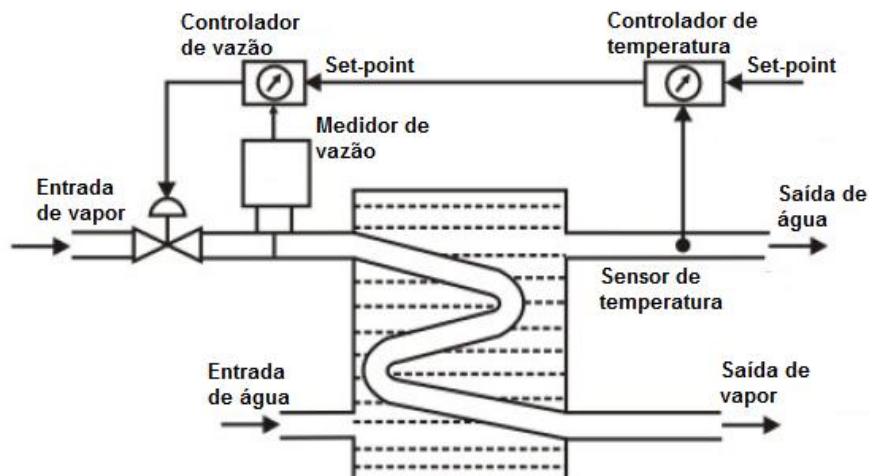


Figura 2.4 – Estratégia de controle Cascata

(Fonte:< http://www.foz.unioeste.br/~chsantos/ENG_CONT/Aula_02.pdf>)

A figura 2.4 trata de um sistema de controle de temperatura da água, bem como a figura 2.3, porém a estratégia de controle adotada é controle em cascata.

O controlador de temperatura recebe sinal do sensor de temperatura e o sinal do *setpoint*, compara, e o seu sinal de saída é enviado ao controlador de vazão. Esse sinal assumirá a função de setpoint do controlador de vazão, e será comparado ao sinal recebido pelo medidor de vazão. Após essa análise, o controlador de vazão enviará um sinal com a ação de controle ao elemento final de controle, que neste caso, é a mesma válvula que controla a vazão da entrada e vapor.

A figura 2.5 compara duas malhas de controle, uma com estratégia de controle *feedback*, e a outra, cascata, e como elas reagiriam a uma perturbação em uma das variáveis.

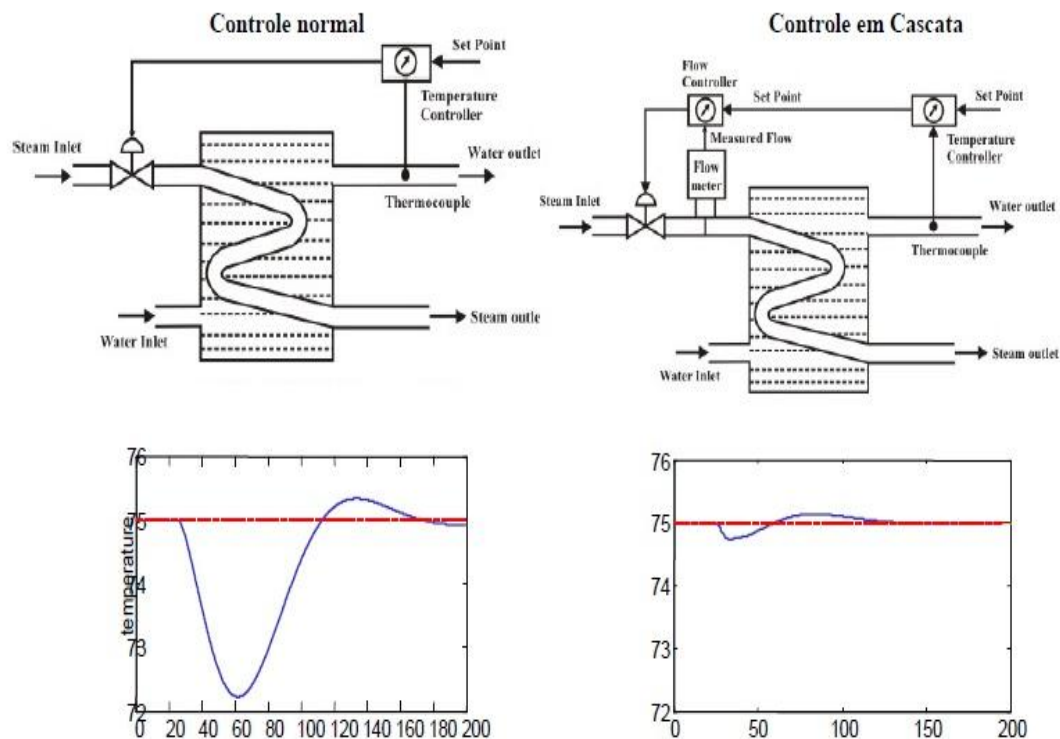


Figura 2.5 – Comparação Feedback x Cascata

(Fonte: < http://www.foz.unioeste.br/~chsantos/ENG_CONT/Aula_02.pdf >)

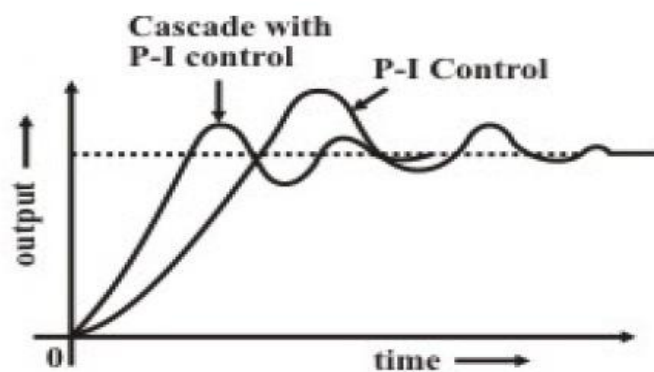


Figura 2.6 – Comparação do tempo de resposta

(Fonte: < http://www.foz.unioeste.br/~chsantos/ENG_CONT/Aula_02.pdf >)

Analisando as figuras 2.5 e 2.6, conclui-se que neste exemplo, o sistema de controle com estratégia cascata é mais eficiente na resposta à uma perturbação, obtendo também um menor tempo de resposta.

O próximo capítulo apresenta a planta didática PD3, seus instrumentos e a forma como ela funciona.

3 PLANTA DIDÁTICA PD3 SMAR

As plantas didáticas têm um papel muito importante no ensino, pois é uma forma de estar mais próximo de uma planta industrial real, visto que reproduzem as mesmas características de campo, possibilitando aos seus usuários experiências que irão encontrar no mercado de trabalho.

O objetivo da Planta Didática SMAR é demonstrar didaticamente a operação das diversas malhas de controle utilizando os mesmos equipamentos e ferramentas de configuração, em software, desenvolvidos para aplicação em controle industrial. O software original de configuração e supervisão (SYSCON) efetua a aquisição de dados dos equipamentos e os apresenta por meio de animações de telas. Porém, como a planta se encontra inoperante, nesse simulador usaremos o Intouch® para criar e animar as telas de supervisão.



Figura 3.1 - Planta Didática PD3 SMAR.

3.1 FUNCIONAMENTO

A planta é composta por duas malhas de controle, a malha 31 e a 32 como mostra a figura 3.2, nela pode-se implementar duas estratégias de controle, que são feedback e cascata. A estratégia de controle *feedback* foi utilizada para realizar controle de nível e temperatura na malha 31, além de vazão e temperatura na malha 32. Também foi utilizada a estratégia cascata para realizar controle na de temperatura através da vazão na malha 32.

A planta conta também com instrumentos e equipamentos sofisticados e de alta tecnologia e basicamente trabalha com o controle do nível, temperatura e vazão.

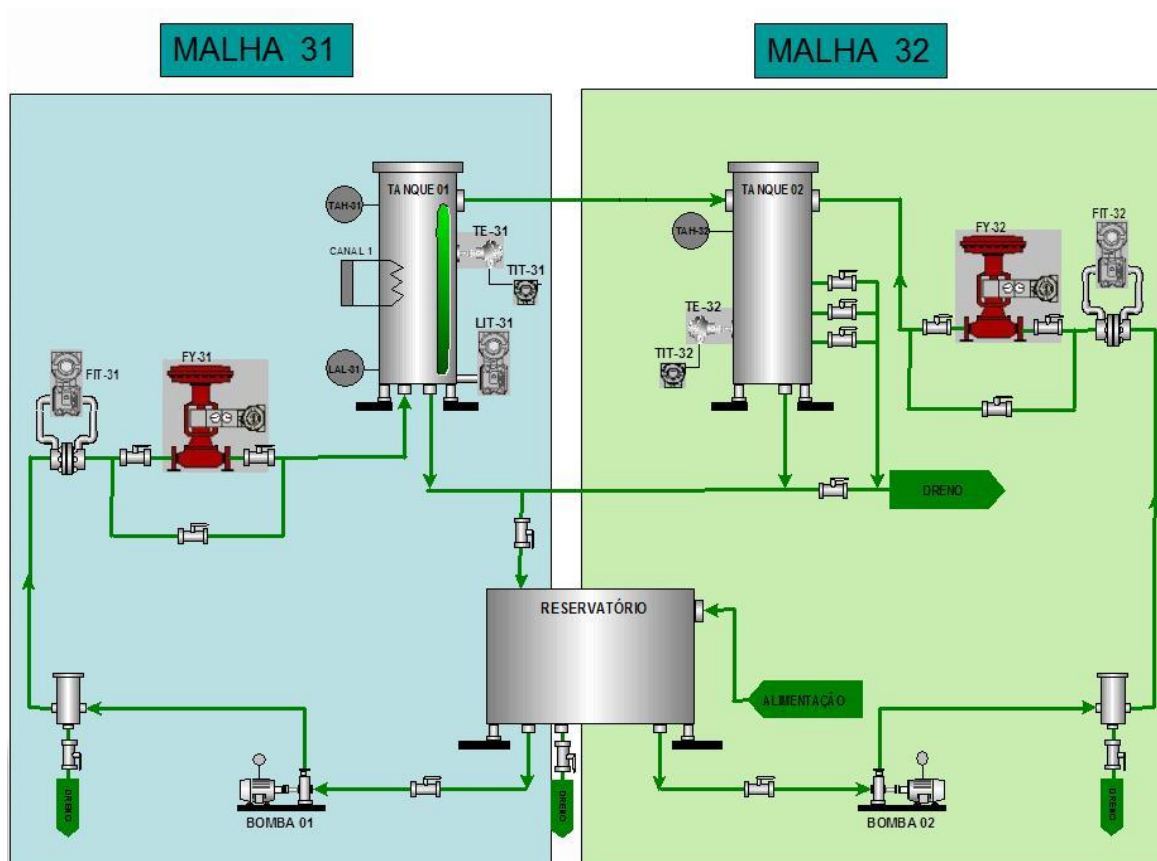


Figura 3.2 - Disposição das malhas 31 e 32 da planta

Antes de colocar a planta em funcionamento, deve-se verificar a posição em que as válvulas manuais se encontram a fim de posicioná-las de forma que se permita o fluxo ordenado de água.

Seu funcionamento se dá primeiramente pela entrada de água no reservatório de abastecimento da planta, lugar onde está toda a água do processo.

As bombas retiram a água do reservatório e promovem a circulação da mesma em todo o processo pelas tubulações. Existem duas bombas na planta, a bomba 01 (B-01), pertencente à malha 31 e a bomba 02 (B-02), que pertence à malha 32, porém em caso de avarias em uma das bombas é possível utilizar a B-01 para a malha 32 e a B-02 para a malha 31, através do posicionamento das válvulas manuais. As bombas podem ser usadas ao mesmo tempo ou separadamente, de acordo com a operação que deseja implementar.

Da bomba, a água passa por um filtro e em seguida por um rotâmetro, que mostra o valor da vazão de saída da bomba 01. Depois ela passa pelo LD302 (FIT-31), um transmissor de pressão diferencial da SMAR, equipamento que mede a vazão, e uma placa de orifício.

Após o FIT-31, a água entra na válvula de controle (FV-31), que de acordo com o sinal recebido do controlador regula a entrada de água no tanque 01 (TQ-01). Caso não se deseje utilizar essa válvula em algum projeto, é possível fazer o seu bypass abrindo a válvula manual paralela a ela. Esta válvula estará sempre no modo manual, ou seja, nenhum controle estará ativo sobre ela. Sendo assim, através do supervisório só é possível definir a abertura da válvula FV-31, em um range de 0% para totalmente fechada e 100% para quando a válvula estiver totalmente aberta.

Saindo da FV-31 a água chega à parte inferior do tanque 01, onde é realizado controle de temperatura através do aquecimento das resistências que se encontram no interior do TQ-01. Tais aquecedores obedecem a um conversor estático que possui dois intertravamentos. O primeiro, a chave de temperatura alta, desligará a resistência caso a temperatura ultrapasse os 54°C. O segundo, a chave de nível baixo LAL-31, emite um sinal que inibe a resistência se o nível do tanque é menor que 10% da capacidade total.

No tanque a temperatura da água é medida pelo transmissor de temperatura, TIT-31. O conversor de potência, elemento final de controle é o responsável por enviar corrente elétrica entre 4 e 20 mA para as resistências elétricas para aquecer a água do tanque.

A água aquecida transborda para o tanque 02 e poderá ter dois destinos, ser eliminada do processo ou despejada no reservatório novamente. A água vinda do tanque 01 se mistura com a água fria proveniente da malha 32 e a temperatura final é informada pelo transmissor de temperatura da SMAR, TT302 (TIT-32).

Na malha 32, a bomba-02 (B-02) succiona a água do reservatório e a encaminha pelas tubulações para a válvula de controle FV-32, passando pelo filtro, por um rotâmetro idêntico ao da malha 31 e pelo transmissor de pressão diferencial da SMAR LD302 (FIT-32). O rotâmetro informará a vazão instantânea da bomba e o FIT-32 irá medir a vazão da tubulação.

Ao passar pelo FIT-32, a água entrará na válvula de controle FV-32. Esta válvula limitará a entrada de água fria no TQ-02, através do sinal de abertura enviado pelo controlador. Como a FV-31 também podemos fazer o bypass da FV-32, basta abrir a válvula manual que está paralela a ela.

Após a FV-32 a água entra no tanque 02 (TQ-02), neste tanque o controle de nível é feito através de três válvulas manuais localizadas na lateral do mesmo. Portanto em um projeto se precisar de um nível mais baixo basta abrir a válvula mais abaixo, para um nível mediano a válvula do meio, um nível mais alto a válvula mais acima e se quiser usar a capacidade máxima do tanque feche todas as válvulas laterais e deixe a água transbordar para o tanque 01 e abra a válvula manual abaixo do mesmo para transferir a água para o reservatório ou para fora do processo.

As figuras 3.3 e 3.4 apresentam os fluxogramas de controle da planta quando adotadas as estratégias de controle *feedback* e cascata, respectivamente.

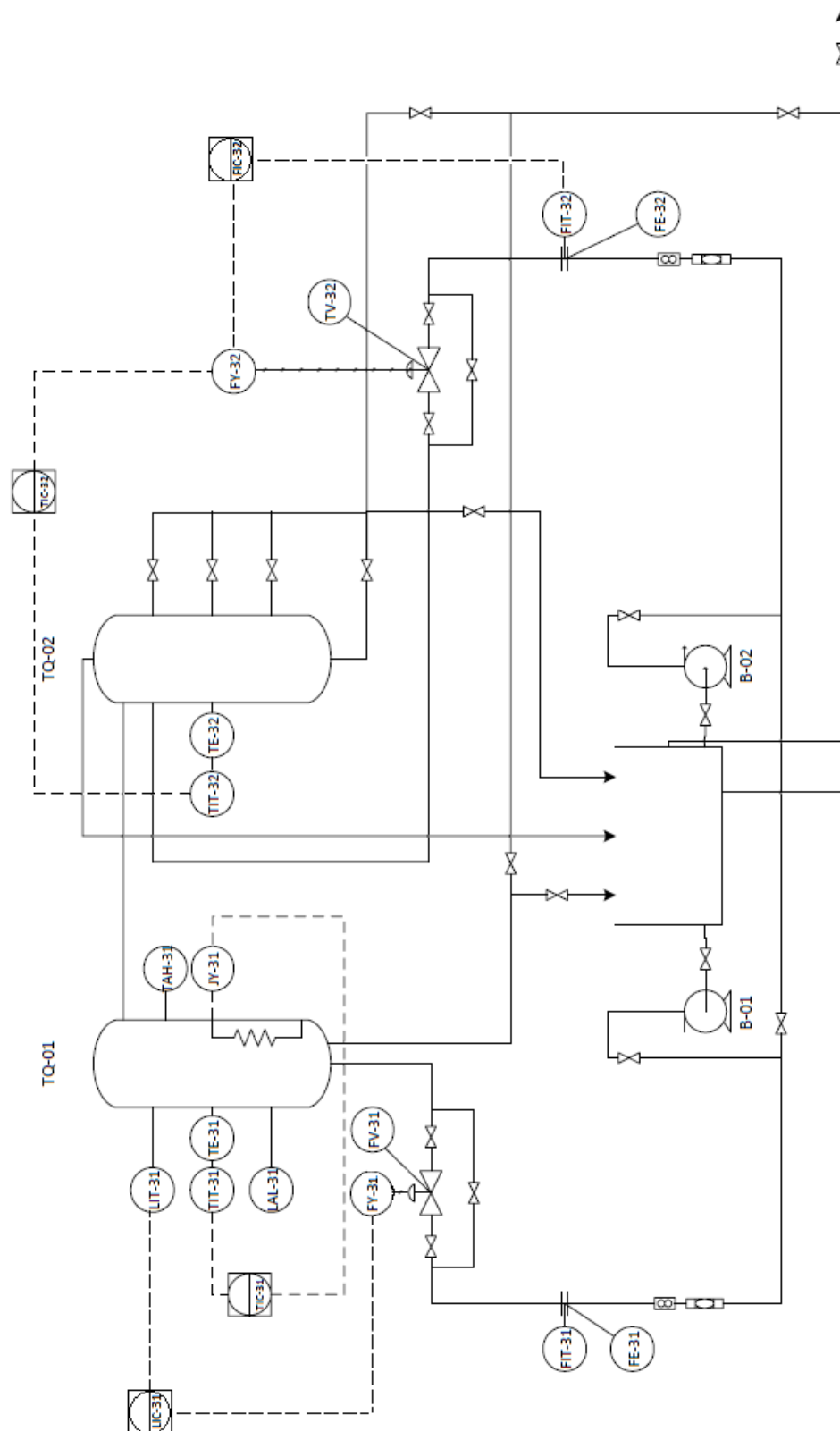


Figura 3.3 - Fluxograma da planta com estratégia de controle *Feedback*

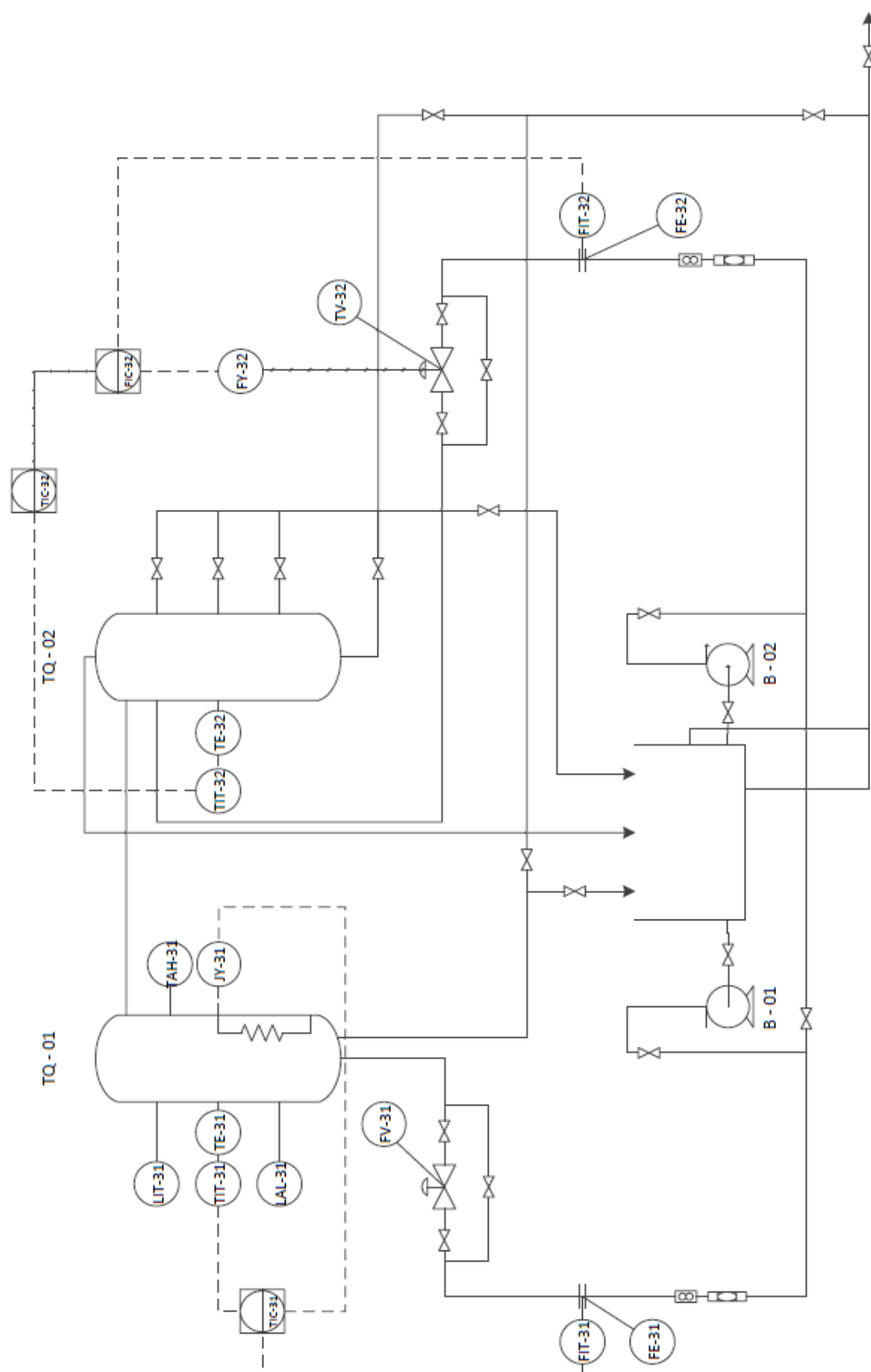


Figura 3.4 - Fluxograma da planta com estratégia de controle Cascata

3.2 INSTRUMENTAÇÃO

A planta didática PD3 SMAR é apresentada esquematicamente na figura 3.5.

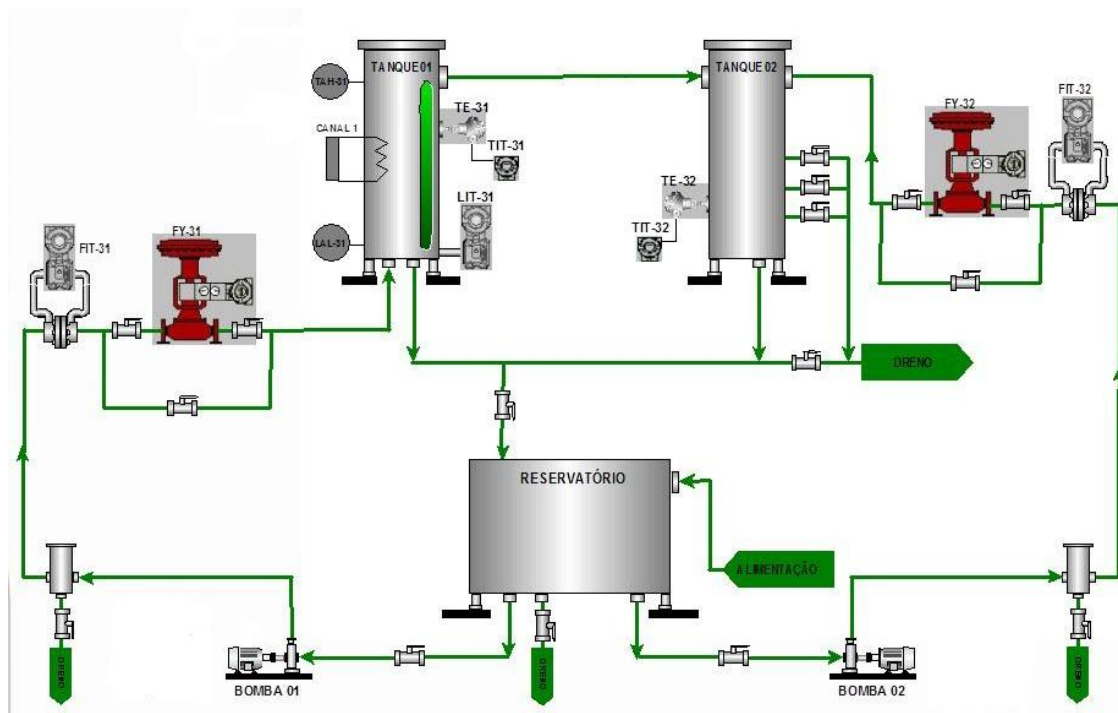


Figura 3.5 - Diagrama esquemático da planta PD3 SMAR

O quadro 1 lista os equipamentos da planta didática que foram simulados nesse trabalho.

Quadro 1. Instrumentos da planta.

Instrumentos	TAG	OBS.
Bomba 01	B-01	
Bomba 02	B-02	
Válvula de Controle (malha 31)	FV-31	Esse equipamento é um Posicionador de Válvula Foundation Fieldbus (FY302)
Válvula de Controle (malha 32)	FV-32	Esse equipamento é um Posicionador de Válvula Foundation Fieldbus (FY302)

Transmissor Indicador de Vazão (malha 31)	FIT-31	Esse equipamento é um Transmissor de Pressão Diferencial Foundation Fieldbus (LD302D) e é também um sensor de vazão.
Transmissor Indicador de Vazão (malha 32)	FIT-32	Esse equipamento é um Transmissor de Pressão Diferencial Foundation Fieldbus (LD302D) e é também um sensor de vazão.
Transmissor Indicador de Nível	LIT-31	Esse equipamento é um Transmissor de Pressão Diferencial Foundation Fieldbus (LD302D).
Transmissor Indicador de Temperatura (malha 31)	TIT-31	Esse equipamento é um Transmissor de Temperatura Foundation Fieldbus (TT302) e é também um sensor de temperatura.
Transmissor Indicador de Temperatura (malha 32)	TIT-32	Esse equipamento é um Transmissor de Temperatura Foundation Fieldbus (TT302) e é também um sensor de temperatura.
Conversor Estático	TY-31	Esse equipamento alimenta as resistências com corrente de 4 a 20 mA.
Resistência	JY-31	
Chave de Temperatura Alta	TAH-31	Quando acionado, emite um sinal que inibe as resistências.
Chave de Nível Baixo	LAL-31	Quando acionado, emite um sinal que inibe as resistências.

O próximo capítulo apresenta os softwares utilizados na elaboração do simulador e o protocolo de comunicação DDE que estabelece a comunicação entre as aplicações.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os programas utilizados para a construção desse simulador foram o Matlab® e o Intouch®. O primeiro contém toda a programação referente à parte de controle, e comunicação entre os *softwares*. O segundo é responsável por toda a visualização do processo.

O MatLab® (MATrix LABoratory) é um *software* que integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos de visualização fácil em que as soluções e os problemas são escritos matematicamente, ao contrário da programação tradicional, o que torna mais fácil a utilização do mesmo. Este *software* possui algumas extensões chamadas de *toolboxes* ou *blocksets*, sendo o mais conhecido o Simulink®, que é um *toolbox* com uma interface de diagrama de blocos. O Simulink® é uma ferramenta para modelagem, utilizada para a simulação e análise de sistemas cujo comportamento é dinâmico. (SILVA; GLÓRIA, 2012)

O Intouch®, segundo Vianna (2008, p.44), é um gerenciador de aplicativos, onde é possível determinar ou criar diretórios das aplicações. Através deste, pode-se carregar para a memória o *Windows Maker* ou o *Windows Viewer*.

O *Windows Maker* destina-se a criação de janelas e edição das animações, já o *Windows Viewer* é o *software* que executa a janela que foi construída no *Windows Maker*.

O Intouch® é um sistema SCADA. Comparado com outros sistemas, possui interface homem-máquina mais simples de ser configurada.

Para que haja troca de informações entre os *softwares* Matlab® e Intouch, é necessário que exista uma interface de comunicação entre as partes. O Matlab® precisa ter a possibilidade de ler e usar uma informação do Intouch®, mas também de escrever na memória do mesmo. Neste trabalho, usaremos o protocolo DDE (*Dynamic Data Exchange*).

O protocolo DDE é utilizado para troca dinâmica de informações entre aplicações no sistema operacional *Windows*. Ele pode ser usado para trocas isoladas de informações entre dois ou mais aplicativos através de mensagens padronizadas, porém, na área de controle, ele é mais utilizado para permitir troca contínua de dados, com as aplicações enviando a informação periodicamente, ou na medida em que os dados são atualizados.

Apesar do surgimento de protocolos de comunicação de melhor desempenho, o DDE ainda é largamente usado, principalmente em sistema de aquisição de dados onde vigore o sistema SCADA.

Neste trabalho, os comandos necessários para a comunicação serão executados no Matlab®, fazendo com que este seja a aplicação cliente nessa linha de comunicação. O Intouch®, funcionará como servidor de dados. É importante ressaltar que apesar dessas definições, o Matlab®, além de coletar os dados, também pode alterar os dados do Intouch® de forma dinâmica.

Para que a comunicação fosse estabelecida neste projeto, foram utilizados três comandos principais:

- $A = \text{ddeinit}(\text{'nome da aplicação'}, \text{'nome da sessão'})$, onde A é a variável onde será armazenada a informação obtida através da requisição feita por conexão. Nome da aplicação é o nome da aplicação que funciona como servidor, e nome da sessão se refere à sessão da aplicação servidora que será acessada.
- $B = \text{ddereq}(\text{'canal'}, \text{'nome da variável'})$, onde B é a variável que irá armazenar a resposta à requisição por valor da variável controlada. Canal é o nome da variável que recebeu o retorno do pedido de conexão e nome da variável se refere à variável controlada que está sendo medida e disponibilizada no processo.
- $C = \text{ddepoke}(\text{'canal'}, \text{'nome da variável'}, \text{'valor'})$, onde como no comando anterior, o canal é o nome da variável que recebeu o retorno do pedido de conexão e nome da variável se refere à variável controlada que está sendo medida e disponibilizada no processo, e o valor é o que será escrito na variável manipulada na sessão de aplicação servidora.

De forma simplificada, o comando 'ddeinit' é usado para estabelecer a comunicação entre as aplicações. O comando 'ddereq' é usado para fazer que

o Matlab® receba um dado do Intouch®, e o comando 'ddepoke', para fazer com que o Matlab® escreva um dado em uma variável do Intouch®.

Todos os comandos de conexão citados acima devem ser executados no Matlab®. Os comandos 'ddereq' e 'ddepoke' deverão ser utilizados em blocos chamados de 'Matlab Function' para que possam ser executados a cada repetição no Simulink®. A figura 4.1 mostra a tela inicial do Matlab®.

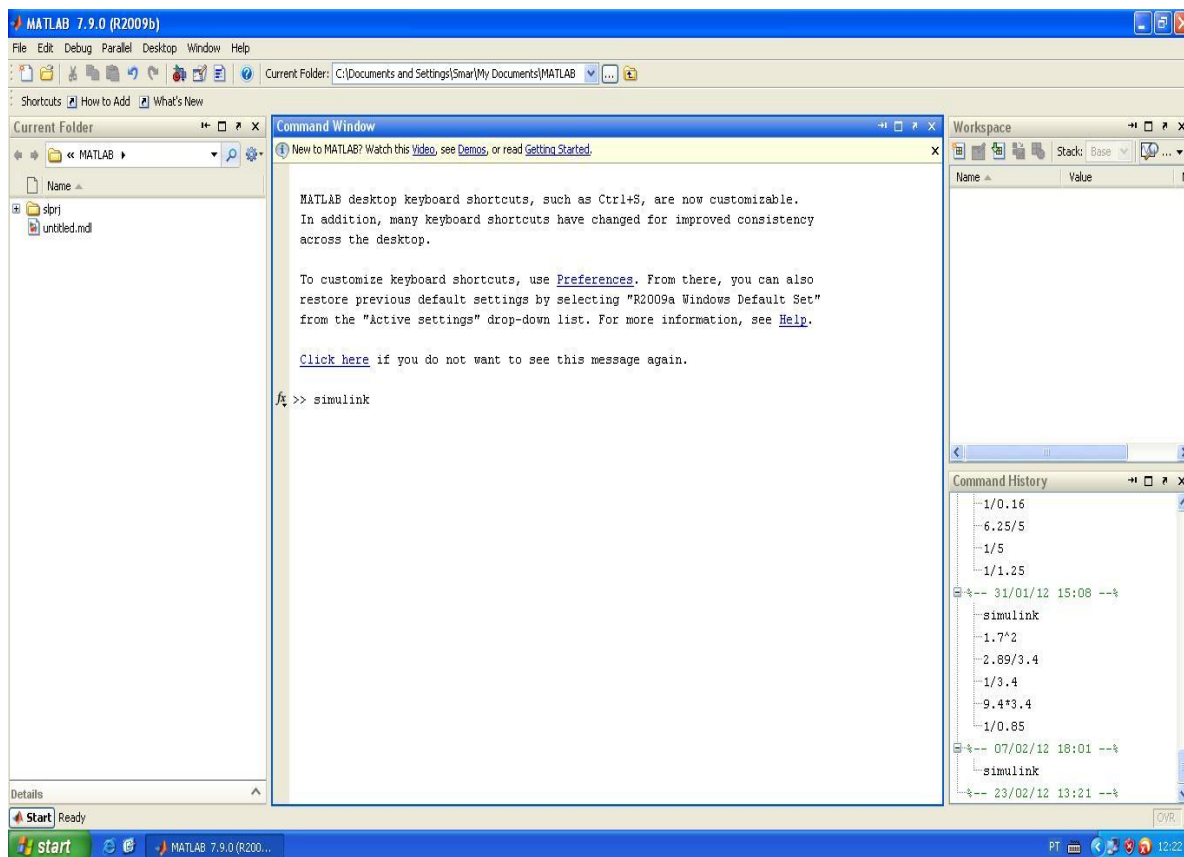


Figura 4.1 – Tela inicial do Matlab®

A partir da tela inicial do MatLab® é possível abrir a ferramenta Simulink® através do comando Simulink® na janela *Command Window*. Para abrir um novo documento do Simulink®, é necessário acessar o menu File/New/Model na janela *Simulink Library Browser* conforme apresentado na figura 4.2.

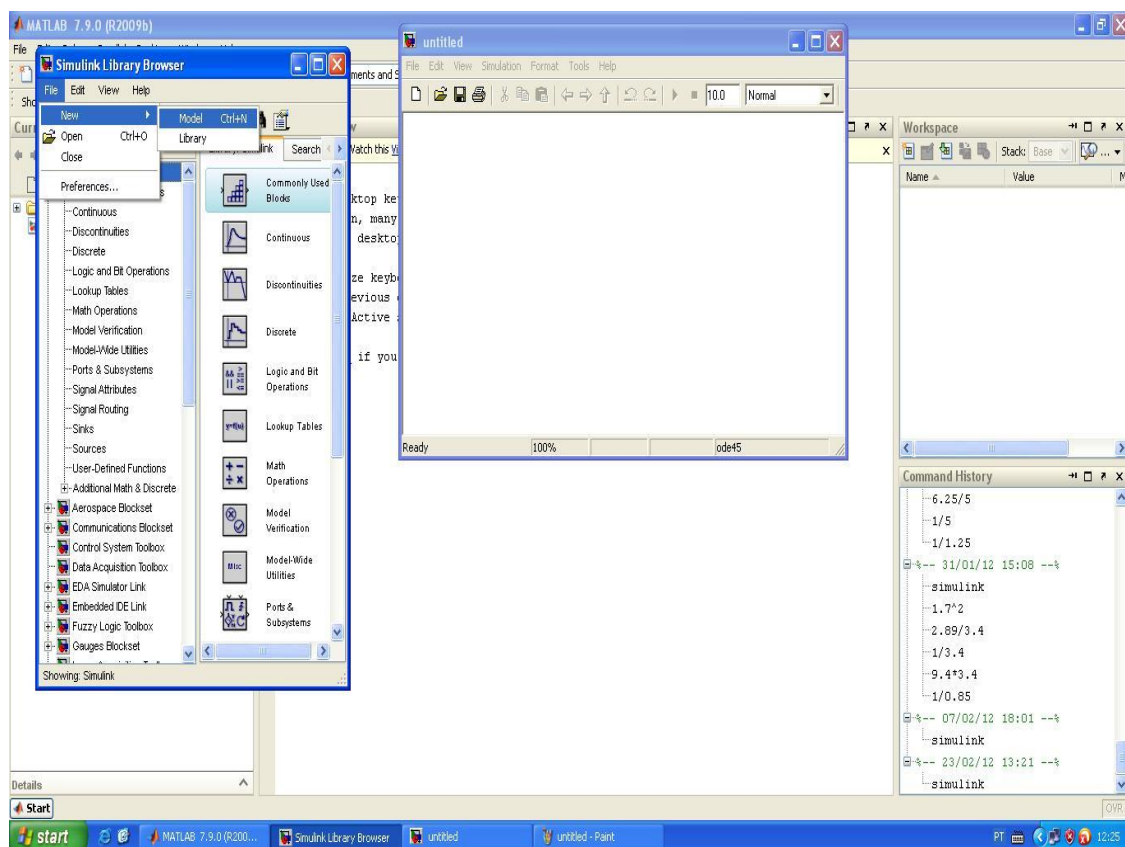


Figura 4.2 – Tela do Simulink Library Browser

Nessa janela, ficará a programação do projeto utilizando os elementos/blocos do Simulink Library Browser. Na próxima imagem, é possível ver o bloco Matlab Function da forma como ele é visto na tela do Simulink®.

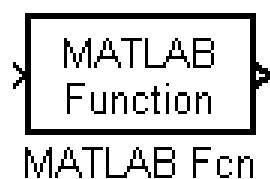


Figura 4.3 – Bloco Matlab® Function

Para atribuir a esse bloco uma *function* criada no editor do Matlab®, devemos clicar nele com o botão esquerdo por duas vezes, e na janela que é aberta, escrever o nome da *function* exatamente como ela foi salva pelo Matlab®.

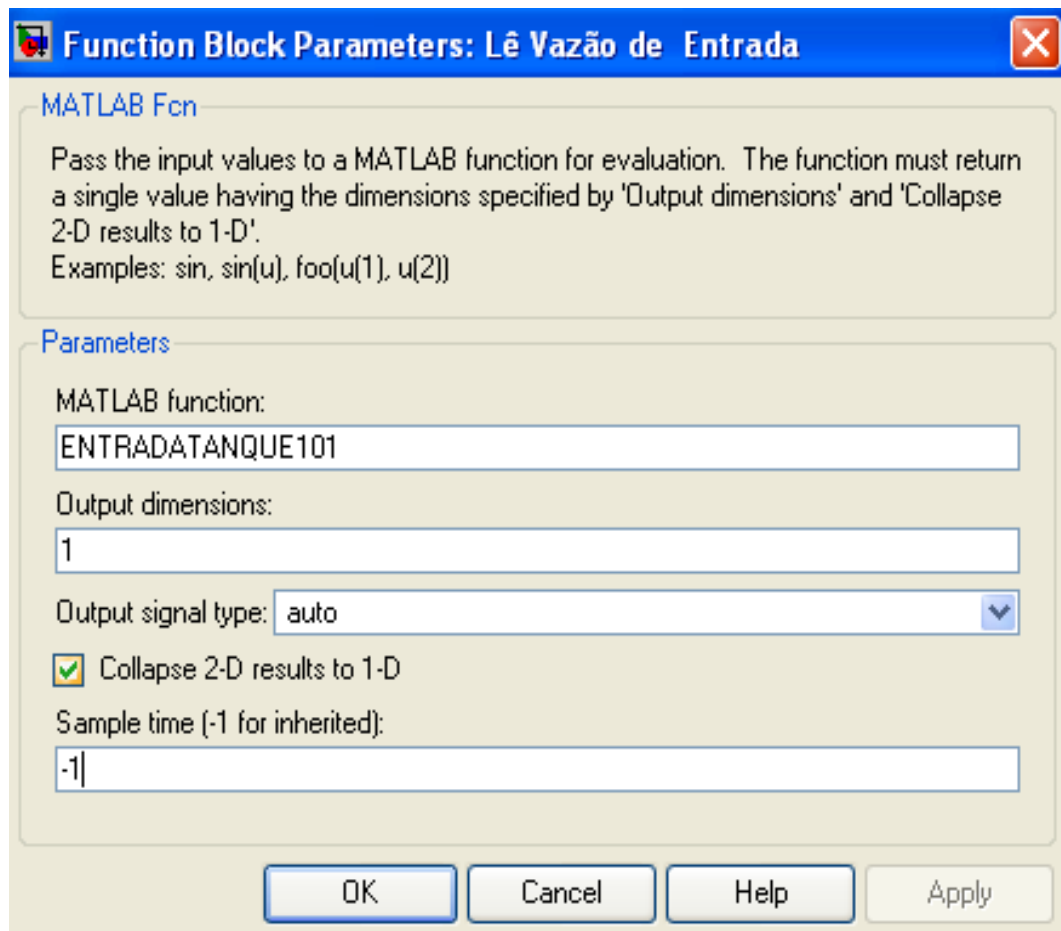


Figura 4.4 – Edição do bloco Matlab Function

Para criar a *function* no Matlab® se faz necessário abrir o editor do *software*, clicando em Arquivos/New/M-File.

A figura 4.5 mostra um exemplo de uma *function* onde um dado será importado do Intouch® para o Matlab®. O nome da *function* é 'ENTRADATANQUE101', a variável que receberá a informação no Matlab® é 'b' e o dado a ser importado está contido no *tagname* 'VAZAO_ENTRADA' no Intouch®.

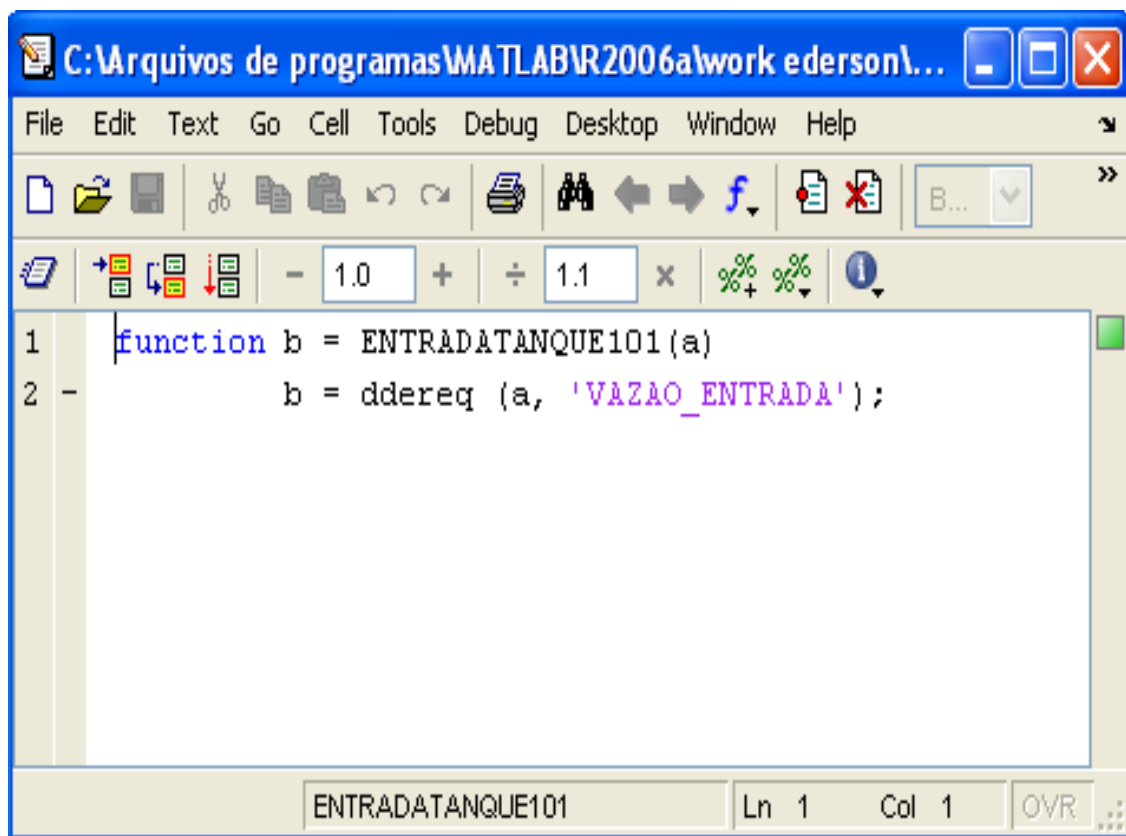


Figura 4.5 – Criando Function no Matlab®.

O próximo capítulo explicará como foram montados no Matlab/Simulink® os modelos de todos os sistemas de controle simulados nesse trabalho para desenvolvimento do simulador.

5 DESENVOLVIMENTO DO SIMULADOR

O simulador desenvolvido nesse projeto possui quatro sistemas de controle *feedback* e um sistema de controle cascata onde controlaremos a temperatura do tanque número 2 através da vazão de entrada de água fria no mesmo.

Usando a estratégia *feedback*, foram feitos os seguintes controles:

- Nível no tanque 1.
- Temperatura no tanque 1.
- Temperatura no tanque 2.
- Vazão de entrada no tanque 2.

A base estrutural do controlador PID foi a mesma para todos os sistemas de controle. Na figura 5.1 é apresentado o arranjo do diagrama de blocos no MatLab/Simulink®.

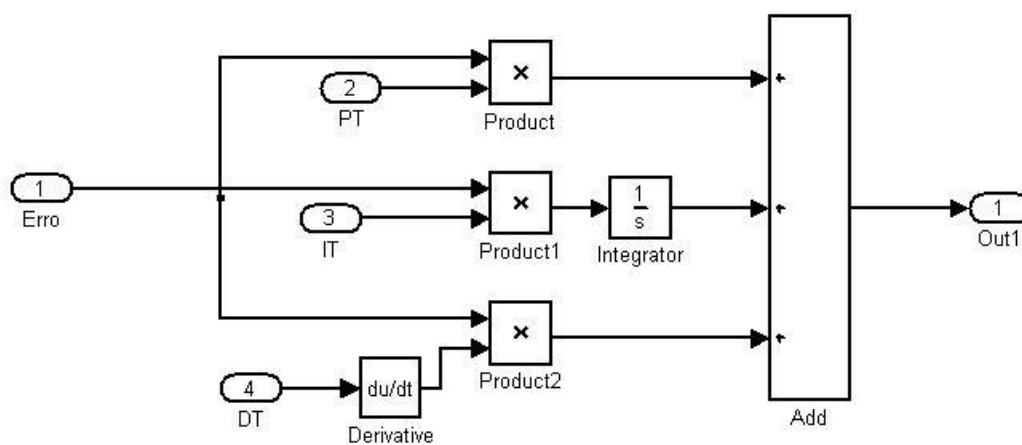


Figura 5.1 – Estrutura do Controlar PID

Como pode ser visto, há três blocos de produto, e um sinal de erro entrando em cada um desses blocos. A outra entrada dos blocos de produto refere-se às ações de controle proporcional, integral e derivativa.

É possível compactar esse conjunto criando um novo bloco de tamanho menor de forma a ocupar menos espaço na tela do MatLab/Simulink®. Para

isso, basta selecionar todos os blocos da figura 5.1, clicar com o botão direito na seleção e escolher a opção *Create Subsystem*.

A figura 5.2 mostra como fica o controlador PID em sua forma compacta.

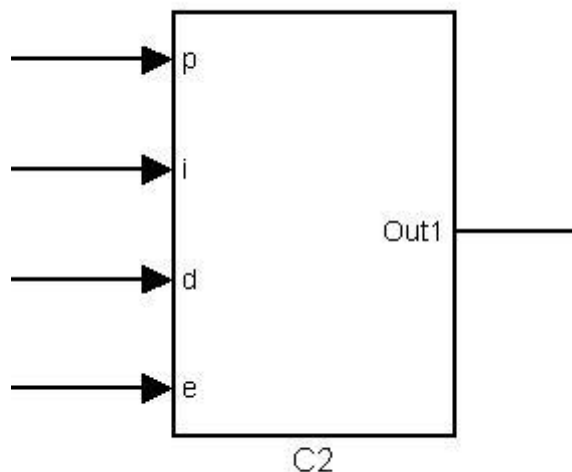


Figura 5.2 – Controlador PID compactado

Na forma compacta o controlador possui quatro entradas e uma saída. Nas entradas serão ligadas as *functions* que receberão os valores referentes às ações proporcional, integral e derivativa, além do *setpoint*. Todos esses valores serão digitados pelo usuário através da tela do sistema supervisor. O sinal de saída do controlador corresponde à variável manipulada que irá atuar na função de transferência do sistema.

5.1 CONTROLE DE VAZÃO NA MALHA 32

Como a base do modelo montado no MatLab/Simulink® foi a praticamente a mesma para os quatro sistemas de controle, será mostrado o primeiramente o modelo do sistema de controle de vazão de entrada no tanque 02 por se tratar do controle *feedback* mais simples entre os quatro sistemas implementados com essa estratégia.

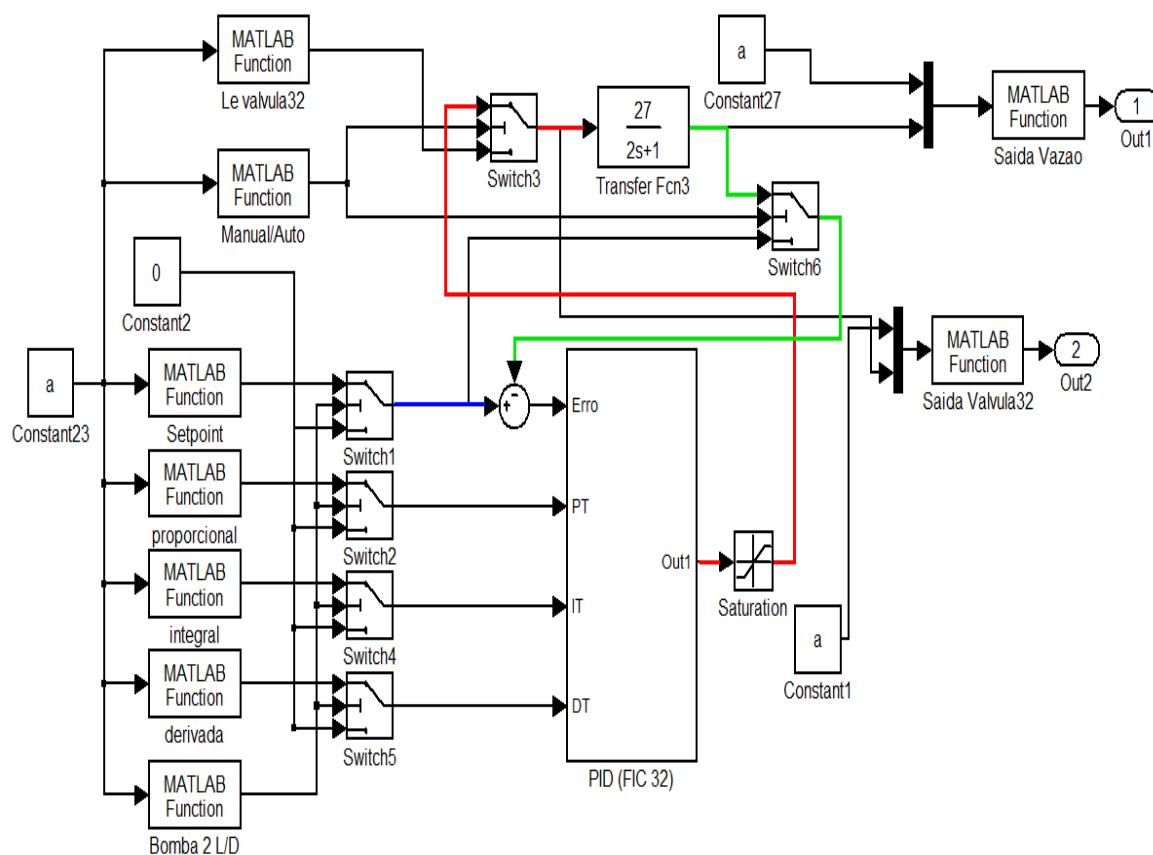


Figura 5.3 – Modelo do sistema de controle de vazão na malha 32

Na figura 5.3 é possível notar como funciona a estratégia de controle *feedback*. A linha pintada de azul representa o *setpoint* que será digitado pelo operador na tela do *software* de supervisão. Essa linha é terminada num bloco que receberá o sinal da realimentação, representado pela linha verde. A diferença entre o setpoint e o sinal de realimentação é o erro. O controlador irá alterar o seu sinal de saída de forma a corrigir esse erro. O sinal de saída do controlador é representado pela linha vermelha na figura 5.3. Há um bloco *saturation* nesta linha para limitar a saída do controlador entre 0 e 100.

Como dito antes, o controle de vazão depende, para seu perfeito funcionamento, de que a bomba 02 esteja ligada. Por essa razão, existem quatro *switches* que só permitirão que os valores das entradas do controlador sejam atribuídos a ele se a bomba 02 estiver em funcionamento. Em caso da bomba 02 estiver desligada, será atribuído o valor 0 para as quatro entradas do controlador.

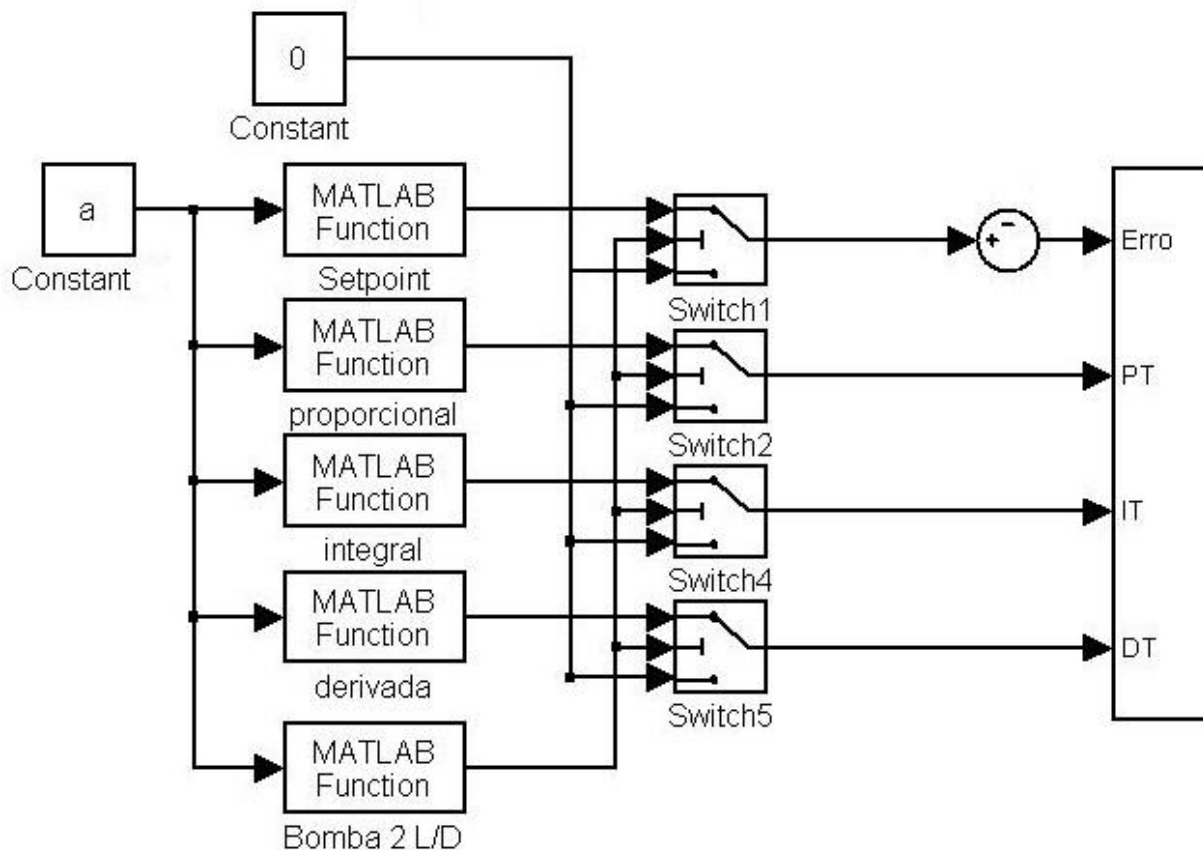


Figura 5.4 – Condição da bomba 2

Ao sair do controlador, o sinal referente à variável manipulada passará por outro *switch* antes de encontrar a função de transferência. Isso se dá porque o simulador permite que o usuário opte por realizar o controle manual. Essa opção é selecionada através de uma chave no sistema supervisor.

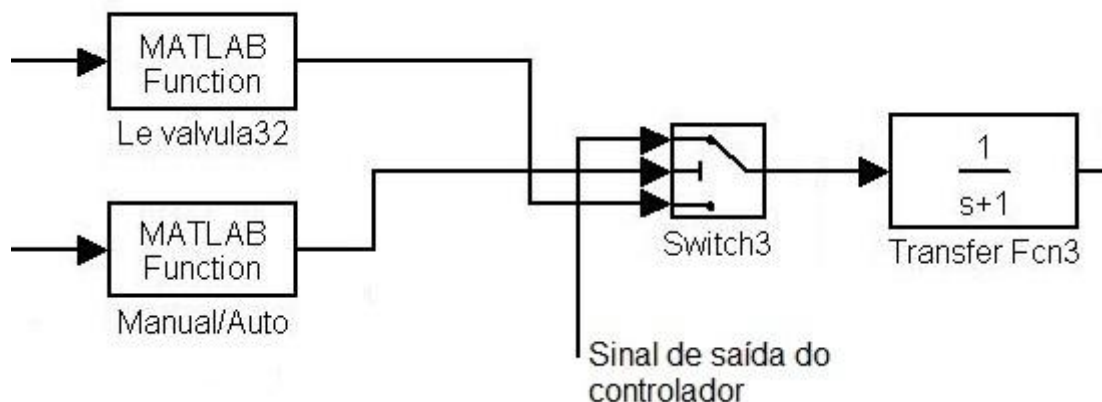


Figura 5.5 – Chave manual / automático

A figura 5.5 mostra como a seleção entre controle manual ou automático é feita no Matlab/Simulink®. Se a opção manual for escolhida, o *switch* dará passagem para o sinal da *function* 'Le válvula32'. Se a opção escolhida for o controle automático, o *switch* dará passagem para o sinal que vem do controlador.

Durante o desenvolvimento do simulador, foi observado que se o controlador fosse deixado no modo manual por muito tempo, e após isso fosse colocado no modo automático, a saída do controlador assumia valores muito altos ou muito baixos. Isso é chamado de erro de *wind-up* e acontece porque, mesmo estando no modo manual, o controlador ainda recebe o sinal de realimentação, e compara com o *setpoint* escolhido na última vez que o mesmo esteve em modo automático. Dessa forma, o controlador aumenta ou diminui, dependendo se o erro é positivo ou negativo, a sua saída infinitamente para tentar corrigir o erro, porém, a correção não acontece, pois o sistema de controle estava no modo manual, e, por isso, o sinal de saída do controlador era bloqueado pelo *switch*, não entrando na função de transferência.

Para corrigir esse problema, foi utilizado outro *switch* que também alterna de acordo com o sinal da chave manual / automática. A saída desse *switch* entra no bloco que compara a realimentação e o *setpoint* para formar o erro. Porém, se o modo de controle selecionado é o manual, o sinal que passa pelo *switch* deixa de ser a saída da função de transferência e passa a ser o próprio *setpoint*, fazendo com que não haja erro, e portanto, com que o controlador não altere a sua saída.

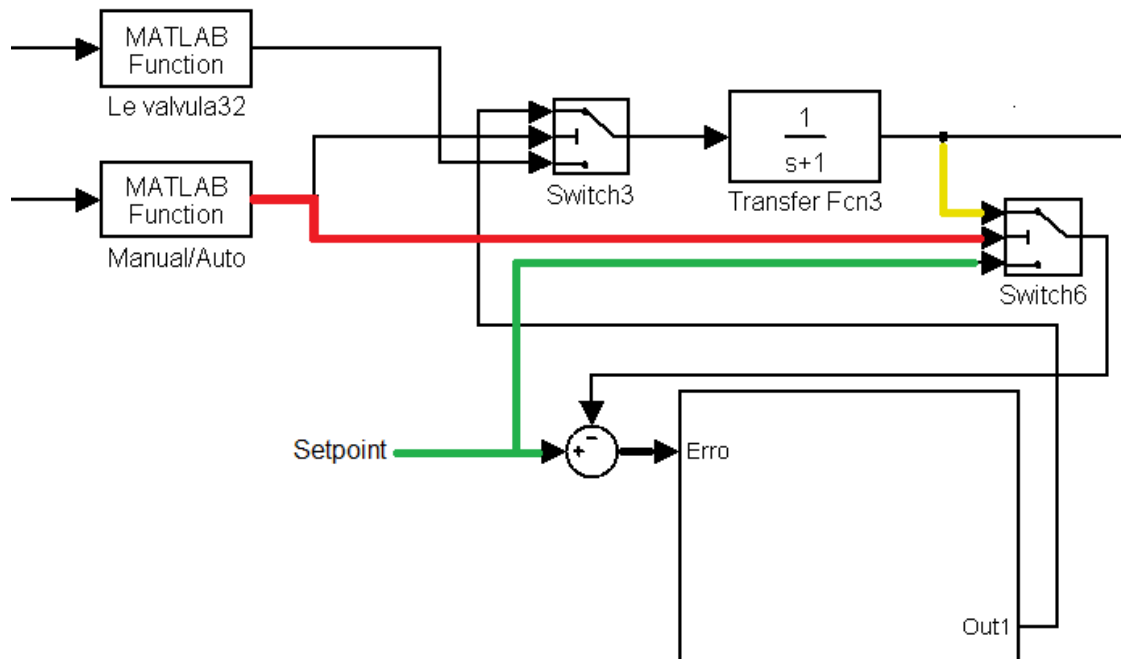


Figura 5.6 – Sistema anti *Wind-up*

A figura 5.6 mostra que o *switch* 6 transmite ora o sinal da saída da função de transferência, ora o sinal de *setpoint*. Isso depende se o controlador está em manual ou automático.

É importante ressaltar também que o sinal que entra na função de transferência (variável manipulada) do sistema de controle e o sinal que sai dela (variável de processo) são enviados para duas *functions* de saída para que sejam exibidos na tela do sistema supervisorio.

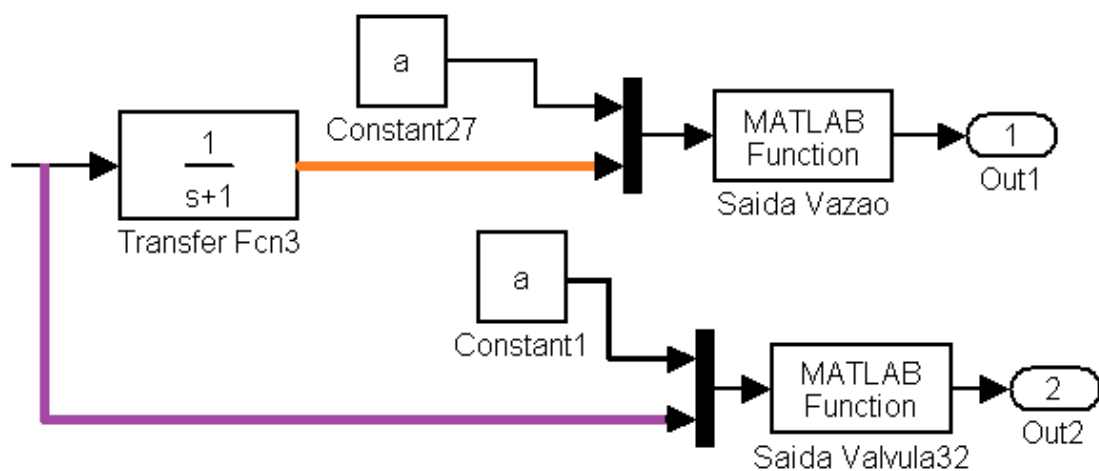


Figura 5.7 – Saídas de dados para o sistema supervisorio

Na figura 5.7, a linha roxa representa o sinal da variável manipulada, e a laranja, o sinal da variável de processo. Como as functions 'Saida Vazao' e 'Saida Valvula32' farão interface com o Intouch®, ambos são multiplexados com a constante 'a' que é o canal de comunicação entre os dois softwares.

É importante ressaltar que tanto o sistema de controle de temperatura na malha 32 quanto o sistema de controle de vazão na malha 31 utilizam o mesmo elemento final de controle, a válvula FV-32. Logo qualquer alteração que o controlador de temperatura faça na variável manipulada, será sentida no controle vazão e vice-versa. Por esse motivo foi feito um intertravamento de modo que os dois controladores em questão não poderão funcionar de forma simultânea. Esse artifício foi criado apenas à nível de software de supervisão, não sendo necessário alterar o modelo no Simulink®.

5.2 CONTROLE DE TEMPERATURA NA MALHA 32

O controle *feedback* de temperatura realizado na malha 32 segue a mesma lógica que o controle de vazão na mesma malha. Porém a ação de controle neste caso é reversa, isto é, se a variável de processo aumentar, o controlador deverá diminuir a variável manipulada, e não aumentar como nos outros sistemas de controle *feedback* do simulador.

Como pode ser visto na figura 5.8, foi adicionado um bloco *delay* na saída da função de transferência. Isso se dá, pois no controle de temperatura, é comum que o sistema tenha um tempo morto alto. Dessa forma, a resposta do simulador à uma entrada qualquer, ficaria próxima a resposta de um processo real.

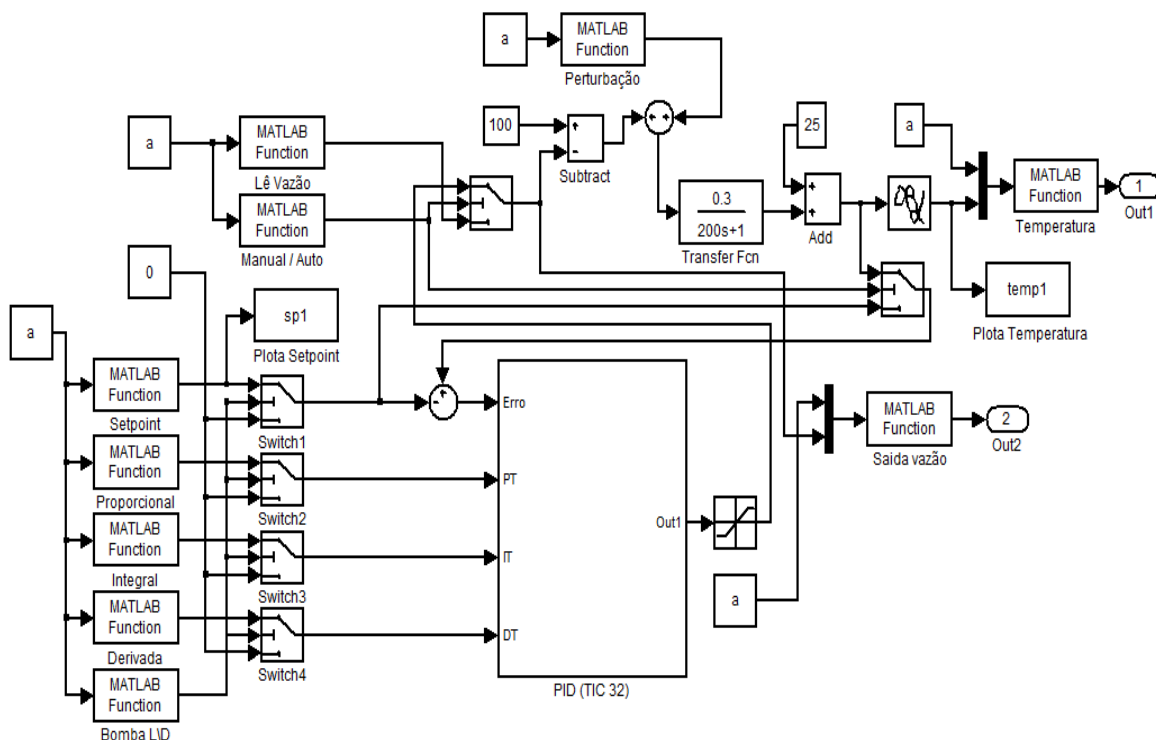


Figura 5.8 – Modelo do sistema de controle de temperatura na malha 32

Para simular a ação de controle, foi utilizado na saída do switch que selecionará entre controle manual ou automático um bloco subtrator que receberá a constante 100 menos o valor dessa linha. Sabendo que essa linha corresponde ao percentual de abertura da válvula, numa situação onde, por exemplo, a saída do controlador seria 0, com esse bloco ela passará a ser 100, e vice-versa, caracterizando a ação de controle reversa.

Foi adicionado também, na saída do bloco *delay* e na linha de setpoint do sistema, um bloco que transporta o sinal ao qual ele está ligado para um gráfico no Matlab® quando isso for solicitado. Esse artifício foi utilizado também no sistema de controle de temperatura da malha 32 com a estratégia cascata para comparar a resposta do sistema de controle *feedback* com a do sistema de controle cascata.

Além disso, também foi adicionado nesses dois sistemas de controle, um bloco que simulará uma perturbação no sistema. Assim como no caso anterior, a intenção disso é ilustrar as diferentes reações dos sistemas implementados com estratégias de controle cascata e *feedback*.

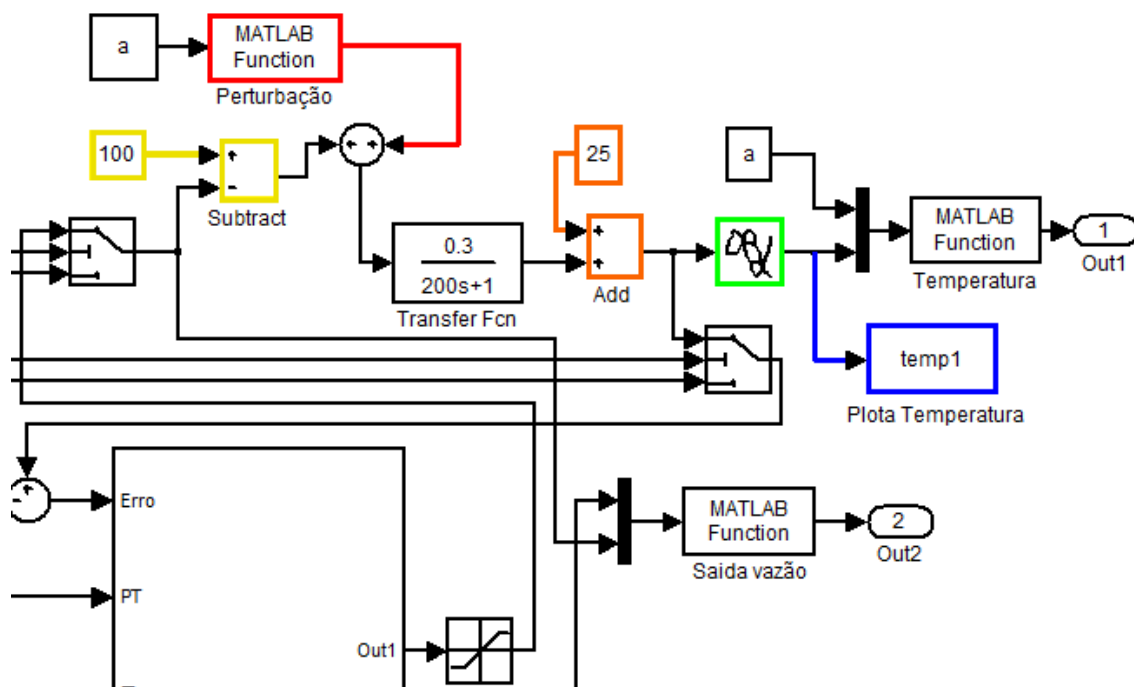


Figura 5.9 – Blocos do sistema de controle

Na figura 5.9, vê-se em verde, o bloco *delay* na saída da função de transferência. Em azul, o bloco que transporta o sinal de temperatura para um gráfico do Matlab®, em amarelo, o bloco subtrator utilizado para simular ação de controle reversa, e em vermelho, o bloco responsável por ler o valor de perturbação digitado pelo usuário no sistema supervisor. O bloco somador, em laranja, é utilizado para adicionar à saída do sistema, a temperatura ambiente, considerada neste caso, 25° C.

Os demais blocos funcionam da mesma forma como foi explicado no subitem referente ao controle de vazão na malha 32.

5.3 CONTROLE DE NÍVEL NA MALHA 31

O modelo montado no Matlab/Simulink® para o sistema de controle de nível na malha 31 é igual ao modelo do controle de vazão na malha 32, com a exceção de dois blocos matemáticos. Isso ocorre porque a dinâmica do controle de nível, em geral, é uma dinâmica integradora. O elemento final de controle, uma válvula, após a ação de controle deve voltar para a posição na qual a vazão de entrada do tanque é igual à vazão de saída. Se isso não

ocorrer, a vazão de entrada será diferente da vazão de saída do tanque e, consequentemente, o nível não estabilizará.

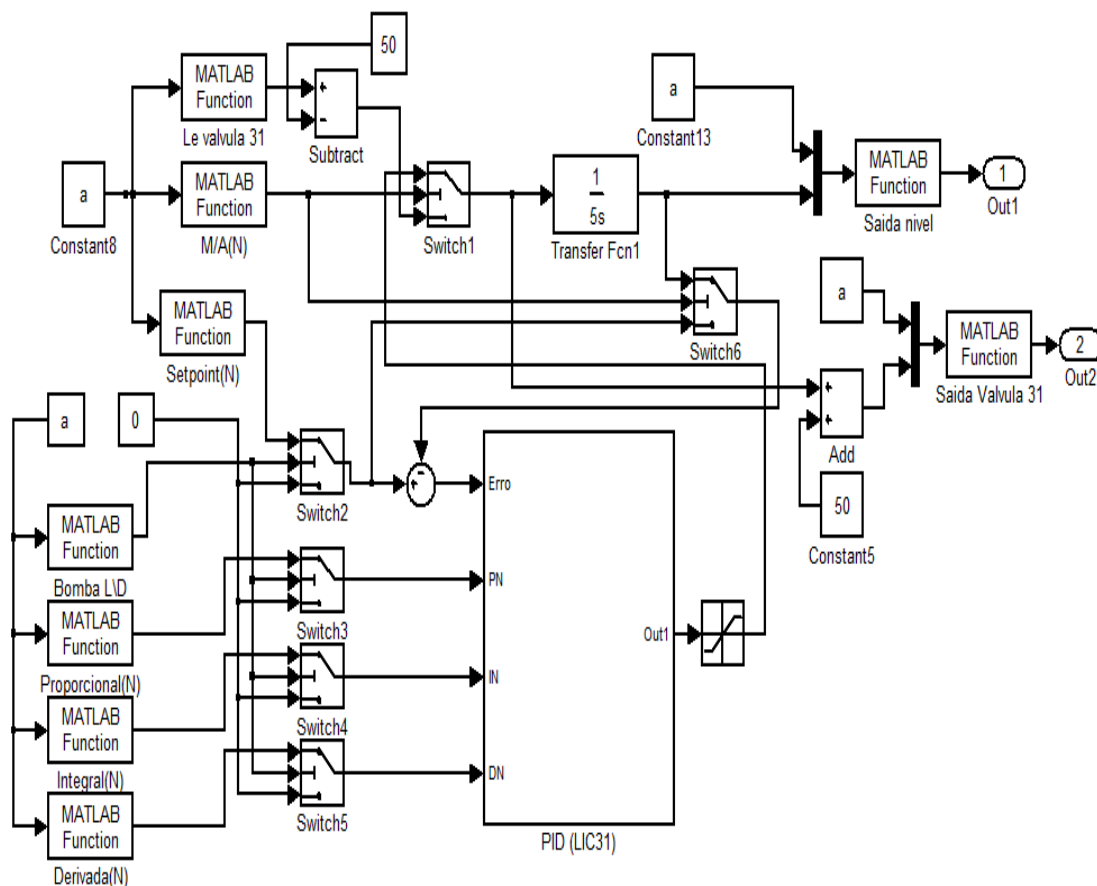


Figura 5.10 - Modelo do sistema de controle de nível na malha 31

Neste sistema foi definido que a vazão de saída do tanque 01 é igual ao valor equivalente à vazão de entrada quando a válvula de entrada FV-31 estiver em 50% aberta. Portanto, não havendo erro, a válvula de entrada deve permanecer em 50% igualando as vazões de entrada e saída e estabilizando o sistema. Para tanto, foram utilizados dois blocos matemáticos que funcionam da seguinte forma:

- No modo automático, o sinal de saída do controlador, antes de entrar na *function* que escreve esse valor no supervisório, passará por um bloco que somará a esse sinal, o valor 50 como é visto na figura 5.11. Desse modo, quando a saída do controlador for, por exemplo, 0, o operador lerá na tela do sistema supervisório que a válvula se encontra 50% aberta.

- No modo manual, será subtraído do valor que o operador digitar para percentual de abertura da válvula o valor 50. Assim, quando operador digitar o valor 50%, por exemplo, a variável manipulada será nula e não alterará o valor de nível. Na figura 5.12 é mostrado o bloco responsável por fazer a subtração.

O bloco *saturation*, neste modelo, limita a saída do controlador entre -50 e +50.

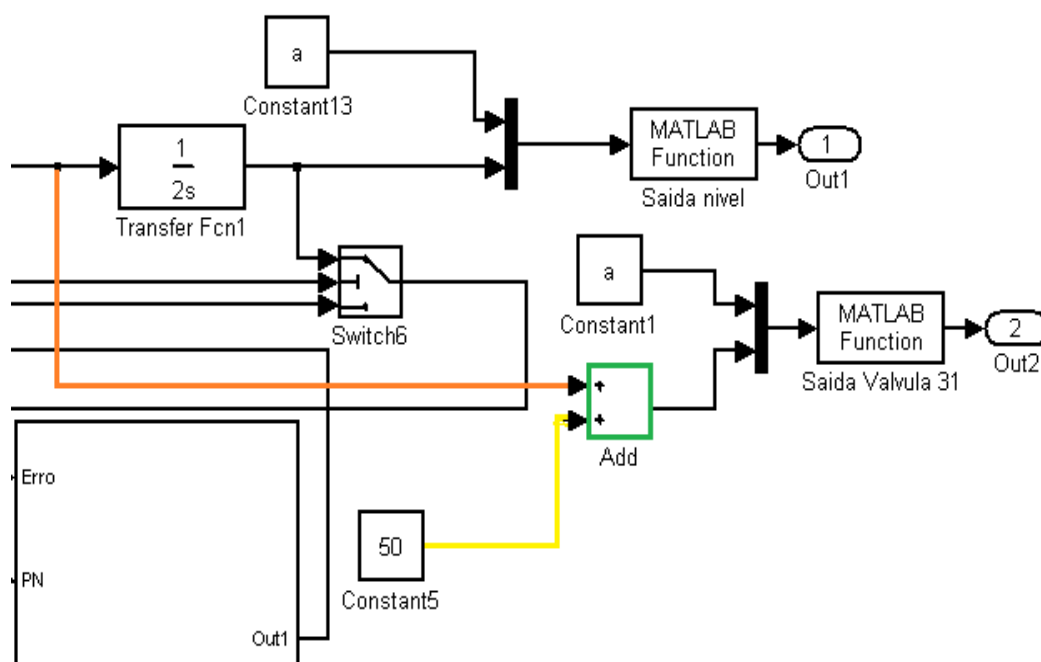


Figura 5.11 – Bloco somador

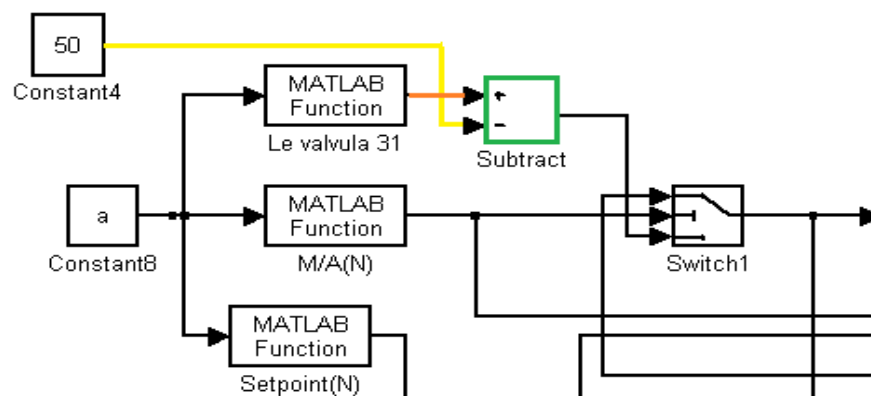


Figura 5.12 – Bloco subtrator

5.4 CONTROLE DE TEMPERATURA NA MALHA 31

O modelo do sistema de controle de temperatura da malha 31, apresentado pela figura 5.13, também segue a mesma lógica dos sistemas de controle que utilizam estratégia *feedback* citados até aqui com ação de controle direta.

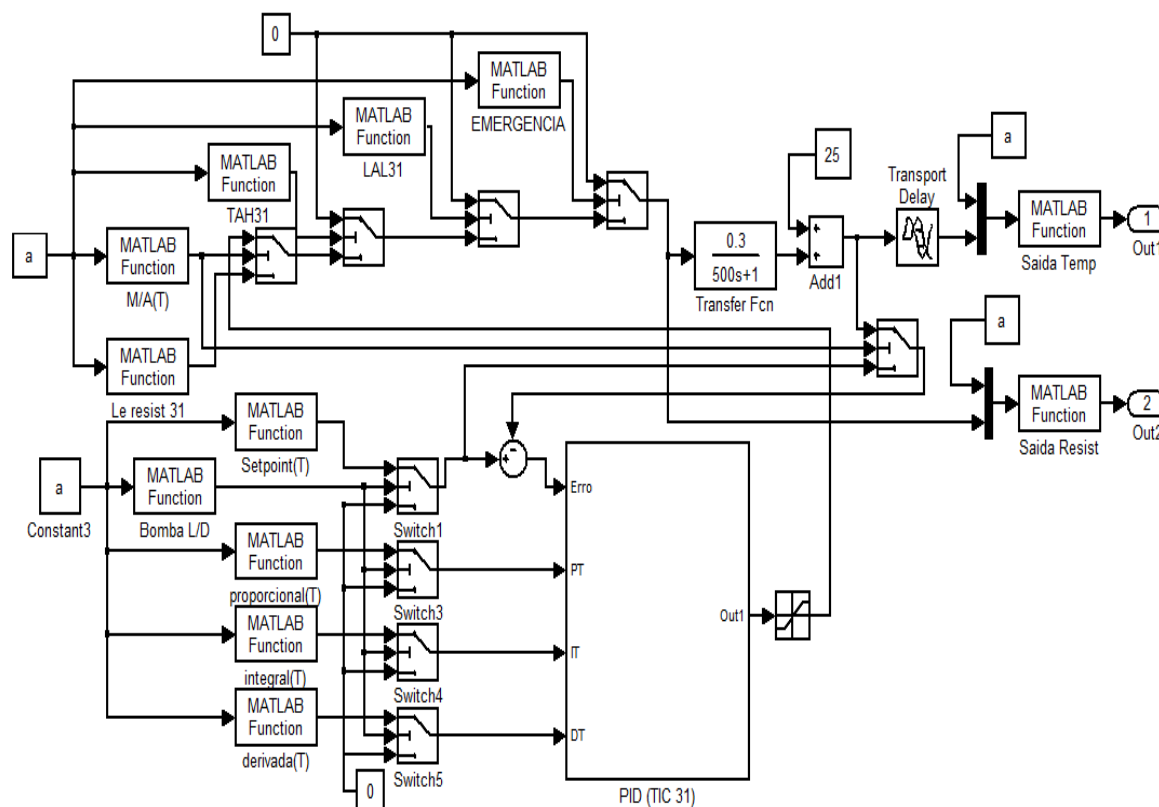


Figura 5.13 – Sistema de controle de temperatura da malha 31

A planta tem instrumentos que interferem diretamente nesse sistema.

São eles:

- Chave de nível baixo
- Chave de temperatura alta
- Botão de emergência

Qualquer um dos três instrumentos citados acima, se acionado, inibe o elemento final de controle, nesse caso, a resistência.

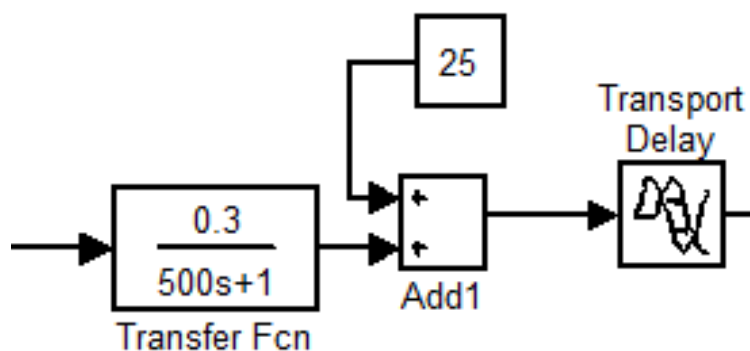


Figura 5.15 – Bloco somador

5.5 CONTROLE DE TEMPERATURA NA MALHA 32 UTILIZANDO ESTRATÉGIA DE CONTROLE CASCATA

O sistema de controle com estratégia cascata desenvolvido nesse trabalho visa controlar a temperatura no tanque 02 através da vazão de entrada de água no mesmo. Para isso, o modelo feito no Matlab/Simulink® faz uso de dois controladores. O controlador de temperatura, TIC-32 é o controlador mestre, e o de vazão, FIC-32, o controlador escravo.

O sistema funciona de modo que o transmissor de temperatura TIT-32 envia o valor de temperatura para o controlador TIC-32 que compara esse valor com o *setpoint* e gera um sinal de saída que assume a condição de *setpoint* do controlador escravo, FIC-32. Esse controlador recebe o valor de vazão do transmissor de vazão FIT-32, compara com o *setpoint* e gera o sinal de correção. A figura 5.16 mostra o fluxograma de controle do sistema em questão.

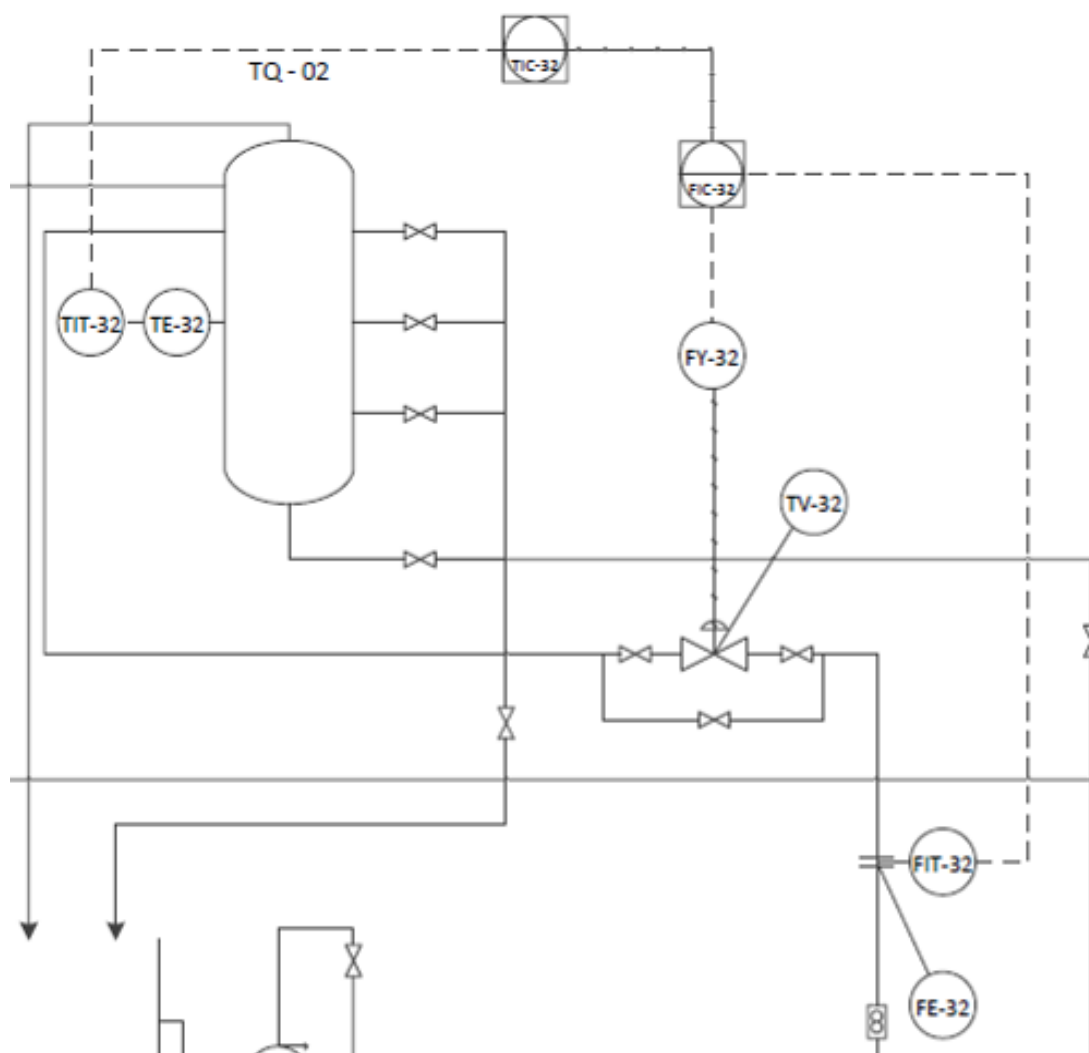


Figura 5.16 –Fluxograma de controle cascata

A figura 5.17 mostra o modelo montado no ambiente de simulação para este sistema de controle.

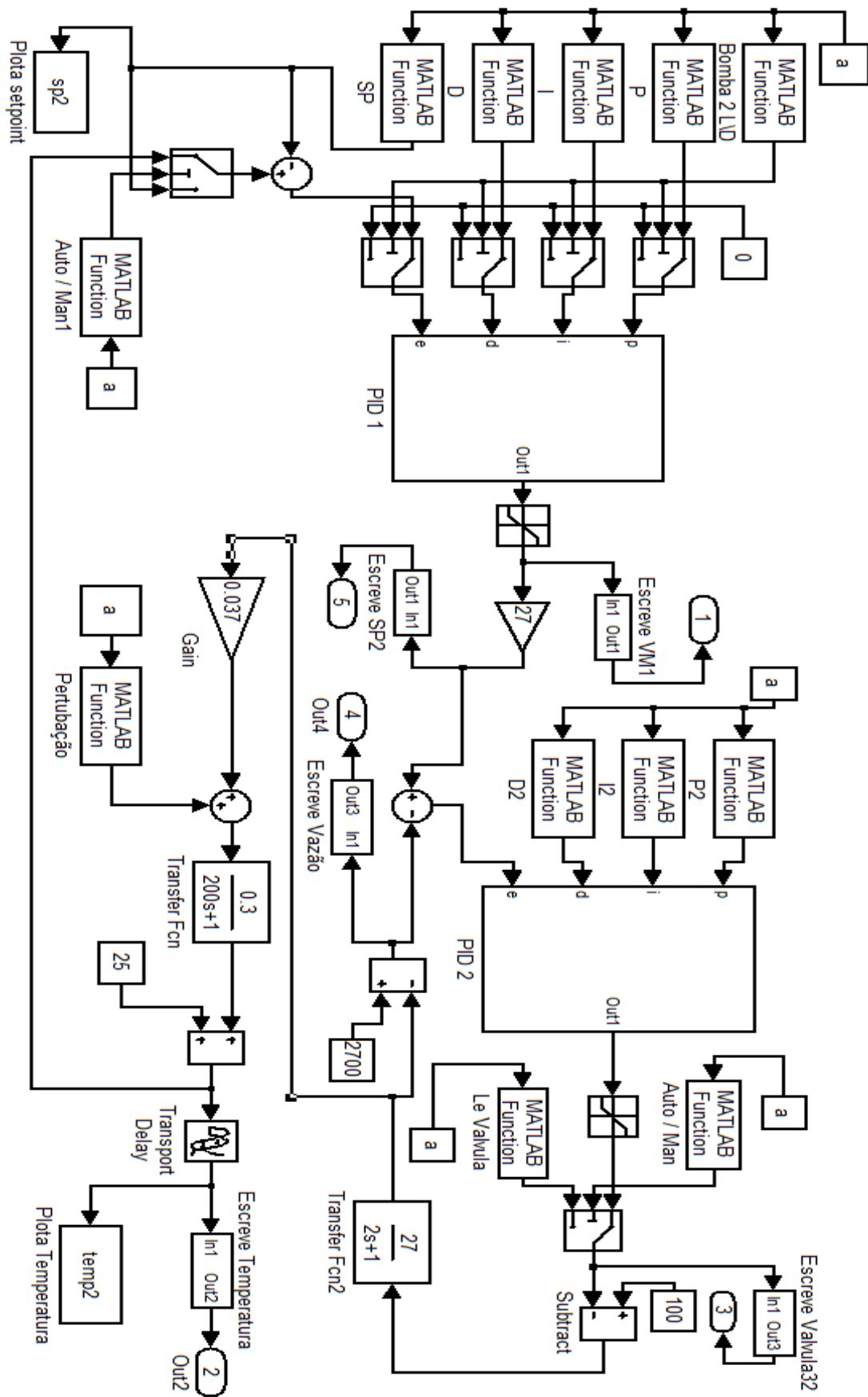


Figura 5.17 – Diagrama de blocos

O PID número 1 é o controlador de temperatura, e o PID número 2, o controlador de vazão. Bem como nos sistemas de controle desenvolvidos com estratégia *feedback* para esta malha, esse sistema também precisa que a bomba 02 esteja ligada para que o controle seja realizado. Como o controlador de vazão (escravo) precisa do controlador de temperatura (mestre) para funcionar, os *switches* relacionados à condição da bomba 02 foram colocados antes do controlador mestre apenas.

Nas saídas dos controladores foram utilizados também blocos *saturation* para limitar a saída de ambos entre 0 e 100.

A saída do controlador mestre é comparada com a variável de processo do controlador escravo. Para tanto, essas duas variáveis precisam ter o mesmo ganho. Como o ganho do sistema de controle de vazão é $K2 = 27$, foi necessário aplicar o mesmo ganho à saída do controlador de mestre.

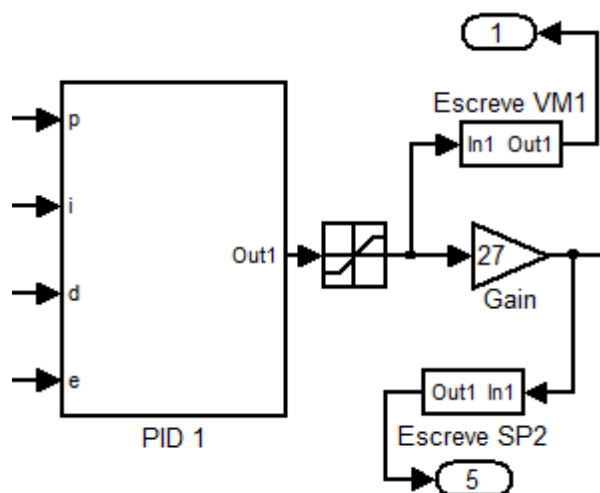


Figura 5.18 – Controlador mestre

Como é visto na figura 5.18, foram usadas duas *functions* diferentes para escrever no sistema de supervisão os valores de variável manipulada do controlador mestre, e *setpoint* do controlador escravo. A function que escreve a variável manipulada recebe o sinal antes do ganho de 27, e a que escreve o valor de *setpoint* no controlador de vazão, depois do ganho. Assim, a variável manipulada do controlador de temperatura pode assumir valores de 0 a 100, enquanto o *setpoint* do controlador de vazão pode variar de 0 a 2700 que o valor máximo de vazão.

Se os valores de variável de processo e *setpoint* do controlador de vazão forem diferentes, será gerado um sinal de erro, e o controlador irá variar entre 0 e 100. Como mostrado na figura 5.19, a saída do controlador irá para um *switch* que alternará de acordo com a escolha do usuário entre controle manual ou automático. Se a escolha for manual, o usuário digitará o valor de variável manipulada no sistema supervisorio. Se a escolha for pelo controle automático, o *switch* transmitirá a saída do controlador.

Assim como o sistema de controle para controle de temperatura desenvolvido com estratégia *feedback* para esta malha, este sistema também funciona com ação de controle é reversa. Ou seja, quando maior a variável de processo, menor será a variável manipulada do controlador escravo. Para que o sistema funcionasse dessa forma, foram utilizados dois blocos subtratores. Um dos blocos, utilizado antes da função de transferência, recebe o valor 100 menos o valor de saída do controlador. O outro bloco, utilizado depois da função de transferência, recebe o valor 2700 menos a saída da função. Isso acontece, pois um ganho $K = 27$ é aplicado na função de transferência.

Os blocos 'Escreve VM2' e 'Escreve VP2' escrevem respectivamente os valores de variável manipulada e variável de processo do controlador de vazão.

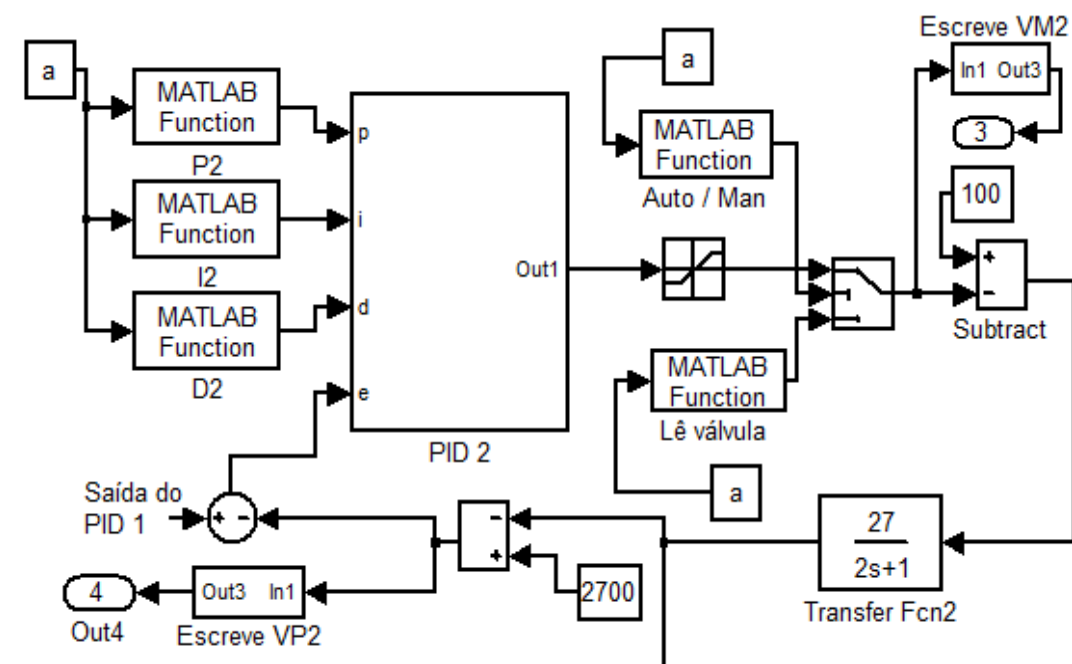


Figura 5.19 – Controlador escravo

É importante ressaltar que o sinal que sai da função de transferência da malha escrava e vai pra função de transferência da malha mestra não passa pelo bloco subtrator.

Antes de encontrar a função de transferência, o sinal recebe um ganho de 0,037, como mostrado na figura 5.20, para que volte a ficar limitado entre 0 e 100. Há também um bloco que somará a esse sinal, um valor de perturbação a ser digitado pelo usuário no sistema supervisorio.

Após a função de transferência, há um bloco somador que adiciona ao sinal referente à variável de processo do controlador de temperatura, o valor referente à temperatura ambiente, 25° C.

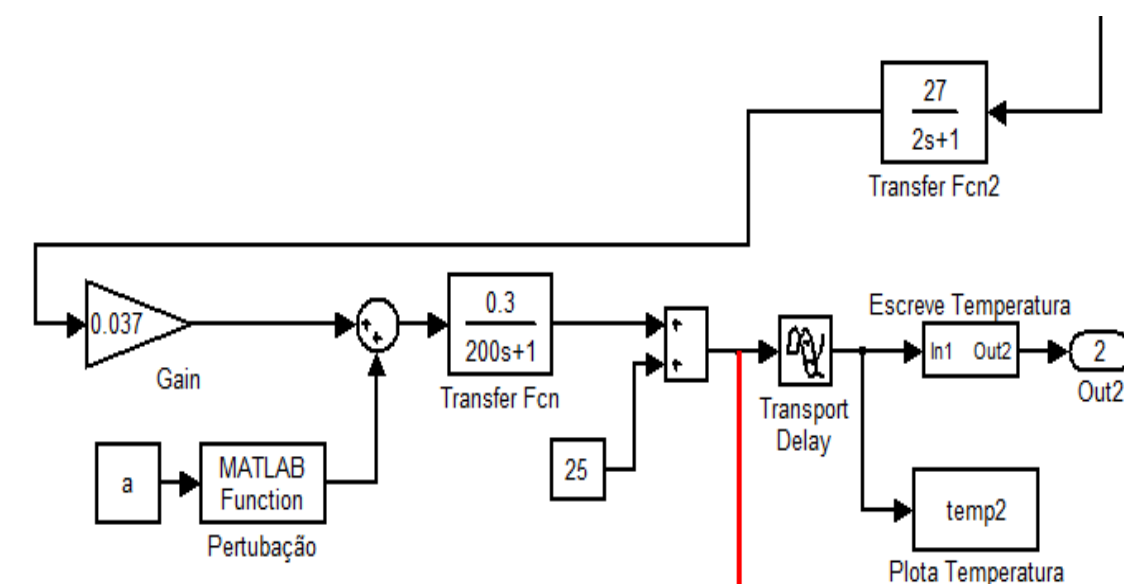


Figura 5.20 – Realimentação do sistema

Na figura 5.20, a linha em vermelho é a realimentação do controlador mestre e será comparada com o *setpoint* do mesmo. O bloco 'Escreve Temperatura' escreve o valor referente à variável de processo do controlador primário no sistema supervisorio, e o bloco 'Plota Temperatura' transporta esta mesma variável para um gráfico no Matlab®.

A tática anti *wind-up* utilizada é a mesma para os demais sistemas.

5.1. MODELAGEM DA PLANTA DIDÁTICA

O modelo matemático de um sistema dinâmico é composto por um conjunto de equações que representa a dinâmica do sistema. Um sistema pode ter vários modelos matemáticos, pois existem várias maneiras de representá-lo dependendo das circunstâncias particulares e os parâmetros a ser analisado. Na obtenção de um modelo, às vezes torna-se necessário não considerar algumas propriedades inerentes ao sistema, colocando em questão propriedades mais importantes e relevantes para análise do seu comportamento (OGATA, 2003 apud PINTO; DOMINGUES, 2013).

É importante que se saiba que a planta didática PD3 da SMAR não esteve disponível para testes durante o desenvolvimento deste trabalho. Sendo assim, as funções de transferência foram definidas de forma a fazer com que a dinâmica do sistema de controle funcionasse conforme o esperado para cada tipo de variável.

Considerando o ganho K , a constante de tempo T e o tempo morto L , a função de transferência pode ser aproximada por um sistema de primeira ordem como:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K * e^{-Ls}}{Ts + 1}$$

Em cada sistema de controle proposto, foram escolhidos os valores de ganho, tempo morto e constante de tempo que fizessem a dinâmica do sistema funcionar de maneira parecida com a dinâmica do sistema real.

O quadro 2 apresenta o ganho, constante de tempo e tempo morto, além da função de transferência de cada sistema de controle implementado neste simulador.

Quadro 2 – Funções de transferência dos sistemas de controle.

Variável a ser controlada	Malha	K	T	L	Função de Transferência
Nível	31	1	5	1	$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{1}{5s}$
Temperatura	31	0,3	500	10	$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{0,3}{500s + 1}$
Vazão	32	27	2	1	$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{27}{2s + 1}$
Temperatura	32	0,3	200	3	$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{0,3}{200s + 1}$

Para realizar os testes foi feita a sintonia e o método utilizado para sintonizar os controladores foi o primeiro método de Ziegler-Nichols que propõe que os valores de Kp, Ti e Td sejam calculados de acordo com o quadro 3.

Quadro 3 – Primeiro método de sintonia de Ziegler-Nichols.

Tipo do controlador	Kp	Ti	Td
P	T/L	Infinito	0
PI	0,9T/L	L/0,3	0
PID	1,2T/L	2L	0,5L

Dessa forma, a sintonia dos controladores deste trabalho ficou como descrito no quadro 4.

Quadro 4 – Sintonia dos controladores.

Controlador	Kp	Ti	Td
LIC-31	6	2	0,5
TIC-31	60	20	5
TIC-32	80	6	1,5
FIC-32	2,4	2	1

6 O SIMULADOR

O software utilizado para a construção das telas do simulador foi o Intouch®. Ele possui simples configuração e atende a todas as exigências desse projeto. Para este trabalho foram criadas doze janelas, sendo seis delas do tipo *replace*, e outras seis do tipo *pop-up*.

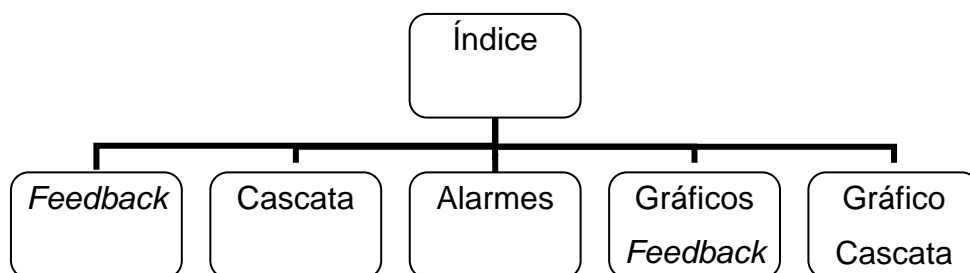
As janelas do tipo *replace* são:

- Índice;
- *Feedback*;
- Cascata;
- Alarmes;
- Gráficos *Feedback*;
- Gráfico Cascata.

As janelas do tipo *pop-up* são:

- LIC 31;
- TIC 31;
- FIC 32;
- TIC 32;
- FIC 32-Cascata;
- TIC 32-Cascata.

A seguir pode-se visualizar o fluxograma de navegação das janelas:



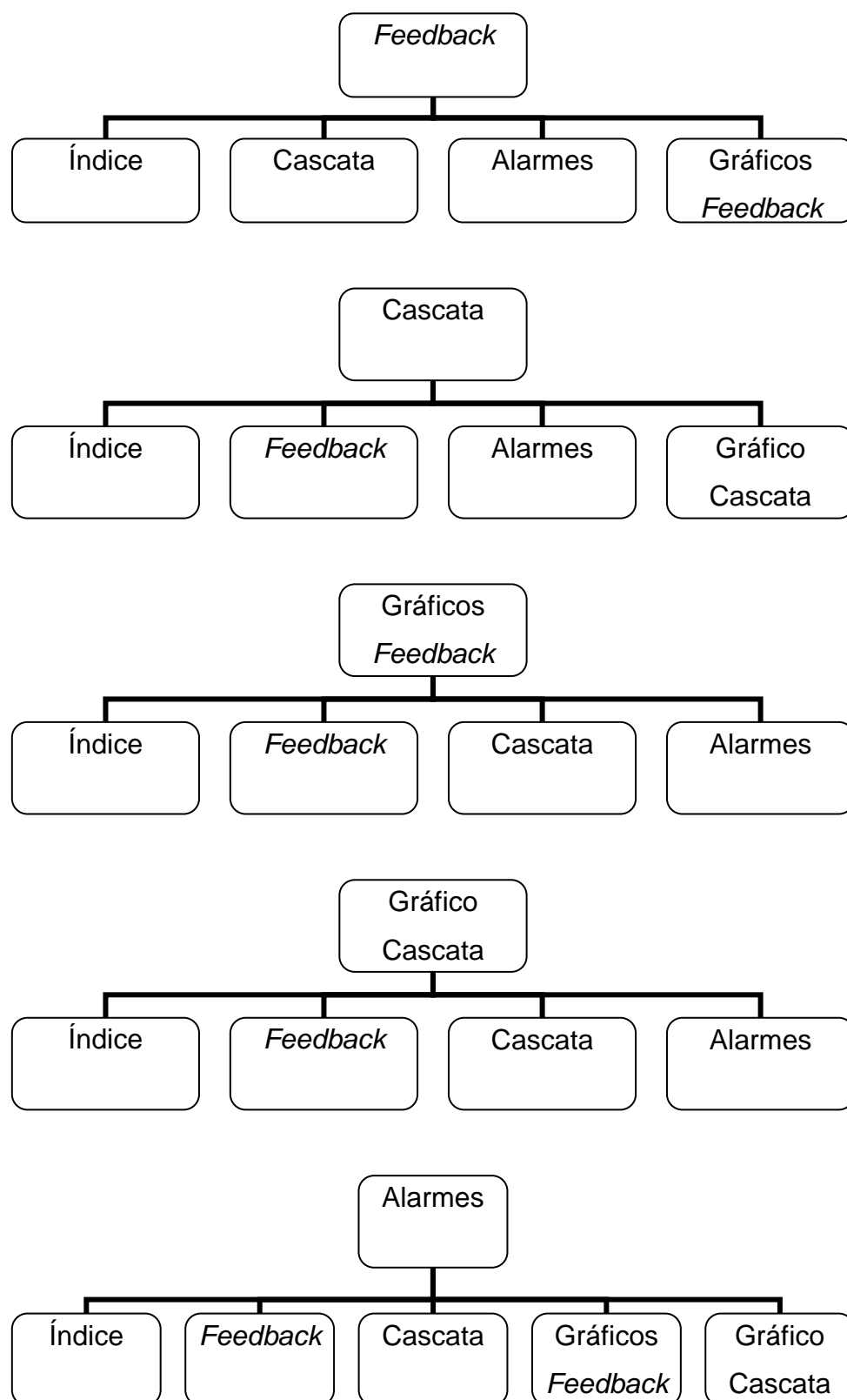


Figura 6.1 – Fluxograma de navegação das janelas do Intouch®

A figura 6.2 apresenta a tela inicial do supervisório desenvolvido para o simulador da planta didática PD3 da SMAR. Na mesma cada ícone leva a sua respectiva tela de supervisão.

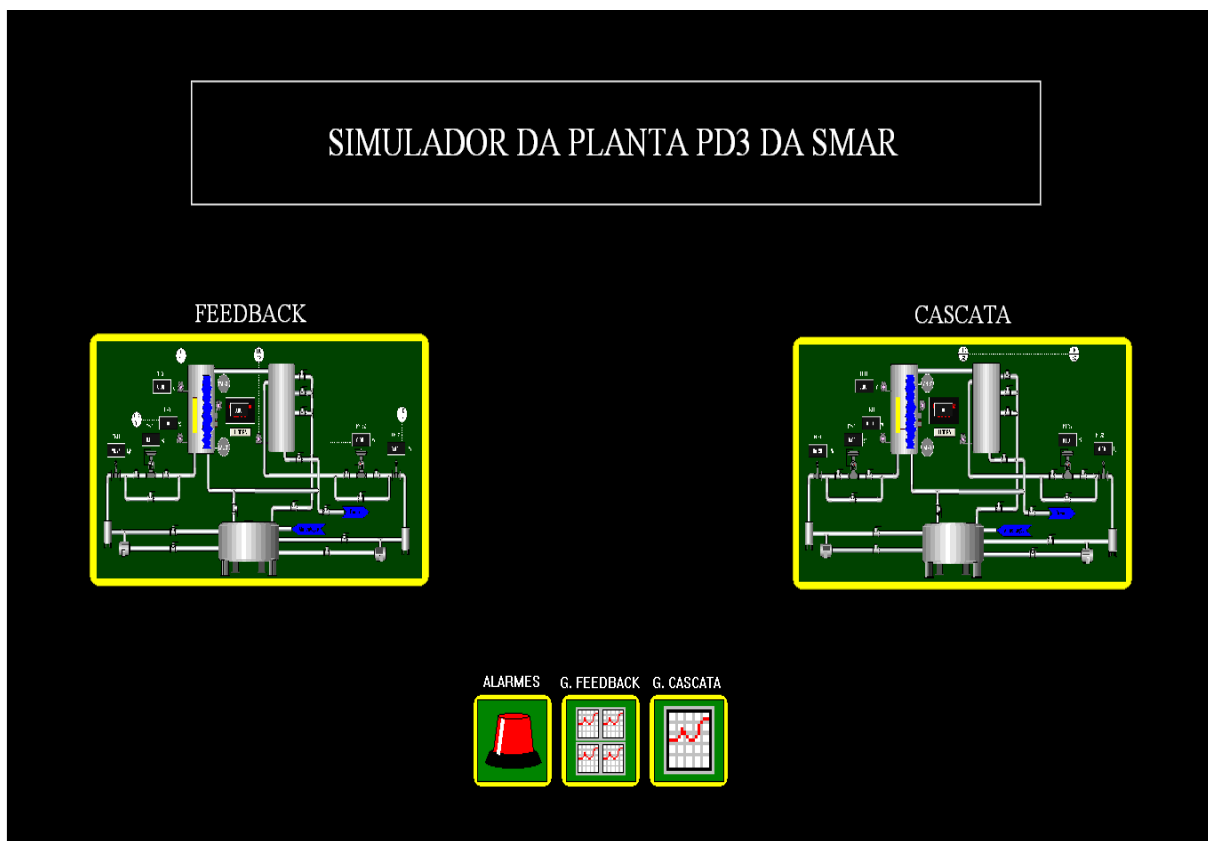


Figura 6.2 – Índice

Todas as janelas do tipo *replace*, exceto a tela de índice, possuem uma barra de menu na parte inferior das mesmas, como é apresentado na figura 6.3.



Figura 6.3 – Barra de menu

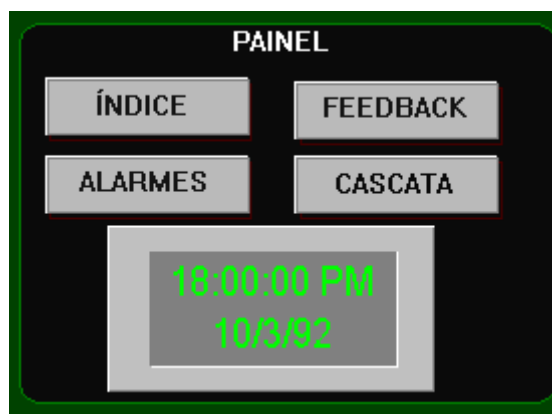


Figura 6.4 – Painel

A transição entre as janelas é possível clicando na janela à qual se deseja ir, no painel contido na barra de menu.

Ao selecionar a janela de gráficos, o usuário será levado para a tela de gráficos de tendência dos sistemas que utilizam a estratégia de controle a qual ele está operando no momento. Ou seja, estando na tela principal dos sistemas de controle *feedback*, por exemplo, ao acionar esse botão o mesmo leva para a tela de gráficos de tendência das malhas *feedback*. O mesmo vale para a janela de gráfico do sistema de controle com estratégia cascata.

Ao lado da seção painel na barra de menu, está a seção de acionamento das bombas.

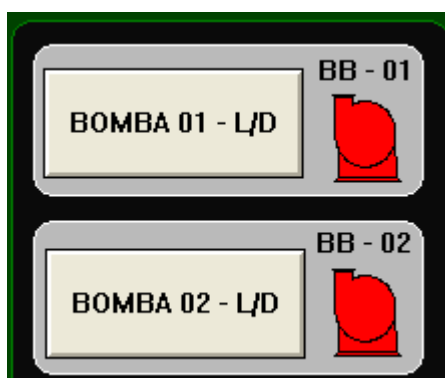


Figura 6.5 – Acionamento das bombas

Nesta seção da barra de menu é possível realizar o acionamento e desacionamento das bombas 01 e 02. Para isso, basta clicar no botão referente à bomba que se quer alterar o status. A cor vermelha nas bombas da

figura 6.5 significa que ambas estão desligadas. Ao se acionar uma bomba, a imagem referente a ela ficará verde.

Ao lado da seção de acionamento das bombas está a seção alarmes apresentada pela figura 6.6.

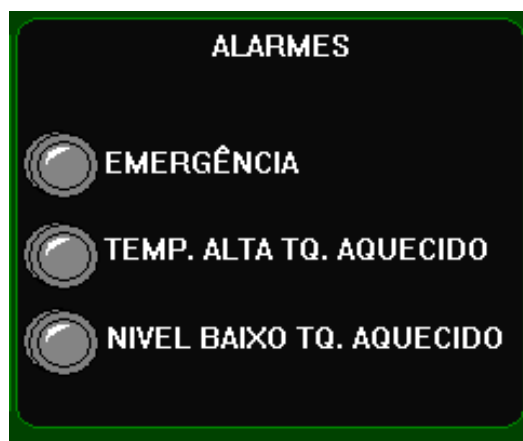


Figura 6.6 – Alarmes

Esta seção possui três lâmpadas, a superior simboliza que o botão de emergência foi acionado, a do meio simboliza temperatura alta no tanque aquecido, e a última, nível baixo no tanque aquecido.

A seção de segurança fica à direita da seção de alarmes e pode ser vista na figura 6.7.

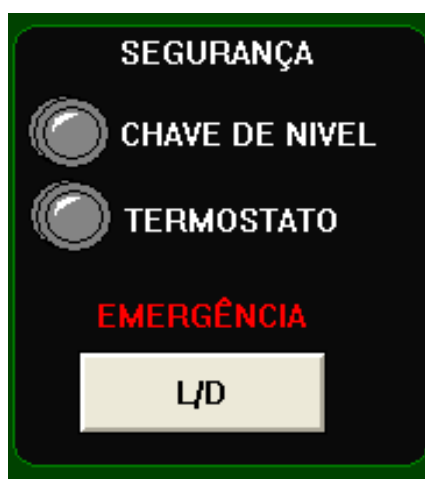


Figura 6.7 – Segurança

A chave de nível LAL-31 e o termostato TAH-31 são elementos que permitem à resistência funcionar apenas em condições adequadas. Essas condições são nível acima de 10% da capacidade do tanque e temperatura menor que 54°C.

Se alguma dessas chaves for acionada, a luz referente à chave acenderá na seção segurança.

Além disso, o usuário pode parar o processo a qualquer momento pressionando o botão de emergência. Isso implica no desligamento das duas bombas e na inibição resistências

A seção referente ao sistema de aquecimento é mostrada na figura 6.8

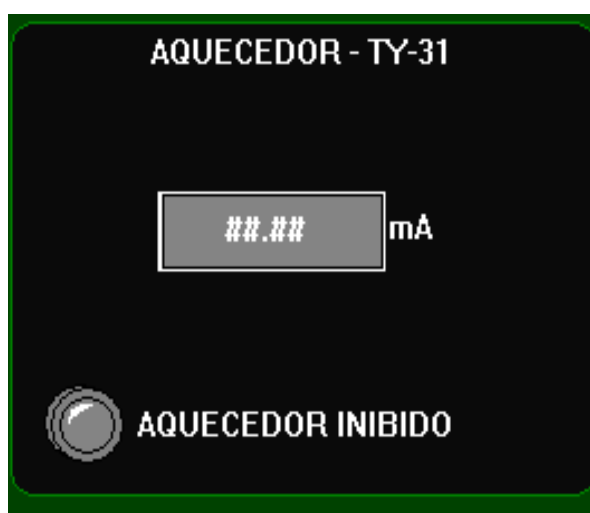


Figura 6.8 – Aquecedor

A lâmpada na parte inferior acende quando, por qualquer motivo, a resistência está inibida. Caso não haja inibição, a corrente que alimenta as resistências aparecerá no indicador em mA.

A figura 6.9 mostra a última seção da barra de menu, referente à sirene da planta. A sirene será acionada quando pelo menos uma das chaves de segurança ou o botão de emergência estiverem ativos.

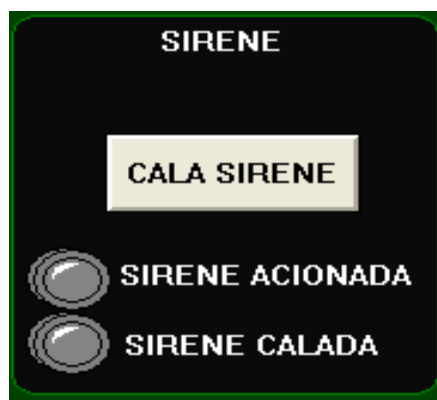


Figura 6.9 – Sirene

Existe nessa seção um botão que quando pressionado, cala a sirene. É possível também visualizar o status da sirene e checar se a opção por sirene calada está acionada.

Na figura 6.10 vê-se a tela principal referente aos processos controlados com estratégia *feedback*. Como se sabe, o simulador controla quatro variáveis com essa estratégia de controle, sendo elas, na malha 31, nível e temperatura, e, na malha 32, vazão e temperatura.

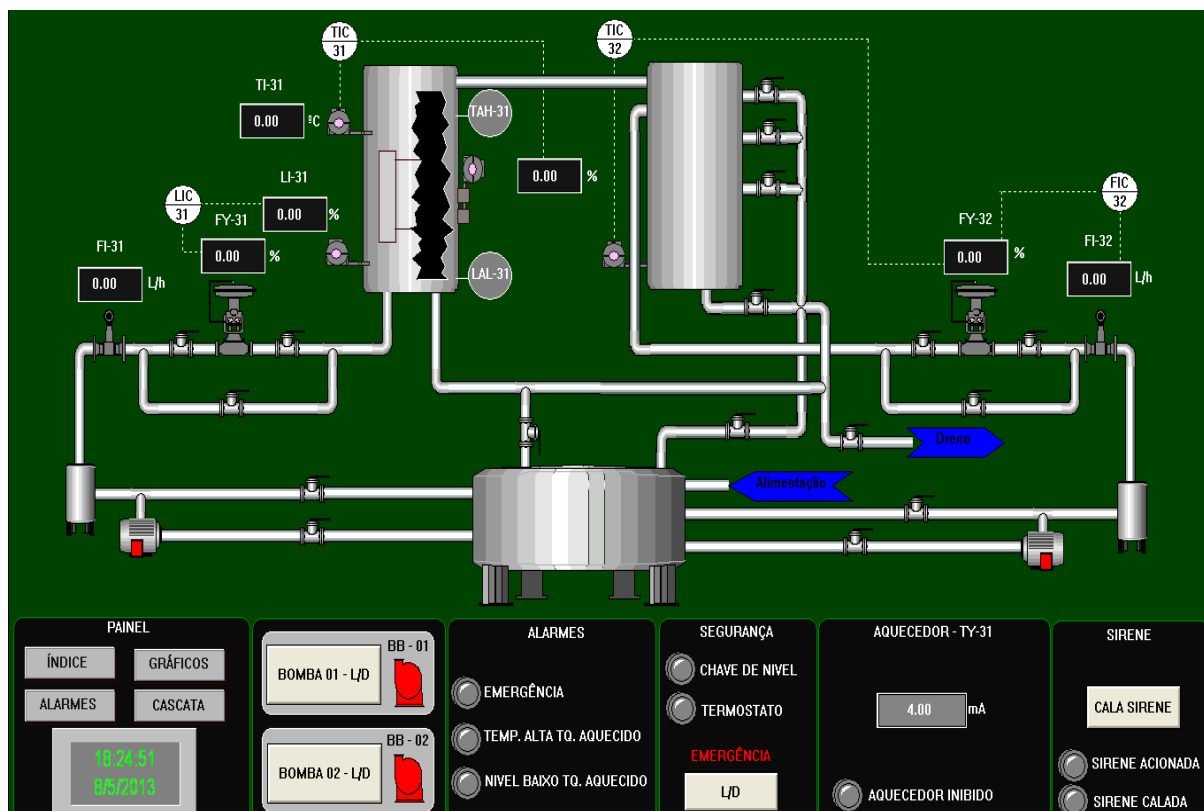


Figura 6.10 – Tela de supervisão dos sistemas controle *feedback*

Para abrir as janelas *pop-up* referentes a cada controlador, basta clicar no seu ícone na tela de supervisão sendo LIC 31 para o controlador de nível, TIC 31 para o de temperatura na malha 31, TIC 32 para o controlador de temperatura malha 32, e FIC 32 para o de vazão.

A malha de nível 31 possui sistema supervisorio um transmissor indicador de nível, um controlador e uma válvula de controle. Tanto o transmissor como a válvula possuem *displays* para visualização de seus valores como mostrado na figura 6.11.

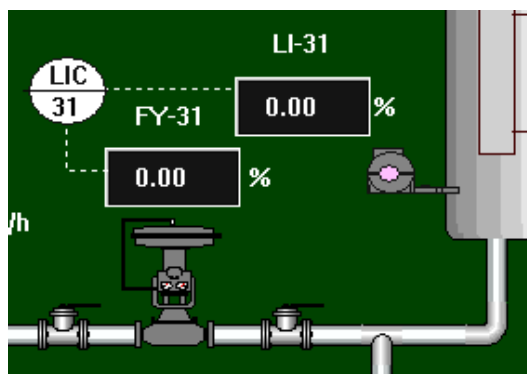


Figura 6.11 – Sistema de controle de nível da malha 31 na tela do supervisorio

A figura 6.12 apresenta o controlador de nível LIC 31.

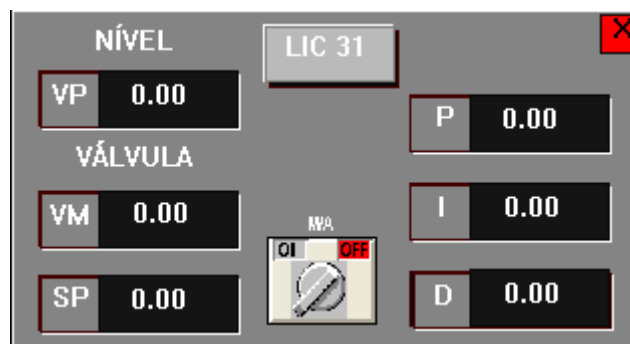


Figura 6.12 – Janela do controlador de nível

Nessa tela, o usuário pode selecionar entre controle automático ou manual e digitar os valores para o *setpoint* e para as ações de controle proporcional, integral e derivativa. Os valores da variável manipulada e da variável de processo são mostrados nos campos VM e VP, respectivamente.

Se for escolhido o controle manual, o valor de variável manipulada será digitado pelo usuário no campo VM.

O botão vermelho no canto direito superior está presente nas janelas de todos os controladores e quando pressionado, fecha a janela.

Os componentes mostrados na tela principal que fazem parte do sistema de controle de temperatura na malha 31 são o transmissor indicador de temperatura e seu *display*, controlador, resistência e seu *display* e chaves de temperatura alta e nível baixo, como destaca figura 6.13.

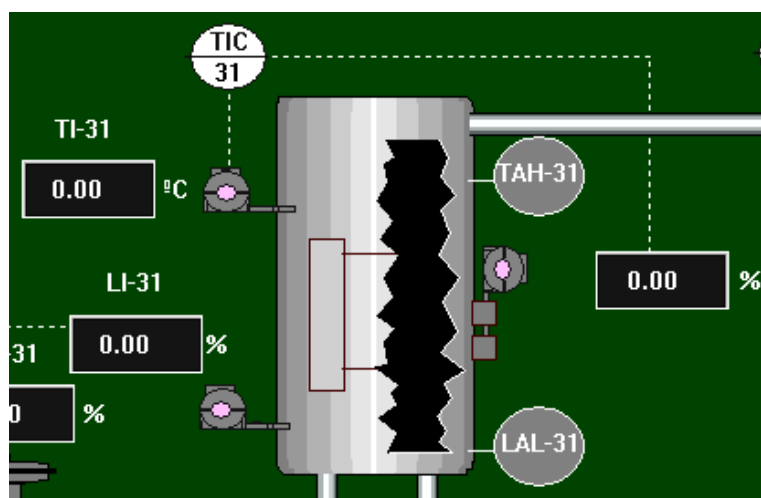


Figura 6.13 – Sistema de controle de temperatura da malha 31 na tela do supervisão

O tanque 01, mostrado na figura 6.13, é animado de forma que se torna possível ver o nível de água subindo ou descendo.

O retângulo à esquerda do tanque muda de cor de acordo com valor de alimentação que as resistências recebem do conversor estático. A cor cinza significa que a resistência está desligada ou inibida. Se a alimentação da resistência estiver entre 1% a 20%, a cor muda para amarelo claro, entre 20% e 40%, a cor se torna amarelo, entre 40% e 60%, amarelo escuro, entre 60% e 80%, laranja, e, por fim, vermelha se a alimentação do elemento final de controle for maior que 80%.

Na figura 6.14, é mostrado o controlador de temperatura TIC 31.



Figura 6.14 – Janela do controlador de temperatura da malha 31

O mecanismo de funcionamento do TIC 31 é idêntico ao LIC 31, explicado anteriormente, porém o *setpoint* a ser digitado pelo usuário é limitado entre 25 e 55°C, que é o range de temperatura do sistema.

O sistema de controle de vazão da malha 32 contém um indicador de vazão, um controlador e uma válvula de controle. Os dois instrumentos também possuem seus *displays*, como mostra a figura 6.15.

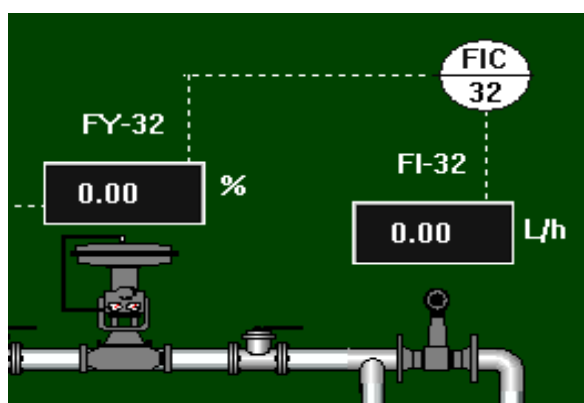


Figura 6.15 – Sistema de controle de vazão na tela do sistema supervisão

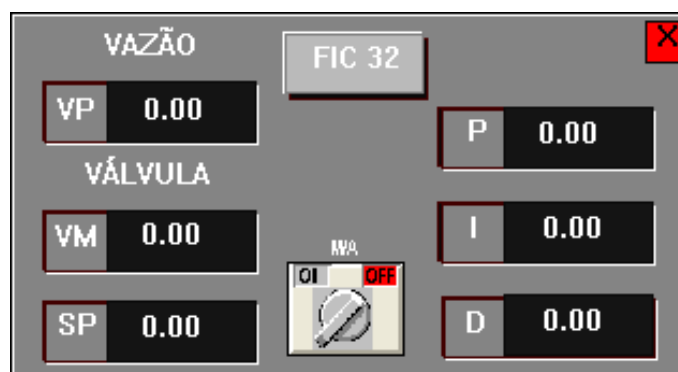


Figura 6.16 – Janela do controlador de vazão

A figura 6.16 apresenta a janela do controlador de vazão FIC 32. O modo de utilização do FIC 32 é o mesmo dos outros controladores citados até aqui, porém o *setpoint* deve estar entre os valores 0 e 2700 l/h.

Por último, a sistema de controle de temperatura da malha 32, apresentado na figura 6.17, contém um indicador de temperatura, controlador e uma válvula de controle. Como observado anteriormente, esse sistema de controle e o sistema de controle de vazão na malha 32 utilizam o mesmo elemento final de controle, a válvula FY-32.

Sendo assim, os controladores desses dois sistemas não podem funcionar no modo automático simultaneamente.

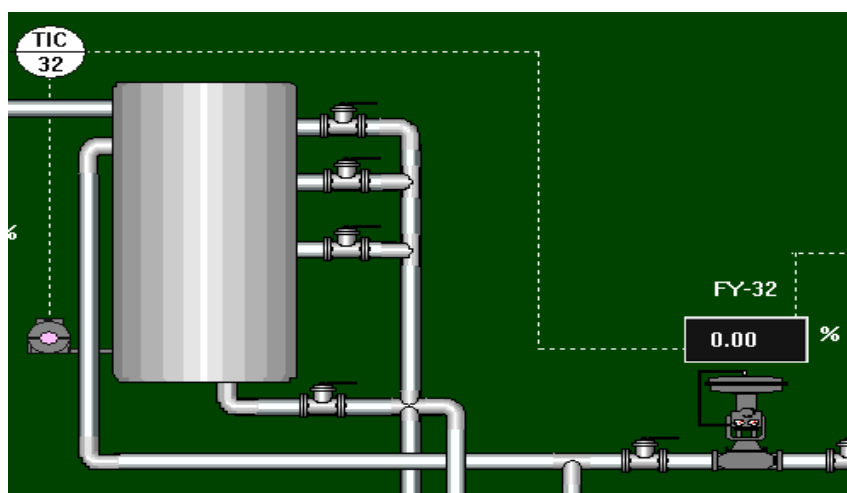


Figura 6.17 – Sistema de controle de temperatura da malha 32 na tela do sistema supervisório

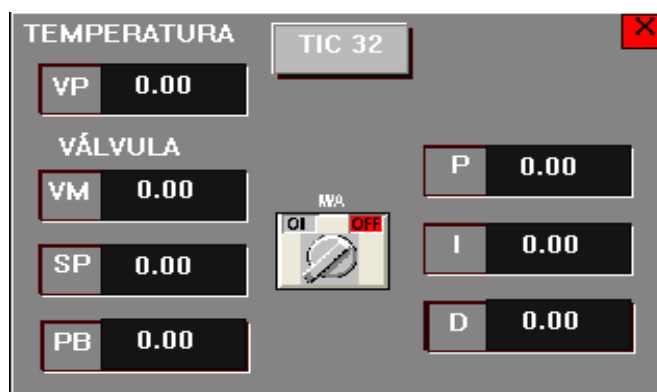


Figura 6.18 – Janela do controlador de temperatura da malha 32

O controlador TIC 32, apresentado na figura 6.18, difere-se dos demais por possuir um campo 'PB'. Esse campo representa qualquer perturbação que possa ocorrer no sistema, o usuário pode digitar um valor para que seja verificada a reação do sistema.

A tela de supervisão do sistema de controle com estratégia cascata é também. O simulador contém apenas um sistema de controle com a estratégia cascata, sendo a variável lenta a temperatura, e a variável rápida, a vazão na malha 32. O sistema está representado na figura 6.19.

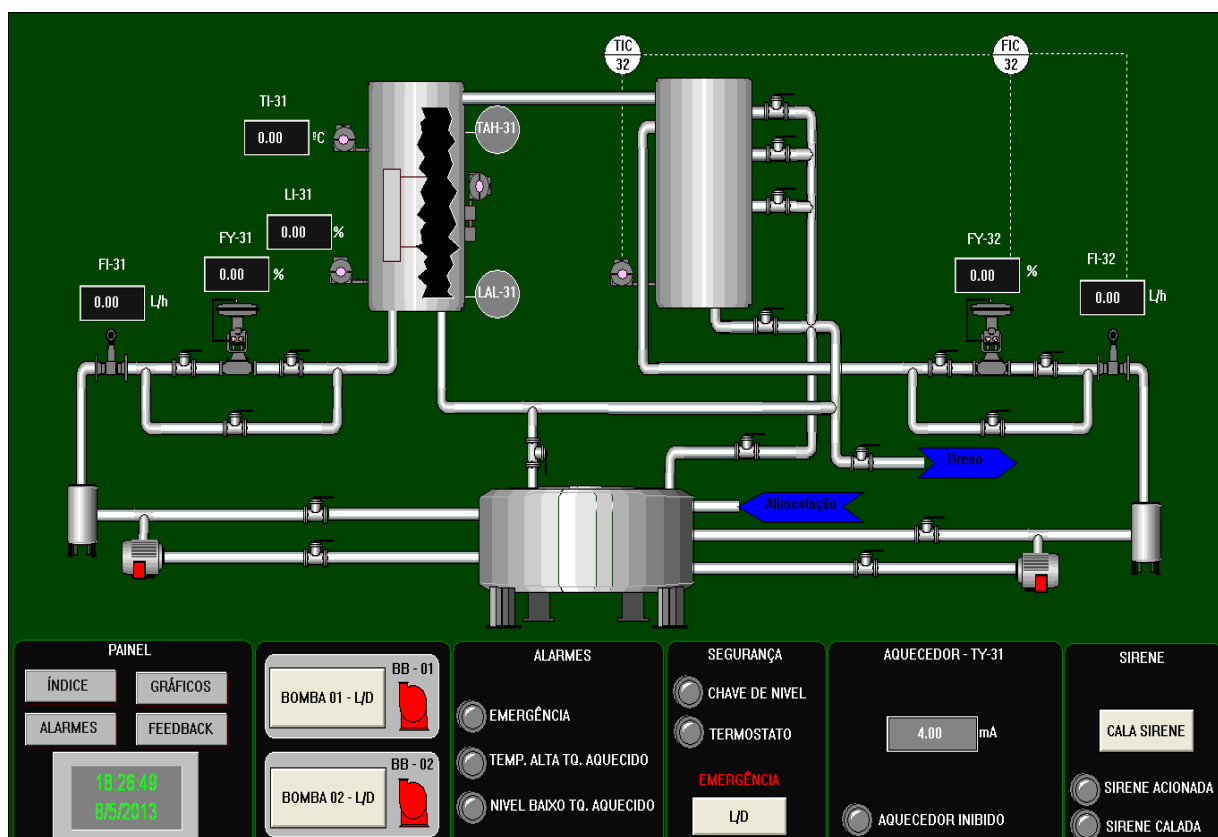


Figura 6.19 – Tela de supervisão do sistema de controle cascata

O acionamento das janelas *pop-up* dos controladores desse sistema se dá da mesma forma que na tela de supervisão dos sistemas controle *feedback*, basta clicar no ícone TIC 32, para abrir a janela do controlador mestre, e no FIC 32, para abrir a janela do controlador escravo. A janela dos controladores é mostrada na figura 6.20.

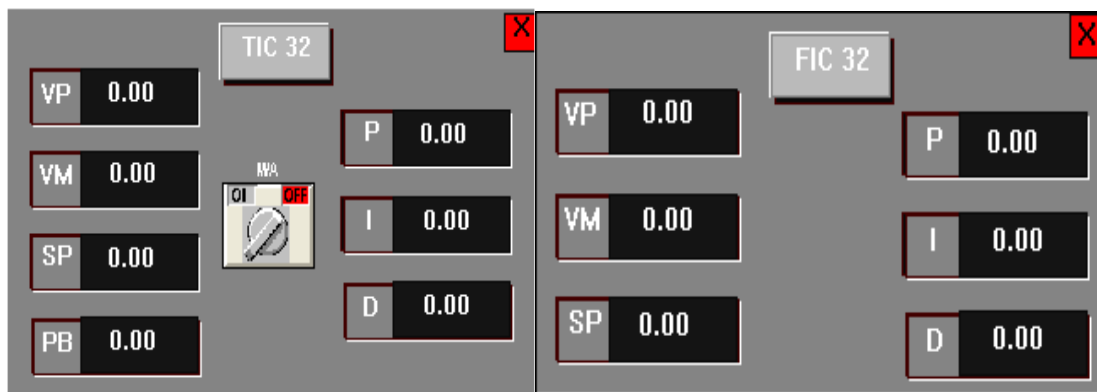


Figura 6.20 – Controlador mestre, TIC-32, e controlador escravo, FIC-32

Nestas janelas, se for selecionado o modo de controle automático, o usuário deve digitar apenas os valores das ações de controle proporcional, integral e derivativa de cada controlador, e o *setpoint* do controlador mestre, TIC-32, que deverá ser limitado entre 25 e 55°C.

Se o modo de controle escolhido for manual, o valor de variável manipulada do controlador escravo, FIC-32, deverá ser digitado pelo usuário.

Os gráficos dos sistemas de controle com estratégia *feedback*, contidos na janela da figura 6.21, mostram a tendência do *setpoint* e da variável de processo de cada sistema.

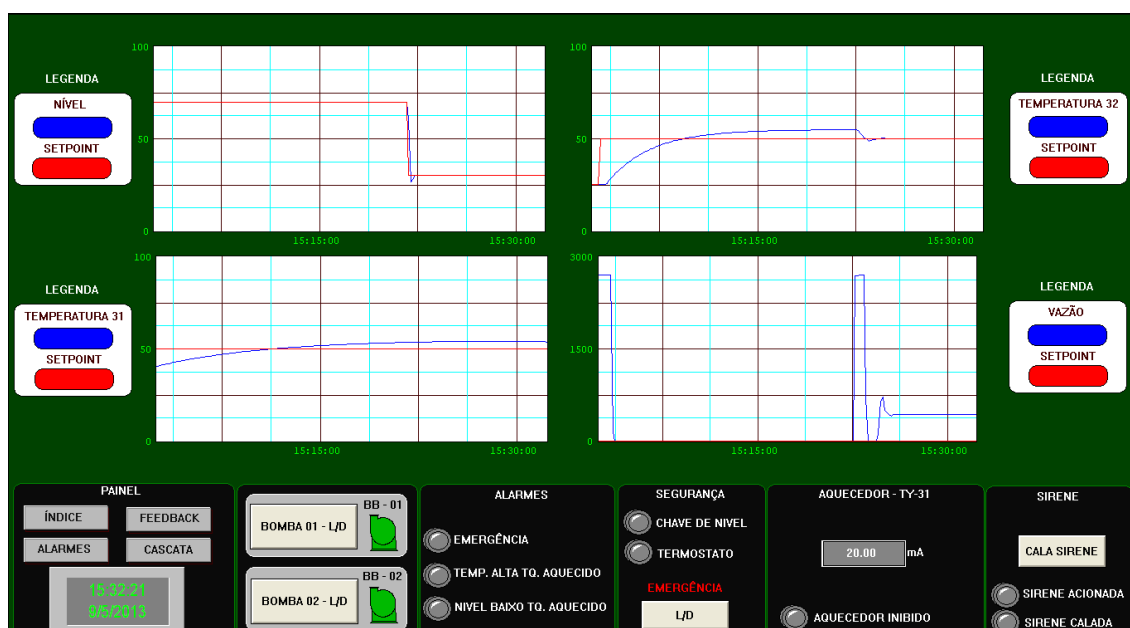


Figura 6.21 – Janela de gráficos de tendência dos sistemas de controle com estratégia *feedback*

Através da análise dos gráficos, é possível dizer quão eficiente é um controlador.

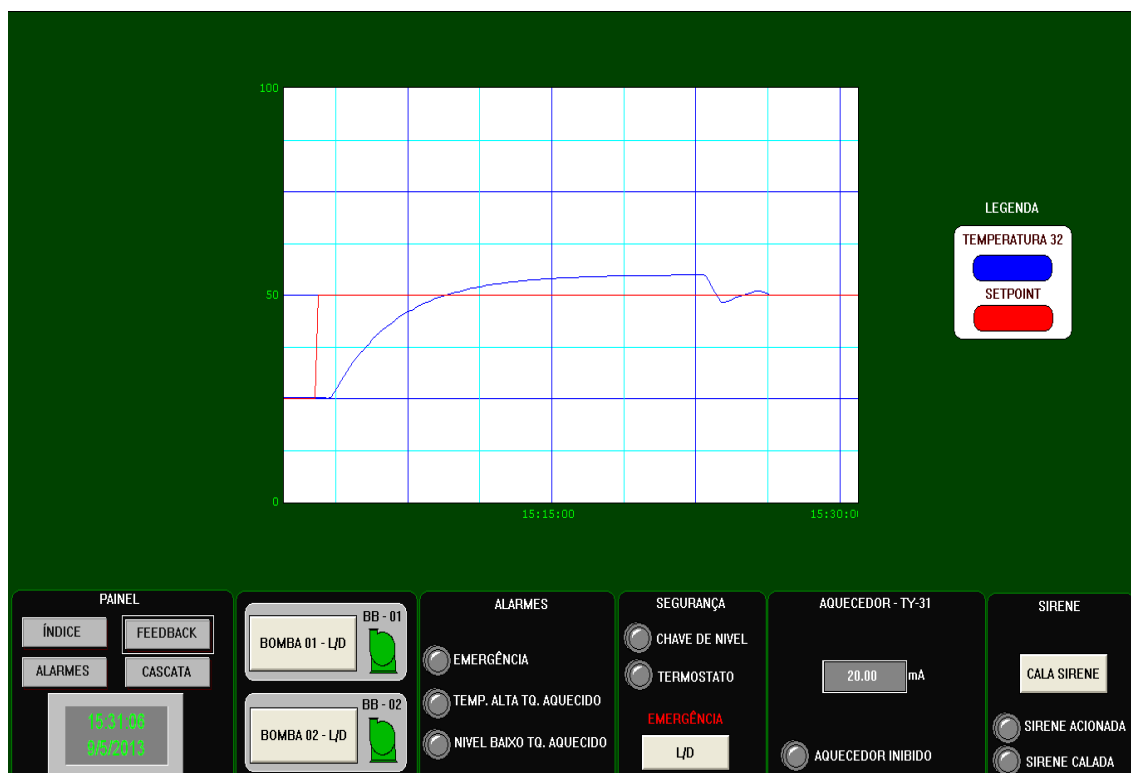


Figura 6.22 - Janela de gráficos de tendência do sistema de controle com estratégia cascata

A figura 6.22 apresenta a janela do gráfico de tendência do sistema de controle com estratégia cascata.

Na tela de supervisão de alarmes, mostrada na figura 6.23, encontra-se o histórico de alarmes do sistema, onde é possível ver a ordem em que os alarmes foram acionados, nome, data, status, e um botão que, quando acionado, reconhece os alarmes listados no histórico.

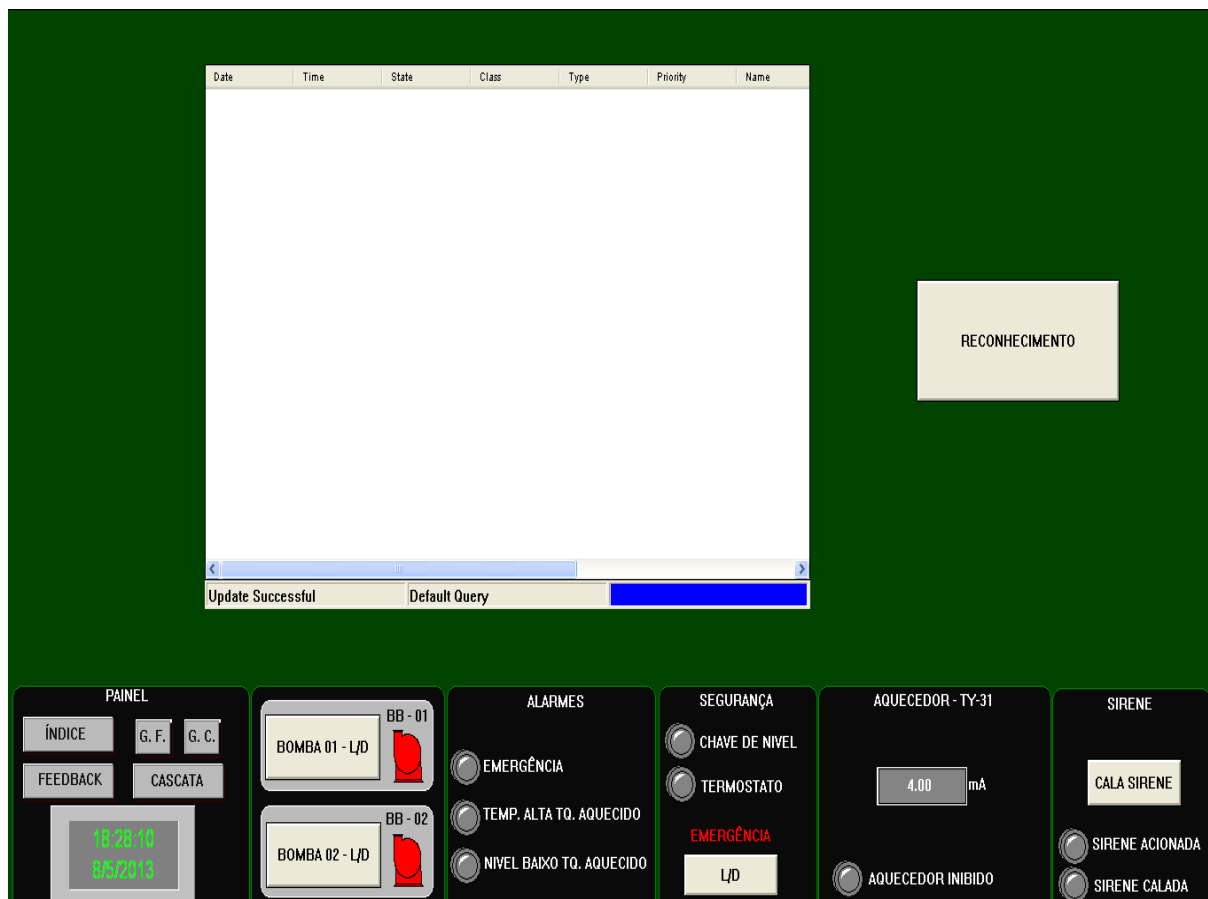


Figura 6.23 – Tela de supervisão de alarmes

Os botões ‘GF’ e ‘GC’ na seção painel na barra de menu presente nessa janela permite ao usuário ir direto para a janela de gráfico de qualquer sistema de controle.

Para concluir, comparando a tela de supervisão criada nesse simulador com a tela de supervisão original da planta desenvolvida pela SMAR com a utilização do software SYSCON, figura 6.24, algumas mudanças estruturais são notadas.

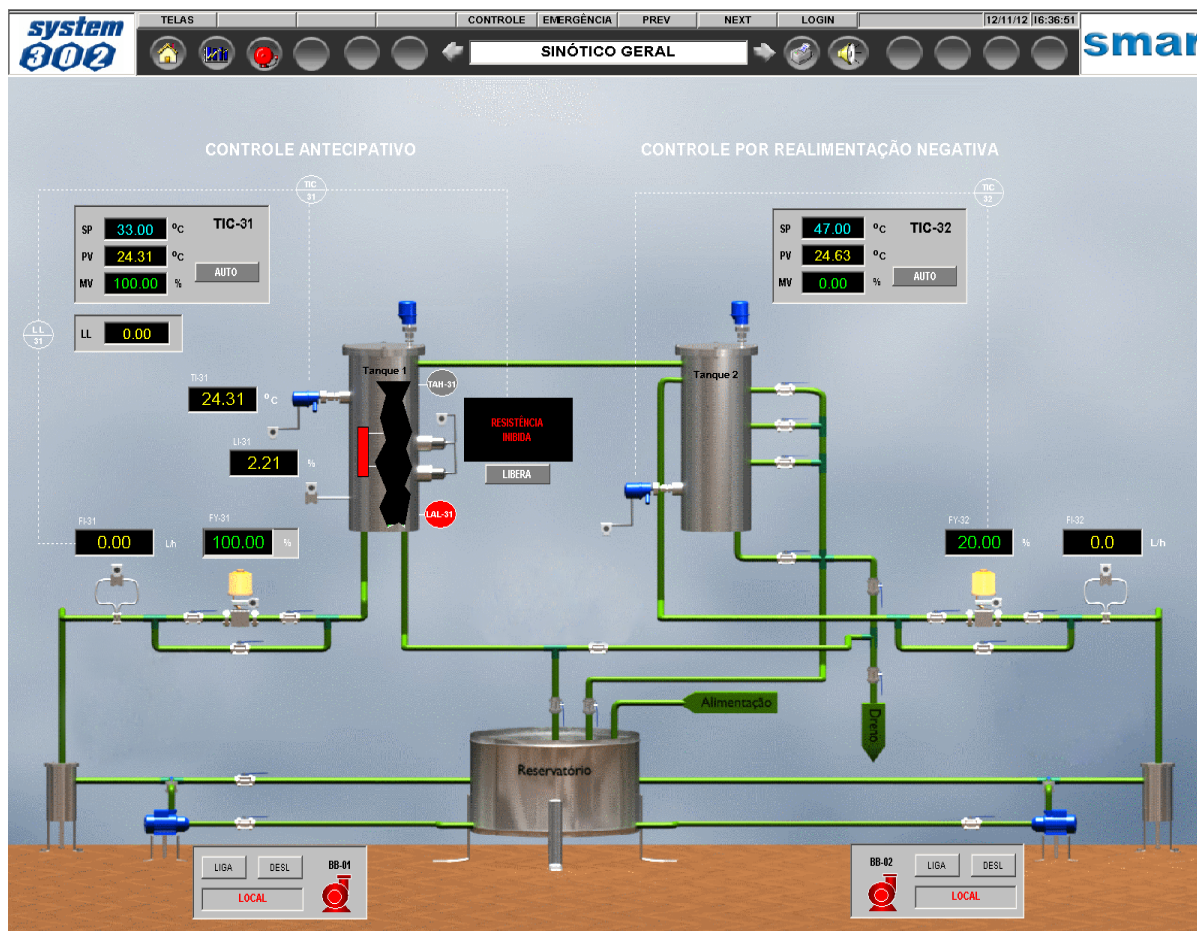


Figura 6.24 – Tela de supervisão da planta didática PD3 da SMAR

A principal mudança foi a barra de menu, que na janela do sistema original aparece em uma janela à parte, porém, nesse trabalho foi disposta em todas as janelas para possibilitar uma melhor visualização do que ocorre no processo.

O próximo capítulo traz conclusões que foram tiradas através da análise detalhada deste trabalho. Além disso, são citadas atividades que podem ser feitas pelos alunos de Engenharia de Controle e Automação com base neste simulador.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O simulador desenvolvido possibilita um melhor aprendizado das disciplinas da área de controle por parte dos alunos de Engenharia de Controle automação, permitindo que as teorias aprendidas sejam implementadas no simulador, e posteriormente na planta.

O trabalho serve também de incentivo para que outros projetos envolvendo simuladores sejam desenvolvidos não só tendo a planta didática como base, mas vários outros sistema.

Para que o sistema tivesse a resposta mais parecida com o sistema real a realização da modelagem e sintonia dos controladores deve ser feita de forma empírica. Para isso, é necessário que a planta didática esteja operante para que sejam realizados testes na mesma.

A sintonia é utilizada de forma a possibilitar uma melhor resposta dos controladores, tornando os processos mais rápidos e eficientes.

Além disso, outros trabalhos podem realizar o controle multi-variável, o que aproximaria ainda mais o simulador do sistema real. Podem também ser simulados outros sistemas de controle com os dispositivos disponíveis na planta.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, L. F., *Manual de Introdução ao Matlab/Simulink*.<Disponível em: http://www.enautica.pt/publico/professores/baptista/instrum/intro_simulink.pdf>. Acesso em: 29/03/2013.

CARMO, Marlon José do. *Ambiente Educacional Multifuncional Integrado para Sintonia e Avaliação do Desempenho de Malhas Industriais de Controle*. 2006.
HAALMAN, A. *Adjusting controllers for a deadtime process*. In: Control Engineering. [S.l: s.n.], 1965.p. 71-73.

CENTRO DE TREINAMENTO SMAR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA, *Manual da planta didática – PD3*. São Paulo: SMAR, 2006. 100 p.

FERNANDES, P. B.; OLIVEIRA, R. de; *Análise Comparativa entre Métodos de Sintonia em Malha de Controle de Temperatura Utilizando Estratégia de Controle Feedback*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012.

GARCIA, C. *Modelagem e Simulação de Processos Industriais e de Sistemas Eletromecânicos*. São Paulo; EPUSP, 2005.

GLÓRIA, L. S.; CARVALHO, A. S.; SILVA, D. R. da; GRILLO, F. S. *Desenvolvimento de Simulador Industrial para Processamento de Gás Natural*. VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Resende, 2011.

OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno* 4^a ed. São Paulo: Editora Pearson Education do Brasil, 2003.

PINTO, A. C. C.; DOMINGUES, H. T. *Construção de um Protótipo Simulador Didático de um Reservatório Industrial com Implantação de Controle Feedback de Temperatura Supervisionado*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2013.

SILVA, D. R. da; GLÓRIA, L. S. *Simulador de uma Unidade de Processamento de Condensado de Gás Natural*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012.

VIANNA, DSc. W. da S. *Sistema SCADA Supervisório*. Rio de Janeiro: IFF – Instituto Federal Fluminense de Educação Ciência e Tecnologia, 2008. Apostila. <Disponível em: www.professor.cefetcampos.br/professores/wvianna/scada/supervisorio_scada.pdf> Acesso em: 22/02/2013.