

CRISTIANO DA SILVA COSTA

PROJETO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO DA PLANTA DE PROPULSÃO
DE UM NAVIO VARREDOR

São Paulo

2008

CRISTIANO DA SILVA COSTA

PROJETO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO DA PLANTA DE PROPULSÃO
DE UM NAVIO VARREDOR

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Engenheiro.

São Paulo

2008

CRISTIANO DA SILVA COSTA

PROJETO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO DA PLANTA DE PROPULSÃO
DE UM NAVIO VARREDOR

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Engenheiro.

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica e Sistemas
Mecânicos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eigi
Miyagi

São Paulo
2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Costa, Cristiano da Silva

**Projeto do sistema supervisorio da planta de propulsão de um navio varredor / C.S. Costa. -- São Paulo, 2007.
61 p.**

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1.Redes de Petri 2.Controladores programáveis 3.Navios (Projeto) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t.

RESUMO

A planta de propulsão de um navio envolve o processamento de um número considerável de sinais de comando, monitoração, atuação e detecção e de variáveis de estado, isto é, cerca de 80 variáveis mesmo para um navio de pequeno porte.

Atualmente, a estratégia de controle destas plantas de propulsão é realizada por controladores programáveis (CPs), mas o gerenciamento global desta planta envolve a tomada de decisões considerando outros sistemas e informações do navio. Este gerenciamento é uma tarefa relativamente complexa e tem sido implementado através de um supervisor, isto é, uma infra-estrutura computacional com programas e ferramentas próprias para o gerenciamento das tarefas. Entretanto, não se tem conhecimento de um procedimento padrão para o desenvolvimento deste supervisor.

Assim, o presente projeto visa desenvolver uma estratégia do controle de uma planta de propulsão a ser realizada por CP sob um supervisor e validá-lo através de uma técnica de análise que considera todo o sistema (objeto de controle, sistema de controle e a interface com o usuário). Com isto tem-se uma contribuição para a sistematização do procedimento de projeto de supervisores.

ABSTRACT

The propulsion plant of a ship involves the processing of command, monitoring, actuation and detection signals, and state variables, that is, about 80 variables even for a small ship.

Currently, the control strategy of propulsion plants are performed by programmable controllers (CPs), but the overall management of this system involves decisions considering other systems and information of the vessel. This management is a relatively complex task and has been implemented through a supervisory system, that is, an infrastructure with computational programs and tools proper for supervision of the tasks. However, it is still not aware a standard procedure for the development of this supervisor

Thus, this work aims to develop a propulsion plant control performed by CP under a supervisory system and validate it through an analysis technique that considers the overall system (control object, control system and interface with the user). This approach is considered a contribution to the systematic procedure for the design of supervisors.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivo	1
2	CONCEITOS FUNDAMENTAIS	2
2.1	Sistemas a eventos discretos (SED)	2
2.2	Controle de Sistemas	3
2.3	Sistema supervisório	5
2.4	Redes de Petri.....	5
2.5	PFS/MFG (Production Flow Schema/ Mark Flow Graph)	7
2.6	UML.....	11
2.7	LabView	11
2.8	CLP	12
2.9	Metodologia de desenvolvimento do sistema supervisório	12
2.9.1	Análise das necessidades.....	13
2.9.2	Definição das necessidades.....	14
2.9.3	Desenvolvimento do software de controle	14
2.9.4	Teste	15
3	PROJETO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO	16
3.1	Análise de necessidades.....	16
3.1.1	Identificação do objetivo final do sistema.....	16
3.1.2	Estudo do objeto de controle, equipamentos e instalações	16
3.1.3	Dispositivo de controle e sua instalação	20
3.1.4	Levantamento e análise das funções de controle	20
3.2	Definição das necessidades.....	23
3.2.1	Definição das funções de controle	23
3.2.2	Definição do fluxo das funções de controle.....	25
3.3	Desenvolvimento do software de controle.....	28
4	AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO	31
4.1	Estrutura geral.....	31
4.2	Software de simulação da planta de propulsão.....	31

4.2.1	Modelagem do Simulador da Planta Propulsora	31
4.2.2	Software de simulação da planta de propulsão	38
4.2.3	Comunicação do simulador da planta de propulsão com o CLP	40
4.3	CLP	40
4.4	Comunicação do CLP com a IHM	41
4.5	IHM (interface Homem Máquina)	41
4.6	Teste	44
5	CONCLUSÃO	45
	Apêndice A – Convenção de Nomes e Definições	46
	Apêndice B – Modelagem do controle com o uso do pfs/mfg	48
	Apêndice C – Diagramas UML do Simulador	51
	Apêndice D – Manual do simulador da planta de propulsão	53
	Apêndice E – Manual da interface homem-máquina (IHM)	56
	Bibliografia	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Classificação geral dos sistemas (fonte: Cassandras,1993)	3
Figura 2 Diagrama conceitual básico do sistema de controle SED (fonte: Miyagi, 1996).5	
Figura 3 – Representação gráfica da rede de Petri.....6	
Figura 4 – Componentes do PFS (fonte: Kaneshiro, 2006).....8	
Figura 5 – Elementos estruturais do MFG..... 10	
Figura 6 – Metodologia de projeto de sistema de controle (Fonte: Miyagi, 1996) 13	
Figura 7 Modelo da Planta Propulsora do navio..... 17	
Figura 8 - Diagrama Geral da Instalação21	
Figura - 9 - Estruturação das funções referentes ao sistema.....22	
Figura 10- Funções realizadas pelo sistema supervisorio descritas através do PFS.....26	
Figura 11 Detalhamento da Atividade Parada em Emergência com o uso do PFS.26	
Figura 12– Descrição da atividade [Processamento do comando] com o uso do MFG .27	
Figura 13- Descrição da atividade [Controle de Falha] com o uso do MFG28	
Figura 14 – Programação para variável tipo 2.....29	
Figura 15 - Programação para variável tipo 330	
Figura 16 – Programação para Parada em emergência.30	
Figura 17– Esquema do simulador do sistema supervisorio da planta de propulsão.....31	
Figura 18 – Diagrama de caso de uso para a planta propulsora.....33	
Figura 19 – Diagrama de atividade do caso de uso “Aciona Motor”34	
Figura 20 - Diagrama de estados do motor.....35	
Figura 21– Diagrama de classes para o use case “Aciona Motor”36	
Figura 22 – Diagrama de seqüência do caso de uso “Aciona Motor”37	
Figura 23 - Métodos e atributos das classes relativa ao caso de uso “Aciona Motor”....37	
Figura 24 - Diagrama de Petri que representa o caso de uso aciona motor38	
Figura 25 – Tela do simulador da planta de propulsão.39	
Figura 26 – Esquema da montagem das placas de I/O com o PC. (fonte: programmer’s manual – Iotech, 2002).....40	
Figura 27 – Tela da Interface Homem Máquina.43	
Figura 28– esboço de um navio.46	

Figura 29 - Detalhamento da Atividade Monitoramento Processo tipo 1 com o uso do MFG.	48
Figura 30 - Detalhamento da Atividade Monitoramento Processo tipo 2 com o uso do PFS.	48
Figura 31 - Detalhamento da Atividade Comparação com o uso do MFG.	49
Figura 32 - Detalhamento da Atividade Monitoramento Processo tipo 3 com o uso do PFS.	49
Figura 33 – Controle do Leme.....	53
Figura 34 – Representação dos comandos locais do passo do hélice, da rotação e de acionamento do motor, da bomba de pré-aquecimento, do acoplamento da engrenagem redutora e das válvulas de admissão de ar.....	54
Figura 35 - Representação dos comandos locais da Parada em emergência, parada normal do motor e encerramento do programa.....	54
Figura 36 – indicativo local dos sensores.....	55
Figura 37 Elementos de monitoramento de estado.....	56
Figura 38 – Indicadores analógicos e digitais.....	56
Figura 39 – Indicadores de variáveis que tem sua cor alterada quando atinge um valor pré determinado	57
Figura 40 – Botão de emergência.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista das variáveis medidas	19
Tabela 2 - Lista dos dispositivos de atuação.....	19
Tabela 3 - Lista dos Dispositivos de monitoração	19
Tabela 4 - Lista dos dispositivos de Comando	20
Tabela 5 – Lista das variáveis tipo 1.	23
Tabela 6– Lista das variáveis tipo 2.	23
Tabela 7– Lista das variáveis tipo 3.	24
Tabela 8– Lista dos dispositivos afetados pela parada em emergência.	24
Tabela 9- Lista dos dispositivos afetados pela função falha de comando.....	25

LISTA DE SÍMBOLOS

Redes de Petri

P - conjunto de lugares de uma rede de Petri

T - conjunto de transições de uma rede de Petri.

A - conjunto finito que define os arcos de entrada das transições (arcos que partem de lugares e chegam nas transições).

W - conjunto finito que define os arcos de saída das transições (arcos que partem de transições e chegam nos lugares).

m_0 : marcação inicial da rede de Petri,

Mark Flow Graph (MFG)

t_b – intervalo de tempo que uma marca deve permanecer em um box temporizado até que ele se torne disparável.

t_T - intervalo de tempo que uma transição deve esperar, quando todas as suas condições estejam satisfeitas, para efetuar um disparo.

1 INTRODUÇÃO

1.1 *Motivação*

A Marinha do Brasil possui, há cerca de 30 anos, um conjunto de navios-varredores, que são embarcações destinadas à tarefa de localização e eliminação (varredura) de minas marítimas (Faustino et Goldemberg, 2006).

O sistema da propulsão presente ainda hoje nesses navios é o mesmo da época da sua concepção, não existindo um sistema de gerenciamento global da planta de propulsão. Como consequência há a necessidade da intervenção humana localmente tanto para o acionamento dos comandos, quanto para o acompanhamento constante dos dados dos sensores.

A introdução de um sistema supervisório possibilita a monitoração dos dispositivos de atuação, dispositivos de detecção e de variáveis de estado em tempo real de uma estação remota. Isto acelera o tráfego de informações, o que contribui para a operação do navio e possibilita também o armazenamento de dados para futuras análises e auxilia na tomada de decisão do comandante do navio.

Do exposto, considera-se relevante trabalhos que contribuam para o estudo e introdução de sistema supervisório em instalações propulsoras já existentes.

1.2 *Objetivo*

Projetar um sistema supervisório para o gerenciamento global da planta de propulsão de um navio de médio porte, considerando a redução da quantidade de intervenções manuais necessárias a sua operação, uma maior disponibilidade de dados para o comandante e recurso de auxílio no processo de tomada de decisão.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Este capítulo apresenta os conceitos básicos para a compreensão da metodologia de desenvolvimento e da tecnologia utilizada para o projeto e implementação de sistemas supervisórios.

2.1 *Sistemas a eventos discretos (SED)*

Sistema pode ser definido como um conjunto de elementos interdependentes que interagem mutuamente em prol de um objetivo comum. Como exemplo de sistemas pode-se citar o corpo humano que se constitui de vários órgãos ou um navio que é formado por vários sub-sistemas como o sistema de governo (leme), navegação (radar, bússola) e propulsão.

Segundo Cassandras os sistemas, de acordo com o seu comportamento, podem ser classificados como: instantâneo ou dinâmico. Os dinâmicos se dividem em variantes e não variantes no tempo. Entre os não variantes encontra-se os sistemas lineares e os não lineares. Os não lineares se subdividem em sistemas contínuos e sistemas a eventos discretos. Essa classificação pode ser vista na Figura 1.

O sistema a eventos discretos (SED) é por definição um sistema dinâmico que evolui de acordo com a ocorrência de eventos, em intervalos de tempo em geral irregulares e desconhecidos que resultam na mudança abrupta do estado do sistema (Cury, 2001 apud Munakata; Ichikawa, 2005). Pode-se citar como exemplos de SEDs os sistemas de manufatura (onde os estados poderiam ser: peça em espera, peça sendo processada, peça pronta), sistemas de transporte (onde os estados poderiam estar associados aos sinais luminosos dos semáforos), entre outros.

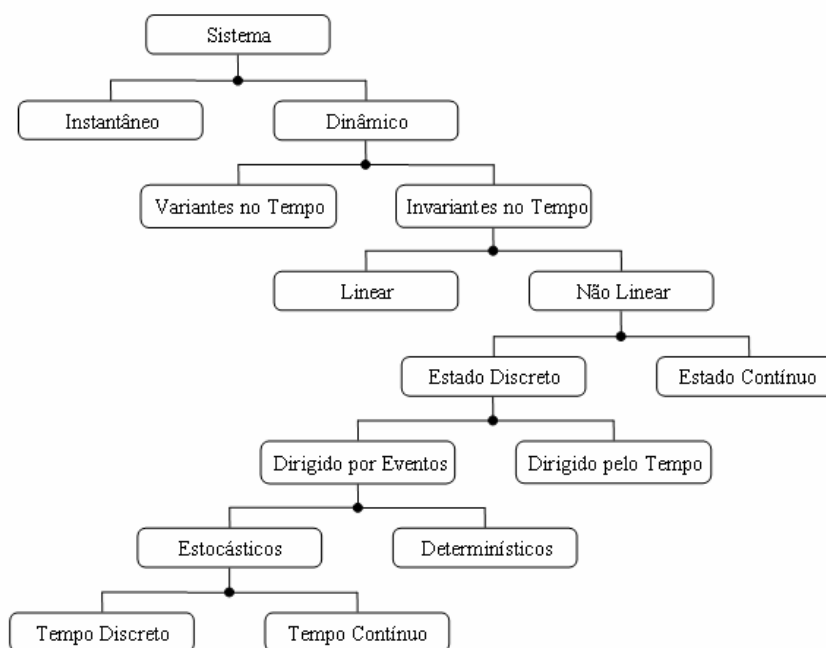


Figura 1 Classificação geral dos sistemas (fonte: Cassandras,1993)

2.2 Controle de Sistemas

Controle pode ser definido como a “aplicação de uma ação pré-planejada para que aquilo que se considera como objeto de controle atinja certos objetivos”. Satisfazer certos objetivos, no caso do controle de sistemas de variáveis contínuas, geralmente corresponde a igualar o valor de uma certa variável física (variável de controle) a um valor de referência. No caso de controle de SED corresponde a execução de operações conforme um procedimento pré-estabelecido (Miyagi, 1996).

No sistema de controle de um SED não existe o conceito de valor de referência, que é substituído pelo comando de tarefas, o qual pode ser realizado por técnicas de controle seqüencial. Este pode ser definido como um conjunto de comandos ordenados que conduzem o sistema de um certo estado para o estado desejado, respeitando certo número de restrições que podem proibir a ocorrência de algumas transições e/ou a entrada, ou manutenção, de certos estados (Parthasarathy. 1990).

O controle seqüencial pode ser implementado com o uso de relés, válvulas hidráulicas e pneumáticas ou dispositivos mecânicos. No entanto, cada um desses

dispositivos possui uma estrutura distinta e uma técnica de projeto específica, o que, em geral, encarecem estas soluções. Outro inconveniente é a dificuldade de manutenção, pois a identificação de falhas em sistemas com controle baseado nestes tipos de dispositivos envolve experiências e treinamento prático.

Os controladores programáveis (microprocessadores, CLP) realizam as mesmas funções dos relés e das válvulas, no entanto apresentam como grande vantagem a capacidade de armazenar em uma memória interna a estratégia de controle do processo. Isto é, em vez de soluções baseadas em hardware, os controladores programáveis (CPs) adotam soluções baseadas em software, o que facilita as alterações do procedimento de controle de uma planta industrial. Outra vantagem é em relação ao custo já que os CPs podem ser produzidos em grande escala, pois a sua adequação a cada sistema não depende mais do hardware, e somente do software. Além disso, a manutenção é relativamente mais simples em relação aos sistemas baseados em relés e válvulas. Em função das novas funcionalidades desta tecnologia o controle realizado por CPs denomina-se controle programável.

Normalmente o sistema de controle de um SED é composto de vários elementos que possuem diversos estados possíveis. Cada um dos estados pode se combinar entre si e formar um estágio do controle do SED. Utilizando-se essas combinações de forma a estabelecer regras pré-estabelecidas, a evolução de cada passo do controle será resultado do atendimento de todas as condições desta regra.

Os passos podem ser dependentes do tempo ou de eventos externos, sendo assim de natureza assíncrona, ou seja, dependentes exclusivamente da satisfação das condições de evolução. Além disso, o SED pode ser constituído de vários subsistemas interligados e a evolução de cada um dos seus passos pode ocorrer de forma independente, possibilitando inclusive o paralelismo de processos.

Assim defini-se o controle de SED como: "...o controle que, baseado em um procedimento pré-estabelecido ou em uma lógica que estabelece um procedimento, executa ordenadamente cada estágio de controle." (Miyagi, 1996).

Um esquema de controle de SED pode ser visto na Figura 2.

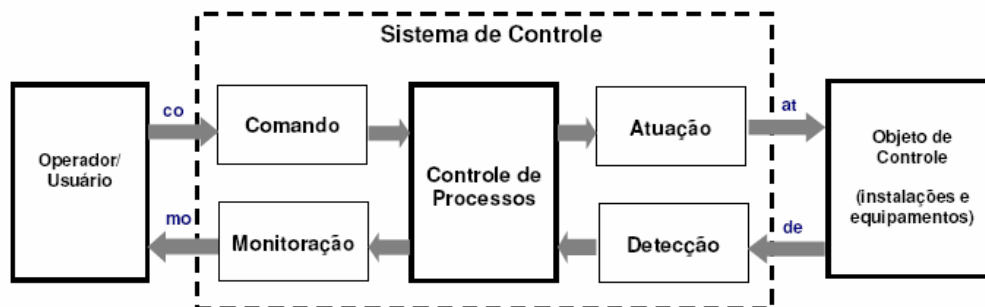


Figura 2 Diagrama conceitual básico do sistema de controle SED (fonte: Miyagi, 1996).

2.3 Sistema supervisório

Os modernos sistemas automatizados são compostos por múltiplos subsistemas, como por exemplo, num navio há os subsistemas de governo, navegação, propulsão etc. O principal objetivo do sistema supervisório nesse domínio é a coordenação desses subsistemas de forma que atendam a uma série de tarefas individuais e conjuntas, garantindo o funcionamento global do sistema mesmo da ocorrência de falhas e ou eventos imprevistos.

Assim o sistema supervisório permite que sejam monitoradas e rastreadas as informações de um processo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipulados, analisados, armazenados e, posteriormente, apresentados ao usuário/supervisor (Silva; Salvador, 2005).

2.4 Redes de Petri

O modelo básico da rede de Petri (RdP) foi proposto por C. A. Petri no início da década de 60 e se constituiu em uma poderosa técnica para modelagem e análise de SEDs. É capaz de representar a dinâmica e a estrutura dos sistemas através de redes, podendo, assim, descrever graficamente a ocorrência de eventos concorrentes, assíncronos, síncronos, seqüenciais, distribuídos e paralelos.

Uma RdP é um grafo bipartido composto por dois tipos de nós: lugares e transições. Os lugares são representados por círculos e as transições por barras. Arcos orientados conectam lugares e transições e vice-versa.

Uma RdP marcada contém um número inteiro de marcas que são distribuídas entre os lugares. Esta repartição descreve o estado discreto do sistema modelado (Villani, 2003).

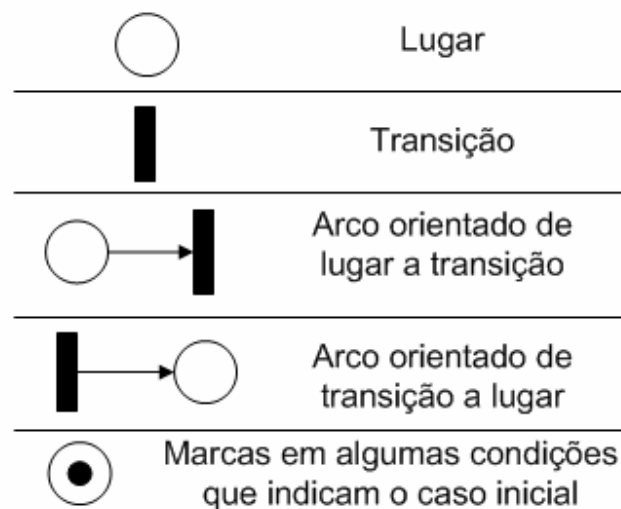


Figura 3 – Representação gráfica da rede de Petri.

Segundo Castrucci; Morais (2001) e Cardoso; Valette (1997) apud Villani (2003) as RdP ordinárias têm a seguinte definição:

Definição: Uma RdP é uma quintupla (P, T, A, W, m_0) , onde:

$P = \{p_1 \dots p_n\}$ é um conjunto finito de lugares.

$T = \{t_1 \dots t_n\}$ é um conjunto finito de transições.

$P \cap T = \emptyset$; $P \cup T \neq \emptyset$.

$A: P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ conjunto finito que define os arcos de entrada das transições (arcos que partem de lugares e chegam nas transições).

$W: T \times P \rightarrow \mathbb{N}$ conjunto finito que define os arcos de saída das transições (arcos que partem de transições e chegam nos lugares).

m_0 : vetor cujo i -ésimo elemento define o número inicial de marcas no lugar p_i ,

Segundo Miyagi (1996) e Junqueira (2006) a RdP é capaz de representar a dinâmica de um sistema através da movimentação das marcas. Estas residem nos lugares e condicionam o disparo das transições da RdP. Uma transição dispara removendo as marcas dos seus lugares de entrada (pré-condições) e criando novas marcas em seus lugares de saída (pós-condições). Cabe ressaltar que uma determinada transição só ocorre se todas as suas pré-condições estiverem satisfeitas e todas as suas pós-condições estiverem não satisfeitas.

Segundo Hasegawa (1996) apud Kaneshiro (2006), algumas das vantagens e características das RdP são:

- possui uma semântica formal que permite que o mesmo modelo possa ser utilizado tanto para análises comportamentais (análise qualitativa e/ou quantitativa) e avaliação do desempenho, assim como para a construção de simuladores e controladores. Além de servir para verificar comportamentos indesejáveis do sistema modelado como bloqueio, limitação, deadlock etc.
- Oferece um formalismo gráfico que permite a documentação e monitoração visual dos estados do sistema.
- Representa a dinâmica e a estrutura do sistema segundo o nível de detalhamento desejado.

2.5 PFS/MFG (Production Flow Schema/ Mark Flow Graph)

Apesar dos vários pontos positivos, as RdPs apresentam algumas limitações para o projeto e controle de sistemas complexos de grande porte. Os modelos se tornam excessivamente grandes pois toda a manipulação de dados é representada através da estrutura de rede.

Com o intuito de suprir esta deficiência, surgiram técnicas derivadas da RdP como o PFS e o MFG que são conhecidas como redes de Petri interpretadas. Através do PFS/MFG pode-se modelar um SED de uma maneira modular e hierárquica, ou seja, o modelo sofre sucessivos refinamentos de forma a detalhá-lo até o nível desejado.

O PFS é empregado durante a fase do design conceitual do sistema, isto é, ao invés de desenvolver o modelo em nível detalhado, adota-se primeiro a modelagem do sistema em nível conceitual, sem detalhamento do comportamento dinâmico. Nesta

fase, um certo tipo de atividade pode incluir vários outros eventos e estados organizados hierarquicamente, sendo tratados como macro-eventos. Dessa forma o modelo identifica explicitamente os componentes que formam o sistema e quais as relações existem entre cada um deles.

Segundo Miyagi (1996) e Kaneshiro (2006) o PFS é composto pelos seguintes elementos:

- Atividade – representa um elemento capaz de realizar transformações em itens, isto é, ações sobre matérias ou informações. Sua representação gráfica corresponde a um macro-elemento delimitado por colchetes e uma inscrição em linguagem natural, ou formal, para especificá-lo. Cada atividade pode ser refinada em sub-atividades com as suas respectivas interações.
- Distribuidor – representa um elemento passivo capaz de armazenar item, indicar a permanência em certos estados e ou tornar visíveis os itens. É representado por uma circunferência e como regra deve sempre existir entre duas atividades que estejam relacionadas.
- Arco Orientado – indicam uma relação lógica entre as atividades e os distribuidores. Se a conexão se faz pela parte externa da atividade, indica um fluxo principal de itens no sistema e se é realizada pela parte interna, indica um fluxo secundário (este não é obrigatório). É representado por uma seta.

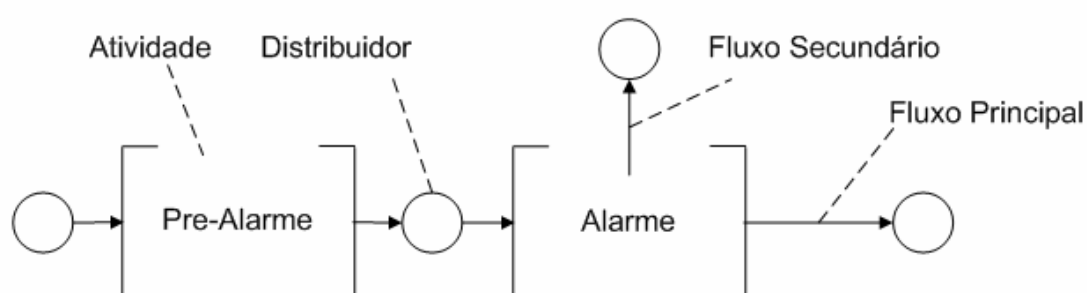


Figura 4 – Componentes do PFS (fonte: Kaneshiro, 2006)

O modelo em PFS, após uma série de refinamentos pode chegar a um nível de detalhamento onde o interesse está na dinâmica do sistema. Para este fim, os elementos do PFS são convertidos para uma rede MFG, passando-se a análise do

modelo em situações de assincronismo, seqüencialização, paralelismo, concorrência e intertravamentos.

Uma rede MFG é capaz de modelar tanto o controlador, como o objeto de controle e suas interconexões através de uma lógica binária e com isso pode ser diretamente utilizado para programar um controlador programável (CP).

Segundo Miyagi (1996) os elementos estruturais do MFG, mostrado na Fig.5, são:

- Box – indica uma condição (pré ou pós-condição de um evento) e é representado por um bloco quadrado.
- Transição – indica um evento que causa uma mudança do estado do sistema e é representado por uma barra.
- Arco orientado – estabelece relações causais entre os eventos e as condições e vive versa. É representado por uma seta.
- Marca – indica a manutenção de uma condição e é representada por um ponto negro no interior do box correspondente a essa condição.
- Porta – habilita ou inibe a ocorrência dos eventos correspondentes as transições sendo denominada porta habilitadora ou porta inibidora, conforme a sua natureza. Estas, por sua vez, podem ser sub-classificadas em porta externa ou porta interna de acordo com a origem do sinal. A porta habilitadora possui um circulo negro na extremidade conectada à transição. Quando o sinal de origem for “1”, esta porta habilita a transição que está conectada, compondo um AND lógico com as outras condições que determinam a ocorrência do evento correspondente. A porta inibidora é uma porta que possui um circulo branco na extremidade conectada a transição. Quando o sinal de origem for “1”, esta porta inibe a transição que está conectada, compondo um OR lógico com as outras condições que determinam a ocorrência do evento correspondente. A origem de uma porta interna é um box. Quando existir marcas no box, o sinal é “1”; quando não existir marcas é “0”. A origem do sinal de uma porta externa não faz parte do grafo, ou seja, ela indica a entrada de um sinal binário gerado por algum dispositivo externo.

- Arco de sinal de saída – este arco envia um sinal binário do box para os dispositivos externos ao grafo. É representado por uma linha que conecta esses dois elementos. Quando houver uma marca neste box, o sinal é “1”; quando não houver, é “0”.

O conceito de tempo é introduzido no MFG através dos seguintes elementos.

- Box temporizado – quando uma marca aparece neste tipo de box, a transição conectada em sua saída fica disparável somente após decorrido um intervalo de tempo (t_b).
- Transição temporizada – uma vez que todas as condições de disparo estejam satisfeitas, esta transição só dispara após decorrido um intervalo de tempo (t_T). Se durante este tempo, algumas das condições deixa de ser satisfeita, a contagem de tempo é anulada.

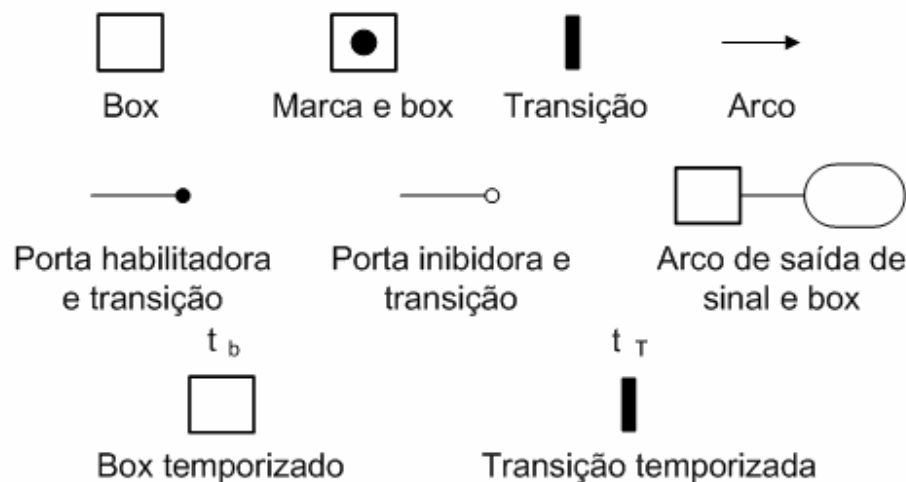


Figura 5 – Elementos estruturais do MFG

Para a modelagem do MFG, deve-se seguir as seguintes regras:

- Os boxes e as transições devem ser conectados de forma intercalada através de arcos orientados;
- Não existe limite para o número de arcos que entram ou saem dos boxes e das transições. Mas em um par transição-box ou transição-elemento externo, pode existir apenas um arco entre eles;

- As portas e arcos de sinal de saída são formas de representação explícita dos sinais de controle.

2.6 UML

UML é uma linguagem de modelagem para “especificação, construção e documentação de sistemas de software, bem como para a modelagem de processos e outros sistemas” (Object Management Group, 2001).

O UML foi adotado como ferramenta para o desenvolvimento do software que simula a planta de propulsão pois possui uma estrutura baseada em diagramas (proporcionando uma forma de comunicação e documentação visual). Estes permitem, através de suas visões complementares, o enfoque de diferentes aspectos do comportamento e da estrutura do software de simulação.

2.7 LabView

O LabView é um ambiente de desenvolvimento gráfico que permite a criação de aplicações de medição, teste ou controle de dispositivos de uma maneira rápida e econômica por já possuir uma vasta biblioteca que permite a interface com sinais do mundo real, análise de dados e o compartilhamento de resultados através de uma interface amigável, pela geração de relatórios ou por meio de comunicação por redes como a web, por exemplo. (LabView FAQ, 2007).

Ao invés de uma arquitetura de programação seqüencial, o LabView utiliza uma estrutura muito semelhante a um diagrama de blocos ou um fluxograma onde múltiplas operações podem ser realizadas em paralelo, facilitando a programação de múltiplas tarefas.

As vantagens deste ambiente são: possibilidade de visualizar o fluxo de dados entre os elementos do programa através das conexões existentes; e disponibilidade de funções próprias para aquisição e tratamento de dados, controle de instrumentos e apresentação desses dados.

Como o propósito do projeto é desenvolver um software que simula os sinais gerados pela planta de propulsão do navio e um software de IHM para a visualização

dos sinais do sistema, o LabView se mostrou adequado como ferramenta deste trabalho dispondo inclusive de bibliotecas para comunicação de placas de aquisição de sinais com controladores.

2.8 CLP

Um controlador lógico programável (CLP) é um dispositivo de controle baseado em um microcontrolador desenvolvida para instalações industriais (controle de máquinas e processos industriais). Consiste em uma CPU com memória e interfaces de I/O agrupadas em um “pacote” ou montados na forma de módulos (I/O, processador, fonte de alimentação e rede) que se comunicam através de um barramento específico de cada fabricante.

A operação de um CLP é realizada da seguinte forma: inicialmente coletam-se os sinais de entrada, em seguida processa-se o software (programa com algoritmo de controle) armazenado na memória e, por fim, os resultados finais são enviados às saídas. A este processo dá-se o nome de ciclo de processamento.

Segundo Castrucci e Morais (2001) as principais vantagens do uso de um CLP são:

- Uso de uma linguagem de programação de alto nível
- Confiabilidade operacional: as alterações são feitas no software, necessitando de pouca ou nenhuma alteração da fiação elétrica.
- Uso de funções avançadas que permitem realizar grande variedade de tarefas de controle.

2.9 Metodologia de desenvolvimento do sistema supervisório

A metodologia que serviu de base para o desenvolvimento do trabalho foi a descrita em Miyagi (1996). Essa metodologia (vide Figura 6) foi considerada pois ela “estabelece uma forma organizada e produtiva de combinar os desenvolvimentos em temas como linguagens de programação para controle, interação entre o controlador e o objeto de controle, técnicas de modelagem para concepção e análise de sistemas,

avaliação funcional de instalações e técnicas para projeto de sistemas que facilitem a identificação de anormalidades” (Miyagi, 1996).

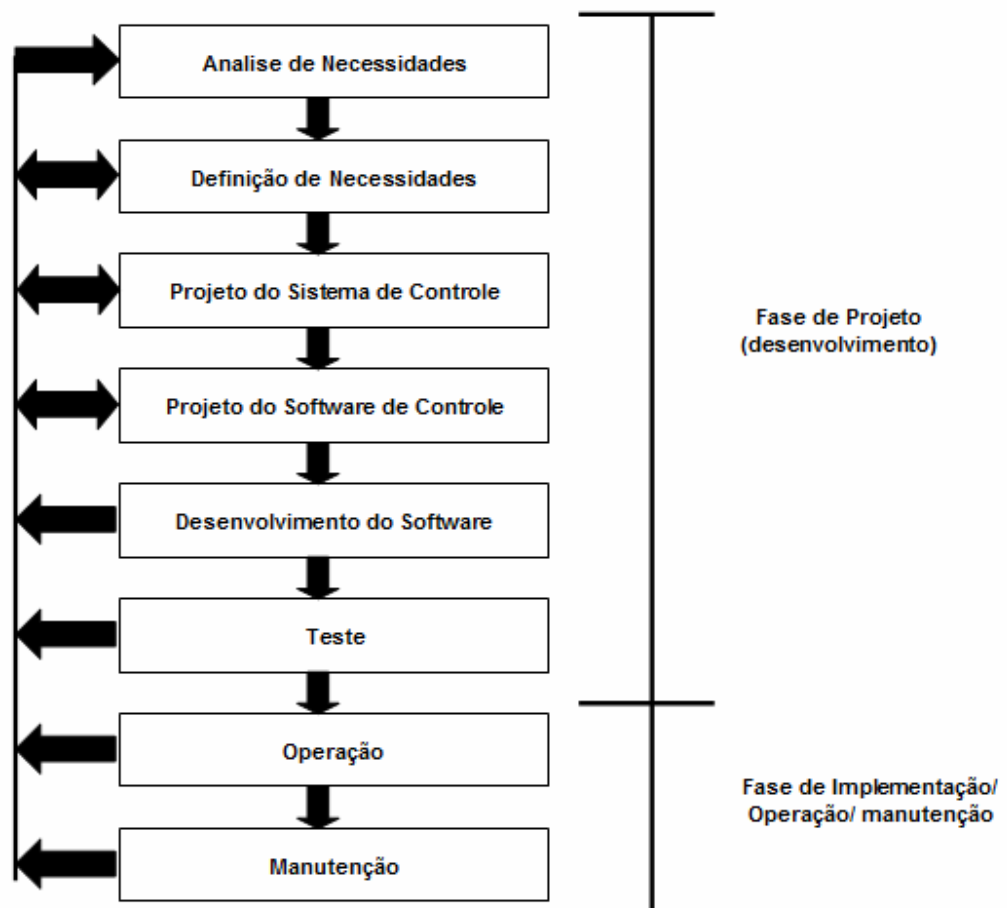


Figura 6 – Metodologia de projeto de sistema de controle (Fonte: Miyagi, 1996)

2.9.1 Análise das necessidades

Dependendo do tipo de relacionamento que uma determinada pessoa possui com o sistema (usuário, administrador, operário etc), ela pode ter uma visão diferente do mesmo e, em alguns casos, ambígua. Dessa forma a análise de necessidades tem por objetivo identificar a finalidade do sistema; compreender o objeto de controle; e interpretar as necessidades de todos os que estão direta ou indiretamente envolvidos com o mesmo. Dessa forma se pode organizar os conhecimentos sobre o dispositivo de controle e sobre as funções de controle e ou supervisão.

2.9.2 Definição das necessidades

Nesta fase realiza-se uma análise em três partes: análise do objeto de controle, análise do dispositivo de controle e análise das funções de controle e ou supervisão. Essas três partes são interdependentes porque as funções de controle e ou supervisão possuem ligações tanto com o objeto de controle como com o dispositivo de controle que é responsável pela realização dessas funções.

Desta forma, as informações levantadas em 2.9.1 são utilizadas para definir os requisitos do sistema, ou seja, especificar as relações entre objeto de controle, dispositivo de controle e as funções de controle e ou supervisão.

Os documento gerados nessa fase têm a finalidade de:

- Identificar as especificações do projeto do sistema de controle e seu software;
- Gerar um modelo para a avaliação da qualidade na fase de testes; e
- Gerar uma parte do manual de operações e de manutenção do sistema.

2.9.3 Desenvolvimento do software de controle

Nesta fase desenvolve-se o software de controle que é utilizado no Controlador Programável (CP) baseando-se nos documentos gerados na fase de definição de necessidades. Isto é, com base na definição das necessidades são desenvolvidos os modelos que representam tanto a estrutura como o funcionamento dinâmico do sistema. Estes modelos que nestes casos são baseados na técnica do PFS/MFG representam as especificações das estratégias de controle que posteriormente são convertidas em um programa de CPs. Estes programas podem ser escrito através de linguagem padronizadas para CPs que incluem o diagrama ladder, lista de instruções e até o SFC (Sequential Flow Chart) que pode ser diretamente derivado do grafo MFG.

2.9.4 Teste

A fase de teste consiste em executar no dispositivo de realização de controle o programa de controle projetado e desenvolvido com o intuito de validar e verificar se os requisitos do sistema foram atendidos.

De acordo com o procedimento adotado, este teste é iniciado sobre os modelos que representam o sistema de controle e ou supervisão.

A validação, segundo Diagne, Estrailer (1997) apud Kaneshiro (2006), consiste em assegurar que o modelo proposto para um sistema representa adequadamente suas funcionalidades. É a prova que determina se o modelo atende aos requisitos do projeto e se o sistema se comporta de acordo com a sua especificação. Isto garante que a especificação é completa, coerente e cumpre os objetivos fixados.

A verificação, segundo Kaneshiro (2006), é a prova de que a semântica interna do modelo é correta segundo a especificação do sistema modelado. Por exemplo, as propriedades em geral investigadas nos modelos são deadlock, estabilidade de seu comportamento dinâmico, existência de certos estados etc.

Há uma grande variedade de técnicas que permitem a análise do sistema como redes de Petri, autômatos finitos, teoria de fila, cadeia de Markov, entre outras. Porém a técnica aqui adotada para a validação e verificação do projeto é a simulação pois dentre as diversas vantagens citadas em Miyagi (2006), esse procedimento permite imitar o comportamento do sistema em um certo intervalo de tempo e sob certas condições específicas de operação cuja análise formal é impossível na prática.

Cabe ressaltar que a simulação para propósitos de validação de um modelo produz um conjunto limitado de estados do sistema e, assim, a simulação é efetiva para identificar a presença, mas não necessariamente a ausência de erros do modelo. E, pela metodologia adotada, se houver algum problema, deve-se voltar às etapas anteriores para se fazer às correções necessárias.

3 PROJETO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO

Neste capítulo, apresentam-se os principais passos e resultados da aplicação da metodologia no desenvolvimento do sistema supervisório da planta de propulsão de um navio varredor.

3.1 *Análise de necessidades*

3.1.1 Identificação do objetivo final do sistema

O sistema supervisório no presente caso deve implementar a automação e o gerenciamento global da planta de propulsão do navio varredor de modo que um único operador tenha condições de interagir com as principais variáveis da planta a partir de um local remoto.

3.1.2 Estudo do objeto de controle, equipamentos e instalações

A planta propulsora é constituída basicamente de um motor diesel que gera um movimento rotativo. Este é transformado na engrenagem redutora e passado ao eixo do hélice, responsável pelo deslocamento do navio. Completando a planta, há o leme que controla a direção do movimento e o odômetro, sensor responsável pela indicação da velocidade do navio. A descrição da planta pode ser vista na Figura 7.

O leme possui um conjunto de bombas hidráulicas, que são alimentadas pelas tensões de 110V e 220V, responsáveis pelo seu acionamento e possuem uma faixa de operação entre 30° BE e 30° BB.

O hélice tem uma faixa de operação do passo compreendida ente -15° e 50°. Com o passo de 0°, o navio permanece parado. Com o passo positivo, realiza o seu deslocamento normal e com o negativo, avança no sentido contrário.

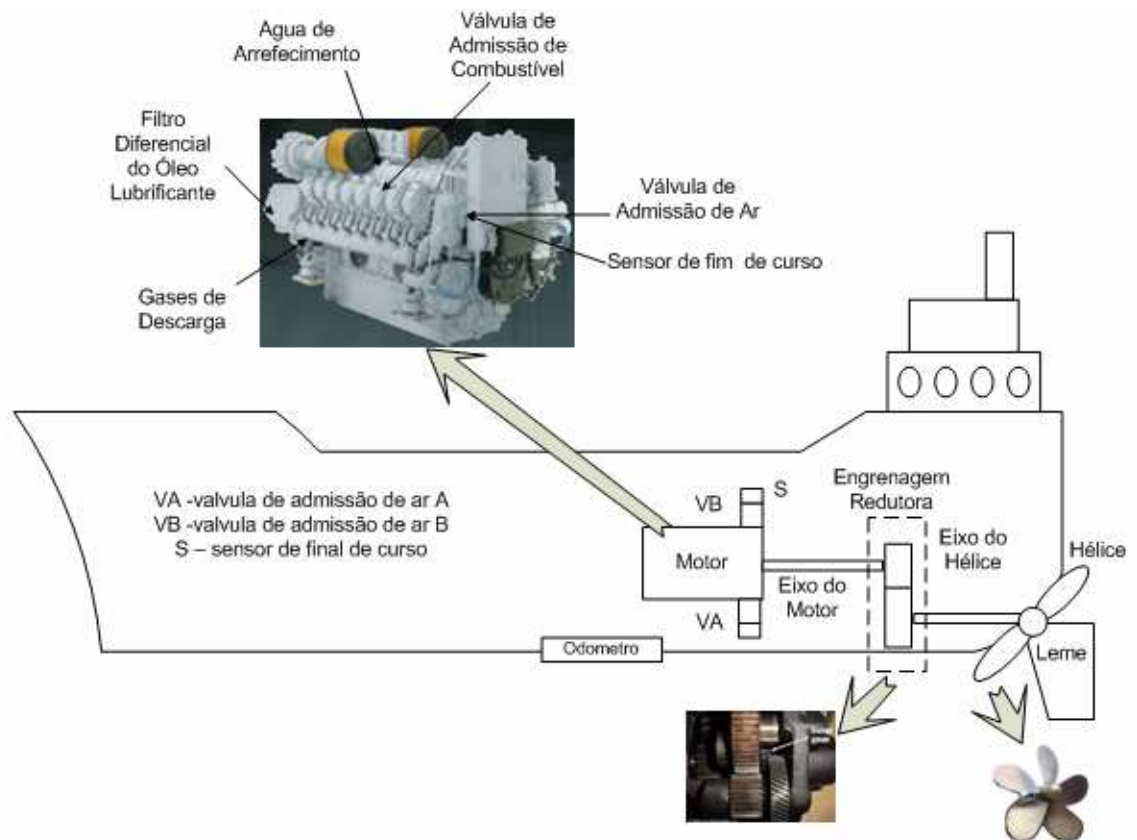


Figura 7 Modelo da Planta Propulsora do navio.

A engrenagem redutora transmite a rotação do motor, com uma taxa menor, para o eixo que é acoplado ao hélice. Esta engrenagem é alimentada com um óleo lubrificante que deve ser constantemente monitorado para que ela não trabalhe a seco.

O motor possui 16 válvulas de admissão de combustível e 2 de admissão de ar (VA e VB). A sua partida é realizada por um dispositivo pneumático que injeta ar nas válvulas proporcionando o início do movimento do motor. Após atingir uma determinada velocidade, inicia-se o processo de combustão e o controle da velocidade é feita pela maior ou menor injeção de combustível. Os gases resultantes da queima são conduzidos até os pontos de exaustão e o resfriamento do motor é feito por um circuito de água salgada que o percorre.

O circuito de óleo do motor compreende 2 sistemas de óleo chamados de “circuito de óleo de lubrificação” e “circuito de óleo para arrefecimento dos êmbolos” que têm como função lubrificar as partes moveis e resfriá-las.

3.1.2.1 Intertravamentos

O sistema deve considerar os seguintes intertravamentos:

Intertravamento de partida: não se deve permitir que o motor seja acionado caso a engrenagem redutora esteja acoplada ao motor. Após a partida, a engrenagem pode ser acoplada e desacoplada normalmente.

Intertravamento de não simultaneidade: o motor não pode ser acionado com a bomba de pré-aquecimento de óleo lubrificante ligada e após o acionamento do motor, essa bomba não pode ser acionada.

Intertravamento de processo/emergência: o motor pode ser parado no modo em emergência quando comandado pelo operador do sistema ou quando a sua rotação alcançar 2000rpm ou quando a pressão diferencial do filtro de óleo atingir 5 Kgf/mm². Nessas condições, as válvulas de admissão de ar do motor devem ser fechadas (“VA” e “VB”), fazendo com que o motor pare de funcionar.

3.1.2.2 Ambiente físico de operação

Todos os equipamentos devem ser capazes de operar no modo normal ou no modo automático de forma contínua, sem qualquer perda de desempenho ou de eficiência, nas seguintes condições ambientais:

- a) Temperatura no verão:.....até 65 °C
- b) Temperatura no inverno:.....até 0 °C
- c) Pressão atmosférica:..... até 1013 mbar
- d) Umidade relativa do ar:..... até 80 %
- e) Banda:..... ± 15 graus (para qualquer dos bordos);
- f) Trim:..... ± 5 graus (pela proa e pela popa);
- g) Jogo:..... ± 26 graus (período de 11 s); e
- h) Caturro:..... ± 10 graus (período de 5 s).

Com base nas funções de controle e supervisão envolvidos e dados a análise do objeto de controle obteve-se a lista dos dispositivos de detecção, atuação, monitoração e comando discriminados nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1 - Lista das variáveis medidas

Motor	EA	ED	Engrenagem Redutora	EA	ED
Temp. Óleo Lubrificação	X		Temp. Óleo Lub. da Redutora	X	
Temp. Água de Refrigeração	X		Pressão Óleo Lub. da Redutora	X	
Temp. Coleta dos Gases	X		Estado acoplamento		X
Temp. Saída dos Gases (13 ptos)	X		Hélice		
Pressão do Óleo Lub.	X		Indicação do Passo	X	
Pressão Óleo de Resf. Embolo	X		Eixo		
Pressão Água de Refrigeração	X		Velocidade do Eixo	X	
Pressão Diferencial Filtro Óleo	X		Odômetro		
Temp. Ar de Carga	X		Velocidade do Navio	X	
Pressão Ar de Carga	X		Leme		
Pressão Ar de Manobra	X		Indicação de grau do Leme	X	
Pressão do Ar de Partida	X		Alimentação 220V do Leme		X
Rotação do Motor	X		Alimentação 115V do Leme		X
Chave de fim de curso de VA		X			
Chave de fim de curso de VB		X			
Estado Botão Pré-Aquecimento		X			
Estado Botão de Partida do Motor		X			
Estado Botão de Parada do Motor		X			
EA – Entrada Analógica (total 31) ED – Entrada Digital (total 8)					

Alguns sensores, que são de vital importância para o funcionamento da planta deverão ter uma apresentação redundante de suas informações, isto é, além de terem os seus valores indicados em um display remoto, deverão possuir um mostrador local com a indicação visual da variável medida.

Tabela 2 - Lista dos dispositivos de atuação

Atuadores
Solenóide para fechamento da Válvula de Admissão de ar A
Solenóide para fechamento da Válvula de Admissão de ar B

Tabela 3 - Lista dos Dispositivos de monitoração

.Monitoramento
Display de observação

Buzina de alarme
Buzina de parada em emergência

Tabela 4 - Lista dos dispositivos de Comando

Comando
Botoeira de reconhecimento de alarme
Botoeira de reconhecimento de falha
Botoeira de parada em emergência
Alavanca para abertura da Válvula de Admissão de ar A
Alavanca para abertura da Válvula de Admissão de ar B

3.1.3 Dispositivo de controle e sua instalação

Baseando-se nos dados levantados do objeto de controle e seus intertravamentos realiza-se um estudo sobre o dispositivo de controle e sua instalação, isto é, quantitativamente tem-se que o controlador deve ter as seguintes características:

- a) módulo para 40 entradas analógicas: as 31 descritas na Tabela 1 e mais alguns reservas para futuras inclusões;
- b) módulo para 12 entradas digitas;
- c) módulo para 5 saídas analógicas;
- d) módulo de alimentação de 110V;
- e) módulo de interface de comunicação por rede TCP/IP;
- f) o tempo de processamento e apresentação dos dados deverá ser $\leq 0,5s$ entre a leitura da variação do valor no campo, processamento dos dados e respectiva saída de dados nas interfaces, mesmo que ocorram alterações nos valores de mais de uma variável simultaneamente; e
- g) os sinais transmitidos devem ter precisão de $\pm 2\%$ do valor da grandeza física medida no campo e acurácia de $\pm 1\%$ do valor medido no campo;

Além evidentemente dos dados citados no texto, foram considerados normas e padrões existentes para plantas similares.

3.1.4 Levantamento e análise das funções de controle

Considerando-se que a tarefa de selecionar a quantidade de graus aplicada ao leme para a manobra do navio; e a rotação do hélice conjuntamente com o seu passo e

dessa forma obter a velocidade desejada continuará a ser feita de forma local, isto é, independente do sistema supervisor, assim como o acionamento e a parada do motor.

O sistema supervisor deve monitorar as variáveis do sistema de propulsão e emitir alarme quando essas atinjam seus valores críticos. Esse alarme deverá ser de forma visual e sonora.

O sistema supervisor não deve interferir no controle da rotação do motor, mas deve monitorá-la e interromper o funcionamento do motor no caso de sobre-velocidade ou alta pressão diferencial do filtro de óleo lubrificante, agindo como um intertravamento de segurança. Sensores de fim de curso devem ser posicionados juntos às válvulas de admissão de ar, para verificar se o comando foi executado corretamente.

Os dados monitorados deverão ser armazenados em um banco de dados.

O sistema supervisor deve disponibilizar recursos para o usuário exercer as seguintes funções: emitir o sinal de parada para o motor, monitorar os sinais através de um display, desabilitar o sinal sonoro oriundo dos alarmes e acessar o banco de dados.

Após o estudo do funcionamento da planta, determina-se o diagrama geral da instalação (vide Figura 8) e se estrutura as funções de controle e supervisão na forma de um diagrama onde a coluna mais a direita descreve o procedimento para se atingir o objetivo que se encontra na coluna a sua esquerda (vide Figura - 9).

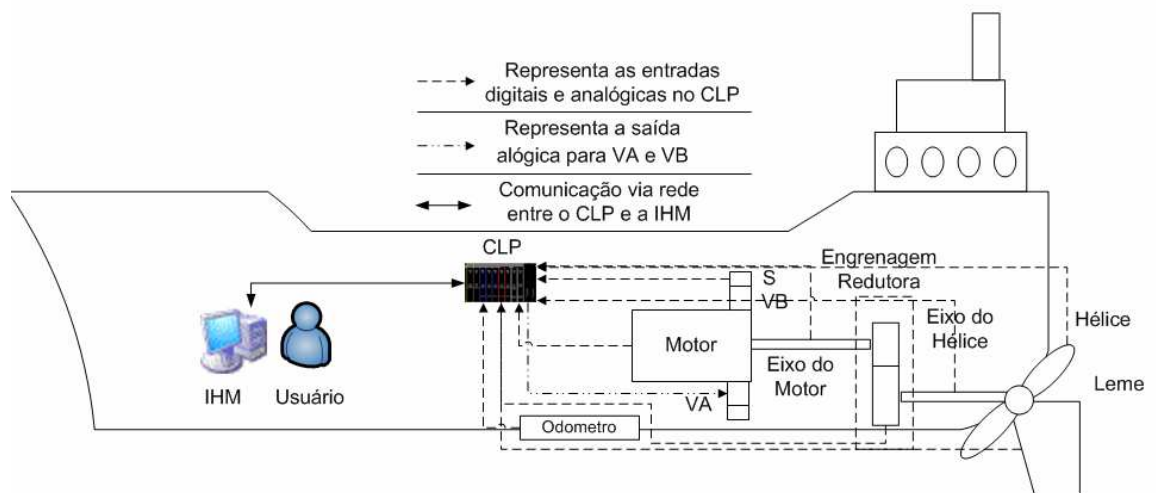


Figura 8 - Diagrama Geral da Instalação

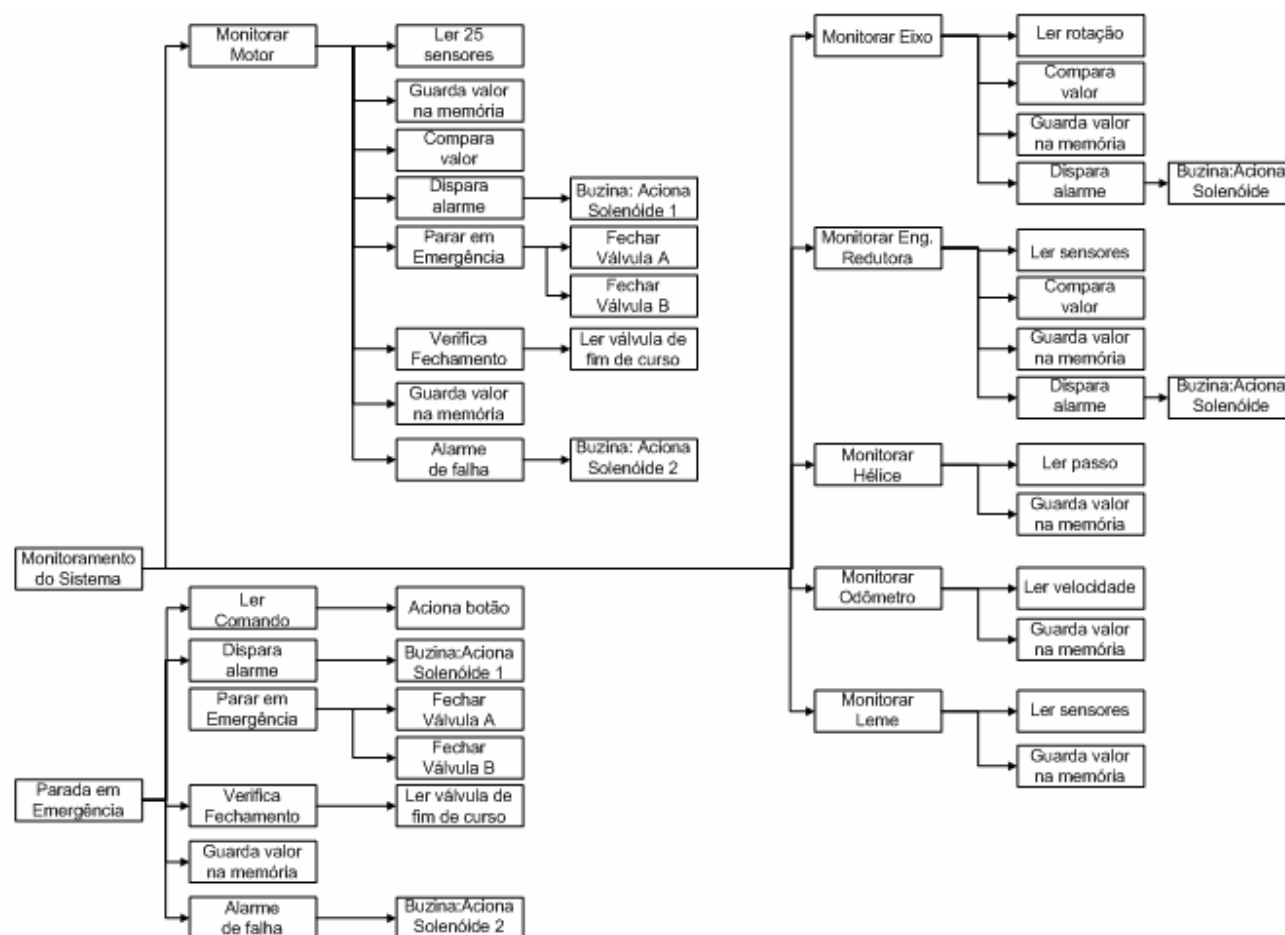


Figura - 9 - Estruturação das funções referentes ao sistema

3.2 Definição das necessidades

3.2.1 Definição das funções de controle

Com base no levantamento de dados realizado, verifica-se que o sistema supervisorio deverá executar basicamente três funções: monitorar as grandezas do sistema e processá-las, realizar a parada em emergência do motor a qualquer momento que isso for solicitado pelo operador e verificar se houve falha durante a operação de fechamento das válvulas de admissão de ar.

3.2.1.1 Função de medição e sinalização de alarme

Como estratégia de processamento das variáveis do objeto de controle, foi adotado 3 procedimentos distintos:

1º procedimento - para grandezas que são somente lidas e disponibilizadas para o operador –as variáveis envolvidas são chamadas de tipo 1 (Tabela 5).

Tabela 5 – Lista das variáveis tipo 1.

Classificação	Dispositivos
Detectores	Posição e estado do leme: indicação de grau e da alimentação de 115V AC e 220V AC. No hélice: rotação do eixo e passo No casco: odômetro de velocidade. Na engrenagem redutora: estado do acoplamento No motor: indicação do seu estado e indicação do estado do pré-aquecedor.

2º procedimento – para variáveis críticas que, ao se afastarem de sua faixa padrão de operação, devem emitir um sinal de atenção – as variáveis envolvidas são chamadas de tipo 2 (Tabela 6).

Tabela 6– Lista das variáveis tipo 2.

Classificação	Dispositivos
Detectores	Na engrenagem redutora: temperatura e pressão do óleo lubrificante. No motor: temperatura óleo Lubrificante, do gás de descarga, da água de refrigeração, no coletor de gases, do ar de carga e da saída dos gases de cada pistão (16 pontos); Pressão óleo lubrificante antes do filtro, da água de refrigeração, do ar de carga, do ar de manobra, do ar de partida e do óleo de resfriamento do êmbolo.

Monitoração	Buzina e indicadores de alarme do painel
Comando	Botoeira de reconhecimento de alarme

3º procedimento – para grandezas que quando atingem níveis que possam comprometer a operação do sistema, deve-se automaticamente providenciar o fechamento das válvulas de admissão de ar do motor. Concomitantemente deva-se acionar um alarme sonoro e um visual. Isso ocorre quando a rotação do motor alcança 2000 rpm ou quando a pressão diferencial do filtro de óleo chega a 5Kgf/mm² – as variáveis envolvidas são chamadas de tipo 3 (Tabela 7).

Tabela 7– Lista das variáveis tipo 3.

Classificação	Dispositivos
Detectores	Pressostato do filtro de óleo lubrificante e tacômetro.
Atuadores	Solenóide das válvulas de admissão de ar do motor
Monitoração	Buzina e indicadores de alarme do painel
Comando	Botoeira de reconhecimento de alarme e alavanca manual de abertura das válvulas de admissão de ar

3.2.1.2 Função de parada em emergência

É realizada quando o operador aciona o dispositivo de comando para parada em emergência.

Toda vez que essa ação é realizada é enviado um sinal para o fechamento das válvulas de admissão de ar dos motores, executando a parada dos mesmos. Feito isto, essas válvulas só poderão ser abertas manualmente. As variáveis envolvidas estão na Tabela 8

Tabela 8– Lista dos dispositivos afetados pela parada em emergência.

Classificação	Dispositivos
Atuadores	Solenóide das válvulas de admissão de ar do motor
Monitoração	Buzina e indicadores de alarme do painel
Comando	Botoeira de reconhecimento de alarme e botoeira de comando de parada

3.2.1.3 Função falha de comando

Nos dois casos que podem ocorrer a parada em emergência do motor, o controlador local envia um sinal para as válvulas de admissão de ar que deverão ser

fechadas em um tempo de até 3 segundos. Passado esse tempo, caso a chave de fim de curso não indique o fechamento das válvulas, um alarme de falha de comando deve ser emitido. As variáveis envolvidas estão na Tabela 9.

Tabela 9- Lista dos dispositivos afetados pela função falha de comando.

Classificação	Dispositivos
Detectores	Chave de fim de curso
Monitoração	Buzina e indicadores de alarme do painel
Comando	Botoeira de reconhecimento de falha.

3.2.2 Definição do fluxo das funções de controle

O fluxo das funções de controle detalha os procedimentos realizados pelo sistema supervisor e a sua interface com os dispositivos de comando, monitoração, detecção e atuação. A relação entre esses dispositivos é descrita na Figura - 9.

O método adotado para essa descrição foi o PFS/MFG pois permite representar os passos em blocos funcionais (atividades) de diferentes níveis conceituais admitindo sem dificuldades uma representação modular e estruturada, isto é, os passos descritos em nível conceitual mais alto (PFS) podem ser gradativamente detalhados. (Miyagi, 1996. p168).

Dessa forma adotou-se uma abordagem top-down, ou seja, inicialmente compreendeu-se as funções que o sistema supervisor deve executar para posteriormente detalhar cada uma delas. A Figura 10 mostra as quatro funções realizadas pelo sistema e a relação de paralelismo entre elas.

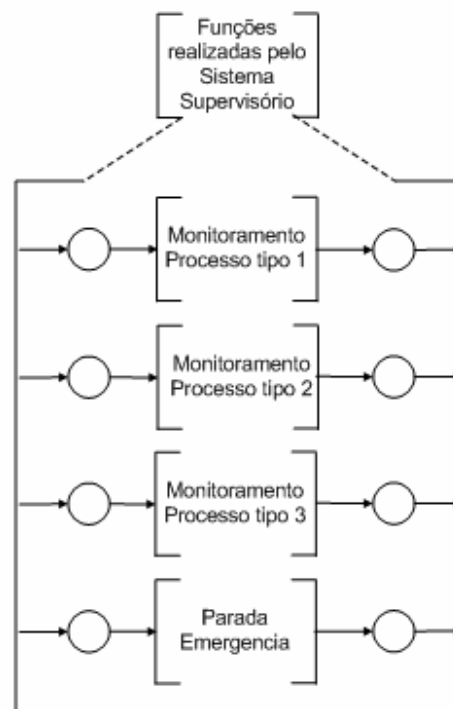


Figura 10- Funções realizadas pelo sistema supervisório descritas através do PFS.

A atividade [Parada em emergência] é composta pelas atividades [Processamento do comando] e [Controle de Falha], em uma relação seqüencial, como pode ser visto na Figura 11

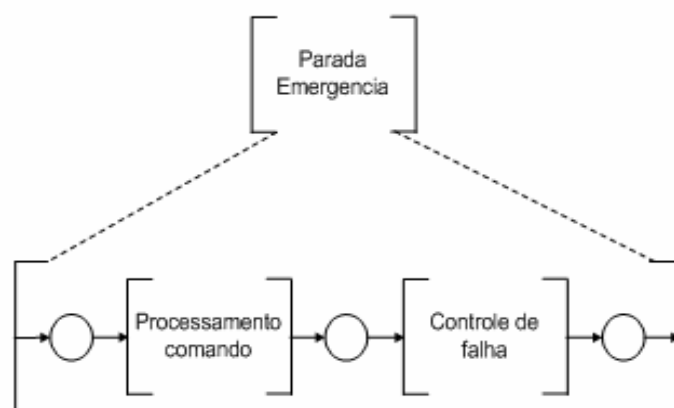


Figura 11 Detalhamento da Atividade Parada em Emergência com o uso do PFS.

Na Figura 12 tem-se o detalhamento da atividade de [Processamento de Comando] em MFG, onde verifica-se que quando o botão de parada em emergência é

acionado pelo operador, a transição t1 é disparada e coloca a marca no box “comando acionado”, isto é, o controlador deve enviar um sinal representado através do arco habilitador para as válvulas de admissão de ar comandando o seu fechamento.

Na Figura 13 tem-se o detalhamento da atividade [controle de falha] em MFG, onde se verifica que quando o box “temporizador” recebe a marca, ele aguarda por três segundos. Passado esse tempo o box “verificação” recebe a marca e verifica o estado da chave de fim de curso, que detecta o fechamento ou não das válvulas de admissão de ar. Em caso negativo, o box “falha” recebe a marca e envia um sinal através do arco habilitador para acionamento dos alarmes sonoro e visual.

A descrição das demais atividades são apresentadas no apêndice B.

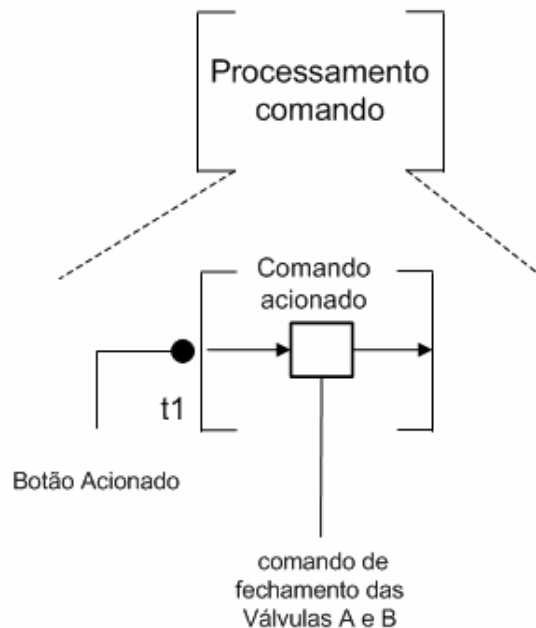


Figura 12– Descrição da atividade [Processamento do comando] com o uso do MFG

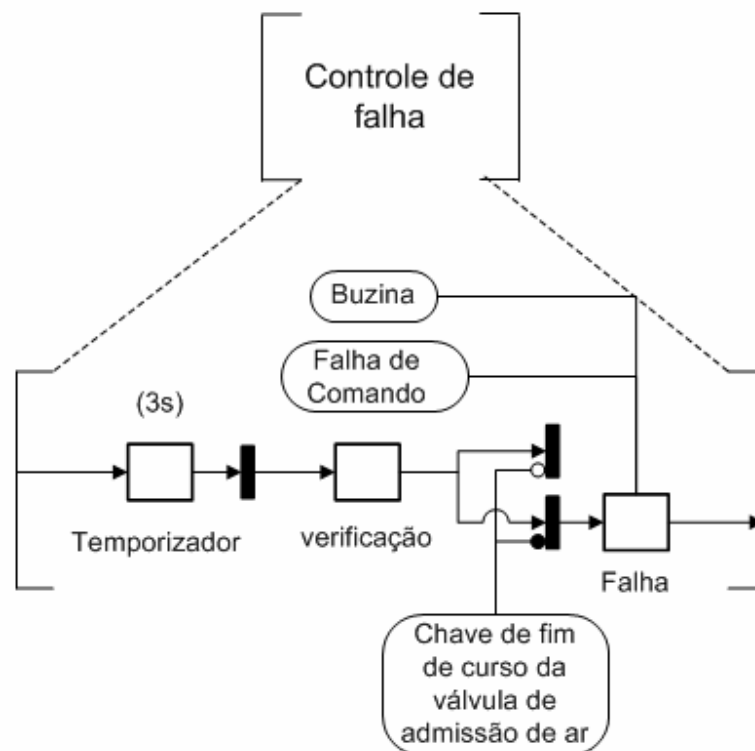


Figura 13- Descrição da atividade [Controle de Falha] com o uso do MFG

3.3 Desenvolvimento do software de controle

Com base nos requisitos estabelecidos e nos modelos estruturais e funcionais desenvolvidos, derivou-se o software de controle em linguagem Ladder por essa ser uma linguagem aceita praticamente em todos os tipos de CP.

No desenvolvimento do programa de controle considerou-se os seguintes tipos de variáveis envolvidos:

- Variáveis tipo 1 - para essas variáveis, o software as lê e as armazena na memória
- Variáveis Tipo 2 - A programação para as variáveis tipo 2 é mostrada na Figura 14. Inicialmente o valor é comparado, e se maior que este valor crítico, aciona-se a buzina e fechamento das válvulas de admissão de ar. A qualquer momento pode-se reconhecer o alarme através dos botões de reconhecimento e dessa forma cessar a ação da buzina.

- Variáveis Tipo 3 - A programação para as variáveis tipo 3 é mostrada na Figura 15. Inicialmente o valor é comparado com um valor crítico pré-estabelecido, e se maior que este, aciona-se a buzina e atua-se no fechamento das válvulas de admissão de ar. Após o comando de acionamento das válvulas, inicia-se um contador para verificar se a válvula foi realmente fechada. Se passado o tempo pré estabelecido, e o sensor não indicar o fechamento devido da válvula, aciona-se a buzina 2. A qualquer momento pode-se reconhecer o alarme através dos botões de reconhecimento e dessa forma cessar a ação da buzina.
- Parada em emergência - A programação para as variáveis neste caso é mostrada na Figura 16. Nessa função pode-se acionar o botão de emergência a qualquer momento e dessa forma fechar as válvulas de admissão de ar e acionar a buzina. Após o comando de acionamento das válvulas, inicia-se um contador para verificar se a válvula foi realmente fechada. Se passado o tempo pré estabelecido e o sensor não indicar o fechamento devido da válvula, aciona-se a buzina 2. A qualquer momento pode-se reconhecer o alarme através dos botões de reconhecimento e dessa forma cessar a ação da buzina.



Figura 14 – Programação para variável tipo 2

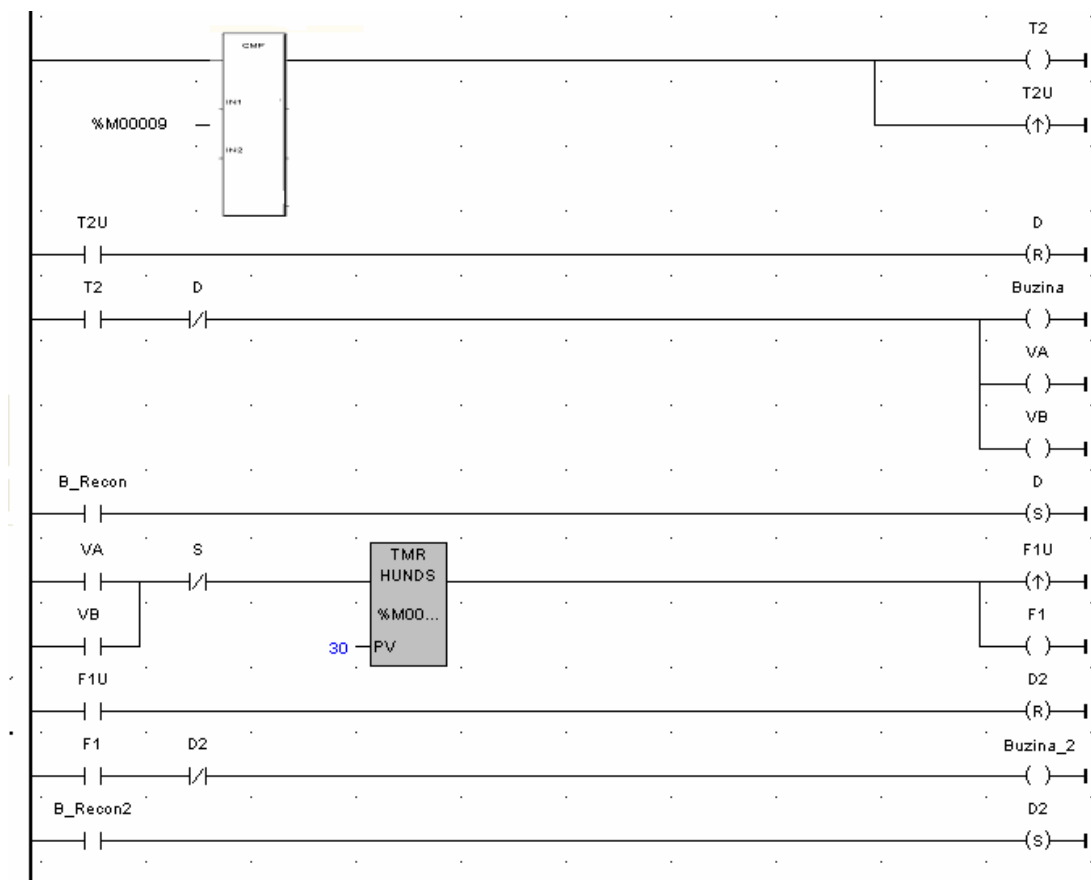


Figura 15 - Programação para variável tipo 3

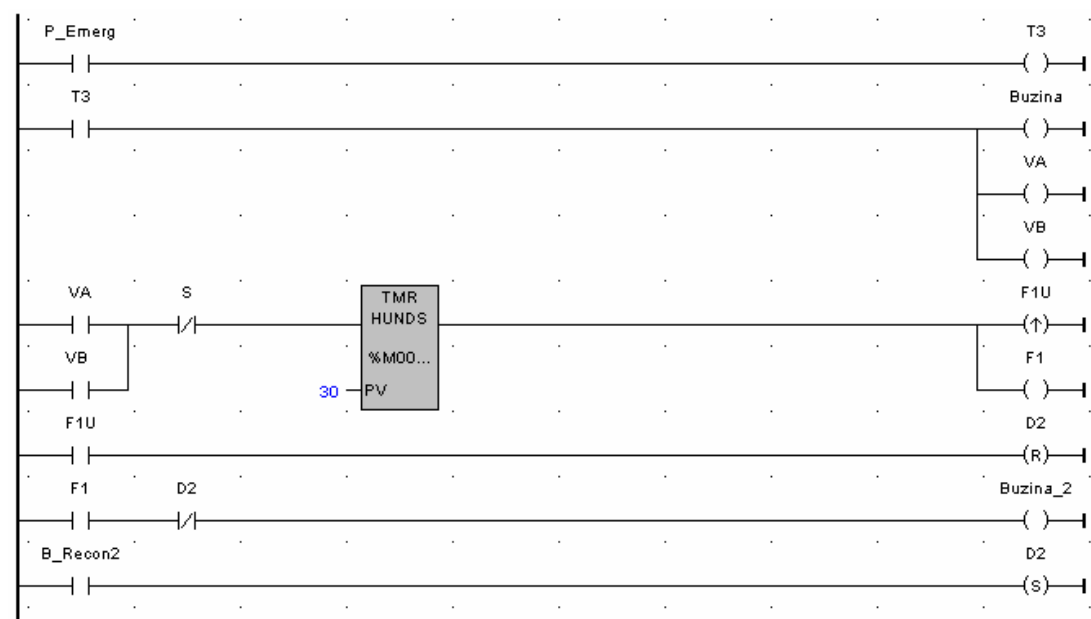


Figura 16 – Programação para Parada em emergência.

4 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO

Este capítulo descreve o ambiente de simulação implementado para analisar e validar o modelo das funções de controle desenvolvido para o sistema supervisório.

4.1 Estrutura geral

O ambiente de simulação considerado é constituído por um micro computador que executa um aplicativo que simula o comportamento do objeto de controle. Os sinais de entrada e saída são interfaceados deste microcontrolador (simulador do objeto de controle) com um controlador programável (CLP) através de placas de I/O. No CLP é executado o software de controle do sistema supervisório que foi baseado no modelo desenvolvido e descrito no capítulo 3 e, que se comunica através de uma rede com um outro microcomputador que faz o papel da IHM (interface) com o operador.

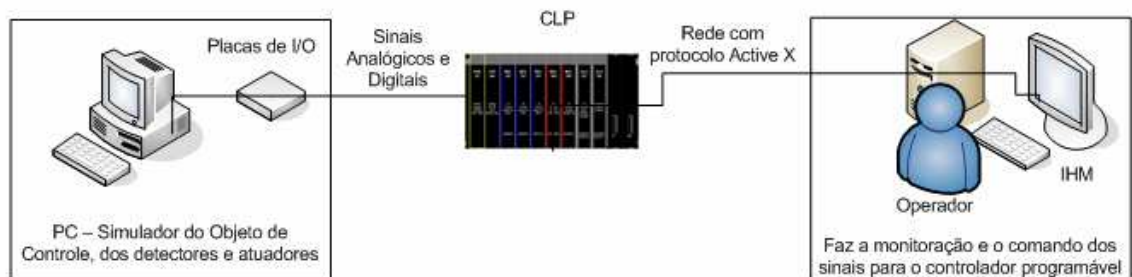


Figura 17– Esquema do simulador do sistema supervisório da planta de propulsão

4.2 Software de simulação da planta de propulsão

4.2.1 Modelagem do Simulador da Planta Propulsora

A essência da arte de modelar consiste em selecionar somente algumas propriedades, entre as várias disponíveis, que são necessárias e suficiente para descrever um processo de maneira acurada de acordo com o objetivo do modelo (VAN DEN BOSCH; VAN DER KLAUW, 1994).

Para a concepção do software de simulação da planta propulsora foi adotado o UML devido a sua propriedade de ser independente da linguagem de implementação e fornecer uma descrição visual expressiva através de seus diagramas e permitindo, assim, um fácil entendimento do software.

O UML possui uma limitação quanto a executabilidade do sistema, ou seja, seus diagramas não são próprios para verificar o comportamento do sistema atende plenamente as especificações. Assim sendo, foi considerada a rede de Petri para modelar e validar a dinâmica do software de simulação da planta.

Para a modelagem da planta, os seguintes diagramas foram utilizados: diagrama de classe, de caso de uso, de atividade, de estado e de sequência. Complementando a representação, a rede de Petri foi introduzida para descrever o comportamento dinâmico da planta.

4.2.1.1 Atividade 1 - Definição dos Casos de Uso

O caso de uso representa uma funcionalidade oferecida pelo software de simulação da planta e o diagrama de caso de uso agrupa o conjunto de casos de uso, dando uma visão do que o software de simulação faz e não de como. Assim o diagrama de caso de uso auxilia no entendimento dos requisitos funcionais do software de simulação, representando também quem ou o que interage com ele.

O diagrama da Figura 18 mostra as atividades que podem ser realizadas pelo usuário na operação do software de simulação da planta.

A explicação de cada caso de uso encontra-se no Apêndice C.

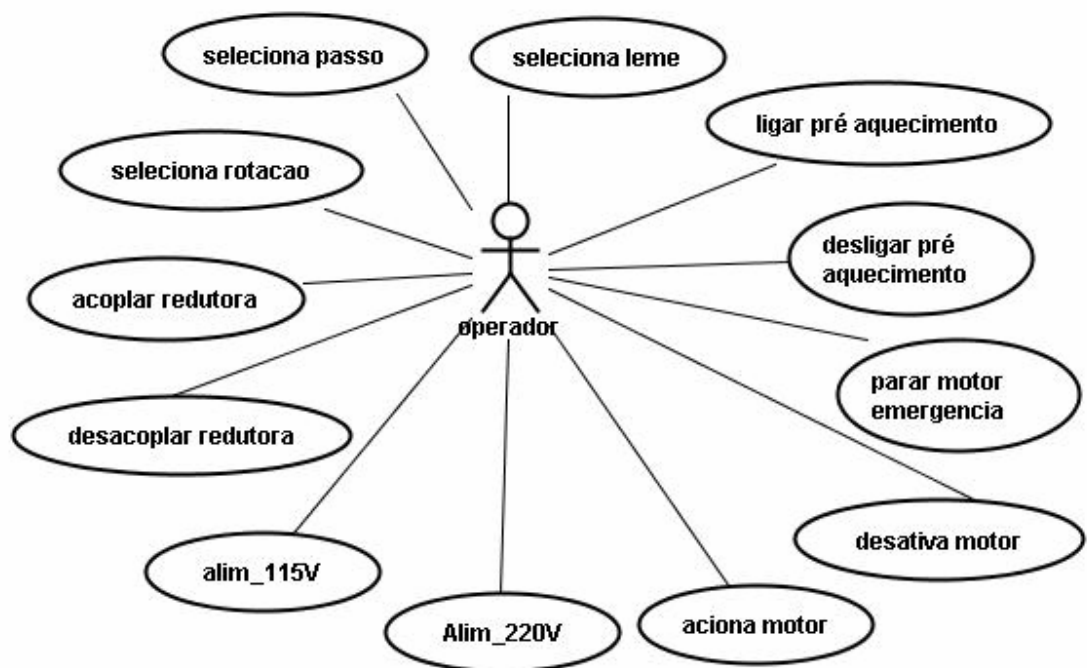


Figura 18 – Diagrama de caso de uso para a planta propulsora.

4.2.1.2 Atividade 2 - Construção dos diagramas de atividade

O diagrama de atividades é utilizado para descrever cada uma das funcionalidades executadas pelo software de simulação, ou seja, cada caso de uso.

A Figura 19 é representa o diagrama de atividade do caso de uso “Aciona Motor”.

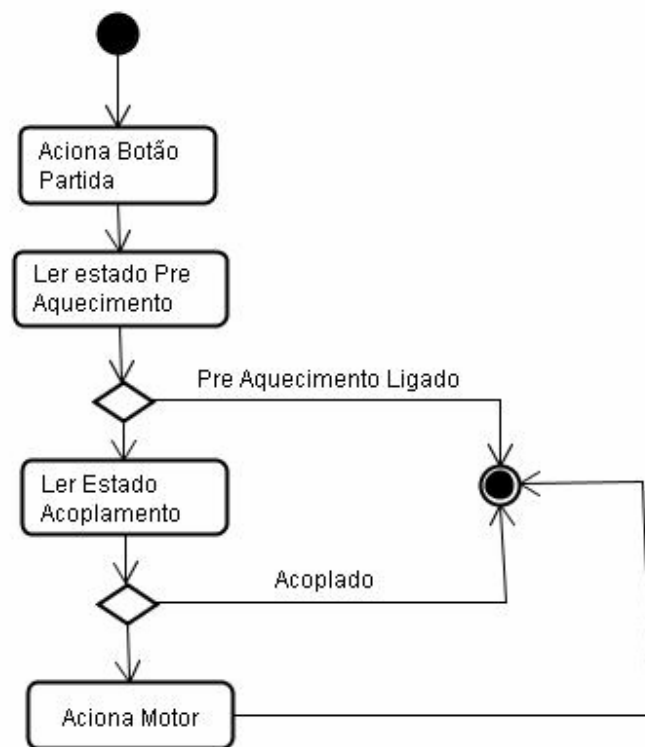


Figura 19 – Diagrama de atividade do caso de uso “Aciona Motor”

4.2.1.3 Atividade 3 - Diagrama de Estado

Os diagramas de estados são utilizados para representar os estados nos quais um objeto pode estar em função da ocorrência de determinados eventos.

Os possíveis estados do motor estão presentes na Figura 20.

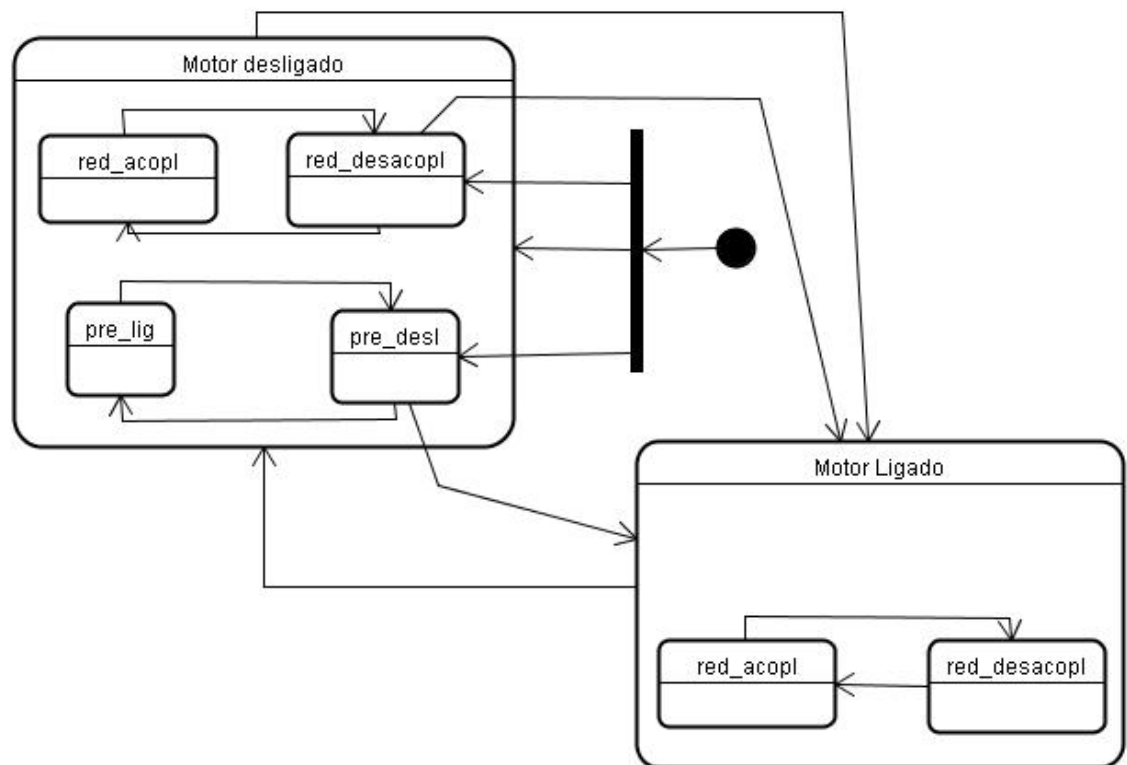


Figura 20 - Diagrama de estados do motor.

Na Figura 20 verifica-se que o software de simulação está sendo iniciado com o motor desligado, com a redutora desacoplada e com o dispositivo de pré aquecimento do óleo lubrificante do motor desligado. Nesse estado de motor desligado, a pré-lubrificação pode ser alterada entre acionada ou não e a redutora, igualmente, pode ser acoplada ou não.

Para se alterar o estado do motor, a pré-lubrificação deve estar desligada e a redutora desacoplada. Com o estado do motor ligado, pode-se somente alterar o estado da redutora, até que este seja desativado.

4.2.1.4 Atividade 4 – Definição das classes

Uma classe é uma descrição de um grupo de objetos com atributos em comum, operações em comum, semântica comum e relacionamento comum com os outros

objetos. “Normalmente os principais candidatos a objetos são as entidades, os recursos e os equipamentos do sistema” (Villani, 2003).

Observa-se que o uso de todos os diagramas de classe são semelhantes e dessa forma apresenta-se aqui somente um dos diagramas (para o caso de uso “Aciona Motor”, Figura 21) com o intuito de demonstrar o procedimento feito sem saturar o presente texto.

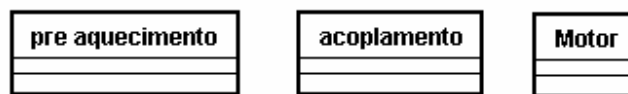


Figura 21– Diagrama de classes para o use case “Aciona Motor”

4.2.1.5 Atividade 5 - Diagrama de seqüência

Um diagrama de seqüência representa a interação entre objetos ao longo do tempo, descrevendo o fluxo de um determinado caso de uso ou de apenas parte dele.

Como no subitem anterior, apresenta-se aqui somente um exemplo de diagrama de seqüência do caso de uso “Aciona Motor”, Figura 22.

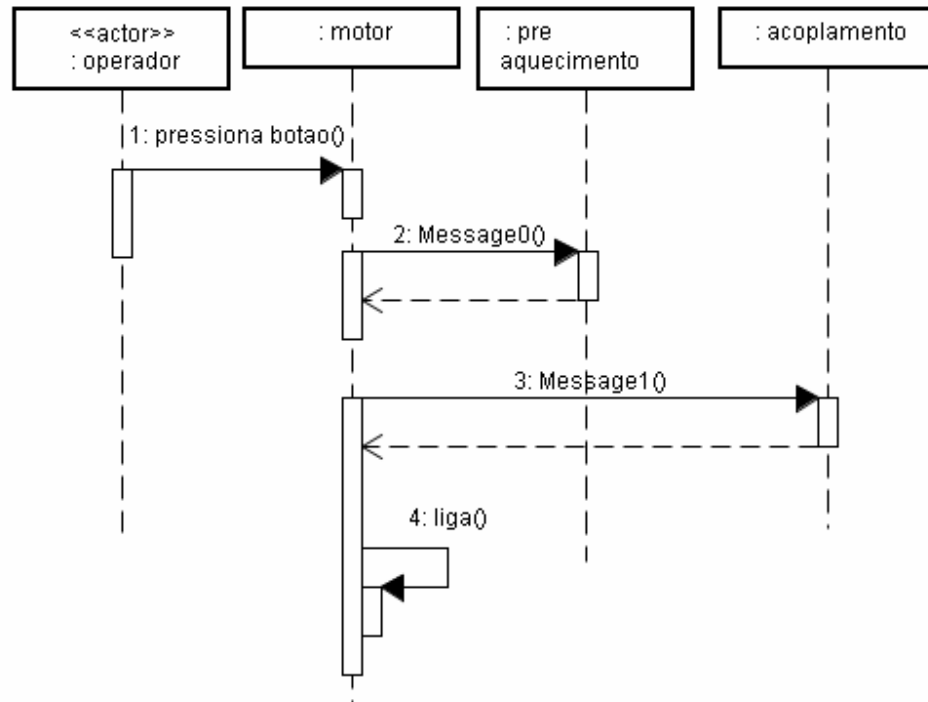


Figura 22 – Diagrama de sequência do caso de uso “Aciona Motor”.

No exemplo da Figura 22, verifica-se que quando o usuário emite um comando de partida do motor a partir acionamento do botão de partida, é verificado se o motor pode ser ligado ou não. Se confirmado, é dada a partida no motor.

A construção dos diagramas de atividade e de sequência leva a identificação dos métodos e atributos necessários a cada classe (Figura 23). Neste exemplo é mostrado o diagrama de classe referente ao caso de uso “Aciona Motor” com os seus métodos e atributos.

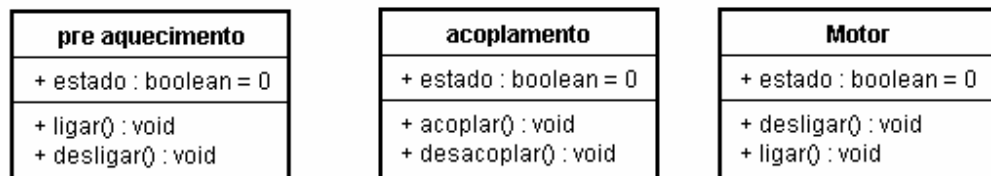


Figura 23 - Métodos e atributos das classes relativa ao caso de uso “Aciona Motor”.

4.2.1.6 Atividade 6 - Construção da rede de Petri para verificação do software de simulação

Os diagrama de atividade consiste no detalhamento de cada caso de uso, porém estes são apresentados estaticamente. Dessa forma, foram desenvolvidas redes de Petri por estas apresentarem de modo mais efetivo o funcionamento dinâmico das partes possibilitando uma decisão mais robusta, eliminando possíveis erros de lógica antes da confecção do software de simulação.

A Figura 24 mostra o caso de uso “Aciona Motor” representado através de uma rede de Petri. Na análise dinâmica realizada utilizando o software HpSim (Manual HPSim, 2007) verificou-se que o motor não pode ser acionado se o pré aquecimento ou o acoplamento estiverem acionados.

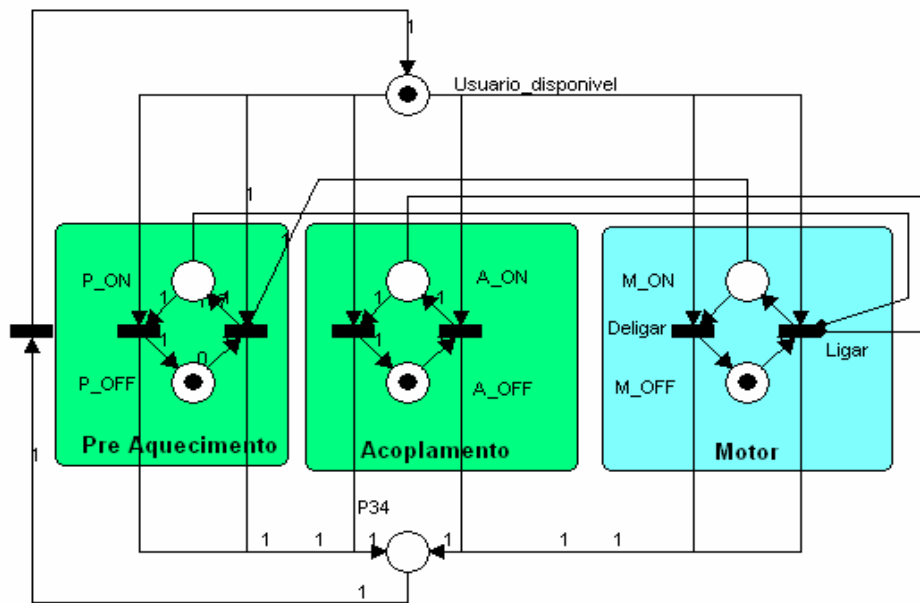


Figura 24 - Diagrama de Petri que representa o caso de uso aciona motor

4.2.2 Software de simulação da planta de propulsão

Para a confecção do software de simulação da planta foi utilizado a plataforma LabView por dispor de recursos visuais, que facilita a construção da interface com o usuário e por apresentar funções próprias para a aquisição e tratamento de dados.

A interface do software de simulação pode ser visto na Figura 25 e o manual de operação é descrito no Apêndice D.

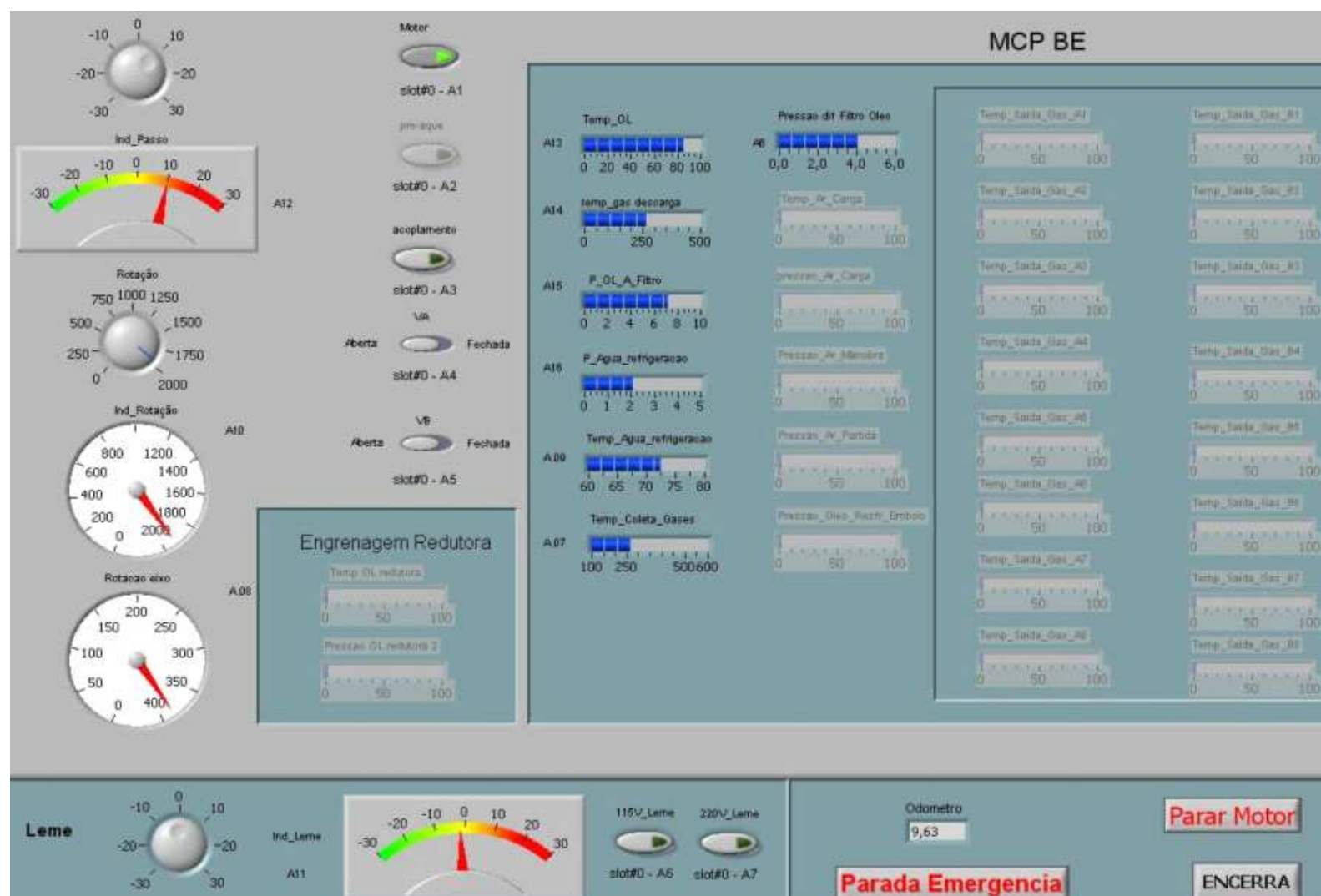


Figura 25 – Tela do simulador da planta de propulsão.

4.2.3 Comunicação do simulador da planta de propulsão com o CLP

As placas de I/O utilizadas para converter os sinais gerados pelo software de simulação da planta em sinais analógicos e discretos capazes de serem processados pelo CLP foram as placas daq 2000 e daq 2003 produzidas pela empresa IOtech (Manual do Programador da IOtech, 2002).

A daq 2003 pode converter 4 saídas digitais em sinais analógicos e a daq 2000 pode trabalhar com 40 entradas e saídas digitais, 2 saídas analógicas e 16 entradas analógicas. Acoplada à saída da daq 2000 há um módulo adaptador, DBK 203, que expande os sinais oriundos de um cabo flat em saídas individuais que são depois acopladas as entradas do CLP. O esquema pode ser visto na Figura 26.

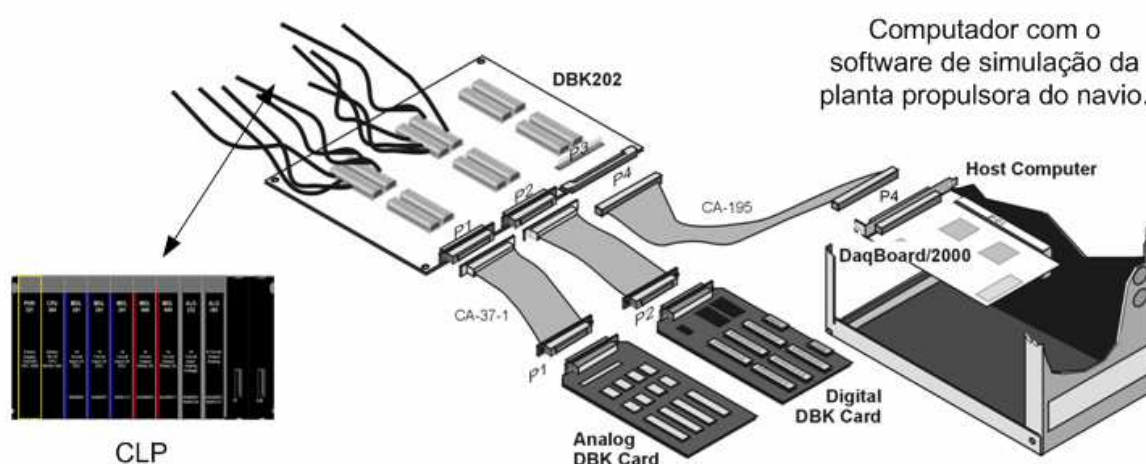


Figura 26 – Esquema da montagem das placas de I/O com o PC. (fonte: programmer's manual – Iotech, 2002)

4.3 CLP

O CLP utilizado neste ambiente de simulação foi um da série 90-30 da GE Fanuc com a seguinte configuração: CPU modelo 364, fonte 120/240V modelo 321, módulo de entrada digital MDL 241, de saída digital MDL 940, de entrada analógica ALG 222 e de saída analógica ALG 392. Este CLP foi disponibilizado pela Marinha do Brasil para a realização do presente trabalho.

4.4 Comunicação do CLP com a IHM

A comunicação entre o CLP e a IHM utiliza um produto comercial, CimQuest ActiveX for GE-Fanuc Ethernet PLCs, da empresa CimQuest. Este aplicativo permite a troca de dados entre o CLP e o PC através de uma rede ethernet utilizando o protocolo TCP/IP.

4.5 IHM (interface Homem Máquina)

A IHM, assim como o software de simulação, foi construído em LabView. A sua implementação foi baseada nas funções de comando e monitoração e dessa forma apresenta as seguintes funções:

1) função: Monitoração das variáveis tipo 1

São as variáveis citadas no item 3.2.1.1, 1º procedimento, isto é, que têm seus valores somente lidos e mostrados na interface. Apresentam essas propriedades as variáveis relacionadas ao leme, ao eixo, ao painel de controle, ao hélice, a engrenagem redutora e o odômetro.

2) função: Monitoração das variáveis tipo 2.

São as variáveis citadas no item 3.2.1.1, 2º procedimento, isto é, devem ser sinalizados ao se afastarem de sua faixa padrão de operação, e assim apresentam alteração da sua cor na tela e disparam um alarme sonoro. A cor se mantém alterada enquanto a grandeza medida se mantiver fora dos limites pré estabelecidos e o alarme sonoro continua a soar até ser reconhecido pelo operador. Apresentam essas propriedades as variáveis relacionadas ao funcionamento do motor

3) função: Monitoração das variáveis tipo 3.

São as variáveis citadas no item 3.2.1.1, 3º procedimento, isto é, que quando atingem níveis que possam comprometer a operação do sistema de propulsão, devem ser devidamente sinalizadas para que o supervisor atue no sentido de fechar as

válvulas de admissão de ar do motor. A IHM altera a cor da interface indicativa destas variáveis na tela e um alarme sonoro é ativado. A cor se mantém alterada enquanto a grandeza medida estiver fora dos limites pré estabelecidos e o alarme sonoro continua a soar até ser reconhecido pelo operador. As variáveis deste tipo são: a rotação do motor quando é maior ou igual a 2000 rpm e a pressão diferencial do filtro de óleo quando é maior ou igual a 5Kgf/mm².

4) função: Parada em emergência

A IHM deve ter um botão de emergência que quando acionado pelo operador, envia o comando para o controlador local fechar as válvulas de admissão de ar do motor.

5) função: Falha de comando.

Toda a vez que a atuação nas válvulas de admissão de ar for solicitada, elas têm um tempo de 3s para estarem totalmente fechadas, caso isso não ocorra, um alarme sonoro e uma sinalização visual devem ser disparados.

A interface criada pode ser vista na e o manual de operação é descrito no Apêndice E.

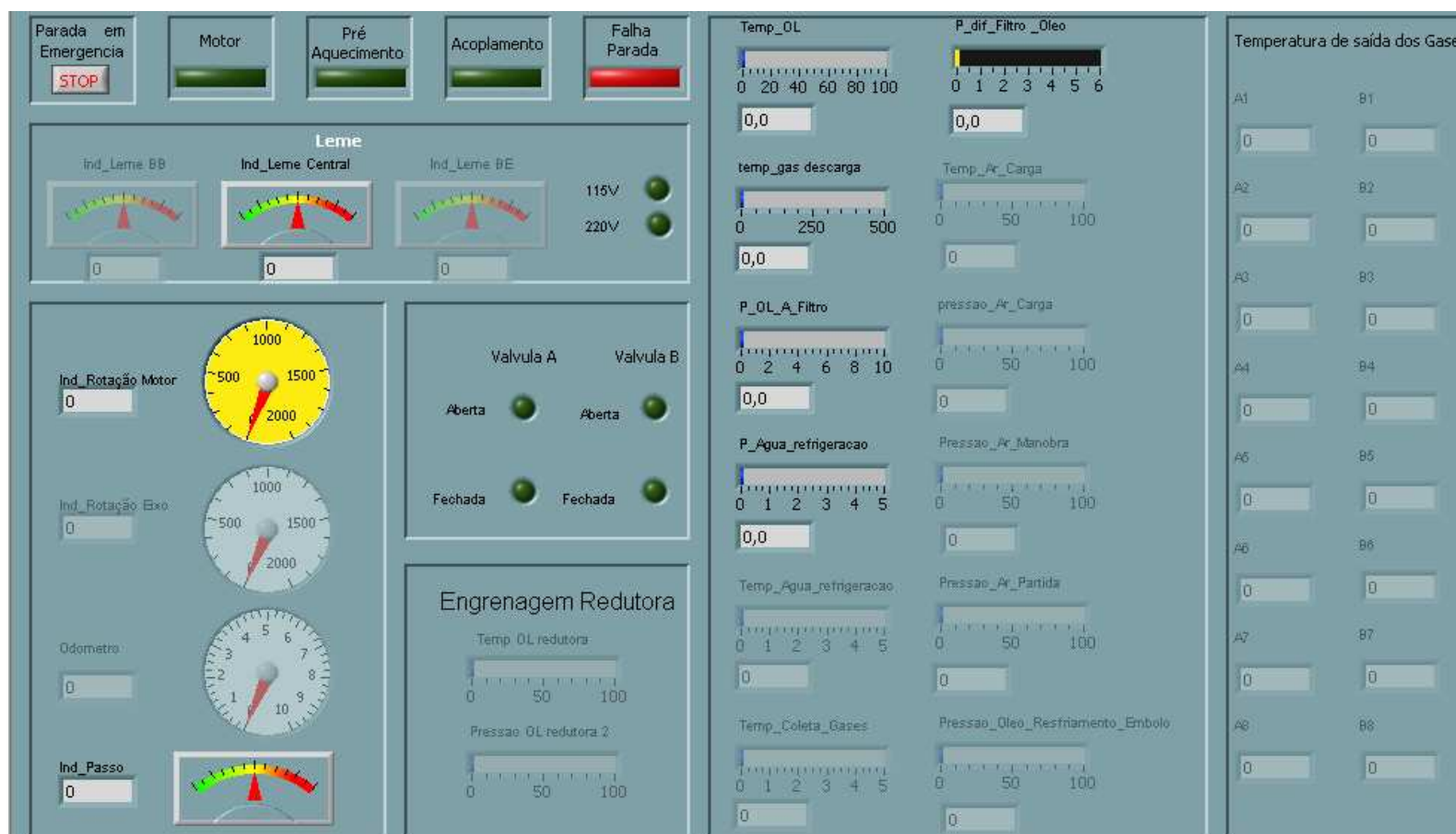


Figura 27 – Tela da Interface Homem Máquina.

4.6 Teste

Nesta fase foram testadas as operações típicas de supervisão usando para isto o ambiente de simulação, isto é, o conjunto formado pelos softwares de simulação da planta de propulsão, o controlador e a IHM de tal forma a se verificar o funcionamento e execução das estratégias de controle implementadas no supervisório.

Conforme previsto, o software de simulação da planta de propulsão gerou os sinais do objeto de controle, que foram recebidos e processados pelo CLP, e apresentados ao usuário através da IHM.

O ambiente de simulação tem como limitação um número de entradas analógicas no CLP inferior ao número de variáveis geradas pelo objeto de controle. Para solucionar isso, algumas variáveis geradas pelo software de simulação da planta propulsora foram desabilitadas. No entanto, isso não prejudicou o resultado porque as principais funções do supervisório foram testadas e se comportaram de acordo com o planejado.

5 CONCLUSÃO

O uso eficiente de novos recursos tecnológicos é fundamental nos dias atuais para a modernização dos navios da Marinha.

Com este intuito, o trabalho considera, particularmente, o projeto do sistema supervisorio da planta de propulsão dos Navios Varredores, cuja importância é evidente no sentido de minimizar o número de pessoas necessárias a sua operação, além de permitir o seu manuseio a partir de um local remoto e também o acesso às informações de uma forma mais ágil. Assim sendo, há um gerenciamento mais eficaz dos recursos, o que auxilia a tomada de decisão do comandante do navio.

Para atingir esse objetivo adotou-se como referência a metodologia de projeto descrita em Miyagi (1996), que é própria para o desenvolvimento de sistemas de controle.

Inicialmente realizou-se a análise das necessidades do sistema e posteriormente a sua definição, acarretando na criação dos seus requisitos e na elaboração do software de controle e a sua validação.

Como resultado, obteve-se a estratégia de controle do sistema supervisorio da planta de propulsão do Navio Varredor e a sua validação através do processo de simulação, atingindo-se dessa forma o objetivo do trabalho.

O processo utilizado na condução do projeto foi considerado adequado e pode contribuir para sistematização do processo de desenvolvimento de sistemas supervisorios.

Dentre as tarefas futuras pode-se citar a implementação do software desenvolvido em uma planta real e operá-la, validando na prática a estratégia de controle desenvolvida. Adicionalmente, os dados coletados podem ser utilizados para refinar o modelo do objeto de controle.

APÊNDICE A – CONVENÇÃO DE NOMES E DEFINIÇÕES

PM – Praça de Máquina, lugar onde se situa o motor do navio.

Praças – são os marinheiros, soldados, cabos, sargentos e suboficiais das forças armadas.

ECM – Estação Central da Máquina, lugar onde o operador monitora o sistema de propulsão do navio.

IHM – Interface Homem Máquina. Interface que o operador utiliza para acessar os dados do sistema.

Telégrafo de Manobra – dispositivo, localizado em um local remoto, utilizado para alterar a rotação do motor.

MCP – motor de combustão interna, sigla que designa o motor diesel responsável pela propulsão do navio.

CLP – controlador lógico programável.

BB – bombordo

BE - boreste

MOVIMENTOS E INCLINAÇÕES DO NAVIO (Vide Figura 28):

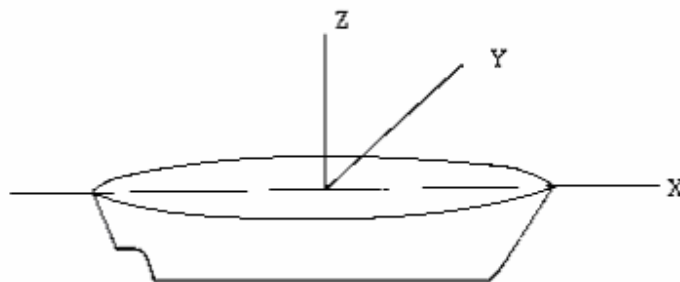


Figura 28– esboço de um navio.

— jogo: movimento angular oscilatório em torno do eixo x.

— caturro: movimento angular oscilatório em torno do eixo y.

— trim: é a medida da inclinação da faixa de linhas d'água do navio, isto é, a diferença entre os calados a vante e a ré.

— banda: é a inclinação do navio para um dos bordos; o navio pode ter banda, ou estar adernado, para BE ou para BB; a banda é medida em graus.

APÊNDICE B – MODELAGEM DO CONTROLE COM O USO DO PFS/MFG

Neste apêndice são apresentados os modelos em MFG que não foram apresentados no decorrer do texto.

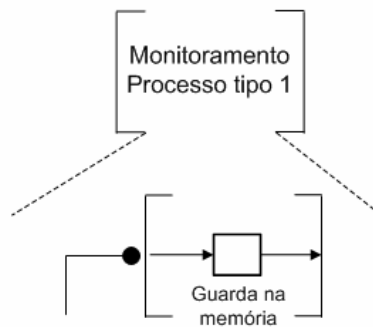


Figura 29 - Detalhamento da Atividade Monitoramento Processo tipo 1 com o uso do MFG.

A Figura 29 detalha a atividade [Monitoramento Processo tipo 1] onde as variáveis são lidas e armazenadas na memória do CP.

A Figura 30 detalha a atividade [Monitoramento Processo tipo 2], com o uso do PFS, em duas atividades: [Monitoramento Processo tipo 1], que já foi descrita e [Comparação]

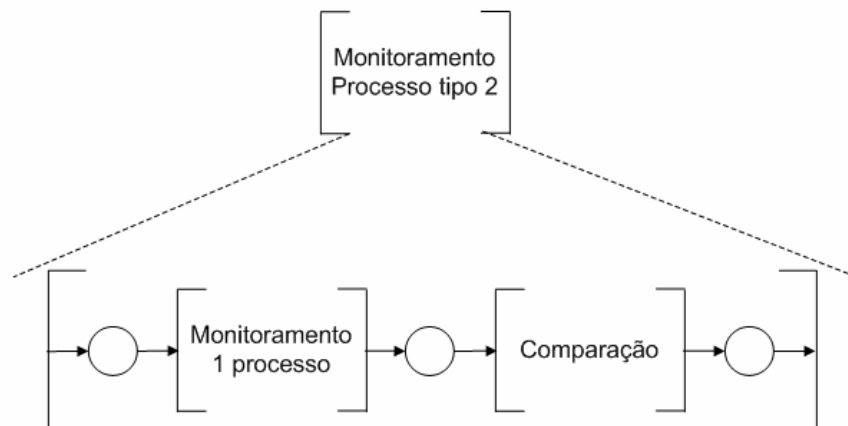


Figura 30 - Detalhamento da Atividade Monitoramento Processo tipo 2 com o uso do PFS.

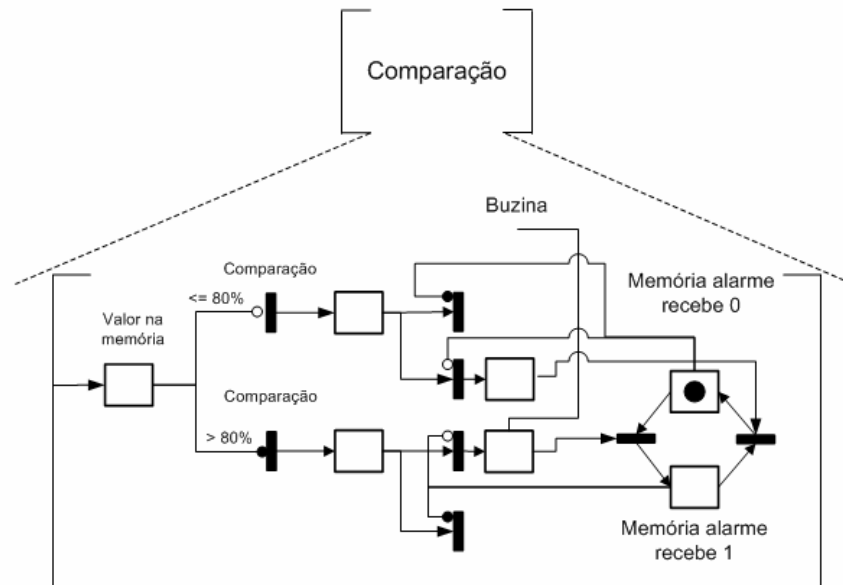


Figura 31 - Detalhamento da Atividade Comparação com o uso do MFG.

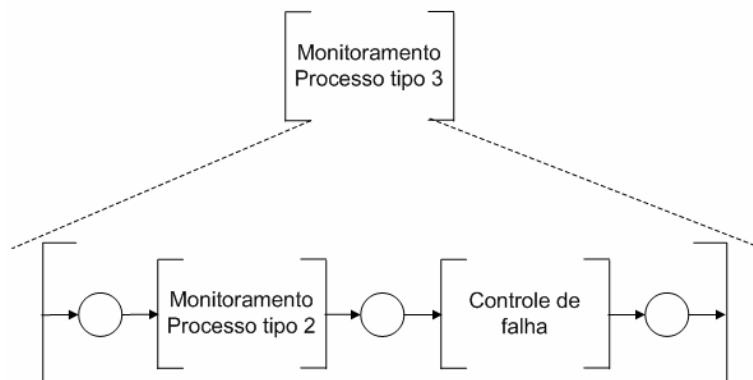


Figura 32 - Detalhamento da Atividade Monitoramento Processo tipo 3 com o uso do PFS.

A Figura 31 detalha a atividade [Comparação], onde quatro situações distintas podem ocorrer dependendo do valor da variável lida e do valor armazenado na memória. Na primeira, se o valor da variável coletada é menor que 80% do seu valor máximo e o valor de memória é zero, nada ocorre com o sistema; na segunda, se o valor da variável coletada é maior que 80% do seu valor máximo e o valor de memória é zero, o valor da memória de alarme passa a 1 e o comando para acionamento da buzina de alarme é enviado; no terceiro caso, se o valor da variável coletada é maior que 80% do seu valor máximo e o valor de memória é um, nada acontece; e no último

caso, se o valor da variável coletada é menor que 80% do seu valor máximo e o valor de memória é um, o valor da memória de alarme passa a 1.

A Figura 32 detalha a atividade [Monitoramento Processo tipo 3] com o uso do PFS nas atividades [Monitoramento Processo tipo 2] e [Controle de Falha] que já foram descritos na Figura 30e Figura 13, respectivamente.

APÊNDICE C – DIAGRAMAS UML DO SIMULADOR

A1 – Diagrama de Caso de Uso

A modelagem do sistema apresenta somente um diagrama de caso de uso descrito na Figura 18 e a descrição de cada um deles está descrita nos templates abaixo.

1	Use Case	Aciona motor
	Ator	Operador
	Descrição	O operador da partida no motor a partir do dispositivo local.
	Entrada	Acionamento do botão de partida
	Saída Principal	O motor é acionado
	Saída Alternativa	O motor não é acionado caso o pré aquecimento esteja ligado ou a redutora esteja acoplada.

2	Use Case	Desativa Motor
	Ator	Operador
	Descrição	O operador para o motor a partir do dispositivo local, caso esteja ligado.
	Entrada	Acionamento do botão de parada
	Saída	O motor é parado.

3	Use Case	Acoplar Redutora
	Ator	Operador
	Descrição	O operador acopla a engrenagem redutora a partir do atuador local.
	Entrada	Acionamento do botão de acoplamento.
	Saída	A engrenagem redutora é acoplada ao eixo do motor.

4	Use Case	Desacoplar Redutora
	Ator	Operador
	Descrição	O operador desacopla a engrenagem redutora a partir o atuador local.
	Entrada	Acionamento do botão de desacoplamento
	Saída	A engrenagem redutora é desacoplada do eixo do motor.

5	Use Case	Ligar Pré Aquecimento
	Ator	Operador
	Descrição	O operador aciona o pré-aquecimento a partir do atuador local.
	Entrada	Acionamento do botão de pré-aquecimento
	Saída	O pré-aquecimento é acionado.
	Saída Alternativa	O pré aquecimento não é acionado caso o motor esteja ligado.

6	Use Case	Desligar Pré Aquecimento
	Ator	Operador
	Descrição	O operador desliga o pré-aquecimento a partir do atuador local.
	Entrada	Acionamento do botão de pré-aquecimento
	Saída	O pré-aquecimento é desligado.

7	Use Case	Seleciona Rotação
	Ator	Operador
	Descrição	O operador seleciona a rotação desejada a partir do atuador local
	Entrada	Inserção da rotação desejada com o uso do mouse
	Saída	A rotação do motor é alterada até o valor determinado.

8	Use Case	Seleciona Passo
	Ator	Operador
	Descrição	O operador seleciona o passo do hélice a partir do atuador local
	Entrada	Inserção do passo desejado com o uso do mouse
	Saída	O passo do hélice é alterado até o valor determinado.

9	Use Case	Seleciona Leme
	Ator	Operador
	Descrição	O operador seleciona, no painel de controle, quantos graus ele deseja que o leme seja deslocado.
	Entrada	Inserção da quantidade de graus desejados com o uso do mouse
	Saída	A inclinação do leme é alterada até o valor determinado.

10	Use Case	Para Motor em Emergência
	Ator	Operador
	Descrição	O operador aciona a parada em emergência a partir do atuador local.
	Entrada	Fechamento da válvula de admissão de ar
	Saída	O motor é parado

11	Use Case	Alimentação de 115V e 220V
	Ator	Operador
	Descrição	O operador liga alimentação de 115V e de 220V do Leme, através de um botão para cada uma delas.
	Entrada	Acionamento do botão de alimentação.
	Saída	O Leme é alimentado.

12	Use Case	Desalimentação de 115V e 220V
	Ator	Operador
	Descrição	O operador desliga a alimentação de 115V e de 220V do Leme, através de um botão para cada uma delas.
	Entrada	Desligar o botão de alimentação.
	Saída	O Leme é desalimentado.

APÊNDICE D – MANUAL DO SIMULADOR DA PLANTA DE PROPULSÃO

Como o próprio nome diz, o simulador da planta de propulsão tem a finalidade de simular o comportamento de um sistema de propulsão de um navio.

O usuário do software pode operá-lo através de comandos realizados com o uso do mouse na interface mostrada na Figura 25.

As operações possíveis de serem realizadas são as seguintes:

a) Controle do Leme

O operador pode determinar a quantidade de graus a ser aplicada no Leme e o acionamento dos botões dos botões de alimentação de 110V e 220V como pode ser visto na Figura 33.



Figura 33 – Controle do Leme

b) Controle do Passo

O operador pode determinar a quantidade de graus a ser aplicada no passo do hélice através do botão passo que é mostrado na Figura 34.

c) Controle da rotação

O operador pode determinar a rotação de operação do motor através do botão rotação que é mostrado na Figura 34.

d) Comando de acionamento do Motor

O motor é acionado pelo botão Motor, porém ele não pode ser acionado nas seguintes situações: quando o botão “pré-aque” ou o botão “acoplamento” estiverem ativos ou quando as válvulas de admissão de ar, simbolizadas pelos botões VA e VB estiverem fechadas. Todos esses botões são mostrados na Figura 34. O botão de “pré aque” não pode ser ligado quando o motor já estiver.

A parada do motor do formato normal e na forma de emergência são realizadas pelos botões “Parar Motor” e “Parada Emergencia”, respectivamente como mostrado na Figura 35.

e) Encerramento do Programa

O software é encerrado quando o botão “Encerra”, mostrado na Figura 35, é acionado.

f) Display Local

Foi criado um display local que mostra todos os valores dos detectores que são utilizados na planta de propulsão, como pode ser visto na Figura 36.

Cabe ressaltar que os objetos que aparecem na Figura 36 na cor cinza estão dessa forma porque representam os sensores que devem existir no sistema real, porém não foram implementados no simulador porque não há um número de entradas analógicas suficiente no CLP que

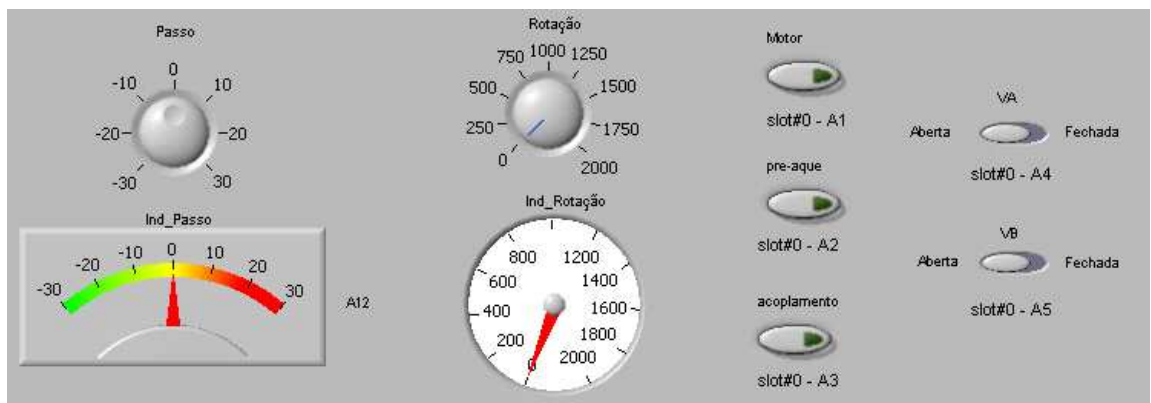


Figura 34 – Representação dos comandos locais do passo do hélice, da rotação e de acionamento do motor, da bomba de pré-aquecimento, do acoplamento da engrenagem redutora e das válvulas de admissão de ar.



Figura 35 - Representação dos comandos locais da Parada em emergência, parada normal do motor e encerramento do programa.

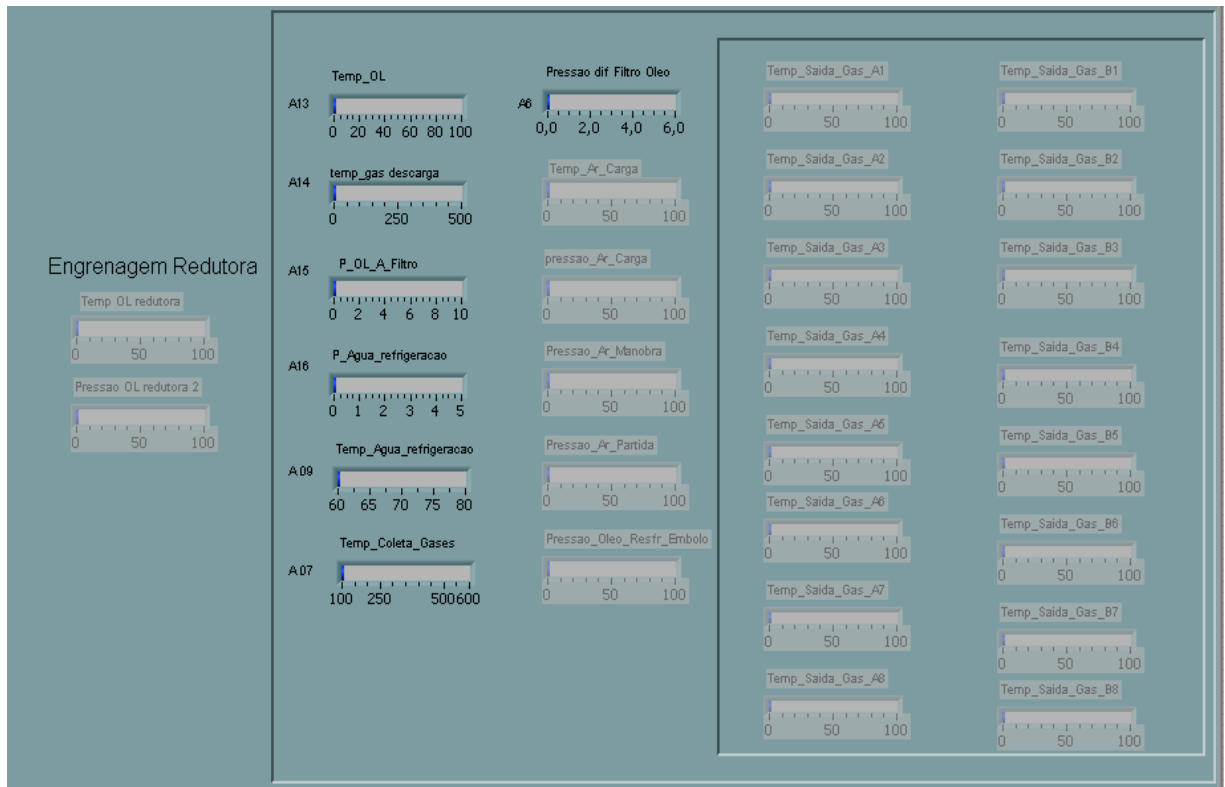


Figura 36 – indicativo local dos sensores

APÊNDICE E – MANUAL DA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM)

A IHM tem a função de monitoração e comando como descrita na Figura 2.

Como função de monitoramento, ele realiza as seguintes tarefas:

- Indica se o motor, a bomba de pré-aquecimento e o acoplamento da engrenagem redutora estão ligados ou se ocorreu uma falha no evento de fechamento da válvula de admissão de ar através de um elemento que simula o acendimento de uma lâmpada (vide Figura 37).
- Indica a rotação, a quantidade de graus do passo do hélice e do leme através de indicadores digitais e elementos que simulam indicadores analógicos (vide Figura 38).
- Variáveis que são descritas na fase de definição de necessidades como tipo 2 ou tipo 3 também tem suas indicações feitas através de elementos que simulam indicadores digitais e analógicos, porém quando as suas medidas atingem valores críticos, elas tem as suas cores alteradas, como pode ser visto na Figura 39.

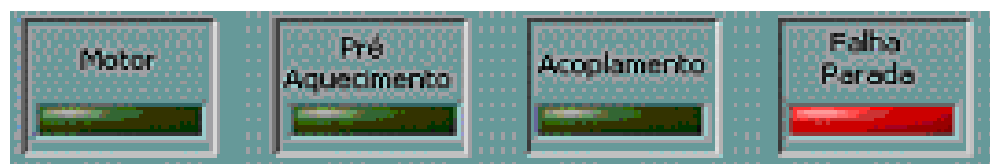


Figura 37 Elementos de monitoramento de estado.

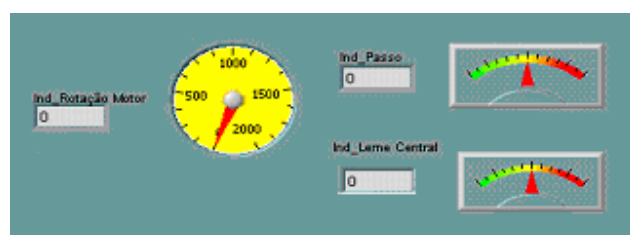


Figura 38 – Indicadores analógicos e digitais.



Figura 39 – Indicadores de variáveis que tem sua cor alterada quando atinge um valor pré determinado

Como função de comando, a IHM possui um elemento que quando acionado realiza a parada em emergência do motor (vide Figura 40).



Figura 40 – Botão de emergência.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6146. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/default.asp?resolucao=800X600>> . Acesso em: 21 mai. 2007.

BISHOP, Robert H. - The Mechatronics Handbook, Boca Raton: CRC Press, 2002.

CASSANDRAS, C. G. **Discrete event systems : modeling and performance analysis**, Homewood, Ill. : Aksen: Irwin, c1993.

Castrucci , P.L. Moraes, C. C. Engenharia de Automação Industrial. Rio de Janeiro : Livros Tecnicos e Cientificos, 2001. 295p.

CimQuest INGEAR. GE FANUC ActiveX disponível em: <http://www.ingeardrivers.com/ge_activex/ge_activex.htm> acessado em 05 set. 2007.

CURDULINO, R.; HORIKAWA, R. T.; SABANAI, R. A. S. Ferramenta de validação de requisitos utilizando redes de Petri, Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Mecatrônica, EPUSP, São Paulo, 2003. 172p.

DIAGNE, A.; ESTRAILLIER, P. **A component-based framework for the specification, verification and validation of open distributed system**. Rapport de Recherche, 1997. 18p.

DYM, C.L.; Engineering Design: A Project-Based Introduction, John Wiley & Sons, 2000.

FAUSTINO, M.R.; GOLDEMBERG, C. Aplicação da norma IEC61131-3 na modernização dos navios-varredores da Marinha do Brasil. IEEE Latin America Transactions, v. 3, p. 62-67, Outubro 2005.

HASEGAWA, K. Modeling, control and deadlock avoidance of FMS. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA. São Paulo, 1996. **Conferencias plenárias...** São Paulo, p.37-51, 1996.

Introduction to OMG's Unified Modeling Language. Disponível em: <http://www.omg.org/gettingstarted/what_is_uml.htm> Acesso em: 15 mai. 2007.

JUNQUEIRA, F. Modelagem de sistemas flexíveis de movimentação de materiais através de redes de Petri interpretadas, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2001. 128p.

JUNQUEIRA, F. Modelagem e Simulação Distribuída de Sistemas Produtivos. Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

KANESHIRO, P. J. I. Modelagem de sistemas de proteção técnica contra incêndio em edifícios inteligentes através de rede de Petri. 116p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

LabVIEW FAQs – Disponível em: <<http://www.ni.com/labview/faq.htm>> acessado em 30 jul. 2007.

Kodosky, J. Is LabVIEW a general purpose programming language? Disponível em: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/5313>> acessado em 30 jul. 2007.

MIYAGI, P. E. Controle Programável, Edgard Blücher, 3ª ed., São Paulo, 1996

MIYAGI, P. E. Introdução a Simulação Discreta, Apostila, EPUSP, São Paulo, 2006

Manual HPSim. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/d/pmr5008/arquivos/Apostila_HPSim.pdf> acesso em 21 mar.2007.

MUNAKATA,F.E.; ICHIKAWA, H.Y. Modelagem e verificação de sistemas de automação para segurança residencial, Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Mecatrônica, EPUSP, São Paulo, 2005. 80p.

PARTHASARATHY, S. Is there a relation between sequential control and continuous control?, Marhl Comput. Modelling, Vol. 13, No. 1, pp. 55-59, 1990

Programmer's Manual. Rev. 5.1 IOtech, Inc. USA. February 2002. CD ROM

SILVA, A.P.G.; SALVADOR, M. O que são sistemas supervisórios? 2005. Disponível em: <<http://www.elipse.com.br/download/download/artigos/rt025.04.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2007.

SOMMERVILLE. I. Engenharia de Software, Pearson Addison Wesley, São Paulo, 2003.

VAN DEN BOSCH, P.P.J. & VAN DER KLAUW, A.C. Modeling, Identification, And Simulation Of Dynamical Systems, Boca Raton : CRC Press, c1994.

VILLANI, Emília. Modelagem e análise de sistemas supervisórios híbridos. 339p. Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.