

CRISTIANO DA SILVA COSTA

**ABORDAGEM DISTRIBUÍDA PARA MODELAGEM DE SISTEMAS DE
GERENCIAMENTO DE PLATAFORMAS NAVAIS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Mestre em
Ciências, Programa de Engenharia Mecânica.

São Paulo
2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CRISTIANO DA SILVA COSTA

**ABORDAGEM DISTRIBUÍDA PARA MODELAGEM DE SISTEMAS DE
GERENCIAMENTO DE PLATAFORMAS NAVAIS**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Mestre em Ciências,
Programa de Engenharia Mecânica

Área de Concentração:
Engenharia de Controle e Automação
Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

São Paulo
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Costa, Cristiano da Silva

Abordagem distribuída para modelagem de sistemas de gerenciamento de plataformas navais / C.S. Costa. -- São Paulo, 2010.

221 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1. Plataformas navais (Gerenciamento; Modelagem) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t.

À Deus por ter me dado força e perseverança nessa empreitada e aos meus pais, minha esposa e minha filha pela paciência e apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi, pela sua dedicação, sabedoria e paciência para que eu tivesse a devida orientação, não só para o desenvolvimento deste trabalho acadêmico, como também para a vida.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Fabrício Junqueira, que assim como o Prof. Miyagi, teve muita paciência e dedicação para me ajudar.

Aos meus chefes, Comandante Eusébio e Monteiro, pela grande ajuda e orientação para que eu conseguisse conciliar as atividades acadêmicas e profissionais.

Aos meus amigos, Luciano Ondir e Michel Henrique, pelas sugestões e contribuições.

Ao Prof. Dr. Diolino Santos e aos demais membros do Laboratório de Automação e Controle pelas sugestões e contribuições.

À Escola Politécnica da USP, em especial ao Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, que institucionalmente viabilizaram este trabalho.

À toda a minha família, pela paciência e carinho que tiveram durante todo esse meu período de abnegação.

A todos aqueles que, mesmo não tendo sido aqui citados nominalmente, colaboraram, direta ou indiretamente, de maneira não menos importante, na produção deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS	XVI
LISTA DE TERMOS RESERVADOS.....	XVII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XVIII
RESUMO	XIX
ABSTRACT.....	XX
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
1.1. OBJETIVO GERAL	3
1.2. ORGANIZAÇÃO DESTE TEXTO.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. IPMS	4
2.2. SISTEMA A EVENTOS DISCRETOS (SED)	6
2.3. HIERARQUIA DE CONTROLE E SISTEMAS SUPERVISÓRIOS	7
2.4. SIMULAÇÃO	9
2.5. SIMULAÇÃO DISTRIBUÍDA	10
2.6. REDE DE PETRI.....	12
2.7. PRODUCTION FLOW SCHEMA (PFS).....	17
2.8. ESTUDO DA INTERFACE ENTRE MODELOS EM RDP	18
2.9. PROCEDIMENTO DE MODELAGEM DE SISTEMAS DISTRIBUÍDOS	21
2.10. SÍNTESE DO CAPÍTULO	27
3. PROPOSTA DO PROCEDIMENTO APRIMORADO.....	28
3.1. PROCESSAMENTO DE CONFLITOS E DE SINAIS DE SENSORES	28
3.2. FORMA DE APLICAÇÃO DOS PASSOS DO MÉTODO	29

3.3.	COMUNICAÇÃO ENTRE OS MODELOS	32
3.4.	SÍNTESE DO CAPÍTULO	33
4.	APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE MODELAGEM.....	35
4.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	35
4.1.1.	<i>Descrição de um submarino convencional.....</i>	<i>35</i>
4.1.2.	<i>Restrições consideradas no estudo de caso.....</i>	<i>35</i>
4.2.	PASSO 1 – MODELAGEM DA OPERAÇÃO NORMAL DO IPMS NA CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO NA COTA PERISCÓPICA	35
4.2.1.	<i>Passo 1.1 – Definição do problema delimitando o escopo do sistema.....</i>	<i>35</i>
4.2.2.	<i>Passo 1.2 – Identificação dos elementos básicos do sistema e seus relacionamentos</i>	<i>35</i>
4.2.3.	<i>Passo 1.3 – Modelagem dos elementos básicos em RdP.....</i>	<i>35</i>
4.3.	PASSO 2 – MODELAGEM DAS CONDIÇÕES NÃO NORMAIS DE OPERAÇÃO	35
4.3.1.	<i>Passo 2.1 – Definição dos Escopos.....</i>	<i>35</i>
4.3.2.	<i>Passo 2.2 – Refinamento e identificação dos elementos básicos</i>	<i>35</i>
4.3.3.	<i>Passo 2.3 – Modelagem em RdP dos elementos básicos.....</i>	<i>35</i>
4.4.	PASSO 3 – INTEGRAÇÃO ENTRE OS MODELOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA	35
4.4.1.	<i>Passo 3.1 – Escopo: integração entre os modelos de geração de energia.....</i>	<i>35</i>
4.4.2.	<i>Passo 3.2 – Integração dos modelos no nível de PFS.....</i>	<i>35</i>
4.4.3.	<i>Passo 3.3 – Integração dos modelos no nível de RdP.....</i>	<i>35</i>
4.5.	PASSO 4 – CRIAÇÃO DE OBJETO	35
4.6.	PASSO 5 – GERAÇÃO DE COMPONENTES	35
4.7.	PASSO 6 – GERAÇÃO DO APLICATIVO	114
4.8.	SÍNTESE DO CAPÍTULO	114
5.	CONCLUSÃO.....	115
	APÊNDICE A ORIENTAÇÃO A OBJETO.....	117
	APÊNDICE B CONTINUAÇÃO DOS MODELOS DO CASO DE ESTUDO.....	118
B.1	PASSO 1 – MODELAGEM DA OPERAÇÃO NORMAL.....	118
B.1.1	<i>Passo 1.1 – definição do escopo.....</i>	<i>118</i>
B.1.2	<i>Passo 1.2 – Refinamento sucessivo e identificação dos elementos básicos do sistema e seus relacionamentos</i>	<i>118</i>
B.1.3	<i>Passo 1.3 – Modelagem dos elementos básicos em RdP.....</i>	<i>118</i>
B.2	PASSO 2 – MODELAGEM DAS CONDIÇÕES NÃO NORMAIS DE OPERAÇÃO	118
B.2.1	<i>Passo 2.1 – Escopo: Falta de energia elétrica para a bomba elétrica hidráulica (BHE) – (Situação 3)</i>	<i>118</i>

B.2.2	<i>Passo 2.2 – Refinamento sucessivo e identificação dos elementos básicos do sistema e seus relacionamentos (Situação 3)</i>	118
B.2.3	<i>Passo 2.3 – Modelagem dos elementos básicos em RdP – Situação 3</i>	118
B.3	INTEGRAÇÃO DOS MODELOS	118
B.3.1	<i>Passo 3.1 – Escopo: integração entre os modelos do grupo hidráulica</i>	118
B.3.2	<i>Passo 3.2 – Integração entre os modelos no nível de PFS</i>	118
B.3.3	<i>Passo 3.3 – Integração entre os modelos no nível de RdP</i>	118
B.4	PASSO 4 – CRIAÇÃO DE OBJETOS.....	118
B.5	PASSO 5 – GERAÇÃO DE COMPONENTES	118
B.6	PASSO 6 – GERAÇÃO DO APLICATIVO	118
B.7	SÍNTESE DO APÊNDICE.....	118
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	194

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Exemplo de configuração da arquitetura de um IPMS (adaptado de L3-MAPPS, 2009).	6
Figura 2-2 – Níveis de organização do controle de um sistema produtivo (VILLANI, 2003).	7
Figura 2-3 – Representação gráfica da Rede de Petri.	13
Figura 2-4 – Representação gráfica dos arco habilitador e do arco inibidor.....	16
Figura 2-5 – Componentes do PFS (Kaneshiro, 2006).....	18
Figura 2-6 – Possíveis relações entre modelos: (a) diferentes modelos requisitantes podem requisitar a funcionalidade de um modelo requisitado por meio de um mesmo tipo de interface; (b) a não possibilidade de se utilizar uma mesma interface para requisitar funcionalidade de modelos distintos; e (c) a possibilidade de se requisitar funcionalidades distintas por meio de interfaces distintas (JUNQUEIRA, 2006).....	21
Figura 2-7 – (a) “Classe” modelada como rede de Petri; (b) “Componente” constituído por três “objetos”.23	
Figura 2-8 – Exemplo de interface de um objeto: (a) Representação esquemática; (b) Representação de uma rede de Petri com fusão de transições.....	24
Figura 2-9 – Duas chamadas de “métodos” concorrentes: (a) O “objeto 2” está executando o “método” requisitado pelo “objeto 1”, por meio da fusão de transições Obj1.T1 e Obj2.T1, enquanto o “objeto 3” está esperando pela disponibilidade do “objeto 2”; (b) o “objeto 2” responde a chamada de “método” por meio da fusão de transições Obj2.T2 e Obj1.T2; (c) o “método” do “objeto 2” (Obj2.T1) está disponível novamente; e (d) o “objeto 3” solicita o “método” fornecido pelo “objeto 2” por meio da fusão de transições Obj3.T1 e Obj2.T1.....	25
Figura 2-10 – Uma “aplicação” composta por dois ou mais “componentes”.....	26
Figura 3-1 – Diagrama com o procedimento de modelagem do IPMS.....	31
Figura 3-2 – Diagrama do processo desenvolvimento dos modelos.....	32
Figura 3-3 – Modo de comunicação entre os “objetos”.. ..	33
Figura 4-1 – Esquema dos subsistemas componentes do IPMS.....	35
Figura 4-2 – Tipos de operação de um submarino. A operação que é tratada no presente trabalho aparece destacada na imagem (hachurado).	35
Figura 4-3 – Subsistemas do IPMS. Os grupos e subsistemas que são modelado ao longo do presente trabalho, integralmente ou parcialmente, aparecem destacados na imagem (hachurado).....	35
Figura 4-4 – Esquema da planta do subsistema de energia com seus atuadores e sensores (adaptado de Gabler, 1991).....	35
Figura 4-5 – Esquema simplificado da distribuição de energia elétrica do submarino.....	35
Figura 4-6 – Detalhamento da atividade [IPMS na condição de operação na cota periscópica]. Aparecem destacados os subsistemas que são efetivamente refinados (hachurado).	35
Figura 4-7 – Primeiro nível de detalhamento: PFS da atividade [IPMS na condição de operação na cota periscópica] restrito aos subsistemas tratados no estudo de caso.	35
Figura 4-8 – Detalhamento da atividade [Energia (1)] da Figura 4-7.	35
Figura 4-9 – Detalhamento da atividade [Energia na condição de esnórquel (1.2)] da Figura 4-8.	35
Figura 4-10 – Detalhamento da atividade [Grupo esnórquel (1.2.1)] da Figura 4-9.....	35
Figura 4-11 – Detalhamento da atividade [Içamento do mastro (1.2.1.1)] da Figura 4-10.	35
Figura 4-12 – Detalhamento da atividade [Controle do nível_tanque de esnórquel (1.2.1.2)] da Figura 4-10.....	35
Figura 4-13 – Detalhamento da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] da Figura 4-10.	35
Figura 4-14 – Detalhamento da atividade [Arriamento do mastro (1.2.1.4)] da Figura 4-10.	35
Figura 4-15 – Detalhamento da atividade [Grupo exaustão de gases (1.2.2)] da Figura 4-9.....	35
Figura 4-16 – Detalhamento da atividade [GDG (1.3)] da Figura 4-8.....	35
Figura 4-17 – Detalhamento da atividade [Grupo bateria (1.4)] da Figura 4-8.	35

Figura 4-18 – Modelo em PFS da atividade [Pré-processamento (1.6)].....	35
Figura 4-19 – Detalhamento da atividade [Atuadores].	35
Figura 4-20 – Detalhamento da atividade [Sensores].....	35
Figura 4-21 – atividade [Dispositivo de comando].....	35
Figura 4-22 – Modelo em RdP da atividade [Pré-processamento (1.6)].....	35
Figura 4-23 – (a) Modelo simplificado da representação em RdP da atividade [Módulo de solicitação a outro controlador (1.6.4)]; (b) Modelo simplificado da representação em RdP da atividade [Entrada digital (1.6.1)] (Figura 4-22); (c) modelo simplificado da representação em RdP da atividade [Entrada analógica (1.6.2)] (Figura 4-22).....	35
Figura 4-24 – Modelo em RdP do distribuidor (Submarino Patrulhando (1.1)) da Figura 4-8.	35
Figura 4-25 – Modelo em RdP da atividade [Içamento do mastro] da Figura 4-11.....	35
Figura 4-26 – Modelo em RdP da atividade [Controle do nível_tanque de esnórquel (1.2.1.2)] da Figura 4-12.....	35
Figura 4-27 – Modelo em RdP da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] da Figura 4-13.	35
Figura 4-28 – Modelo em RdP da atividade [Arriamento do mastro (1.2.1.4)] da Figura 4-14.	35
Figura 4-29 – Modelo em RdP da atividade [Grupo exaustão de gases (1.2.2)] da Figura 4-15.....	35
Figura 4-30 – Modelo em RdP da atividade [GDG] da Figura 4-16.	35
Figura 4-31 – Modelo em RdP da atividade [Grupo baterias (1.4)] da Figura 4-17.	35
Figura 4-32 – Modelo em RdP da atividade [atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador] da Figura 4-19.....	35
Figura 4-33 – Modelo em RdP da atividade [Atuadores com desligamento pelo tempo] da Figura 4-19. .	35
Figura 4-34 – Modelo em RdP da atividade [Atuadores com desligamento pelo controlador] da Figura 4-19.....	35
Figura 4-35 – Modelo em RdP da atividade [Dispositivo de comando] da Figura 4-21.....	35
Figura 4-36 – Modelo em RdP da atividade [Sensores] da Figura 4-20.....	35
Figura 4-37 – Detalhamento da atividade [EMERG 1].....	35
Figura 4-38 – Detalhamento da atividade [EMERG 2].....	35
Figura 4-39 – Detalhamento da atividade [EMERG 3 (1.5)].	35
Figura 4-40 – Modelo em RdP da atividade [EMERG 1] da Figura 4-37.....	35
Figura 4-41 – Modelo em RdP da atividade [Emerg 2].....	35
Figura 4-42 – Modelos em RdP da atividade [EMERG 3 (1.5)] mostrada na Figura 4-39.	35
Figura 4-43 – Nova configuração da atividade [Energia (1)] que passa a se chamar [Energia_m (1_m)].	35
Figura 4-44 – Nova configuração da atividade [GDG_(1.3)] que passa a se chamar [GDG_m (1.3_m)]. .	35
Figura 4-45 – Nova configuração da atividade [Grupo exaustão de gases (1.2.2)] que passa a se chamar [Grupo exaustão de gases_m (1.2.2_m)].....	35
Figura 4-46 – Nova configuração da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] que passa a se chamar [Controle de entrada de ar_m (1.2.1.3_m)].	35
Figura 4-47– Nova configuração da atividade [Grupo baterias_m].	35
Figura 4-48 – Modelos em RdP da atividade [GDG_m (1.3_m)] mostrado na Figura 4-44.....	35
Figura 4-49 – Modelos em RdP da atividade [Grupo de exaustão de gases_m (1.2.2_m)] mostrada na Figura 4-45.	35
Figura 4-50 – Modelos em RdP da atividade [Controle da entrada de ar_m (1.2.1.3_m)] mostrada na Figura 4-46.....	35
Figura 4-51 – Modelos em RdP da atividade [Grupo baterias_m (1.4_m)] mostrada na.Figura 4-48.....	35
Figura 4-52 – “Classe” Energia_m (1_m).....	35
Figura 4-53 – “Objetos” Válvula 18, Válvula 27, Válvula 28, Bomba de esgoto 1 e Disjuntor 1 gerados a partir da “classe” atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador local.....	35

Figura 4-54 – “Objeto” Válvula 22 gerado a partir da “classe” Atuadores com desligamento pelo tempo.	35
Figura 4-55 – “Objetos” Válvula 16 e Válvula 29 gerados a partir da “classe” Atuadores com desligamento pelo controlador local.	35
Figura 4-56 – “Objetos” Solicitação 1, Solicitação 2, Solicitação 3, Solicitação 4, Solicitação 5, Solicitação 6, Solicitação 7, Solicitação 8, Solicitação 9, Solicitação 10, Solicitação 11, Solicitação 12, Solicitação 13, Solicitação 14, Solicitação 15 e Solicitação 16 gerados a partir da “classe” Módulo de solicitação (1.6.4)	35
Figura 4-57– “Objetos” Comando 1, Comando 2, Comando 3, Comando 4, Comando 5 e Comando 6. gerados a partir da “classe” Dispositivo de comando.	35
Figura 4-58 – “Objetos” Tacômetro 1, Manômetro 11, Manômetro 12, Manômetro 13, Manômetro 14, Manômetro 15, Manômetro 16, Relé de nível 1, Relé de nível 2, Sensor de presença 1, Sensor de fim de curso V20 e Sensor de fim de curso V27 gerados a partir da “classe” Sensores.	35
Figura 4-59 – “Objetos” Estado C1, Estado C2, Estado C3, Estado C4, Estado C5, Estado C6, Estado SP1, Estado RN1, Estado RN2, Estado S.V27 e Estado S.V20 gerados a partir da “classe” Entrada Digital.	35
Figura 4-60 – “Objetos” Estado Ta1, Estado P12, Estado P14, Estado P15 e Estado P16 gerados a partir da “classe” Entrada Analógica.	35
Figura 4-61 – “Classe” Saída Digital.	35
Figura 4-62 – “Componente” Entrada analógica do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Estado Ta1, Estado P12, Estado P14, Estado P15 e Estado P16.	35
Figura 4-63 – “Componente” Entrada digital do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Estado C1, Estado C2, Estado C3, Estado C4, Estado C5, Estado C6, Estado SP1, Estado RN1, Estado RN2, Estado S.V27 e Estado S.V20.	35
Figura 4-64 – “Componente” Saída digital do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Fechamento V16, Abertura V18, Fechamento V18, Abertura V22, Abertura V27, Fechamento V27, Abertura V28, Fechamento V28, Fechamento V29, Aciona BE1, Para BE1, Abertura D1 e Fechamento D1.	35
Figura 4-65 – “Componente” Solicitação composto pelos objetos Solicitação 1, Solicitação 2, Solicitação 3, Solicitação 4, Solicitação 5, Solicitação 6, Solicitação 7, Solicitação 8, Solicitação 9, Solicitação 10, Solicitação 11, Solicitação 12, Solicitação 13, Solicitação 14, Solicitação 15 e Solicitação 16.	35
Figura 4-66 – “Componente” Atuadores do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Válvula 16, Válvula 18, Válvula 22, Válvula 27, Válvula 28, Válvula 29, Bomba de esgoto 1 e Disjuntor 1.	35
Figura 4-67 – “Componente” Sensores do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Tacômetro 1, Manômetro 12, Manômetro 13, Manômetro 14, Manômetro 15, Manômetro 16, Relé de nível 1, Relé de nível 2, Sensor de presença 1, Sensor de fim de curso V20 e Sensor de fim de curso V27.	35
Figura 4-68 – “Componente” Comandos do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Comando 1. Comando 2, Comando 3, Comando 4, Comando 5 Comando 6.	35
Figura 4-69 – “Componente” Controle do Subsistema Energia, composto pelo “objeto” Energia_m (1_m) e pelos “componentes” Entrada analógica do subsistema Energia, Entrada digital do subsistema Energia, Saída digital do subsistema Energia e Solicitação.	114
Figura 4-70 – Aplicativo Subsistema Energia composto pelos componentes Controle do Subsistema Energia, Comandos do subsistema Energia, Sensores do subsistema Energia e Atuadores.	114
Figura B. 1 – Diagramático do grupo hidráulica.	118
Figura B. 2 – Diagramático do grupo de ar comprimido (adaptado de BURCHER; RYDILL, 1994).	118
Figura B. 3 – Modelo em PFS da atividade [Pré-processamento Hidráulica (2.1)].	118
Figura B. 4 – Detalhamento da atividade [Hidráulica (2)].	118
Figura B. 5 – Detalhamento da atividade [Operação de recirculação (2.2)].	118
Figura B. 6 – Detalhamento em PFS da atividade [Operação de pressurização (2.3)].	118
Figura B. 7 – Detalhamento em PFS da atividade [Gerenciamento de vv interagem c/ d+ subsistemas (2.4)].	118
Figura B. 8 – Detalhamento em PFS da atividade [Controle com a válvula (2.4.1)].	118

Figura B. 9 – Detalhamento em PFS da atividade [Controle linhas (2.4.2)].	118
Figura B. 10 – Detalhamento da atividade [Atuadores do grupo hidráulica].	118
Figura B. 11 – Detalhamento da atividade [Sensores do grupo hidráulica].	118
Figura B. 12 – atividade [Dispositivo de comando do grupo hidráulica].	118
Figura B. 13 – Modelo em PFS da atividade [Ar comprimido (3)].	118
Figura B. 14 – Modelo em PFS da atividade [Pré-processamento ar comprimido (3.1)].	118
Figura B. 15 – Modelo em PFS da atividade [Pressurização das ampolas (3.2)].	118
Figura B. 16 – Modelo em PFS da atividade [Consumo do ar (3.3)].	118
Figura B. 17 – Modelo em PFS da atividade [Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)].	118
Figura B. 18 – Detalhamento da atividade [Atuadores do grupo ar comprimido].	118
Figura B. 19 – Detalhamento da atividade [Sensores do grupo ar comprimido].	118
Figura B. 20 – Atividade [Dispositivo de comando do grupo ar comprimido].	118
Figura B. 21 – Modelo em RdP da atividade [Operação de recirculação (2.2)] da Figura B. 5.	118
Figura B. 22 – Modelo em RdP da atividade [Operação de pressurização] da Figura B. 6.	118
Figura B. 23 – Modelo em RdP da atividade [Controle das válvulas (2.4.1)] da Figura B. 8.	118
Figura B. 24 – Modelo em RdP da atividade [Controle linhas (2.4.2)] da Figura B. 9.	118
Figura B. 25 – Modelo em RdP da atividade [Pré-processamento hidráulica (2.1)].	118
Figura B. 26 – Modelo em RdP da atividade [Pressurização das ampolas do grupo 1 e 3 (3.2.1)] da Figura B. 15.	118
Figura B. 27 – Modelo em RdP da atividade [Consumo do ar do grupo 1 e 2 (3.3.1)] da Figura B. 16.	118
Figura B. 28 – Modelo em RdP da atividade [Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)] da Figura B. 17.	118
Figura B. 29 – Detalhamento em PFS da atividade [Operação de pressurização em emergência (2.6)].	118
Figura B. 30 – Detalhamento em PFS da atividade [Gerenciamento da pressurização (2.5)].	118
Figura B. 31 – Modelo em RdP da atividade [Operação de pressurização em emergência (2.6)] da Figura B. 29.	118
Figura B. 32 – Modelo em RdP da atividade [Gerenciamento da pressurização (2.5)] da Figura B. 30.	118
Figura B. 33 – Nova configuração da atividade [Hidráulica (2)] que passa a se chamar [Hidráulica_m (2_m)].	118
Figura B. 34 – Nova configuração da atividade [Operação de recirculação (2.2)] que passa a se chamar [Operação de recirculação_m (2.2_m)].	118
Figura B. 35 – Nova configuração da atividade [Operação de pressurização (2.3)] que passa a se chamar [Operação de pressurização_m (2.3_m)].	118
Figura B. 36 – Modelos em RdP da atividade [Operação de recirculação_m (2.2_m)] mostrada na Figura B. 34.	118
Figura B. 37 – Modelos em RdP da atividade [Operação de pressurização_m (2.3_m)] mostrada na Figura B. 35.	118
Figura B. 38 – a) Classe “Recirculação_m (2.2_m)”; b) Classe “Pressurização_m (2.3_m)”; c) Classe “Controle das válvulas (2.4.1)”; d) Classe “Controle linhas (2.4.2)”; e) Classe “Gerenciamento da pressurização (2.5)”; f) classe “Operação de pressurização em emergência (2.6)”.	118
Figura B. 39 – a) Classe “Pressurização das ampolas”; b) Classe “Consumo de ar”; c) Classe “Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)”.	118
Figura B. 40 – Classe “Módulo de resposta a solicitação”.	118
Figura B. 41 – “Componente” Entrada analógica do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Estado N1, Estado P1, Estado P2, Estado P4 e Estado P5.	118
Figura B. 42 – “Componente” Entrada analógica do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Estado P18, Estado P19, Estado P22 e Estado P23.	118
Figura B. 43 – “Componente” Entrada digital do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Estado C7, Estado C8, Estado C9, Estado C10, Estado C11, Estado C12, Estado VS1, Estado VS2, Estado VS3, Estado V0a, Estado V0b, Estado V19, Estado V20, Estado V25, Estado V26, Estado V1, Estado M1, Estado M2 e Estado BHP1.	118
Figura B. 44 – “Componente” Entrada digital do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Estado V45, Estado V46 e Estado V47.	118

Figura B. 45 – “Componente” Saída digital do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Abertura V1, Fecha V1, Abertura V2, Fecha V2, Abre V3, Fecha V3, Abre V0a, Fecha V0a, Abre V0b, Fecha V0b, Abre V19, Fecha V19, Abre V20, Fecha V20, Abre V25, Fecha V25, Abre V26, Fecha V26, Selecciona VS1 p1, Selecciona VS1 p2, Selecciona VS2 p1, Selecciona VS2 p2, Selecciona VS3 p1, Selecciona VS3 p2, Selecciona VS4 p1, Selecciona VS4 p2, Selecciona VS8 p1, Selecciona VS8 p2, Selecciona VS9 p1, Selecciona VS9 p2, Selecciona VS10 p1, Selecciona VS10 p2, Selecciona VS11 p1, Selecciona VS11 p2, Aciona M1, Para M1, Aciona M2, Para M2, Aciona BHP1 e Para BHP1..	118
Figura B. 46 – “Componente” Saída digital do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Abre V31, Fecha V31, Abre V32, Fecha V32, Abre V33, Fecha V33, Abre V34, Fecha V34, Abre V35, Fecha V35, Abre V36, Fecha V36, Abre V37, Fecha V37, Abre V38, Fecha V38, Abre V39, Fecha V39, Abre V40, Fecha V40, Abre V41, Fecha V41, Abre V42, Fecha V42, Abre V43, Fecha V43, Abre V44, Fecha V44, Abre V45, Fecha V45, Abre V46, Fecha V46, Abre V47, Fecha V47, Aciona Compressor 1, Para Compressor 1, Aciona Compressor 2 e Para Compressor 2.....	118
Figura B. 47 – “Componente” Solicitação do grupo hidráulica composto pelos “objetos” Solicitação 17 e Solicitação 18.	118
Figura B. 48 – “Componente” Resposta do grupo hidráulica às solicitações composto pelos “objetos” Resp. Sol 1, Resp. Sol 2, Resp. Sol 3, Resp. Sol 4, Resp. Sol 7, Resp. Sol 8, Resp. Sol 9, Resp. Sol 10, Resp. Sol 11, Resp. Sol 12, Resp. Sol 13, Resp. Sol 14.....	118
Figura B. 49 – “Componente” Resposta do grupo ar comprimido às solicitações composto pelos “objetos” Resp. Sol 5, Resp. Sol 6, Resp. Sol 15, Resp. Sol 16, Resp. Sol 17 e Resp. Sol 18.	118
Figura B. 50 – “Componente” Atuadores do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Válvula V0a, Válvula V0b Válvula V1, Válvula V2, Válvula V3, Válvula V19, Válvula V20, Válvula V25, Válvula V26 Motor M1, Motor M2, Bomba BHP1, Válvula VS1, Válvula VS2, Válvula VS3, Válvula VS4, Válvula VS8, Válvula VS9, Válvula VS10 e Válvula VS11.	118
Figura B. 51 – “Componente” Atuadores do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Válvula V31, Válvula V32, Válvula V33, Válvula V34, Válvula V35, Válvula V36, Válvula V37, Válvula V38, Válvula V39, Válvula V40, Válvula V41, Válvula V42, Válvula V43, Válvula V44, Válvula V45, Válvula V46, Válvula V47, Compressor 1 e Compressor 2..	118
Figura B. 52 – “Componente” Sensores do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Manômetro P1, Manômetro P2, Manômetro P4, Manômetro P5, Sensor de fim de curso V0a, Sensor de fim de curso V0b, Sensor de fim de curso V19, Sensor de fim de curso V20, Sensor de fim de curso V25, Sensor de fim de curso V26, Sensor de fim de curso VS1, Sensor de fim de curso VS2, Sensor de fim de curso VS3, Sensor do motor M1, Sensor do motor M2, Sensor bomba BHP1, Sensor de fim de curso V1 e Medidor de nível N1.	118
Figura B. 53 – “Componente” Sensores do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Manômetro P18, Manômetro P19, Manômetro P22 e Manômetro P23.....	118
Figura B. 54 – “Componente” Comandos do grupo hidráulica, composto pelos objetos Comando 7, Comando 8, Comando 9, Comando 10, Comando 11 e Comando 12.....	118
Figura B. 55 – “Componente” Controle das válvulas solicitadas ao grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Controle abertura V0a, Controle fechamento V0a, Controle abertura V0b, Controle fechamento V0b, Controle abertura V19, Controle fechamento V19, Controle abertura V20, Controle fechamento V20, Controle abertura V25, Controle fechamento V25, Controle abertura V26 e Controle fechamento V26.	118
Figura B. 56 – “Componente” Controle das linhas de pressurização, composto pelos “objetos” Alteração de linha pela VS4, Alteração de linha pela VS8 , Alteração de linha pela VS9 , Alteração de linha pela VS10 e Alteração de linha pela VS11.	118
Figura B. 57 – “Componente” Controle da pressurização das ampolas de ar comprimido, composto pelos “objetos” Pressurização das ampolas 1 e 3 e Pressurização das ampolas 2 e 4.	118
Figura B. 58 – “Componente” Controle de consumo das ampolas de ar comprimido, composto pelos “objetos” Consumo de ar das ampolas 1 e 2 e Consumo de ar das ampolas 3 e 4.	118
Figura B. 59 – “Componente” Controle das válvulas solicitadas ao grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Controle abertura V45, Controle fechamento V45, Controle abertura V46, Controle fechamento V46, Controle abertura V47 e Controle fechamento V47.	118
Figura B. 60 – “Componente” Controle do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Recirculação_m (2.2_m), Pressurização_m (2.3_m), Gerenciamento da pressurização (2.5) e Operação de pressurização em emergência (2.6) e pelos componentes “Controle das válvulas solicitadas”,	

“Controle das linhas de pressurização”, “Entrada analógica do grupo hidráulica”, “Entrada digital do grupo hidráulica”, “Saída digital do grupo hidráulica”, “Solicitação do grupo hidráulica” e “Resposta do grupo hidráulica às solicitações”.....	118
Figura B. 61 – Componente “Controle do grupo ar comprimido”, composto pelos “componentes” Controle da pressurização das ampolas de ar comprimido, Controle das válvulas solicitadas ao grupo ar comprimido, Controle de consumo das ampolas de ar comprimido, Entrada analógica do grupo ar comprimido, Entrada digital do grupo ar comprimido, Saída digital do grupo ar comprimido e Resposta do grupo ar comprimido às solicitações.....	118
Figura B. 62 – Aplicativo IPMS composto pelos “componentes” Controle do Subsistema Energia, Comandos do subsistema Energia, Sensores do subsistema Energia, Atuadores do subsistema Energia, Controle do grupo hidráulica, Comandos do grupo hidráulica, Atuadores do grupo hidráulica, Sensores do grupo hidráulica, Controle do grupo ar comprimido, Atuadores do grupo ar comprimido, Sensores do grupo ar comprimido e o relacionamento entre eles.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Lista dos sensores e atuadores do subsistema energia presentes na Figura 4-4 e na Figura 4-5.....	35
Tabela 4.2 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Entrada digital (1.6.1)] da Figura 4-22.....	35
Tabela 4.3 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Entrada analógica (1.6.2)] da Figura 4-22.....	35
Tabela 4.4 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Saída digital (1.6.3)] da Figura 4-22.....	35
Tabela 4.5 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Módulo de solicitação a outro controlador (1.6.4)] da Figura 4-22.....	35
Tabela 4.6 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Submarino Patrulhando (1.1)) da Figura 4-24.....	35
Tabela 4.7 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Iça o mastro (1.2.1.1.1)] da atividade [Içamento do mastro (1.2.1.1)] da Figura 4-25.....	35
Tabela 4.8 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Estabiliza o mastro (1.2.1.1.2)] da atividade [Içamento do mastro (1.2.1.1)] da Figura 4-25.....	35
Tabela 4.9 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Drena o mastro (1.2.1.1.3)] da atividade [Içamento do mastro (1.2.1.1)] da Figura 4-25.....	35
Tabela 4.10 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abre as válvulas (1.2.1.1.4)] da atividade [Içamento do mastro (1.2.1.1)] da Figura 4-25.....	35
Tabela 4.11 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Libera a v. cabeça (1.2.1.1.5)] da atividade [Içamento do mastro (1.2.1.1)] da Figura 4-25.....	35
Tabela 4.12 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita GDG_1 (1.2.1.1.6)] da atividade [Içamento do mastro (1.2.1.1)] da Figura 4-25.....	35
Tabela 4.13 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita ctrl de entrada de água (1.2.1.2.1)] da Figura 4-26.....	35
Tabela 4.14 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF nível tanque _1 (1.2.1.2.2)) da Figura 4-26.....	35
Tabela 4.15 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona bomba (1.2.1.2.3)] da Figura 4-26.....	35
Tabela 4.16 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF nível tanque _2 (1.2.1.2.4)) da Figura 4-26.....	35
Tabela 4.17 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Desliga bomba (1.2.1.2.5)] da Figura 4-26.....	35
Tabela 4.18 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (V. cabeça fechada (1.2.1.3.1)) da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] da Figura 4-27.....	35
Tabela 4.19 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abre v. cabeça (1.2.1.3.2)] da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] da Figura 4-27.....	35
Tabela 4.20 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (V. cabeça aberta (1.2.1.3.3)) da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] da Figura 4-27.....	35
Tabela 4.21 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fecha v. cabeça (1.2.1.3.4)] da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] da Figura 4-27.....	35

Tabela 4.22 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Desabilita v. cabeça (1.2.1.4.1)] da atividade [Ariamento do mastro (1.2.1.4)] da Figura 4-28.....	35
Tabela 4.23 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fecha as válvulas (1.2.1.4.2)] da atividade [Ariamento do mastro (1.2.1.4)] da Figura 4-28.	35
Tabela 4.24 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Arria o mastro (1.2.1.4.3)] da atividade [Ariamento do mastro (1.2.1.4)] da Figura 4-28.	35
Tabela 4.25 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Estabiliza o mastro (1.2.1.4.4)] da atividade [Ariamento do mastro (1.2.1.4)] da Figura 4-28.....	35
Tabela 4.26 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abrir v. interna (1.2.2.1)],da Figura 4-29.	35
Tabela 4.27 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Destruir v. externa (1.2.2.2)],da Figura 4-29.	35
Tabela 4.28 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita GDG_2 (1.2.2.3)],da Figura 4-29.	35
Tabela 4.29 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (V. externa fechada (1.2.2.4)),da Figura 4-29.	35
Tabela 4.30 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abre v. externa (1.2.2.5)],da Figura 4-29.	35
Tabela 4.31 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (V. externa aberta (1.2.2.6)) da Figura 4-29.	35
Tabela 4.32 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fecha v. externa (1.2.2.7)],da Figura 4-29.	35
Tabela 4.33 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Travar v. externa (1.2.2.8)],da Figura 4-29.	35
Tabela 4.34 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fechar v.interna (1.2.2.9)],da Figura 4-29.	35
Tabela 4.35 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Inicio do GDG (1.3.1)]da Figura 4-30.	35
Tabela 4.36 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor parado (1.3.2)) Figura 4-30.	35
Tabela 4.37 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento (1.3.3)],da Figura 4-30.	35
Tabela 4.38 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerra geração (1.3.5)]da Figura 4-30.	35
Tabela 4.39 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Motor ligando (1.3.6)],da Figura 4-30.	35
Tabela 4.40 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor ligado (1.3.7)),da Figura 4-30.	35
Tabela 4.41 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Desligando normal (1.3.8)],da Figura 4-30.	35
Tabela 4.42 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Fornecendo energia (1.4.1)) da Figura 4-31.	35
Tabela 4.43 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Passa a receber (1.4.2)],da Figura 4-31.	35
Tabela 4.44 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recebendo energia (1.4.3)) da Figura 4-31.	35

Tabela 4.45 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Passa a fornecer (1.4.4)].da Figura 4-31.	35
Tabela 4.46 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador].	35
Tabela 4.47 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Dispositivo com o desligamento pelo tempo].	35
Tabela 4.48 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Atuadores com desligamento pelo controlador].	35
Tabela 4.49 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Dispositivo não automático]. ..	35
Tabela 4.50 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Sensores].	35
Tabela 4.51 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor ligado_m1 (1.3.7_m1)) da Figura 4-40.	35
Tabela 4.52 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Desligamento em emerg (1.3.9)].	35
Tabela 4.53 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor ligado_m2 (1.3.7_m2)) da Figura 4-41.	35
Tabela 4.54 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF nível_tanque 3 (1.5.1)) da Figura 4-42.	35
Tabela 4.55 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerramento normal (1.5.2)] da Figura 4-42.	35
Tabela 4.56 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF estado v. cabeça (1.5.3)) da Figura 4-42.	35
Tabela 4.57 – Descrição dos elementos do modelo em RdP das atividades [By-pass do fechamento_1 (1.5.4)], [By-pass do fechamento_2 (1.5.8)] e [By-pass do fechamento_3 (1.5.12)] da Figura 4-42.	35
Tabela 4.58 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita fechamento v. cabeça (1.5.5)] da Figura 4-42.	35
Tabela 4.59 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita o encerramento do ctrl de entrada de ar (1.5.6)] da Figura 4-42.	35
Tabela 4.60 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF estado v. externa (1.5.7)) da Figura 4-42.	35
Tabela 4.61 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita fechamento v. externa (1.5.9)] da Figura 4-42.	35
Tabela 4.62 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento da exaustão (1.5.10)] da Figura 4-42.	35
Tabela 4.63 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF tacômetro (1.5.11)) da Figura 4-42.	35
Tabela 4.64 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita desligamento em emerg (1.5.13)] da Figura 4-42.	35
Tabela 4.65 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento da geração em emerg (1.5.14)] da Figura 4-42.	35
Tabela 4.66 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor parado_m (1.3.2_m)) da Figura 4-48.	35
Tabela 4.67 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor ligado_m (1.3.7_m)) da Figura 4-48.	35
Tabela 4.68 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (V. Externa aberta_m (1.2.2.6_m)) da Figura 4-49.	35

Tabela 4.69 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (V. Externa fechada_m (1.2.2.4_m)) da Figura 4-49.	35
Tabela 4.70 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (V. cabeça fechada_m (1.2.1.3.1)) da Figura 4-50.	35
Tabela 4.71 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (V. cabeça aberta_m (1.2.1.3.3)) da Figura 4-50.	35
Tabela 4.72 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recebendo energia_m (1.4.3_m)) da Figura 4-51.	35
Tabela 4.73 – Lista dos objetos que compõem o componente “Solicitação” e as suas respectivas funções.	35
Tabela 4.74 – Lista dos “objetos” que compõem o “componente” Comandos do subsistema Energia e as suas respectivas funções.	35
Tabela B. 1 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recirculação desligada (2.2.1)) da Figura B. 21.	118
Tabela B. 2 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona recirculação (2.2.2)] da Figura B. 21.	118
Tabela B. 3 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recirculação ligada (2.2.3)) da Figura B. 21.	118
Tabela B. 4 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para recirculação (2.2.4)] da Figura B. 21.	118
Tabela B. 5 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Selecionar VS1 (2.2.5)] da Figura B. 21.	118
Tabela B. 6 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização desligada (2.3.1)) da Figura B. 22.	118
Tabela B. 7 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abre V2 (2.3.2)] da Figura B. 22.	118
Tabela B. 8 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização em espera (2.3.3)) da Figura B. 22.	118
Tabela B. 9 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Configura VS3_1 (2.3.4)] da Figura B. 22.	118
Tabela B. 10 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [By-pass VS3_1 (2.3.5)] da Figura B. 22.	118
Tabela B. 11 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona M2_1 (2.3.6)] da Figura B. 22.	118
Tabela B. 12 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 1 (2.3.7)) da Figura B. 22.	118
Tabela B. 13 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para M2_1 (2.3.8)] da Figura B. 22.	118
Tabela B. 14 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Configura VS3_2 (2.3.9)] da Figura B. 22.	118
Tabela B. 15 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [By-pass VS3_2 (2.3.10)] da Figura B. 22.	118
Tabela B. 16 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona M2_2 (2.3.11)] da Figura B. 22.	118
Tabela B. 17 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 2 (2.3.12)) da Figura B. 22.	118
Tabela B. 18 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para M2_2 (2.3.13)] da Figura B. 22.	118
Tabela B. 19 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fecha V2 (2.3.2)] da Figura B. 22.	118
Tabela B. 20 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Recebe solicitação (2.4.1.1)] da Figura B. 23.	118
Tabela B. 21 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Envia cmdo (2.4.1.2)] da Figura B. 23.	118

Tabela B. 22 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Recebe resposta (2.4.1.3)] da Figura B. 23.....	118
Tabela B. 23 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Responde solicitação (2.4.1.4)] da Figura B. 23.....	118
Tabela B. 24 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Linha principal operando (2.4.2.1)) da Figura B. 24.....	118
Tabela B. 25 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Altera configuração para secundária (2.4.2.2)] da Figura B. 24.....	118
Tabela B. 26 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Linha secundária operando (2.4.2.3)) da Figura B. 24.....	118
Tabela B. 27 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Altera configuração para principal (2.4.2.4)] da Figura B. 24.....	118
Tabela B. 28 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Módulo de resposta Hidráulica (2.1.5)] da Figura B. 25.....	118
Tabela B. 29 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Compressor 1 desligado (3.2.1.1)) da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 30 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Config vv grupo 1 (3.2.1.2)] da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 31 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona compres 1_1 (3.2.1.3)] da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 32 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização do grupo 1 (3.2.1.4)) da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 33 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerra compres 1_1 (3.2.1.5)] da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 34 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerra a press em 1 (3.2.1.6)] da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 35 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Config vv grupo 3 (3.2.1.7)] da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 36 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona compres 1_3 (3.2.1.8)] da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 37 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização do grupo 3 (3.2.1.9)) da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 38 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerra compres 1_1 (3.2.1.5)] da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 39 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerra a press em 1 (3.2.1.6)] da Figura B. 26.....	118
Tabela B. 40 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Grupo 1 fornecendo (3.3.1.1)) da Figura B. 27.....	118
Tabela B. 41 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona grupo 2 (3.3.1.2)] da Figura B. 27.....	118
Tabela B. 42 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Grupo 2 fornecendo (3.3.1.3)) da Figura B. 27.....	118
Tabela B. 43 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona grupo 2 (3.3.1.2)] da Figura B. 27.....	118
Tabela B. 44 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização desligada desligada em emerg (2.6.1)) da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 45 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Solicita abertura da V47 (2.6.2)] da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 46 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abre V3 (2.6.3)] da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 47 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização em emerg em espera (2.6.4)) da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 48 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Configura VS2_1 (2.6.5)] da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 49 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [By-pass VS2_1 (2.6.6)] da Figura B. 31.....	118

Tabela B. 50 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona BHP1_1 (2.6.7)] da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 51 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 1 em emerg (2.6.8)) da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 52 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para BHP1_1 (2.6.9)] da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 53 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Configura VS2_2 (2.6.10)] da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 54 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [By-pass VS2_2 (2.6.11)] da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 55 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona BHP1_2 (2.6.12)] da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 56 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 2 em emerg (2.6.13)) da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 57 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para BHP1_2 (2.6.14)] da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 58 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fecha V3 (2.6.15)] da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 59 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Solicita fechamento da V47 (2.6.16)].da Figura B. 31.....	118
Tabela B. 60 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização no modo normal (2.5.1)) da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 61 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF estado do M2 (2.5.2)) da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 62 – Descrição dos elementos do modelo em RdP das atividades [By-pass do encerramento do M2 (2.5.3)] da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 63 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento do M2_1 (2.5.4)].da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 64 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento do M2_2 (2.5.5)].da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 65 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita o fechamento de V2 (2.5.6)].da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 66 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF estado da recirculação (2.5.7)) da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 67 – Descrição dos elementos do modelo em RdP das atividades [By-pass o encerramento da recirculação (2.5.8)] da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 68 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento da recirculação (2.5.9)].da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 69 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita a pressurização no modo emergencial (2.5.10)].da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 70 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização no modo emergencial (2.5.11)) da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 71 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerra a pressurização no modo emergencial (2.5.12)] da Figura B. 32.....	118
Tabela B. 72 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recirculação ligada_m (2.2.3_m)) da Figura B. 36.....	118
Tabela B. 73 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recirculação em espera_m (2.3.3_m)) da Figura B. 37.....	118
Tabela B. 74 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 1_m (2.3.7_m)) da Figura B. 37.....	118
Tabela B. 75 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 2_m (2.3.12_m)) da Figura B. 37.....	118
Tabela B. 76 – Lista dos “objetos” que compões o “componente” Solicitação do grupo hidráulica e as suas respectivas funções.....	118
Tabela B. 77 – Lista dos “objetos” que compõem o “componente” Comandos do grupo hidráulica e as suas respectivas funções.....	118

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

BHE – Bomba Hidráulica Elétrica
BHP – Bomba Hidráulica Pneumática
CAv – Controle de Avarias
CFTV – Circuito Fechado de TV.
COTS – *Commercial Off-The-Shelf*.
CP – Controlador Programável
GDG – Grupo Diesel-Gerador
GEP – Gerador Elétrico Principal
HVAC – *Heating, Ventilation and Air Conditioning*
IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*
IPMS – *Integrated Platform Management System*
MCP – Motor à Combustão Principal
MEP – Motor Elétrico Principal
OBTS – *On-Board Training System*
PFS – *Production Flow Schema*
PID – Proporcional – Integral – Derivativo
QFP – Quadro de Força Principal
RdP – Rede de Petri
SED – Sistema a Evento Discreto
SVC – Sistema de Variável Contínua
UTR – Unidade Terminal Remota
VRF – Verificar

LISTA DE TERMOS RESERVADOS

Redes de Petri (Fonte: Courier New 12 pontos sublinhado)

Arco habilitador

Arco inibidor

Arco orientado

Capacidade

Disparo

Lugar

Marca

Marcação

Peso do arco

Transição disparável

Transição fundida

Transição habilitada

Transição instantânea

Transição requisitada

Transição requisitante

Production Flow Schema (Fonte: Courier New 12 pontos)

Atividade

Distribuidor

Arco orientado

Orientação a Objeto

“Classe”

“Método”

“Objeto”

“Componentes”

LISTA DE SÍMBOLOS

Rede de Petri

N – representa a rede de Petri sem marcação.

M_0 – marcação inicial de uma rede de Petri.

M_i – marcação 'i' qualquer de uma rede de Petri.

P – conjunto de lugares de uma rede de Petri.

p_i – lugar 'i' qualquer de uma rede de Petri.

T – conjunto de transições de uma rede de Petri.

t_i – transição 'i' qualquer de uma rede de Petri.

F – conjunto de arcos orientados

f_i – arco orientado 'i' qualquer de uma rede de Petri.

W – conjunto de pesos que é dado aos arcos orientados.

σ – representa a sequência de ocorrência de disparos de transições.

$R(N, M_0)$ – conjunto de todas as marcações alcançáveis, da rede de Petri

N , a partir de M_0 .

$M[\sigma]M_n$ – denota uma sequência de ocorrência de disparo de transições σ que transforma M em M_n .

Matemáticos

N – conjunto dos números naturais

N^+ – conjunto dos números naturais positivos.

RESUMO

O sistema de gerenciamento de uma plataforma naval envolve um conjunto de subsistemas específicos que de um lado devem atuar com certo grau de autonomia e de outro, devem manter uma forte relação de interdependência (subsistema elétrico de potência, subsistema de HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), subsistema hidráulico, subsistema pneumático, subsistema de propulsão, entre outros). A interação entre estes subsistemas se torna relativamente complexa quando se considera a possibilidade de ocorrência de situações de emergência. As duas últimas décadas do século XX foram marcadas pelo desenvolvimento de novas tecnologias que potencialmente permitem integrar todos esses subsistemas com o intuito de aumentar a confiabilidade do sistema e diminuir o número de tripulantes necessários para operá-lo. Particularmente o sistema conhecido como IPMS (*Integrated Platform Management System*) tem sido introduzido como um sistema de engenharia com arquitetura distribuída usado em navios e submarinos para o controle e monitoração dos seus equipamentos. Entretanto, nos levantamentos até aqui realizados, não foi encontrada nenhuma ferramenta específica para se modelar as funcionalidades deste sistema. Por outro lado, novas ferramentas têm sido desenvolvidas para auxiliar na concepção e análise dos sistemas produtivos. Neste contexto, a simulação distribuída se destaca por potencialmente proporcionar uma redução no tempo de análise e facilitar a modelagem dos sistemas, no sentido que subsidia a modularização e a verificação da execução autônoma de processos. Dessa forma, o presente trabalho detalha a aplicação de um método de modelagem de sistemas distribuídos, visando sua futura análise por meio de técnicas de simulação distribuída no desenvolvimento de um IPMS, usando como estudo de caso um submarino convencional.

ABSTRACT

The management system of a naval platform involves a number of specific subsystems that one side must act with some degree of autonomy and the other, should maintain a strong relationship of interdependence (electric power subsystem, HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) subsystem, hydraulic subsystem, pneumatic subsystem, propulsion subsystem, among others). Interaction between these subsystems becomes quite complex when considering the possibility of emergency situations. The last two decades of the twentieth century were marked by the development of new technologies that would potentially allow integrating all these subsystems in order to increase system reliability and reduce the number of crew needed to operate it. Particularly the system known as IPMS (Integrated Platform Management System) has been introduced as an engineering system with distributed architecture used on ships and submarines for the control and monitoring of their equipment. However, in surveys carried out to date, there were no specific tool to model the functionality of the system. Moreover, new tools have been developed to assist in the design and analysis of production systems. In this context, the distributed simulation stands out for potentially provide a reduction in analysis time and facilitate the modeling of systems in the sense that subsidizes the modularization of the implementation and verification of autonomous processes. Thus, this paper details the application of a method for modeling distributed systems, aiming at their further analysis by means of simulation techniques to develop a distributed IPMS, as a case study using a conventional submarine.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O sistema de gerenciamento de uma plataforma naval envolve um conjunto de subsistemas específicos que de um lado devem atuar com de certo grau de autonomia e de outro, devem manter uma forte relação de interdependência (sistemas elétricos de potência, sistemas de HVAC, sistemas hidráulicos, sistemas pneumáticos, sistema de propulsão, entre outros). A interação entre estes subsistemas se torna relativamente complexa quando se considera a possibilidade de ocorrência de situações de emergência e a necessidade de manter operacionais funções que envolvem uma efetiva colaboração entre os sistemas.

Até o início da década de 90, o controle destes subsistemas era realizado por meio de painéis dedicados e ligados diretamente aos sensores e atuadores através de cabos elétricos (*hard-wired*) como relatado em SCOTT; CRAMPIN (2005). Desde então, na área militar, sob o contexto de uma nova ordem mundial pós-Guerra Fria, caracterizada principalmente por conflitos localizados e redução dos orçamentos para Defesa, a situação mudou (GALANTE, 2010; MACLEOD; SMEALL, 1999).

As marinhas de todo o mundo, para se adequarem a essa nova ordem, passaram a desenvolver navios multi-propósitos (Fragatas Type 23 inglesas, Fragatas classe Karel Doorman holandesas e Fragatas FREMM francesas) e concomitantemente passaram a utilizar em seus sistemas componentes comerciais, denominados COTS (*commercial off-the-shelf*) (Fragatas classe Niterói brasileiras, Submarinos classe Scorpène chilenos, Porta aviões Charles de Gaulle francês), objetivando a redução radical do custo e do tempo de desenvolvimento (MACLEOD; SMEALL, 1999; TOMAS; SEGULJA; JELAS, 2006, SCOTT; CRAMPIN, 2005; WELCH *et al.*, 1996; MORLEY, 2005; L3-MAPPS, 2010, GALANTE, 2010; CARNEIRO, 2010; DCNS, 2010).

O uso de navios multi-propósitos e a introdução de equipamentos mais modernos a bordo (dispositivos de *hardware* e *software*) aumentaram a complexidade da interação entre os diversos subsistemas que compõe essas embarcações. Adicionalmente a este fato, ocorreram evoluções no setor da informática: aumento da capacidade de processamento e armazenagem de dados dos controladores programáveis (CPs) e o desenvolvimento das redes de comunicação que possibilitaram

a implementação de sistemas distribuídos de forma mais confiável. Assim, as duas últimas décadas do século XX foram marcadas pelo desenvolvimento de novas tecnologias que potencialmente permitem integrar todos esses subsistemas com o intuito de aumentar a confiabilidade do sistema e diminuir o número de tripulantes necessários para operá-lo. Particularmente o sistema conhecido como IPMS (*integrated platform management system*) tem sido introduzido como um sistema de engenharia usado em navios e submarinos para o controle e monitoração de todos os seus equipamentos (MACLEOD; SMEALL, 1999; SCOTT; CRAMPIN, 2005; WELCH *et al.*, 1996; DCNS, 2010)

Um IPMS necessita de vários especialistas para desenvolvê-lo devido à quantidade de informações, pontos de vista considerados (gerencial, operacional), natureza das variáveis envolvidas e o limitado tempo para o projeto e implementação. Porém, na literatura consultada, não se apresentam sistemáticas, métodos e mesmo ferramentas que auxiliem no projeto deste sistema. No entanto, com base nas definições apresentadas em Villani *et al.* (2007), um IPMS pode ser visto como um sistema produtivo (SP) uma vez que realiza processos utilizando recursos materiais, equipamentos, recursos humanos e outras entidades físicas para a produção de bens e serviços. Ou seja, como um SP devidamente visto no ambiente naval, o IPMS tem como objetivo executar as funções operacionais do navio ou submarino e manter as condições físicas adequadas para que a tripulação execute suas tarefas com eficiência e eficácia.

Neste sentido, técnicas de modelagem e análise, como a rede de Petri (RdP), pode ser utilizada no projeto de IPMS. Em especial, o uso da simulação distribuída se destaca por facilitar a modelagem dos sistemas e proporcionar uma redução potencial no tempo de análise, no sentido que subsidia a modularização e a verificação da execução dos processos (JUNQUEIRA, 2006). Desta forma, neste trabalho propõe-se um método de modelagem para o projeto de IPMS. Em decorrência da complexidade destes sistemas, este método considera que o modelo resultante é para fim de análise por meio de técnicas de simulação distribuída.

1.1. Objetivo geral

Do exposto anteriormente, visa-se, com o presente trabalho, contribuir para o estudo e aprimoramento de técnicas de modelagem que exploram o potencial da simulação distribuída para o projeto de sistemas de gerenciamento integrado de plataformas navais (IPMS).

O objetivo específico é o estudo e detalhamento da aplicação de método/procedimento de modelagem de um IPMS, sendo que o estudo de caso considerado é um submarino convencional.

1.2. Organização deste texto

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica relevante para o desenvolvimento do trabalho. Neste capítulo são abordadas:

- O conceito de IPMS (*Integrated Platform Management System*) e como ele deve ser empregado nos sistemas de controle e monitoração das plataformas navais;
- Conceituação de sistema a eventos discretos (SED), hierarquia de controle e sistema supervisorio, simulação e simulação distribuída;
- Definição e aplicação da rede de Petri (RdP) e do *Production Flow Schema* (PFS); e
- Descrição de um procedimento genérico de modelagem para sistemas distribuídos.

No capítulo 3 é proposto um aprimoramento no procedimento genérico de modelagem para sistemas distribuídos, apresentado no capítulo 2, de forma que sistemas complexos como o IPMS possuam uma sistemática de modelagem mais adequada.

O capítulo 4 é dedicado a um estudo de caso – desenvolvimento de um IPMS para um submarino convencional – onde o método proposto no capítulo 3 é aplicado. No capítulo 5 apresentam-se os principais resultados obtidos e as propostas para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Aborda-se neste capítulo os principais conceitos que são necessários para o desenvolvimento da modelagem do IPMS visto como um sistema distribuído.

2.1. IPMS

Integrated Platform Management System (IPMS) é conceitualmente um sistema de engenharia com arquitetura distribuída usado em navios e submarinos para o controle e gerenciamento dos seus equipamentos em tempo real. Na prática, considera-se que englobam os equipamentos da propulsão, geração e distribuição de eletricidade, acionamento de máquinas auxiliares, navegação, controle de profundidade (para submarinos) e controle de avarias. Adicionalmente, o IPMS também deve dispor de recursos para treinamento a bordo (OBTS – *On-Board Training System*), equipamento de circuito fechado de TV (CFTV), equipamento para o monitoramento do estado de cada máquina (*health monitoring*), para a manutenção preditiva e uma interface com o sistema de combate (MACLEOD; SMEALL, 1999) (L3-MAPPS, 2009a).

Estes equipamentos envolvem dispositivos de *hardware* e *software* que compõem subsistemas específicos com certo grau de autonomia para execução de suas tarefas. Estes equipamentos/subsistemas fazem parte do IPMS e assim, no restante do texto, serão referenciados genericamente como subsistemas.

Segundo SIEMENS (2009), o conceito do IPMS passou a ser adotado em projeto de novas embarcações porque proporciona a integração de todos os subsistemas necessários para maximizar o desempenho da embarcação, oferecendo as seguintes vantagens:

- possibilita o controle de funções de todos os componentes que integram os subsistemas, o que aumenta a disponibilidade do sistema como um todo e a sua confiabilidade operacional;
- é uma solução de automação menos dispendiosa já que os componentes que fazem parte dos subsistemas podem ser padronizados para todas as partes que constituem o sistema;

- viabiliza um melhor controle de avarias, permitindo a rápida ação de contramedidas para o combate de sinistros;
- possibilita um treinamento realístico, a bordo, para situações críticas;
- possibilita a automatização de diversas tarefas, liberando a tripulação para outras tarefas.

Segundo Bagdasarian; Kasturi (1997), L3-MAPPS (2009a) e SIEMENS (2009) o IPMS deve possuir uma arquitetura distribuída para implementar o controle digital em tempo real. Para a interface do operador do IPMS, este sistema é composto por:

- i) Unidades Terminais Remotas (UTRs)¹;
- ii) consoles multifuncionais, que operaram todos os subsistemas existentes de acordo com a senha de acesso do operador; e
- iii) uma rede redundante de comunicação de dados, que faz a comunicação entre as diversas UTRs (dispostas de forma distribuída a bordo) e os consoles multifuncionais. Um exemplo da configuração de um IPMS é apresentado na Figura 2-1.

Em essência, considera-se que o IPMS atua e/ou interage sobre todos os equipamentos de bordo e tem como vantagem a otimização das operações a bordo e a redução do número de tripulantes para a realização dessas atividades.

¹São dispositivos com processadores digitais robustos distribuídos pelos diversos compartimentos da embarcação, numericamente definidos de acordo com o porte da planta do navio. São os responsáveis pelo acesso aos sinais de sensores e atuadores da planta através da rede local de comunicação de dados. Esta pode ser feita de uma forma direta através de fios, ou por meio de uma estrutura de rede de comunicação de campo. Por meio das UTRs pode-se acionar funções tais como, aquisição de dados dos sensores, execução de testes de plausibilidade de dados e violação de limites, transmissão de dados entre os subsistemas do IPMS, execução de sequências automáticas de processos, transmissão de sinais de comando aos atuadores, execução de *built-in tests on-line* e *off-line*, etc (MACLEOD; SMEALL, 1999).

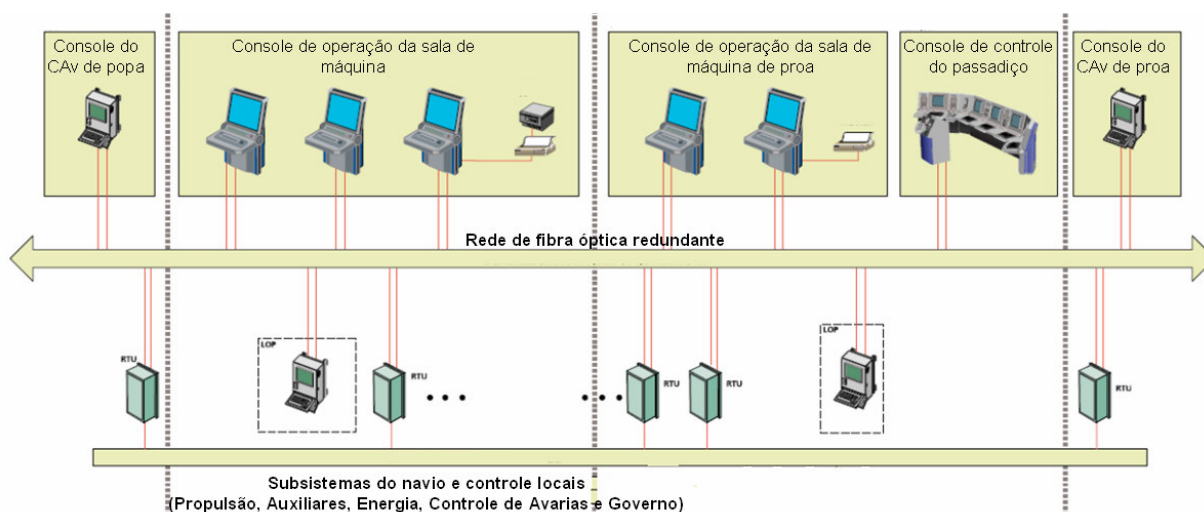


Figura 2-1 – Exemplo de configuração da arquitetura de um IPMS (adaptado de L3-MAPPS, 2009).

2.2. Sistema a Eventos Discretos (SED)

Sistema é um termo amplamente utilizado e cujo entendimento pode ser feito de forma intuitiva. Como exemplo das definições encontradas na literatura tem-se:

- Uma combinação de componentes que agem conjuntamente para desempenhar uma função que não pode ser realizada por nenhum deles individualmente (RADATZ, IEEE, 1997 *apud* CASSANDRAS; LAFORTUNE, 2008).
- Uma parte limitada do universo que interage com o mundo externo através das fronteiras que o delimitam (AGUIRRE *et al.*, 2007).

Quando se deseja realizar o projeto de um sistema, é fundamental desenvolver modelos que ajudem a entender o seu comportamento sob diversas situações antes da sua construção efetiva (VILLANI *et al.*, 2007). As variáveis desses modelos podem ser classificadas como discretas ou contínuas. As variáveis discretas têm os seus possíveis valores associados, por exemplo, ao conjunto dos números naturais, enquanto que as variáveis contínuas podem assumir qualquer valor dentro de uma determinada faixa e assim podem ser associadas, por exemplo, ao conjunto de números reais.

Como resultado dessa dicotomia, os sistemas podem ser classificados em sistemas a eventos discretos (SEDs) ou sistemas de variáveis contínuas (SVCs) (HO, 1987 *apud* VILLANI *et al.*, 2007).

O SED é por definição um sistema dinâmico que evolui de acordo com a ocorrência de eventos considerados instantâneos, em intervalos de tempo em geral irregulares e desconhecidos que resultam na mudança abrupta do estado discreto do sistema (CURY, 2001 *apud* MUNAKATA; ICHIKAWA, 2005). Pode-se citar como exemplos de SEDs um sistema pneumático de abertura/fechamento de uma porta (válvula aberta ou fechada), um sistema hidráulico para o acionamento de uma prensa (bomba funcionando, em *stand by* ou desligada), um sistema moto-gerador (partir o motor, parar o motor, acionar resfriamento) entre outros.

Baseado nas definições anteriores, o IPMS pode ser considerado como um SED exatamente por poder ter seus estados alterados pela ocorrência de eventos, sejam eles externos, como o comando do operador ou a alteração de missão da embarcação, ou interno, como a mudança do estado de um determinado subsistema devido ao fim de uma temporização.

2.3. Hierarquia de Controle e Sistemas Supervisórios

De acordo com Silva *et al.* (1998) e Andreu (1996) *apud* Villani (2003) o controle de um sistema produtivo estruturado hierarquicamente pode ser organizado nos seguintes níveis: Planta, Controle Local, Supervisão, Ordenação e Planejamento. Essa estruturação pode ser visualizada na Figura 2-2.



Figura 2-2 – Níveis de organização do controle de um sistema produtivo (VILLANI, 2003).

Segundo Villani (2003), estes níveis de controle possuem as seguintes características:

Controle Local: interage diretamente com os dispositivos físicos da Planta a ser controlada. Em geral é formado por controladores como CPs (Controladores Programáveis) e Controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo). As suas tomadas de decisão são em tempo real, ou seja, uma ação de controle deve ser ativada sempre dentro de um intervalo de tempo pré-definido para assegurar o funcionamento dos equipamentos da planta de acordo com os comandos do nível de supervisão.

Supervisão: age sobre o Controle Local de modo a executar as tarefas determinadas pelo nível de controle superior (nível de Ordenação), como, por exemplo, escolha e execução de planos alternativos de acionamento de válvulas. Supervisiona a evolução de processos na Planta de modo a detectar e diagnosticar falhas, e tomar as medidas necessárias de acordo com o tipo de falha. Suas decisões também ocorrem em tempo real, ou seja, uma ação de supervisão deve ser ativada sempre dentro de um tempo pré-definido para assegurar a evolução dos processos de acordo com os comandos do nível de Ordenação.

Ordenação: determina previamente, para certo intervalo de tempo e de acordo com uma estratégia pré-definida, as tarefas a serem executadas pelo nível de Supervisão. Ele é responsável, por exemplo, em um sistema produtivo, pelo escalonamento das atividades dentro de um plano de tarefas a serem aplicados sobre um horizonte temporal, decidindo como será a utilização dos recursos. É classificado como um sistema reativo, ou seja, existe um horizonte de tempo ao final do qual algumas decisões são tomadas.

Planejamento: toma decisões para um horizonte de tempo relativamente maior. Também é chamado de nível tático. É classificado como um sistema não reativo, ou seja, as decisões são tomadas em instantes pré-definidos ao fim de cada horizonte temporal sobre o qual o plano de tarefas correspondente é elaborado.

Nesse contexto, o IPMS, embora envolva sinais do nível de controle local, devido às características operacionais próprias de navios e submarinos, pode ser visto como um sistema que atua no nível de supervisão, pois apresenta as duas funções principais que o caracterizam desta forma:

- agir sobre o nível de Controle Local de modo a executar as tarefas determinadas pelo nível de controle superior (de Ordenação), como, por

exemplo, quando este envia o comando para acionar o subsistema de geração de energia elétrica, o IPMS supervisiona as tarefas do Controle Local dos motores à combustão, onde os processos de partida e intertravamentos realizam a aceleração efetiva do motor; e

- supervisionar a evolução de processos na Planta como um todo de modo a detectar e diagnosticar situações de emergência (situações anormais), e tomar as medidas necessárias de acordo com o estado atual do sistema. Por exemplo, no caso do subsistema de ar comprimido, se um compressor falhar, o IPMS pode tomar as providências necessárias para que outro o substitua sem a necessidade de intervenção humana ou caso falte energia para o circuito de pressurização de óleo hidráulico, o supervisor deve gerenciar a pressurização em emergência, utilizando ar comprimido, caso necessário.

2.4. Simulação

A simulação consiste em “executar” o modelo de um sistema e gerar uma história artificial dos seus estados ao longo do tempo, para um intervalo finito de tempo, obtendo-se uma série de informações sobre o sistema em estudo (AGUIRRE *et al.*, 2007).

Este procedimento apresenta uma série de vantagens. Ele permite a detecção de inconsistências no modelo e erros de projeto de forma relativamente rápida. Ele pode ser aplicado em sistemas relativamente complexos onde a análise formal não é factível. Em geral, a simulação não exige conhecimentos adicionais além do próprio formalismo da modelagem (AGUIRRE *et al.*, 2007).

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, ou seja, não permite a verificação generalizada de propriedades do modelo, isto é, deve-se especificar claramente e objetivamente os experimentos a serem conduzidos para análise de cada aspecto de interesse do modelo e/ou sistema. Pela metodologia descrita em (AGUIRRE *et al.*, 2007) e (MIYAGI, 2006), se houver algum problema, deve-se rever os modelos e os experimentos para se fazer as correções necessárias.

O IPMS é um sistema complexo e o seu mau funcionamento pode provocar desde incidentes, como deixar um navio sem propulsão no meio do mar, até acidentes decorrentes de explosões e alagamentos que podem colocar toda uma tripulação em risco. Assim, torna-se impositivo o uso da simulação para avaliar e validar o seu desempenho tanto em condições consideradas normais (dentro das especificações) como em situações anormais (devido, por exemplo, à ocorrência de falhas).

2.5. Simulação distribuída

A simulação computacional de um sistema considera convencionalmente a edição e execução de um modelo em uma única plataforma de *hardware*. Por outro lado, a simulação distribuída trata da execução de modelos computacionais geograficamente dispersos em computadores conectados por meio de uma rede de comunicação, o que pode ser visto como um tipo de supercomputador virtual (FUJIMOTO, 1999; MCLEAN e RIDDICK, 2001 *apud* JUNQUEIRA (2006)).

Segundo Bandinelli *et al.* (2006), Fujimoto (1999) e Junqueira (2006) as potenciais vantagens do uso da simulação distribuída são:

- divisão dos esforços computacionais, reduzindo o tempo de execução da simulação como um todo;
- uma vez definida a estrutura da simulação e do mecanismo de comunicação entre os processos, os modelos de simulação podem ser desenvolvidos por diferentes equipes. Como resultado, o tempo de desenvolvimento pode ser reduzido;
- as equipes de desenvolvimento não precisam conhecer a dinâmica de todos os modelos. Elas podem focar seus esforços na especificação dos modelos sob sua responsabilidade e, quanto aos demais modelos, necessitam saber apenas as informações que estes necessitam ou provêm, ou seja, os modelos sob responsabilidade de outras equipes são considerados “caixas-pretas”;
- Dada a natureza modular adotada na modelagem distribuída, uma certa estrutura de modelo pode ser utilizada repetidas vezes ou mesmo em diferentes projetos (reutilização). A modularidade permite também que modificações em um

modelo, desde que não altere sua interface, afete minimamente o modelo global do sistema;

- modificação da configuração local, ou seja, o rearranjo de um modelo específico simulado em um computador envolve a alteração de apenas uma parte do modelo, o que facilita a sua manutenção;
- apresenta maior tolerância à falhas, pois se um computador apresentar problemas, os demais podem continuar a simulação; e
- distribuição geográfica, ou seja, executando o programa de simulação em um conjunto de computadores distribuídos, pode-se criar ambientes com pessoas que podem estar em diferentes localidades geográficas. Isto alivia drasticamente os custos com viagens destinadas à coordenação de tarefas envolvendo participantes de diferentes localidades.

Junqueira (2006) cita diversas formas para implementar a distribuição dos processos de simulação em diferentes sistemas computacionais. Sendo que essas se dividem basicamente em duas estruturas: a) computação paralela, onde se utilizam computadores com vários processadores, podendo ou não utilizar memória compartilhada, como uma forma de acelerar a simulação; e b) computação distribuída, onde se utiliza uma rede de computadores que trocam mensagens entre si por meio de uma rede de comunicação.

Fundamentado no conceito de computação distribuída, Junqueira (2006) desenvolveu um procedimento de modelagem baseado no uso conjunto de conceitos de orientação a objetos, rede de Petri e técnica de refinamento progressivo. Desta forma, os modelos gerados podem ser integrados e simulados concomitantemente com outros modelos em um ambiente distribuído e geograficamente disperso.

Nesse contexto, considera-se que o conceito de simulação distribuída é fundamental para o projeto de um IPMS, pois:

- é um sistema complexo e o seu desenvolvimento envolve uma equipe de projetista que deve seguir um cronograma severo e apertado nos seus prazos. Conseqüentemente, com a simulação distribuída, essa equipe pode ser dividida e cada grupo pode desenvolver uma parte do projeto e analisá-lo em diferentes computadores. Os únicos dados que os demais grupos necessitam

conhecer são as informações que serão trocadas entre os modelos. Outro benefício desta organização é que caso uma parte do sistema seja alterada, será necessário modificar apenas os modelos referentes a esta parte, uma vez que as interfaces já estão definidas e, em geral, não é necessário modificá-las;

- idealmente é um tipo de sistema supervisorio que trabalha como um sistema distribuído ao longo de uma embarcação a fim de oferecer uma maior tolerância à falhas. Assim, realizando a sua simulação também na forma distribuída tem-se um estudo ainda mais consistente e preciso em relação ao ambiente real de operação do IPMS.

2.6. Rede de Petri

O conceito da rede de Petri (RdP) foi proposto por C. A. Petri no início da década de 60 e é citado por pesquisadores da área como uma poderosa técnica para modelagem e análise de SEDs. É capaz de representar a dinâmica e a estrutura dos sistemas por meio de um grafo, podendo, assim, descrever visualmente a ocorrência de eventos concorrentes, assíncronos, síncronos, sequenciais, distribuídos e paralelos (PETRI, 1962 *apud* MURATA, 1989 *apud* VILLANI, 2003).

A 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 (VILLANI, 2003) (Figura 2-3).

Para estudar o comportamento dinâmico do sistema modelado em RdP, em termos dos seus estados e das alterações destes, cada lugar pode conter nenhuma ou um número positivo de marcas, representados por pequenos círculos negros. Em uma RdP, pode-se ter vários lugares com número variado de marcas. A distribuição dessas marcas em lugares, em um certo instante, define uma marcação da rede. Cada marcação descreve assim um dos estados discretos do sistema modelado (ZURAWSKI; ZHOU, 1994; VILLANI, 2003).

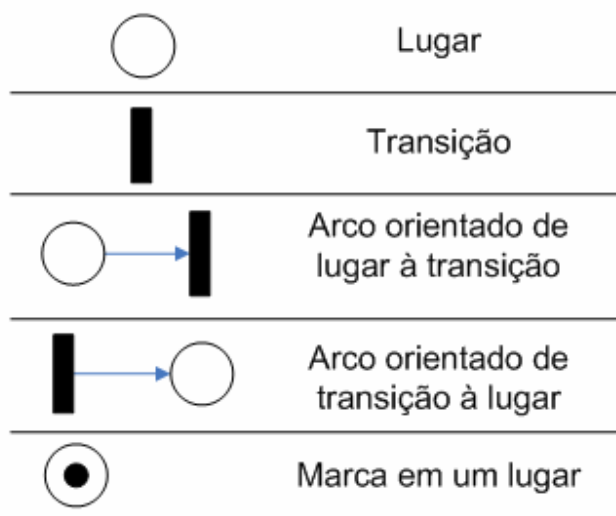


Figura 2-3 – Representação gráfica da Rede de Petri.

Segundo Li; Zhou (2008) uma RdP genérica (também chamada de RdP Lugar/Transição) é uma tupla formada por 4 elementos $\{P, T, F, W\}$, onde:

- $P = \{p_1 \dots p_n\}$ é um conjunto finito de lugares, com $n \in \mathbb{N}^+$.
- $T = \{t_1 \dots t_m\}$ é um conjunto finito de transições, com $m \in \mathbb{N}^+$.
- $P \cap T = \emptyset$; $P \cup T \neq \emptyset$
- $F \subset (P \times T) \cup (T \times P)$ é o conjunto composto pelos arcos orientados de entrada das transições (arcos que partem de lugares e chegam nas transições) e arcos orientados de saída das transições (arcos que partem das transições e chegam nos lugares).
- $W: F \rightarrow \mathbb{N}^+$ é uma função de ponderação para cada arco orientado.

$N = \{P, T, F, W\}$ é chamada de rede ordinária e pode ser representada por $N = \{P, T, F\}$ se $\forall f \in F, W(f) = 1$.

A pré-condição de um elemento $x \in P \cup T$ é definida como $\bullet x = \{y \in P \cup T \mid (y, x) \in F\}$. A pós-condição de um elemento $x \in P \cup T$ é definida como $x^\bullet = \{y \in P \cup T \mid (x, y) \in F\}$. A pré-condição (pós-condição) de um conjunto de elementos é definida como a união das pré-condições (pós-condições) dos seus elementos (LI; ZHOU 2008).

A marcação de $N = (P, T, F)$ é um mapeamento de $M: P \rightarrow \mathbb{N}$. $M(p)$ indica o número de marcas no lugar p no estado M . Utiliza-se $\sum_{p \in P} pM(p)$ para indicar a marcação M de modo que um lugar p é marcado em M se e somente se $M(p) > 0$. Um

subconjunto $D \subset P$ é marcado em M se e somente se pelo menos um lugar em D é marcado em M . O conjunto das marcas em todos os lugares em D é indicado por $M(D)$, onde $M(D) = \sum_{p \in D} M(p)$ (LI; ZHOU 2008).

$N=(P,T,F)$ é pura se e somente se nenhum *self-loop* existir, isto é, $\exists(x,y) \in (P \times T) \cup (T \times P)$, $(x,y) \in F \wedge (y,x) \in F$. A matriz resultante de uma rede pura $N=(P,T,F)$ é a matriz $[N] = [c_{ij}]$ indexada por P e T tal que $c_{ij} = 1$ se $t_j \in \bullet p_i \setminus \bullet p_i$, $c_{ij} = -1$ se $t_j \in p_i \setminus \bullet p_i$, e $c_{ij} = 0$ para os demais casos (LI; ZHOU 2008).

(N,M) é a denominação de uma rede marcada. (N, M_0) é limitada se e somente se $\exists k \in \mathbb{N}^+$, $\forall M \in R(N, M_0)$ e $\forall p \in P$, tal que $M(p) \leq k$ seja satisfeita.

Numa (N,M) com $N=(P,T,F)$, a transição $t \in T$ é habilitada pela marcação M , indicada por $M[t \rangle$, se e somente se $\forall p \in \bullet t$, $M(p) \geq 1$. Se $M[t \rangle$ for satisfeita, t pode disparar, resultando em uma nova marcação M' . Esta é indicada por $M[t \rangle M'$. Para a rede N , o conjunto de todas as marcações alcançáveis a partir de M_0 , indicado por $R(N, M_0)$, é o menor conjunto em que $M_0 \in R(N, M_0)$ e $M' \in R(N, M_0)$ se $M \in R(N, M_0)$, e $\exists t \in T$ tal que $M[t \rangle M'$ é satisfeita. A transição $t \in T$ é chamada de “viva” a partir de M_0 se e somente se $\forall M \in R(N, M_0)$, $\exists M' \in R(N, M)$ tal que $M'[t \rangle$ é satisfeita. N é chamado de “morta” a partir de M_0 se e somente se $\exists t \in T$ tal que satisfaça $M_0[t \rangle$. (N, M_0) é livre de *deadlock* se e somente se $\forall M \in R(N, M_0)$, $\exists t \in T$ tal que satisfaça $M[t \rangle$. (N, M_0) é “viva” se e somente se $\forall t \in T$ é “viva” a partir de M_0 . Uma sequência de ocorrência de disparo de transições $\sigma = t_1 t_2 \dots t_n$ é válida a partir da marcação M se existem marcações M_1, M_2, \dots , e M_n tal que $M[t_1 \rangle M_1[t_2 \rangle M_2 \dots M_{n-1}[t_n \rangle M_n$, o que é descrito por $M[\sigma \rangle M_n$. Para $M[\sigma \rangle M_n$ há $M_n = M + [N] \bar{\sigma}$, que é denominado equação de estado da rede N , onde $\bar{\sigma}$, chamado de vetor de disparo, é o vetor cuja i -ésima entrada indica o número de disparos de t_i em σ (LI; ZHOU 2008; AGUIRRE *et al.*, 2007).

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

- possuir 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.;

- oferecer um formalismo gráfico que permite a documentação e monitoração visual dos estados do sistema;
- representar a dinâmica e a estrutura do sistema segundo o nível de detalhamento desejado.

Ao longo do tempo, com o intuito de aumentar os tipos de sistemas capazes de serem modelados com o uso das RdP, algumas derivações das RdP Lugar/Transição foram desenvolvidas das quais se destacam, segundo Mazzariol; Santos (2007); Murata (1989); Zurawski; Zhou (1994); Villani (2003):

- RdP Estendida: onde é introduzido o arco inibidor e o arco habilitador. O arco inibidor liga um lugar a uma transição. Na sua presença, a transição só é considerada habilitada se além de cada lugar de entrada da transição contiver pelo menos o número de marcas igual ao peso do arco, não existir nenhuma marca presente nos lugares conectados a transição por um arco inibidor. Quando ocorre o disparo da transição, o número de marcas dos lugares conectados por meio dos arcos inibidores se mantém. O arco inibidor é representado em Murata (1989) por um arco tracejado que termina em um pequeno círculo vazado. Segundo Lejri; Tagina (2010), ele é representado por um arco sólido que termina em um pequeno círculo negro. No presente trabalho, a fim de facilitar a visualização, adotou-se a sua representação como um arco tracejado que termina em um pequeno círculo negro (Figura 2-4). O arco habilitador liga um lugar a uma transição e é representado por um arco tracejado com uma flecha na ponta (Figura 2-4). Eles são usados para testar se uma transição além de atender as condições usuais de disparo, atende condições especiais indicadas pela existência de marcas nos lugares de origem dos arcos habilitadores. Se as condições de disparo são satisfeitas, a transição é disparada, mas a marcação do lugar de origem do arco habilitador não é modificada (LEJRI; TAGINA, 2010).

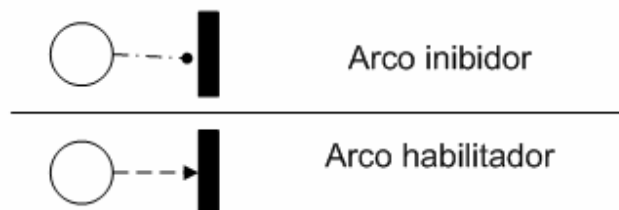


Figura 2-4 – Representação gráfica dos arco habilitador e do arco inibidor.

- RdP Temporizada: onde as transições possuem um parâmetro que representa o tempo que a marca leva para sair da pré-condição até chegar a pós-condição. Esse tempo pode ser determinístico ou estocástico. Essa derivação da RdP permite descrever a evolução do modelo em uma escala de tempo. Quando este parâmetro de tempo é igual a zero, a transição é chamada de transição instantânea;
- RdP de Alto Nível: onde se procura agregar às marcas certas estruturas de dados e regras de decomposição hierárquica. Entre as RdP de alto nível encontram-se a RdP Colorida e a RdP Predicado-Transição:
 - na RdP Colorida há a associação de 'cores' às marcas. A cada lugar associa-se um conjunto de cores correspondentes às marcas que podem pertencer a este lugar. A cada transição associa-se um conjunto de funções associadas às cores das marcas que correspondem às diferentes formas de habilitar a transição, o que permite que as transições sejam disparadas de forma diferenciada, dependendo do tipo de marcação considerada. Para a RdP Colorida, assim como para a RdP Lugar/Transição, as transições são associadas às regras de um sistema lógico proposicional (sem variáveis);
 - Segundo Cardoso; Valette (1997) *apud* Villani (2003), na RdP Predicado-Transição é introduzida a noção de variável. A cada transição são associadas condições suplementares de disparo, que são escritas como fórmulas lógicas utilizando variáveis. As transições tornam-se, portanto, regras de um sistema de lógica de primeira ordem (com variáveis).

- RdPs Orientada a Objeto: onde se inclui recursos para descrever propriedades e entidades derivadas da abordagem orientada a objetos.

Apesar destas extensões, as RdPs apresentam limitações para a efetiva aplicação em projeto e controle de sistemas complexos de grande porte como é o caso do IPMS. Os modelos se tornam excessivamente grandes porque toda a manipulação de dados tem que ser representada por meio da estrutura de rede e não existe a noção explícita de hierarquia, ou seja, não é possível construir um modelo de grande porte por meio de um conjunto separado de submodelos com interfaces bem definidas.

Com o intuito de suprir as deficiências da RdP e considerando a necessidade de se sistematizar o processo de construção do grafo, surgiram técnicas derivadas dela como o PFS que é conhecido como rede de Petri interpretada. Por meio do PFS/RdP pode-se modelar um SED de uma maneira hierárquica, ou seja, o modelo sofre sucessivos refinamentos de forma a detalhá-lo até o nível desejado.

No presente trabalho é utilizado o PFS para conduzir o processo de modelagem do sistema até um nível onde se possa empregar a RdP.

Observa-se ainda que uma forte justificativa para a adoção da RdP para a modelagem de sistemas é seu formalismo que pode ser explorado para análise qualitativa e quantitativa dos sistemas modelados. Como o foco do presente trabalho está na modelagem, indica-se os trabalhos de Murata (1989), Cardoso; Valette (1998), Miyagi (1996), Aguirre *et al* (2007) onde as propriedades estruturais e comportamentais da RdP são discutidas e são utilizadas para analisar os sistemas.

2.7. Production Flow Schema (PFS)

O PFS é um tipo de RdP e foi proposto para descrever a relação estrutural entre as principais partes de um sistema produtivo, indicando a ordenação das atividades. Este é um modelo conceitual, em geral, aplicado na fase inicial do processo de modelagem de um sistema que é gradativamente traduzido em um modelo em RdP, que representa os detalhes e o comportamento dinâmico das atividades.

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 **subatividades** com as suas respectivas interações.
- **Distribuidor** – representa um elemento passivo capaz de armazenar itens, 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** – indica 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.

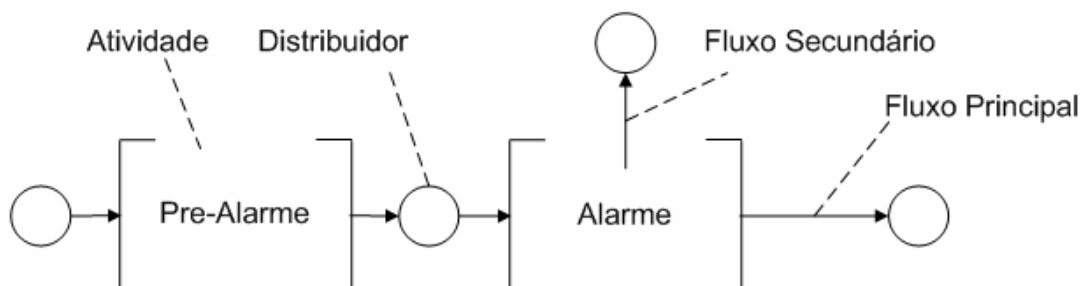


Figura 2-5 – Componentes do PFS (Kaneshiro, 2006).

2.8. Estudo da Interface entre modelos em RdP

A interface entre os modelos em RdP distribuídos deve ser construída de forma a permitir que estes se comuniquem tal que a simulação possa se desenvolver, bem como descrever corretamente as relações entre os modelos (MAZZARIOL, SANTOS, 2007).

Existem diversas formas pelas quais se pode relacionar dois modelos, sendo que alguns autores (BASTIDE, 1995; LAKOS, 1995; WANG, 1998; *apud* JUNQUEIRA, 2006) utilizam-se da relação entre mais de um tipo de elemento da RdP (lugares e

transições) simultaneamente. Sibertin-Blanc (1993) *apud* Junqueira (2006) utilizou-se da relação entre um só tipo de elemento, o que padroniza a modelagem da interface. Assim, pode-se citar três conceitos para a modelagem da interface:

- Fusão de lugares – dois lugares, de modelos diferentes, comportam-se como se fossem um só, ou seja, recebem e perdem as marcas simultaneamente;
- Fusão de transições – duas transições, de modelos diferentes, comportam-se como uma, ou seja, só disparam se as pré e as pós-condições de ambas são atendidas conjuntamente;
- Comunicação por arcos habilitadores – a conexão de arcos habilitadores entre os modelos permite que se controlem os disparos de transições.

Dentre estas, a fusão de transições foi o tipo de relação adotado em Junqueira (2006) para realizar a comunicação entre os modelos em diferentes plataformas computacionais por ser a forma mais simples de “administrar” as marcas (uma vez que na notação na fusão de lugares pode ter situações de dubiedade quando de requisições simultâneas) e por incluir menos elementos na RdP em relação à interface por arcos habilitadores. Maiores informações em Junqueira (2006).

Ao adotar a fusão de transição com interface entre os modelos, definiram-se dois tipos de transição de interface que são descritas a seguir:

- Interface transição requisitante (**azul**²) – transição utilizada para chamar a funcionalidade desejada no modelo requisitado ou a transição utilizada para retornar a resposta do modelo requisitado para o modelo requisitante;
- Interface transição requisitada (**vermelho**³) – transição utilizada para receber chamadas requisitando uma funcionalidade no modelo

² Nos modelos, os elementos de interface serão destacados em azul.

³ Nos modelos, os elementos de interface serão destacados em vermelho.

requisitado ou a transição utilizada, no modelo requisitante, para receber a resposta enviada pelo modelo requisitado.

Providências referentes às formas de programação também foram tomadas em Junqueira (2006) e são descritas abaixo:

- cada uma das funcionalidades do modelo deve ser disponibilizada por meio de uma transição requisitada, existindo ou não uma transição requisitante para a resposta no caso de ser uma função⁴ ou procedimento⁵, respectivamente;
- uma funcionalidade do modelo requisitado pode ser solicitada por um ou mais modelos requisitantes, ou seja, é uma relação [1..n] para 1 (Figura 2-6 (a));
- cada transição de requisição de um modelo requisitante só pode ser utilizada para requisitar a funcionalidade de um pré-determinado tipo de modelo requisitado. Para requisitar funcionalidades distintas de modelos requisitados distintos (ou até de um mesmo modelo), deve-se ter interfaces de requisição distintas (Figura 2-6 (b) e (c)); e
- para que uma funcionalidade de um modelo possa ser utilizada simultaneamente, por dois ou mais modelos requisitantes, o mesmo deve ser explicitado em RdP pois, do contrário, cada requisição é atendida conforme a disponibilidade da funcionalidade requisitada, na ordem em que os modelos a requisitam.

⁴ O modelo requisitante aguarda por uma resposta do modelo requisitado após a requisição ter sido feita.

⁵ O modelo requisitante não aguarda por uma resposta.

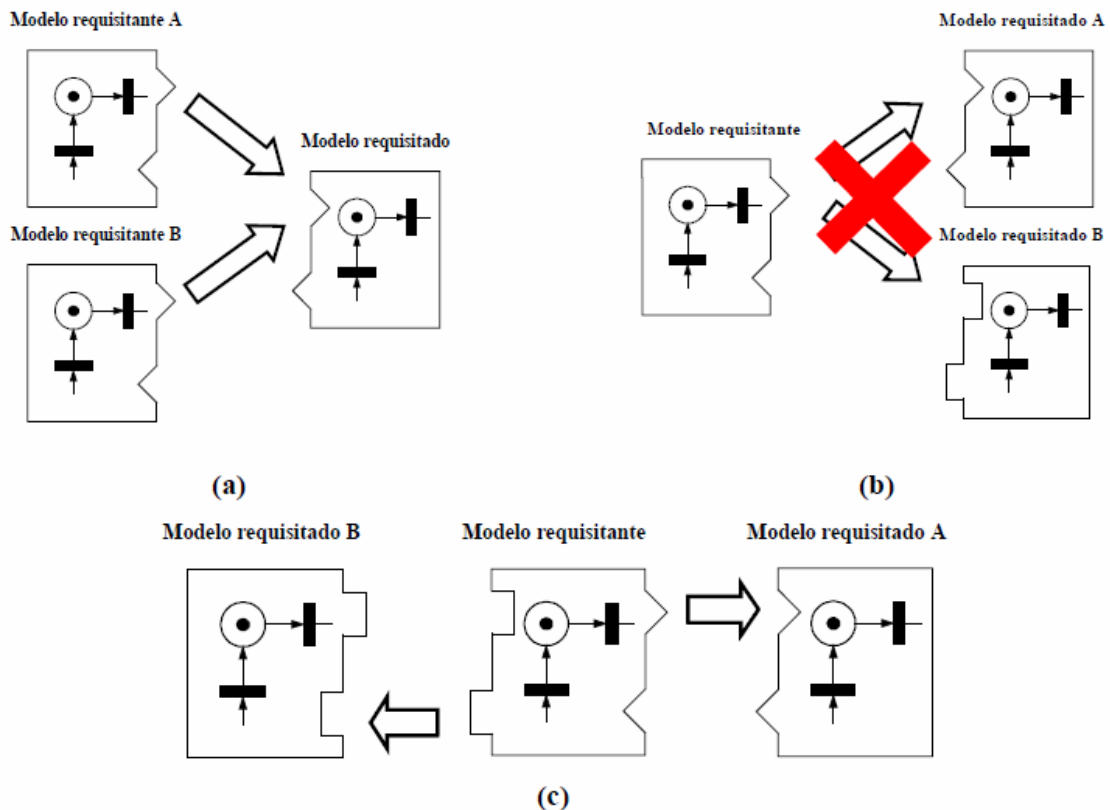


Figura 2-6 – Possíveis relações entre modelos: (a) diferentes modelos requisitantes podem requisitar a funcionalidade de um modelo requisitado por meio de um mesmo tipo de interface; (b) a não possibilidade de se utilizar uma mesma interface para requisitar funcionalidade de modelos distintos; e (c) a possibilidade de se requisitar funcionalidades distintas por meio de interfaces distintas (JUNQUEIRA, 2006).

2.9. Procedimento de Modelagem de Sistemas Distribuídos

O papel da modelagem no desenvolvimento de soluções de Engenharia é evidente, mas a elaboração de modelos claros e efetivos não é trivial. De fato, esse é um desafio constante nas diversas áreas da Engenharia, como é o caso de sistemas distribuídos.

Apesar de existirem vários procedimentos propostos para o desenvolvimento de modelos de sistemas distribuídos, não se considera que exista algo que se possa assumir como definitivo. Considerando em especial o caso de desenvolvimento de sistemas produtivos visando à análise destes por simulação distribuída, destaca-se aqui a proposta de Junqueira (2006) que procurou explorar as vantagens da RdP, orientação

a objeto, modularidade, componentização e outros conceitos na área da tecnologia da informação para sistematizar um procedimento para o desenvolvimento dos modelos.

Apresenta-se a seguir o procedimento proposto em Junqueira (2006) considerando a sua aplicação ao caso do IPMS.

Passo 1 – Definição do problema e delimitação do escopo do sistema

O modelador deve delimitar o âmbito do sistema em estudo, ou seja, quais as características e processos a serem modelados e analisados segundo as atividades/funções desejadas ou de acordo com o *hardware* disponível.

No caso do IPMS, após verificar quais as funções que ele deve gerenciar e os *hardwares* disponíveis, define-se, por exemplo, o seu escopo que eventualmente pode se restringir aos seguintes subsistemas: propulsão, geração de energia, controle de avarias, auxiliares e governo.

Passo 2 – Refinamento sucessivo e identificação dos elementos básicos do sistema e seus relacionamentos

Uma abordagem hierárquica e *top-down* é adotada nessa etapa.

O processo de modelagem inicia com a construção de um modelo conceitual das principais atividades (nível de supervisão) do sistema, dos subsistemas e seus relacionamentos. A seguir, cada atividade é detalhada até o nível de abstração desejável (nível de controle local). Técnicas de simplificação também são aplicadas neste processo. No final desta fase, um conjunto de elementos básicos que constituem o sistema e os subsistemas é identificado, isto é, funções de Controle Local realizados por dispositivos de controle de detecção, de atuação, de comando e de monitoração, assim como o relacionamento entre eles, isto é, suas interfaces e o formato das mensagens trocadas entre eles.

No caso de IPMS, as principais atividades estão associadas a cada subsistema. No exemplo do subsistema Auxiliar 2, descrito no próximo capítulo, ele é composto por outros 3 grupos: hidráulico, óleo combustível e óleo lubrificante. O subsistema hidráulico pode realizar três funções que são: recirculação e pressurização do óleo hidráulico e controle das válvulas acionadas hidráulicamente, mas que atuam de acordo

com a necessidade de outros sistemas. Essas funções sofrem refinamento até um nível que permita serem modeladas utilizando a RdP.

Passo 3 – Modelagem dos elementos básicos utilizando rede de Petri

Nesta etapa, as funcionalidades dos elementos básicos são modeladas usando RdP. Cada modelo é chamado “classe” (Figura 2-7). Similar às técnicas de programação orientadas a objeto, a “classe” descreve um conjunto de “objetos” que compartilham os mesmos atributos, operações, relacionamentos e semântica⁶.

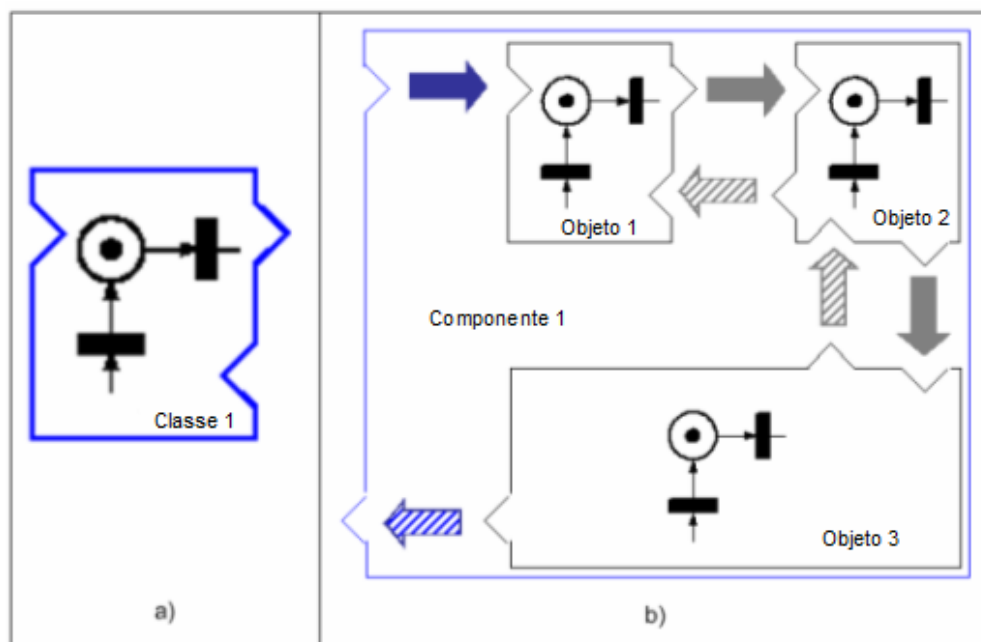


Figura 2-7 – (a) “Classe” modelada como rede de Petri; (b) “Componente” constituído por três “objetos”.

O modelo de cada elemento básico pode ser analisado isoladamente, facilitando a sua validação antes de sua utilização para compor outros modelos.

Passo 4 – Definição dos “Objetos”

Cada “classe” definida no passo 3 é usada como um modelo padrão para gerar um ou mais “objetos”. No caso do IPMS, a partir da “classe” válvula *On/Off* gera-se diversos objetos que representam cada válvula do sistema com essas características.

⁶ A definição das características de um “objeto” são escritas no Apêndice A.

Passo 5 – Geração dos componentes

Uma vez que os “objetos” foram definidos, eles podem ser combinados para formar um “componente”. Tem-se assim, neste passo, uma abordagem *bottom-up*. Este passo envolve três subetapas:

- i) Encapsulamento dos “objetos” em “componentes”;
- ii) Conexão entre as interfaces dos “objetos”; e
- iii) Mapeamento das interfaces dos “objetos” restantes como interface de “componente”.

O processo de componentização começa usando os “objetos” definidos no passo 4. “Objetos” que compartilham algumas características em comum, ou precisam trabalhar conjuntamente para a execução de uma tarefa, são agrupados (i) formando um “componente” (Figura 2-7b). Conseqüentemente, (ii) as interfaces dos “objetos” são conectadas (flechas cinza Figura 2-7b). No modelo em RdP, as interfaces são descritas como transições e a relação entre os modelos são realizadas por meio da técnica de fusão de transições (Figura 2-8).

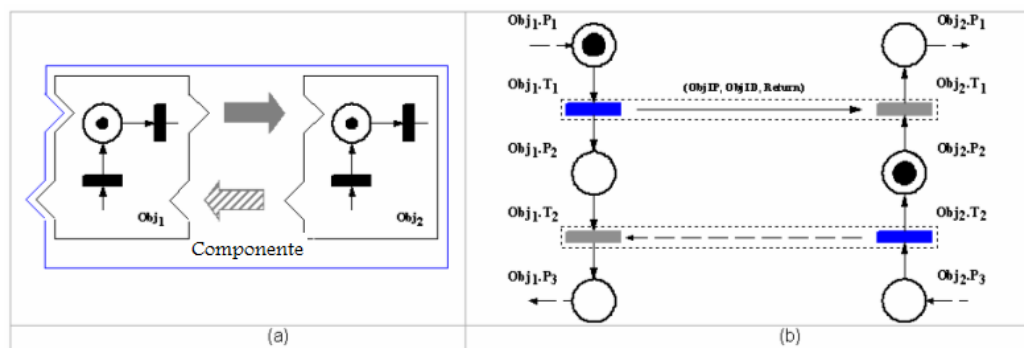


Figura 2-8 – Exemplo de interface de um objeto: (a) Representação esquemática; (b) Representação de uma rede de Petri com fusão de transições.

A chamada de “método” deve obedecer a seguinte regra: uma vez que um “objeto” faz a chamada de um “método” a um segundo “objeto”, ele deve esperar a resposta, não importa quanto tempo isso leve. Se um segundo “objeto” estiver executando a chamada de um “método” a um terceiro “objeto” no mesmo instante, ele irá adicionar uma requisição a uma lista de pedidos e executar este assim que possível. Um exemplo é ilustrado na Figura 2-9. Na Figura 2-9a, o “objeto 3” envia uma chamada de “método” ao “objeto 2”, mas o “objeto 2” está executando o “método” solicitado pelo

“objeto 1” ao mesmo tempo. Na sequência, a Figura 2-9b mostra os três “objetos” após a resposta do “objeto 2” ao “objeto 1”. Na Figura 2-9c, o “método” do “objeto 2” está disponível novamente e, na Figura 2-9d, o “objeto 2” está executando a chamada de “método” do “objeto 3”.

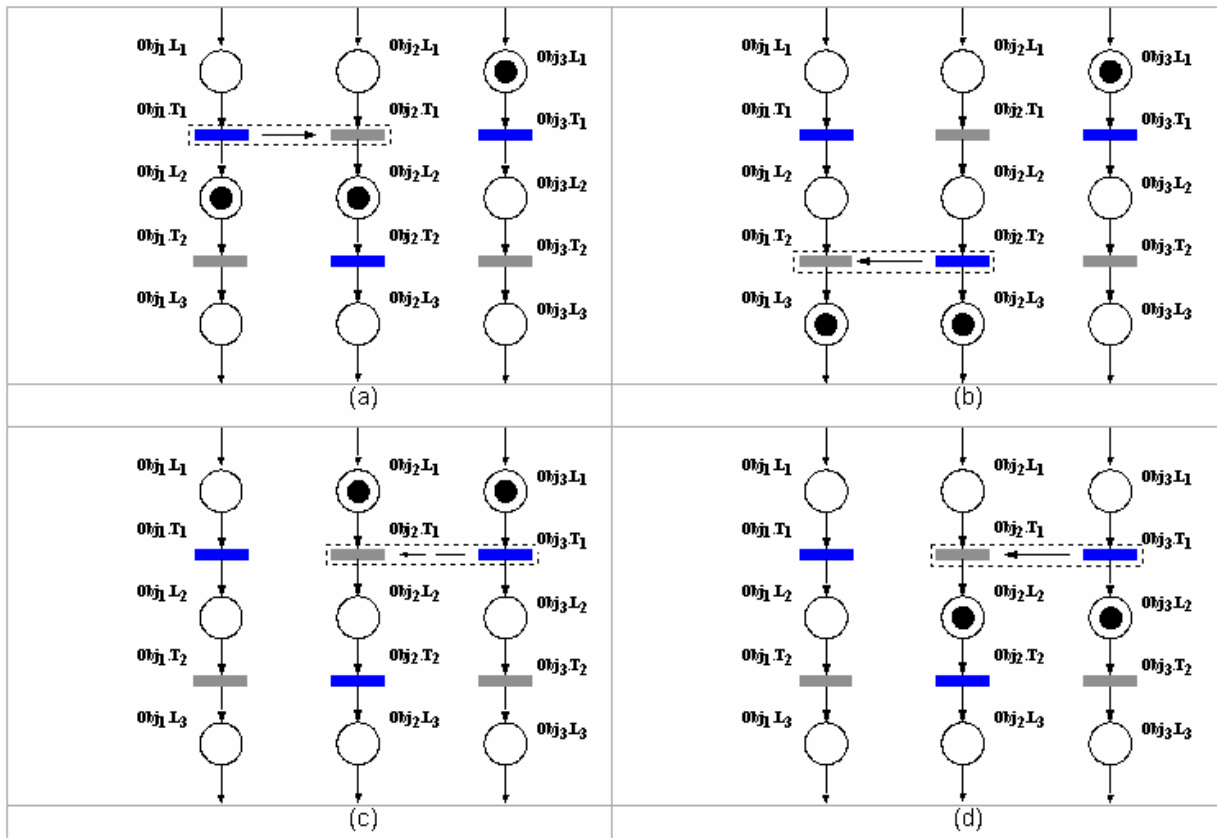


Figura 2-9 – Duas chamadas de “métodos” concorrentes: (a) O “objeto 2” está executando o “método” requisitado pelo “objeto 1”, por meio da fusão de transições Obj1.T1 e Obj2.T1, enquanto o “objeto 3” está esperando pela disponibilidade do “objeto 2”; (b) o “objeto 2” responde a chamada de “método” por meio da fusão de transições Obj2.T2 e Obj1.T2; (c) o “método” do “objeto 2” (Obj2.T1) está disponível novamente; e (d) o “objeto 3” solicita o “método” fornecido pelo “objeto 2” por meio da fusão de transições Obj3.T1 e Obj2.T1.

No modelo em RdP, esta regra implica que as transições que representam a chamada de “método” não podem estar em conflito com outras transições. A regra também determina que a transições associadas à chamada de “método” são sempre instantâneas.

Para concluir o modelo de componente, é necessário (iii) mapear as interfaces dos “objetos” remanescentes como interface de “componente”. As flechas azuis na Figura 2-7b são exemplos deste mapeamento.

No caso do IPMS pode-se juntar o “objeto” Consumo de ar das ampolas 1 e 2 e o “objeto” Consumo de ar das ampolas 3 e 4 e montar o “componente” Controle de consumo das ampolas de ar comprimido.

Passo 6 – Geração da “aplicação”

Para gerar uma “aplicação”, dois ou mais “componentes” são agrupados e suas interfaces são conectadas (Figura 2-10). Este passo é similar ao anterior, mas a diferença é que esta “aplicação” não possui interface externa. Em outras palavras, fazendo uma analogia com a área de *software*, um “componente” *stand-alone* não executa nada e pode ser usado em diferentes contextos, enquanto uma “aplicação” possui todos os elementos necessários para trabalhar sozinha e possui um propósito bem definido.

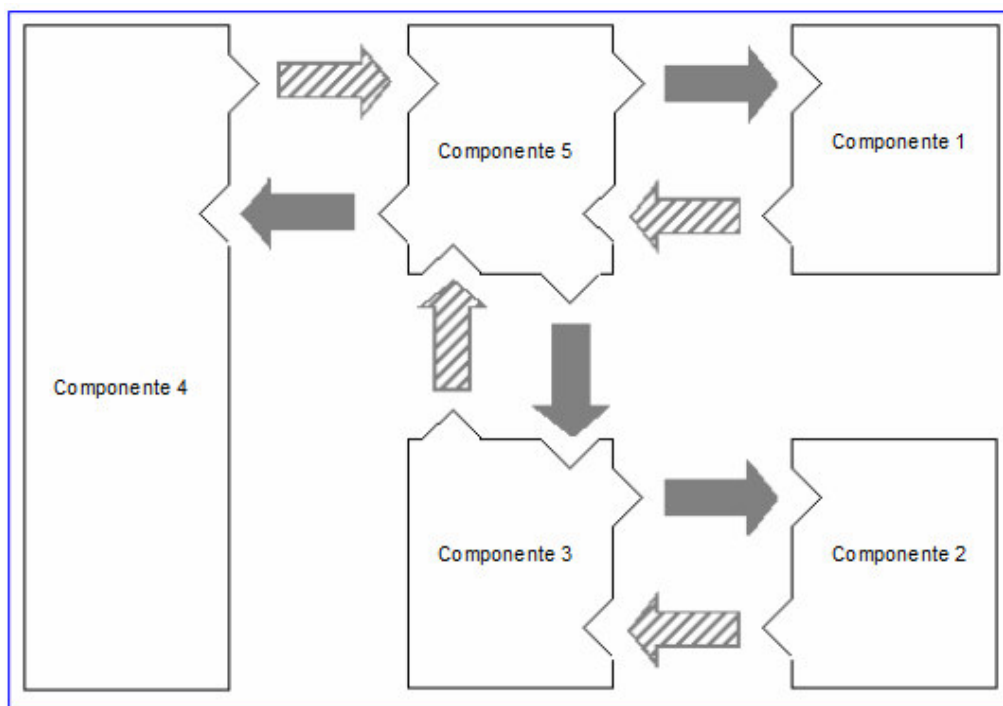


Figura 2-10 – Uma “aplicação” composta por dois ou mais “componentes”.

2.10. Síntese do capítulo

Neste capítulo apresentou-se o conceito de IPMS e a definição de SED, hierarquia de controle, sistema supervisorio, simulação e simulação distribuída e como essas se aplicam ao IPMS. Também foi abordado o uso da RdP para a modelagem de SED e porque a aplicação prática da RdP, no caso de um IPMS, necessita considerar uma regra para a interpretação de seus elementos estruturais e sistematização do processo de construção do grafo que neste trabalho é realizado pela técnica do PFS.

O passo seguinte foi descrever o procedimento de modelagem para sistemas distribuídos desenvolvido por Junqueira (2006). Esse procedimento é constituído de 6 etapas. Na primeira se define o problema por meio do delimitamento do seu escopo. Na segunda etapa realiza-se um refinamento sucessivo visando à identificação dos elementos básicos que compõem o sistema e seus relacionamentos. Na terceira etapa, cada um dos elementos básicos obtidos é modelado em RdP. Nesta etapa, cada modelo é tratado como uma “classe”, como na orientação a objeto. A partir da etapa 4 é realizada uma abordagem *bottom-up*, onde há a criação de “objetos” a partir das “classes” da etapa 3. Na etapa 5 há a geração de “componentes” por meio da união de dois ou mais “objetos” com uma finalidade comum e na etapa 6 há a geração do “aplicativo” por meio da união de “componentes”.

O procedimento desenvolvido por Junqueira (2006) considera a sua aplicação genérica em sistemas produtivos, sendo que os trabalhos publicados foram apenas em sistemas de manufatura. Assim, apesar do IPMS também poder ser visto como um sistema produtivo, o ambiente de uma embarcação (navio ou submarino) tem características próprias que não podem ser desconsideradas. Assim, o próximo capítulo discute os aprimoramentos do procedimento de modelagem visando sua aplicação prática para o desenvolvimento de um IPMS de um submarino convencional.

3. PROPOSTA DO PROCEDIMENTO APRIMORADO

Conforme o estudo até aqui realizado, o procedimento proposto em Junqueira (2006) procura combinar as vantagens de diferentes técnicas com comprovada validade para a modelagem e análise de sistemas produtivos. Por outro lado, também foi evidenciado que o IPMS apresenta características próprias, onde a aplicação de procedimentos genéricos de modelagem e análise não é trivial.

Assim, o presente capítulo apresenta os aprimoramentos que foram desenvolvidos para o procedimento de modelagem distribuída de sistemas considerando sua aplicação para o IPMS.

3.1. *Processamento de conflitos e de sinais de sensores*

No estudo do desenvolvimento dos modelos notou-se que existe um grande número de fusões de transição que podem estar concomitantemente em situação de conflito com outras transições (transições instantâneas). Como explicado em Junqueira (2006), essa situação, do ponto de vista formal do modelo em RdP é aceita, entretanto, do ponto de vista da execução do modelo numa simulação distribuída, isso gera um problema pelo tempo necessário para processar a fusão de transições o que resultaria sempre no disparo das transições instantâneas. A solução encontrada para esse problema é realizar um pré-processamento das fusões das transições referentes às leituras dos sensores e das informações oriundas dos demais subsistemas numa **atividade** específica denominada [pré-processamento] e fazer uso desta informação em outras partes do modelo por meio de arcos habilitadores. Da mesma forma, os sinais para o acionamento dos atuadores ou dados enviados aos demais subsistemas também devem ser pré-processados nesta **atividade** [pré-processamento].

Outro ponto é que alguns processos necessitam da leitura de sinais de um mesmo sensor. Assim, como uma transição requisitante só pode se comunicar com uma transição requisitada, o pré-processamento também é utilizado para ler o sinal do sensor e passar este a todos os usuários.

Assim, a **atividade** [pré-processamento] representa as funções que realizam a leitura e a escrita dos sinais externos ao modelo. A modelagem dessa função é mostrada durante o estudo de caso.

3.2. Forma de aplicação dos passos do método

O IPMS apresenta diversas situações de operação. Em um submarino, por exemplo, ele pode operar nas seguintes situações de operação: (a) na condição de atracado – quando somente alguns equipamentos funcionam; (b) na condição de cruzeiro – quando se realiza patrulha; (c) na condição de combate – quando todos os equipamentos devem estar prontos para serem utilizados. Em cada uma dessas situações, eventos que levem a estados de emergência podem ocorrer. Representar todas essas situações de operação em um único modelo gera um grafo relativamente complexo porque cada um desses processos tem que ser explicitamente descrito, assim como todas as inter-relações entre as **atividades** envolvidas.

Dessa forma, para a devida modelagem destas condições, no caso do IPMS, cada um dos passos do procedimento de modelagem foi revisto e melhor definido. Isto é, pela forma como o procedimento existente é apresentado em Junqueira (2006), o leitor é induzido a aplicar os seus passos de modo sequencial. No presente estudo, com base nas diferentes situações de operação do IPMS, considera-se inicialmente o sistema operando em situação normal e os passos de 1 a 3 devem ser conduzidos para cada um dos seus respectivos processos. A seguir, desenvolvem-se os modelos das situações de operação não normais de cada um dos processos e numa etapa posterior tem-se a integração desses modelos.

Para a realização da união entre os modelos de operação em situação normal e em situação não normal, analisa-se como cada situação não normal impacta nos processos em situação normal. Verificada as necessidades de alteração nos modelos, realiza-se o detalhamento sucessivo nas **atividades** no nível de PFS e no nível de RdP.

A partir de cada modelo em RdP, cria-se um ou mais “objetos”, fazendo uso do conceito de orientação a objeto. Esses “objetos” são então agrupados, gerando “componentes”. Cada um desses “componentes” tem uma função específica e, a união destes gera um aplicativo..

A Figura 3-1 apresenta assim o procedimento aqui proposto de modelagem para o IPMS. A Figura 3-2 é um detalhamento da parte referente ao “desenvolvimento dos modelos” que é instanciado várias vezes na Figura 3.1.

O presente trabalho não foca a validação do modelo resultante, entretanto, o princípio aqui considerado é que esta validação pode ser realizada com base nos requisitos do sistema, isto é, considera-se neste caso que o formalismo da RdP assegura a consistência da estrutura lógica dos processos e que foram derivados diretamente de sua especificação funcional. O uso do conceito de orientação a objetos no desenvolvimento do sistema, por sua vez, assegura um procedimento de composição de elementos onde problemas de modelagem e interpretação destes são facilmente detectados e corrigidos. Desta forma, o procedimento de modelagem é também associado com técnicas de simulação não apenas para verificação dos modelos mas também para a análise do comportamento dinâmico e sua validação.

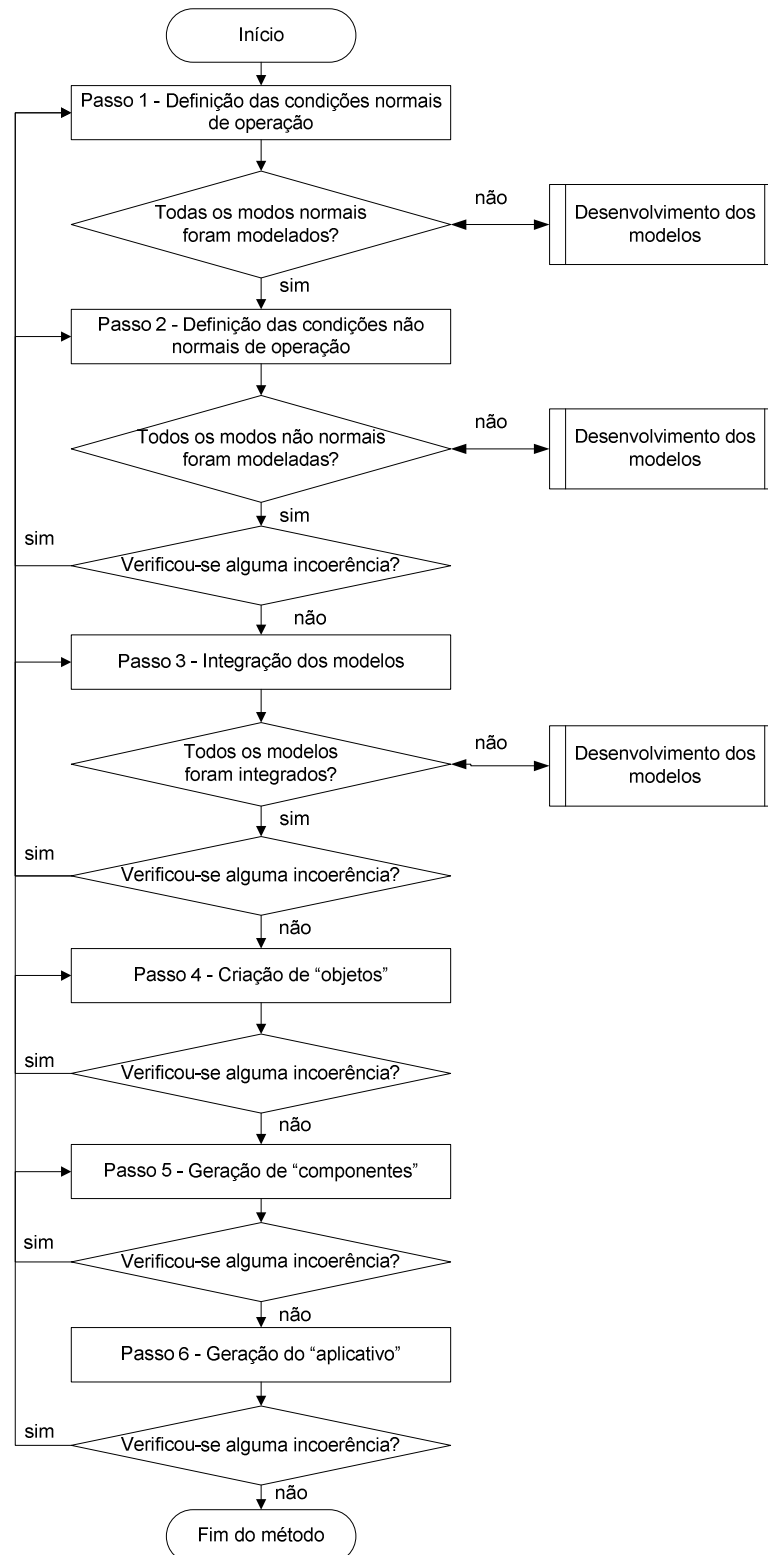


Figura 3-1 – Diagrama com o procedimento de modelagem do IPMS.

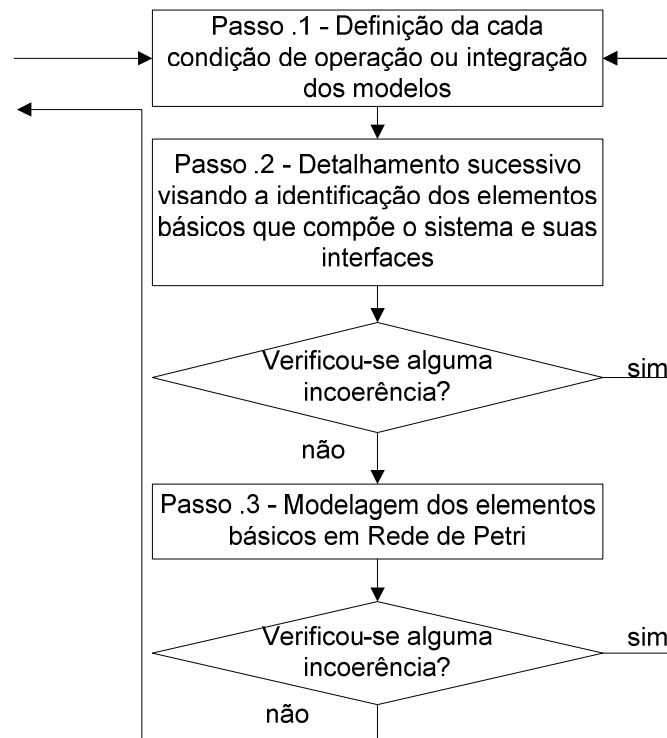


Figura 3-2 – Diagrama do processo desenvolvimento dos modelos.

3.3. Comunicação entre os modelos

No estudo desenvolvido em Junqueira (2006), toda comunicação entre objetos é realizada por meio de fusão de transições. No entanto os estudos realizados comprovaram que existem comunicações entre objetos de diferentes naturezas no modelo. Para também sistematizar a representação destas comunicações, no procedimento aqui desenvolvido, estabelece-se que um “componente” que possui “objetos” que realizam o seu pré-processamento, tem a comunicação entre o “objeto” de processamento e o “objeto” de pré-processamento representado por meio de arcos habilitadores. A comunicação entre “objetos” que possuam o mesmo “componente” de pré-processamento é realizada por meio de arcos orientados. A comunicação entre “objetos” ou “componentes” que possuam “componentes” de pré-processamento distintos é feita através dos seus “componentes” de pré-processamento. A comunicação entre os “componentes” de pré-processamento é feita por meio de fusão de transições. Esta comunicação entre os “objetos” é mostrada na Figura 3-3

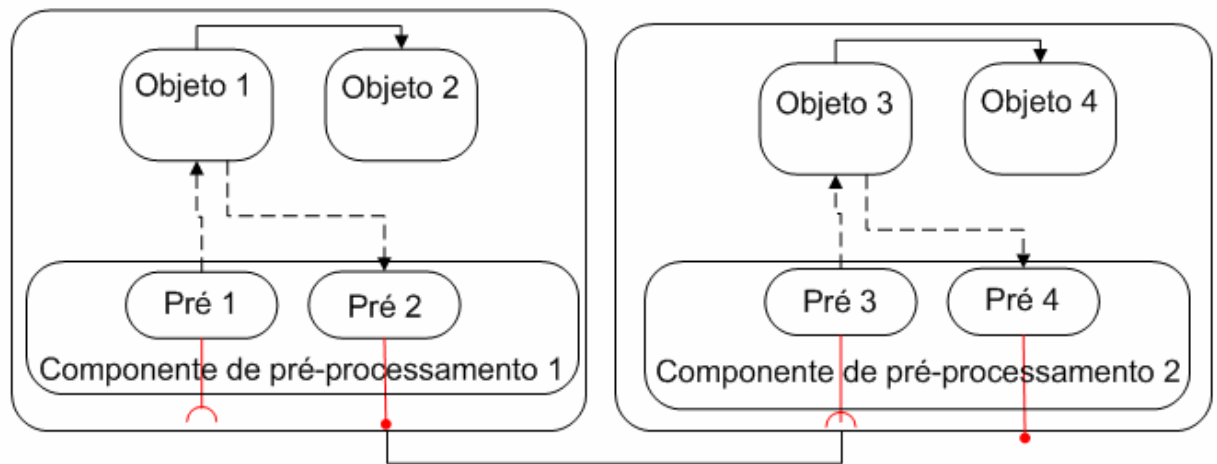


Figura 3-3 – Modo de comunicação entre os “objetos”..

3.4. Síntese do capítulo

Considerando-se as diversas situações que um sistema de controle e monitoração operando de forma distribuída pode e deve atuar, as seguintes modificações foram inseridas no método de modelagem desenvolvido em Junqueira (2006):

- forma de aplicação do método: inicialmente são modeladas as situações normais de operação do sistema. Na sequência, as situações não normais e posteriormente essas situações são integradas. Para cada uma dessas etapas define-se o escopo de cada um dos seus processos e realiza-se a modelagem por meio do PFS, onde um conjunto de elementos básicos que constituem o sistema é identificado. Feito isso, os elementos encontrados são modelados utilizando-se a RdP. Ao final desta etapa, prossegue-se com os Passos 4, 5 e 6 (criação de “objetos”, geração de “componentes” e geração do aplicativo) como no método original; e
- comunicação entre os objetos do modelo: no método original, toda comunicação entre objetos é realizada por fusão de transições. Entretanto, para evitar que transições requisitadas ficassem em conflito com outras transições, fez uso do conceito denominado de pré-processamento. Nesse tipo de abordagem, somente componentes que possuem componentes de pré-processamento distintos é que realizam a

sua comunicação por meio de fusão de transições . A comunicação entre “objetos” ou “componentes” que possuam “componentes” de pré-processamento comum é realizada por meio de arcos orientados ou arcos habilitadores .

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

4. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE MODELAGEM

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

5. CONCLUSÃO

O IPMS é o nome dado ao sistema que realiza o gerenciamento de plataformas navais (navios e submarinos) por meio da monitoração e controle dos seus diversos subsistemas. Devido a ausência identificada na literatura especializada sobre ferramentas próprias para a sua modelagem e análise, este estudo inicialmente procurou explorar o potencial do procedimento desenvolvido em Junqueira (2006) para sistemas produtivos (SPs) na modelagem do IPMS. No entanto, foram encontradas limitações de uso no procedimento original.

Assim, um procedimento aprimorado foi aqui desenvolvido. Para modelar diversas formas de operação do IPMS e foi explicitado como cada passo do procedimento deve iterativamente ser conduzido. Inicialmente modelando-se as situações normais de operação, depois as situações não normais de operação e por fim integrando-se todos os casos de uso. Para tratar as situações de conflito entre transições instantâneas e transições fundidas, o procedimento aprimorado estabelece que as fusões das transições referentes às leituras dos sensores, dos comandos do operador e das informações oriundas dos demais subsistemas devem ser tratadas como uma **atividade** denominada [pré-processamento] e fazer uso desta informação por meio de arcos habilitadores. Da mesma forma, os sinais para o acionamento dos atuadores ou dados enviados aos demais subsistemas também devem ser identificados nas **atividades** de [pré-processamento] para depois serem enviados. Além disso, devido a existência de comunicações entre objetos de diferentes naturezas do modelo, o procedimento aprimorado também estabelece uma regra para uniformizar este aspecto e assim facilitar a manutenção e entendimento do modelo gerado.

No estudo de caso apresentado neste texto, foram citadas várias considerações no sentido de simplificar os modelos, entretanto, a restrição maior foi exclusivamente referente à dimensão do texto e possível dificuldade de entendimento do procedimento de modelagem desenvolvido. Assim, no desenvolvimento do trabalho, de acordo com a metodologia de pesquisa adotada, o procedimento de modelagem considerado comprovou ser efetivo na definição de diretrizes a serem seguidas para o

desenvolvimento de modelos do IPMS, verificando-se a eficácia dos aprimoramentos introduzidos.

Esse mesmo procedimento pode ser estendido a outros SPs, haja vista esses sistemas possuírem diversas formas de operação, assim como o IPMS.

Dentre os temas de pesquisa que podem ser considerados com base no trabalho aqui apresentado, pode-se citar os seguintes:

- de acordo com trabalhos já publicados na área de rede de Petri, os modelos resultantes das **atividades** do PFS podem tanto individualmente como na forma composta serem verificados e validados com *softwares* de edição e simulação de rede de Petri já disponíveis. Entretanto, para uma avaliação mais precisa quanto aos aspectos de reusabilidade, manutenção dos modelos e de estratégias de simulação é necessário efetivamente executar a simulação dos modelos desenvolvidos no presente trabalho em um ambiente de simulação distribuída. Assim, o desenvolvimento prático desse ambiente é um tema de interesse; e
- o desenvolvimento de modelos é, em geral, fundamental para a análise de sistemas existentes e eventual estudo de melhoramentos e para a concepção e projeto de novos sistemas. No caso de novos sistemas os modelos resultantes são a base para a implementação dos programas a serem executados nos diferentes sistemas de controle de uma embarcação. Assim, o estudo de como decompor o modelo do sistema de controle entre controle local e o supervisor de acordo com os recursos de *hardware* disponíveis, requisitos de segurança e política de tratamento de situações de emergência, é também de grande interesse prático.

APÊNDICE A ORIENTAÇÃO A OBJETO

O conceito de “objetos” foi adotado inicialmente na estruturação de projetos de *software*. Ele surgiu como uma evolução da forma de se pensar sistemas e veio a substituir o paradigma estruturado¹⁰ (DOUGLASS, 1999 *apud* JUNQUEIRA, 2006).

“Objetos” representam entidades que possuem tanto atributos como comportamento. “Objetos” podem representar entidades do mundo real (como motores elétricos, válvulas, sensores, etc.), representar entidades puramente conceituais (pacotes de dados, por exemplo) ou mesmo entidades visuais (como histogramas, gráficos ou polígonos). Todas estas entidades possuem aspectos, tais como (DOUGLASS, 1998, 1999 *apud* JUNQUEIRA, 2006):

- identidade (identificação) – um nome para o “objeto”;
- atributo(s) – refere-se aos dados encapsulados em um “objeto”;
- comportamento (operação ou método) – são serviços que outros “objetos” podem requisitar através da(s) interface(s) do “objeto”;
- estado(s) – a forma como este é apresentado ou ainda, uma memória;
- responsabilidades – as responsabilidades de um “objeto” são funções que este desempenha no sistema. A interface e o comportamento provêm os meios pelos quais as responsabilidades são localizadas, mas não as define.

A idéia básica dos “objetos” é que este combina estas propriedades em uma única unidade (une dados e funções), enquanto a abordagem estruturada para o projeto de *software* lida com dados e funções de forma separada. O *objeto* é a unidade fundamental de decomposição em programação orientada a objeto (JUNQUEIRA, 2006).

¹⁰ Os métodos estruturados tratam o sistema como uma coleção de funções decompostas em mais funções primitivas. Os dados são secundários do ponto de vista estruturado.

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

**APÊNDICE B – CONTINUAÇÃO DOS MODELOS DO CASO DE
ESTUDO**

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

TEXTO NÃO DISPONIBILIZADO PELO AUTOR

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUIRRE, L. A. ; BRUCIAPAGLIA, A. H.; MIYAGI, P.E. ; TAKAHASHI, R. H. C (Editores). **Enciclopédia de Automática: Controle e Automação**, Vol. 1. 1ª Ed. São Paulo : Blücher, 2007.

ANDREU, D. **Commande et supervision des procédés discontinus** : une approche hybride. 1996. 168p. Tese (Doutorado) – Université Paul Sabatier. Toulouse, 1996.

BARROS, A. G. P.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia**: Um guia para a iniciação científica. São Paulo, McGraw-Hill, 1986.

BAGDASARIAN, A., KASTURI, R. **Integrated Platform Management System: F124 Frigates and Beyond**". MECON Proceedings – 05/1997

BANDINELLI, R.; RAPACCINI, M.; TUCCI, M.; VISINTIN, F. Using simulation for supply chain analysis: reviewing and proposing distributed simulation frameworks. **Production Planning & Control**, Vol. 17, No. 2, 167–175, March 2006.

BASTIDE, R. Approaches in unifying Petri nets and the object-oriented approach. In: **1st Workshop on Object-Oriented Programming and Models of concurrency, OO-MC'95, 16th international conference on applications and theory of Petri nets, ICATPN'95**. Torino, Italy, June 1995.

BURCHER, R.;RYDILL. L. **Concepts in Submarine Design**. Cambridge [England]; New York : Cambridge University Press, 1994.

CALVEZ, J.P. **Embedded Real-Time Systems**. John Wiley & Sons, 1993.

CARDOSO, J.; VALETTE,R. **Redes de Petri**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997. 212p.

CARNEIRO, M. R. V. ModFrag: uma actualização. SAORBATS: Organización y equipamiento de las fuerzas armadas iberoamericanas. Disponível em: <<http://www.saorbats.com.ar/articulos/ModFrag.htm>> acesso em 27 JAN 2010.

CASSANDRAS, C. G.; LAFORTUNE, S. **Introduction to Discrete Event Systems**. 2nd Ed. Springer Science+Business Media, LLC, 2008

CURY, J. E. R.. Teoria de controle supervisorio de sistemas a eventos discretos. **V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**. Canela – RS, 2001. (Disponível em: <<http://www.das.ufsc.br/~cury/cursos/apostila.pdf>> acesso em 16 JUN 2007).

DCNS. *DCNS a conçu et réalisé Shipmaster®, une gamme de systèmes de conduite de plate-forme.* Disponível em <<http://www.dcnsgroup.com/batiments-de-surface/equipements-navals/shipmaster.html>> acesso em 27 JAN 2010.

DOUGLASS, B. P. **Doing Hard Time – Real-Time UML: Developing Efficient Objects for Embedded Systems.** Addison Wesley Longman, Inc., 1998.

DOUGLASS, B. P. **Doing Hard Time – Developing Real-Time Systems with UML, Objects, Frameworks, and Patterns.** Addison Wesley Longman, Inc., 1999.

DYM, C. L. **Engineering Design: A Synthesis of View.** Cambridge University Press, New York, 1994.

FARLEX, The free dictionary, Submarine. Disponível em <<http://www.thefreedictionary.com/submarine>> acesso em 22 MAR 2010.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Dicionário Eletrônico Aurélio versão 5.0.** Ed. Positivo Informática LTDA, 2004.

FONSECA, M. M. *Arte Naval.* Vol. 1.5ª ed. – Rio de Janeiro: Serviço de Documentação Geral da Marinha, 1989.

FUJIMOTO, R.M. Parallel and distributed simulation systems. **In: Proceedings of the Winter Simulation Conference**, pp. 122-131, 1999.

GABLER, U. **Projetos de Submarinos.** Tradução de Célio Taniguchi, Paulo Carlos Kaminski, Décio Crisol Donha, entre outros. 1ª ed. São Paulo, AMRJ/ETCN, 1991.

GALANTE, A. As fragatas classe “Niterói”. *Revista Marinha.* Disponível em: <<http://www.mga.gv.ao/revistamarinha/edicao12/cienciaetecnica01.htm>> acesso em 27 JAN 2010.

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

HO, Y. C. Basic research, manufacturing automation, and putting the cart before the horse. **IEEE Transactions on Automatic Control** AC-32 (12): pp. 1042-1043, 1987.

JENSEN, K. **Coloured Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use.** Berlin, Springer-Verlag, Vol. 1., 1992.

JUNQUEIRA, F. **Modelagem e Simulação Distribuída de Sistemas Produtivos.** 222p. 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.

L3-MAPPS, IPMS. Disponível em: <<http://www.mapps.l3com.com/html/marine/pdf/ipms.pdf>> acesso em 19 FEV 2010.

LABNAV. Glossário de Arquitetura Naval . Disponível em: <<http://www.usp.br/fau/deprojeto/labnav/textos/tgl0040p.htm>> acesso em 19 FEV 2010.

LAKOS, C. A. The Object Orientation of Object Petri Nets. In: **Workshop on Object Oriented Programming and Models of Concurrency**, 1995.

LEJRI, O.; TAGINA, M. Hybrid Reconfigurable Petri Nets for modelling Hybrid Reconfigurable Manufacturing Systems. **Journal os studies of Manufacturing**. Vol1. 2010. pp75-84.

Li, Z.W.; Zhou, M.C. Control of elementary and dependent siphons in Petri nets and their application. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics** – Part A: Systems and Humans, Vol 34., No. 1, pp. 38 – 51, January 2004.

Li, Z.W.; Zhou, M.C. Elementary siphons of Petri nets and their application to deadlock prevention inflexible manufacturing systems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics** – Part A: Systems and Humans, Vol 38., NO. 1, January 2008.

MACLEOD, I. SMEALL, D. **A proposed integrated platform management system design for the RN future surface combatant**. International Conference on Human Interfaces in Control Rooms, Cockpits and Command Centres. Bath. 125-130,1999

MAZZARIOL, L. M, SANTOS, D. H. **Implementação de um Ambiente para a Simulação Distribuída de Sistemas Produtivos**. 94p.Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MCLEAN, C.;RIDDICK, F. **“Integrating distributed manufacturing simulations”**, Proc. of IEEE Intern. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 2, 2001, pp. 1294-1298.

MIGUENS, A. P. **Navegação Eletrônica e em condições especiais** – volume III. Nitrói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, Disponível em:<<https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap-44.pdf>> acesso em 02 FEV 2010.

MINISTÉRIO da Marinha. **Glossário de termos técnicos para a construção naval**. 1ª Ed. Rio de Janeiro, 1974.

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

MIYAGI, P. E. **Introdução a Simulação Discreta**. Apostila de PMR 2460, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MORLEY, J.I. Requirements and life cycle management for an integrated platform management system. **Journal Naval Engineering**, 42(3). 2005.

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.

MURATA, T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. **Proceedings of the IEEE** Volume 77, Issue 4, April 1989 Page(s):541 - 580

NAVAL-TECHNOLOGY, SSN Barracuda Nuclear-Powered Attack Submarine. Disponível em: <<http://www.naval-technology.com/projects/barracuda/>> Acesso em 27 JAN 2010.

PETRI, C. **Kommunikation mit automaten**. 1962. Tese (Doutorado) – Institut für Instrumentelle Mathematik. Bonn, 1962.

RADATZ, J. IEEE. **The IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms**. Institute of Electrical & Electronics Engineer; 6th edition, 1997

SCOTT, I.; CRAMPIN; T. Human systems integration on Platform Management Systems. **Journal Naval Engineering**, 42(3). 2005.

SIBERTIN-BLANC, C. A client-server protocol for the composition of Petri nets. **Proceedings of the 14th Intern. Conf. on Application and Theory of Petri Nets**, 1993; pp. 377-396.

SIEMENS, SINAVY IPMS. Disponível em: <http://www.industry.siemens.com/broschueren/pdf/marine/sinavy/en/SINAVY_IPMS.pdf> acesso em 17 JUL. 2009.

SILVA, M; TERUEL, E.; VALETTE, R.; PINGAUD, H.. **Petri Nets and production systems**. Lecture notes in Computer Science (Lectures on Petri nets II: applications), V.1492, pp.85-124, 1998.

THORNTON, G. B. A design tool for the evaluation of atmosphere independent propulsion in submarines. Dissertação de mestrado – Massachusetts Institute of Technology, 1994.

TOMAS, V.; SEGULJA, I.; JELAS, L. Integrated Platform Control and Monitoring Systems for Ships. **10th ICTS** 2006, Portorož

VILLANI, E.; MIYAGI, P. E.; VALETTE R. **Modelling and Analysis of Hybrid Supervisory Systems: A Petri Net Approach**, 1st Ed. London: Springer-Verlag, 2007.

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

WANG, L., WU, S. Modeling with colored timed object-oriented Petri nets for automated manufacturing systems. **Computers and Industrial Engineering**, Great Britain, Vol. 34, No. 2, p.463-480, 1998.

WELCH, L.; RAVINDRAN, B.; HARRISON, R.; MADDEN, L.; MASTERS, M. W.; MILLS, W. Challenges in engineering distributed shipboard control system. **17th Real-Time Systems Symposium**. Washington, 1996.

WIKIPEDIA, Submarine Snorkel. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Submarine_snorkel> acesso em 23 NOV 2009.

ZURAWSKI, R.; ZHOU, M. Petri nets and industrial applications: a tutorial. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, Vol. 41, No.6, December 1994.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)