

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

CONSULTA  
FD-5511  
Ed.rev.

22

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

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

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS .....</b>	<b>XVI</b>
<b>LISTA DE TERMOS RESERVADOS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XIX</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVO GERAL .....	3
1.2. ORGANIZAÇÃO DESTE TEXTO.....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
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
<b>3. PROPOSTA DO PROCEDIMENTO APRIMORADO.....</b>	<b>28</b>
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
<b>4.</b>	<b>APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE MODELAGEM.....</b>	<b>35</b>
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>38</i>
4.2.	PASSO 1 – MODELAGEM DA OPERAÇÃO NORMAL DO IPMS NA CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO NA COTA PERISCÓPICA .....	40
4.2.1.	<i>Passo 1.1 – Definição do problema delimitando o escopo do sistema.....</i>	<i>40</i>
4.2.2.	<i>Passo 1.2 – Identificação dos elementos básicos do sistema e seus relacionamentos .....</i>	<i>46</i>
4.2.3.	<i>Passo 1.3 – Modelagem dos elementos básicos em RdP.....</i>	<i>58</i>
4.3.	PASSO 2 – MODELAGEM DAS CONDIÇÕES NÃO NORMAIS DE OPERAÇÃO .....	79
4.3.1.	<i>Passo 2.1 – Definição dos Escopos.....</i>	<i>79</i>
4.3.2.	<i>Passo 2.2 – Refinamento e identificação dos elementos básicos .....</i>	<i>81</i>
4.3.3.	<i>Passo 2.3 – Modelagem em RdP dos elementos básicos.....</i>	<i>83</i>
4.4.	PASSO 3 – INTEGRAÇÃO ENTRE OS MODELOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA .....	90
4.4.1.	<i>Passo 3.1 – Escopo: integração entre os modelos de geração de energia.....</i>	<i>90</i>
4.4.2.	<i>Passo 3.2 – Integração dos modelos no nível de PFS.....</i>	<i>91</i>
4.4.3.	<i>Passo 3.3 – Integração dos modelos no nível de RdP.....</i>	<i>94</i>
4.5.	PASSO 4 – CRIAÇÃO DE OBJETO .....	103
4.6.	PASSO 5 – GERAÇÃO DE COMPONENTES .....	107
4.7.	PASSO 6 – GERAÇÃO DO APLICATIVO .....	113
4.8.	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	114
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>115</b>
	<b>APÊNDICE A ORIENTAÇÃO A OBJETO .....</b>	<b>117</b>
	<b>APÊNDICE B CONTINUAÇÃO DOS MODELOS DO CASO DE ESTUDO.....</b>	<b>118</b>
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>121</i>
B.1.3	<i>Passo 1.3 – Modelagem dos elementos básicos em RdP.....</i>	<i>135</i>
B.2	PASSO 2 – MODELAGEM DAS CONDIÇÕES NÃO NORMAIS DE OPERAÇÃO .....	153
B.2.1	<i>Passo 2.1 – Escopo: Falta de energia elétrica para a bomba elétrica hidráulica (BHE) – (Situação 3) .....</i>	<i>153</i>

B.2.2	<i>Passo 2.2 – Refinamento sucessivo e identificação dos elementos básicos do sistema e seus relacionamentos (Situação 3)</i> .....	154
B.2.3	<i>Passo 2.3 – Modelagem dos elementos básicos em RdP – Situação 3</i> .....	157
B.3	INTEGRAÇÃO DOS MODELOS .....	167
B.3.1	<i>Passo 3.1 – Escopo: integração entre os modelos do grupo hidráulica</i> .....	167
B.3.2	<i>Passo 3.2 – Integração entre os modelos no nível de PFS</i> .....	167
B.3.3	<i>Passo 3.3 – Integração entre os modelos no nível de RdP</i> .....	169
B.4	PASSO 4 – CRIAÇÃO DE OBJETOS.....	175
B.5	PASSO 5 – GERAÇÃO DE COMPONENTES .....	178
B.6	PASSO 6 – GERAÇÃO DO APLICATIVO .....	193
B.7	SÍNTESE DO APÊNDICE.....	193
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>194</b>

---

## 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. ....	38
Figura 4-2 – Tipos de operação de um submarino. A operação que é tratada no presente trabalho aparece destacada na imagem (hachurado). ....	39
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). ....	40
Figura 4-4 – Esquema da planta do subsistema de energia com seus atuadores e sensores (adaptado de Gabler, 1991). ....	42
Figura 4-5 – Esquema simplificado da distribuição de energia elétrica do submarino. ....	46
Figura 4-6 – Detalhamento da atividade [IPMS na condição de operação na cota periscópica]. Aparecem destacados os subsistemas que são efetivamente refinados (hachurado). ....	47
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. ....	48
Figura 4-8 – Detalhamento da atividade [Energia (1)] da Figura 4-7.....	49
Figura 4-9 – Detalhamento da atividade [Energia na condição de esnórquel (1.2)] da Figura 4-8. ....	50
Figura 4-10 – Detalhamento da atividade [Grupo esnórquel (1.2.1)] da Figura 4-9. ....	50
Figura 4-11 – Detalhamento da atividade [Içamento do mastro (1.2.1.1)] da Figura 4-10. ....	51
Figura 4-12 – Detalhamento da atividade [Controle do nível_tanque de esnórquel (1.2.1.2)] da Figura 4-10. ....	52
Figura 4-13 – Detalhamento da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] da Figura 4-10. ....	52
Figura 4-14 – Detalhamento da atividade [Arriamento do mastro (1.2.1.4)] da Figura 4-10. ....	53
Figura 4-15 – Detalhamento da atividade [Grupo exaustão de gases (1.2.2)] da Figura 4-9. ....	54
Figura 4-16 – Detalhamento da atividade [GDG (1.3)] da Figura 4-8. ....	55
Figura 4-17 – Detalhamento da atividade [Grupo bateria (1.4)] da Figura 4-8. ....	55



Figura 4-18 – Modelo em PFS da atividade [Pré-processamento (1.6)].....	56
Figura 4-19 – Detalhamento da atividade [Atuadores].....	57
Figura 4-20 – Detalhamento da atividade [Sensores].....	58
Figura 4-21 – atividade [Dispositivo de comando]. ....	58
Figura 4-22 – Modelo em RdP da atividade [Pré-processamento (1.6)].....	59
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). ....	61
Figura 4-24 – Modelo em RdP do distribuidor (Submarino Patrulhando (1.1)) da Figura 4-8. ....	61
Figura 4-25 – Modelo em RdP da atividade [Içamento do mastro] da Figura 4-11. ....	62
Figura 4-26 – Modelo em RdP da atividade [Controle do nível_tanque de esnórquel (1.2.1.2)] da Figura 4-12. ....	64
Figura 4-27 – Modelo em RdP da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] da Figura 4-13. ....	66
Figura 4-28 – Modelo em RdP da atividade [Arriamento do mastro (1.2.1.4)] da Figura 4-14. ....	67
Figura 4-29 – Modelo em RdP da atividade [Grupo exaustão de gases (1.2.2)] da Figura 4-15. ....	69
Figura 4-30 – Modelo em RdP da atividade [GDG] da Figura 4-16. ....	72
Figura 4-31 – Modelo em RdP da atividade [Grupo baterias (1.4)] da Figura 4-17. ....	75
Figura 4-32 – Modelo em RdP da atividade [atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador] da Figura 4-19. ....	77
Figura 4-33 – Modelo em RdP da atividade [Atuadores com desligamento pelo tempo] da Figura 4-19. ....	77
Figura 4-34 – Modelo em RdP da atividade [Atuadores com desligamento pelo controlador] da Figura 4-19. ....	78
Figura 4-35 – Modelo em RdP da atividade [Dispositivo de comando] da Figura 4-21. ....	78
Figura 4-36 – Modelo em RdP da atividade [Sensores] da Figura 4-20. ....	79
Figura 4-37 – Detalhamento da atividade [EMERG 1].....	81
Figura 4-38 – Detalhamento da atividade [EMERG 2].....	82
Figura 4-39 – Detalhamento da atividade [EMERG 3 (1.5)]. ....	83
Figura 4-40 – Modelo em RdP da atividade [EMERG 1] da Figura 4-37. ....	84
Figura 4-41 – Modelo em RdP da atividade [Emerg 2]. ....	86
Figura 4-42 – Modelos em RdP da atividade [EMERG 3 (1.5)] mostrada na Figura 4-39. ....	87
Figura 4-43 – Nova configuração da atividade [Energia (1)] que passa a se chamar [Energia_m (1_m)]. ..	92
Figura 4-44 – Nova configuração da atividade [GDG_(1.3)] que passa a se chamar [GDG_m (1.3_m)]. ..	92
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)]. ....	93
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)]. ....	93
Figura 4-47– Nova configuração da atividade [Grupo baterias_m]. ....	94
Figura 4-48 – Modelos em RdP da atividade [GDG_m (1.3_m)] mostrado na Figura 4-44. ....	95
Figura 4-49 – Modelos em RdP da atividade [Grupo de exaustão de gases_m (1.2.2_m)] mostrada na Figura 4-45. ....	98
Figura 4-50 – Modelos em RdP da atividade [Controle da entrada de ar_m (1.2.1.3_m)] mostrada na Figura 4-46 ..... ..	100
Figura 4-51 – Modelos em RdP da atividade [Grupo baterias_m (1.4_m)] mostrada na.Figura 4-48.....	102
Figura 4-52 – “Classe” Energia_m (1_m).....	103
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. ....	104

Figura 4-54 – “Objeto” Válvula 22 gerado a partir da “classe” Atuadores com desligamento pelo tempo.	104
Figura 4-55 – “Objetos” Válvula 16 e Válvula 29 gerados a partir da “classe” Atuadores com desligamento pelo controlador local.	104
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).	105
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	105
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.	105
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	106
Figura 4-60 – “Objetos” Estado Ta1, Estado P12, Estado P14, Estado P15 e Estado P16 gerados a partir da “classe” Entrada Analógica.	106
Figura 4-61 – “Classe” Saída Digital.	107
Figura 4-62 – “Componente” Entrada analógica do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Estado Ta1, Estado P12, Estado P14, Estado P15 e Estado P16.	107
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.	108
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, Aclona BE1, Para BE1, Abertura D1 e Fechamento D1.	109
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.	110
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.	111
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.	111
Figura 4-68 – “Componente” Comandos do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Comando 1, Comando 2, Comando 3, Comando 4, Comando 5 Comando 6.	112
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.	113
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.	120
Figura B. 2 – Diagramático do grupo de ar comprimido (adaptado de BURCHER; RYDILL, 1994).	121
Figura B. 3 – Modelo em PFS da atividade [Pré-processamento Hidráulica (2.1)].	122
Figura B. 4 – Detalhamento da atividade [Hidráulica (2)].	123
Figura B. 5 – Detalhamento da atividade [Operação de recirculação (2.2)].	124
Figura B. 6 – Detalhamento em PFS da atividade [Operação de pressurização (2.3)].	125
Figura B. 7 – Detalhamento em PFS da atividade [Gerenciamento de vv interação c/ d+ subsistemas (2.4)].	126
Figura B. 8 – Detalhamento em PFS da atividade [Controle com a válvula (2.4.1)].	127

Figura B. 9 – Detalhamento em PFS da <b>atividade</b> [Controle linhas (2.4.2)].	127
Figura B. 10 – Detalhamento da <b>atividade</b> [Atuadores do grupo hidráulica].	127
Figura B. 11 – Detalhamento da <b>atividade</b> [Sensores do grupo hidráulica].	128
Figura B. 12 – <b>atividade</b> [Dispositivo de comando do grupo hidráulica].	128
Figura B. 13 – Modelo em PFS da <b>atividade</b> [Ar comprimido (3)].	129
Figura B. 14 – Modelo em PFS da <b>atividade</b> [Pré-processamento ar comprimido (3.1)].	130
Figura B. 15 – Modelo em PFS da <b>atividade</b> [Pressurização das ampolas (3.2)].	132
Figura B. 16 – Modelo em PFS da <b>atividade</b> [Consumo do ar (3.3)].	133
Figura B. 17 – Modelo em PFS da <b>atividade</b> [Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)].	134
Figura B. 18 – Detalhamento da <b>atividade</b> [Atuadores do grupo ar comprimido].	134
Figura B. 19 – Detalhamento da <b>atividade</b> [Sensores do grupo ar comprimido].	135
Figura B. 20 – <b>Atividade</b> [Dispositivo de comando do grupo ar comprimido].	135
Figura B. 21 – Modelo em RdP da <b>atividade</b> [Operação de recirculação (2.2)] da Figura B. 5.	136
Figura B. 22 – Modelo em RdP da <b>atividade</b> [Operação de pressurização] da Figura B. 6.	139
Figura B. 23 – Modelo em RdP da <b>atividade</b> [Controle das válvulas (2.4.1)] da Figura B. 8.	143
Figura B. 24 – Modelo em RdP da <b>atividade</b> [Controle linhas (2.4.2)] da Figura B. 9.	144
Figura B. 25 – Modelo em RdP da <b>atividade</b> [Pré-processamento hidráulica (2.1)].	146
Figura B. 26 – Modelo em RdP da <b>atividade</b> [Pressurização das ampolas do grupo 1 e 3 (3.2.1)] da Figura B. 15.	148
Figura B. 27 – Modelo em RdP da <b>atividade</b> [Consumo do ar do grupo 1 e 2 (3.3.1)] da Figura B. 16.	151
Figura B. 28 – Modelo em RdP da <b>atividade</b> [Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)] da Figura B. 17.	153
Figura B. 29 – Detalhamento em PFS da <b>atividade</b> [Operação de pressurização em emergência (2.6)].	155
Figura B. 30 – Detalhamento em PFS da <b>atividade</b> [Gerenciamento da pressurização (2.5)].	157
Figura B. 31 – Modelo em RdP da <b>atividade</b> [Operação de pressurização em emergência (2.6)] da Figura B. 29.	158
Figura B. 32 – Modelo em RdP da <b>atividade</b> [Gerenciamento da pressurização (2.5)] da Figura B. 30.	164
Figura B. 33 – Nova configuração da <b>atividade</b> [Hidráulica (2)] que passa a se chamar [Hidráulica_m (2_m)].	168
Figura B. 34 – Nova configuração da <b>atividade</b> [Operação de recirculação (2.2)] que passa a se chamar [Operação de recirculação_m (2.2_m)].	168
Figura B. 35 – Nova configuração da <b>atividade</b> [Operação de pressurização (2.3)] que passa a se chamar [Operação de pressurização_m (2.3_m)].	169
Figura B. 36 – Modelos em RdP da <b>atividade</b> [Operação de recirculação_m (2.2_m)] mostrada na Figura B. 34.	170
Figura B. 37 – Modelos em RdP da <b>atividade</b> [Operação de pressurização_m (2.3_m)] mostrada na Figura B. 35.	172
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)”.	175
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)”.	176
Figura B. 40 – Classe “Módulo de resposta a solicitação”.	178
Figura B. 41 – “Componente” Entrada analógica do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Estado N1, Estado P1, Estado P2, Estado P4 e Estado P5.	179
Figura B. 42 – “Componente” Entrada analógica do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Estado P18, Estado P19, Estado P22 e Estado P23.	179
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.	180
Figura B. 44 – “Componente” Entrada digital do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Estado V45, Estado V46 e Estado V47.	181

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...	182
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.....	183
Figura B. 47 – “Componente” Solicitação do grupo hidráulica composto pelos “objetos” Solicitação 17 e Solicitação 18. ....	183
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.....	184
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. ....	185
Figura B. 50 – “Componente” Atuadores do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Valvula V0a, Valvula V0b, Valvula 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. ....	185
Figura B. 51 – “Componente” Atuadores do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Valvula V31, Valvula V32, Valvula V33, Valvula V34, Valvula V35, Valvula V36, Valvula V37, Valvula V38, Válvula V39, Válvula V40, Valvula V41, Valvula V42, Valvula V43, Valvula V44, Valvula V45, Valvula V46, Valvula V47, Compressor 1 e Compressor 2.....	186
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. ....	186
Figura B. 53 – “Componente” Sensores do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Manômetro P18, Manômetro P19, Manômetro P22 e Manômetro P23. ....	187
Figura B. 54 – “Componente” Comandos do grupo hidráulica, composto pelos objetos Comando 7, Comando 8, Comando 9, Comando 10, Comando 11 e Comando 12. ....	187
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. ....	188
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.....	189
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. ....	189
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. ....	190
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.....	190
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”.....	191
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. ....	192
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. ....	193

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Lista dos sensores e atuadores do subsistema energia presentes na Figura 4-4 e na Figura 4-5. ....	42
Tabela 4.2 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Entrada digital (1.6.1)] da Figura 4-22 .....	59
Tabela 4.3 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Entrada analógica (1.6.2)] da Figura 4-22 .....	59
Tabela 4.4 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Saída digital (1.6.3)] da Figura 4-22.....	60
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.....	60
Tabela 4.6 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Submarino Patrulhando (1.1)) da Figura 4-24.....	62
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. ....	62
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. ....	63
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. ....	63
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. ....	63
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. ....	63
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. ....	64
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.....	64
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.....	65
Tabela 4.15 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona bomba (1.2.1.2.3)] da Figura 4-26. ....	65
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.....	65
Tabela 4.17 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Desliga bomba (1.2.1.2.5)] da Figura 4-26. ....	65
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. ....	66
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. ....	66
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. ....	67
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.....	67

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. ....	68
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. ....	68
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. ....	68
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. ....	68
Tabela 4.26 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abrir v. interna (1.2.2.1)].da Figura 4-29. ....	69
Tabela 4.27 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Destruar v. externa (1.2.2.2)].da Figura 4-29. ....	69
Tabela 4.28 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita GDG_2 (1.2.2.3)].da Figura 4-29. ....	70
Tabela 4.29 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (V. externa fechada (1.2.2.4)).da Figura 4-29. ....	70
Tabela 4.30 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abre v. externa (1.2.2.5)].da Figura 4-29. ....	70
Tabela 4.31 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (V. externa aberta (1.2.2.6)) da Figura 4-29. ....	70
Tabela 4.32 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fecha v. externa (1.2.2.7)].da Figura 4-29. ....	71
Tabela 4.33 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Travar v. externa (1.2.2.8)].da Figura 4-29. ....	71
Tabela 4.34 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fechar v.interna (1.2.2.9)].da Figura 4-29. ....	71
Tabela 4.35 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Inicio do GDG (1.3.1)]da Figura 4-30. ....	72
Tabela 4.36 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor parado (1.3.2)) Figura 4-30. ....	73
Tabela 4.37 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento (1.3.3)].da Figura 4-30. ....	73
Tabela 4.38 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerra geração (1.3.5)]da Figura 4-30. ....	73
Tabela 4.39 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Motor ligando (1.3.6)].da Figura 4-30. ....	74
Tabela 4.40 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor ligado (1.3.7)).da Figura 4-30. ....	74
Tabela 4.41 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Desligando normal (1.3.8)].da Figura 4-30. ....	74
Tabela 4.42 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Fornecendo energia (1.4.1)) da Figura 4-31. ....	75
Tabela 4.43 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Passa a receber (1.4.2)].da Figura 4-31. ....	76
Tabela 4.44 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recebendo energia (1.4.3)) da Figura 4-31. ....	76

Tabela 4.45 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Passa a fornecer (1.4.4)].da Figura 4-31. ....	76
Tabela 4.46 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador]. ....	77
Tabela 4.47 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Dispositivo com o desligamento pelo tempo].....	77
Tabela 4.48 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Atuadores com desligamento pelo controlador]. ....	78
Tabela 4.49 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Dispositivo não automático]. ..	79
Tabela 4.50 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Sensores]. ....	79
Tabela 4.51 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor ligado_m1 (1.3.7_m1)) da Figura 4-40.....	84
Tabela 4.52 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Desligamento em emerg (1.3.9)].....	85
Tabela 4.53 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor ligado_m2 (1.3.7_m2)) da Figura 4-41.....	86
Tabela 4.54 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF nível_tanque 3 (1.5.1)) da Figura 4-42. ....	88
Tabela 4.55 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerramento normal (1.5.2)] da Figura 4-42. ....	88
Tabela 4.56 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF estado v. cabeça (1.5.3)) da Figura 4-42.....	88
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. ....	88
Tabela 4.58 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita fechamento v. cabeça (1.5.5)] da Figura 4-42. ....	89
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.....	89
Tabela 4.60 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF estado v. externa (1.5.7)) da Figura 4-42.....	89
Tabela 4.61 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita fechamento v. externa (1.5.9)] da Figura 4-42.....	89
Tabela 4.62 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento da exaustão (1.5.10)] da Figura 4-42. ....	89
Tabela 4.63 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF tacômetro (1.5.11)) da Figura 4-42. ....	90
Tabela 4.64 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita desligamento em emerg (1.5.13)] da Figura 4-42.....	90
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.....	90
Tabela 4.66 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor parado_m (1.3.2_m)) da Figura 4-48. ....	96
Tabela 4.67 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor ligado_m (1.3.7_m)) da Figura 4-48. ....	96
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.....	99



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.....	99
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.....	100
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.....	101
Tabela 4.72 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recebendo energia_m (1.4.3_m)) da Figura 4-51.....	102
Tabela 4.73 – Lista dos objetos que compõem o componente “Solicitação” e as suas respectivas funções. ....	109
Tabela 4.74 – Lista dos “objetos” que compõem o “componente” Comandos do subsistema Energia e as suas respectivas funções. ....	112
Tabela B. 1 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recirculação desligada (2.2.1)) da Figura B. 21.....	136
Tabela B. 2 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona recirculação (2.2.2)] da Figura B. 21. ....	136
Tabela B. 3 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recirculação ligada (2.2.3)) da Figura B. 21. ....	137
Tabela B. 4 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para recirculação (2.2.4)] da Figura B. 21. ....	137
Tabela B. 5 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Selecionar VS1 (2.2.5)] da Figura B. 21. ....	137
Tabela B. 6 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização desligada (2.3.1)) da Figura B. 22.....	138
Tabela B. 7 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abre V2 (2.3.2)] da Figura B. 22.....	138
Tabela B. 8 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização em espera (2.3.3)) da Figura B. 22.....	140
Tabela B. 9 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Configura VS3_1 (2.3.4)] da Figura B. 22. ....	141
Tabela B. 10 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [By-pass VS3_1 (2.3.5)] da Figura B. 22. ....	141
Tabela B. 11 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona M2_1 (2.3.6)] da Figura B. 22. ....	141
Tabela B. 12 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 1 (2.3.7)) da Figura B. 22.....	141
Tabela B. 13 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para M2_1 (2.3.8)] da Figura B. 22.....	141
Tabela B. 14 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Configura VS3_2 (2.3.9)] da Figura B. 22. ....	142
Tabela B. 15 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [By-pass VS3_2 (2.3.10)] da Figura B. 22. ....	142
Tabela B. 16 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona M2_2 (2.3.11)] da Figura B. 22. ....	142
Tabela B. 17 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 2 (2.3.12)) da Figura B. 22.....	142
Tabela B. 18 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para M2_2 (2.3.13)] da Figura B. 22. ....	142
Tabela B. 19 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fecha V2 (2.3.2)] da Figura B. 22.....	143
Tabela B. 20 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Recebe solicitação (2.4.1.1)] da Figura B. 23. ....	143
Tabela B. 21 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Envia cmdo (2.4.1.2)] da Figura B. 23. ....	144

Tabela B. 22 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Recebe resposta (2.4.1.3)] da Figura B. 23. ....	144
Tabela B. 23 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Responde solicitação (2.4.1.4)] da Figura B. 23. ....	144
Tabela B. 24 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Linha principal operando (2.4.2.1)) da Figura B. 24. ....	144
Tabela B. 25 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Altera configuração para secundária (2.4.2.2)] da Figura B. 24. ....	145
Tabela B. 26 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Linha secundária operando (2.4.2.3)) da Figura B. 24. ....	145
Tabela B. 27 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Altera configuração para principal (2.4.2.4)] da Figura B. 24. ....	145
Tabela B. 28 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Módulo de resposta Hidráulica (2.1.5)] da Figura B. 25. ....	146
Tabela B. 29 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Compressor 1 desligado (3.2.1.1)) da Figura B. 26. ....	148
Tabela B. 30 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Config vv grupo 1 (3.2.1.2)] da Figura B. 26. ....	149
Tabela B. 31 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona compres 1_1 (3.2.1.3)] da Figura B. 26. ....	149
Tabela B. 32 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização do grupo 1 (3.2.1.4)) da Figura B. 26. ....	149
Tabela B. 33 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerra compres 1_1 (3.2.1.5)] da Figura B. 26. ....	149
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. ....	149
Tabela B. 35 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Config vv grupo 3 (3.2.1.7)] da Figura B. 26. ....	150
Tabela B. 36 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona compres 1_3 (3.2.1.8)] da Figura B. 26. ....	150
Tabela B. 37 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização do grupo 3 (3.2.1.9)) da Figura B. 26. ....	150
Tabela B. 38 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Encerra compres 1_1 (3.2.1.5)] da Figura B. 26. ....	150
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. ....	150
Tabela B. 40 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Grupo 1 fornecendo (3.3.1.1)) da Figura B. 27. ....	151
Tabela B. 41 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona grupo 2 (3.3.1.2)] da Figura B. 27. ....	152
Tabela B. 42 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Grupo 2 fornecendo (3.3.1.3)) da Figura B. 27. ....	152
Tabela B. 43 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona grupo 2 (3.3.1.2)] da Figura B. 27. ....	152
Tabela B. 44 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização desligada desligada em emerg (2.6.1)) da Figura B. 31. ....	159
Tabela B. 45 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Solicita abertura da V47 (2.6.2)] da Figura B. 31. ....	159
Tabela B. 46 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abre V3 (2.6.3)] da Figura B. 31. ....	159
Tabela B. 47 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização em emerg em espera (2.6.4)) da Figura B. 31. ....	159
Tabela B. 48 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Configura VS2_1 (2.6.5)] da Figura B. 31. ....	160
Tabela B. 49 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [By-pass VS2_1 (2.6.6)] da Figura B. 31. ....	160

Tabela B. 50 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona BHP1_1 (2.6.7)] da Figura B. 31. ....	160
Tabela B. 51 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 1 em emerg (2.6.8)) da Figura B. 31. ....	161
Tabela B. 52 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para BHP1_1 (2.6.9)] da Figura B. 31. ....	161
Tabela B. 53 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Configura VS2_2 (2.6.10)] da Figura B. 31. ....	161
Tabela B. 54 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [By-pass VS2_2 (2.6.11)] da Figura B. 31. ....	161
Tabela B. 55 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Aciona BHP1_2 (2.6.12)] da Figura B. 31. ....	161
Tabela B. 56 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 2 em emerg (2.6.13)) da Figura B. 31. ....	162
Tabela B. 57 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para BHP1_2 (2.6.14)] da Figura B. 31. ....	162
Tabela B. 58 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fecha V3 (2.6.15)] da Figura B. 31. ....	162
Tabela B. 59 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Solicita fechamento da V47 (2.6.16)].da Figura B. 31. ....	162
Tabela B. 60 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização no modo normal (2.5.1)) da Figura B. 32. ....	163
Tabela B. 61 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF estado do M2 (2.5.2)) da Figura B. 32. ....	163
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. ....	163
Tabela B. 63 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento do M2_1 (2.5.4)].da Figura B. 32. ....	165
Tabela B. 64 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento do M2_2 (2.5.5)].da Figura B. 32. ....	165
Tabela B. 65 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita o fechamento de V2 (2.5.6)].da Figura B. 32. ....	165
Tabela B. 66 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (VRF estado da recirculação (2.5.7)) da Figura B. 32. ....	165
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. ....	165
Tabela B. 68 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Habilita encerramento da recirculação (2.5.9)].da Figura B. 32. ....	166
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. ....	166
Tabela B. 70 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização no modo emergencial (2.5.11)) da Figura B. 32. ....	166
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. ....	166
Tabela B. 72 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recirculação ligada_m (2.2.3_m)) da Figura B. 36. ....	170
Tabela B. 73 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recirculação em espera_m (2.3.3_m)) da Figura B. 37. ....	173
Tabela B. 74 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 1_m (2.3.7_m)) da Figura B. 37. ....	174
Tabela B. 75 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurizando Linha 2_m (2.3.12_m)) da Figura B. 37. ....	174
Tabela B. 76 – Lista dos “objetos” que compões o “componente” Solicitação do grupo hidráulica e as suas respectivas funções. ....	183
Tabela B. 77 – Lista dos “objetos” que compõem o “componente” Comandos do grupo hidráulica e as suas respectivas funções. ....	188

## 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.

$\sigma$  – 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  $\sigma$  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)<sup>1</sup>;
- 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.

---

<sup>1</sup>São 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).

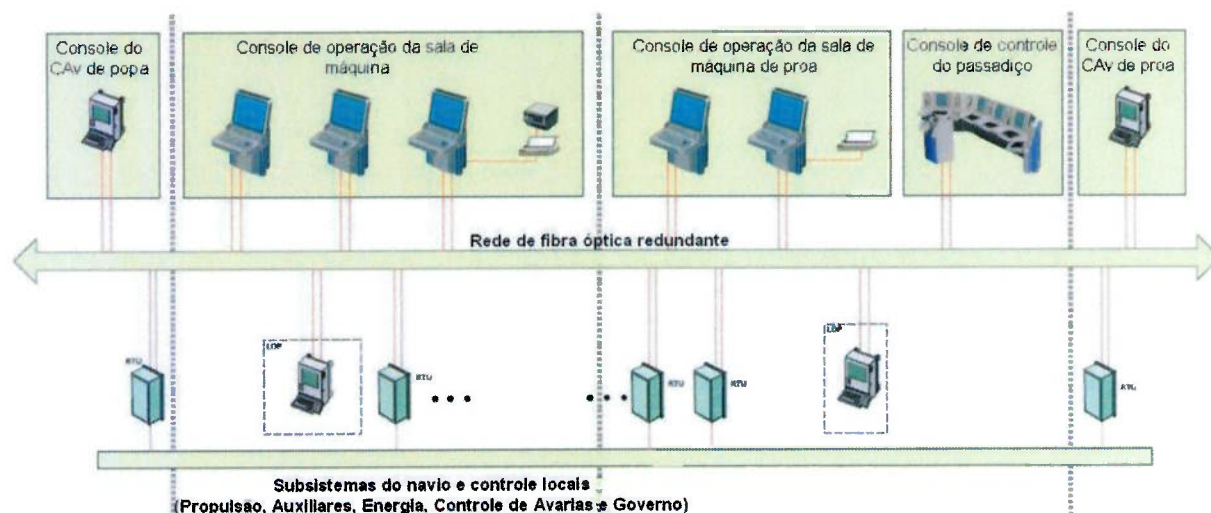


Figura 2-1 – Exemplo de configuração da arquitetura de um IPMS (adaptado de L3-MAPPS, 2009).

## 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).

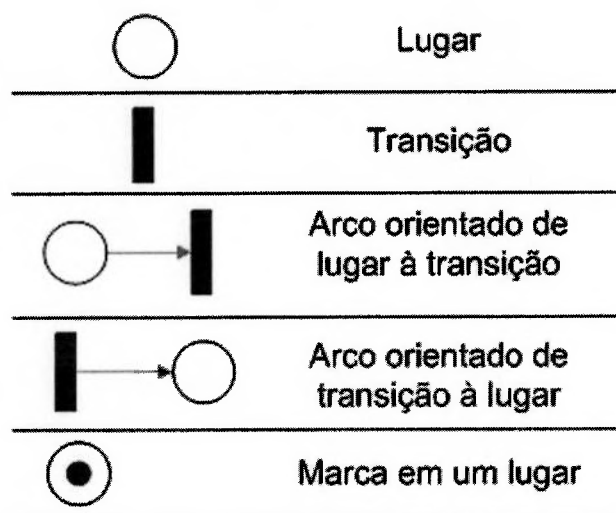


Figura 2-3 – Representação gráfica da Rede de Petri.

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  $\sum_{p \in P} M(p)$  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  $t_j \in \bullet p_i \setminus p_i \bullet$ ,  $c_{ij} = -1$  se  $t_j \in p_i \bullet \setminus \bullet p_i$ , 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  $M[t]$ , se e somente se  $\forall p \in \bullet t$ ,  $M(p) \geq 1$ . Se  $M[t]$  for satisfeita,  $t$  pode disparar, resultando em uma nova marcação  $M'$ . Esta é indicada por  $M[t] M'$ . 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  $M[t] M'$  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  $M'[t]$  é satisfeita.  $N$  é chamado de "morta" a partir de  $M_0$  se e somente se  $\exists t \in T$  tal que satisfaça  $M_0[t]$ .  $(N, M_0)$  é livre de *deadlock* se e somente se  $\forall M \in R(N, M_0)$ ,  $\exists t \in T$  tal que satisfaça  $M[t]$ .  $(N, M_0)$  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  $M[t_1] M_1[t_2] M_2 \dots M_{n-1}[t_n] M_n$ , o que é descrito por  $M[\sigma] M_n$ . Para  $M[\sigma] M_n$  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  $\sigma$  (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).

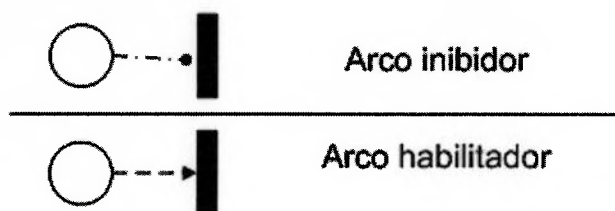


Figura 2-4 – Representação gráfica dos arco habilitador e do arco inibidor.

- 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.

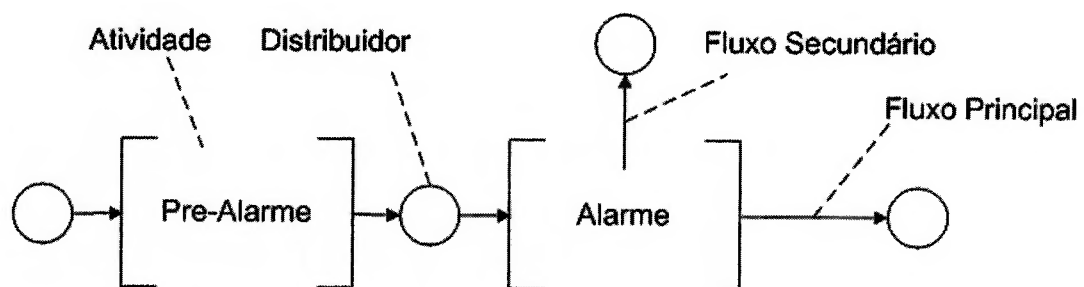


Figura 2-5 – Componentes do PFS (Kaneshiro, 2006).

## 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**<sup>2</sup>) – 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**<sup>3</sup>) – transição utilizada para receber chamadas requisitando uma funcionalidade no modelo

---

<sup>2</sup> Nos modelos, os elementos de interface serão destacados em azul.

<sup>3</sup> 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 função<sup>4</sup> ou procedimento<sup>5</sup>, 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.

---

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

<sup>5</sup> O modelo requisitante não aguarda por uma resposta.

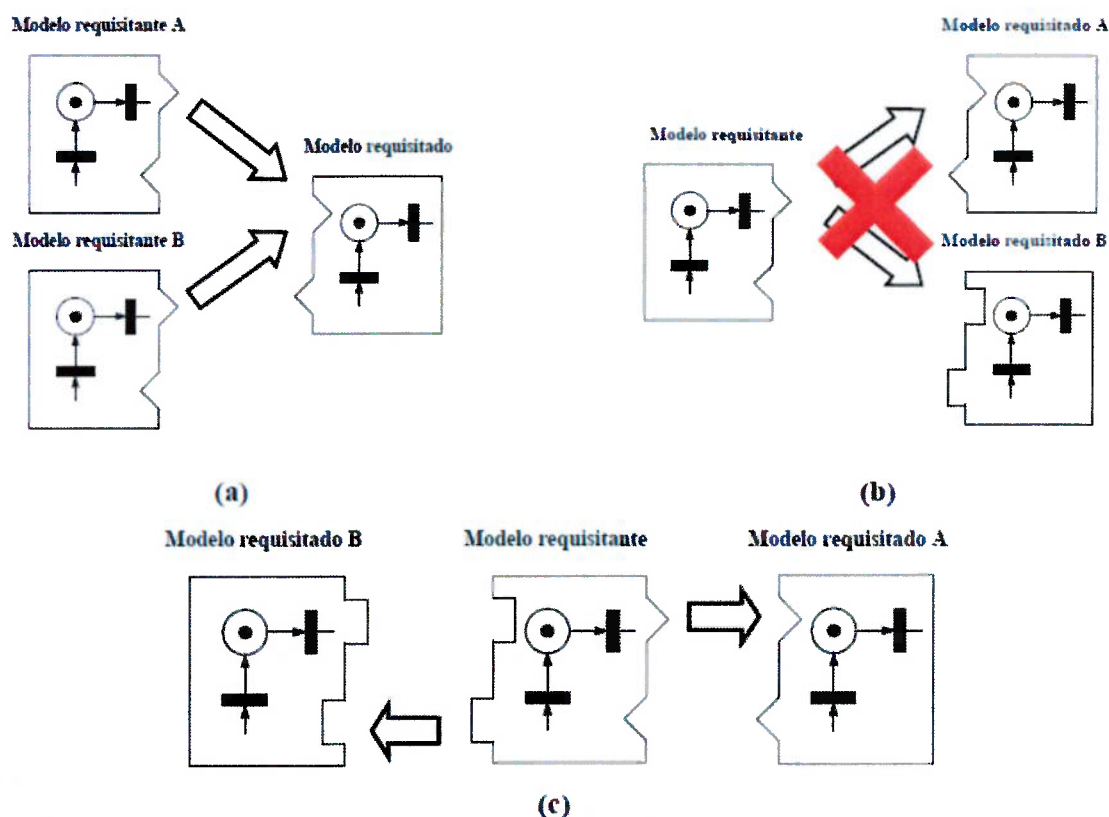


Figura 2-6 – Possíveis relações entre modelos: (a) diferentes modelos requisitantes podem requisitar a funcionalidade de um modelo requisitado por meio de um mesmo tipo de interface; (b) a não possibilidade de se utilizar uma mesma interface para requisitar funcionalidade de modelos distintos; e (c) 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 semântica<sup>6</sup>.

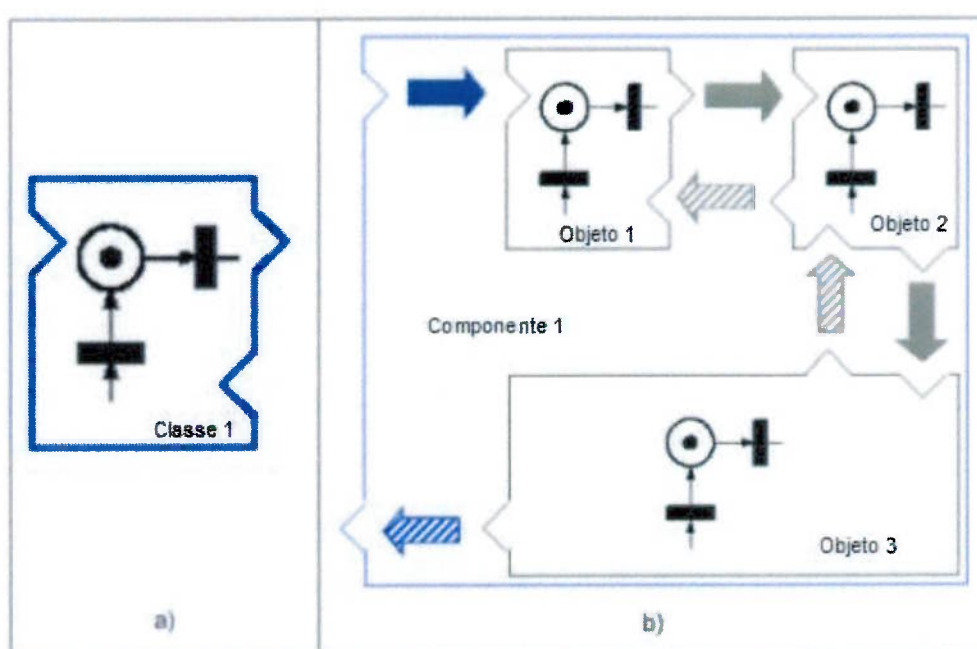


Figura 2-7 – (a) “Classe” modelada como rede de Petri; (b) “Componente” constituído por três “objetos”.

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.

<sup>6</sup> 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).

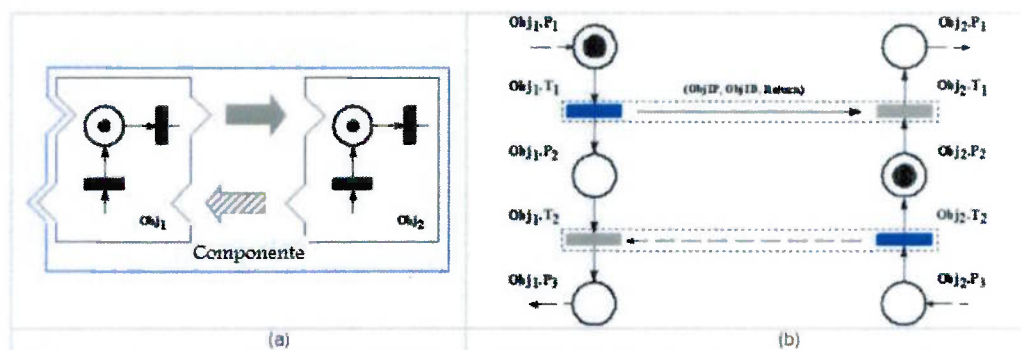


Figura 2-8 – Exemplo de interface de um objeto: (a) Representação esquemática; (b) Representação de uma rede de Petri com fusão de transições.

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”.

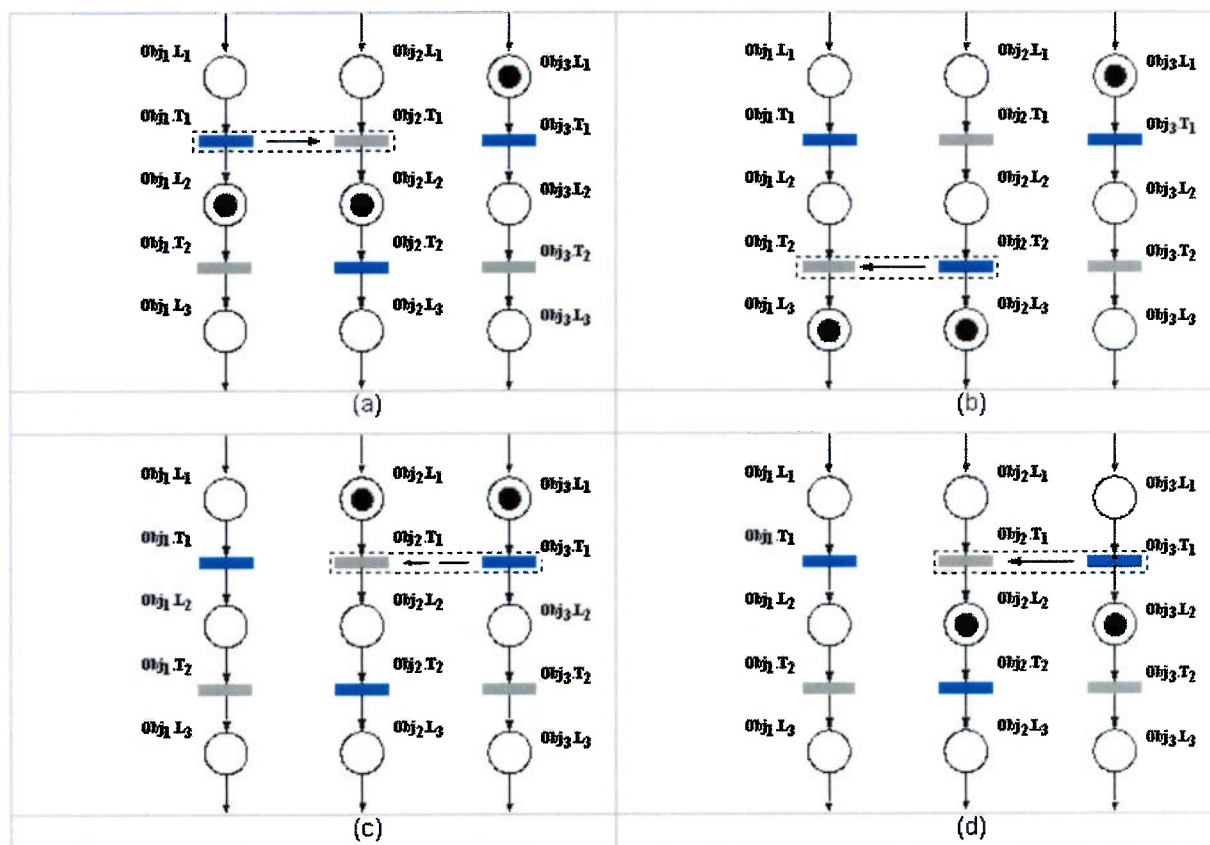


Figura 2-9 – Duas chamadas de “métodos” concorrentes: (a) O “objeto 2” está executando o “método” requisitado pelo “objeto 1”, por meio da fusão de transições Obj1.T1 e Obj2.T1, enquanto o “objeto 3” está esperando pela disponibilidade do “objeto 2”; (b) o “objeto 2” responde a chamada de “método” por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

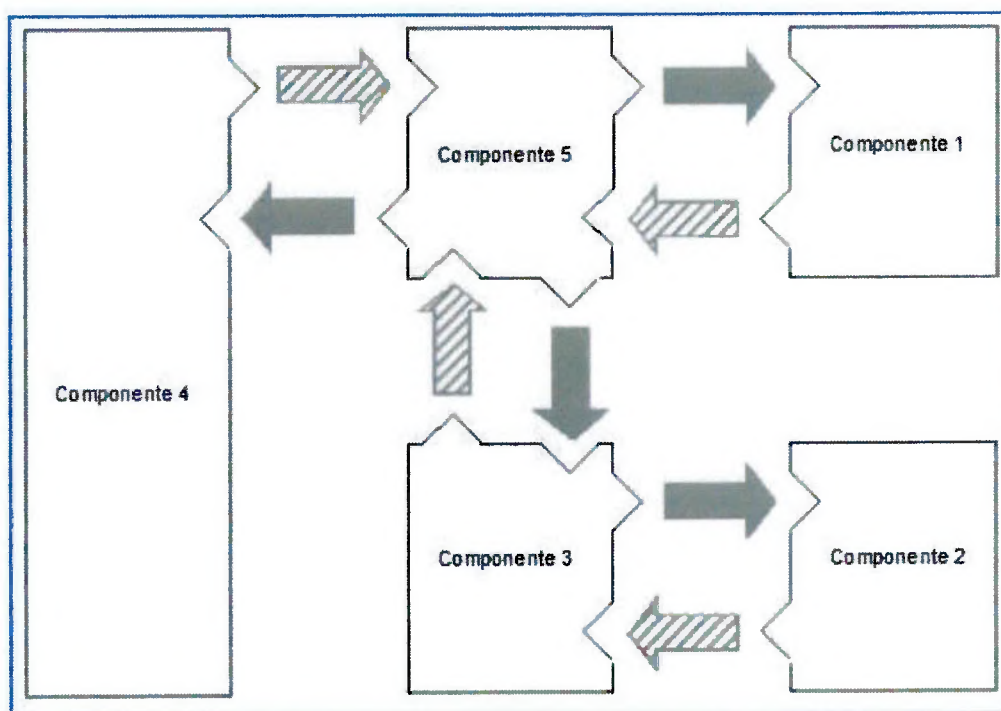


Figura 2-10 – Uma “aplicação” composta por dois ou mais “componentes”.

### **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.

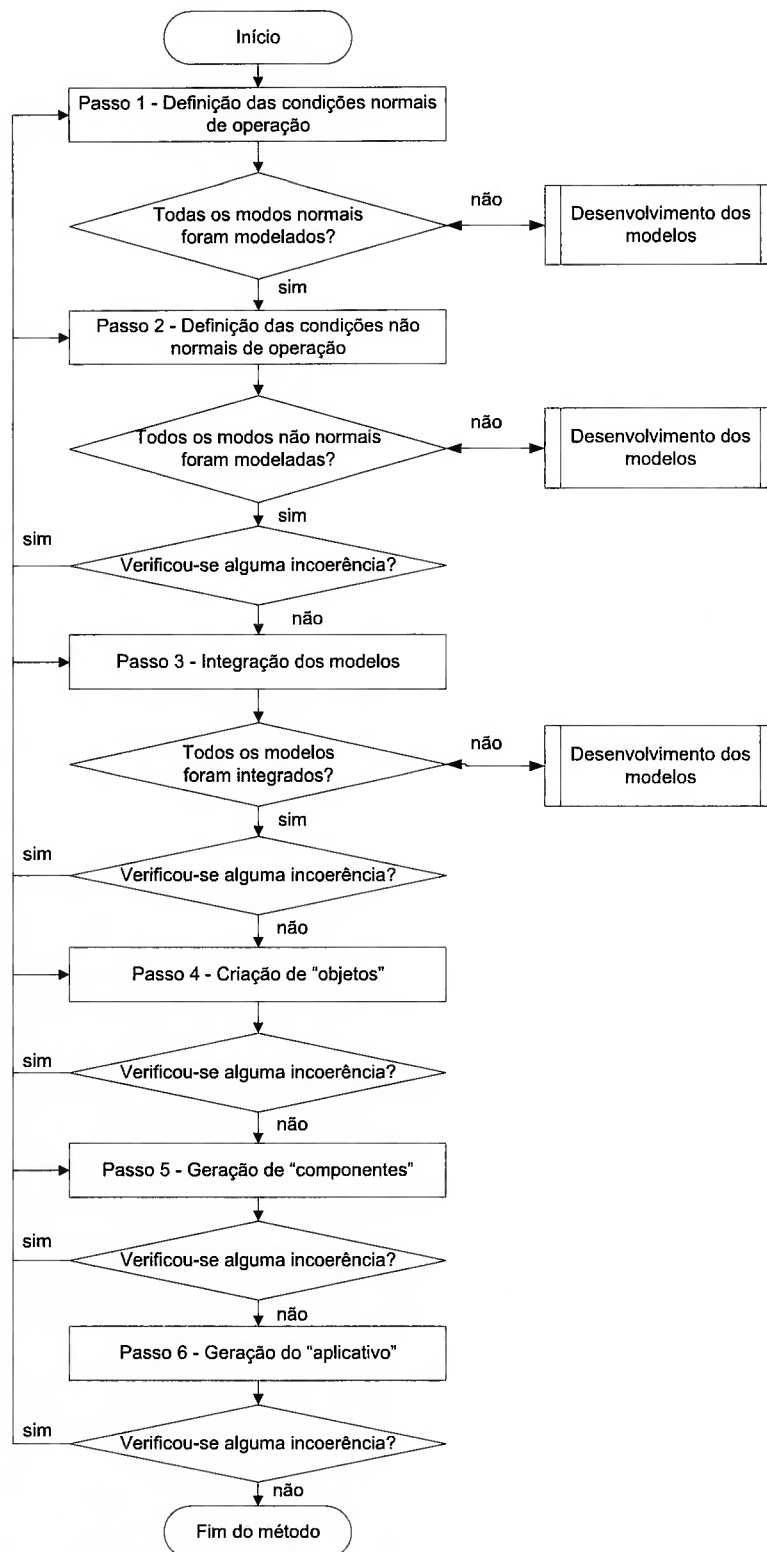


Figura 3-1 – Diagrama com o procedimento de modelagem do IPMS.

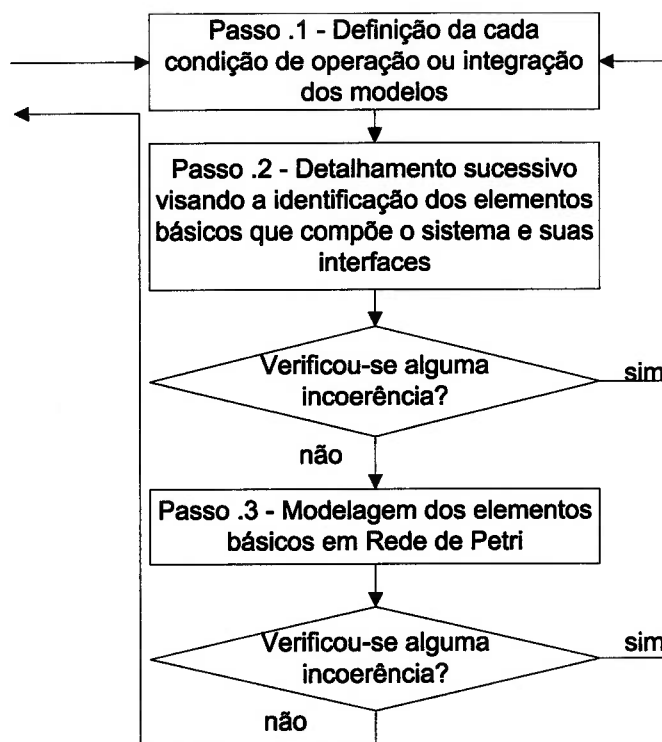


Figura 3-2 – Diagrama do processo desenvolvimento dos modelos.

### 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



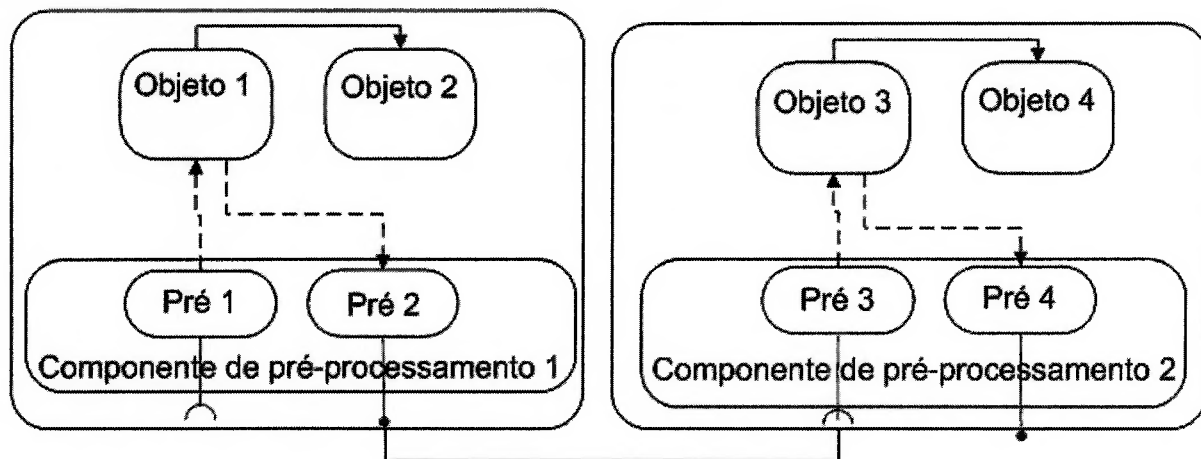


Figura 3-3 – Modo de comunicação entre os “objetos”..

### 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 sequencia, 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 .

## 4. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE MODELAGEM

Este capítulo apresenta a aplicação do procedimento de modelagem proposto para o IPMS de um submarino convencional<sup>7</sup> onde o leitor pode identificar como os procedimentos foram conduzidos e as interpretações que foram consideradas neste caso prático.

### 4.1. *Considerações iniciais*

#### 4.1.1. **Descrição de um submarino convencional**

Um submarino convencional pode ser dividido em duas partes. A primeira é o sistema de combate, que engloba os equipamentos que compõem os radares, os sonares, as comunicações e os armamentos. A segunda parte é a plataforma submarina, que consiste nos subsistemas de propulsão, de energia, de governo e auxiliares (hidráulica, ar comprimido, água potável, água salgada, controle ambiental) (BURCHER; RYDILL, 1994). A descrição de cada um desses subsistemas que compõem a plataforma submarina é feita a seguir:

- Subsistema da propulsão: é composto pelo MEP (motor elétrico da propulsão), pela linha de eixo e pelo hélice. A sua função é propulsionar o submarino.
- Subsistema de energia: tem a função de gerar, armazenar e distribuir a energia elétrica a bordo. Seus equipamentos principais são:
  - Grupo diesel gerador (GDG): é formado pelos motores de combustão principal (MCPs) e dos geradores elétricos principais (GEPs). Ele tem a função de produzir a energia elétrica a bordo;
  - Grupo esnórquel: provê o ar para a combustão do MCP. Sua descrição é feita no decorrer do trabalho;

---

<sup>7</sup> Submarino convencional – Aquele cuja propulsão à superfície se faz por meio de motores diesel, e em imersão se faz por meio de motores elétricos acionados pela energia elétrica armazenada em baterias (FERREIRA, 2004).

- Grupo de exaustão de gases: expulsa os gases resultantes do funcionamento dos MCPs. Sua descrição também é feita no decorrer do trabalho;
- Grupo de baterias: armazena a energia a bordo; e
- Grupo de distribuição: faz a distribuição da energia elétrica a bordo.
- Subsistema de governo: é composto pelos lemes, pelos tanques de lastro (responsável pelo embarque de água a bordo quando se deseja submergir, e sua expulsão quando se deseja voltar à superfície), pelos tanques de trimagem (responsável por trazer o centro de gravidade para a linha vertical que passa pelo centro de carena<sup>8</sup>, de maneira que o navio possa ser manobrado sem trim<sup>9</sup> e pelos tanques de compensação (responsáveis por controlar o peso da embarcação) (GABLER, 1991));
- Subsistemas auxiliares: são os grupos que têm a função de auxiliar os subsistemas de propulsão, de governo, de energia e as tarefas da tripulação que são:
  - Grupo de ventilação e controle ambiental do submarino: responsável pelo controle de temperatura, umidade e verificação do nível de oxigênio, gás carbônico e hidrogênio a bordo;
  - Grupo hidráulico: responsável pelo acionamento de equipamentos e válvulas que necessitam de uma grande quantidade de força para serem operadas;
  - Grupo de ar comprimido: grupo que fornece ar como agente de trabalho para outros subsistemas de bordo (BURCHER; RYDILL, 1994);
  - Grupo de óleo combustível: compreende os tanques, válvulas, dutos, filtros e bombas que fazem chegar o óleo combustível até os MCPs;

---

<sup>8</sup> Centro de carena – é o centro de gravidade do volume de água deslocado por um navio. É o ponto de aplicação da força chamada empuxo (FONSECA, 1989 apud LabNav, 2010).

<sup>9</sup> Trim – valor da diferença entre os calados a vante e a ré. Se o calado a vante é maior, o navio é dito estar com trim pela proa. Se o calado a ré é maior, é dito estar com trim pela popa (MINISTÉRIO da Marinha, 1974).

- o Grupo de óleo lubrificante: compreende os tanques, válvulas, dutos, filtros, bombas que fazem chegar o óleo lubrificante até os MCPs;
- o Grupo de água salgada: compreende o conjunto de tanques, válvulas, dutos, filtros e bombas que fazem chegar água salgada até os equipamentos que dela necessitam para o seu resfriamento e para os tanques de compensação, trimagem e lastro (elementos do subsistema de governo);
- o Grupo de água doce: compreende o conjunto de tanques, válvulas, dutos, filtros e bombas que fazem chegar água doce até os seus pontos de consumo como cozinha e banheiro; e
- o Grupo de dejetos: compreende o conjunto de tanques, válvulas, dutos, filtros e bombas que fazem o tratamento de dejetos e das águas contaminadas oriunda de diversas partes do submarino.

Devido às características próprias de submarino militar, o mesmo está sujeito a alagamentos e incêndio. Estas situações colocam em risco toda a tripulação do navio. Assim, além dos sistemas anteriormente descritos, tem-se o subsistema de controle de avarias.

A plataforma submarina apresenta três modos distintos de operação: o automático, o semi-automático e o manual. O manual consiste na atuação direta no equipamento pelo operador. O semi-automático consiste na atuação denominada manual-remota, ou seja, o operador opera o equipamento, mas a partir de um local remoto. O modo automático consiste no uso do IPMS, que já foi descrito anteriormente.

Baseado na descrição de um submarino convencional e no conceito de IPMS conclui-se que este pode ser dividido em pelo menos 5 subsistemas que são: energia, propulsão, governo, controle de avarias e auxiliar (Figura 4-1).

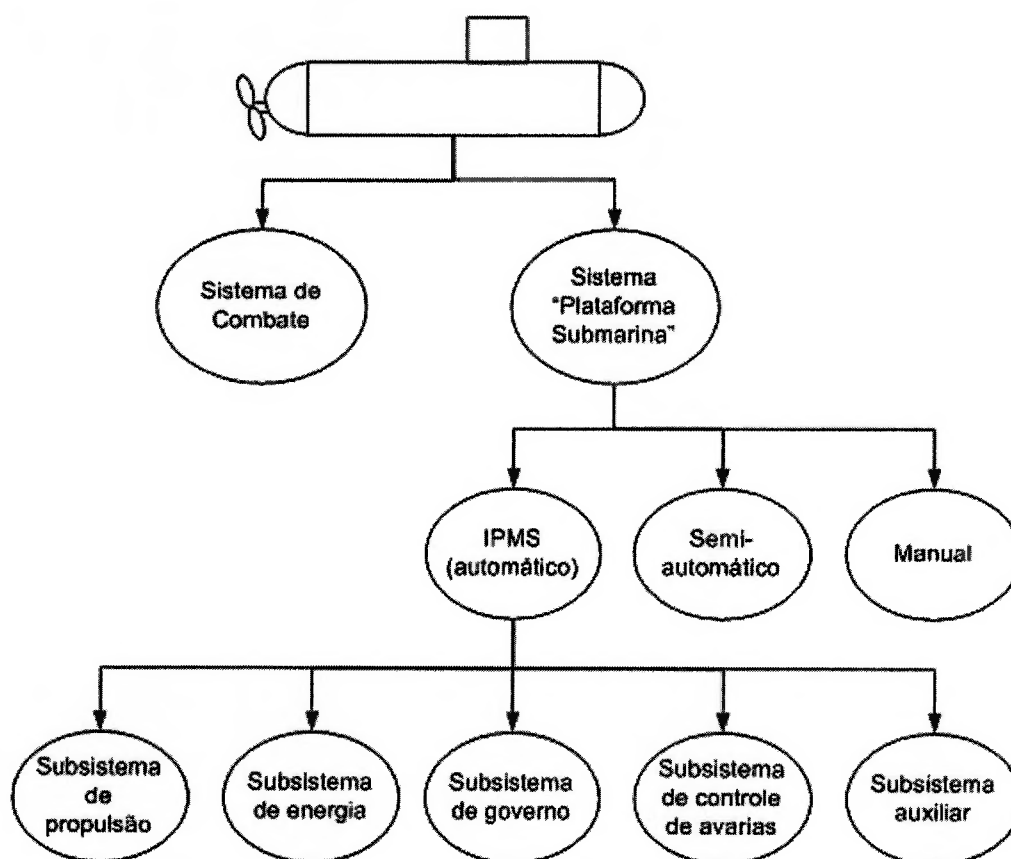


Figura 4-1 – Esquema dos subsistemas componentes do IPMS.

#### 4.1.2. Restrições consideradas no estudo de caso

Este estudo de caso apresenta a modelagem do IPMS e seus subsistemas que devem atuar de forma distribuída, mas interagindo mutuamente. No entanto, por este sistema ser de porte relativamente grande, três considerações são feitas quanto a modelagem do IPMS:

- a Figura 4-1 mostra que o IPMS pode ser dividido em pelo menos 5 subsistemas. Entretanto, no presente trabalho, o subsistema auxiliar é subdividido em duas partes em função da natureza das variáveis de controle envolvidas: auxiliar 1 (formado pelos grupos: hidráulica, óleo combustível, óleo lubrificante, água doce, água salgada e dejetos) e auxiliar 2 (formado pelos grupos: ar comprimido, ventilação e controle ambiental);
- um submarino pode estar atracado ou operando no mar. No mar, ele pode estar em condição de cruzeiro ou de combate. Na condição de cruzeiro, ele

pode estar operando na superfície, na cota periscópica ou em águas profundas (Figura 4-2). O presente estudo aborda a operação do submarino na cota periscópica, uma das situações mais críticas de operação do submarino porque nesta condição ele faz o carregamento de suas baterias estando submerso e assim aumenta o número de pontos que dão passagem à água do mar para dentro da embarcação;

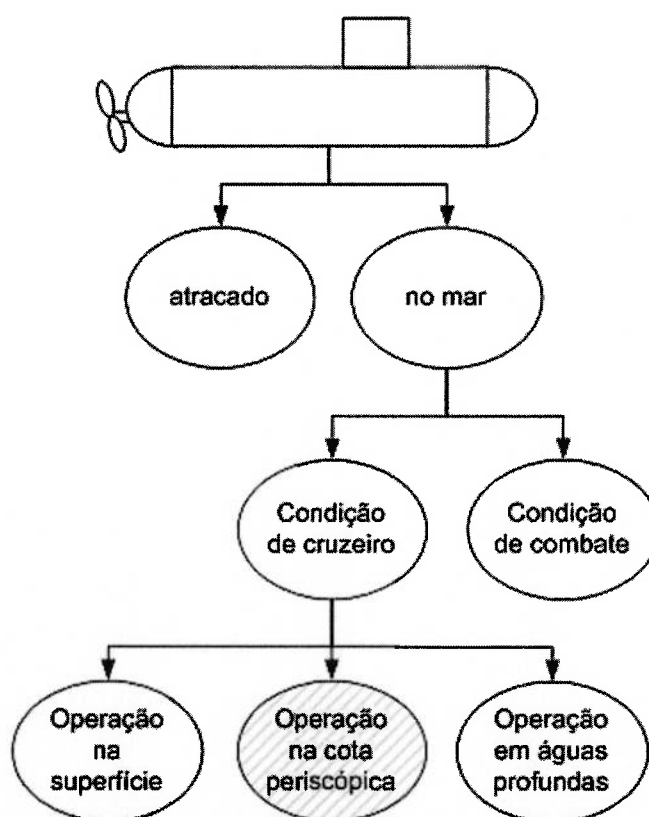


Figura 4-2 – Tipos de operação de um submarino. A operação que é tratada no presente trabalho aparece destacada na imagem (hachurado).

- em relação à modelagem dos processos do IPMS em operação na cota periscópica, o estudo se limitará aos seguintes subsistemas: de energia (grupo diesel-gerador (GDG), esnórquel, exaustão de gases e baterias), auxiliar 1 (ar comprimido) e auxiliar 2 (hidráulica). Estes foram os subsistemas escolhidos para representar a operação do IPMS porque possuem a maior quantidade de informações disponíveis na bibliografia estudada (GABLER, 1991; BURCHER; RYDILL, 1994) e também porque são três subsistemas fundamentais para a

operação do submarino e que interagem com todos os demais subsistemas. Assim, com a modelagem desses três subsistemas, tem-se informações significativas para se avaliar o procedimento proposto no capítulo 3. A Figura 4-3 mostra de um ponto de vista diferente, e mais detalhado, o IPMS de um submarino. Os subsistemas e grupos que serão abordados neste trabalho aparecem destacados na figura.

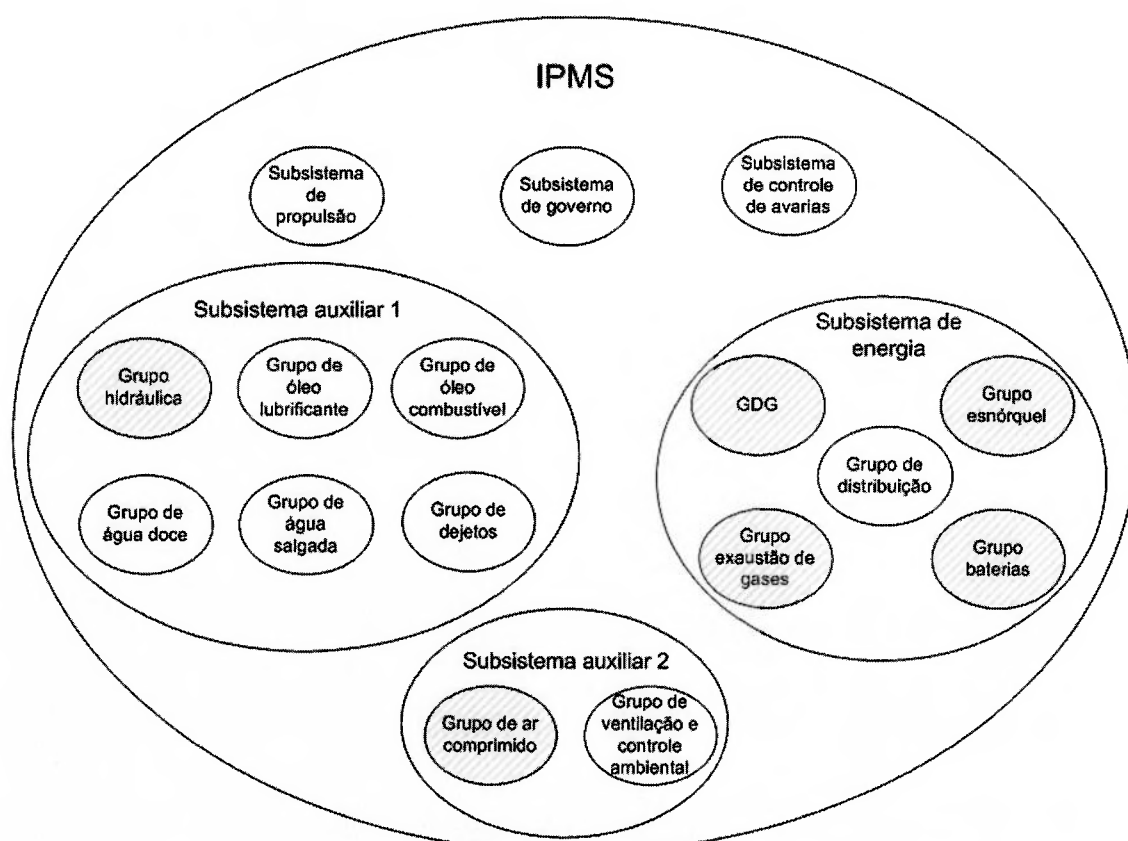


Figura 4-3 – Subsistemas do IPMS. Os grupos e subsistemas que são modelado ao longo do presente trabalho, integralmente ou parcialmente, aparecem destacados na imagem (hachurado).

## **4.2. Passo 1 – Modelagem da operação normal do IPMS na condição de operação na cota periscópica**

### **4.2.1. Passo 1.1 – Definição do problema delimitando o escopo do sistema**

O escopo deste passo é modelar a operação normal do IPMS durante a operação na cota periscópica. Neste tipo de operação, o submarino deve ser capaz de



navegar/operar normalmente com o seu MEP (motor elétrico principal) e os demais equipamentos consumidores (de energia elétrica) alimentados pelas baterias e realizar o carregamento das baterias, quando então o MEP e os demais equipamentos consumidores passam a ser alimentado diretamente pelos GEPs (geradores elétricos principais). A modelagem aqui se limita aos subsistemas de energia, auxiliares 1 (hidráulica) e auxiliares 2 (ar comprimido), pois, como o foco está no estudo e interpretações para a aplicação do método de modelagem, algumas partes da planta real são desconsideradas quando se assume que sua contribuição é marginal à pesquisa.

#### Funcionamento normal do IPMS na condição de operação na cota periscópica

Admite-se como premissa que o IPMS inicia a sua operação na cota periscópica com todos os subsistemas funcionando. Caso ele passe à operação de esnórquel, ou seja, passe a carregar as suas baterias, ele deve acionar o grupo esnórquel e o grupo exaustão de gases para então ligar o GDG (grupo diesel-gerador) e configurar o QFP (quadro de força principal) a fim de que o grupo de baterias seja carregado.

#### Subsistema de energia

O subsistema de energia tem a função de produzir energia elétrica por meio de um GDG. Essa energia é armazenada em baterias e utilizada por todos os consumidores de bordo. Esse subsistema é dividido em 5 grupos: grupo diesel gerador (GDG), esnórquel, exaustão de gases, baterias e distribuição.

O GDG é composto por dois motores à combustão (MCPs) ligados a dois geradores, que vão gerar eletricidade em corrente contínua, que irá alimentar um grupo de baterias e os demais consumidores de bordo quando estiverem operando. A Figura 4-4 mostra esquematicamente os elementos/dispositivos do subsistema energia. A Tabela 4.1 lista os sensores e atuadores desse subsistema.

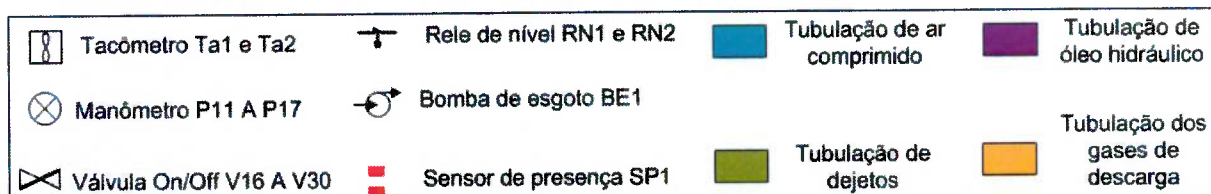
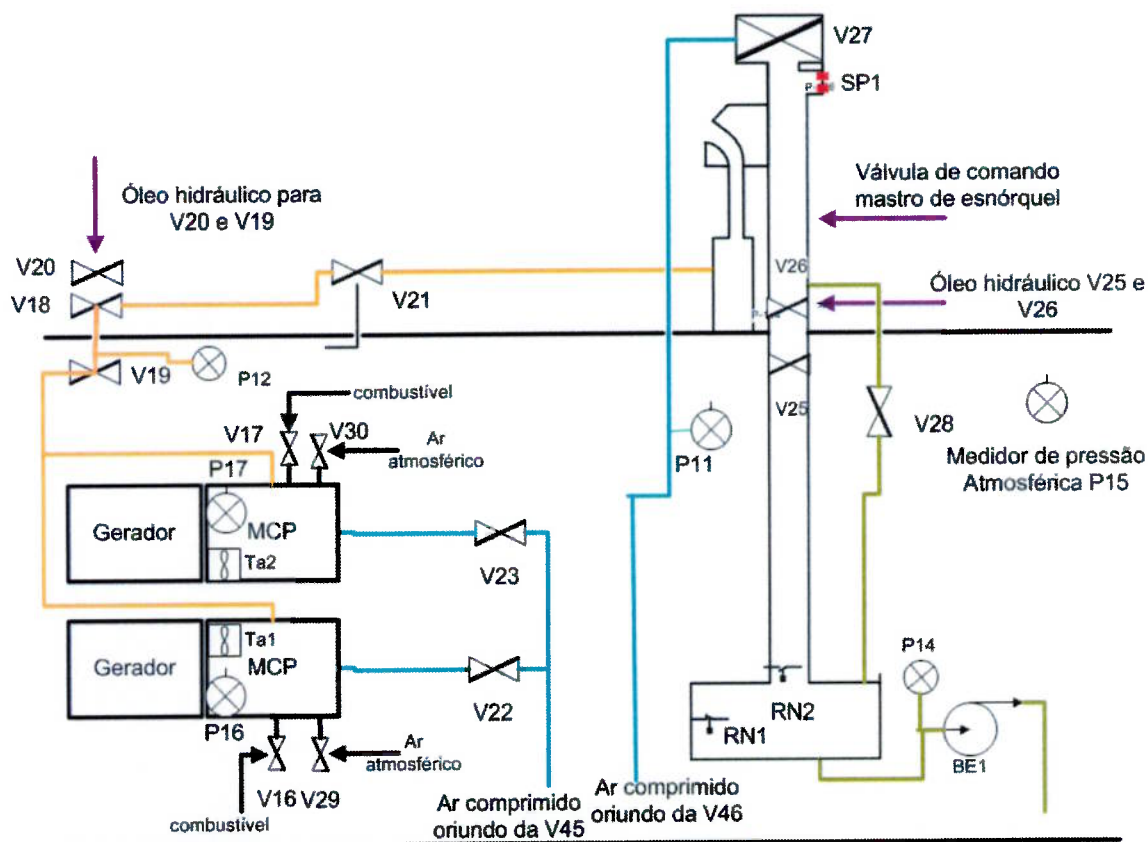


Figura 4-4 – Esquema da planta do subsistema de energia com seus atuadores e sensores (adaptado de Gabler, 1991).

Tabela 4.1 – Lista dos sensores e atuadores do subsistema energia presentes na Figura 4-4 e na Figura 4-5.

Lista de sensores e atuadores para o subsistema de energia	
Atuadores	
válvulas On/Off	Nome / função
V16	Válvula de combustível do MCP 1
V17	Válvula de combustível do MCP 2
V18	Válvula externa da exaustão
V19	Válvula interna da exaustão
V20	Válvula que trava e destrava a Válvula externa
V21	Válvula de <i>change over</i>
V22	Válvula de partida do MCP1
V23	Válvula de partida do MCP2
V24	Numeração reserva
V25	Válvula interna do esnórquel

V26	Válvula externa do esnórquel
V27	Válvula cabeça (permite a passagem de ar quando o submarino está na cota periscópica)
V28	Válvula dreno (permite a drenagem da água que está no tubo de esnórquel)
V29	Válvula admissão de ar do MCP 1
V30	Válvula admissão de ar do MCP 2
Bomba de esgoto	Nome / função
BE1	Bomba de esgoto do tanque de esnórquel
Disjuntores	Nome / função
D1	Disjuntor do MCP 1 (permite o carregamento das baterias a partir do MCP 1)
D2	Disjuntor do MCP 2 (permite o carregamento das baterias a partir do MCP 2)
<b>Sensores</b>	
Tacômetro	Nome / função
Ta1	Tacômetro do MCP1
Ta2	Tacômetro do MCP2
Manômetro	Nome / função
P11	Mede a pressão na linha de ar da v. cabeça
P12	Mede a pressão diferencial entre a saída dos gases e a pressão extena
P13	Numeração reserva
P14	Mede a pressão de coluna de água no tanque de esnórquel
P15	Mede a pressão atmosférica interna ao submarino
P16	Mede a pressão de óleo lubrificante do MCP 1
P17	Mede a pressão de óleo lubrificante do MCP 2
Relé de nível	Nome / função
RN1	indica que o nível de água no tanque de esnórquel é considerado alto
RN2	Indica que o nível de água no tanque de esnórquel é considerado muito alto
Sensor de presença	Nome / função
SP1	Indica a presença de água na v. cabeça
SP2	Indica que o mastro está atopeitado
SP3	Indica que o mastro está arriado
Sensor de fim de curso das válvulas on/off	Nome / função
S. V16	Indica se a válvula V16 está fechada ou não
S. V17	Indica se a válvula V17 está fechada ou não
S. V18	Indica se a válvula V18 está fechada ou não
S. V19	Indica se a válvula V19 está fechada ou não
S. V20	Indica se a válvula V20 está fechada ou não
S. V21	Indica se a válvula V21 está fechada ou não
S. V22	Indica se a válvula V22 está fechada ou não
S. V23	Indica se a válvula V23 está fechada ou não
S. V24	Indica se a válvula V24 está fechada ou não
S. V25	Indica se a válvula V25 está fechada ou não
S. V26	Indica se a válvula V26 está fechada ou não
S. V27	Indica se a válvula V27 está fechada ou não
S. V28	Indica se a válvula V28 está fechada ou não

S. V29	Indica se a válvula V29 está fechada ou não
S. V30	Indica se a válvula V30 está fechada ou não

Os MCPs interagem com o subsistema auxiliar 1 por meio do grupo de água salgada (que faz a sua refrigeração), do grupo de óleo lubrificante e do grupo de óleo combustível, e com o subsistema auxiliar 2 por meio do grupo de ar comprimido. Neste trabalho não será abordado o grupo de óleo combustível, de água salgada e de óleo lubrificante

Um MCP pode ser acionado durante a operação na cota periscópica quando o submarino se estabiliza nesta profundidade. Nesta situação é utilizado o mastro de esnórquel para sugar o ar da atmosfera por meio da válvula cabeça (V27 da Figura 4-4) para a embarcação que se encontra submersa e o grupo de exaustão de gases é acionado para retirar os gases da combustão da embarcação.

A partida de um MCP é feita injetando-se ar comprimido (V22 e V23 da Figura 4-4) e a sua parada normal é feita acionando-se o botão de parada, quando se corta a injeção de combustível (V16 e V17 da Figura 4-4).

O grupo de esnórquel tem a função de garantir o suprimento eficiente de ar tanto para tripulação quanto para os equipamentos, com o submarino navegando à cota periscópica. Assim, a bateria pode ser recarregada durante a navegação à baixa velocidade, sem que seja necessário o submarino vir à superfície (GABLER, 1991).

Um mastro conduz o ar externo para o submarino. No ponto mais alto do mastro existe uma válvula de admissão de ar, conhecida como “válvula cabeça”, que permite a entrada ou não de ar nos dutos. Ela é acionada pneumaticamente e também possui um dispositivo associado a um sensor de presença de água que quando molhado pela água do mar, realiza o seu fechamento. Quando o sensor seca, este dispositivo reabre a válvula (GABLER, 1991; WIKIPEDIA, 2009). A vedação estrutural de entrada de ar do submarino consiste de duas válvulas de fechamento em série (válvulas interna (V25) e externa do esnórquel (V26)).

Para iniciar a operação do esnórquel, o mastro deve ser esgotado para o tanque de esnórquel por meio de drenos (V28), pois os mastros permanecem alagados quando o submarino está submerso. Em seguida, as duas válvulas que são dispostas em série são abertas e então é acionada a válvula cabeça.

Para finalizar a operação do esnórquel, deve-se primeiro parar os MCPs, e em seguida fechar as válvulas interna e externa do esnórquel e arriar o mastro.

O grupo de exaustão de gases é responsável pela remoção dos gases de descarga dos MCPs (GABLER, 1991). Essa exaustão pode ser feita por meio de um outro mastro quando o submarino está na operação de esnórquel ou pela lateral do submarino quando estiver operando na superfície. Essa seleção é feita pela válvula de *changeover* (V21) e o seu acionamento é manual.

A exaustão é composta por duas válvulas de fechamento em série (válvulas interna (V19) e externa da exaustão (V18)), a válvula de *change over* (V21) e o mastro de exaustão.

Para iniciar o seu funcionamento, a válvula interna (V19) é aberta e a externa destravada (V20). Assim, durante a partida de um MCP, quando a pressão dos gases for maior que a pressão de coluna de água (medida pelo manômetro P12), a válvula externa (V18) abre, permitindo a saída dos gases. Quando terminar a operação do GDG, as duas válvulas são fechadas e travadas.

O grupo de baterias é utilizado para armazenar a energia elétrica necessária para o MEP e para a rede de distribuição (grupo distribuição) de energia elétrica de bordo (GABLER, 1991). O caso modelado possui dois GDGs, dois conjuntos de baterias, o MEP e a rede de distribuição de energia elétrica de bordo. Quando as baterias estão carregadas, a energia flui delas para os equipamentos consumidores. No entanto, quando os GDGs são acionados, as baterias deixam de ser fornecedoras de energia e passam a acumulá-la. O procedimento é primeiro ligar os GDGs sem nenhuma carga. Em seguida coloca-se carga e aciona-se os disjuntores (D1 e D2) no quadro de força principal (QFP). Neste momento, o MEP, a rede elétrica de bordo e as baterias passam a ser alimentados em paralelo pelos GEPs por meio do do QFP (Figura 4-5).

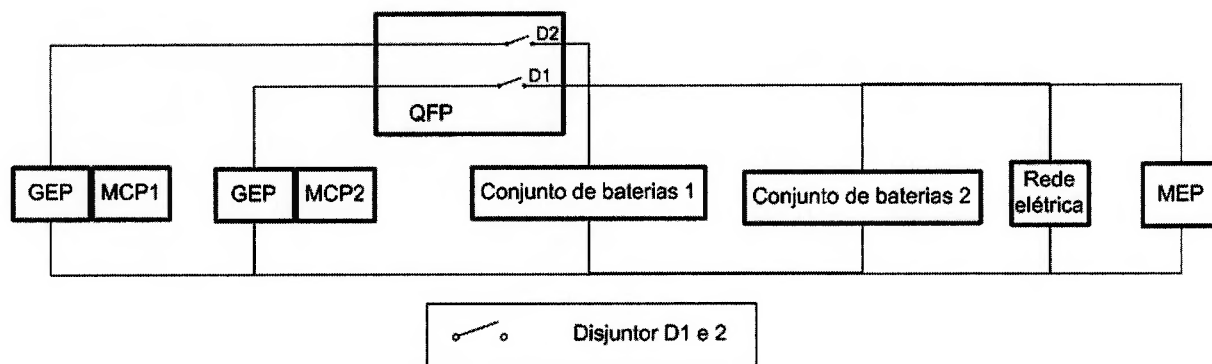


Figura 4-5 – Esquema simplificado da distribuição de energia elétrica do submarino.

O funcionamento do grupo de ar comprimido e do grupo hidráulica são descritos e detalhados no Apêndice B.

#### 4.2.2. Passo 1.2 – Identificação dos elementos básicos do sistema e seus relacionamentos

A partir do entendimento do funcionamento do sistema e dos processos descritos no passo anterior, realiza-se um refinamento sucessivo das suas atividades e funções visando detalhar todos os processos que compõem o sistema e como esses processos interagem mutuamente.

Admite-se como premissa que todos os subsistemas estão funcionando em condições normais, como pode ser visto na Figura 4-6. Esta é evidentemente uma simplificação inicial baseada na idéia de que todos os subsistemas deveriam estar em operação normal.

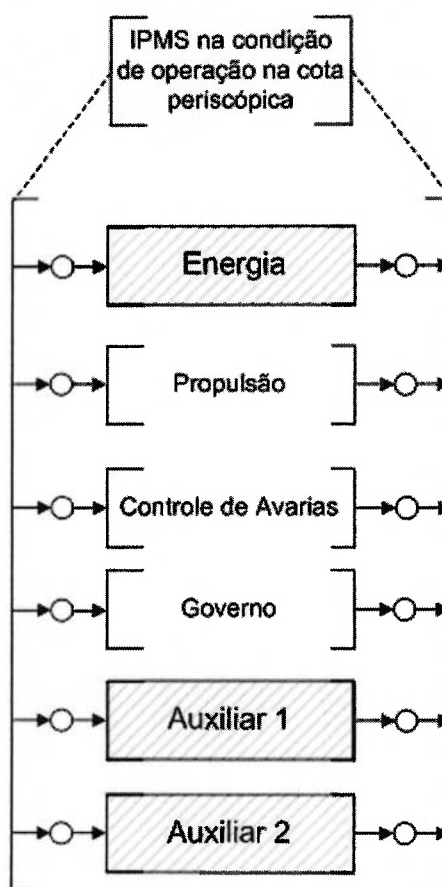


Figura 4-6 – Detalhamento da atividade [IPMS na condição de operação na cota periscópica]. Aparecem destacados os subsistemas que são efetivamente refinados (hachurado).

A partir deste ponto, passa-se a modelar somente os subsistemas e grupos indicados no escopo do estudo, como é mostrado na Figura 4-7. Todos os **distribuidores e atividades** que possuem alguma relevância recebem um nome e uma numeração. A numeração de uma **atividade** ou de um **distribuidor** oriundo de uma **atividade** macro ou de um **distribuidor** macro recebe a sua numeração acrescida de um algarismo, ou seja, a **subatividade** da **atividade** 1.2 recebe o número 1.2.1. A partir deste ponto, o subsistema Auxiliar 1 passa a ser representado pela **atividade** [Grupo hidráulica (2)] e o subsistema auxiliar 2 passa a ser representado pela **atividade** [Grupo ar comprimido (3)]. Os seus refinamentos estão no Apêndice B.

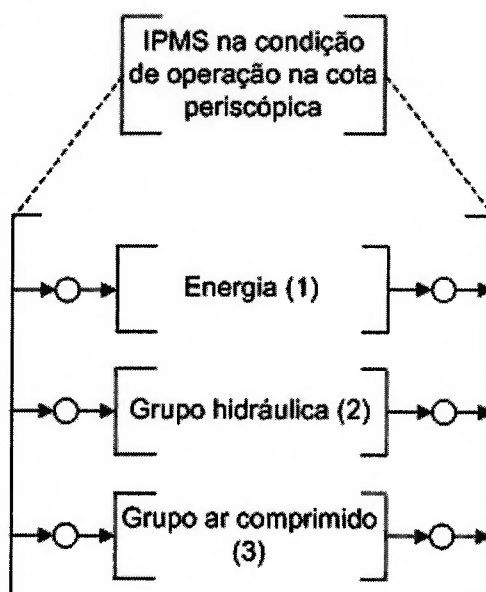


Figura 4-7 – Primeiro nível de detalhamento: PFS da atividade [IPMS na condição de operação na cota periscópica] restrito aos subsistemas tratados no estudo de caso.

A Figura 4-8 mostra um detalhamento da atividade [Energia (1)]. Pode ser visto nesta figura que o submarino inicia no estado de patrulha (**distribuidor** (submarino patrulhando (1.1))). A partir deste estado, o submarino pode tomar dois rumos: no primeiro, realiza o processo de produção de energia (atividade [Geração de energia em esnórquel (1.2)]) e depois volta ao estado de patrulha. No segundo, o submarino deixa de operar na cota periscópica.



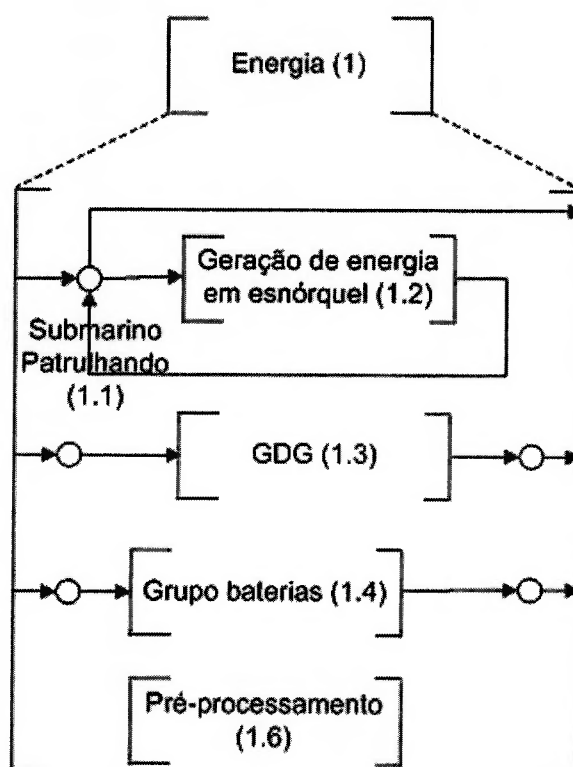


Figura 4-8 – Detalhamento da atividade [Energia (1)] da Figura 4-7.

O refinamento da atividade [Geração de energia em esnórquel (1.2)] é mostrado na Figura 4-9. Quando é iniciada esta atividade, aciona-se o [grupo esnórquel (1.2.1)]. Também se inicia o [grupo exaustão de gases (1.2.2)] que interage com o [grupo hidráulica (2)]. Quando esses grupos estão prontos para realizar a operação de geração de energia, habilitam o grupo diesel gerador (atividade [GDG (1.3)]). Assim que o GDG é acionado, altera-se a configuração da fonte de energia elétrica a bordo (atividade [Grupo baterias (1.4)]). Quando termina a carga das baterias, desliga-se o GDG e altera-se novamente a configuração da fonte de energia (atividade [Grupo baterias (1.4)]) e encerra-se o funcionamento do [Grupo esnórquel (1.2.1)] e [Grupo exaustão de gases (1.2.2)].

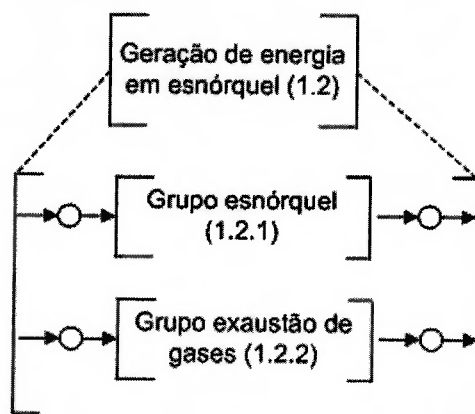


Figura 4-9 – Detalhamento da atividade [Energia na condição de esnórquel (1.2)] da Figura 4-8.

A Figura 4-10 detalha a atividade [Grupo esnórquel (1.2.1)]. Nesse detalhamento é possível acompanhar a sequência do seu funcionamento. Inicialmente iça-se o mastro e o deixa em condições de realizar a geração de energia (atividade [Içamento do mastro (1.2.1.1)]). Em seguida, controla-se o embarque de água através do mastro (atividade [Controle do nível\_tanque de esnórquel (1.2.1.2)]). A atividade [Controle do nível\_tanque de esnórquel] habilita o início da operação da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)]. Quando se encerra a atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)], faz-se o procedimento de [Arriamento do mastro (1.2.1.4)]. Assim que concluído esta atividade, habilita-se o término da operação de atividade [Controle do nível\_tanque de esnórquel (1.2.1.2)].

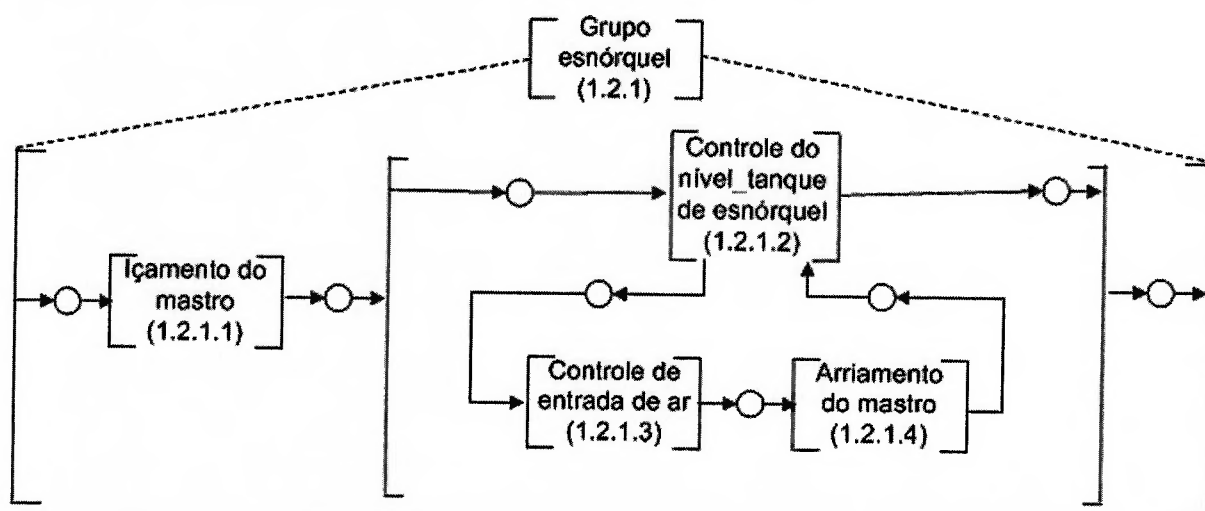


Figura 4-10 – Detalhamento da atividade [Grupo esnórquel (1.2.1)] da Figura 4-9.

A Figura 4-11 mostra a **atividade** [Içamento do mastro (1.2.1.1)]. Nesse detalhamento é possível acompanhar a sequência do processo de içamento. Inicia-se içando o mastro (**atividade** [Iça o mastro (1.2.1.1.1)]). Após ser içado, ele é travado ([Estabiliza o mastro (1.2.1.1.2)]), drenado ([Drena o mastro (1.2.1.1.3)]), as válvulas interna e externa são abertas ([Abre as válvulas (1.2.1.1.4)]) e libera-se o ar comprimido para a operação da válvula cabeça ([Libera a v. cabeça (1.2.1.1.5)]). Ao fim desta atividade, a **atividade** [Habilita GDG\_1 (1.2.1.1.6)] envia um sinal liberando a operação do [GDG (1.3)].

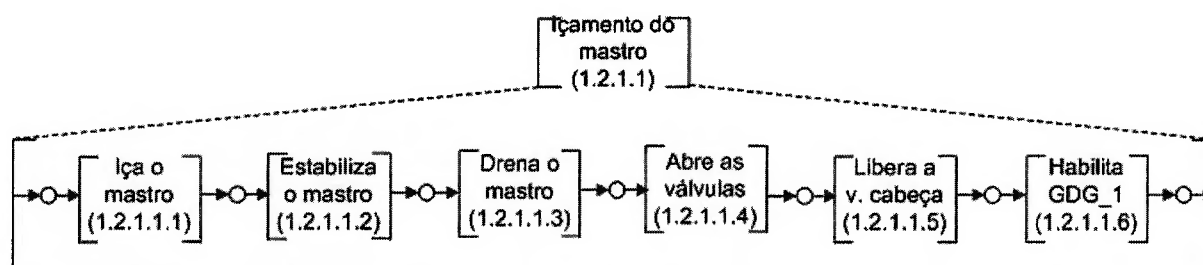


Figura 4-11 – Detalhamento da **atividade** [Içamento do mastro (1.2.1.1)] da Figura 4-10.

A **atividade** [Controle do nível\_tanque de esnórquel (1.2.1.2)] faz o controle da quantidade de água que embarca pelo mastro e que é armazenada no tanque de esnórquel (Figura 4-12). Inicia-se o processo habilitando a entrada de ar (**atividade** [Ctrl de entrada de ar (1.2.1.2.1)]). Em seguida permanece verificando o nível do tanque de esnórquel (**distribuidor** (VRF nível tanque\_1 (1.2.1.2.2))). Quando o relé de nível RN1 (Figura 4-4) está atuando, indicando um nível alto no tanque, a bomba de esgoto é acionada (**atividade** [Aciona bomba (1.2.1.2.3)]). O nível é então monitorado pelo **distribuidor** (VRF nível tanque\_2 (1.2.1.2.4)). Quando a água seca, o manômetro P14 (Figura 4-4) indica baixa pressão e a bomba é desligada (**atividade** [Desliga bomba (1.2.1.2.5)]). Esse ciclo se encerra quando chega o sinal indicando o arriamento do mastro.

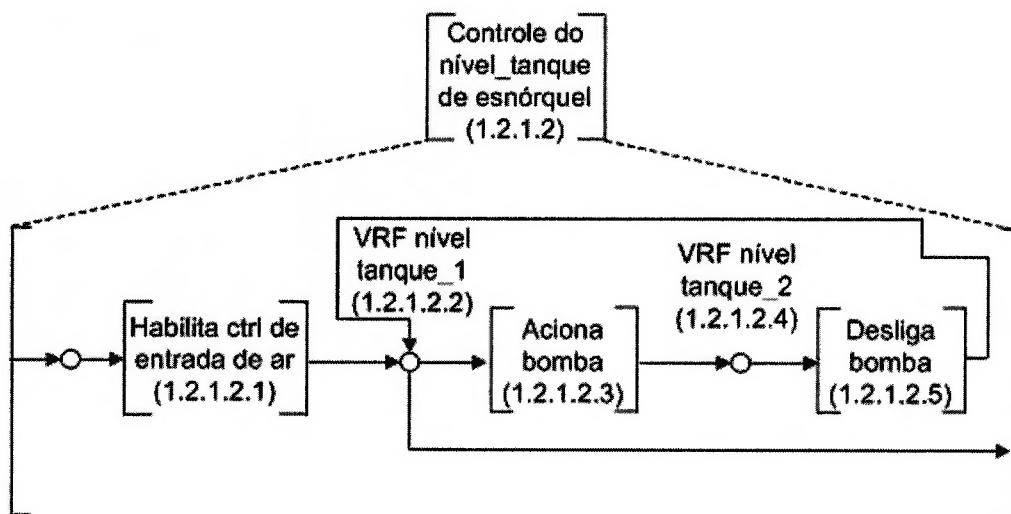


Figura 4-12 – Detalhamento da atividade [Controle do nível\_tanque de esnórquel (1.2.1.2)] da Figura 4-10.

A Figura 4-13 mostra a atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)]. A válvula cabeça é aberta se o sensor de presença estiver seco. Entretanto, se o sensor permanecer molhado por um tempo maior que o determinado, ele dispara o comando para fechamento da válvula cabeça. Quando ele voltar a secar, ele libera a abertura novamente. Essa atividade se encerra quando recebe o comando de encerramento da operação e após receber a indicação de que o GDG já foi parado.

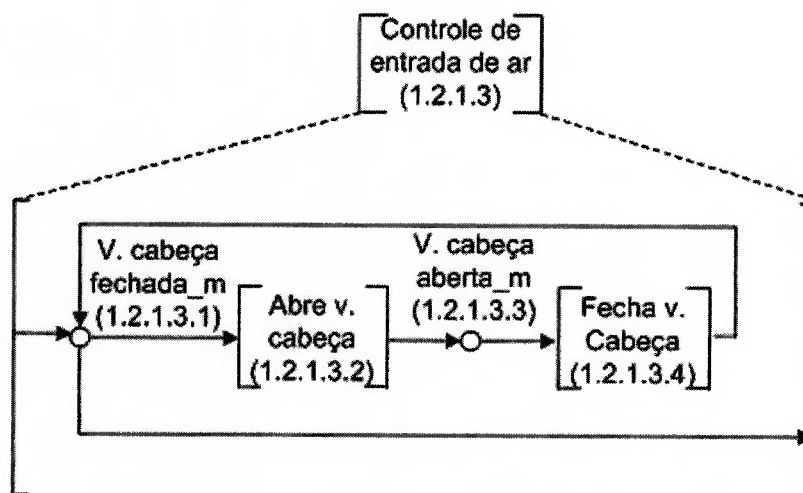


Figura 4-13 – Detalhamento da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] da Figura 4-10.

A Figura 4-14 mostra a **atividade** [Arriamento do mastro (1.2.1.4)]. Nesse detalhamento é possível acompanhar a sequência do processo de arriamento do mastro. Inicia-se fechando o ar comprimido disponível para a válvula cabeça (**atividade** [Desabilita v. cabeça (1.2.1.4.1)]). Em seguida fecham-se as válvulas interna e externa do mastro (**atividade** [Fecha as válvulas (1.2.1.4.2)]). Por último, o mastro é arriado (**atividade** [Arria o mastro (1.2.1.4.3)]) e travado (**atividade** [Estabiliza o mastro (1.2.1.4.4)]).

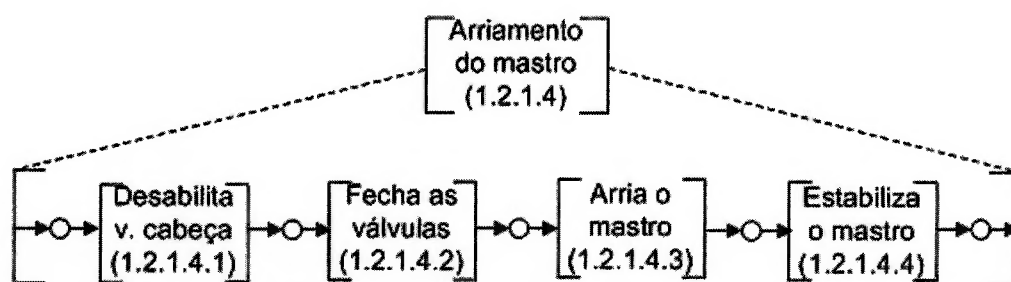


Figura 4-14 – Detalhamento da **atividade** [Arriamento do mastro (1.2.1.4)] da Figura 4-10.

A Figura 4-15 mostra a **atividade** [Grupo exaustão de gases (1.2.2)]. Nesse detalhamento é possível acompanhar a sequência do seu processo. Inicia-se pela abertura da válvula interna (**atividade** [Abrir v. interna (1.2.2.1)]) e pelo destravamento da válvula externa (**atividade** [Destruar v. externa (1.2.2.2)]). Ao fim desta **atividade** é enviado o sinal liberando o GDG (**atividade** [Habilita GDG\_2 (1.2.2.3)]). Em seguida é feito o controle de abertura e fechamento da válvula externa de acordo com o balanço das pressões internas e externas. Quando chega o comando para encerrar as operações, trava-se a válvula externa (**atividade** [Travar v. externa (1.2.2.8)]) e fecha-se a interna (**atividade** [Fechar v. interna (1.2.2.9)]).

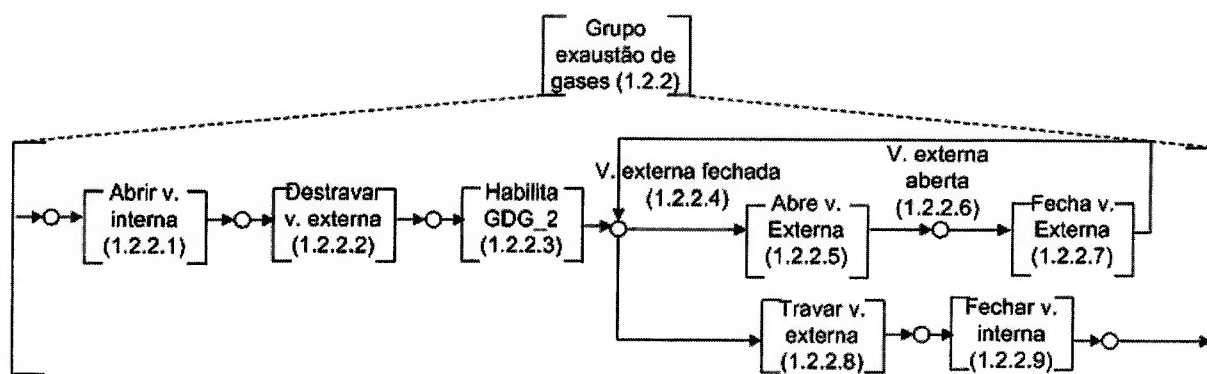


Figura 4-15 – Detalhamento da atividade [Grupo exaustão de gases (1.2.2)] da Figura 4-9.

A Figura 4-16 mostra a atividade [GDG (1.3)]. Nesse detalhamento é possível acompanhar a sequência do processo. Inicia-se pela atividade [Início do GDG (1.3.1)] que libera o ar comprimido para o acionamento dos MCPs. Nesta situação, os MCPs permanecem ainda parados, mas prontos para partida (**distribuidor** (Motor parado (1.3.2))). A partir deste ponto, o MCP pode ser acionado (atividade [Motor ligando (1.3.6)]), onde se habilitam as baterias a passarem de fornecedoras a receptoras de energia elétrica. O motor passa assim ao estado de ligado (**distribuidor** (Motor ligado (1.3.7))). Nesse estado, o MCP pode ser desligado (atividade [Desligando normal (1.3.8)]), onde se habilita o processo inverso do grupo de baterias e logo em seguida volta-se ao estado de Motor parado. Quando o motor está desligado, pode-se terminar a fase de geração, passando à atividade [Habilita encerramento (1.3.3)], que habilita o encerramento do grupo exaustão de gases e o grupo esnórquel. A atividade [Encerra geração (1.3.5)] fecha a alimentação de ar comprimido para o GDG.

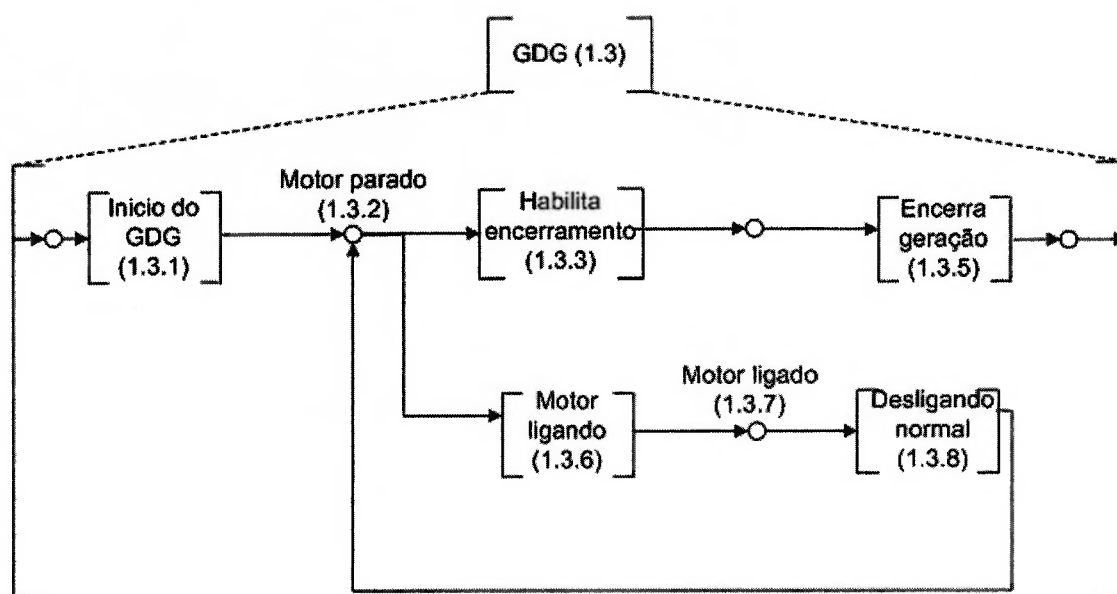


Figura 4-16 –Detalhamento da atividade [GDG (1.3)] da Figura 4-8.

A Figura 4-17 mostra a atividade [Grupo baterias (1.4)]. Nesse detalhamento é possível observar que se inicia o processo com as baterias fornecendo energia (**distribuidor** (fornecendo energia (1.4.1))). Caso a produção de energia seja iniciada, a configuração dos relés é alterada (**atividade** [Passa a receber (1.4.2)]) e passa-se ao estado de recebimento de energia (**distribuidor** (Recebendo energia (1.4.3))). Quando a produção terminar, altera-se novamente a configuração (**atividade** [Passa a fornecer (1.4.4)]) e as baterias voltam a fornecer energia.

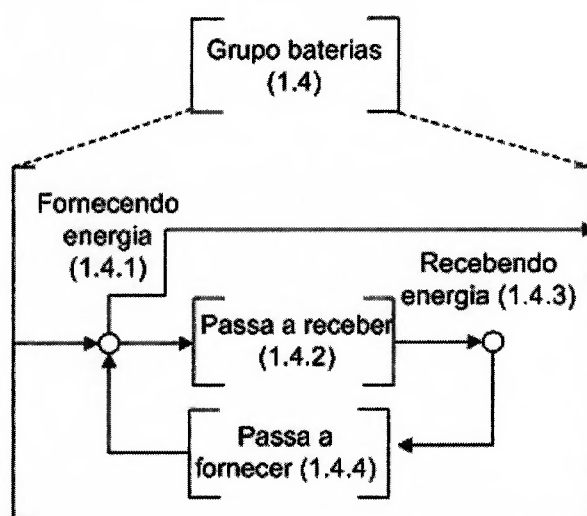


Figura 4-17 – Detalhamento da atividade [Grupo bateria (1.4)] da Figura 4-8.

A Figura 4-18 mostra a **atividade** [Pré-processamento (1.6)] que representa as funções que realizam a leitura e a escrita dos sinais externos ao modelo. No presente estudo de caso se considera que essa **atividade** é constituída de outras quatro atividades que são descritas a seguir:

- [Entrada digital (1.6.1)] – esta **atividade** faz a leitura dos dados de natureza discreta e os armazena por um determinado período de tempo;
- [Entrada analógica (1.6.2)] – esta **atividade** faz a leitura dos dados de natureza analógica, os discretiza em cinco níveis: muito baixo, baixo, normal, alto e muito alto e os armazena por um determinado período de tempo;
- [Saída digital (1.6.3)] – esta **atividade** processa os sinais oriundos do controle e os envia para os atuadores;
- [Módulo de solicitação a outro controlador (1.6.4)] – esta **atividade** realiza solicitações a outros os controladores.

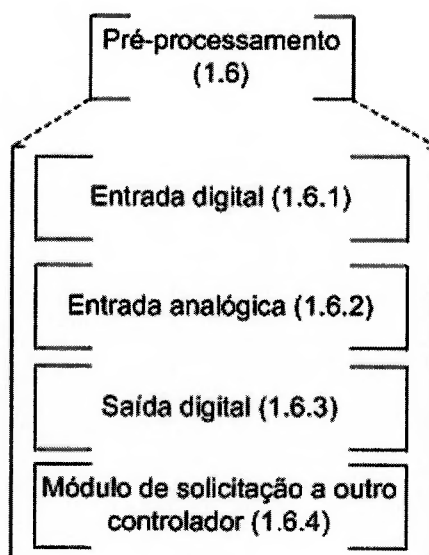


Figura 4-18 – Modelo em PFS da **atividade** [Pré-processamento (1.6)].

Na Figura 4-19 são apresentados os elementos do subsistema de energia que fazem a função da **atividade** [Atuadores]. São eles:



- [Atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador] – **atividade** que permite que o dispositivo seja acionado ou desligado por meio do controlador;
- [Atuadores com desligamento pelo tempo] – **atividade** que permite que o dispositivo seja acionado pelo controlador, mas o seu desligamento é realizado após um determinado tempo;
- [Atuadores com desligamento pelo controlador] – **atividade** que permite que o dispositivo seja acionado automaticamente de uma forma mecânica ou elétrica ou manual e o seu desligamento seja realizado por meio do controlador.

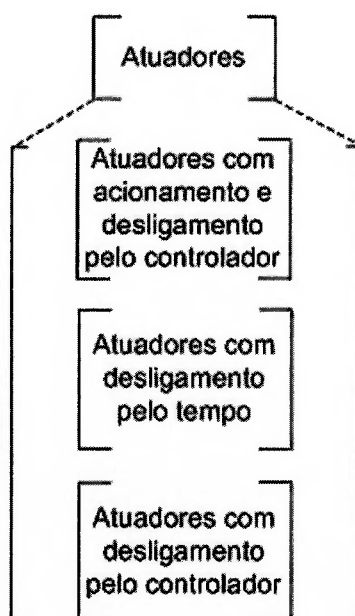


Figura 4-19 – Detalhamento da **atividade** [Atuadores].

Na Figura 4-20 são apresentados os elementos do subsistema energia que exercem o papel da **atividade** [Sensores]. São eles:

- [Manômetro] – **atividade** que realiza a leitura dos manômetros;
- [Sensor de fim de curso das válvulas *on/off*] – **atividade** que indica se a válvula *on/off* está fechada ou não;
- [Tacômetro] – **atividade** que realiza a leitura da rotação do MCP;

- [Sensor de presença] – **atividade** que indica a entrada de água pelo mastro do esnórquel; e
- [Relé de nível] – **atividade** que indica se o tanque está com o nível alto de água.

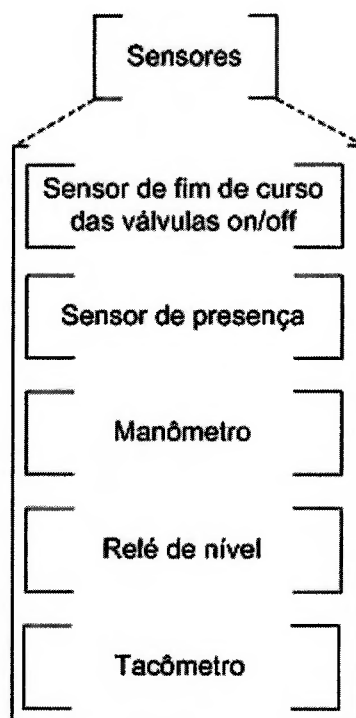


Figura 4-20 – Detalhamento da **atividade** [Sensores].

A Figura 4-21 mostra a **atividade** [Dispositivo de comando] que permite que o operador interaja com o controlador.

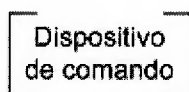


Figura 4-21 – **atividade** [Dispositivo de comando].

#### 4.2.3. Passo 1.3 – Modelagem dos elementos básicos em RdP

Nesta etapa, os modelos já detalhados com o PFS são refinados utilizando a RdP.

O modelo em RdP da atividade [Pré-processamento (1.6)] é mostrado na Figura 4-22 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.2, na Tabela 4.3, na Tabela 4.4 e Tabela 4.5.

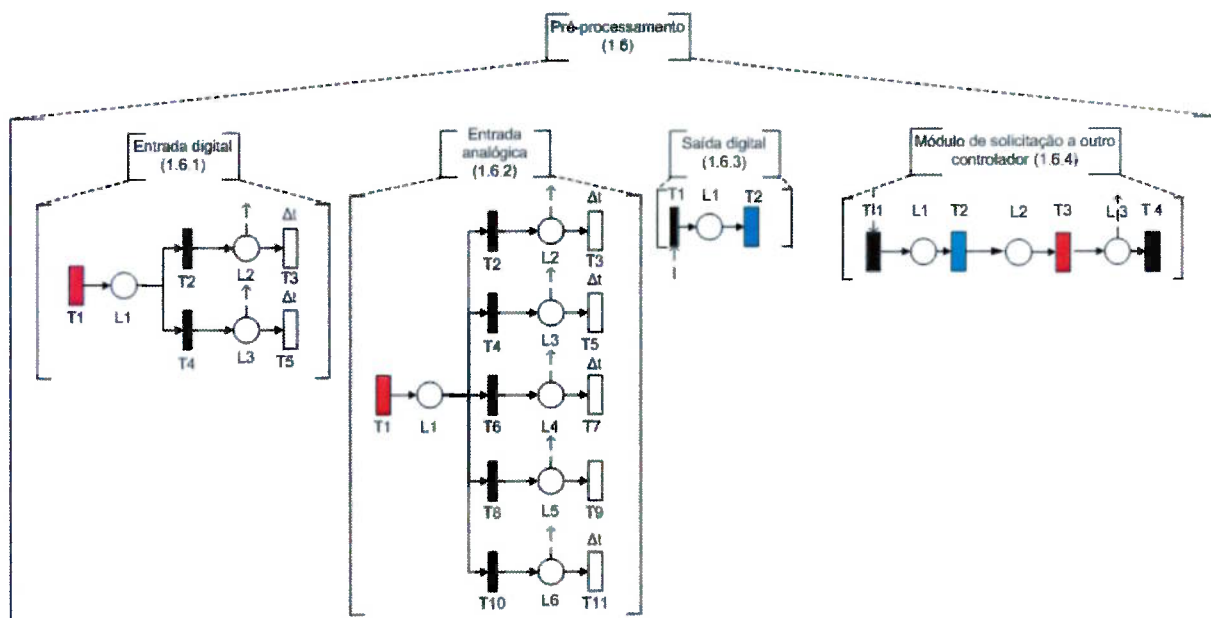


Figura 4-22 – Modelo em RdP da atividade [Pré-processamento (1.6)].

Tabela 4.2 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Entrada digital (1.6.1)] da Figura 4-22

Lugar	Descrição
L1	Indica que o pré-processamento recebeu um sinal digital
L2	Indica que o valor da entrada digital é de nível baixo, ou seja, zero
L3	Indica que o valor da entrada digital é de nível alto, ou seja, um
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> requisitada que representa o recebimento pelo pré-processamento do sinal digital
T2	<u>Transição</u> que discretiza o valor recebido pelo pré-processamento como zero
T3	<u>Transição</u> temporizada que indica quanto tempo um determinado dado permanece no pré-processamento antes de ser apagado
T4	<u>Transição</u> que discretiza o valor recebido pelo pré-processamento como um
T5	<u>Transição</u> temporizada que indica quanto tempo um determinado dado permanece no pré-processamento antes de ser apagado

Tabela 4.3 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Entrada analógica (1.6.2)] da Figura 4-22

Lugar	Descrição
L1	Indica que o pré-processamento recebeu um sinal analógico
L2	Indica que a faixa de valores que se encontra é considerada muito alta
L3	Indica que a faixa de valores que se encontra é considerada alta
L4	Indica que a faixa de valores que se encontra é considerada normal.
L5	Indica que a faixa de valores que se encontra é considerada baixa

L6	Indica que a faixa de valores que se encontra é considerada muito baixa
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> requisitada que representa o recebimento pelo pré-processamento de um sinal analógico
T2	<u>Transição</u> que discretiza o valor recebido pelo pré-processamento como muito alto
T3	<u>Transição</u> temporizada que indica quanto tempo um determinado dado permanece no pré-processamento antes de ser apagado
T4	<u>Transição</u> que discretiza o valor recebido pelo pré-processamento como alto
T5	Tem a mesma função que a <u>transição</u> T3
T6	<u>Transição</u> que discretiza o valor recebido pelo pré-processamento como normal
T7	Tem a mesma função que a <u>transição</u> T3
T8	<u>Transição</u> que discretiza o valor recebido pelo pré-processamento como baixo
T9	Tem a mesma função que a <u>transição</u> T3
T10	<u>Transição</u> que discretiza o valor recebido pelo pré-processamento como muito baixo
T11	Tem a mesma função que a <u>transição</u> T3

Tabela 4.4 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Saída digital (1.6.3)] da Figura 4-22

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o controle local habilitou a atuação sobre um determinado dispositivo
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal solicitando a ação sobre determinado dispositivo
T2	<u>Transição</u> requisitante que envia o sinal para o atuador

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

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que uma solicitação de comunicação chegou a atividade (1.6.4)
L2	Indica que uma solicitação foi feita a outro controlador
L3	Indica a chegada da resposta à solicitação realizada
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal solicitando a comunicação com outro controlador
T2	<u>Transição</u> requisitante que envia o sinal para outro controlador
T3	<u>Transição</u> requisitada que indica o recebimento da informação
T4	<u>Transição</u> que passa a resposta à solicitação ao controlador

Como o modelo em RdP das **atividades** [Entrada analógica (1.6.2)], [Entrada digital (1.6.3)] e [Módulo de solicitação a outro controlador (1.6.4)] aumentam o número de transições e lugares na representação em RdP das diversas **atividades** que aparecem ao longo do trabalho, adotou-se no presente texto uma simplificação da representação da função de leitura do pré-processamento. O modelo simplificado da **atividade** [Módulo de solicitação a outro controlador (1.6.4)] é mostrado na Figura

4-23(a), o modelo da **atividade** [Entrada digital (1.6.1)] é mostrado na Figura 4-23(b) e o modelo da **atividade** [Entrada analógica (1.6.2)] é mostrado na Figura 4-23(c).

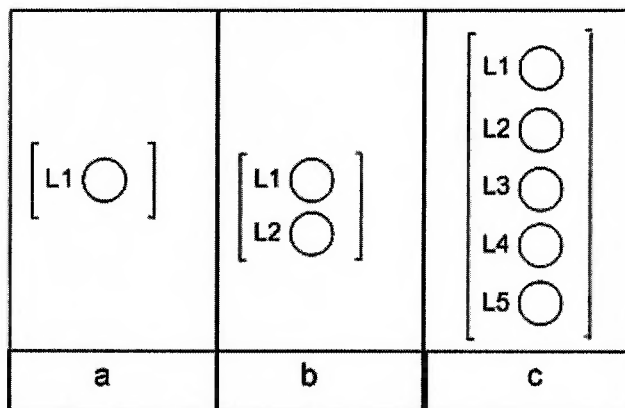


Figura 4-23 – (a) Modelo simplificado da representação em RdP da **atividade** [Módulo de solicitação a outro controlador (1.6.4)]; (b) Modelo simplificado da representação em RdP da **atividade** [Entrada digital (1.6.1)] (Figura 4-22); (c) modelo simplificado da representação em RdP da **atividade** [Entrada analógica (1.6.2)] (Figura 4-22).

O modelo em RdP do **distribuidor** (Submarino Patrulhando (1.1)) é mostrado na Figura 4-24 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.6

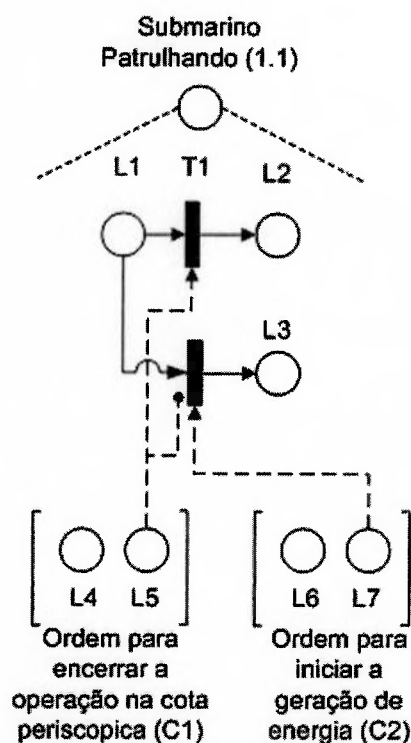


Figura 4-24 – Modelo em RdP do **distribuidor** (Submarino Patrulhando (1.1)) da Figura 4-8.

Tabela 4.6 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Submarino Patrulhando (1.1)) da Figura 4-24.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o submarino está na situação de patrulha
L2	Indica que foi dada a ordem para encerrar a operação na cota periscópica (C1)
L3	Indica que foi dada a ordem para começar a produção de energia (C2)
L4	Estado do pré-processamento que indica que a ordem para encerrar a operação na cota periscópica (C1) não foi dada
L5	Estado do pré-processamento que indica que a ordem para encerrar a operação na cota periscópica (C1) foi dada
L6	Estado do pré-processamento que indica que a ordem para iniciar a geração de energia (C2) não foi dada
L7	Estado do pré-processamento que indica que a ordem para iniciar a geração de energia (C2) foi dada
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do comando (C1). É <u>habilitada</u> pelo lugar (L5)
T2	Transição que representa a chegada do comando (C2). É <u>habilitada</u> pelo lugar (L7) e <u>inibido</u> pelo lugar (L5)

O modelo em RdP da **atividade** [Içamento do mastro (1.2.1.1)] é mostrado na Figura 4-25 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.7, na Tabela 4.8, na Tabela 4.9, na Tabela 4.10, na Tabela 4.11 e na Tabela 4.12.

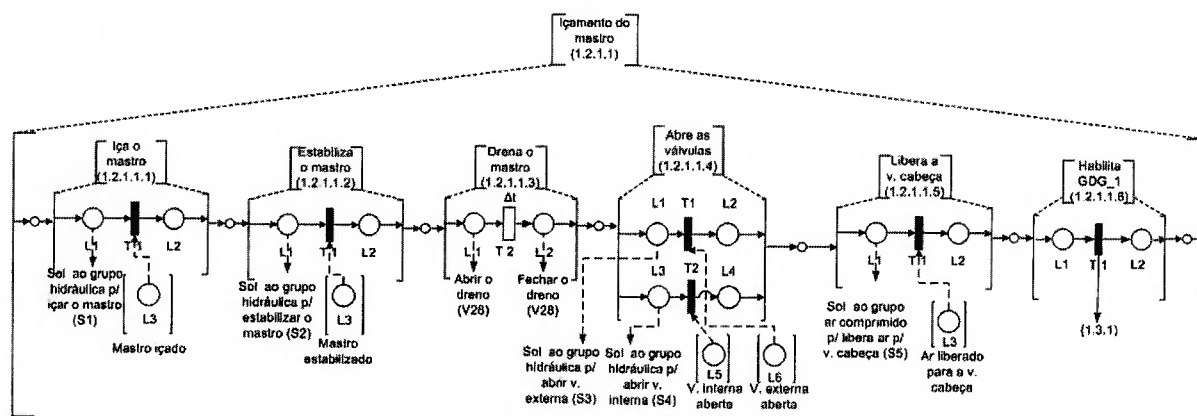


Figura 4-25 – Modelo em RdP da **atividade** [Içamento do mastro] da Figura 4-11.

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.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a solicitação ao grupo hidráulica o içamento do mastro (S1)
L2	Indica que o mastro já está atopeitado
L3	Estado do pré-processamento que indica que o mastro está içado
Transição	Descrição

T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que o mastro está atopetado. É habilitada pelo lugar (L3)
----	--

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.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a solicitação ao grupo hidráulica para estabilizar o mastro (S2)
L2	Indica que o mastro já está estabilizado
L3	Estado do pré-processamento que indica que o mastro está atopetado
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que o mastro está estabilizado. É habilitada pelo lugar (L3)

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.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento] para abrir a válvula do dreno (V28)
L2	Lugar que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento] para fechar a válvula do dreno (V28)
Transição	Descrição
T1	Transição temporizada que representa o tempo que a válvula de dreno deve ficar aberta (V28)

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.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a solicitação ao grupo hidráulica para abrir a válvula externa (S3)
L2	Indica que a válvula externa está aberta
L3	Lugar que habilita a solicitação ao grupo hidráulica para abrir a válvula interna (S4)
L4	Indica que a válvula interna está aberta
L5	Estado do pré-processamento que indica que a válvula interna está aberta
L6	Estado do pré-processamento que indica que a válvula externa está aberta
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que a válvula externa está aberta. É habilitada pelo lugar (L5)
T2	Transição que representa a chegada do sinal informando que a válvula interna está aberta. É habilitada pelo lugar (L6)

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.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a solicitação ao grupo ar comprimido para abrir a válvula V46 liberando o ar para a válvula cabeça (S5)
L2	Indica que a válvula v46 foi aberta
L3	Estado do pré-processamento que indica que a válvula V46 está fechada

L4	Estado do pré-processamento que indica que a válvula V46 está aberta
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que a válvula V46 está aberta. É habilitada pelo lugar (L3)

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.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o grupo esnórquel está pronto para liberar a partida do GDG
L2	Indica que o grupo esnórquel liberou a partida do GDG
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	Transição que habilita a partida do GDG. Ela vai para a atividade 1.3.1

O modelo em RdP da atividade [Controle do nível\_tanque de esnórquel (1.2.1.2)] é mostrado na Figura 4-26 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.13, na Tabela 4.14, na Tabela 4.15, na Figura 4-16 e na Figura 4-17

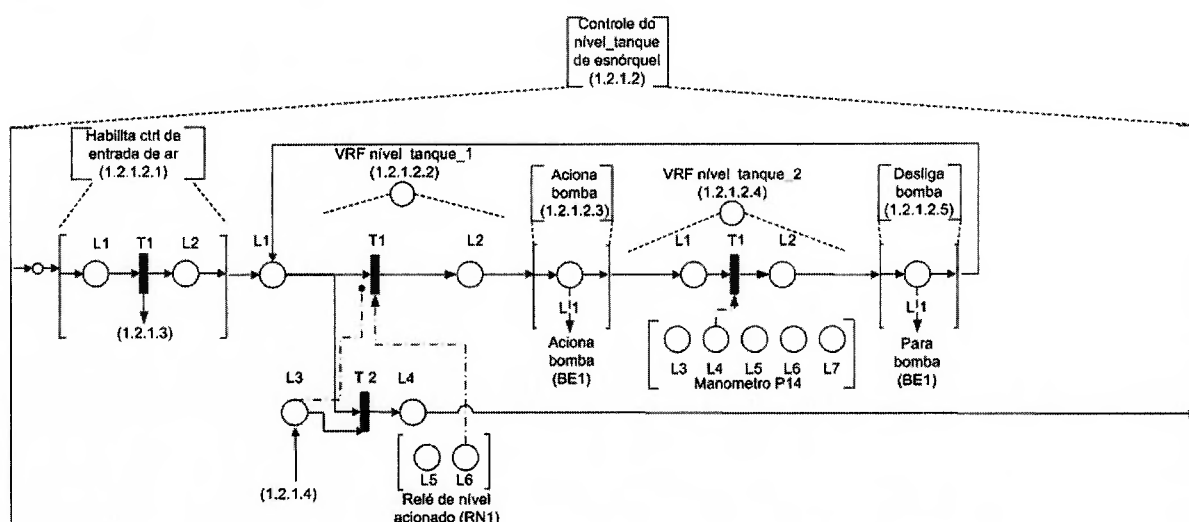


Figura 4-26 – Modelo em RdP da atividade [Controle do nível\_tanque de esnórquel (1.2.1.2)] da Figura 4-12.

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.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o sistema foi iniciado
L2	Indica que foi enviado o sinal que <u>habilita</u> o início da operação do Controle de entrada de ar.
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	Transição que <u>habilita</u> o início da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)]



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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a bomba de esgoto está parada
L2	Indica que foi habilitado o início da operação da bomba de esgoto
L3	Indica que a operação de geração de energia foi encerrada. Recebe o sinal da <b>atividade</b> (1.2.1.4)
L4	Indica que a operação foi encerrada
L5	Estado do pré-processamento que indica que o relé de nível não está acionado (RN1)
L6	Estado do pré-processamento que indica que o relé de nível está acionado (RN1)
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que o relé de nível (RN1) foi acionado. É habilitada pelo lugar (L6)
T2	<u>Transição</u> que encerra a <b>atividade</b> [Controle do nível_tanque de esnórquel (1.2.1.2)]

Tabela 4.15 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Aciona bomba (1.2.1.2.3)] da Figura 4-26.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que <u>habilita</u> a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento] para acionar a bomba de esgoto (BE1)

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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a bomba de esgoto está operando
L2	Indica que foi habilitado o término da operação da bomba de esgoto
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P14 é muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P14 é baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P14 é normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P14 é alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P14 é muito alta
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão do manômetro (P14) está baixa. É habilitada pelo lugar (L4)

Tabela 4.17 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Desliga bomba (1.2.1.2.5)] da Figura 4-26.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que <u>habilita</u> a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento] para parar a bomba de esgoto (BE1)

O modelo em RdP da **atividade** [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] é mostrado na Figura 4-27 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.18, na Tabela 4.19, na Tabela 4.20 e na Tabela 4.21.

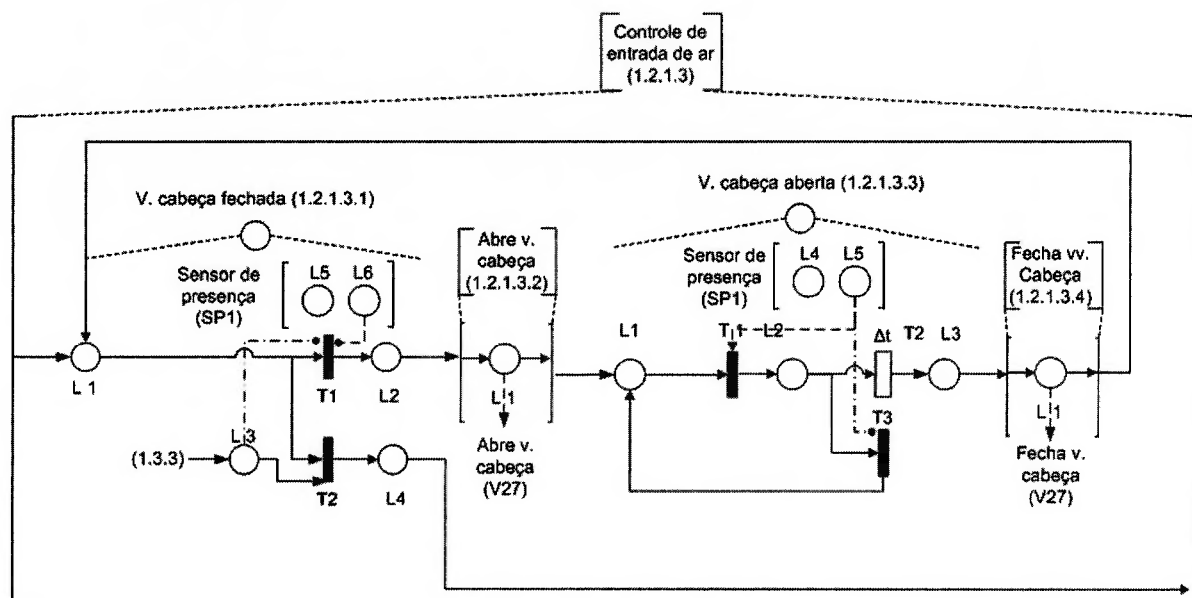


Figura 4-27 – Modelo em RdP da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] da Figura 4-13.

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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o mastro está disponível para que ocorra a comunicação entre o ambiente interno do submarino com o ambiente externo
L2	Indica que as condições para a abertura da válvula cabeça estão satisfeitas
L3	Indica que chegou o comando da atividade [1.3.3] para encerrar a atividade [1.2.1.3]
L4	Indica que o Controle de entrada de ar foi encerrado
L5	Estado do pré-processamento que indica que o sensor de presença está seco
L6	Estado do pré-processamento que indica que o sensor de presença está molhado
Transição	Descrição
T1	Transição que permite a abertura da válvula cabeça (V27). É inibido pelos lugares (L6) e (L3)
T2	Transição que permite o encerramento da operação de Controle de entrada de ar.

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.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na atividade [pré-processamento (1.6)] para abrir a válvula cabeça (V27)

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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula cabeça está aberta
L2	Indica que a válvula mestra está aberta e que o sensor de presença está molhado por um período menor que $\Delta t$
L3	Indica que a válvula mestra está aberta e que o sensor de presença está molhado por um período maior que $\Delta t$
L4	Estado do pré-processamento que indica que o sensor de presença está seco
L5	Estado do pré-processamento que indica que o sensor de presença está molhado
Transição	Descrição
T1	Transição que indica que o sensor de presença está molhado
T2	Transição temporizada que <u>habilita</u> o fechamento da válvula mestra (V27) após $\Delta t$ segundos.
T3	Transição que representa a chegada do sinal informando que o sensor de presença não está mais molhado (SP1). É <u>inibido</u> pelo lugar (L5)

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.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que <u>habilita</u> a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento] para fechar a válvula cabeça (V27)

O modelo em RdP da **atividade** [Arriamento do mastro (1.2.1.4)] é mostrado na Figura 4-28 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.22, na Tabela 4.23, na Tabela 4.24 e na Tabela 4.25.

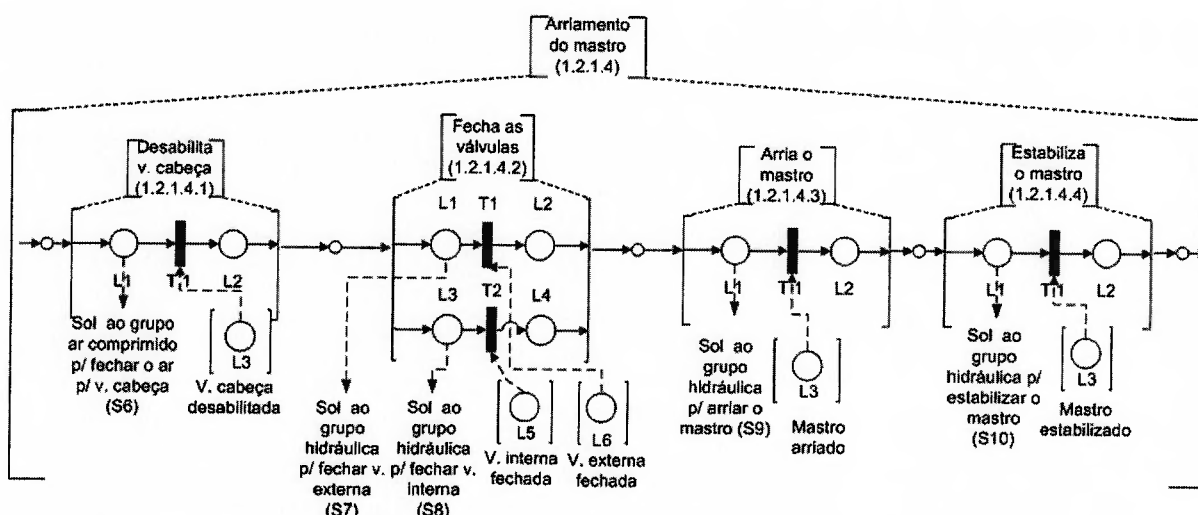


Figura 4-28 – Modelo em RdP da **atividade** [Arriamento do mastro (1.2.1.4)] da Figura 4-14.

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.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Lugar que <u>habilita</u> a solicitação ao grupo ar comprimido para fechar a válvula V46 desabilitando o ar para a válvula cabeça (V27)
L2	Indica que a válvula v46 foi fechada
L3	Estado do pré-processamento que indica que a válvula V46 está fechada
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a válvula V46 está fechada. É <u>habilitada pelo lugar</u> (L3)

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.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Lugar que <u>habilita</u> a solicitação ao grupo hidráulica para fechar a válvula externa (V26)
L2	Indica que a válvula externa está fechada
L3	Lugar que <u>habilita</u> a solicitação ao grupo hidráulica para fechar a válvula interna (V25)
L4	Indica que a válvula interna está fechada
L5	Estado do pré-processamento que indica que a válvula interna está fechada
L6	Estado do pré-processamento que indica que a válvula externa está fechada
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a válvula externa está fechada. É <u>habilitada pelo lugar</u> (L5)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a válvula interna está fechada. É <u>habilitada pelo lugar</u> (L6)

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.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Lugar que <u>habilita</u> a solicitação ao grupo hidráulica para arriar o mastro
L2	Indica que o mastro foi arriado
L3	Estado do pré-processamento que indica que o mastro foi arriado
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que o mastro foi arriado. É <u>habilitada pelo lugar</u> (L3)

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.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Lugar que <u>habilita</u> a solicitação ao grupo hidráulica para estabilizar o mastro
L2	Indica que o mastro foi estabilizado
L3	Estado do pré-processamento que indica que o mastro está estabilizado
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que o mastro está travado (estabilizado). É <u>habilitada pelo lugar</u> (L3)

O modelo em RdP da atividade [Grupo exaustão de gases (1.2.2)] é mostrado na Figura 4-29 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.26, na Tabela 4.27, na Tabela 4.28, na Tabela 4.29, na Tabela 4.30, na Tabela 4.31, na Tabela 4.32, na Tabela 4.33 e na Tabela 4.34.

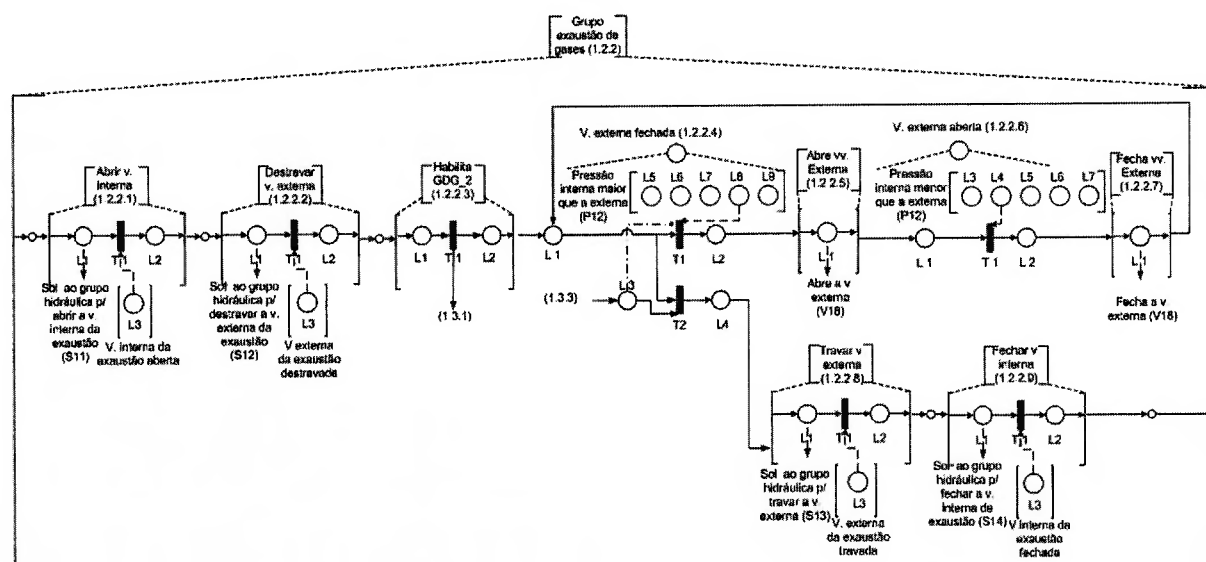


Figura 4-29 – Modelo em RdP da atividade [Grupo exaustão de gases (1.2.2)] da Figura 4-15.

Tabela 4.26 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Abrir v. interna (1.2.2.1)], da Figura 4-29.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a solicitação ao grupo hidráulica para abrir a válvula interna (S11)
L2	Indica que a válvula interna da exaustão está aberta (V19)
L3	Estado do pré-processamento que indica que válvula interna está aberta (V19)
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que a válvula interna da exaustão está aberta (V19). É habilitada pelo lugar (L3)

Tabela 4.27 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Destruir v. externa (1.2.2.2)], da Figura 4-29.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a solicitação ao grupo hidráulica para destruir a válvula externa (S12)
L2	Indica que a válvula que trava a válvula externa da exaustão está destravada (V20)
L3	Estado do pré-processamento que indica que válvula que trava a válvula externa está destravada (V20)
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que a válvula externa da exaustão está destravada. É habilitada pelo lugar (L3)

Tabela 4.28 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Habilita GDG\_2 (1.2.2.3)].da Figura 4-29.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula que trava a válvula externa da exaustão está destravada (V20)
L2	Indica que a <b>atividade</b> [1.3.1] foi habilitada para operação
Transição	Descrição
T1	Transição que representa <u>habilitaa atividade</u> [1.3.1] a iniciar a sua operação

Tabela 4.29 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (V. externa fechada (1.2.2.4)).da Figura 4-29.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula externa da exaustão está fechada (V18)
L2	Indica que a válvula externa da exaustão está habilitada para ser aberta (V18)
L3	Indica que foi habilitado o término da operação do grupo exaustão de gases
L4	Indica a chegada do comando encerrando a operação do grupo exaustão de gases
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão dos gases da combustão é muito menor que a pressão de coluna de água
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão dos gases da combustão é menor que a pressão de coluna de água
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão dos gases da combustão é igual a pressão de coluna de água
L8	Estado do pré-processamento que indica que a pressão dos gases da combustão é maior que a pressão de coluna de água
L9	Estado do pré-processamento que indica que a pressão dos gases da combustão é muito maior que a pressão de coluna de água
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão dos gases de combustão é maior que a pressão da coluna de água. É <u>habilitada</u> pelo <u>lugar</u> (L8) e inibida pelo <u>lugar</u> (L3)
T2	<u>Transição</u> que representa o sincronismo entre a informação que o GDG, por meio da <b>atividade</b> [1.3.3], terminou sua operação e a válvula externa da exaustão está fechada. Assim, a operação pode ser encerrada

Tabela 4.30 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Abre v. externa (1.2.2.5)].da Figura 4-29.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que <u>habilita</u> a escrita na atividade [pré-processamento (1.6)] para abrir a válvula externa da exaustão (V18)

Tabela 4.31 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (V. externa aberta (1.2.2.6)) da Figura 4-29.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula externa da exaustão está aberta (V18)
L2	Indica que a válvula externa da exaustão está habilitada para ser fechada (V18)
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão dos gases da combustão é muito menor que a pressão de coluna de água
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão dos gases da combustão é menor

	que a pressão de coluna de água
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão dos gases da combustão é igual a pressão de coluna de água
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão dos gases da combustão é maior que a pressão de coluna de água
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão dos gases da combustão é muito maior que a pressão de coluna de água
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão dos gases de combustão é menor que a pressão da coluna de água. É habilitada pelo lugar (L4)

Tabela 4.32 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Fecha v. externa (1.2.2.7)].da Figura 4-29.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que <u>habilita</u> a escrita na atividade [pré-processamento (1.6)] para fechar a válvula externa da exaustão (V18)

Tabela 4.33 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Travar v. externa (1.2.2.8)].da Figura 4-29.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que <u>habilita</u> a solicitação ao grupo hidráulica para travar da válvula externa (S13)
L2	Indica que a válvula externa da exaustão está travada (V20)
L3	Estado do pré-processamento que indica que válvula que trava a válvula externa está fechada (V20)
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a válvula que trava a válvula externa da exaustão está travada. É habilitada pelo lugar (L3)

Tabela 4.34 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Fechar v.interna (1.2.2.9)].da Figura 4-29.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que <u>habilita</u> a solicitação ao grupo hidráulica para fechar da válvula interna (S14)
L2	Indica que a válvula interna da exaustão está fechada (V19)
L3	Estado do pré-processamento que indica que válvula interna está fechada (V19)
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a válvula interna da exaustão está fechada (V19). É habilitada pelo lugar (L3)

O refinamento em RdP da atividade [GDG (1.3)] foi realizado somente para o MCP 1, pois os modelos do MCP2 são análogos. O modelo é mostrado na Figura 4-30

e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.35, na Tabela 4.36, na Tabela 4.37, na Tabela 4.38, na Tabela 4.39, na Tabela 4.40 e na Tabela 4.41.

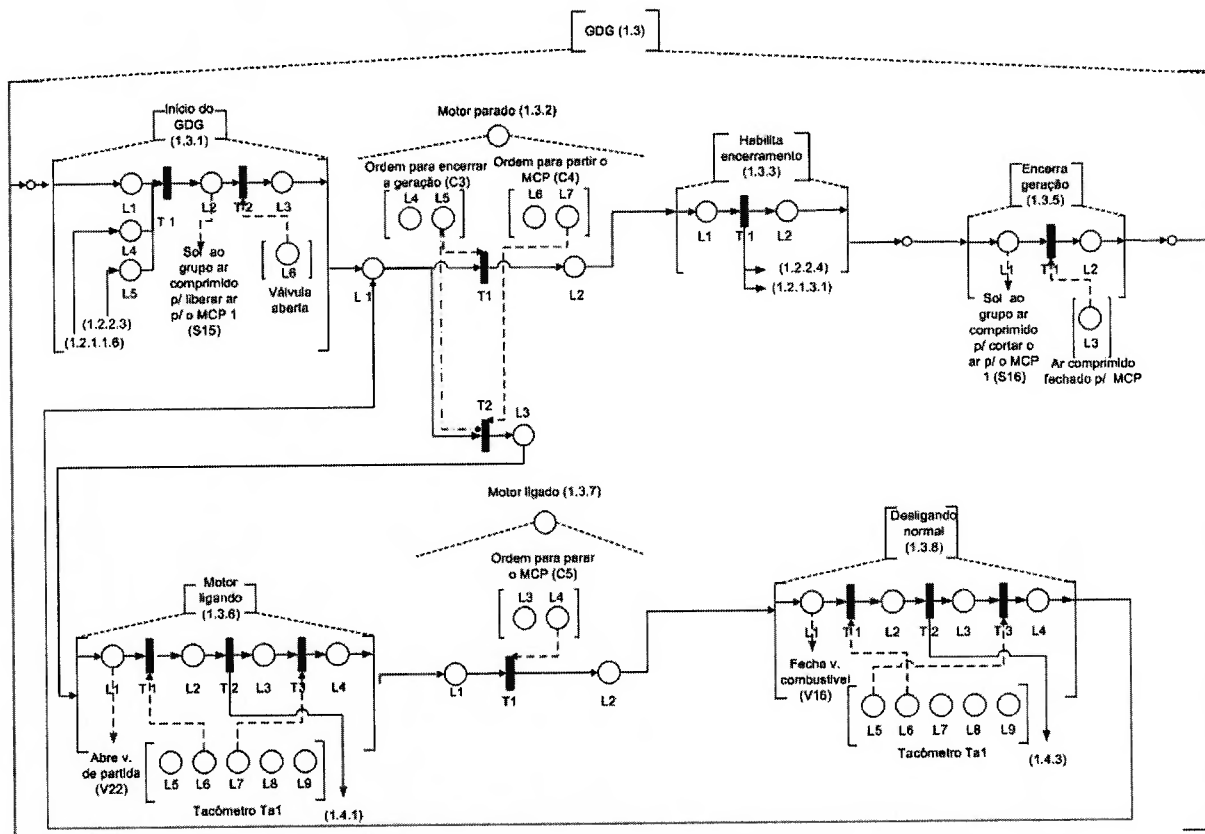


Figura 4-30 – Modelo em RdP da atividade [GDG] da Figura 4-16.

Tabela 4.35 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Início do GDG (1.3.1)] da Figura 4-30.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o GDG não está habilitado a iniciar sua operação
L2	Lugar que <u>habilita</u> a solicitação ao grupo ar comprimido para liberar ar para os MCPs (S15)
L3	Indica que o ar comprimido foi disponibilizado para o GDG
L4	Indica a chegada do comando da atividade [1.2.1.1.6] habilitando a operação do GDG
L5	Indica a chegada do comando da atividade [1.2.2.3] habilitando a operação do GDG
L6	Estado do pré-processamento que indica que válvula V45 está aberta
Transição	Descrição
T1	Transição que libera a operação do GDG
T2	Transição que representa a chegada do sinal informando que o ar comprimido foi disponibilizado para o GDG (V45). É habilitada pelo lugar (L6)



Tabela 4.36 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Motor parado (1.3.2))  
Figura 4-30.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o MCP1 está parado
L2	Indica que o processo de geração de energia recebeu o comando para encerrar as operações
L3	Indica que o MCP1 recebeu a ordem para partir
L4	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a operação de geração de energia (C3)
L5	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a operação de geração de energia (C3)
L6	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para partir o MCP1 (C4)
L7	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para partir o MCP1 (C4)
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> comanda o encerramento da operação de geração de energia. É habilitada pelo lugar (L7)
T2	<u>Transição</u> comanda a partida do MCP1. É habilitada pelo lugar (L5)

Tabela 4.37 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Habilita encerramento (1.3.3)], da Figura 4-30.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o processo de geração de energia recebeu o comando para encerrar as operações
L2	Indica que foi enviado o comando para as atividades [1.2.2.4] e [1.2.1.3.1] informando o fim da operação de geração
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que comanda o encerramento das operações do grupo esnórquel e do grupo exaustão de gases por meio das atividades [1.2.1.3.1] e [1.2.2.4]

Tabela 4.38 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Encerra geração (1.3.5)] da Figura 4-30.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que habilita a solicitação ao grupo ar comprimido para cortar o ar para os MCPs (S16)
L2	Indica que a válvula V45 foi fechada e o ar comprimido foi cortado para o GDG
L3	Estado do pré-processamento que indica que válvula V45 está fechada
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que fornecimento de ar comprimido foi cortado. É habilitada pelo lugar (L3)

Tabela 4.39 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Motor ligando (1.3.6)].da Figura 4-30.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na atividade [pré-processamento (1.6)] para comandar a abertura da válvula V22 que parte o MCP1
L2	Indica que o MCP1 está funcionando sem carga
L3	Indica que está sendo inserida carga no MCP1
L4	Indica que foi inserida carga no MCP1
L5	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito baixa
L6	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é baixa
L7	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é normal
L8	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é alta
L9	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito alta
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que o MCP1 já opera a baixa rotação
T2	Transição que comanda a alteração a configuração de relés para o modo de carregamento das baterias
T3	Transição que representa a chegada do sinal informando que o MCP1 já opera a rotação normal

Tabela 4.40 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor ligado (1.3.7)).da Figura 4-30.

Lugar	Descrição
L1	Indica que MCP1 está na sua condição normal de funcionamento
L2	Indica que o MCP1 recebeu a ordem para parar
L3	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para parar o MCP1 (C5)
L4	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para parar o MCP1 (C5)
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal comandando a parada do MCP1. É habilitada pelo lugar (L4)

Tabela 4.41 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Desligando normal (1.3.8)].da Figura 4-30.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na atividade [pré-processamento (1.6)] para comandar o fechamento da válvula V16 que para o MCP1 normalmente
L2	Indica que o MCP1 está funcionando sem carga
L3	Indica que foi enviado o comando para alteração da configuração de distribuição de energia (passar as baterias para a condição de fornecimento)
L4	Indica que o MCP1 parou
L5	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito baixa
L6	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é baixa
L7	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é normal
L8	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é alta
L9	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito alta

Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que o MCP1 já opera a baixa rotação
T2	Transição que comanda a alteração a configuração de relés para o modo de fornecimento das baterias
T3	Transição que representa a chegada do sinal informando que o MCP1 parou

O modelo em RdP da atividade [Grupo baterias (1.4)] é mostrado na Figura 4-31 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.42, na Tabela 4.43, na Tabela 4.44 e na Tabela 4.45.

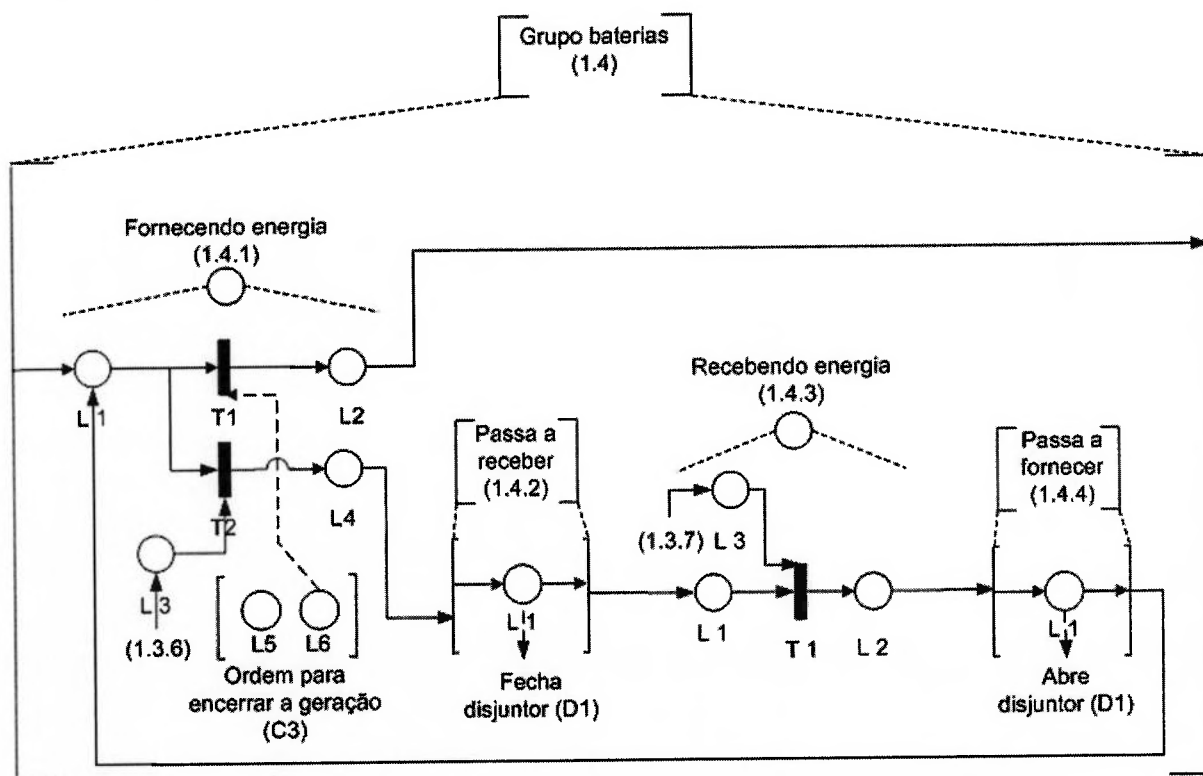


Figura 4-31 – Modelo em RdP da atividade [Grupo baterias (1.4)] da Figura 4-17.

Tabela 4.42 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Fornecendo energia (1.4.1)) da Figura 4-31.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o conjunto de baterias está fornecendo energia
L2	Indica que o grupo bateria recebeu uma ordem para sair da operação na cota periscópica
L3	Indica a chegada da ordem da atividade [1.3.6] para o conjunto de baterias alterar a sua configuração para o recebimento de energia
L4	Indica que o conjunto de baterias foi habilitado para receber energia
L5	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a operação de geração C3)
L6	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a operação de geração (C3)

<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal comandando o encerramento da operação de geração de energia. É habilitada pelo <u>lugar</u> (L6).
T2	<u>Transição</u> que comanda a mudança de configuração das baterias

Tabela 4.43 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Passa a receber (1.4.2)].da Figura 4-31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que <u>habilita</u> a escrita na atividade [pré-processamento] para comandar o fechamento do disjuntor D1

Tabela 4.44 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Recebendo energia (1.4.3)) da Figura 4-31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o conjunto de baterias está recebendo energia
L2	Indica que o conjunto de baterias foi habilitado para fornecer energia
L3	Indica a chegada da ordem da <b>atividade</b> [1.3.7] habilitando a alteração da configuração das baterias.
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que comanda a mudança de configuração das baterias

Tabela 4.45 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Passa a fornecer (1.4.4)].da Figura 4-31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que <u>habilita</u> a escrita na atividade [pré-processamento (1.6)] para comandar a abertura do disjuntor D1

O modelo em RdP da **atividade** [Atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador] é mostrado na Figura 4-32 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.46. O modelo em RdP da **atividade** [Atuadores com desligamento pelo tempo] é mostrado na Figura 4-33 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.47. O modelo em RdP da **atividade** [Atuadores com desligamento pelo controlador] é mostrado na Figura 4-34 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.48.

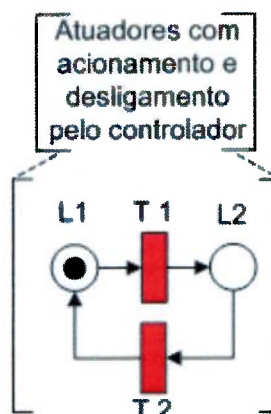


Figura 4-32 – Modelo em RdP da atividade [atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador] da Figura 4-19.

Tabela 4.46 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador].

Lugar	Descrição
L1	Indica que o dispositivo está desligado
L2	Indica que o dispositivo está ligado
Transição	Descrição
T1	Transição requisitada que permite acionar o dispositivo
T2	Transição requisitada que desliga o dispositivo

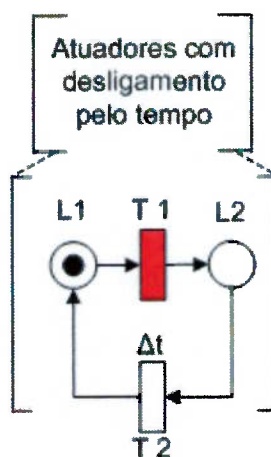


Figura 4-33 – Modelo em RdP da atividade [Atuadores com desligamento pelo tempo] da Figura 4-19.

Tabela 4.47 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Dispositivo com o desligamento pelo tempo].

Lugar	Descrição
L1	Indica que o dispositivo está desligado
L2	Indica que o dispositivo está ligado

Transição	Descrição
T1	Transição requisitada que permite acionar o dispositivo
T2	Transição temporal que desliga o dispositivo

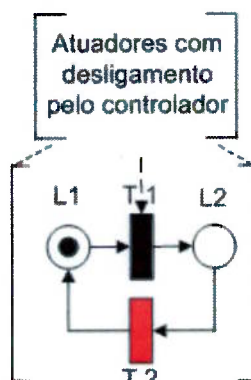


Figura 4-34 – Modelo em RdP da atividade [Atuadores com desligamento pelo controlador] da Figura 4-19.

Tabela 4.48 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Atuadores com desligamento pelo controlador].

Lugar	Descrição
L1	Indica que o dispositivo está desligado
L2	Indica que o dispositivo está ligado
Transição	Descrição
T1	Transição que comanda o acionamento do dispositivo
T2	Transição requisitada que desliga o dispositivo

O modelo em RdP da atividade [Dispositivo de comando] é mostrado na Figura 4-35 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.49.

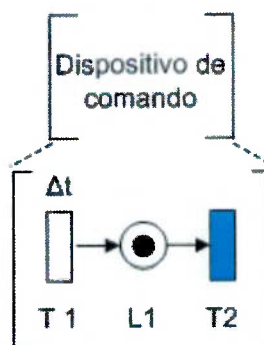


Figura 4-35 – Modelo em RdP da atividade [Dispositivo de comando] da Figura 4-21.

Tabela 4.49 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Dispositivo não automático].

Lugar	Descrição
L1	Indica que o estado do dispositivo de comandor está sendo enviado ao controlador
Transição	Descrição
T1	Transição temporizada que comanda o envio dos dados para o controlador
T2	Transição requisitante que representa o envio dos dados para o controlador

O modelo em RdP da atividade [Sensores] é mostrado na Figura 4-36 e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.50. Esse modelo é análogo para as cinco atividades [Sensor de fim de curso das válvulas on/off], [Sensor de presença], [Sensor de presença], [relé de nível] e [Tacômetro].

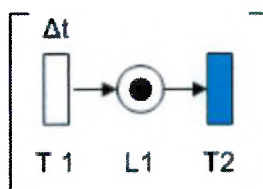


Figura 4-36 – Modelo em RdP da atividade [Sensores] da Figura 4-20.

Tabela 4.50 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Sensores].

Lugar	Descrição
L1	Indica que o estado do sensor está sendo enviado ao controlador
Transição	Descrição
T1	Transição temporizada que comanda o envio dos dados para o controlador
T2	Transição requisitante que representa o envio dos dados para o controlador

### 4.3. Passo 2 – Modelagem das condições não normais de operação

#### 4.3.1. Passo 2.1 – Definição dos Escopos

##### Passo 2.1.1 – Escopo: situação1 (Emergência do MCP)

O MCP pode ser parado em emergência por meio do fechamento do *flap* que permite a entrada de ar para a combustão nas seguintes condições:

- Acionamento do botão de emergência;
- sobre-rotação do MCP (indicado pelos sinais dos tacômetros Ta1 e Ta2 da Figura 4-4); ou

- baixa pressão de óleo lubrificante do MCP (indicado pelos sinais dos manômetros P16 e P17 da Figura 4-4).

Outros casos que levam ao desligamento do motor são descritos no tópico que aborda o esnórquel.

#### Passo 2.1.2 – Escopo: situação 2 (Emergência durante o esnórquel)

Segundo Gabler (1991), na navegação com esnórquel, o submarino fica semi-submerso e a prontidão para mergulho fica comprometida. Nesta condição, o submarino fica tecnicamente mais exposto ao perigo do que na navegação à superfície. Assim podem ocorrer os seguintes tipos de problemas:

- embarque de água, devido à falha da válvula cabeça do esnórquel (V27 da Figura 4-4), por erro no controle de profundidade ou pela ocorrência de ondas com cristas acima da válvula. A água embarcada vai para o tanque do esnórquel. Este, quando chega a um determinado nível, é esgotado pela bomba de esgoto (BE1 da Figura 4-4) de forma a impedir que o peso da água embarcada comprometa o equilíbrio do submarino na cota de esnórquel. Caso a vazão da bomba não seja suficiente para esgotar a água e o nível suba rapidamente, o MCP é parado, as válvulas em série são fechadas e o mastro arriado, interrompendo a operação de esnórquel.
- Pressão negativa excessiva no interior do submarino, devido ao funcionamento do GDG com a válvula cabeça fechada por período prolongado. Neste caso o MCP deve ser parado quando a pressão atmosférica chegar a um mínimo aceitável (indicado pelo manômetro P15 da Figura 4-4); e
- contrapressão excessiva dos gases de descarga por perda de cota. Neste caso, o MCP pode afogar e ser alagado por água que entra pela tubulação de descarga de gases ou os gases de descarga podem retornar e invadir o ambiente interno do submarino, colocando a tripulação em risco. Conseqüentemente, deve-se parar o MCP quando a pressão chegar a um



nível não condizente com a operação (indicado pelo manômetro P12 da Figura 4-4).

#### 4.3.2. Passo 2.2 – Refinamento e identificação dos elementos básicos

##### Passo 2.2.1 – Emergência do MCP

A situação de Emergência 1 é constituída da **atividade** [EMERG 1]. Essa atividade verifica as condições que fazem o MCP ser parado imediatamente (**distribuidor** (Motor ligado\_m1 (1.3.7\_m1))) e caso uma dessas situações ocorra, a **atividade** [Desligamento em emerg (1.3.9)] é acionada, fechando a válvula de admissão de ar dos MCPs (válvulas V29 e V30 da Figura 4-4), parando-os e comandando a alteração dos disjuntores das baterias (D1 e D2 da Figura 4-5). A sequência das **atividades** é mostrada na Figura 4-37.

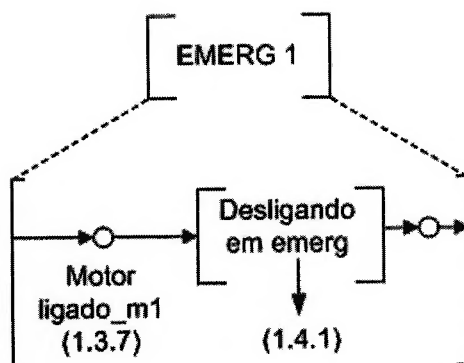


Figura 4-37 – Detalhamento da atividade [EMERG 1].

##### Passo 2.2.2 – Emergência durante o esnórquel

Para o escopo definido no Passo 2.2.1, existem dois procedimentos a serem realizados: Procedimento 1 – parada dos MCPs, denominado Emergência 2, nas situações de contrapressão excessiva e pressão negativa excessiva; e Procedimento 2 – parada dos MCPs e arriamento do mastro, denominado Emergência 3, na situação de embarque excessivo de água.

A situação de Emergência 2 é constituída da **atividade** [EMERG 2]. Essa **atividade** verifica as demais condições que fazem o MCP ser parado e caso uma

dessas situações ocorra, o funcionamento do MCP é interrompido normalmente. Essa **atividade** é mostrada na Figura 4-38.

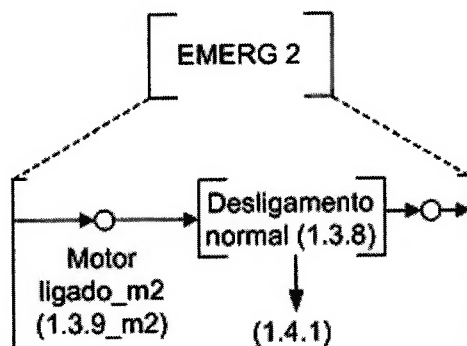


Figura 4-38 – Detalhamento da atividade [EMERG 2].

A situação de Emergência 3 é constituída da **atividade** [EMERG 3 (1.5)]. Essa **atividade** encerra a operação de esnórquel caso o nível de água presente no tanque de esnórquel esteja excessivo. Caso a água atinja o valor considerado muito alto (**distribuidor** (VRF Nível\_tanque 3 (1.5.1))), ou seja, quando o relé de nível RN2 fecha (Figura 4-4), três processos ocorrem em paralelo, a seguir:

Primeiro: verifica-se o estado de válvula cabeça. Se ela estiver aberta, ela é fechada (**atividade** [Habilita fechamento v. cabeça (1.5.5)]) e encerra-se a **atividade** [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)]. Se ela já estiver fechada, passa-se para a **atividade** [(1.5.6)].

Segundo: verifica-se o estado de válvula externa da exaustão. Se ela estiver aberta, ela é fechada (**atividade** [Habilita fechamento v. externa (1.5.9)]) e em seguida habilita-se o encerramento da **atividade** [Grupo de exaustão de gases (1.2.2)]. Se ela já estiver fechada, passa-se para a **atividade** [(1.5.10)].

Terceiro: verifica-se o estado dos MCPs. Se eles estiverem ligados (**distribuidor** (VRF tacômetro (1.5.11))), eles são desligados, caso estejam acionados, tem-se a exceção da **atividade** [Habilita desligamento em emerg. (1.5.13)], e em seguida é habilitado o encerramento da geração no modo emergencial (**atividade** [Encerra geração em emerg (1.5.14)]). Se o motor estiver desligado, somente a **atividade** (1.5.14) é executada. A sequência das **atividades** é mostrada na Figura 4-39.

Caso a água não atinja o nível considerado muito alto, a atividade [EMERG 3 (1.5)] é encerrada normalmente (atividade [Encerramento normal (1.5.2)]).

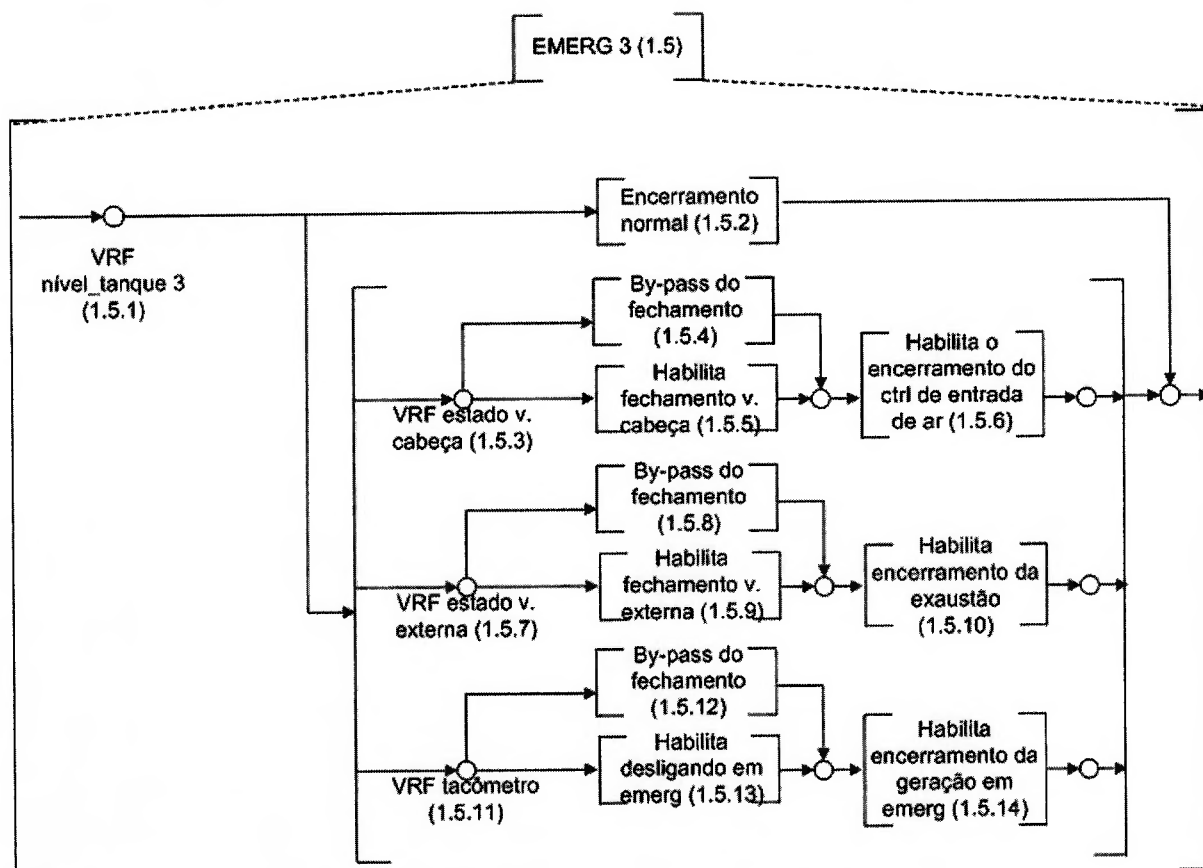


Figura 4-39 – Detalhamento da atividade [EMERG 3 (1.5)].

#### 4.3.3. Passo 2.3 – Modelagem em RdP dos elementos básicos

##### Passo 2.3.1 – Emergência do MCP

Os modelos em RdP do distribuidor (Motor ligado\_m1 (1.3.7\_m1)) e da atividade [Desligamento em emerg (1.3.9)] são mostrados na Figura 4-40. e a descrição de seus elementos está na Tabela 4.51 e na Tabela 4.52.

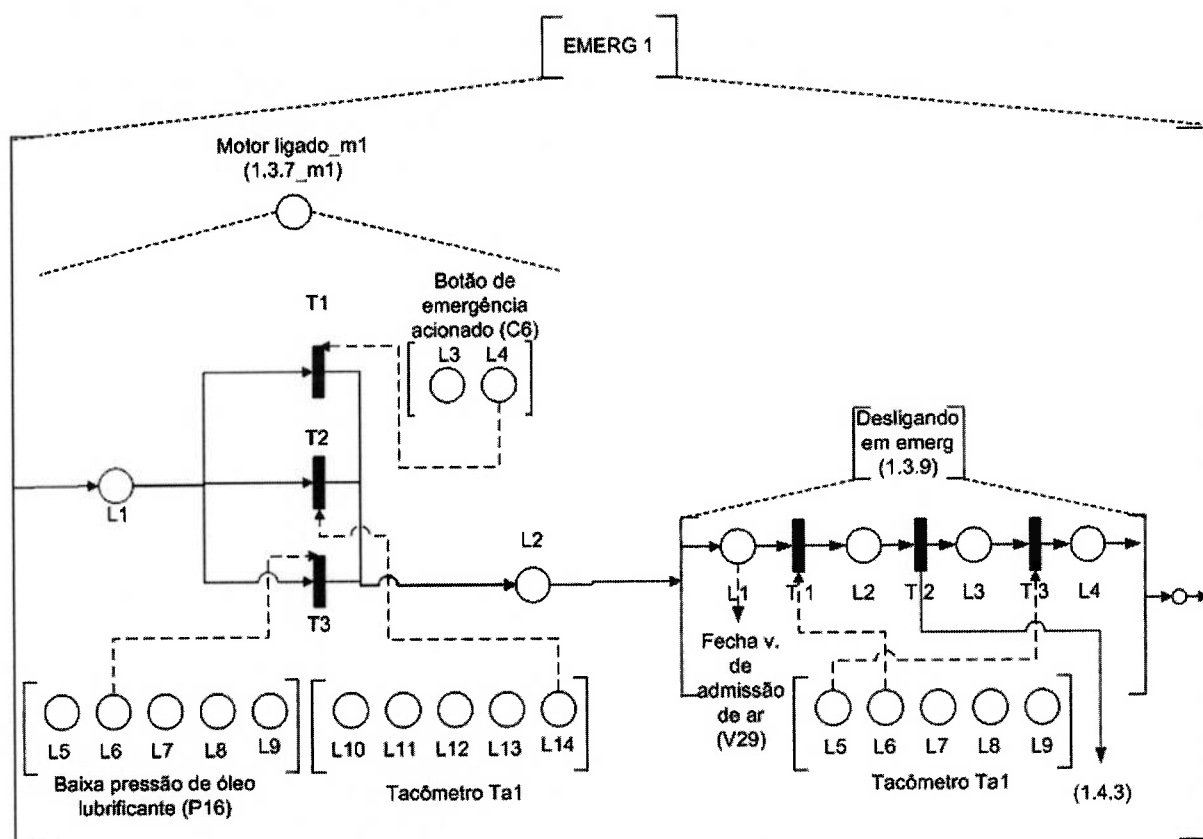


Figura 4-40 – Modelo em Rdp da atividade [EMERG 1] da Figura 4-37.

Tabela 4.51 – Descrição dos elementos do modelo em Rdp do distribuidor (Motor ligado\_m1 (1.3.7\_m1)) da Figura 4-40.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o estado do MCP é normal
L2	Indica que o MCP passou ao estado de emergência
L3	Estado do pré-processamento que indica que o botão de emergência não foi acionado (C6)
L4	Estado do pré-processamento que indica que o botão de emergência foi acionado (C6)
L5	Estado do pré-processamento que indica que pressão do óleo lubrificante está muito baixa
L6	Estado do pré-processamento que indica que pressão do óleo lubrificante está baixa
L7	Estado do pré-processamento que indica que pressão do óleo lubrificante está normal
L8	Estado do pré-processamento que indica que pressão do óleo lubrificante está alta
L9	Estado do pré-processamento que indica que pressão do óleo lubrificante está muito alta
L10	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito baixa
L11	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é baixa
L12	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é normal
L13	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é alta
L14	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito alta
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que botão de emergência foi acionado. É habilitada pelo lugar (L4).
T2	Transição que representa a chegada do sinal informando que ocorreu sobrerotação no MCP. É habilitada pelo lugar (L14).

T3	Transição que representa a chegada do sinal informando que a pressão do óleo lubrificante do MCP está baixa. É habilitada pelo lugar (L6).
----	--

Tabela 4.52 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Desligamento em emerg (1.3.9)].

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na atividade [pré-processamento (1.6)] para comandar o fechamento da válvula de admissão de ar (V 29)
L2	Indica que o MCP já está sem carga
L3	Indica que foi enviado o comando para alterar a configuração das baterias
L4	Indica que o MCP está parado
L5	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito baixa
L6	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é baixa
L7	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é normal
L8	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é alta
L9	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito alta
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que o MCP está sem carga
T2	Transição que comanda o chaveamento das baterias
T3	Transição que representa a chegada do sinal informando que o MCP parou

### Passo 2.3.2 – Emergência durante o esnórquel

O modelo em RdP da atividade [Emerg 2] é mostrado na Figura 4-41 e a descrição dos elementos do macro-distribuidor (1.3.7\_m2) está na Tabela 4.53. A atividade [(1.3.8)] já foi descrita na Tabela 4.39.

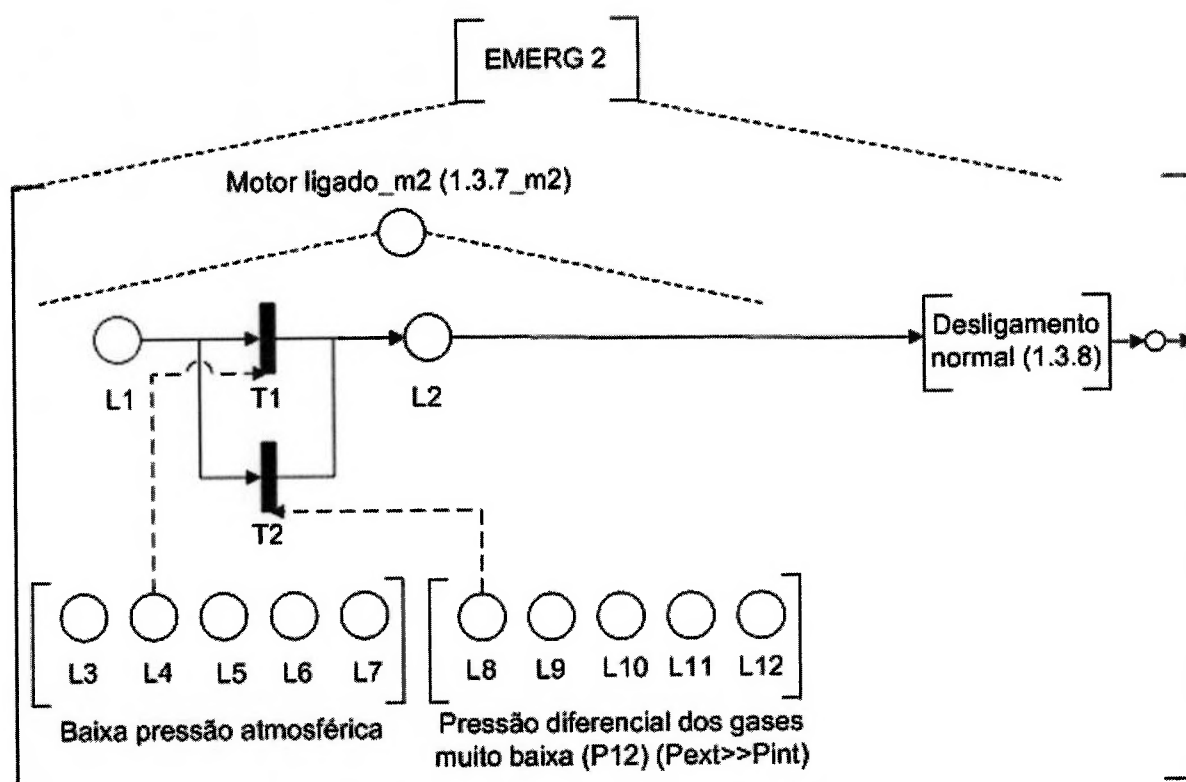


Figura 4-41 – Modelo em RdP da atividade [Emerg 2].

Tabela 4.53 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Motor ligado\_m2 (1.3.7\_m2)) da Figura 4-41.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o MCP está funcionando
L2	Indica que foi habilitado a parada do MCP
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão atmosférica interna está muito baixa (P15)
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão atmosférica interna está baixa (P15)
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão atmosférica interna está normal (P15)
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão atmosférica interna está alta (P15)
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão atmosférica interna está muito alta (P15)
L8	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está muito baixa
L9	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está baixa
L10	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está normal
L11	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está alta
L12	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está muito alta

Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que a pressão atmosférica interna está baixa. É habilitada pelo lugar (L4).
T2	Transição que representa a chegada do sinal informando que a pressão diferencial dos gases é muito baixa, ou seja, a pressão de coluna de água é muito maior que a de exaustão de gases. É habilitada pelo lugar (L8).

O modelo em RdP da atividade [EMERG 3 (1.5)] é mostrado na Figura 4-42 e a descrição dos seus elementos está na Tabela 4.54, na Tabela 4.55, na Tabela 4.56, na Tabela 4.57, na Tabela 4.58, na Figura 4-48, na Figura 4-49, na Figura 4-50, na Figura 4-51, na Tabela 4.63, na Figura 4-53, na Figura 4-54.

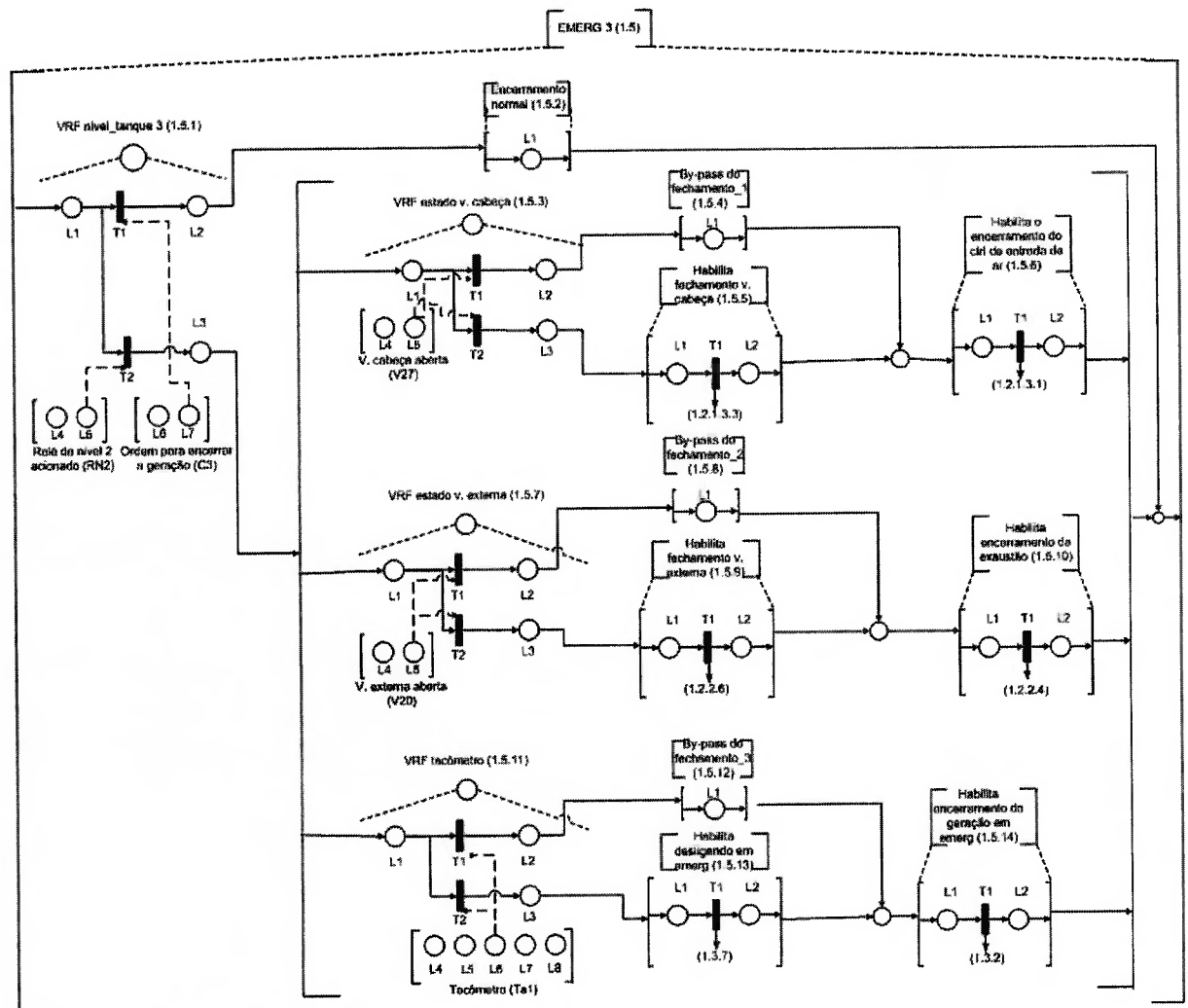


Figura 4-42 – Modelos em RdP da atividade [EMERG 3 (1.5)] mostrada na Figura 4-39.

Tabela 4.54 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (VRF nível\_tanque 3 (1.5.1)) da Figura 4-42.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o nível do tanque está normal
L2	Indica que a operação do tanque foi encerrada sem que houvesse a condição de emergência
L3	Indica que o nível do tanque passou ao estado de emergência 3
L4	Estado do pré-processamento que indica que o relé de nível 2 não foi acionado
L5	Estado do pré-processamento que indica que o relé de nível 2 foi acionado
L6	Estado do pré-processamento que indica que não foi recebido o comando para encerrar a operação de geração (C3)
L7	Estado do pré-processamento que indica que foi recebido o comando para encerrar a operação de geração (C3)
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a geração foi encerrada. É habilitada pelo lugar (L7).
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que o relé de nível 2 foi acionado. É habilitada pelo lugar (L5).

Tabela 4.55 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Encerramento normal (1.5.2)] da Figura 4-42.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a operação do tanque foi encerrada sem que houvesse a condição de emergência. Assim, nenhuma providência mais necessita ser tomada

Tabela 4.56 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (VRF estado v. cabeça (1.5.3)) da Figura 4-42.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o estado da válvula cabeça está sendo verificado
L2	Indica que a válvula cabeça está fechada
L3	Indica que a válvula cabeça está aberta
L4	Estado do pré-processamento que indica que a válvula cabeça está fechada
L5	Estado do pré-processamento que indica que a válvula cabeça está aberta
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a válvula cabeça está fechada. É habilitada pelo lugar (L4).
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a válvula cabeça está aberta. É habilitada pelo lugar (L5).

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.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que não é necessário o fechamento das válvulas ou a parada do motor. Assim, nenhuma providência mais necessita ser tomada



Tabela 4.58 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Habilita fechamento v. cabeça (1.5.5)] da Figura 4-42.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula cabeça (V27) está aberta
L2	Indica que foi habilitado o fechamento da válvula cabeça (V27)
Transição	Descrição
T1	Transição que comanda o fechamento da válvula cabeça (V27)

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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula cabeça está fechada
L2	Indica que foi habilitado o encerramento da <b>atividade</b> [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)]
Transição	Descrição
T1	Transição que comanda o encerramento da <b>atividade</b> [1.2.1.3]

Tabela 4.60 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (VRF estado v. externa (1.5.7)) da Figura 4-42.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o estado da válvula externa está sendo verificado
L2	Indica que a válvula externa está fechada
L3	Indica que a válvula externa está aberta
L4	Estado do pré-processamento que indica que a válvula externa está fechada
L5	Estado do pré-processamento que indica que a válvula externa está aberta
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que a válvula externa está fechada. É habilitada pelo lugar (L4).
T2	Transição que representa a chegada do sinal informando que a válvula externa está aberta. É habilitada pelo lugar (L5).

Tabela 4.61 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Habilita fechamento v. externa (1.5.9)] da Figura 4-42.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula externa (V18) está aberta
L2	Indica que foi habilitado o fechamento da válvula externa (V18)
Transição	Descrição
T1	Transição que comanda o fechamento da válvula externa (V18)

Tabela 4.62 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Habilita encerramento da exaustão (1.5.10)] da Figura 4-42.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula externa está fechada
L2	Indica que foi habilitado o encerramento da <b>atividade</b> [Grupo exaustão de gases (1.2.2)]
Transição	Descrição
T1	Transição que comanda o encerramento da <b>atividade</b> [1.2.2]

Tabela 4.63 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (VRF tacômetro (1.5.11)) da Figura 4-42.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o estado do tacômetro (T1) está sendo verificado
L2	Indica que a rotação do MCP não é normal
L3	Indica que a rotação do MCP é normal
L4	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é baixa
L6	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é normal
L7	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é alta
L8	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito alta
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que a rotação do MCP não está normal. É inibida pelo lugar (L6).
T2	Transição que representa a chegada do sinal informando que a rotação do MCP está normal. É habilitada pelo lugar (L6).

Tabela 4.64 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Habilita desligamento em emerg (1.5.13)] da Figura 4-42.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o MCP está funcionando normalmente
L2	Indica que foi habilitado o desligamento do MCP no modo emergencial
Transição	Descrição
T1	Transição que comanda o desligamento no modo emergencial do MCP

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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o MCP está parado
L2	Indica que foi habilitado o encerramento da <b>atividade</b> [GDG (1.3)]
Transição	Descrição
T1	Transição que comanda o encerramento da <b>atividade</b> [1.3]

#### 4.4. Passo 3 – Integração entre os modelos de geração de energia

##### 4.4.1. Passo 3.1 – Escopo: integração entre os modelos de geração de energia

Nessa fase ocorre a integração entre os modelos de operação normal e operação em emergência do subsistema de energia.

#### 4.4.2. Passo 3.2 – Integração dos modelos no nível de PFS

Para a realização da união entre os modelos de operação normal e não normal, analisa-se como cada situação de emergência impacta o processo normal. Os modelos que sofrem alteração, recebem a letra “m” no seu título, indicando que eles foram modificados da sua forma original. Assim, obteve-se o seguinte resultado:

Emerg 1: a **atividade** [GDG (1.3)] é fundida por meio dos **distribuidores** (Motor ligado (1.3.7)), (Motor ligado\_m1 (1.3.7\_m1)) e da inserção da **atividade** [Desligamento em emerg (1.3.9)] na **atividade** [GDG (1.3)]. O modelo em PFS é mostrado na Figura 4-44.

Emerg 2: a **atividade** [GDG (1.3)] é fundida por meio dos **distribuidores** (Motor ligado (1.3.7)) e (Motor ligado\_m2 (1.3.7\_m2)). O modelo em PFS é mostrado na Figura 4-44.

Emerg 3: Como a **atividade** [Emerg 3 (1.5)] interage com diversas outras **atividades**, ela é inserida dentro da **atividade** [Energia (1)], como pode ser visto na Figura 4-43. Para a integração desta **atividade** com as demais, as seguintes alterações são feitas:

- Na **atividade** [GDG (1.3)]: alteração do **distribuidor** (Motor\_ligado (1.3.7)) e do **distribuidor** (Motor\_parado (1.3.2)) e inclusão da **atividade** [By-pass (1.3.4)]. O modelo em PFS é mostrado na Figura 4-44.
- Na **atividade** [Grupo exaustão de gases (1.2.2)]: alteração do **distribuidor** (V. externa aberta (1.2.2.4)) e do **distribuidor** (V. externa fechada (1.2.2.6)). O modelo em PFS é mostrado na Figura 4-45.
- Na **atividade** [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)]: alteração do **distribuidor** (V. cabeça aberta (1.2.1.3.3)) e do **distribuidor** (V. cabeça fechada (1.2.1.3.1)). O modelo em PFS é mostrado na Figura 4-46.
- Na **atividade** [Grupo baterias (1.4)]: alteração do **distribuidor** (Recebendo energia (1.4.3)).

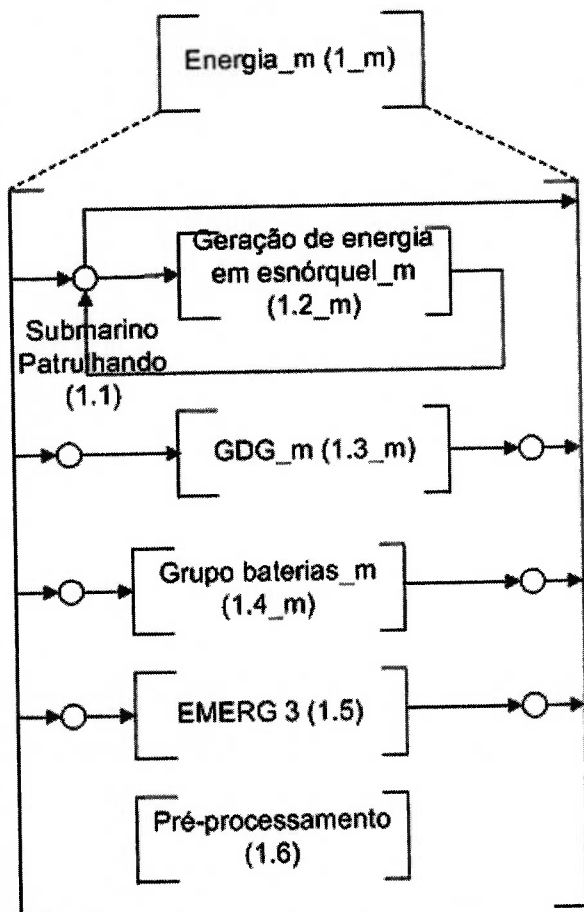


Figura 4-43 – Nova configuração da atividade [Energia (1)] que passa a se chamar [Energia\_m (1\_m)].

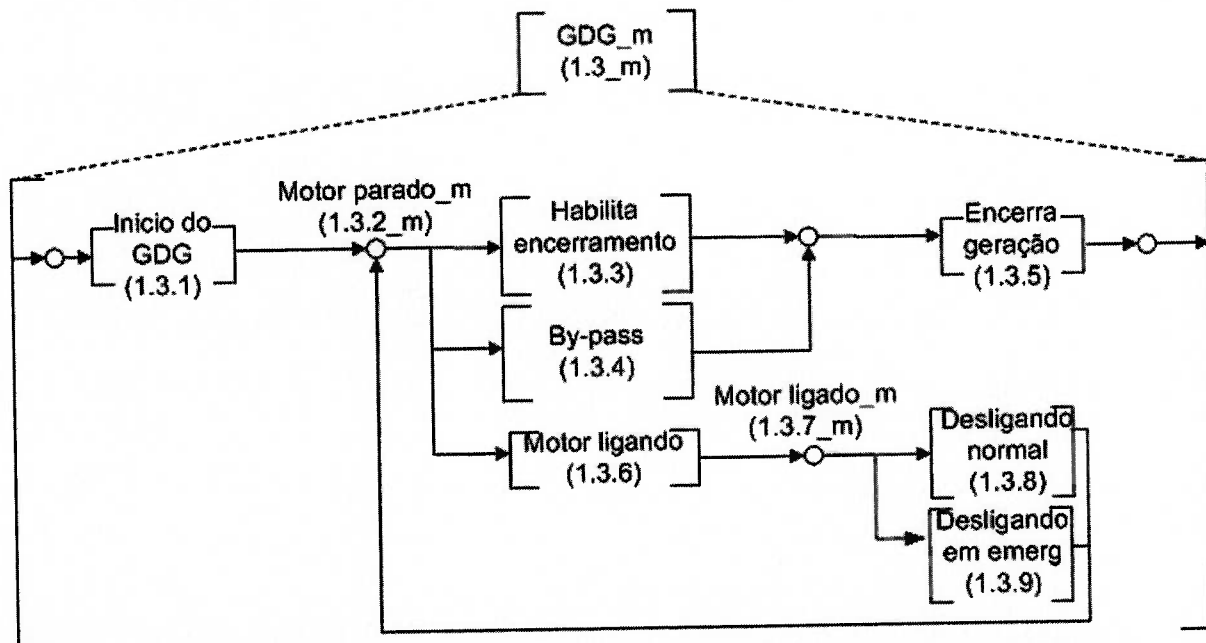


Figura 4-44 – Nova configuração da atividade [GDG\_(1.3)] que passa a se chamar [GDG\_m (1.3\_m)].

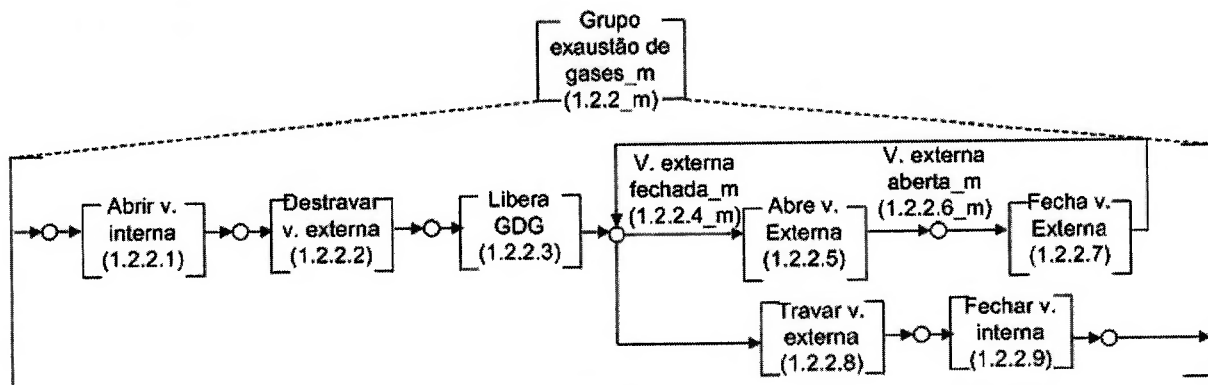


Figura 4-45 – Nova configuração da atividade [Grupo exaustão de gases (1.2.2)] que passa a se chamar [Grupo exaustão de gases\_m (1.2.2\_m)].

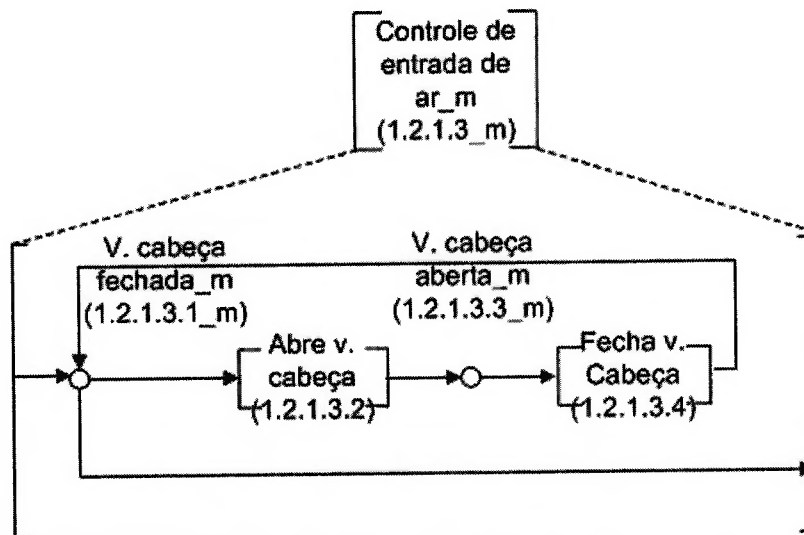


Figura 4-46 – Nova configuração da atividade [Controle de entrada de ar (1.2.1.3)] que passa a se chamar [Controle de entrada de ar\_m (1.2.1.3\_m)].

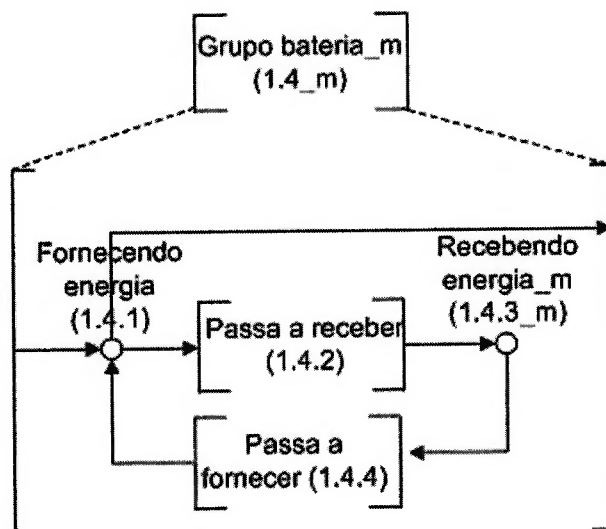


Figura 4-47– Nova configuração da atividade [Grupo baterias\_m].

#### 4.4.3. Passo 3.3 – Integração dos modelos no nível de RdP

Nesse passo, detalham-se somente os elementos que tiveram as suas configurações alteradas após a integração entre os modelos.

Os modelos em RdP do **distribuidor** (Motor parado\_m (1.3.2\_m)) e do **distribuidor** (Motor ligado\_m (1.3.7\_m)) são mostrados na Figura 4-48. A descrição de seus elementos está na Tabela 4.66 e na Tabela 4.67.



Tabela 4.66 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Motor parado\_m (1.3.2\_m)) da Figura 4-48.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o MCP está parado
L2	Indica que o processo de geração de energia recebeu o comando para encerrar as operações
L3	Indica que foi dada a ordem para encerrar a operação de geração de energia no modo emergencial
L4	Indica a chegada da ordem da atividade (1.5.12) para encerrar a operação de geração de energia no modo emergencial
L5	Indica que o MCP recebeu a ordem para partir
L6	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a operação de geração de energia no modo normal (C3)
L7	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a operação de geração de energia no modo normal (C3)
L8	Estado do pré-processamento que não indica que foi dada a ordem para partir o MCP 1 (C4)
L9	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para partir o MCP 1 (C4)
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal comandando o encerramento da operação de geração de energia do modo normal. É habilitado pelo <u>lugar</u> (L7) e inibido pelo <u>lugar</u> (L4)
T2	<u>Transição</u> que comanda o encerramento da operação de geração de energia do modo no emergencial
T3	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal comandando a partida do MCP. É habilitada pelo <u>lugar</u> (L9) e inibido pelos <u>lugares</u> (L4) e (L7)

Tabela 4.67 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Motor ligado\_m (1.3.7\_m)) da Figura 4-48.

Lugar	Descrição
L1	Indica que MCP está na sua condição normal de funcionamento
L2	Indica que o MCP recebeu a ordem para parar normalmente
L3	Indica que foi habilitado o desligamento do MCP no modo emergencial
L4	Indica que o MCP recebeu a ordem para parar no modo emergencial
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão atmosférica interna está muito baixa
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão atmosférica interna está baixa
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão atmosférica interna está normal
L8	Estado do pré-processamento que indica que a pressão atmosférica interna está alta
L9	Estado do pré-processamento que indica que a pressão atmosférica interna está muito alta
L10	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está muito baixa (P12)
L11	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está baixa (P12)
L12	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está normal (P12)
L13	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está alta (P12)
L14	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases



	está muito alta (P12)
L15	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para parar o MCP normalmente (C5)
L16	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para parar o MCP normalmente (C5)
L17	Estado do pré-processamento que indica que o botão de emergência não foi acionado (C6)
L18	Estado do pré-processamento que indica que o botão de emergência foi acionado (C6)
L19	Estado do pré-processamento que indica que pressão do óleo lubrificante está muito baixa (P16)
L20	Estado do pré-processamento que indica que pressão do óleo lubrificante está baixa (P16)
L21	Estado do pré-processamento que indica que pressão do óleo lubrificante está normal (P16)
L22	Estado do pré-processamento que indica que pressão do óleo lubrificante está alta (P16)
L23	Estado do pré-processamento que indica que pressão do óleo lubrificante está muito alta (P16)
L24	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito baixa (Ta1)
L25	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é baixa (Ta1)
L26	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é normal (Ta1)
L27	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é alta (Ta1)
L28	Estado do pré-processamento que indica que a rotação do MCP1 é muito alta (Ta1)
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão atmosférica interna está baixa. É <u>habilitada pelo lugar</u> (L6) e <u>inibida pelo lugar</u> (L3)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão diferencial na saída dos gases é muito baixa. É <u>habilitada pelo lugar</u> (L10) e <u>inibida pelo lugar</u> (L3)
T3	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal comandando a parada do MCP. É <u>habilitada pelo lugar</u> (L16) e <u>inibida pelo lugar</u> (L3)
T4	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que botão de emergência foi acionado. É <u>habilitada pelo lugar</u> (L18).
T5	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que ocorreu sobre-rotação no MCP. É <u>habilitada pelo lugar</u> (L28).
T6	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão do óleo lubrificante do MCP está baixa. É <u>habilitada pelo lugar</u> (L20).
T7	<u>Transição</u> que comanda o desligamento em emerg do MCP em decorrência de um sinal de habilitação da <b>atividade</b> [1.5.11]

Os modelos em RdP do **distribuidor** (V. externa fechada\_m (1.2.2.4\_m)) e do **distribuidor** (V. externa aberta\_m (1.2.2.6\_m)) são mostrados na Figura 4-49. A descrição de seus elementos está na Tabela 4.68 e na Tabela 4.69.

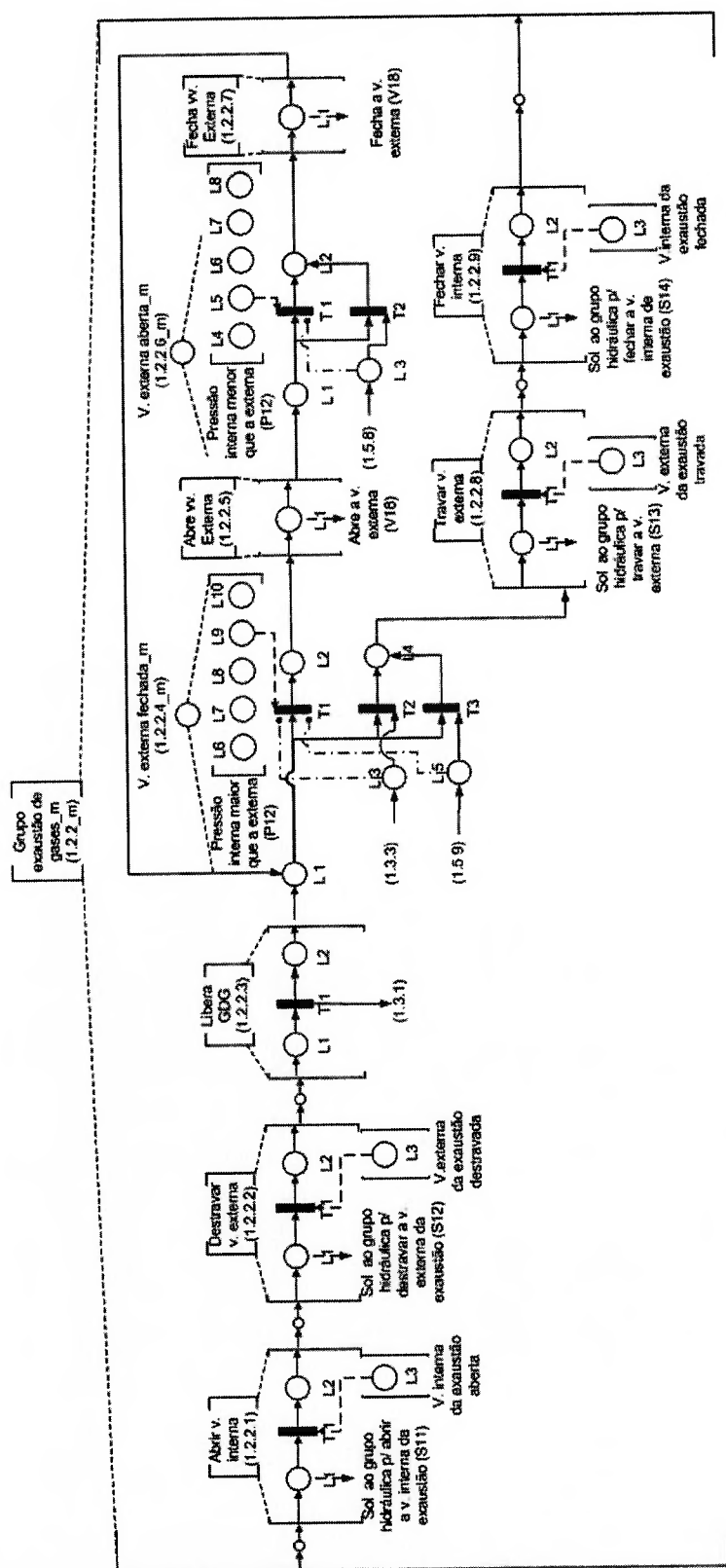


Figura 4-49 – Modelos em RdP da atividade [Grupo de exaustão de gases\_m (1.2.2\_m)] mostrada na Figura 4-45.

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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula externa da exaustão está aberta (V20)
L2	Indica que a válvula externa da exaustão está habilitada para ser fechada (V20)
L3	Indica que chegou o sinal da <b>atividade</b> [1.5.8] habilitando o fechamento da válvula externa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está muito baixa (P12)
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está baixa (P12)
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está normal (P12)
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está alta (P12)
L8	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está muito alta (P12)
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão dos gases de combustão é menor que a pressão da coluna de água. É <u>habilitada</u> pelo <u>lugar</u> (L5) e <u>inibida</u> pelo <u>lugar</u> (L3)
T2	<u>Transição</u> que comanda o fechamento da válvula externa da exaustão em caso de emergência

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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula externa da exaustão está fechada (V18)
L2	Indica que a válvula externa da exaustão está habilitada para ser aberta (V18)
L3	Indica que foi habilitado o término da operação do grupo exaustão de gases por meio da <b>atividade</b> [1.3.3]
L4	Indica que foi encerrada a operação do grupo exaustão de gases
L5	Indica que foi habilitado o término da operação do grupo exaustão de gases por meio da <b>atividade</b> [1.5.9]
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está muito baixa (P12)
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está baixa (P12)
L8	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está normal (P12)
L9	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está alta (P12)
L10	Estado do pré-processamento que indica que a pressão diferencial na saída dos gases está muito alta (P12)
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão dos gases de combustão é maior que a pressão da coluna de água. É <u>habilitada</u> pelo <u>lugar</u> (L9) e <u>inibida</u> pelos <u>lugares</u> (L3) e (L6)
T2	<u>Transição</u> que representa o sincronismo entre a informação que o GDG terminou sua operação e a válvula externa da exaustão está fechada. Assim, a operação pode ser encerrada

T3	Transição que representa o sincronismo entre a ordem de encerramento da operação de exaustão ( <b>atividade</b> [1.5.9]) e o fato da válvula externa estar fechada. Assim, a operação pode ser encerrada
----	--

Os modelos em RdP do **distribuidor** (V. cabeça fechada\_m (1.2.1.3.1\_m)) e do **distribuidor** (V. cabeça aberta\_m (1.2.1.3.3\_m)) são mostrados na Figura 4-50. A descrição de seus elementos está na Tabela 4.70 e na Tabela 4.71.

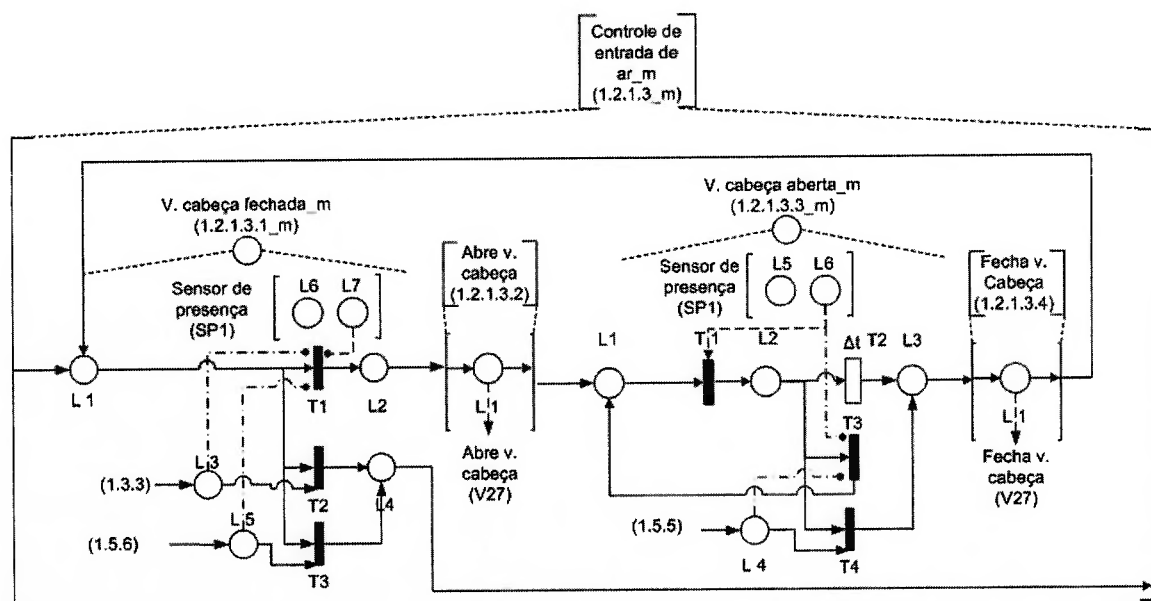


Figura 4-50 – Modelos em RdP da **atividade** [Controle da entrada de ar\_m (1.2.1.3\_m)] mostrada na Figura 4-46

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

Lugar	Descrição
L1	Indica que o mastro está disponível para que ocorra a comunicação entre o ambiente interno do submarino com o ambiente externo
L2	Indica que as condições para a abertura da válvula cabeça estão satisfeitas
L3	Indica que chegou o comando da <b>atividade</b> [1.3.3] para encerrar o Controle de entrada de ar
L4	Indica que o Controle de entrada de ar foi encerrado
L5	Indica que chegou o comando da <b>atividade</b> [1.5.6] para encerrar o Controle de entrada de ar
L6	Estado do pré-processamento que indica que o sensor de presença está seco (SP1)
L7	Estado do pré-processamento que indica que o sensor de presença está molhado (SP1)
Transição	Descrição
T1	Transição que comanda a abertura da válvula cabeça (V27). É inibido pelos lugares (L3), (L5) e (L7)
T2	Transição que comanda o encerramento da operação de Controle de entrada de ar por meio do sinal da <b>atividade</b> [1.3.3]

T3	<u>Transição</u> que permite o encerramento da operação de Controle de entrada de ar por meio do sinal da <b>atividade</b> [1.5.6]
----	--

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

Lugar	Descrição
L1	Indica que a válvula cabeça está aberta
L2	Indica que a válvula cabeça está aberta e que o sensor de presença está molhado por um período menor que $\Delta t$
L3	Indica que a válvula cabeça está habilitada para ser fechada
L4	Indica que chegou o comando da <b>atividade</b> [1.5.5] para fechar a válvula cabeça
L5	Estado do pré-processamento que indica que o sensor de presença está seco (SP1)
L6	Estado do pré-processamento que indica que o sensor de presença está molhado (SP1)
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que indica que o sensor de presença está molhado. É <u>habilitada</u> pelo lugar (L6)
T2	<u>Transição</u> temporizada que permite o fechamento da válvula mestra (V27) após $\Delta t$ segundos.
T3	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que o sensor de presença não está mais molhado (SP1). É <u>inibida</u> pelo lugar (L6)
T4	<u>Transição</u> que permite o fechamento da válvula mestra (V27)

Os modelos em RdP do **distribuidor** (Recebendo energia\_m (1.4.3\_m)) é mostrado na Figura 4-51. A descrição de seus elementos está na Tabela 4.72.

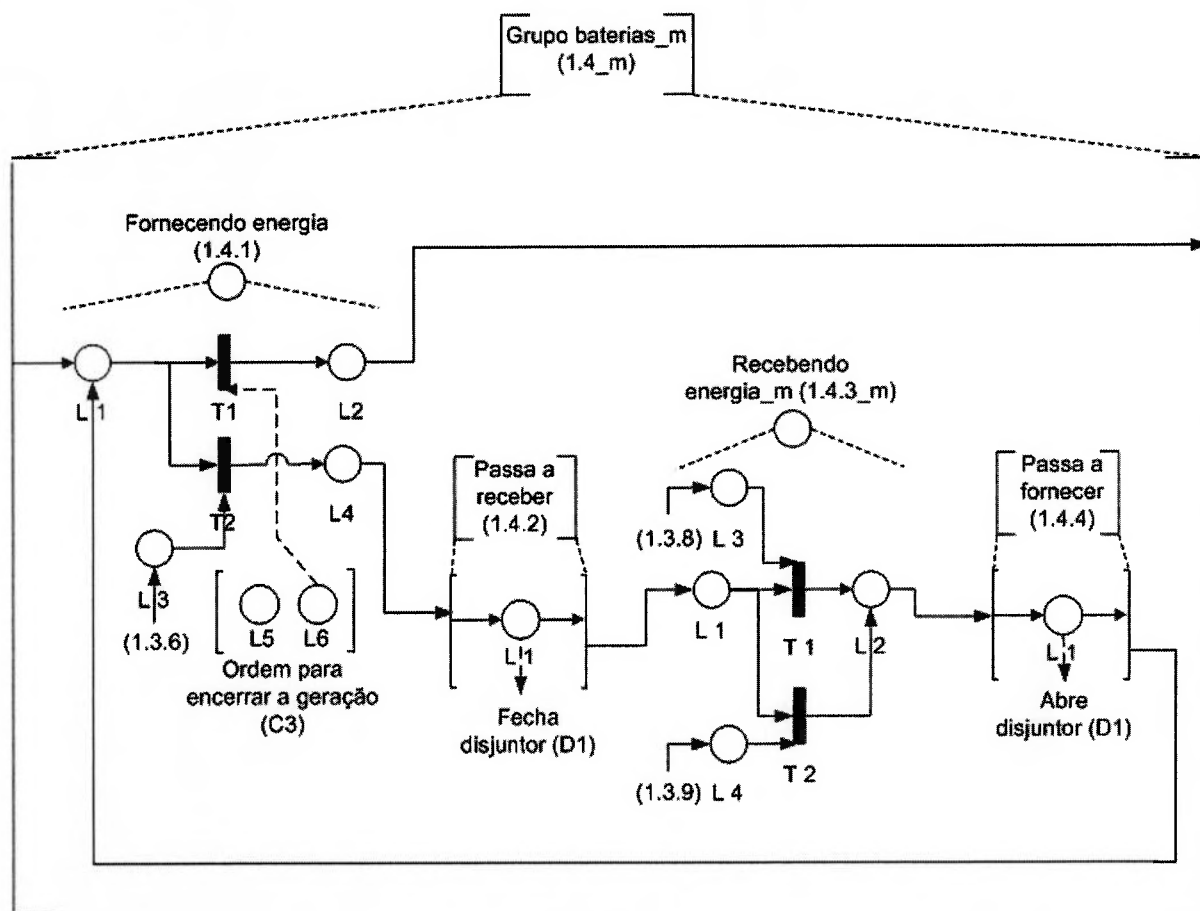


Figura 4-51 – Modelos em RdP da atividade [Grupo baterias\_m (1.4\_m)] mostrada na Figura 4-48

Tabela 4.72 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recebendo energia\_m (1.4.3\_m)) da Figura 4-51

Lugar	Descrição
L1	Indica que o conjunto de baterias está recebendo energia
L2	Indica que o conjunto de baterias foi habilitado para fornecer energia
L3	Indica a chegada da ordem da atividade [1.3.7] habilitando a alteração da configuração das baterias.
L4	Indica a chegada da ordem da atividade [1.3.9] habilitando a alteração da configuração das baterias.
Transição	Descrição
T1	Transição que permite a mudança de configuração das baterias por meio da atividade (1.3.7)
T2	Transição que permite a mudança de configuração das baterias por meio da atividade (1.3.9)

#### 4.5. Passo 4 – Criação de objeto

Neste passo as **atividades** definidas nos itens 4.2, 4.3 e 4.4 são usados como referência para a criação de “objetos”. A Figura 4-52 ilustra o “objeto” Energia\_m (1\_m) baseado nas **atividades** que podem ser vistas como uma “classe” de mesmo nome.

A “classe” atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador local, mostrada na Figura 4-53, serve de base para os objetos Válvula 18, Válvula 27, Válvula 28, Bomba de esgoto 1 e Disjuntor 1.

A “classe” Atuadores com desligamento pelo tempo é mostrada na Figura 4-54 e serve de base para os objeto Válvula 22.

A “classe” Atuadores com desligamento pelo controlador local é mostrada na Figura 4-55 e serve de base para os objetos Válvula 16 e Válvula 29.

A “classe” Módulo de solicitação (1.6.4) é mostrada na Figura 4-56 e serve de base para os 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.

A “classe” Dispositivo de comando é mostrada na Figura 4-57 e serve de base para os objetos Comando 1, Comando 2, Comando 3, Comando 4, Comando 5 e Comando 6.

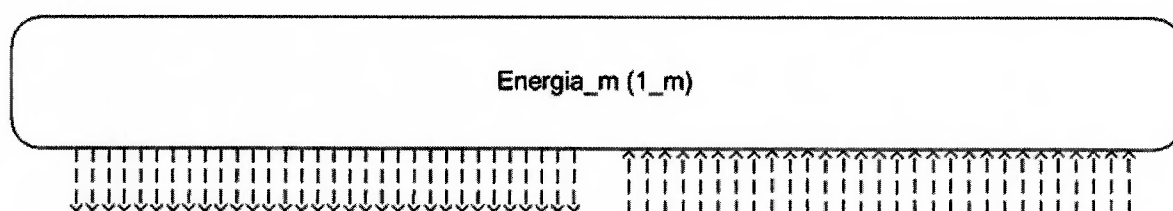


Figura 4-52 – “Classe” Energia\_m (1\_m).

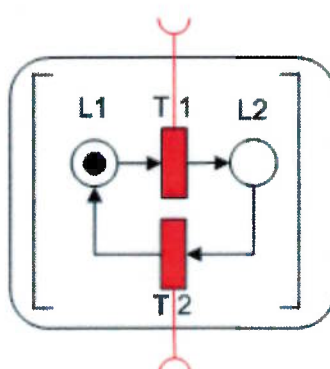


Figura 4-53 – “Objetos” Válvula 18, Válvula 27, Válvula 28, Bomba de esgoto 1 e Disjuntor 1 gerados a partir da “classe” atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador local.

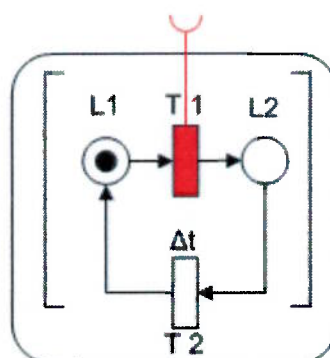


Figura 4-54 – “Objeto” Válvula 22 gerado a partir da “classe” Atuadores com desligamento pelo tempo.

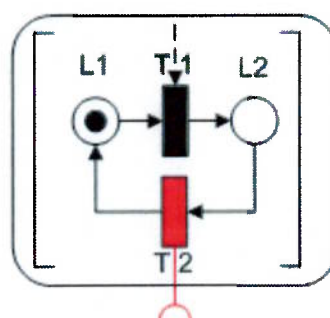


Figura 4-55 – “Objetos” Válvula 16 e Válvula 29 gerados a partir da “classe” Atuadores com desligamento pelo controlador local.



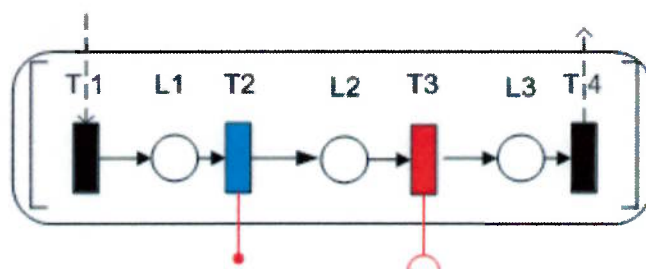


Figura 4-56 – “Objetos” Solicitação 1, Solicitação 2, Solicitação 3, Solicitação 4, Solicitação 5, Solicitação 6, Solicitação 7, Solicitação 8, Solicitação 9, Solicitação 10, Solicitação 11, Solicitação 12, Solicitação 13, Solicitação 14, Solicitação 15 e Solicitação 16 gerados a partir da “classe” Módulo de solicitação (1.6.4)

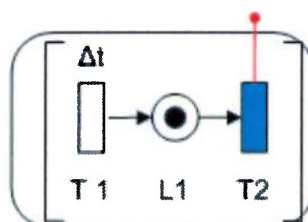


Figura 4-57– “Objetos” Comando 1, Comando 2, Comando 3, Comando 4, Comando 5 e Comando 6 gerados a partir da “classe” Dispositivo de comando

A “classe” Sensores é mostrada na Figura 4-58 e serve de base para os “objetos” Tacômetro 1, Manômetro 12, 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.

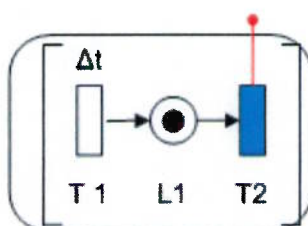


Figura 4-58 – “Objetos” Tacômetro 1, Manômetro 11, Manômetro 12, Manômetro 13, Manômetro 14, Manômetro 15, Manômetro 16, Relé de nível 1, Relé de nível 2, Sensor de presença 1, Sensor de fim de curso V20 e Sensor de fim de curso V27 gerados a partir da “classe” Sensores.

A “classe” Entrada Digital é mostrada na Figura 4-59 e serve de base para os “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.

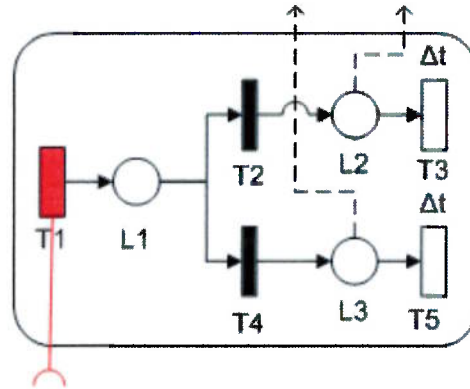


Figura 4-59 – “Objetos” Estado C1, Estado C2, Estado C3, Estado C4, Estado C5, Estado C6, Estado SP1, Estado RN1, Estado RN2, Estado S.V27 e Estado S.V20 gerados a partir da “classe” Entrada Digital

A “classe” Entrada Analógica é mostrada na Figura 4-60 e serve de base para os “objetos” Estado Ta1, Estado P12, Estado P14, Estado P15 e Estado P16.

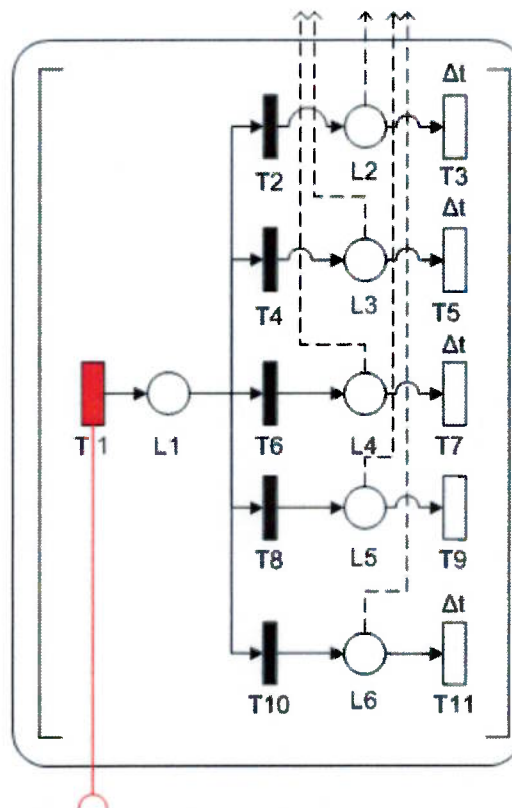


Figura 4-60 – “Objetos” Estado Ta1, Estado P12, Estado P14, Estado P15 e Estado P16 gerados a partir da “classe” Entrada Analógica.

A “classe” Saída Digital é mostrada na Figura 4-61 e serve de base para os “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.

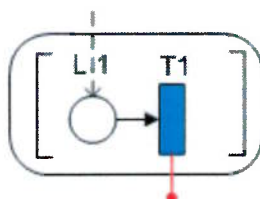


Figura 4-61 – “Classe” Saída Digital.

#### 4.6. Passo 5 – Geração de Componentes

Os “objetos” obtidos no Passo 4 são usados para compor os “componentes”. Neste texto, como parte dos modelos estão no Apêndice B, serão considerados apenas os modelos deste capítulo para a composição dos “componentes”. Assim sendo, a Figura 4-62 apresenta o “componente” Entrada analógica do subsistema Energia, composto pelos objetos Estado Ta1, Estado P12, Estado P14, Estado P15 e Estado P16. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição de todo pré-processamento de sinais de natureza analógica que são entradas para o controlador local do subsistema de Energia.

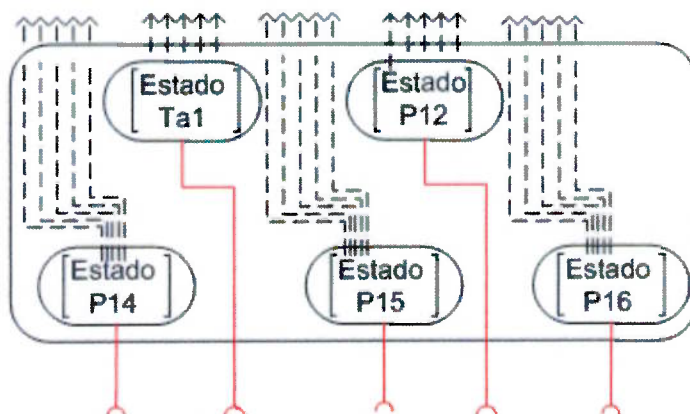


Figura 4-62 – “Componente” Entrada analógica do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Estado Ta1, Estado P12, Estado P14, Estado P15 e Estado P16.

Na Figura 4-63 apresenta-se o “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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição dos pré-processamentos de sinais de natureza digital oriundos de sensores e dispositivos de comando que cheguem ao controlador local do subsistema de Energia.

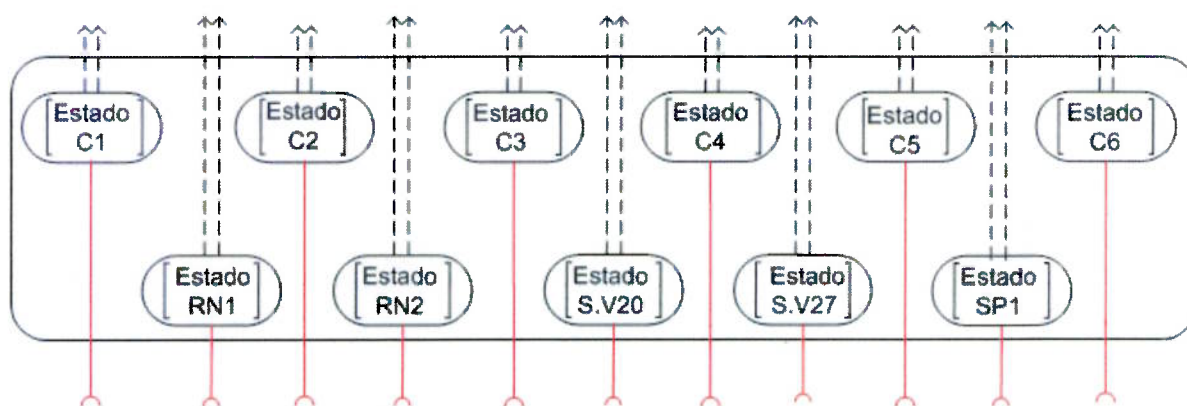


Figura 4-63 – “Componente” Entrada digital do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Estado C1, Estado C2, Estado C3, Estado C4, Estado C5, Estado C6, Estado SP1, Estado RN1, Estado RN2, Estado S.V27 e Estado S.V20.

Na Figura 4-64 apresenta-se o “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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição do tratamento dos sinais de natureza digital que saem do controlador local do subsistema de Energia para um dispositivo de atuação.

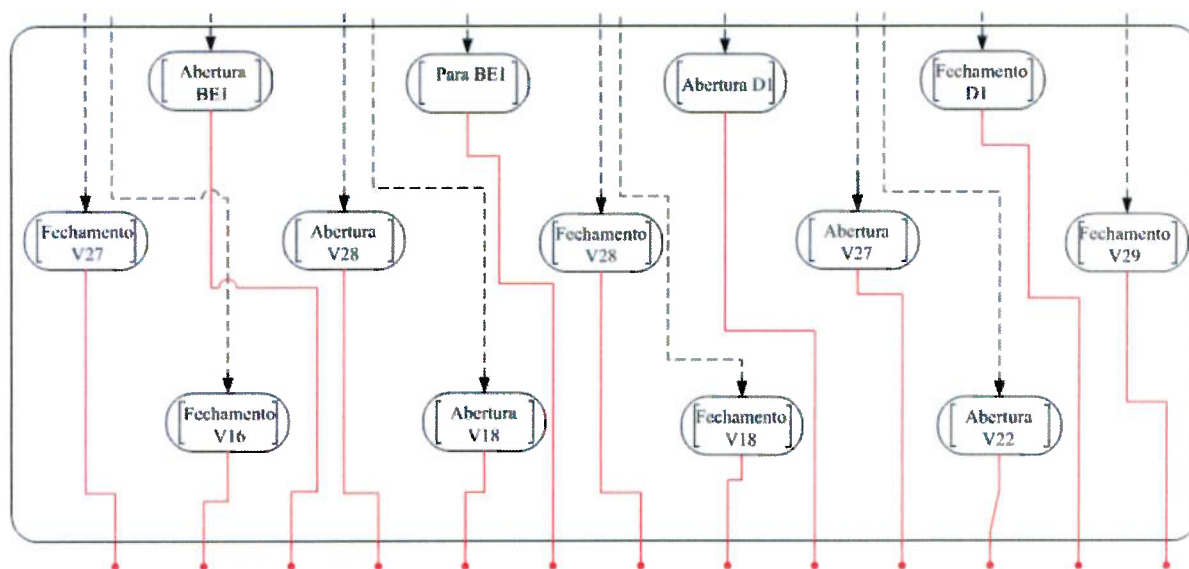


Figura 4-64 – “Componente” Saída digital do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Fechamento V16, Abertura V18, Fechamento V18, Abertura V22, Abertura V27, Fechamento V27, Abertura V28, Fechamento V28, Fechamento V29, Aciona BE1, Para BE1, Abertura D1 e Fechamento D1.

Na Figura 4-65 apresenta-se o “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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição das solicitações do controlador local do subsistema de Energia aos demais controladores locais. A descrição da função de cada “objeto” é feita na Tabela 4.73.

Tabela 4.73 – Lista dos objetos que compõem o componente “Solicitação” e as suas respectivas funções.

Objeto	Função
Solicitação 1	Solicita ao grupo hidráulica para içar o mastro
Solicitação 2	Solicita ao grupo hidráulica para estabilizar o mastro
Solicitação 3	Solicita ao grupo hidráulica para abrir válvula externa
Solicitação 4	Solicita ao grupo hidráulica para abrir válvula interna
Solicitação 5	Solicita ao grupo ar comprimido para libera ar para válvula cabeça
Solicitação 6	Solicita ao grupo ar comprimido para fechar o ar para válvula cabeça
Solicitação 7	Solicita ao grupo hidráulica para fechar válvula externa
Solicitação 8	Solicita ao grupo hidráulica para fechar válvula interna
Solicitação 9	Solicita ao grupo hidráulica para arriar o mastro
Solicitação 10	Solicita ao grupo hidráulica para estabilizar o mastro
Solicitação 11	Solicita ao grupo hidráulica para abrir a válvula interna da exaustão

Solicitação 12	Solicita ao grupo hidráulica para destravar a válvula externa da exaustão
Solicitação 13	Solicita ao grupo hidráulica para travar a válvula externa
Solicitação 14	Solicita ao grupo hidráulica para fechar a válvula interna de exaustão
Solicitação 15	Solicita ao grupo ar comprimido para liberar ar para o MCP 1
Solicitação 16	Solicita ao grupo ar comprimido para cortar o ar para o MCP 1

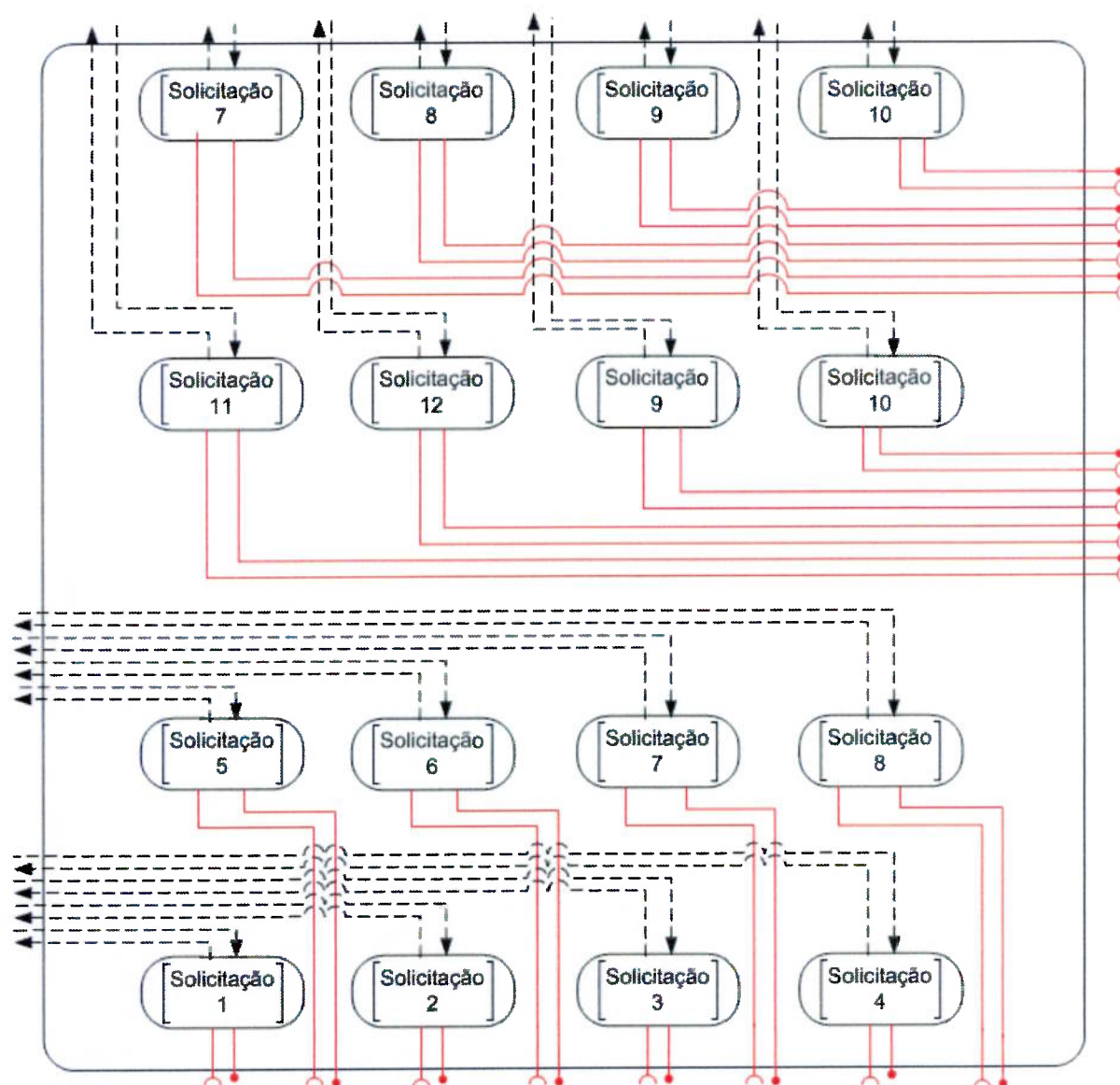


Figura 4-65 – “Componente” Solicitação composto pelos objetos Solicitação 1, Solicitação 2, Solicitação 3, Solicitação 4, Solicitação 5, Solicitação 6, Solicitação 7, Solicitação 8, Solicitação 9, Solicitação 10, Solicitação 11, Solicitação 12, Solicitação 13, Solicitação 14, Solicitação 15 e Solicitação 16.

Na Figura 4-66 apresenta-se o “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. Como critério de componentização, considerou-se que os seus elementos representam entidades físicas que têm como função atuar sobre o subsistema de Energia.

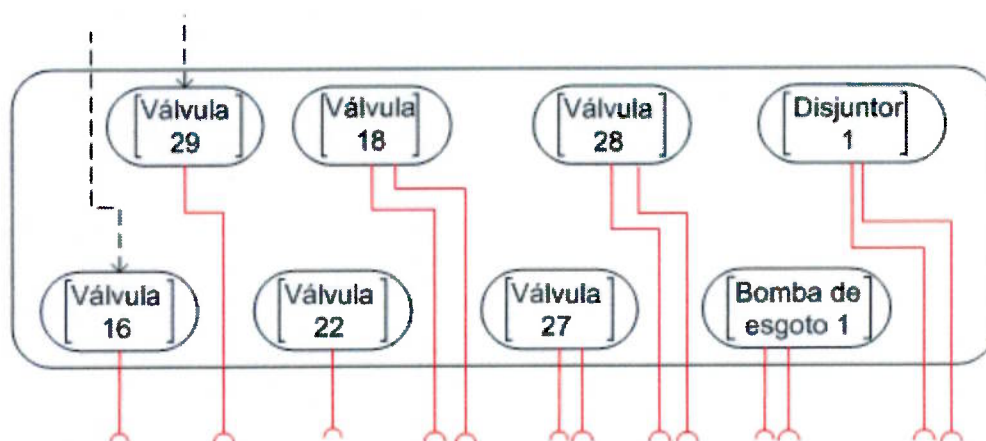


Figura 4-66 – “Componente” Atuadores do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Válvula 16, Válvula 18, Válvula 22, Válvula 27, Válvula 28, Válvula 29, Bomba de esgoto 1 e Disjuntor 1.

Na Figura 4-67 apresenta-se o “componente” Sensores do subsistema Energia, composto pelos “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 presença 2 e Sensor de presença 3. Como critério de componentização, considerou-se que os seus elementos representam entidades físicas que têm como função mensurar diversos parâmetros do subsistema de Energia e repassar esses dados ao controle local.

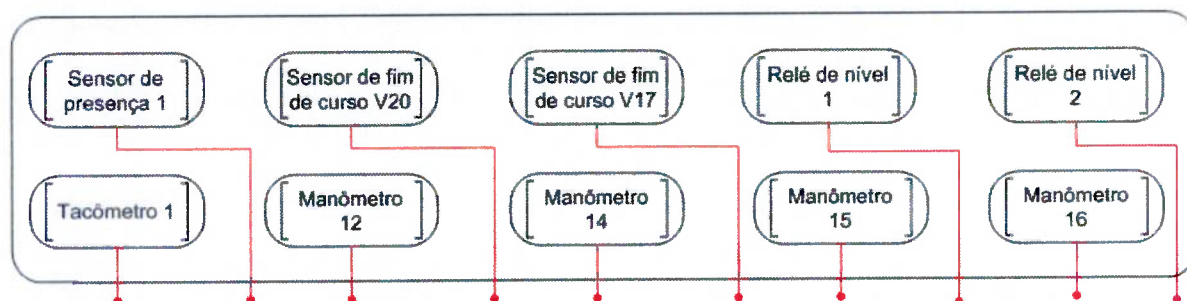


Figura 4-67 – “Componente” Sensores do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Tacômetro 1, Manômetro 12, Manômetro 13, Manômetro 14, Manômetro 15, Manômetro 16, Relé de nível 1, Relé de nível 2, Sensor de presença 1, Sensor de fim de curso V20 e Sensor de fim de curso V27.

Na Figura 4-68 apresenta-se o “componente” Comandos do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Comando 1, Comando 2, Comando 3, Comando 4, Comando 5, Comando 6. Como critério de componentização, considerou-se que os seus elementos representam entidades físicas que têm como função atuar sobre o controlador local do subsistema de Energia. A descrição da função de cada objeto está na Tabela 4.74.

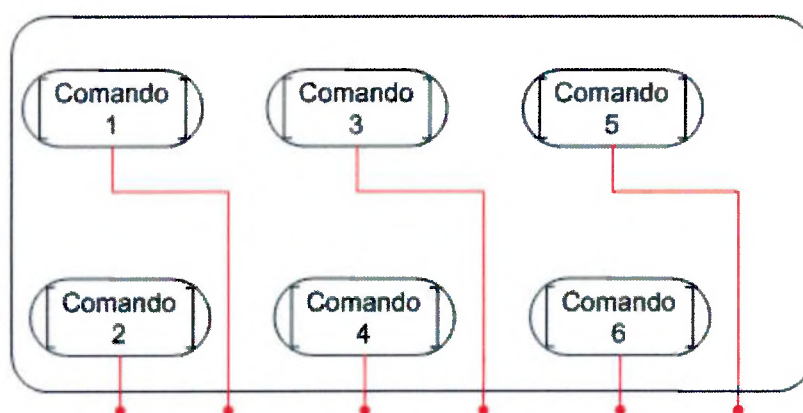


Figura 4-68 – “Componente” Comandos do subsistema Energia, composto pelos “objetos” Comando 1, Comando 2, Comando 3, Comando 4, Comando 5, Comando 6.

Tabela 4.74 – Lista dos “objetos” que compõem o “componente” Comandos do subsistema Energia e as suas respectivas funções.

Objeto	Função
Comando 1	Ordem para encerrar a operação na cota periscópica
Comando 2	Ordem para iniciar a geração de energia
Comando 3	Ordem para encerrar a geração de energia
Comando 4	Ordem para partir o MCP 1
Comando 5	Ordem para parar o MCP 1
Comando 6	Parada em emergência

Na Figura 4-69 apresenta-se o “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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se deriva o programa em linguagem de CLP (Controlador Lógico Programável), a ser executado pelo dispositivo de realização do controle local. Assim,



com a modelagem desenvolvida, evidencia-se o fluxo de sinais entre a planta e cada controlador local, bem como entre os controladores locais.

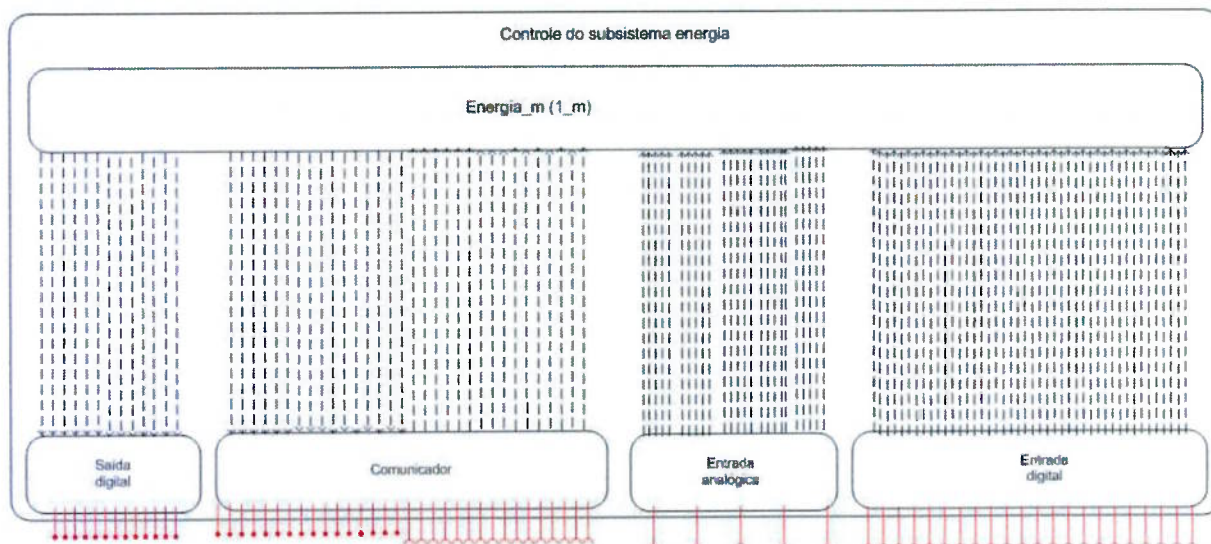


Figura 4-69 – “Componente” Controle do Subsistema Energia, composto pelo “objeto” Energia\_m (1\_m) e pelos “componentes” Entrada analógica do subsistema Energia, Entrada digital do subsistema Energia, Saída digital do subsistema Energia e Solicitação.

#### 4.7. Passo 6 – Geração do Aplicativo

Os “componentes” do Passo 5 são então agrupados de forma a compor o aplicativo Subsistema Energia. Assim, a Figura 4-70 ilustra o aplicativo Subsistema Energia, seus “componentes” Controle do Subsistema Energia, Comandos do subsistema Energia, Sensores do subsistema Energia e Atuadores do subsistema Energia e o relacionamento entre eles.

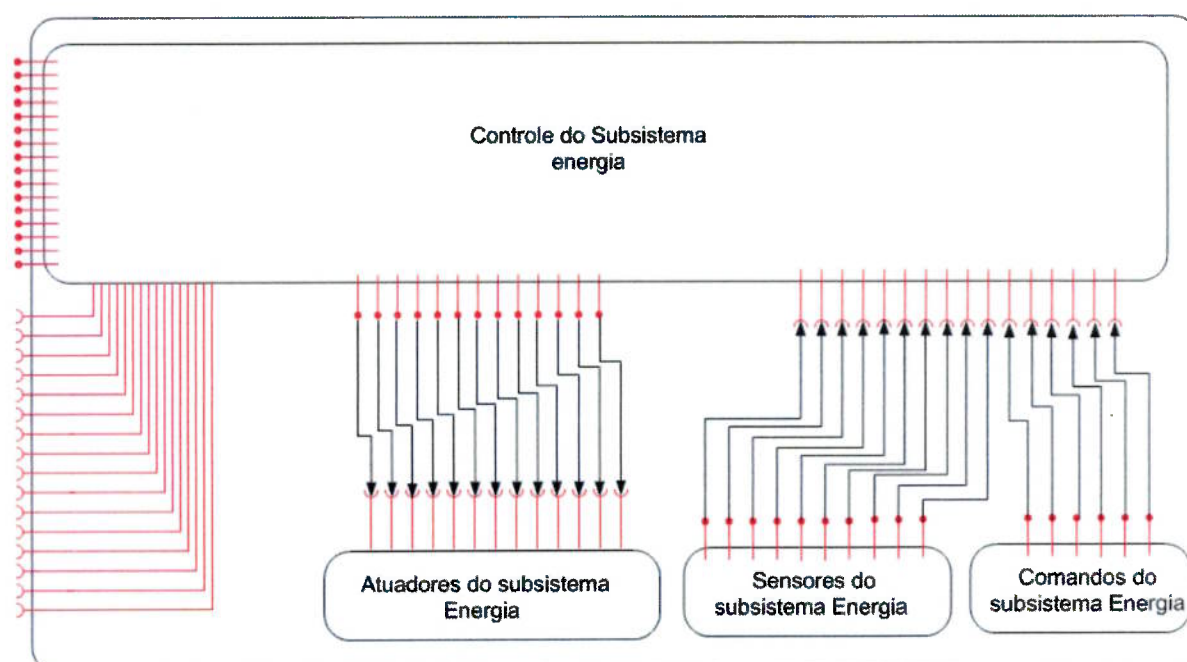


Figura 4-70 – Aplicativo Subsistema Energia composto pelos componentes Controle do Subsistema Energia, Comandos do subsistema Energia, Sensores do subsistema Energia e Atuadores.

#### 4.8. Síntese do capítulo

Neste capítulo, empregou-se o procedimento proposto no capítulo 3 na modelagem de um sistema que realiza o controle e a monitoração de um submarino, conhecido como IPMS.

O sistema real de controle e monitoração de um submarino convencional envolve um número de dispositivos muito grande e, assim, algumas simplificações foram adotadas, mas sem que elas comprometessem o principal objetivo do trabalho que é mostrar a adequabilidade do procedimento para a modelagem de sistemas de controle e monitoração de plataformas navais.

Durante a aplicação do procedimento, confirmou-se a efetividade da adoção de técnicas como a do PFS, RdP e da orientação a objeto, para a fácil identificação e correção de erros de lógica, problemas de interpretação e até do comportamento dinâmico do modelo com relação aos requisitos do sistema.

Assim, por meio da aplicação do procedimento, identificaram-se os elementos que compõem o IPMS em seus diferentes níveis de abstração, ou seja, o IPMS como um todo, seus “componentes”, e os dispositivos que constituem os componentes, bem como as interações que existem em cada um destes diferentes níveis de abstração.

## 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 possuem 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 estruturado<sup>10</sup> (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 (um 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).

---

<sup>10</sup> 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.

## APÊNDICE B CONTINUAÇÃO DOS MODELOS DO CASO DE ESTUDO

### B.1 PASSO 1 – MODELAGEM DA OPERAÇÃO NORMAL

#### B.1.1 PASSO 1.1 – DEFINIÇÃO DO ESCOPO

##### Passo1.1.1 – Grupo hidráulica

O grupo de hidráulica normalmente utilizado nos submarinos provê pressões hidráulicas constantes. Nesse grupo as linhas de suprimento de óleo que atravessam o navio são mantidas pressurizadas a altas pressões, da ordem de 200bar, por meio do uso de acumuladores. Bombas mantém a pressão dos acumuladores quando estes começam a esvaziar (BURCHER; RYDILL, 1994).

O arranjo geral deste grupo é constituído de uma ou mais linhas que fornecem pressão hidráulica aos diversos utilizadores que necessitam de grandes forças em seus atuadores e uma linha de retorno que retorna o óleo para o tanque central cujo fluido alimenta a sucção das bombas (BURCHER; RYDILL, 1994).

Devido à importância do grupo, o caso modelado é constituído de duas centrais hidráulicas. Essas duas centrais são separadas uma da outra, no entanto, caso o operador deseje, elas podem ser conectadas por meio de válvulas seccionadoras. Cada central é constituída de um circuito de recirculação e um circuito de pressurização.

Cada circuito de recirculação utiliza uma bomba elétrica (BHE1 e BHE4) para aspirar o óleo do tanque de retorno, conduzi-lo para um conjunto de filtros (*F1* e *F2*) para retirar as impurezas e a umidade do óleo. Depois o desemboca no tanque hidráulico (Figura B. 1).

Cada circuito de pressurização é constituído por uma bomba hidráulica elétrica (BHE2 e BHE3), duas linhas de suprimento, cada uma associada a um acumulador hidráulico e uma válvula seletora. Quando o circuito é inicializado, a BHE permanece em *stand by* enquanto a pressão em uma das linhas ainda está no mínimo aceitável. Caso a pressão caia abaixo do mínimo, a válvula seletora (VS3 e VS5) é direcionada

para esta linha e a BHE passa a operar até a pressão da linha ser reestabelecida (Figura B. 1).

Adicionalmente, existem diversos utilizadores ligados às linhas de pressurização principal. Caso pressão desta linha diminua, eles se ligam à linha de pressurização secundária por meio de válvulas seletoras (VS8, VS9, VS10, VS11 e VS4).

#### Passo 1.1.2 – Grupo ar comprimido

O grupo de ar comprimido fornece ar como agente de trabalho para outros subsistemas de bordo (BURCHER; RYDILL, 1994) e é composto basicamente de 4 conjuntos de ampolas de ar, 2 compressores de ar, 1 distribuidor de ar e diversos acessórios e dutos de distribuição.

O seu funcionamento inicia com o acionamento dos compressores, pressurizando os dutos. Em seguida, são realizadas manobras nas válvulas de tal forma a pressurizar um dos conjuntos de ampolas. Também é possível que, concomitantemente ao abastecimento de um dos conjuntos de ampolas, outro conjunto possa ser utilizado por um dos consumidores por meio do distribuidor de ar.

Os compressores têm seu funcionamento interrompido quando terminam de pressurizar o conjunto de ampolas.

A Figura B. 2 mostra o diagramático do sistema de ar comprimido.





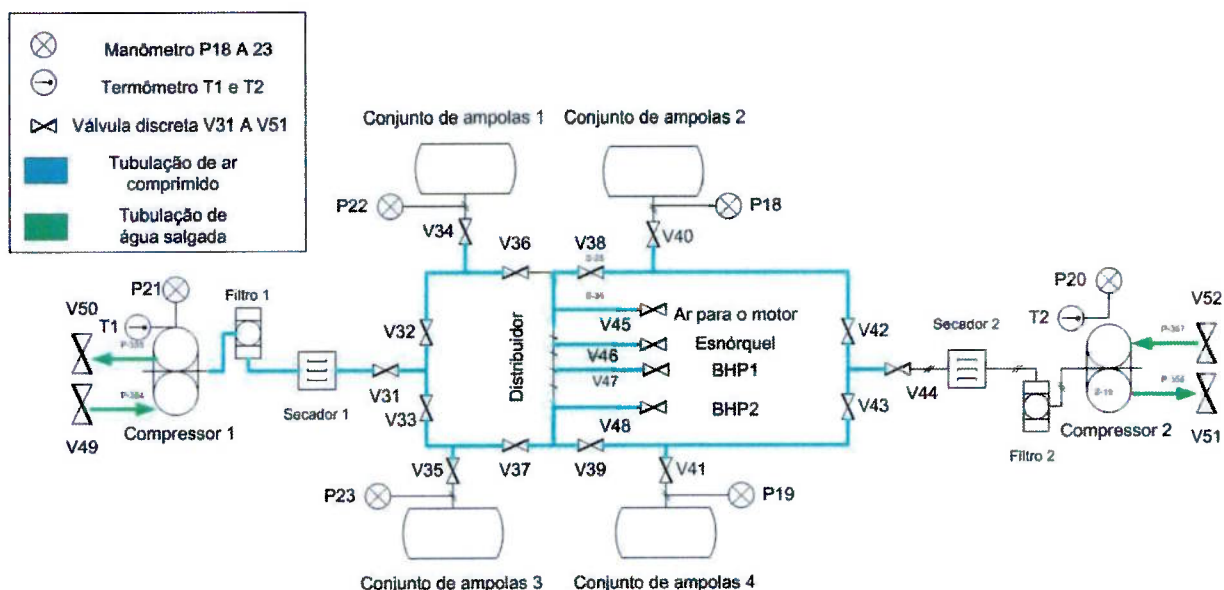


Figura B. 2 – Diagramático do grupo de ar comprimido (adaptado de BURCHER; RYDILL, 1994).

## B.1.2 PASSO 1.2 – REFINAMENTO SUCESSIVO E IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS BÁSICOS DO SISTEMA E SEUS RELACIONAMENTOS

### Passo 1.2.1 – Grupo hidráulica

As funções desempenhadas pelo grupo hidráulica (**atividade** [Hidráulica (2)]) são: recirculação do óleo hidráulico (**atividade** [Operação de recirculação (2.2)]), pressurização das linhas (**atividade** [Operação de pressurização (2.3)]), gerenciamento das válvulas que interagem com os demais subsistemas (**atividade** [Gerenciamento vv interagem c/ d+ subsistemas (2.4)]) e a **atividade** [Pré-processamento (2.1)], que interage com as demais funções e cujo conceito foi descrito no capítulo 3 (Figura B. 4). Cabe ressaltar que neste modelo só foram inseridos os comandos para uma das estações hidráulicas e não para as duas, pois só aumentaria o tamanho do modelo sem agregar nenhum valor ao trabalho.

Cada uma dessas **atividades** são descritas a seguir:

[Pré-processamento Hidráulica (2.1)] – esta **atividade** representa as funções que realizam a leitura e a escrita dos sinais externos do grupo hidráulica (Figura B. 3).

No presente estudo de caso considera-se que essa **atividade** é constituída de outras cinco **atividades** que são descritas a seguir:

- [Entrada digital Hidráulica (2.1.1)] – esta **atividade** faz a leitura dos dados de natureza discreta e os armazena por um determinado período de tempo;
- [Entrada analógica Hidráulica (2.1.2)] – esta **atividade** faz a leitura dos dados de natureza analógica, os discretiza em cinco níveis: muito baixo, baixo, normal, alto e muito alto e os armazena por um determinado período de tempo;
- [Saída digital Hidráulica (2.1.3)] – esta **atividade** processa os sinais oriundos do controle e os envia para os atuadores.
- [Módulo de solicitação Hidráulica (2.1.4)] – esta **atividade** realiza as solicitações aos demais controladores.
- [Módulo de resposta Hidráulica (2.1.5)] – esta **atividade** responde as solicitações dos demais controladores.

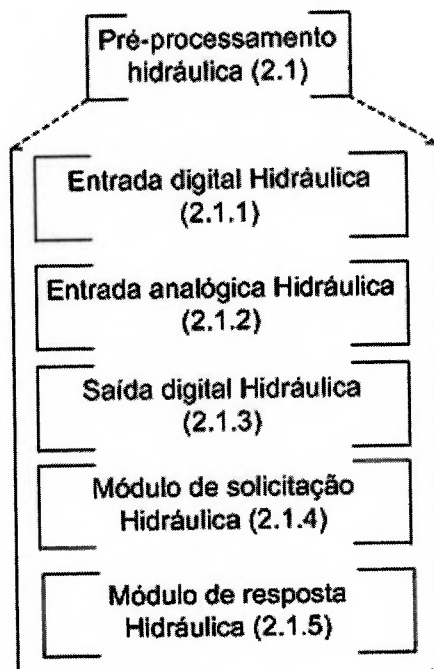


Figura B. 3 – Modelo em PFS da **atividade** [Pré-processamento Hidráulica (2.1)].

[Operação de recirculação (2.2)] – esta **atividade** controla o circuito de recirculação de óleo hidráulico (Figura B. 5). Ela inicialmente está desligada (**distribuidor** (Recirculação desligada (2.2.1))). A partir deste estado, pode-se encerrar a **atividade** ou acionar a recirculação (**atividade** [Aciona recirculação (2.2.2)]) e alterar o seu estado para ligado (**distribuidor** (Recirculação ligada (2.2.3))). Neste estado, a pressão no manômetro (P1) é monitorada. Se ela passar ao estado considerado alto, altera-se a rota do óleo hidráulico de forma a passar por um outro filtro que permanece em espera. Essa alteração é feita por meio da válvula seletora (VS1) (**atividade** [Selecionar VS1 p/ pos 1 (2.2.5)] e **atividade** [Selecionar VS1 p/ pos 2 (2.2.6)]). No estado de Recirculação ligada também é possível encerrar a operação por meio da **atividade** [Para recirculação (2.2.4)], voltando ao estado de recirculação desligada.

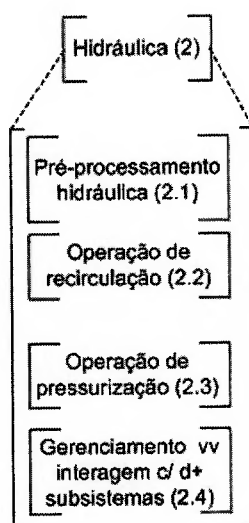


Figura B. 4 – Detalhamento da **atividade** [Hidráulica (2)].

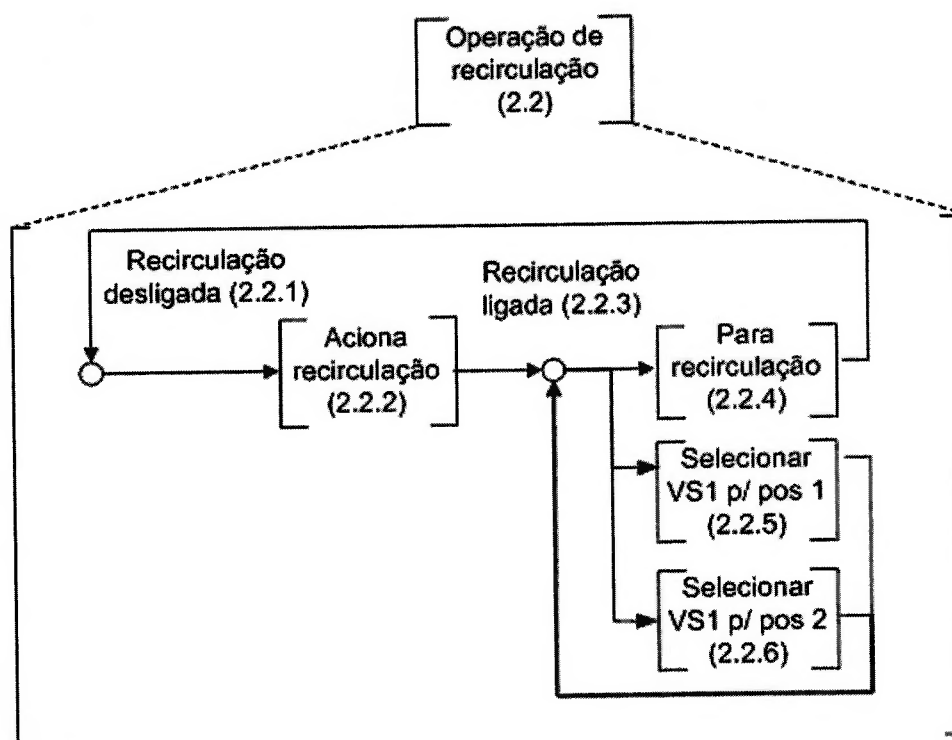


Figura B. 5 – Detalhamento da atividade [Operação de recirculação (2.2)].

[Operação pressurização (2.3)] – esta **atividade** controla o circuito de pressurização de óleo hidráulico. Ela inicialmente está desligada (**distribuidor** (Pressurização desligada (2.3.1))) (Figura B. 6). Se o nível suficiente de óleo hidráulico no tanque for suficiente (N1) e for comandado o início da operação, abre-se válvula 2 (**atividade** [Abre V2 (2.3.2)]) e permanece-se no estado de espera (**distribuidor** (Pressurização em espera (2.3.3))). Nesse estado, monitora-se as pressões nas linhas 1 e 2 (P4 e P5). Caso a pressão na linha 1 baixe, seleciona-se a válvula seletora (**atividade** [Seleciona VS3\_1 (2.3.4)]) para a respectiva linha e aciona-se o motor (**atividade** [aciona M2 (2.3.6)]) e permanece-se no estado de operação (**distribuidor** (Pressurizando Linha 1 (2.3.7))). Caso não seja necessária acionar a válvula VS3, esse comando não é executado (**atividade** [By-pass VS3\_1 (2.3.5)]). Quando a pressão for restabelecida, pára-se o motor M2 (**atividade** [Para M2\_1 (2.3.8)]) e volta-se ao estado de espera. Caso a pressão na linha 2 baixe, seleciona-se a válvula seletora (**atividade** [Seleciona VS3\_2 (2.3.9)]) para a respectiva linha e aciona-se o motor (**atividade** [aciona M2\_2 (2.3.11)]) e permanece-se no estado de operação (**distribuidor** (Pressurizando Linha 2 (2.3.12))). Caso não seja necessária

acionar a válvula VS3, esse comando não é executado (**atividade** [By-pass VS3\_2 (2.3.10)]). Quando a pressão for restabelecida, pára-se o motor M2 (**atividade** [Para M2\_2 (2.3.13)]) e volta-se ao estdo de espera.

Concomitantemente, é verificado se o comando de parada da pressurização foi acionado. Caso isso ocorra, pára-se M2, fecha-se V2 (**atividade** [Fecha V2 (2.3.14)]), voltando ao estado de pressurização desligada.

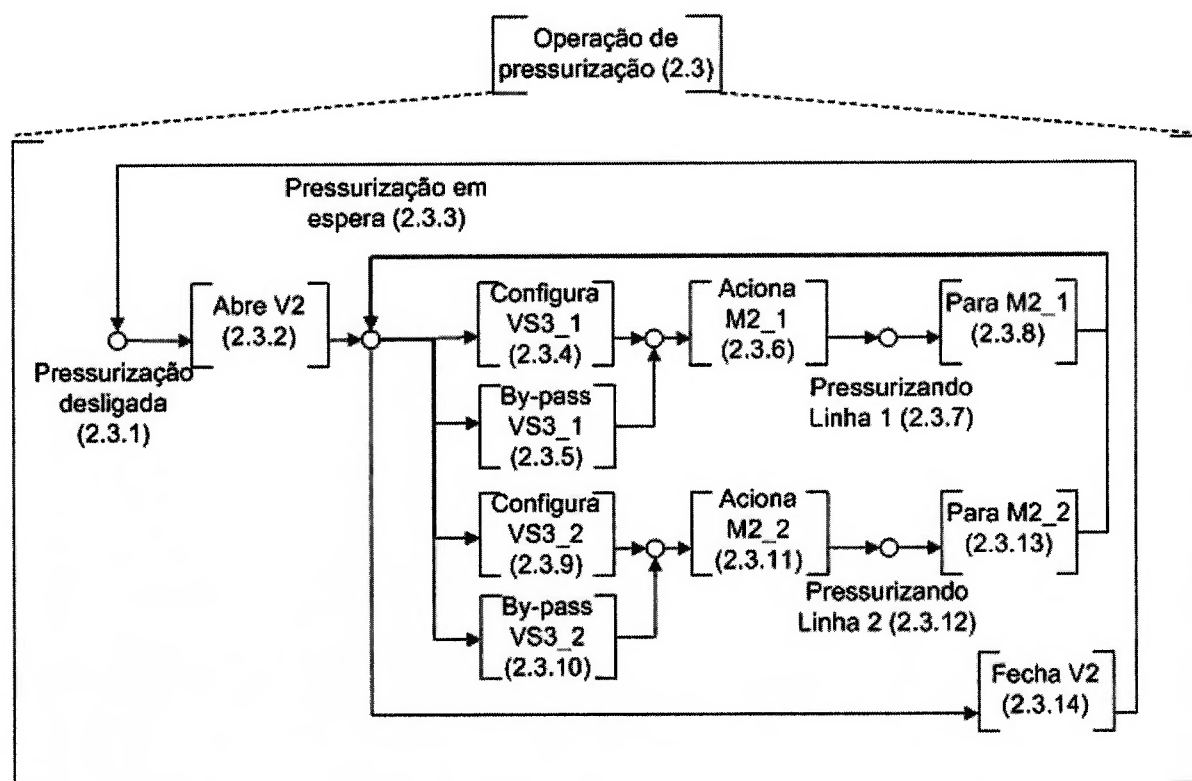


Figura B. 6 – Detalhamento em PFS da atividade [Operação de pressurização (2.3)].

[Gerenciamento de vv interagem c/ d+ subsistemas (2.4)] – esta **atividade** gerencia as válvulas utilizadas pelos demais subsistemas, as acionando quando necessário, e as válvulas que fazem a seleção entre as linhas de pressão (VS4, VS8, VS9, VS10 e VS11 da Figura B. 1). Ela é dividida em outras duas **atividades** que são mostradas na Figura B. 7 e são assim descritas:

- [Controle das válvulas (2.4.1)] – esta **atividade** recebe as solicitações dos demais subsistemas, via **atividade** de [pré-processamento (2.1)],

para abertura ou fechamento da válvula (**atividade** [Recebe solicitação(2.4.1.1)]). Em seguida, envia-se o comando para a válvula (**atividade** [Envia cmdo (2.4.1.2)]), aguarda a válvula ser aberta ou fechada (**atividade** [Recebe resposta (2.4.1.3)]) e envia a resposta ao subsistema (**atividade** [Responde solicitação (2.4.1.4)]), via **atividade** de [pré-processamento hidráulico (2.1)]. Esse procedimento é comum a todas as válvulas e é mostrado na Figura B. 8.

- [Controle linhas (2.4.2)] – esta atividade controla a linha de pressão que as válvulas estão ligadas. A priori, todas as válvulas devem estar ligadas a linha 1 (principal) e só deverão ser ligadas a linha 2 (secundária) caso a linha 1 encontra-se com uma pressão fora do padrão de operação. Inicialmente, as válvulas estão conectadas a linha 1 (**distribuidor** (Linha principal operando (2.4.2.1))). Caso a pressão fuja a normalidade, conectam-se as válvulas consumidoras a linha secundária (**atividade** [[Altera configuração para secundária (2.4.2.2)]] e assim permanecem (**distribuidor** (Linha secundária operando (2.4.2.3))). Quando a pressão volta a normalidade, conectam-se as válvulas consumidoras linha 1 novamente. Este procedimento é mostrado na Figura B. 9.

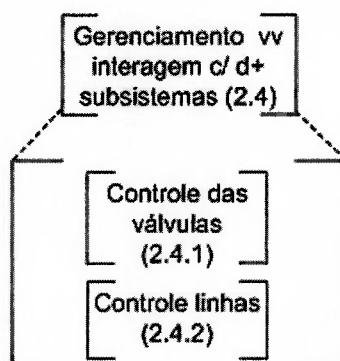


Figura B. 7 – Detalhamento em PFS da **atividade** [Gerenciamento de vv interagem c/ d+ subsistemas (2.4)].

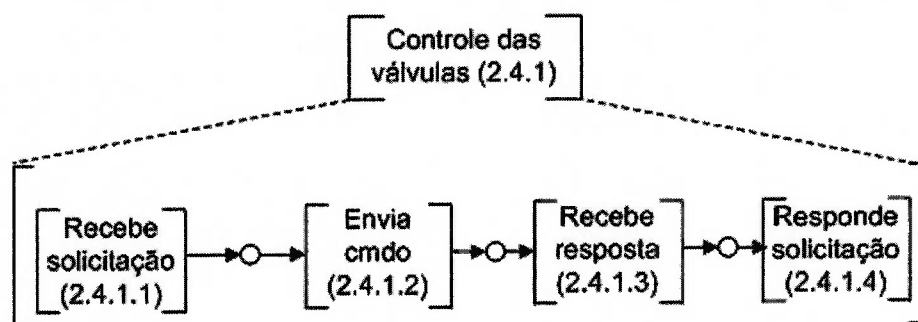


Figura B. 8 – Detalhamento em PFS da atividade [Controle com a válvula (2.4.1)].

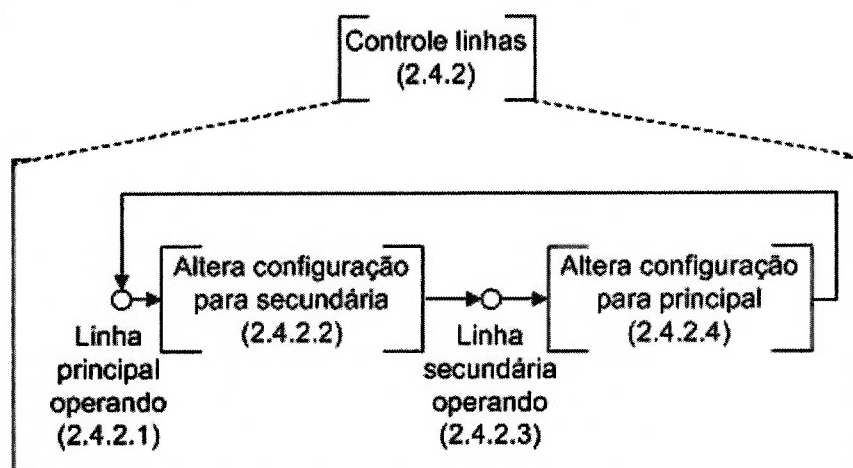


Figura B. 9 – Detalhamento em PFS da atividade [Controle linhas (2.4.2)].

Na Figura B. 10 é apresentada a atividade [Atuadores do grupo hidráulica com acionamento e desligamento pelo controlador] que permite que um dispositivo seja acionado e desligado por meio do controlador local.

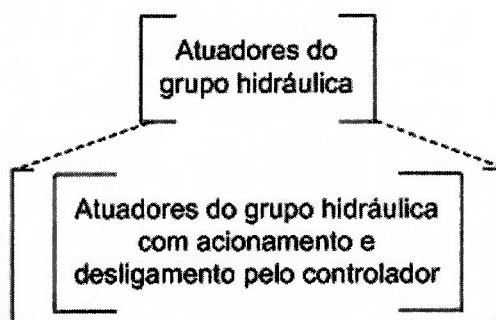


Figura B. 10 – Detalhamento da atividade [Atuadores do grupo hidráulica].

Na Figura B. 11 são apresentados os elementos do subsistema energia que exercem o papel de [Sensores do grupo hidráulica]. São eles:

- [Manômetro do grupo hidráulica] – **atividade** que realiza a leitura dos manômetros;
- [Sensor de fim de curso das válvulas on/off do grupo hidráulica] – **atividade** que indica se a válvula on/off está fechada ou não.
- [Indicador de nível do grupo hidráulica] – **atividade** que indica o nível de óleo hidráulico no tanque.
- [Sensor de fim de curso das válvulas seletoras do grupo hidráulica] – **atividade** que indica a posição da válvula seletora.



Figura B. 11 – Detalhamento da **atividade** [Sensores do grupo hidráulica].

A Figura B. 12 mostra a **atividade** [Dispositivo de comando do grupo hidráulica] que permite que o operador interaja com o controlador.

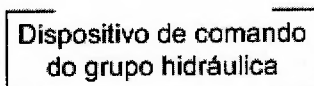


Figura B. 12 – **atividade** [Dispositivo de comando do grupo hidráulica].



### Passo 1.2.2 – Grupo ar comprimido

As funções desempenhadas pelo grupo ar comprimido (**atividade** [Grupo ar comprimido (3)]) são: pressurização das ampolas de ar comprimido (**atividade** [Pressurização das ampolas (3.2)]), gerenciamento do consumo do ar das ampolas (**atividade** [Consumo do ar (3.3)]), gerenciamento das válvulas de ar comprimido que interagem com os demais subsistemas (**atividade** [Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)]) e a **atividade** [Pré-processamento ar comprimido (3.1)] , que interage com as demais funções e cujo conceito foi descrito no capítulo 3 (Figura B. 13).

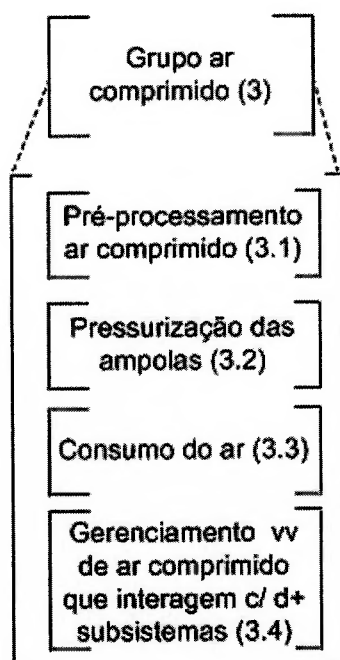


Figura B. 13 – Modelo em PFS da **atividade** [Ar comprimido (3)].

Cada uma dessas **atividades** são descritas a seguir:

[Pré-processamento ar comprimido (3.1)] – esta **atividade** representa as funções que realizam a leitura e a escrita dos sinais externos do grupo de ar comprimido (Figura B. 14). No presente estudo de caso considera-se que essa **atividade** é constituída de outras cinco atividades que são descritas a seguir:

- [Entrada digital ar comprimido (3.1.1)] – esta **atividade** faz a leitura dos dados de natureza discreta e os armazena por um determinado período de tempo;
- [Entrada analógica ar comprimido (3.1.2)] – esta **atividade** faz a leitura dos dados de natureza analógica, os discretiza em cinco níveis: muito baixo, baixo, normal, alto e muito alto e os armazena por um determinado período de tempo;
- [Saída digital ar comprimido (3.1.3)] – esta **atividade** processa os sinais oriundos do controle e os envia para os atuadores.
- [Módulo de solicitação ar comprimido (3.1.4)] – esta **atividade** realiza as solicitações aos demais controladores locais.
- [Módulo de resposta ar comprimido (3.1.5)] – esta **atividade** responde as solicitações dos demais controladores locais.

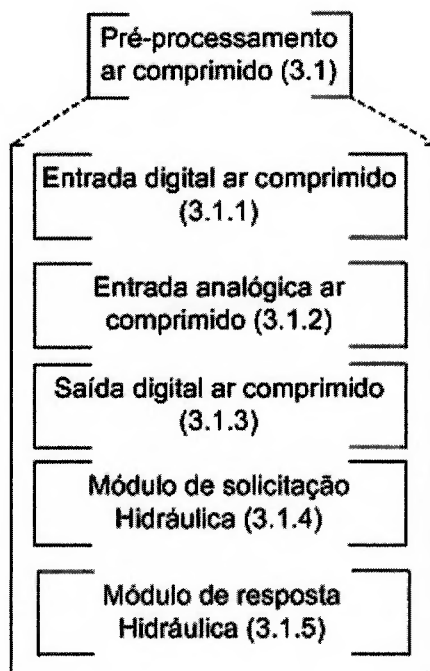


Figura B. 14 – Modelo em PFS da **atividade** [Pré-processamento ar comprimido (3.1)].

[Pressurização das ampolas (3.2)] – esta **atividade** controla a pressão nos conjuntos de ampolas (Figura B. 15). Ela é dividida em duas partes. A primeira

(**atividade** [Pressurização das ampolas do grupo 1 e 3 (3.2.1)]) pressuriza os grupos de ampolas 1 e 3 e a seguinte (**atividade** [Pressurização das ampolas do grupo 2 e 4 (3.2.2)]) pressuriza os grupos de ampolas 2 e 4. Ambas possuem o mesmo funcionamento e no presente texto será descrita a **atividade**.(3.2.1) Inicialmente o compressor 1 está desligado e se monitora as pressões nos grupos de ampolas 1 e 3 (**distribuidor** (Compressor 1 desligado (3.2.1.1))). Quando a pressão de algum grupo de ampolas fica baixa, configuram-se as válvulas para o modo de pressurização (**atividade** [Config vv grupo 1 (3.2.1.2)] para o grupo 1 e **atividade** [Config vv grupo 3 (3.2.1.7)] para o grupo 3) e aciona-se o compressor 1 (**atividade** [Aciona compres 1\_1 (3.2.1.3)] para o grupo 1 e **atividade** [Aciona compres 1\_3 (3.2.1.8)] para o grupo 3). Nesse ponto, permanece-se pressurizando os grupos de ampolas até que suas pressões atinjam o ponto considerado alto (**distribuidor** (Pressurização do grupo 1 (3.2.1.4)) e **distribuidor** (Pressurização do grupo 3 (3.2.1.9))). Quando a pressão chegar ao nível considerado alto, pare-se o compressor (**atividade** [Encerra compres 1\_1 (3.2.1.5)] para o grupo 1 e **atividade** [Encerra compres 1\_3 (3.2.1.10)] para o grupo 3) e encerra-se a pressurização (**atividade** [Encerra a press em 1 (3.2.1.6)] para o grupo 1 e **atividade** [Encerra a press em 3 (3.2.1.11)] para o grupo 3).

[Consumo do ar (3.3)] – esta **atividade** controla quais os conjuntos de ampolas estão fornecendo ar comprimido para os consumidores (Figura B. 16). Ela é dividida em duas partes. A primeira (**atividade** [Consumo do ar do grupo 1 e 2 (3.3.1)]) fornece para os consumidores situados em um determinado bordo da embarcação e a seguinte (**atividade** [Consumo do ar do grupo 3 e 4 (3.3.2)]) fornece ar comprimido para os consumidores situados no outro bordo. Ambas possuem o mesmo funcionamento e no presente texto será descrita a **atividade**.(3.3.1) Inicialmente o grupo 1 está fornecendo ar comprimido para os consumidores (**distribuidor** (Grupo 1 fornecendo (3.3.1.1))). Quando a sua pressão fica baixa, o grupo de ampolas 2 é acionado para fornecer ar comprimido (**atividade** [Aciona grupo 2 (3.3.1.2)]). O grupo 2 permanece fornecendo ar comprimido até sua pressão chegar a um ponto considerado baixo (**distribuidor** (Grupo 2 fornecendo (3.3.1.3))),

quando, nesse momento, o grupo de ampolas 1 é acionado novamente para fornecer ar comprimido (**atividade** [Aciona grupo 1 (3.3.1.4)]).

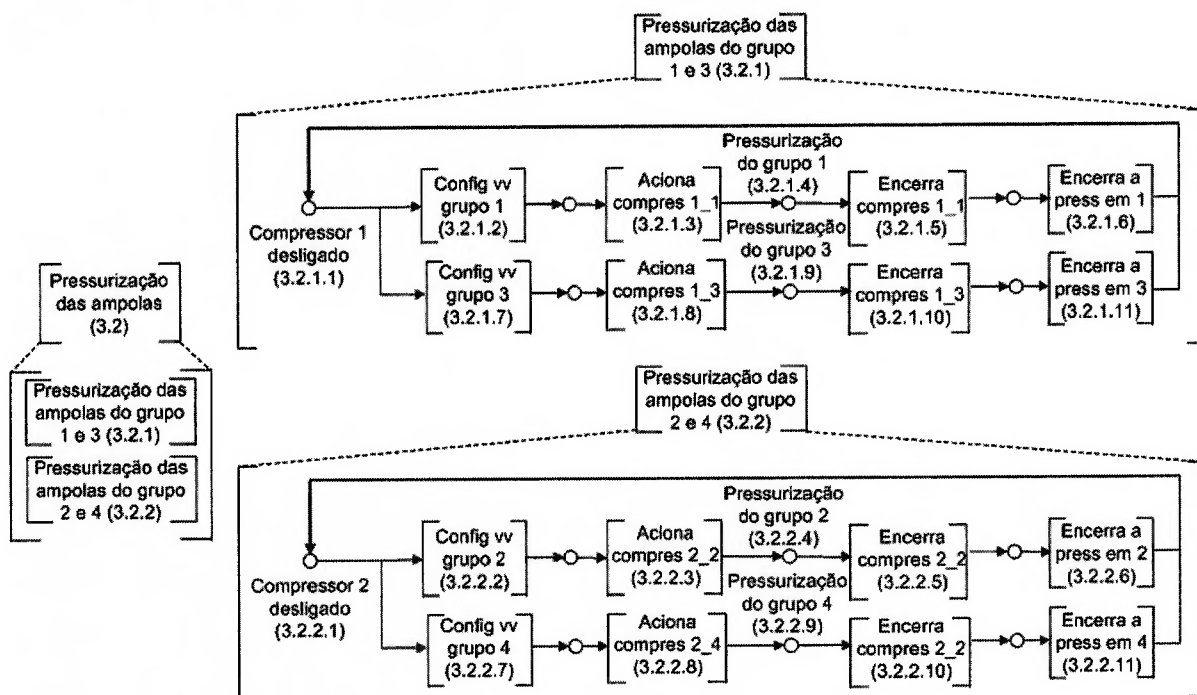


Figura B. 15 – Modelo em PFS da atividade [Pressurização das ampolas (3.2)].

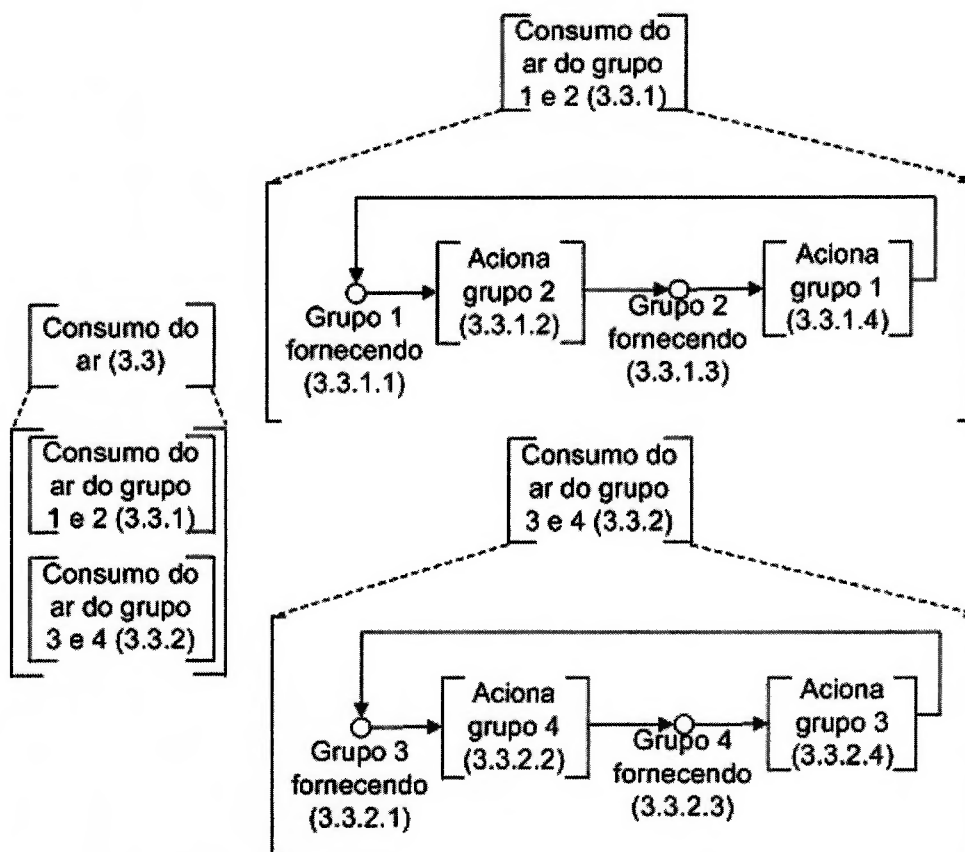


Figura B. 16 – Modelo em PFS da atividade [Consumo do ar (3.3)].

[Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)] – esta **atividade** gerencia as válvulas utilizadas pelos demais subsistemas, as acionando quando necessário (V45, V46, V47 e V48 da Figura B. 2). Esta **atividade** recebe as solicitações dos demais subsistemas, via **atividade** de [pré-processamento (3.1)], para abertura ou fechamento da válvula (**atividade** [AC Recebe solicitação (3.4.1)]). Em seguida, envia o comando para a válvula (**atividade** [AC Envia comando (3.4.3)]), aguarda a válvula ser aberta ou fechada (**atividade** [AC Recebe resposta (3.4.4)]) e envia a resposta ao subsistema que solicitou o acionamento (**atividade** [AC Responde solicitação (3.4.5)]), via **atividade** de [pré-processamento (3.1)]. Esse procedimento é comum a todas as válvulas e é mostrado na Figura B. 17.

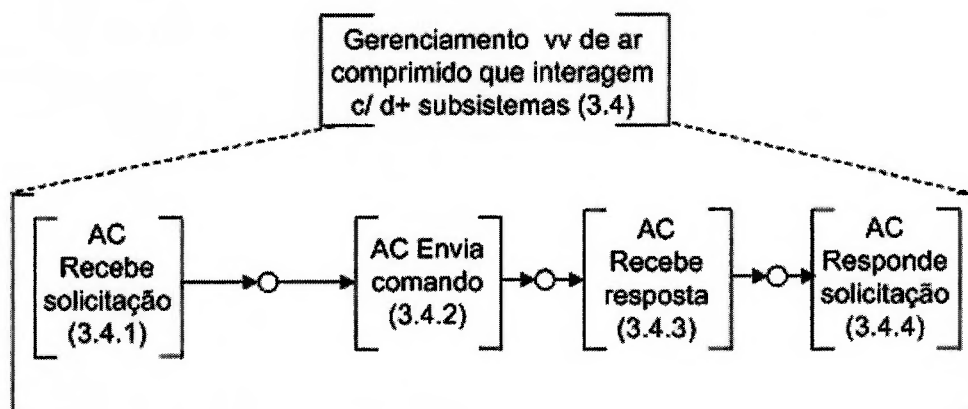


Figura B. 17 – Modelo em PFS da **atividade** [Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)].

Na Figura B. 18 é apresentada a **atividade** [Atuadores do ar comprimido com acionamento e desligamento pelo controlador] que permite que um dispositivo seja acionado e desligado por meio do controlador local.

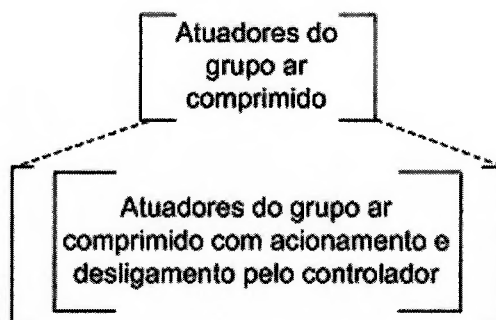


Figura B. 18 – Detalhamento da **atividade** [Atuadores do grupo ar comprimido].

Na Figura B. 19 são apresentados os elementos do subsistema energia que exercem o papel de [Sensores do grupo ar comprimido]. São eles:

- [Manômetro do grupo ar comprimido] – **atividade** que realiza a leitura dos manômetros;
- [Sensor de fim de curso das válvulas on/off do grupo ar comprimido] – **atividade** que indica se a válvula on/off está fechada ou não.

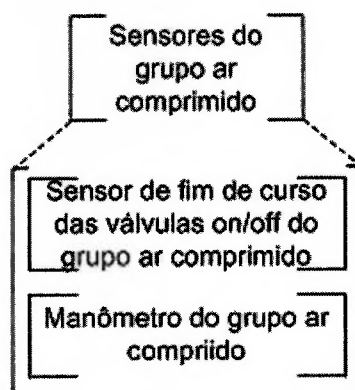


Figura B. 19 – Detalhamento da atividade [Sensores do grupo ar comprimido].

A Figura B. 20 mostra a **atividade** [Dispositivo de comando do grupo ar comprimido] que permite que o operador interaja com o controlador.

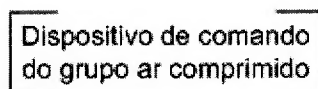


Figura B. 20 – Atividade [Dispositivo de comando do grupo ar comprimido].

### B.1.3 PASSO 1.3 – MODELAGEM DOS ELEMENTOS BÁSICOS EM RDP

#### Passo 1.3.1 – Grupo hidráulica

Neste passo, os modelos do grupo hidráulica já detalhados com o PFS são refinados utilizando a RdP.

O modelo em RdP da atividade [Operação de recirculação (2.2)] é mostrado na Figura B. 21 e a sua descrição é feita na Tabela B. 1, na Tabela B. 2, na Tabela B. 3, na Tabela B. 4 e na Tabela B. 5.

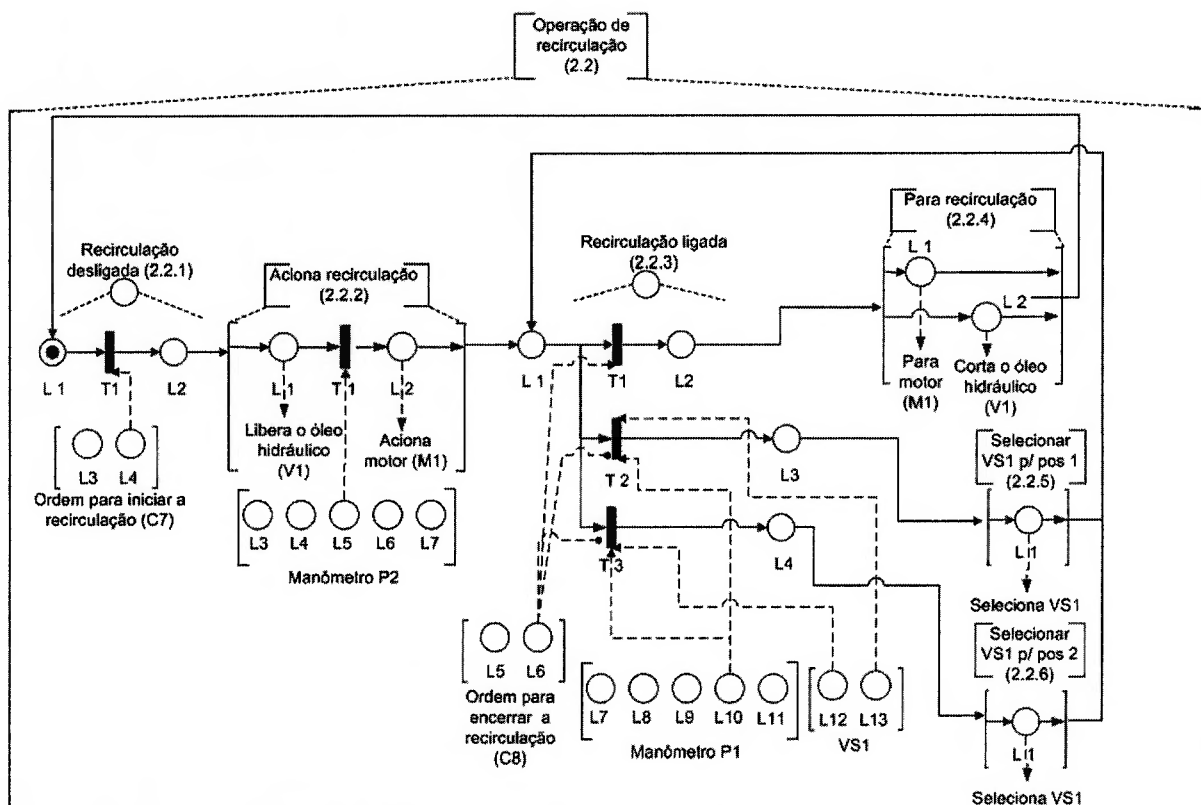


Figura B. 21 – Modelo em RdP da atividade [Operação de recirculação (2.2)] da Figura B. 5.

Tabela B. 1 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Recirculação desligada (2.2.1)) da Figura B. 21.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o circuito de recirculação está desligado
L2	Indica que foi habilitado o início da recirculação
L3	Estado do pré-processamento que indica que não foi recebido o comando para iniciar a operação de recirculação (C7)
L4	Estado do pré-processamento que indica que foi recebido o comando para iniciar a operação de recirculação (C7)
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o início da operação de recirculação.

Tabela B. 2 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Aciona recirculação (2.2.2)] da Figura B. 21.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na atividade [pré-processamento hidráulico] para comandar a abertura da válvula V1 que libera o óleo hidráulico para o circuito de recirculação 1
L2	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na atividade [pré-processamento hidráulico] para comandar o acionamento do motor M1
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão em P2 é muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão em P2 é baixa



L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão em P2 é normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão em P2 é alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão em P2 é muito alta
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que a pressão no manômetro P2 está normal. É habilitada pelo lugar (L5).

Tabela B. 3 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recirculação ligada (2.2.3)) da Figura B. 21.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a recirculação está ligada
L2	Indica que foi habilitado o encerramento da recirculação
L3	Indica que a pressão em P1 está alta e que a válvula VS1 está na posição 2
L4	Indica que a pressão em P1 está alta e que a válvula VS1 está na posição 1
L5	Estado do pré-processamento que indica que não foi recebido o comando para encerrar a operação de recirculação (C8)
L6	Estado do pré-processamento que indica que foi recebido o comando para encerrar a operação de recirculação (C8)
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P1 está muito baixa
L8	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P1 está baixa
L9	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P1 está normal
L10	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P1 está alta
L11	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P1 está muito alta
L12	Estado do pré-processamento que indica que a válvula VS1 está na posição 1
L13	Estado do pré-processamento que indica que a válvula VS1 está na posição 2
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	Transição que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da recirculação. É habilitada pelo lugar (L5)
T2	Transição que representa a chegada do sinal informando que a pressão no manômetro P1 está alta e a válvula VS1 está na posição 2. É habilitada pelos lugares (L10) e (L13). É inibida pelo lugar (L6)
T3	Transição que representa a chegada do sinal informando que a pressão no manômetro P1 está alta e a válvula VS1 está na posição 1. É habilitada pelos lugares (L10) e (L12). É inibida pelo lugar (L6)

Tabela B. 4 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Para recirculação (2.2.4)] da Figura B. 21.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na atividade [pré-processamento hidráulico] para comandar a parada do motor M1
L2	Lugar que habilita a escrita na atividade [pré-processamento hidráulico] para comandar o fechamento da válvula V1 que libera o óleo hidráulico para o circuito de recirculação 1

Tabela B. 5 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Selecionar VS1 (2.2.5)] da Figura B. 21.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na atividade [pré-processamento hidráulico] para alterar a posição da válvula VS1

O modelo em RdP da atividade [Pressurização normal] é mostrado na Figura B. 22 e a sua descrição é feita na Tabela B. 6, na Tabela B. 7, na Tabela B. 8, na Tabela B. 9, na Tabela B. 10, na Tabela B. 11, na Tabela B. 12, na Tabela B. 13, na Tabela B. 14, na Tabela B. 15, na Tabela B. 16, na Tabela B. 17, na Tabela B. 18 e na Tabela B. 19.

Tabela B. 6 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurização desligada (2.3.1)) da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o circuito de pressurização está desligado
L2	Indica que foi habilitada a inicialização do circuit de pressurização
L3	Estado do pré-processamento que indica que não foi recebido o comando para iniciar a operação de pressurização (C9)
L4	Estado do pré-processamento que indica que foi recebido o comando para iniciar a operação de pressurização (C9)
L5	Estado do pré-processamento que indica que o nível de óleo hidráulico está muito baixo (N1)
L6	Estado do pré-processamento que indica que o nível de óleo hidráulico está baixo (N1)
L7	Estado do pré-processamento que indica que o nível de óleo hidráulico está normal (N1)
L8	Estado do pré-processamento que indica que o nível de óleo hidráulico está alto (N1)
L9	Estado do pré-processamento que indica que o nível de óleo hidráulico está muito alto (N1)
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	Transição que representa a chegada do sinal ordenando o início da operação de pressurização. É habilitada pelos lugares (L4) e (L7)

Tabela B. 7 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Abre V2 (2.3.2)] da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V2

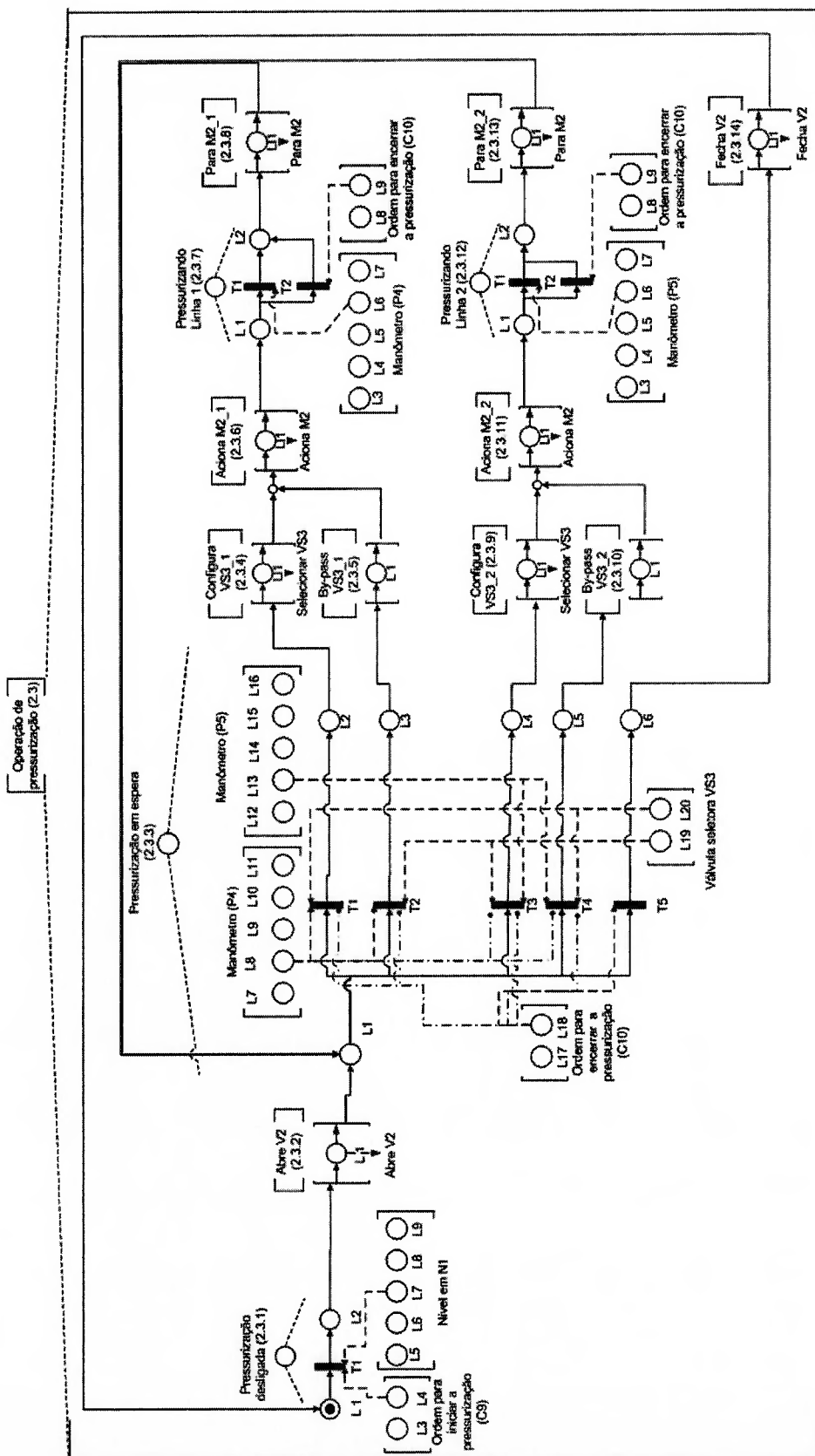


Figura B. 22 – Modelo em RdP da atividade [Operação de pressurização] da Figura B. 6.

Tabela B. 8 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Pressurização em espera (2.3.3)) da Figura B. 22.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o circuito de pressurização está no modo de espera
L2	Indica que a pressurização da linha 1 está baixa e a válvula VS3 encontra-se configurada para a posição da linha 2
L3	Indica que a pressurização da linha 1 está baixa e a válvula VS3 encontra-se configurada para a posição da linha 1
L4	Indica que a pressurização da linha 2 está baixa e a válvula VS3 encontra-se configurada para a posição da linha 1
L5	Indica que a pressurização da linha 2 está baixa e a válvula VS3 encontra-se configurada para a posição da linha 2
L6	Indica que foi ordenado o encerramento da operação de pressurização
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito baixa
L8	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está baixa
L9	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está normal
L10	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está alta
L11	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito alta
L12	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito baixa
L13	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está baixa
L14	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está normal
L15	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está alta
L16	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito alta
L17	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
L18	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
L19	Estado do pré-processamento que indica que a válvula seletora VS3 está conectada a linha 1
L20	Estado do pré-processamento que indica que a válvula seletora VS3 está conectada a linha 2
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 1 está baixa e que a válvula VS3 está direcionada para linha 2. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L8) e (L20). É inibida pelo lugar (L18)
T2	Transição que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 1 está baixa e que a válvula VS3 está direcionada para linha 1. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L8) e (L19). É inibida pelo lugar (L18)
T3	Transição que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 2 está baixa e que a válvula VS3 está direcionada para linha 1. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L13) e (L19). É inibida pelo lugar (L18)
T4	Transição que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 2 está baixa e que a válvula VS3 está direcionada para linha 2. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L13) e (L20). É inibida pelo lugar (L18)
T5	Transição que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização

Tabela B. 9 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Configura VS3\_1 (2.3.4)] da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar a válvula VS3

Tabela B. 10 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [By-pass VS3\_1 (2.3.5)] da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a válvula VS3 não necessita ser acionada

Tabela B. 11 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Aciona M2\_1 (2.3.6)] da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar o motor M2

Tabela B. 12 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurizando Linha 1 (2.3.7)) da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a linha 1 está sendo pressurizada
L2	Indica que foi habilitada o encerramento da pressurização da linha 1
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito alta
L8	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
L9	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 1 está alta. É habilitada pelos lugar (L6)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização

Tabela B. 13 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Para M2\_1 (2.3.8)] da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para parar o motor M2

Tabela B. 14 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Configura VS3\_2 (2.3.9)] da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar a válvula VS3

Tabela B. 15 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [By-pass VS3\_2 (2.3.10)] da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a válvula VS3 não necessita ser acionada

Tabela B. 16 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Aciona M2\_2 (2.3.11)] da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar o motor M2

Tabela B. 17 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurizando Linha 2 (2.3.12)) da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a linha 2 está sendo pressurizada
L2	Indica que foi habilitado o encerramento da pressurização da linha 2
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito alta
L8	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
L9	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 2 está alta. É habilitada pelos <u>lugar</u> (L6)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização

Tabela B. 18 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Para M2\_2 (2.3.13)] da Figura B. 22.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para parar o motor M2

Tabela B. 19 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Fecha V2 (2.3.2)] da Figura B. 22.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na atividade [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V2

O modelo em RdP das atividade [Controle das válvulas (2.4.1)] é mostrado na Figura B. 23 a sua descrição é feita na Tabela B. 20, na Tabela B. 21, na Tabela B. 22e na Tabela B. 23. O modelo em RdP das atividades [Controle linhas (2.4.2)] é mostrado na Figura B. 24 e respectivamente e a sua descrição é feita na Tabela B. 24, na Tabela B. 25, na Tabela B. 26 e na Tabela B. 27.

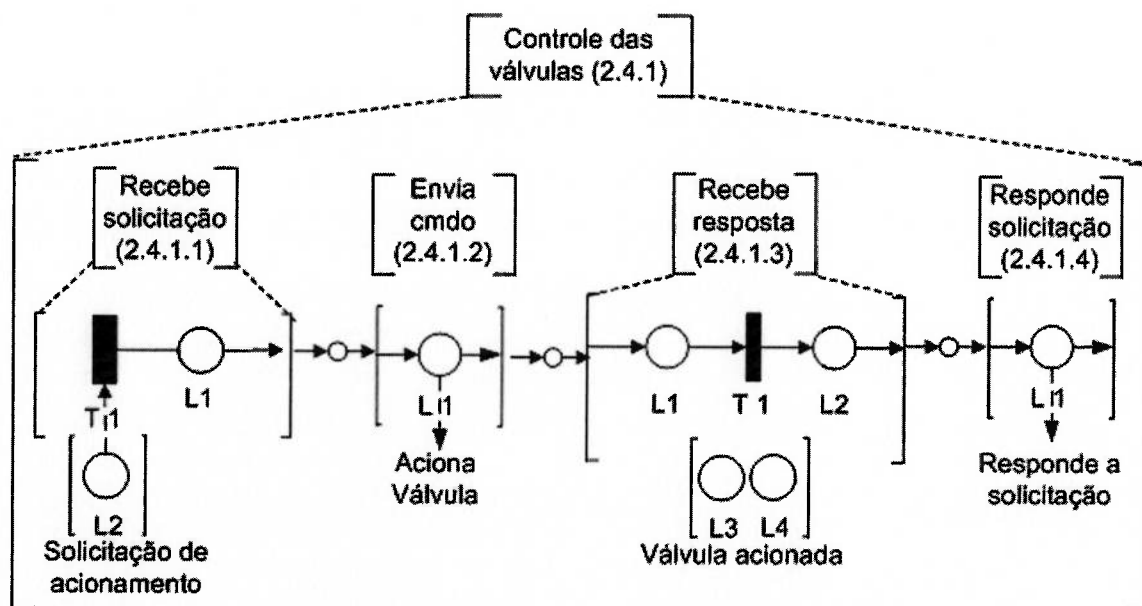


Figura B. 23 – Modelo em RdP da atividade [Controle das válvulas (2.4.1)] da Figura B. 8.

Tabela B. 20 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Recebe solicitação (2.4.1.1)] da Figura B. 23.

Lugar	Descrição
L1	Indica que uma solicitação de acionamento foi feita por outro controlador local
L2	Estado do pré-processamento que indica que foi solicitado o acionamento da válvula
Transição	Descrição
T1	Transição que habilita o processo para o acionamento da válvula. É habilitada pelo lugar (L2).

Tabela B. 21 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Envia cmdo (2.4.1.2)] da Figura B. 23.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na atividade [pré-processamento] para comandar o o acionamento da válvula

Tabela B. 22 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Recebe resposta (2.4.1.3)] da Figura B. 23.

Lugar	Descrição
L1	Indica que se está esperando o acionamento do dispositivo
L2	Indica que o dispositivo foi acionada totalmente
L3	Estado do pré-processamento que indica que a válvula está aberta ou que o motor está parado.
L4	Estado do pré-processamento que indica que a válvula está fechada ou que o motor está operando.
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando o acionamento da válvula ou motor. É habilitada pelo lugar (L3) ou pelo (L4) dependendo da situação.

Tabela B. 23 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Responde solicitação (2.4.1.4)] da Figura B. 23.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na atividade [pré-processamento] para responder a solicitação do outro controlador local.

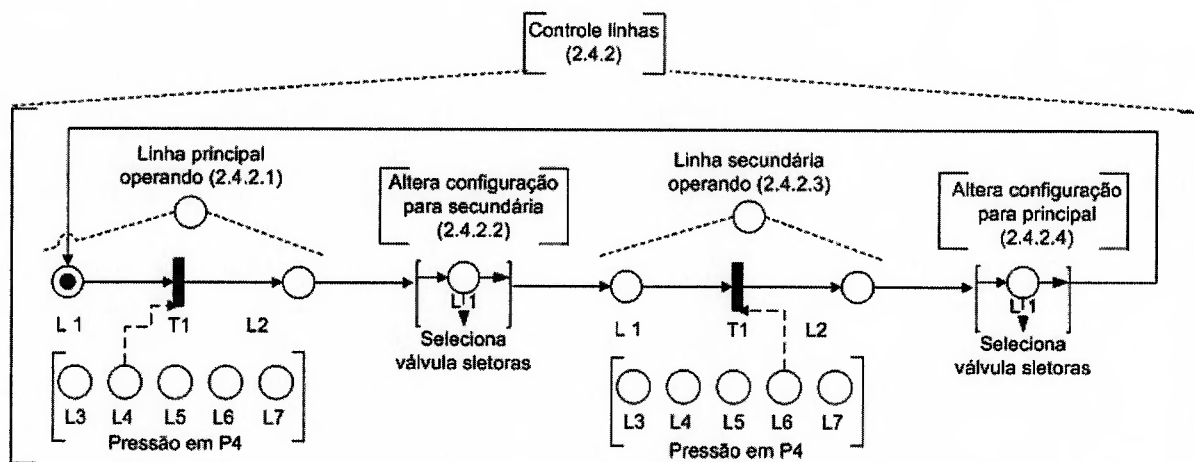


Figura B. 24 – Modelo em RdP da atividade [Controle linhas (2.4.2)] da Figura B. 9.

Tabela B. 24 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Linha principal operando (2.4.2.1)) da Figura B. 24.

Lugar	Descrição
L1	Indica que os consumidores de óleo hidráulico estão ligados a linha 1
L2	Indica que a pressão na linha 1 está baixa
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito baixa



L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito alta
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	Transição que representa a chegada do sinal indicando baixa pressão na linha 1. É habilitada pelo lugar (L4)

Tabela B. 25 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Altera configuração para secundária (2.4.2.2)] da Figura B. 24.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar a válvula seletora

Tabela B. 26 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Linha secundária operando (2.4.2.3)) da Figura B. 24.

Lugar	Descrição
L1	Indica que os consumidores de óleo hidráulico estão ligados a linha 2
L2	Indica que a pressão na linha 1 está alta
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito alta
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	Transição que representa a chegada do sinal indicando alta pressão na linha 1. É habilitada pelo lugar (L6)

Tabela B. 27 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Altera configuração para principal (2.4.2.4)] da Figura B. 24.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar a válvula seletora

O modelo em RdP das **atividade** [Pré-processamento hidráulica (2.1)] é mostrado na Figura B. 25. A **atividade** [Entrada digital Hidráulica (2.1.1)] é similar a **atividade** (1.6.1). A **atividade** [Entrada analógica Hidráulica (2.1.2)] é similar a **atividade** (1.6.2). A **atividade** [Saída digital Hidráulica (2.1.3)] é similar a **atividade** (1.6.3). A **atividade** [Módulo de solicitação Hidráulica (2.1.4)] é similar a **atividade** (1.6.4). A descrição da **atividade** [Módulo de resposta Hidráulica (2.1.5)] é feita na Tabela B. 28.

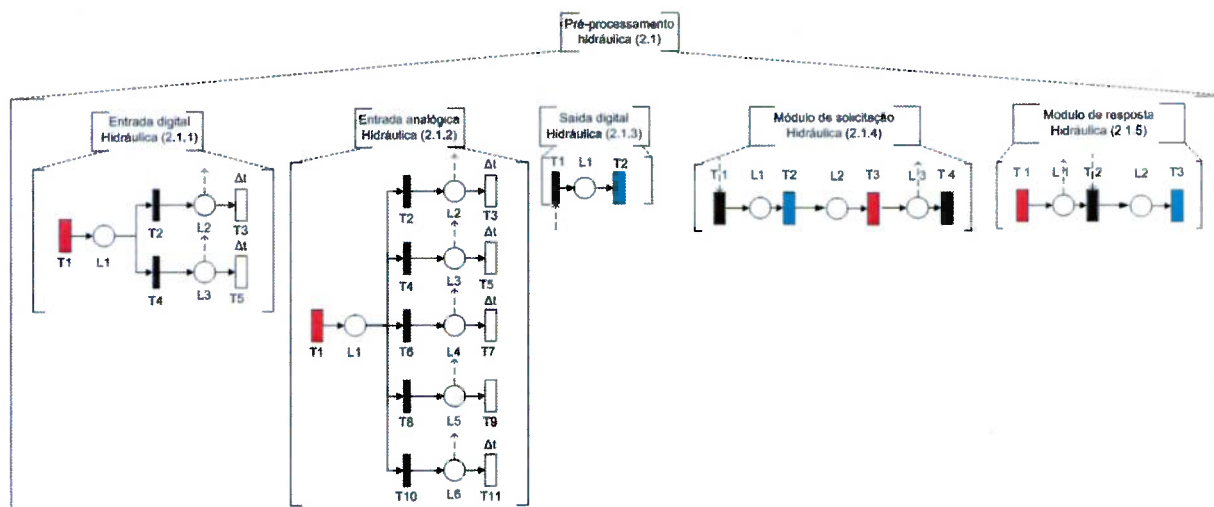


Figura B. 25 – Modelo em RdP da atividade [Pré-processamento hidráulica (2.1)].

Tabela B. 28 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da atividade [Módulo de resposta Hidráulica (2.1.5)] da Figura B. 25.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a comunicação com a atividade [Controle das válvulas (2.4.1)] iniciando o processo de acionamento da válvula
L2	Indica que a válvula já foi acionada
Transição	Descrição
T1	Transição requisitada que indica o recebimento da solicitação
T2	Transição que representa a chegada do sinal informando que a válvula já foi acionada
T3	Transição requisitante que responde a solicitação do outro controlador local

A atividade [Atuadores do grupo hidráulica com acionamento e desligamento pelo controlador] é similar a atividade [Atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador]. Ela é mostrada na Figura 4-32.

O modelo em RdP da atividade [Dispositivo de comando do grupo hidráulica] é idêntico ao mostrado na Figura 4-35.

O modelo em RdP da atividade [Sensores do grupo hidráulica] é idêntico ao mostrado na Figura 4-36. Esse modelo é válido para as quatro atividades [Sensor de fim de curso das válvulas on/off do grupo hidráulica], [Manômetro do grupo hidráulica], [Indicador de nível do grupo hidráulica] e [Sensor de fim de curso das válvulas seletoras do grupo hidráulica].

### Passo 1.3.2 – Grupo ar comprimido

Neste passo, os modelos do grupo ar comprimido já detalhados com o PFS são refinados utilizando a RdP.

O modelo em RdP das **atividade** [Pré-processamento ar comprimido (3.1)] é idêntico ao mostrado na Figura B. 25 (**atividade** [Pré-processamento hidráulica (2.1)]). A única diferença é alteração dos nomes das **atividades** de [Entrada digital Hidráulica (2.1.1)] para [Entrada digital ar comprimido (3.1.1)], de [Entrada analógica Hidráulica (2.1.2)] para [Entrada analógica ar comprimido (3.1.2)], de [Saída digital Hidráulica (2.1.3)] para [Saída digital ar comprimido (3.1.3)], de [Módulo de solicitação Hidráulica (2.1.4)] para [Módulo de solicitação ar comprimido (3.1.4)] e de [Módulo de resposta Hidráulica (2.1.5)] para [Módulo de resposta ar comprimido (3.1.5)].

O modelo em RdP da **atividade** [Pressurização das ampolas (3.2)] é mostrado por meio da na **atividade** [Pressurização das ampolas do grupo 1 e 3 (3.2.1)] na Figura B. 26. Isto é feito dessa forma porque a atividade [Pressurização das ampolas do grupo 2 e 4 (3.2.2)] possui a mesma lógica que a **atividade** (3.2.1). A descrição é feita na Tabela B. 29, na Tabela B. 30, na Tabela B. 31, na Tabela B. 32, na Tabela B. 33, na Tabela B. 34, na Tabela B. 35, na Tabela B. 36, na Tabela B. 37, na Tabela B. 38 e na Tabela B. 39.

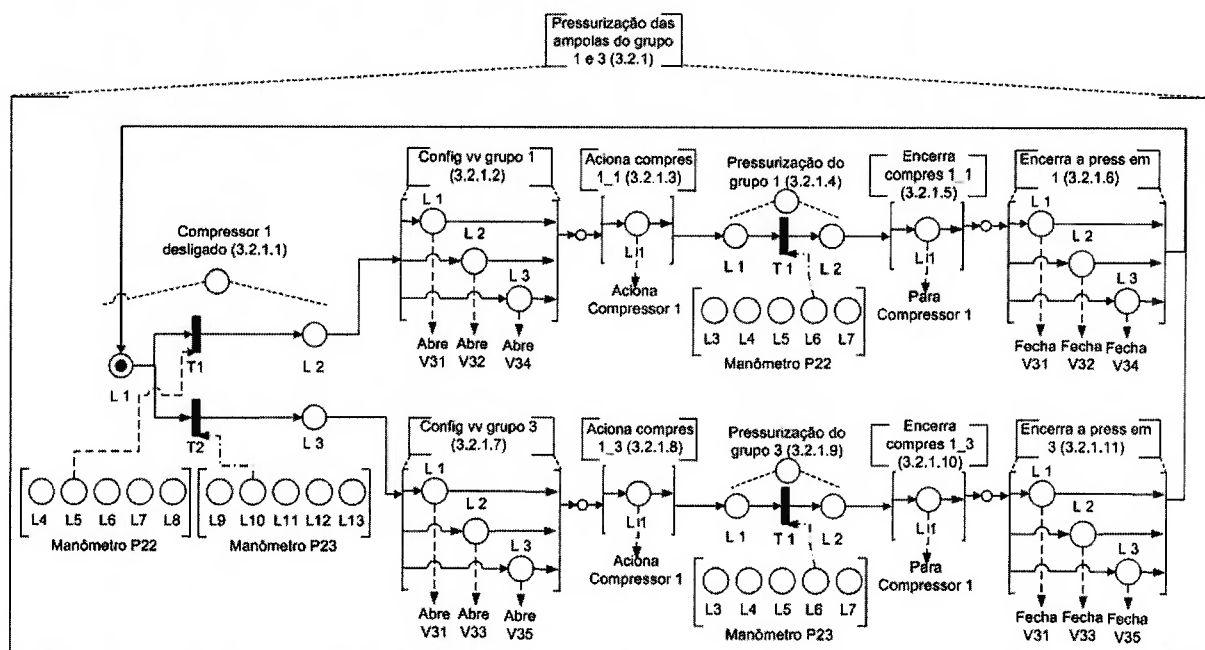


Figura B. 26 – Modelo em RdP da atividade [Pressurização das ampolas do grupo 1 e 3 (3.2.1)] da Figura B. 15.

Tabela B. 29 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Compressor 1 desligado (3.2.1.1)) da Figura B. 26.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o compressor 1 está desligado
L2	Indica que a pressão no grupo de ampolas 1 está baixa
L3	Indica que a pressão no grupo de ampolas 3 está baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está muito baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está baixa
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está normal
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está alta
L8	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está muito alta
L9	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P23 está muito baixa
L10	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P23 está baixa
L11	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P23 está normal
L12	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P23 está alta
L13	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P23 está muito alta
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal indicando baixa pressão no grupo de ampolas 1. É habilitada pelo lugar (L5)
T2	Transição que representa a chegada do sinal indicando baixa pressão no grupo de ampolas 3. É habilitada pelo lugar (L10)

Tabela B. 30 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Config vv grupo 1 (3.2.1.2)] da Figura B. 26.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V31
L2	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V32
L3	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V34

Tabela B. 31 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Aciona compres 1\_1 (3.2.1.3)] da Figura B. 26.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar o compressor 1 para pressurizar o grupo de ampolas 1

Tabela B. 32 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurização do grupo 1 (3.2.1.4)) da Figura B. 26.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o compressor 1 está ligado, pressurizando o grupo de ampolas 1
L2	Indica que a pressão no grupo de ampolas 1 está alta
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está muito alta
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal indicando alta pressão no grupo de ampolas 1. É habilitada pelo lugar (L6)

Tabela B. 33 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Encerra compres 1\_1 (3.2.1.5)] da Figura B. 26.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para parar o compressor 1

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.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V31
L2	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V32
L3	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V34

Tabela B. 35 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Config vv grupo 3 (3.2.1.7)] da Figura B. 26.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V31
L2	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V33
L3	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V35

Tabela B. 36 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Aciona compres 1\_3 (3.2.1.8)] da Figura B. 26.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar o compressor 1 para pressurizar o grupo de ampolas 3

Tabela B. 37 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurização do grupo 3 (3.2.1.9)) da Figura B. 26.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o compressor 1 está ligado, pressurizando o grupo de ampolas 3
L2	Indica que a pressão no grupo de ampolas 3 está alta
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P23 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P23 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P23 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P23 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P23 está muito alta
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal indicando alta pressão no grupo de ampolas 3. É habilitada pelo lugar (L6)

Tabela B. 38 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Encerra compres 1\_1 (3.2.1.5)] da Figura B. 26.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para parar o compressor 1

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.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V31
L2	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V33
L3	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V35

O modelo em RdP da **atividade** [Consumo do ar (3.3)] é mostrado por meio da **atividade** [Consumo do ar do grupo 1 e 2 (3.3.1)] na Figura B. 27. Isto é feito dessa forma porque a atividade [Consumo do ar do grupo 3 e 4 (3.3.2)] possui a mesma lógica que a **atividade** (3.3.1). A descrição é feita na Tabela B. 40, na Tabela B. 41, na Tabela B. 42 e na Tabela B. 43.

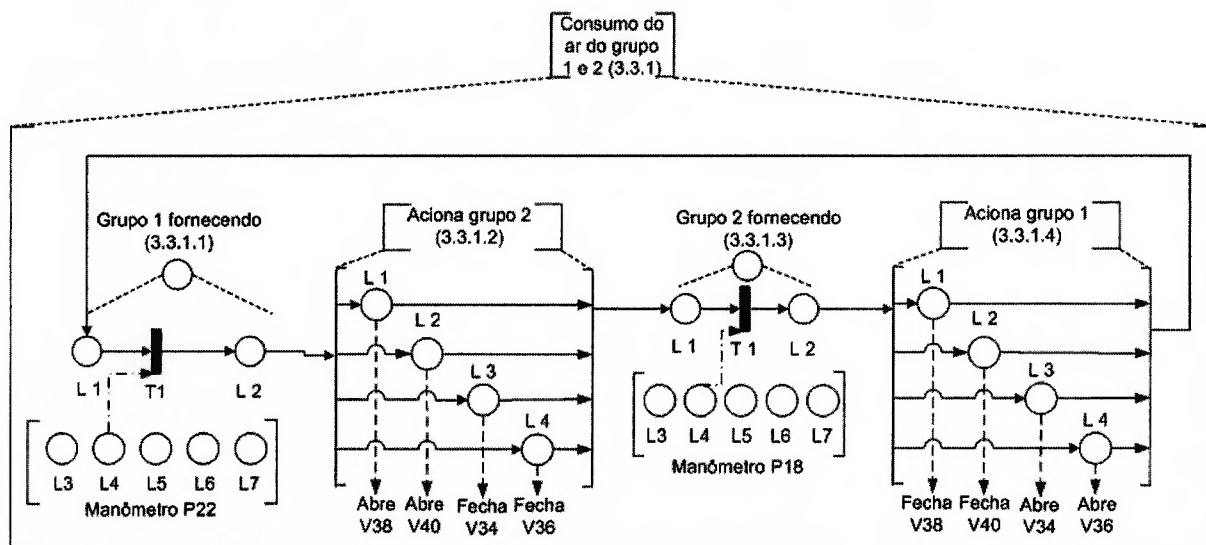


Figura B. 27 – Modelo em RdP da atividade [Consumo do ar do grupo 1 e 2 (3.3.1)] da Figura B. 16.

Tabela B. 40 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Grupo 1 fornecendo (3.3.1.1)) da Figura B. 27.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o grupo de ampolas 1 está fornecendo ar comprimido para os consumidores
L2	Indica que a pressão no grupo de ampolas 1 está baixa
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P22 está muito alta
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal indicando baixa pressão no grupo de ampolas 1. É habilitada pelo lugar (L4)

Tabela B. 41 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Aciona grupo 2 (3.3.1.2)] da Figura B. 27.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V38
L2	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V40
L3	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V34
L4	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V35

Tabela B. 42 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Grupo 2 fornecendo (3.3.1.3)) da Figura B. 27.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o grupo de ampolas 2 está fornecendo ar comprimido para os consumidores
L2	Indica que a pressão no grupo de ampolas 2 está baixa
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P18 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P18 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P18 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P18 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P18 está muito alta
Transição	Descrição
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal indicando baixa pressão no grupo de ampolas 2. É habilitada pelo lugar (L4)

Tabela B. 43 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Aciona grupo 2 (3.3.1.2)] da Figura B. 27.

Lugar	Descrição
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V38
L2	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V40
L3	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V34
L4	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V35

O modelo em RdP da **atividade** [Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)] é mostrado na Figura B. 28. O modelo é semelhante a **atividade** [Atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador]. Ela é mostrada na Figura 4-32.



O modelo em RdP da **atividade** [Dispositivo de comando do grupo ar comprimido] é idêntico ao mostrado na Figura 4-35.

O modelo em RdP da **atividade** [Sensores do grupo ar comprimido] é idêntico ao mostrado na Figura 4-36. Esse modelo é válido para as duas **atividades** [Sensor de fim de curso das válvulas on/off do grupo ar comprimido] e [Manômetro do grupo ar comprimido].

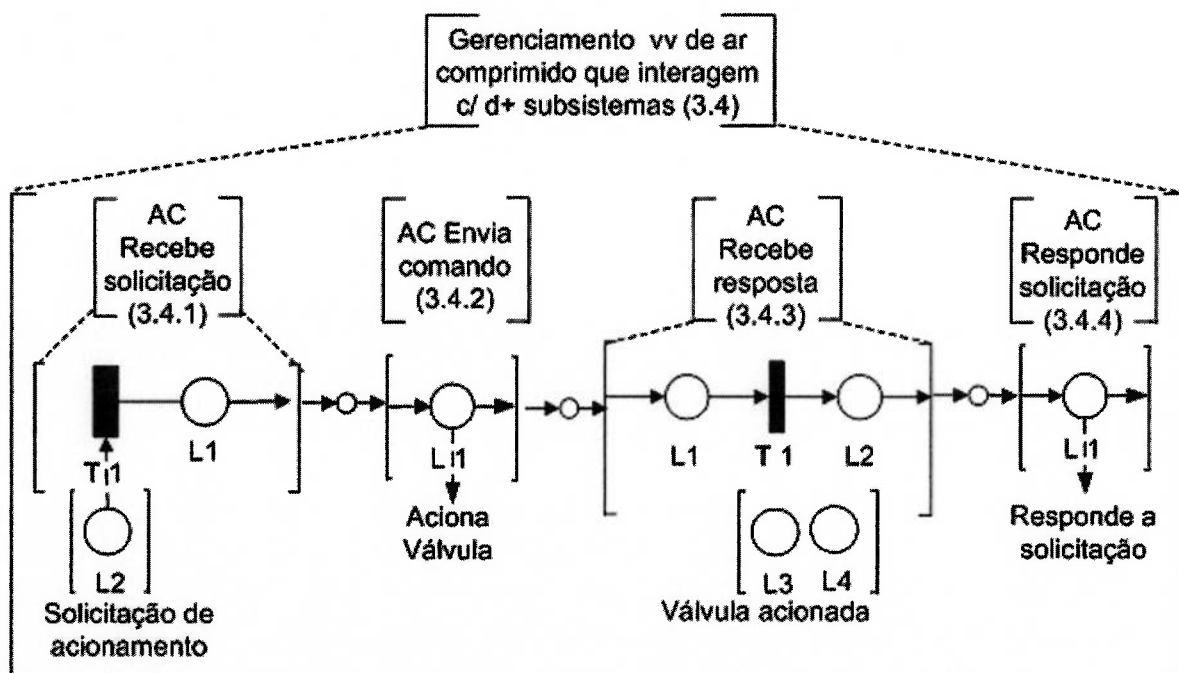


Figura B. 28 – Modelo em RdP da atividade [Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)] da Figura B. 17.

O modelo em RdP da **atividade** [Atuadores do ar comprimido com acionamento e desligamento pelo controlador] é semelhante ao mostrado na Figura 4-32.

## **B.2 PASSO 2 – MODELAGEM DAS CONDIÇÕES NÃO NORMAIS DE OPERAÇÃO**

### **B.2.1 PASSO 2.1 – ESCOPO: FALTA DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A BOMBA ELÉTRICA HIDRÁULICA (BHE) – (SITUAÇÃO 3)**

Caso falte energia elétrica para as BHEs, existe uma bomba hidráulica pneumática (BHP) para cada circuito de pressurização. A diferença é que elas aspiram

o óleo diretamente dos tanques de retorno, pois uma vez que não há energia elétrica para o circuito de pressurização, também não há para o circuito de recirculação.

Caso a BHE de um circuito falhe, as válvulas seccionadoras podem estabelecer a comunicação entre a linha do primeiro circuito com o do segundo, possibilitando, assim, a sua pressurização. Nesse caso, a comunicação é estabelecida diretamente pelo operador. Esse tipo de operação manual-remota, não é detalhado nesse trabalho.

### **B.2.2 PASSO 2.2 – REFINAMENTO SUCESSIVO E IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS BÁSICOS DO SISTEMA E SEUS RELACIONAMENTOS (SITUAÇÃO 3)**

A situação de emergência citada acima gera a necessidade de se desenvolver um processo que possa pressurizar as linhas de alimentação de óleo hidráulico por meio de dispositivos pneumáticos. Esse processo é feito pela **atividade** [Operação pressurização em emergência (2.6)]. Esta **atividade** inicialmente está desligada (**distribuidor** (Pressurização em emerg desligada (2.6.1)) (Figura B. 29). Se for dada a ordem para iniciar a pressurização no modo de emergência, solicita-se ao grupo de ar comprimido a abertura da válvula V47, liberando ar comprimido para o circuito (**atividade** [Solicita abertura da V47 (2.6.2)]). Assim que o ar for liberado, abre-se válvula V3 (**atividade** [Abre V3 (2.6.3)]) e permanece-se no estado de espera (**distribuidor** (Pressurização em emerg em espera (2.6.4))). Nesse estado, monitora-se as pressões nas linhas 1 e 2 (P4 e P5). Caso a pressão na linha 1 baixe, seleciona-se a válvula seletora (**atividade** [Seleciona VS2\_1 (2.6.5)]) para a respectiva linha e aciona-se a bomba hidráulica pneumática (BHP1) (**atividade** [aciona BHP1\_1 (2.6.7)]) e permanece-se no estado de operação (**distribuidor** (Pressurizando Linha 1 em emerg (2.6.8))). Caso não seja necessária acionar a válvula VS2, esse comando não é executado (**atividade** [By-pass VS2\_1 (2.6.6)]). Quando a pressão for restabelecida, pára-se BHP1 (**atividade** [Para BHP1\_1 (2.6.9)]) e volta-se ao estado de espera. Caso a pressão na linha 2 baixe, seleciona-se a válvula seletora (**atividade** [Seleciona VS2\_2 (2.6.10)]) para a respectiva linha e aciona-se a bomba

BHP1 (**atividade** [aciona BHP1\_2 (2.6.12)]) e permanece-se no estado de operação (**distribuidor** (Pressurizando Linha 2 em emerg (2.6.13))). Caso não seja necessária acionar a válvula VS2, esse comando não é executado (**atividade** [By-pass VS2\_2 (2.6.11)]). Quando a pressão for restabelecida, pára-se a bomba BHP1 (**atividade** [Para BHP1\_2 (2.6.14)]) e volta-se ao estado de espera.

Concomitantemente, é verificado se o comando de parada da pressurização que está operando no modo emergencial foi acionado. Caso isso ocorra, pára-se BHP1, fecha-se V3 (**atividade** [Fecha V3 (2.6.15)]) e solicita-se ao grupo de ar comprimido o fechamento da válvula V47. Quando esta estiver fechada, volta-se ao estado de pressurização em emergência desligada.

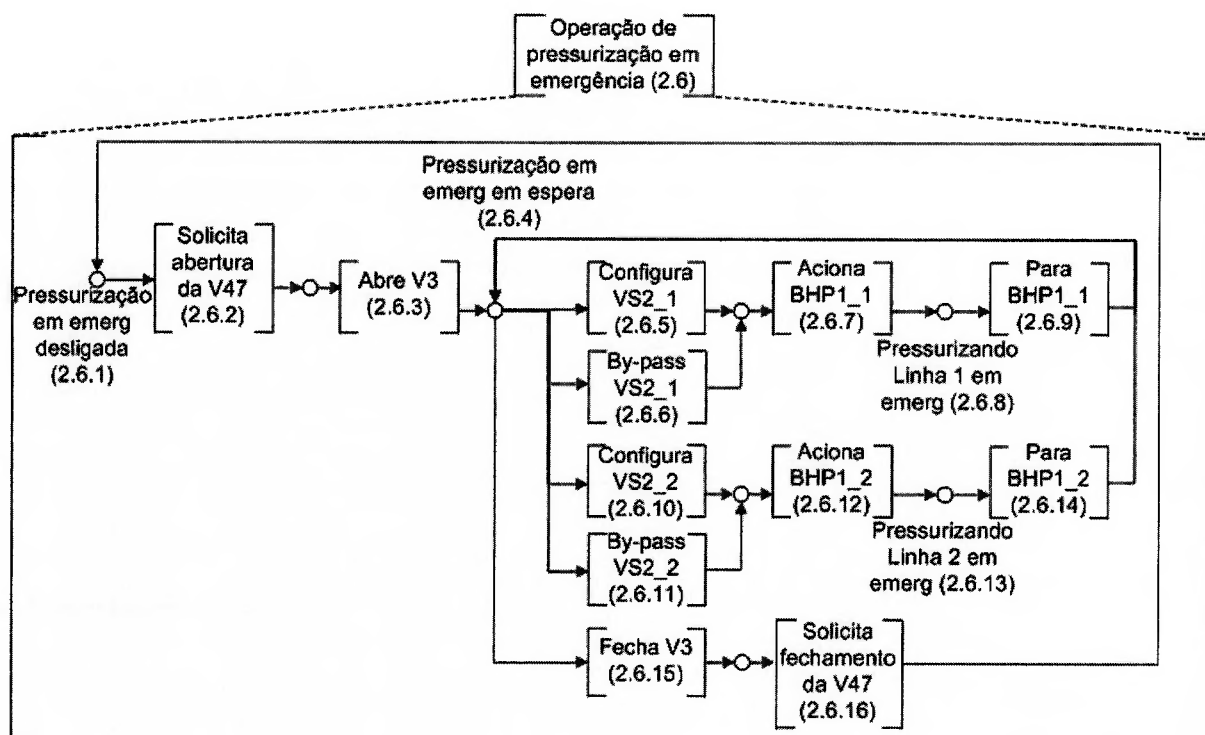


Figura B. 29 – Detalhamento em PFS da **atividade** [Operação de pressurização em emergência (2.6)].

A fim de gerenciar o processo de pressurização, criou-se a **atividade** [Gerenciamento da pressurização (2.5)], mostrada na Figura B. 30. Essa **atividade** coordena o encerramento da pressurização normal e o início da pressurização em emergência quando isso for determinado pelo operador.

Inicialmente o circuito de pressurização encontra-se no seu modo normal. Caso ocorra um comando de operação em emergência, dois processos ocorrem em paralelo, a seguir:

Primeiro: verifica-se o estado do motor M2 (**distribuidor** (VRF estado do M2 (2.5.2)). Se ele estiver pressurizando a linha 1, ele é parado em emergência (**atividade** [Habilita encerramento do M2\_1 (2.5.4)]). Se ele estiver pressurizando a linha 2, ele também é parado em emergência (**atividade** [Habilita encerramento do M2\_2 (2.5.5)]). Depois, habilita-se o fechamento da válvula V2 (**atividade** [Habilita o fechamento de V2 (2.5.6)]). Se o motor M2 já estiver desligado, passa-se direto a **atividade** (2.5.6).

Segundo: verifica-se o estado do circuito de recirculação (**distribuidor** (VRF estado da recirculação (2.5.7))). Se ela estiver ligada, ela é desligada em emergência (**atividade** [Habilita encerramento da recirculação (2.5.9)]). Se não estiver, nenhuma ação é tomada **atividade** [By-pass o encerramento da recirculação (2.5.8)].

Quando o circuito de pressurização e recirculação são totalmente desligados, habilita-se a pressurização no modo emergencial (**atividade** Habilita a pressurização no modo emergencial (2.5.10)) e passa-se estado em que a pressurização no modo emergencial está ativada (**distribuidor** (Pressurização no modo emergencial (2.5.11))). A partir deste estado, quando é verificado que o circuito de pressurização em emergência está desligado e for dada a ordem para iniciar o circuito de pressurização normal, a **atividade** [Encerra a pressurização no modo emergencial (2.5.12)] encerra o estado emergencial e passa ao estado de pressurização normal.

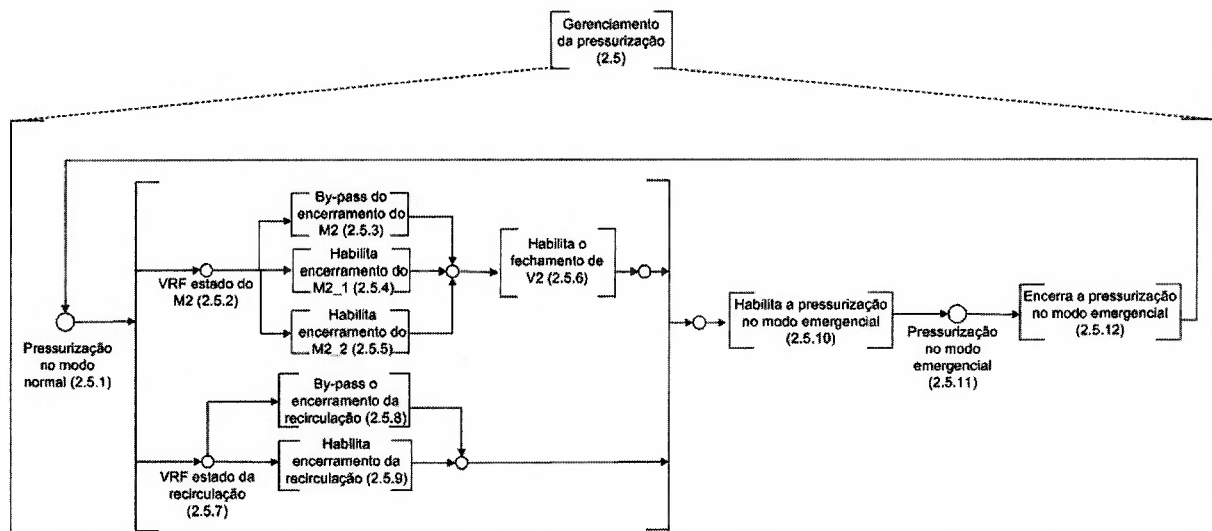


Figura B. 30 – Detalhamento em PFS da atividade [Gerenciamento da pressurização (2.5)].

### B.2.3 PASSO 2.3 – MODELAGEM DOS ELEMENTOS BÁSICOS EM RDP – SITUAÇÃO 3

Neste passo, os modelos decorrentes da situação de emergência do grupo hidráulica já detalhados com o PFS são refinados utilizando a RdP.

O modelo em RdP da atividade [Operação de pressurização em emergência (2.6)] é mostrado na Figura B. 31.e a sua descrição é feita na Tabela B. 44, na Tabela B. 45, na Tabela B. 46, na Tabela B. 47, na Tabela B. 48, na Tabela B. 49, na Tabela B. 50, na Tabela B. 51, na Tabela B. 52, na Tabela B. 53, na Tabela B. 54, na Tabela B. 55, na Tabela B. 56, na Tabela B. 57, na Tabela B. 58, na Tabela B. 59.



Tabela B. 44 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurização desligada desligada em emerg (2.6.1)) da Figura B. 31

Lugar	Descrição
L1	Indica que o circuito de pressurização em emergência está desligado
L2	Indica que foi habilitada a inicialização do circuit de pressurização em emergência
L3	Indica a chegada da ordem da atividade (2.6.12) para iniciar a operação de pressurização em emergência
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal ordenando o início da operação de pressurização em emergência. É habilitada pelo lugar (L3)

Tabela B. 45 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Solicita abertura da V47 (2.6.2)].da Figura B. 31.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a solicitação ao grupo ar comprimido para abrir a válvula V47, liberando o ar comprimido para a operação da bomba pneumática (BHP 1)
L2	Indica que a válvula V47 foi aberta
L3	Estado do pré-processamento que indica que a válvula V47 está aberta
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando a válvula V47 foi aberta. É habilitado pelo pelo lugar (L3)

Tabela B. 46 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Abre V3 (2.6.3)] da Figura B. 31.

Lugar	Descrição
L1	Lugar que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para abrir a válvula V3

Tabela B. 47 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurização em emerg em espera (2.6.4)) da Figura B. 31.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o circuito de pressurização em emergência está no modo de espera
L2	Indica que a pressurização da linha 1 está baixa e a válvula VS2 encontra-se configurada para a posição da linha 2
L3	Indica que a pressurização da linha 1 está baixa e a válvula VS2 encontra-se configurada para a posição da linha 1
L4	Indica que a pressurização da linha 2 está baixa e a válvula VS2 encontra-se configurada para a posição da linha 1
L5	Indica que a pressurização da linha 2 está baixa e a válvula VS2 encontra-se configurada para a posição da linha 2
L6	Indica que foi ordenado o encerramento da operação de pressurização em emergência
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito baixa
L8	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está baixa
L9	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está normal
L10	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está alta
L11	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito alta

L12	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito baixa
L13	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está baixa
L14	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está normal
L15	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está alta
L16	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito alta
L17	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a pressurização em emergência (C12)
L18	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a pressurização em emergência (C12)
L19	Estado do pré-processamento que indica que a válvula seletora VS2 está conectada a linha 1
L20	Estado do pré-processamento que indica que a válvula seletora VS2 está conectada a linha 2
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 1 está baixa e que a válvula VS2 está direcionada para linha 2. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L8) e (L20). É inibida pelo <u>lugar</u> (L18)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 1 está baixa e que a válvula VS2 está direcionada para linha 1. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L8) e (L19). É inibida pelo <u>lugar</u> (L18)
T3	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 2 está baixa e que a válvula VS2 está direcionada para linha 1. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L13) e (L19). É inibida pelo <u>lugar</u> (L18)
T4	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 2 está baixa e que a válvula VS2 está direcionada para linha 2. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L13) e (L20). É inibida pelo <u>lugar</u> (L18)
T5	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização em emergência

Tabela B. 48 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Configura VS2\_1 (2.6.5)] da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar a válvula VS2

Tabela B. 49 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [By-pass VS2\_1 (2.6.6)] da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a válvula VS2 não necessita ser acionada para pressurizar a linha 1

Tabela B. 50 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Aciona BHP1\_1 (2.6.7)] da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar a bomba pneumática BHP_1



Tabela B. 51 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurizando Linha 1 em emerg (2.6.8)) da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a linha 1 está sendo pressurizada em emergência
L2	Indica que foi habilitada o encerramento da pressurização em emergência da linha 1
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito alta
L8	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a pressurização em emergência (C12)
L9	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a pressurização em emergência (C12)
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 1 está alta. É habilitada pelo lugar (L6)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização em emergência. É habilitada pelo lugar (L9)

Tabela B. 52 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Para BHP1\_1 (2.6.9)] da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Lugar que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para parar a bomba BHP1

Tabela B. 53 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Configura VS2\_2 (2.6.10)] da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Lugar que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar a válvula VS2 para pressurizar a linha 2

Tabela B. 54 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [By-pass VS2\_2 (2.6.11)] da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a válvula VS2 não necessita ser acionada para pressurizar a linha 2

Tabela B. 55 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Aciona BHP1\_2 (2.6.12)] da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Lugar que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para acionar a bomba BHP1 para pressurizar a linha 2

Tabela B. 56 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurizando Linha 2 em emerg (2.6.13)) da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a linha 2 está sendo pressurizada em emergência
L2	Indica que foi habilitado o encerramento da pressurização em emergência da linha 2
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito alta
L8	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a pressurização em emergência (C12)
L9	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a pressurização em emergência (C12)
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 2 está alta. É habilitada pelo lugar (L6)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização em emergência

Tabela B. 57 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Para BHP1\_2 (2.6.14)] da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para parar a bomba BHP1

Tabela B. 58 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Fecha V3 (2.6.15)] da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a escrita na <b>atividade</b> [pré-processamento hidráulico] para fechar a válvula V3

Tabela B. 59 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Solicita fechamento da V47 (2.6.16)].da Figura B. 31.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	<u>Lugar</u> que habilita a solicitação ao grupo ar comprimido para fechar a válvula V47, cortando o ar comprimido para a operação da bomba pneumática (BHP 1)
L2	Indica que a válvula V47 foi fechada
L3	Estado do pré-processamento que indica que a válvula V47 está fechada
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando a válvula V47 foi fechada. É habilitado pelo pelo lugar (L3)

O modelo em RdP da **atividade** [Gerenciamento da pressurização (2.5)] é mostrado na Figura B. 32 e a sua descrição é feita na Tabela B. 60, na Tabela B. 61, na Tabela B. 62, na Tabela B. 63, na Tabela B. 64, na Tabela B. 65, na Tabela B. 66, na Tabela B. 67, na Tabela B. 68, na Tabela B. 69, na Tabela B. 70 e na Tabela B. 71

Tabela B. 60 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurização no modo normal (2.5.1)) da Figura B. 32.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o circuito de pressurização está funcionando no modo normal
L2	Indica que foi habilitada a operação de pressurização no modo de emergência
L3	Estado do pré-processamento que indica que não foi recebido o comando para iniciar a pressurização no modo de emergência (C11)
L4	Estado do pré-processamento que indica que foi recebido o comando para iniciar a pressurização no modo de emergência (C11)
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do comando para iniciar a pressurização no modo de emergência. É habilitada pelo lugar (L4).

Tabela B. 61 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (VRF estado do M2 (2.5.2)) da Figura B. 32.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o estado do motor M2 está sendo verificado
L2	Indica que o motor M2 está parado
L3	Indica que o motor M2 está pressurizando a linha 1
L4	Indica que o motor M2 está pressurizando a linha 2
L5	Estado do pré-processamento que indica que o motor M2 está parado
L6	Estado do pré-processamento que indica que o motor M2 está acionado
L7	Estado do pré-processamento que indica que a válvula seletora VS2 está direcionada para a linha 1
	Estado do pré-processamento que indica que a válvula seletora VS2 está direcionada para a linha 2
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que o motor M2 está parado. É habilitada pelo lugar (L5).
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que o motor M2 está pressurizando a linha 1. É habilitada pelos lugares (L6) e (L7).
T3	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que o motor M2 está pressurizando a linha 2. É habilitada pelos lugares (L6) e (L8).

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.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que nenhuma ação é tomada porque o motor M2 já está parado.

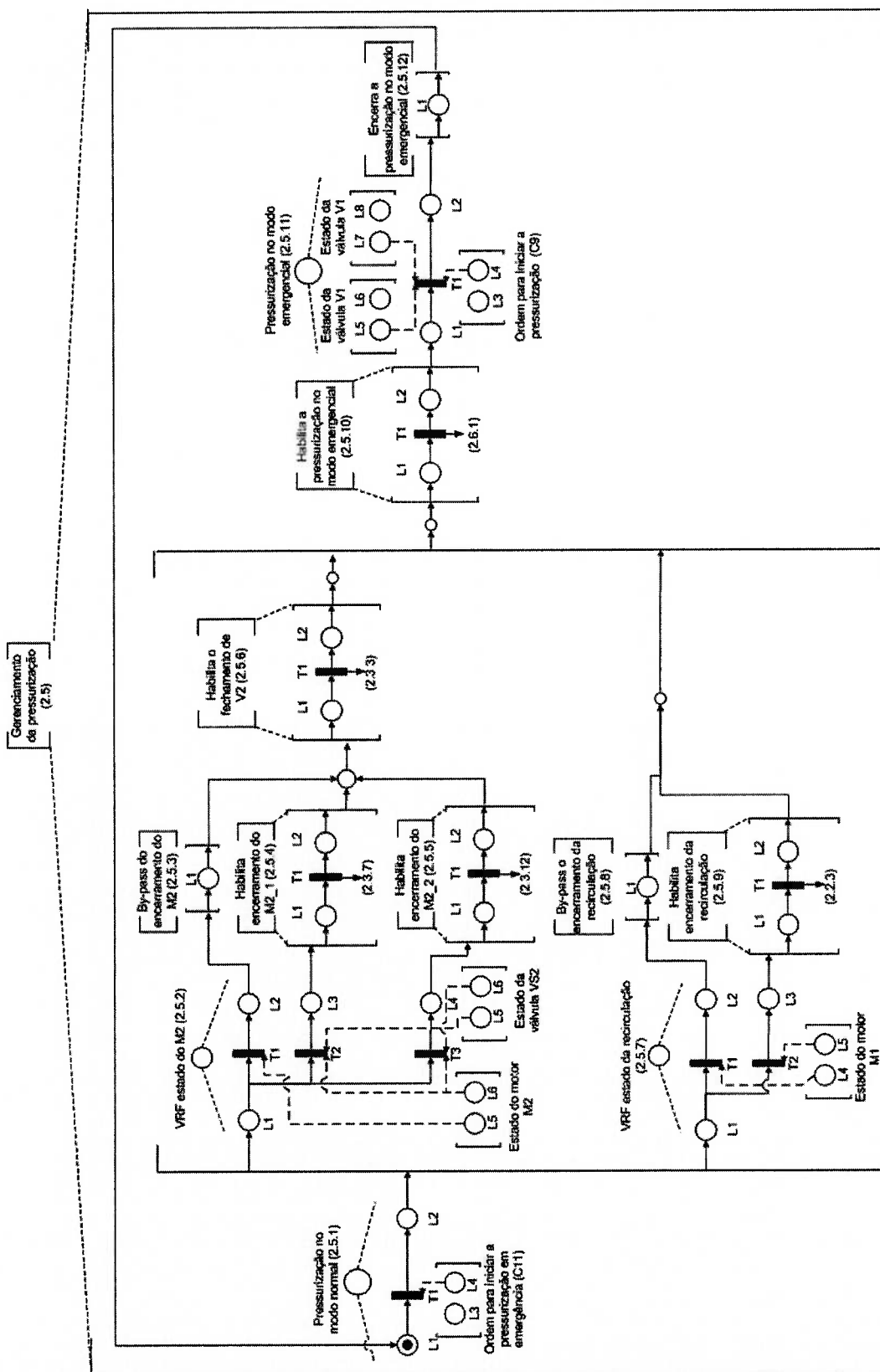


Figura B. 32 – Modelo em RdP da atividade [Gerenciamento da pressurização (2.5)] da Figura B. 30.

Tabela B. 63 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Habilita encerramento do M2\_1 (2.5.4)].da Figura B. 32.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o motor M2 está pressurizando a linha 1
L2	Indica que foi habilitada a parada do motor M2 que está pressurizando a linha 1
Transição	Descrição
T1	Transição que habilita a interrupção da pressurização da linha 1

Tabela B. 64 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Habilita encerramento do M2\_2 (2.5.5)].da Figura B. 32.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o motor M2 está pressurizando a linha 2
L2	Indica que foi habilitada a parada do motor M2 que está pressurizando a linha 2
Transição	Descrição
T1	Transição que habilita a interrupção da pressurização da linha 2

Tabela B. 65 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Habilita o fechamento de V2 (2.5.6)].da Figura B. 32.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o motor M2 está fechado
L2	Indica que foi habilitado o fechamento da válvula V2
Transição	Descrição
T1	Transição que habilita o fechamento da válvula V2

Tabela B. 66 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (VRF estado da recirculação (2.5.7)) da Figura B. 32.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o estado do motor M1 está sendo verificado
L2	Indica que o motor M1 está parado
L3	Indica que o motor M1 está ligado
L4	Estado do pré-processamento que indica que o motor M1 está parado
L5	Estado do pré-processamento que indica que o motor M1 está ligado
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que o motor M1 está parado. É habilitada pelo lugar (L4).
T2	Transição que representa a chegada do sinal informando q que o motor M1 está ligado. É habilitada pelo lugar (L5).

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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que nenhuma ação é tomada porque o motor M1 já está parado.

Tabela B. 68 – Descrição dos elementos do modelo em RdP da **atividade** [Habilita encerramento da recirculação (2.5.9)].da Figura B. 32.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o circuito de recirculação está funcionando
L2	Indica que foi habilitado o encerramento do circuito de recirculação
Transição	Descrição
T1	Transição que habilita o encerramento do circuito de recirculação

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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o circuito de recirculação e o circuito de pressurização normal estão desligados
L2	Indica que foi habilitado o ligamento do circuito de pressurização no modo emergencial
Transição	Descrição
T1	Transição que habilita o ligamento do circuito de pressurização no modo emergencial

Tabela B. 70 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurização no modo emergencial (2.5.11)) da Figura B. 32.

Lugar	Descrição
L1	Indica que o circuito de pressurização no modo emergencial está funcionando
L2	Indica que foi habilitado o encerramento do circuito de pressurização no modo emergencial
L3	Estado do pré-processamento que indica que não foi recebido o comando para iniciar a pressurização no modo normal (C9)
L4	Estado do pré-processamento que indica que foi recebido o comando para iniciar a pressurização no modo normal (C9)
L5	Estado do pré-processamento que indica que o motor M1 está parado
L6	Estado do pré-processamento que indica que o motor M1 está ligado
L7	Estado do pré-processamento que indica que a válvula V1 está fechada
L8	Estado do pré-processamento que indica que a válvula V1 está aberta
Transição	Descrição
T1	Transição que representa a chegada do sinal informando que o circuito de pressurização em emergência está parado e foi dada a ordem para iniciar o circuito de pressurização no modo normal. É habilitada pelos lugares (L4), (L5) e (L6).

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.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a pressurização no modo de emergência foi encerrada e a pressurização no modo normal está sendo iniciada

### **B.3 INTEGRAÇÃO DOS MODELOS**

#### **B.3.1 PASSO 3.1 – ESCOPO: INTEGRAÇÃO ENTRE OS MODELOS DO GRUPO HIDRÁULICA**

Nessa fase ocorre a integração entre os modelos de operação normal e operação em emergência do grupo hidráulica.

#### **B.3.2 PASSO 3.2 – INTEGRAÇÃO ENTRE OS MODELOS NO NÍVEL DE PFS**

Para a realização da união entre a operação normal e os casos de emergência, foi analisado como os modelos desenvolvidos para a situação de emergência impactavam nos processos normais. Assim, obteve-se o seguinte resultado:

A **atividade** [Operação de pressurização em emergência (2.6)] não impacta em nenhuma atividade anteriormente desenvolvida para o grupo hidráulica. Assim, ela foi inserida no modelo do grupo hidráulica como é mostrado na Figura B. 33.

A **atividade** [Gerenciamento da pressurização (2.5)] interage com as **atividades** [Operação de recirculação (2.2)] e [Operação de pressurização (2.3)]. Como fruto dessa interação, as seguintes modificações foram feitas:

- Na **atividade** [Operação de recirculação (2.2)]: alteração do **distribuidor** Recirculação ligada (2.2.3). O modelo em PFS é mostrado na Figura B. 34.
- Na **atividade** [Operação de pressurização (2.3)]: alteração do **distribuidor** Pressurização em espera (2.3.3), do **distribuidor** Pressurizando Linha 1\_m (2.3.7\_m) e do **distribuidor** Pressurizando Linha 2\_m (2.3.12\_m). O modelo em PFS é mostrado na Figura B. 35.

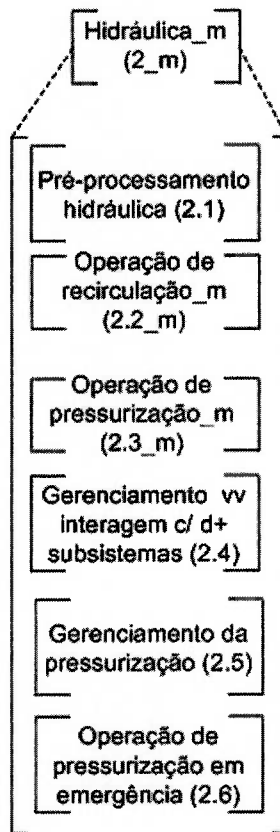


Figura B. 33 – Nova configuração da atividade [Hidráulica (2)] que passa a se chamar [Hidráulica\_m (2\_m)].

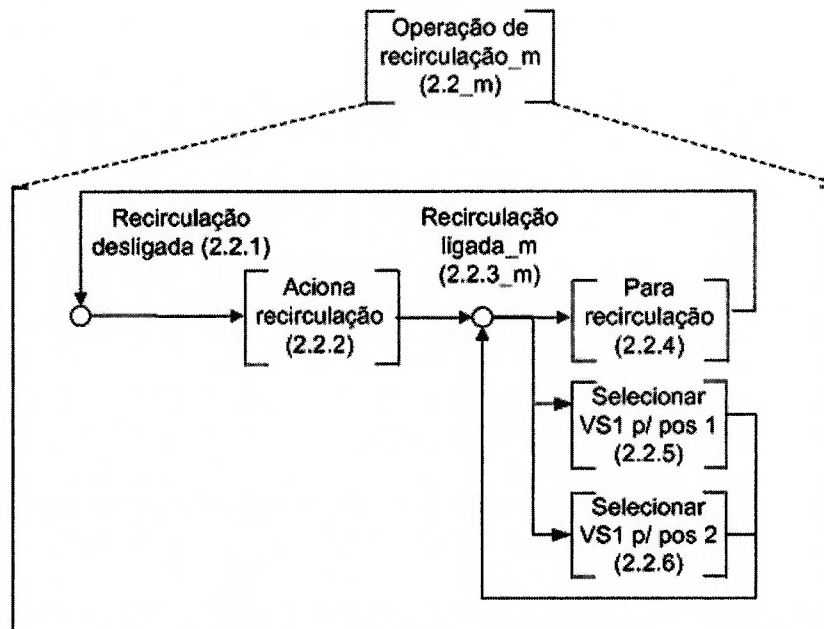


Figura B. 34 – Nova configuração da atividade [Operação de recirculação (2.2)] que passa a se chamar [Operação de recirculação\_m (2.2\_m)].



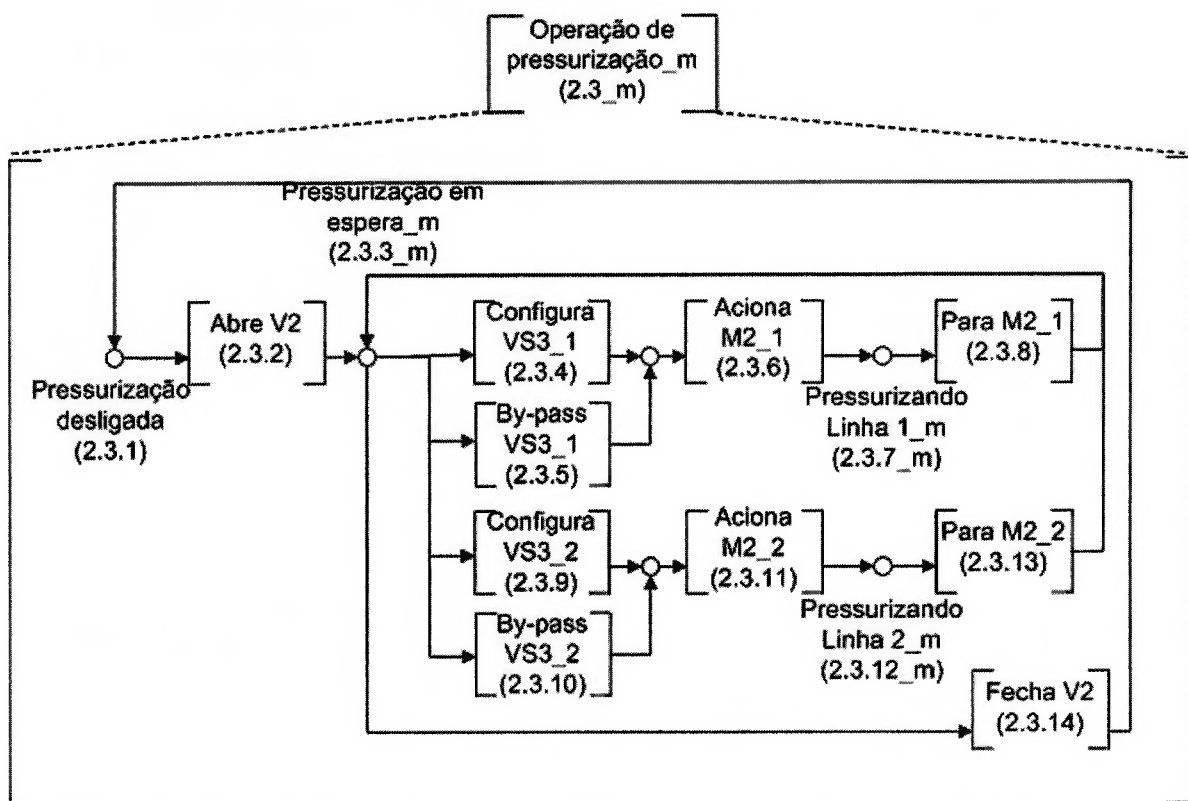


Figura B. 35 – Nova configuração da atividade [Operação de pressurização (2.3)] que passa a se chamar [Operação de pressurização\_m (2.3\_m)].

### B.3.3 PASSO 3.3 – INTEGRAÇÃO ENTRE OS MODELOS NO NÍVEL DE RDP

Nesse passo, detalham-se somente os elementos que tiveram as suas configurações alteradas após a integração entre os modelos.

Os modelos em Rdp do **distribuidor** (Recirculação ligada\_m (2.2.3\_m)) é mostrado na Figura B. 36. A sua descrição é feita na Tabela B. 72.

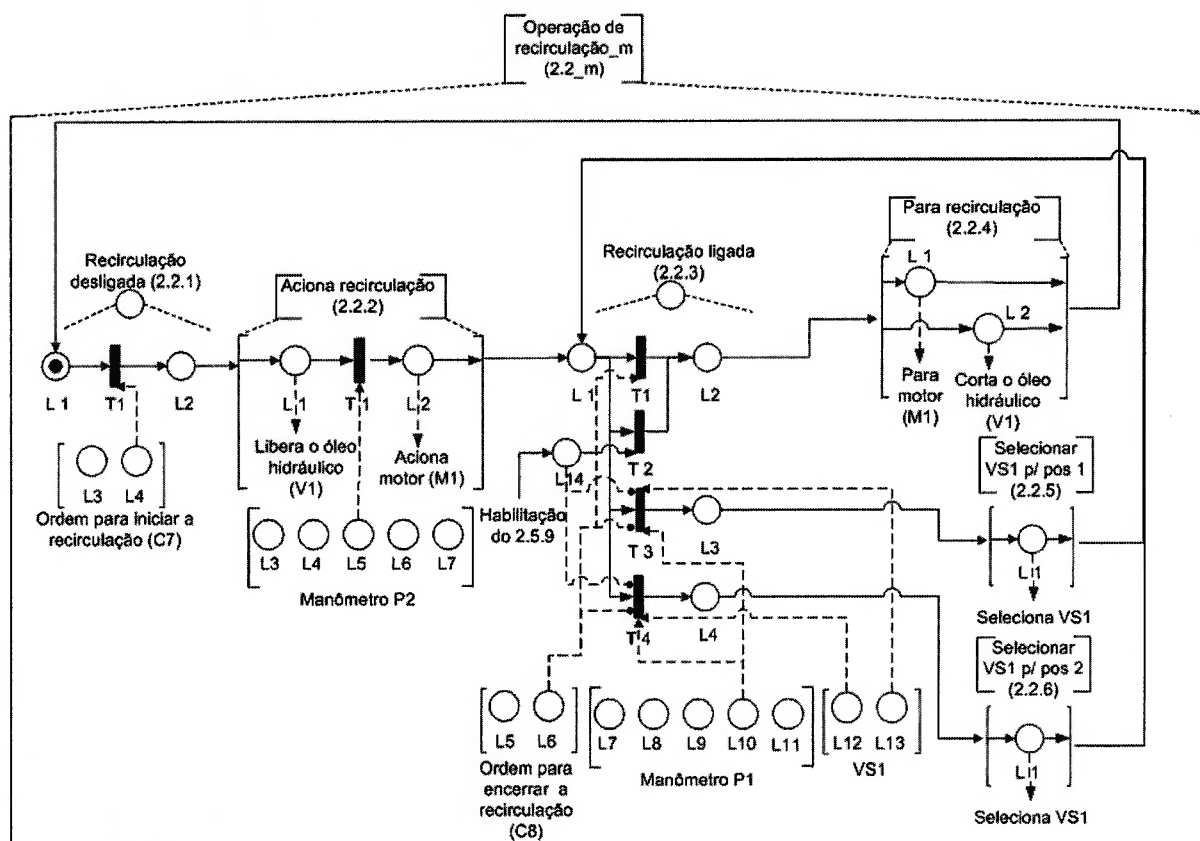


Figura B. 36 – Modelos em RdP da atividade [Operação de recirculação\_m (2.2\_m)] mostrada na Figura B. 34

Tabela B. 72 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do distribuidor (Recirculação ligada\_m (2.2.3\_m)) da Figura B. 36.

Lugar	Descrição
L1	Indica que a recirculação está ligada
L2	Indica que foi habilitado o encerramento da recirculação
L3	Indica que a pressão em P1 está alta e que a válvula VS1 está na posição 2
L4	Indica que a pressão em P1 está alta e que a válvula VS1 está na posição 1
L5	Estado de pré-processamento que indica que não foi recebido o comando para encerrar a operação de recirculação (C8)
L6	Estado de pré-processamento que indica que foi recebido o comando para encerrar a operação de recirculação (C8)
L7	Estado de pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P1 está muito baixa
L8	Estado de pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P1 está baixa
L9	Estado de pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P1 está normal
L10	Estado de pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P1 está alta
L11	Estado de pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P1 está muito alta
L12	Estado de pré-processamento que indica que a válvula VS1 está na posição 1
L13	Estado de pré-processamento que indica que a válvula VS1 está na posição 2
L14	Indica a chegada da ordem da atividade (2.5.9) interrompendo a operação de recirculação

<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da <u>recirculação</u> . É <u>habilitada pelo lugar</u> (L6)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da <u>recirculação devido ao início da operação de pressurização em emergência</u>
T3	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão no manômetro P1 está alta e a válvula VS1 está na posição 2. É <u>habilitada pelos lugares</u> (L10) e (L13). É <u>inibida pelos lugares</u> (L6) e (L14)
T4	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão no manômetro P1 está alta e a válvula VS1 está na posição 1. É <u>habilitada pelos lugares</u> (L10) e (L12). É <u>inibida pelos lugares</u> (L6) e (L14)

Os modelos em RdP do **distribuidor** (Pressurização em espera\_m (2.3.3\_m)), do **distribuidor** (Pressurizando Linha 1\_m (2.3.7\_m)) e do **distribuidor** (Pressurizando Linha 2\_m (2.3.12\_m)) é mostrado na Figura B. 37. A sua descrição é feita na Tabela B. 73, na Tabela B. 74 e na Tabela B. 75

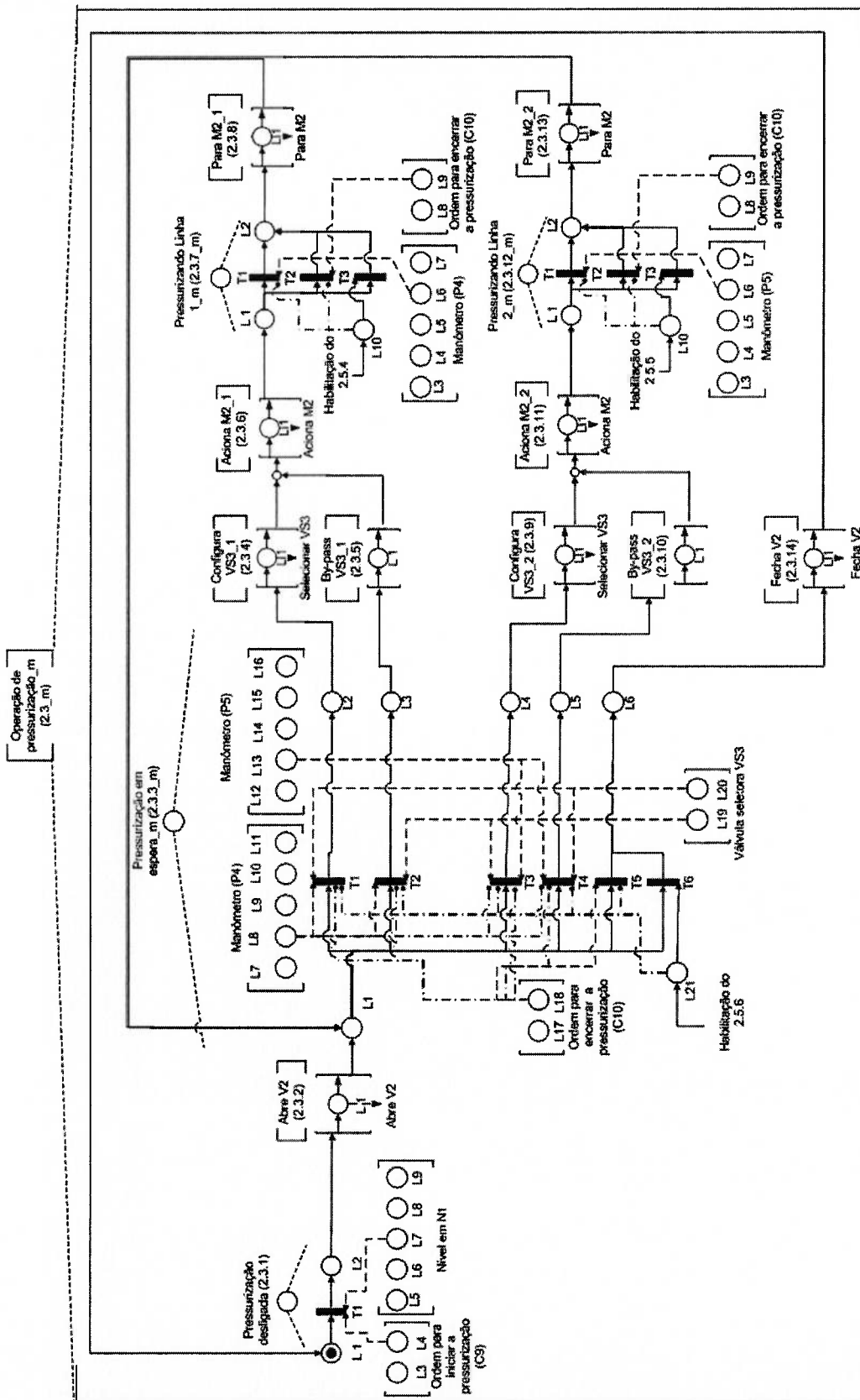


Figura B. 37 – Modelos em RdP da atividade [Operação de pressurização\_m (2.3\_m)] mostrada na Figura B. 35.

Tabela B. 73 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Recirculação em espera\_m (2.3.3\_m)) da Figura B. 37.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que o circuito de pressurização está no modo de espera
L2	Indica que a pressurização da linha 1 está baixa e a válvula VS3 encontra-se configurada para a posição da linha 2
L3	Indica que a pressurização da linha 1 está baixa e a válvula VS3 encontra-se configurada para a posição da linha 1
L4	Indica que a pressurização da linha 2 está baixa e a válvula VS3 encontra-se configurada para a posição da linha 1
L5	Indica que a pressurização da linha 2 está baixa e a válvula VS3 encontra-se configurada para a posição da linha 2
L6	Indica que foi ordenado o encerramento da operação de pressurização
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito baixa
L8	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está baixa
L9	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está normal
L10	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está alta
L11	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito alta
L12	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito baixa
L13	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está baixa
L14	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está normal
L15	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está alta
L16	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito alta
L17	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
L18	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
L19	Estado do pré-processamento que indica que a válvula seletora VS3 está conectada a linha 1
L20	Estado do pré-processamento que indica que a válvula seletora VS3 está conectada a linha 2
L21	Indica a chegada da ordem da atividade (2.5.6) interrompendo a operação de pressurização e habilitando o fechamento da válvula V2
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 1 está baixa e que a válvula VS3 está direcionada para linha 2. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L8) e (L20). É <u>inibida</u> pelos <u>lugares</u> (L18) e (L21)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 1 está baixa e que a válvula VS3 está direcionada para linha 1. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L8) e (L19). É <u>inibida</u> pelos <u>lugares</u> (L18) e (L21)
T3	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 2 está baixa e que a válvula VS3 está direcionada para linha 1. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L13) e (L19). É <u>inibida</u> pelos <u>lugares</u> (L8), (L18) e (L21)
T4	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 2 está baixa e que a válvula VS3 está direcionada para linha 2. É <u>habilitada</u> pelos <u>lugares</u> (L13) e (L20). É <u>inibida</u> pelos <u>lugares</u> (L8), (L18) e (L21)
T5	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização. É <u>inibida</u> pelo <u>lugar</u> (L21)
T6	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização devido ao início da operação de pressurização em emergência

Tabela B. 74 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurizando Linha 1\_m (2.3.7\_m)) da Figura B. 37.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a linha 1 está sendo pressurizada
L2	Indica que foi habilitada o encerramento da pressurização da linha 1
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P4 está muito alta
L8	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
L9	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
L10	Indica a chegada da ordem da atividade (2.5.4) interrompendo a pressurização da linha 1
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 1 está alta. É habilitada pelo lugar (L6). É inibida pelo lugar (L10)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização. É habilitada pelo lugar (L9). É inibida pelo lugar (L10)
T3	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização da linha 1 devido ao início da operação de pressurização em emergência

Tabela B. 75 – Descrição dos elementos do modelo em RdP do **distribuidor** (Pressurizando Linha 2\_m (2.3.12\_m)) da Figura B. 37.

<b>Lugar</b>	<b>Descrição</b>
L1	Indica que a linha 2 está sendo pressurizada
L2	Indica que foi habilitado o encerramento da pressurização da linha 2
L3	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito baixa
L4	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está baixa
L5	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está normal
L6	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está alta
L7	Estado do pré-processamento que indica que a pressão no manômetro P5 está muito alta
L8	Estado do pré-processamento que indica que não foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
L9	Estado do pré-processamento que indica que foi dada a ordem para encerrar a pressurização (C10)
L10	Indica a chegada da ordem da atividade (2.5.5) interrompendo a pressurização da linha 2
<b>Transição</b>	<b>Descrição</b>
T1	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal informando que a pressão na linha 2 está alta. É habilitada pelo lugar (L6). É inibida pelo lugar (L10)
T2	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização. É habilitada pelo lugar (L10). É inibida pelo lugar (L10)
T3	<u>Transição</u> que representa a chegada do sinal ordenando o encerramento da pressurização da linha 2 devido ao início da operação de pressurização em emergência

#### B.4 PASSO 4 – CRIAÇÃO DE OBJETOS

Neste passo as atividades definidas no grupo hidráulica e no grupo ar comprimido servem de referência para a criação de classes e objetos.

A Figura B. 38 a ilustra a Classe “Recirculação\_m (2.2\_m)” que dá origem ao objeto de mesmo nome.

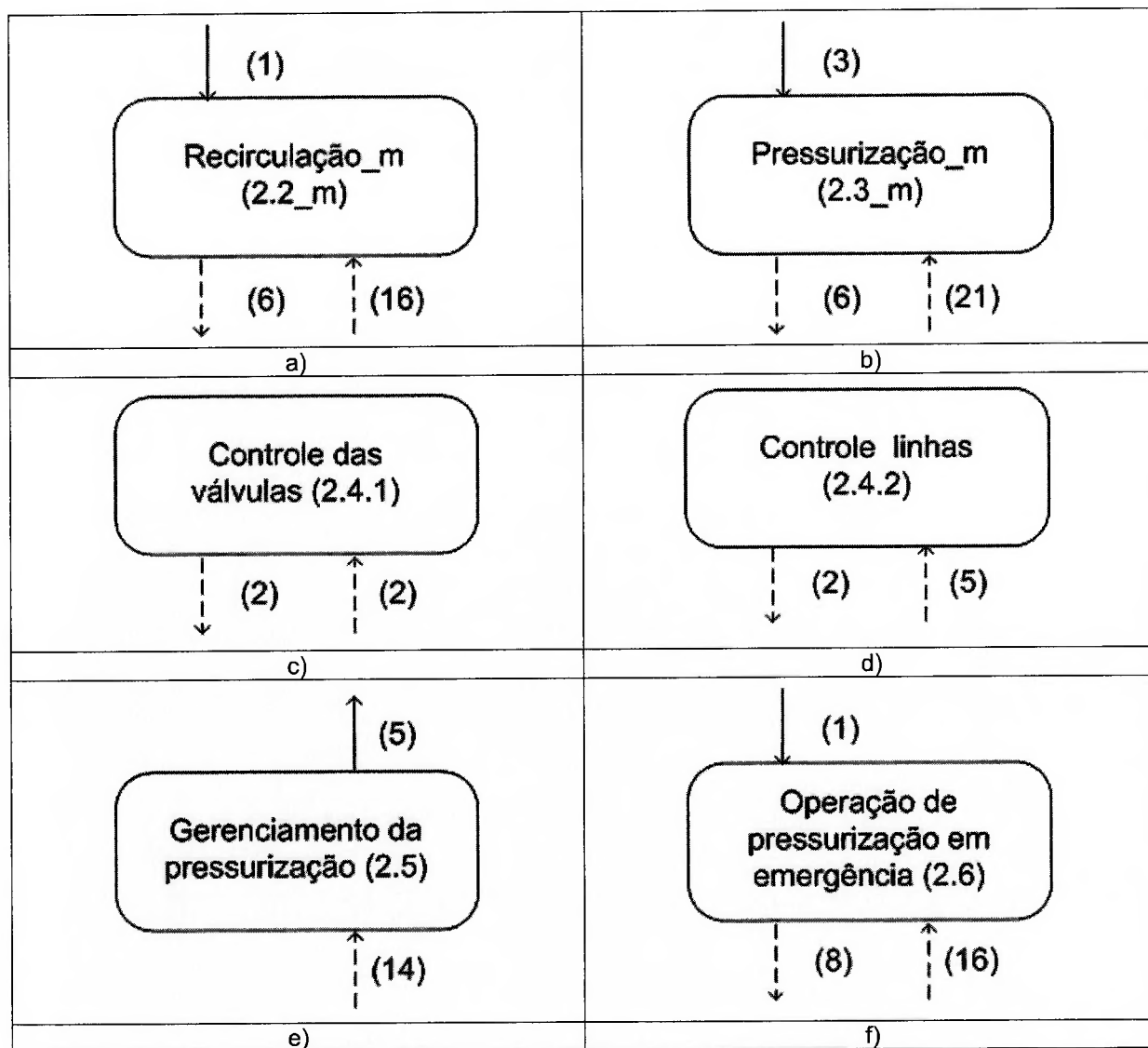


Figura B. 38 – a) Classe “Recirculação\_m (2.2\_m)”; b) Classe “Pressurização\_m (2.3\_m)”; c) Classe “Controle das válvulas (2.4.1)”; d) Classe “Controle linhas (2.4.2)”; e) Classe “Gerenciamento da pressurização (2.5)”; f) classe “Operação de pressurização em emergência (2.6)”.

A Figura B. 38b ilustra a Classe “Pressurização\_m (2.3\_m)” que dá origem ao objeto de mesmo nome.

A Figura B. 38c ilustra a Classe “Controle das válvulas (2.4.1)” que dá origem aos 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.

A Figura B. 38d ilustra a Classe “Controle linhas (2.4.2)” que dá origem ao objeto 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.

A Figura B. 38e ilustra a Classe “Gerenciamento da pressurização (2.5)” que dá origem ao objeto de mesmo nome.

A Figura B. 38f ilustra a Classe “Operação de pressurização em emergência (2.6)” que dá origem ao objeto de mesmo nome.

A Figura B. 39a ilustra a Classe “Pressurização das ampolas” que dá origem aos objetos Pressurização das ampolas 1 e 3 e Pressurização das ampolas 2 e 4.

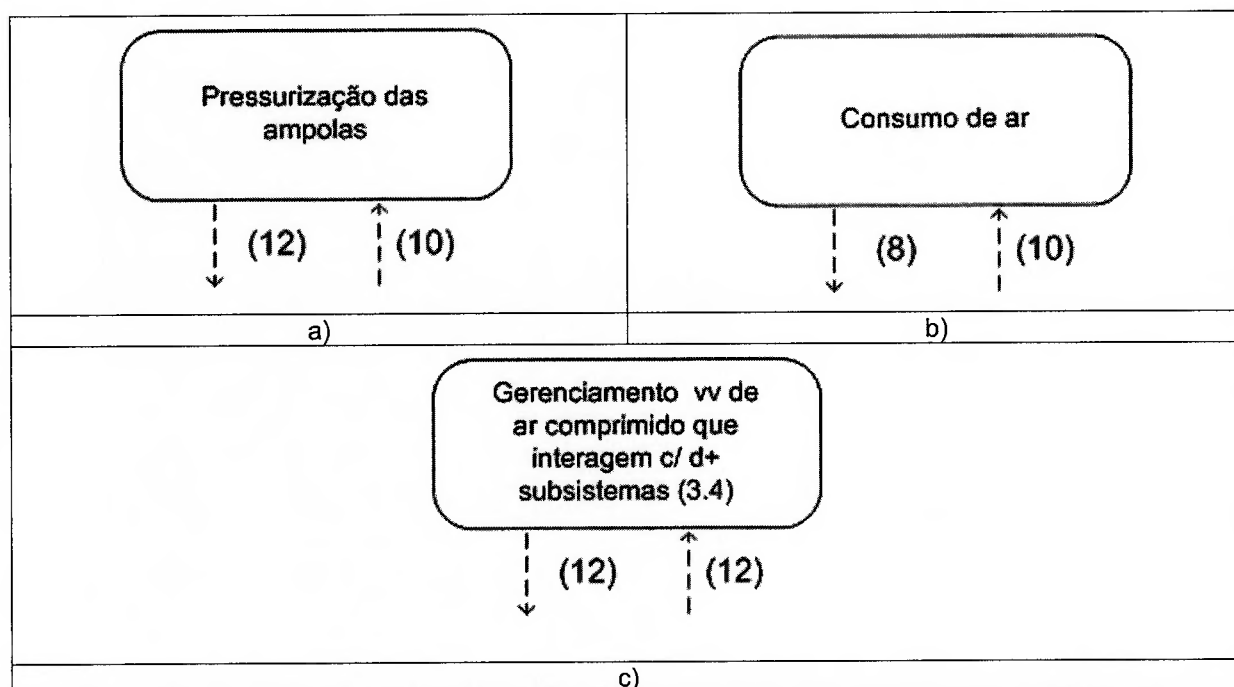


Figura B. 39 – a) Classe “Pressurização das ampolas”; b) Classe “Consumo de ar”; c) Classe “Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)”.



A Figura B. 39b ilustra a Classe “Consumo de ar” que dá origem aos objetos Consumo de ar das ampolas 1 e 2 e Consumo de ar das ampolas 3 e 4.

A Figura B. 39c ilustra a Classe “Gerenciamento vv de ar comprimido que interagem c/ d+ subsistemas (3.4)” que dá origem aos objetos Controle abertura V45, Controle fechamento V45, Controle abertura V46, Controle fechamento V46, Controle dabertura V47 e Controle fechamento V47.

A classe “atuadores com acionamento e desligamento pelo controlador”, mostrada na Figura 4-53, serve de base para os objetos Valvula V0a, Valvula V0b Valvula 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, Válvula VS11, Valvula V31, Valvula V32, Valvula V33, Valvula V34, Valvula V35, Valvula V36, Valvula V37,Valvula V38, Válvula V39,Válvula V40, Valvula V41, Valvula V42, Valvula V43, Valvula V44,Valvula V45, Valvula V46, Valvula V47, Compressor 1 e Comprssor 2.

A classe “Módulo de solicitação (1.6.4)”, mostrada na Figura 4-56, serve de base para os objetos Solicitação 17e Solicitação 18.

A classe [Dispositivo de comando], mostrada na Figura 4-57, serve de base para os objetos Comando 7, Comando 8, Comando 9, Comando 10, Comando 11 e Comando 12.

A classe “Sensores”, mostrada na Figura 4-58, serve de base para os 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, Medidor de nível N1, Manômetro P18, Manômetro P19, Manômetro P22 e Manômetro P23.

A classe “Entrada Digital” é mostrada na Figura 4-59 e serve de base para os 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, Estado BHP1, Estado V45, Estado V46 e Estado V47.

A classe “Entrada Analógica” é mostrada na Figura 4-60 e serve de base para os objetos Estado P1, Estado P2, Estado P4, Estado P5, Estado P18, Estado P19, Estado P22, Estado P23 e Estado N1.

A classe Saída Digital é mostrada na Figura 4-61 e serve de base para os 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, Para BHP1, 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.

A classe “Módulo de resposta a solicitação” é mostrada na Figura B. 40 e serve de base para os 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, Resp. Sol 5, Resp. Sol 6, Resp. Sol 15, Resp. Sol 16, Resp. Sol 17 e Resp. Sol 18.

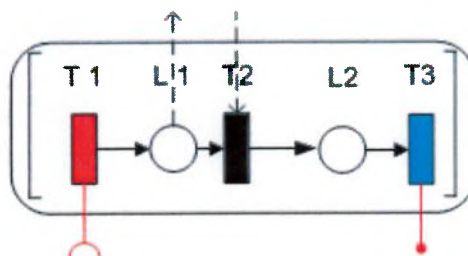


Figura B. 40 – Classe “Módulo de resposta a solicitação”.

### **B.5 PASSO 5 – GERAÇÃO DE COMPONENTES**

Os objetos obtidos no Passo 4 são usados para compor os seguintes “componentes”:

- Entrada analógica do grupo hidráulica – composto pelos “objetos” Estado N1, Estado P1, Estado P2, Estado P4 e Estado P5. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição de todo pré-processamento de sinais de natureza analógica que são entradas para o controlador local do grupo hidráulica. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 41.

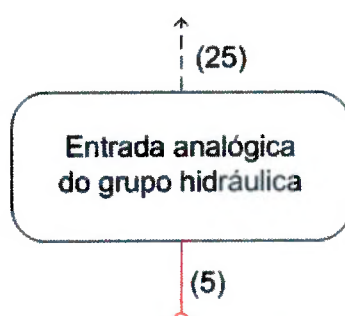


Figura B. 41 – “Componente” Entrada analógica do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Estado N1, Estado P1, Estado P2, Estado P4 e Estado P5.

- Entrada analógica do grupo ar comprimido – composto pelos “objetos” Estado P18, Estado P19, Estado P22 e Estado P23. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição de todo pré-processamento de sinais de natureza analógica que são entradas para o controlador local do grupo ar comprimido. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 42.

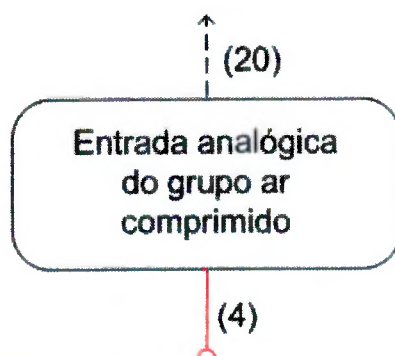


Figura B. 42 – “Componente” Entrada analógica do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Estado P18, Estado P19, Estado P22 e Estado P23.

- 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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição dos pré-processamentos de sinais de natureza digital oriundos de sensores e dispositivos de comando que cheguem ao controlador local do grupo hidráulica. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 43.

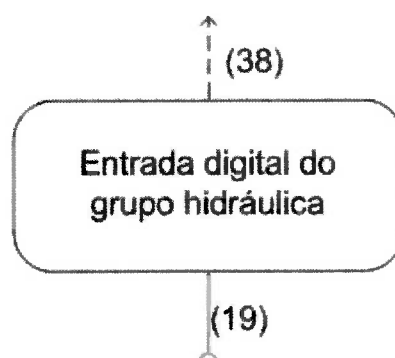


Figura B. 43 – “Componente” Entrada digital do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Estado C7, Estado C8, Estado C9, Estado C10, Estado C11, Estado C12, Estado VS1, Estado VS2, Estado VS3, Estado V0a, Estado V0b, Estado V19, Estado V20, Estado V25, Estado V26, Estado V1, Estado M1, Estado M2 e Estado BHP1

- Entrada digital do grupo ar comprimido – composto pelos “objetos” Estado V45, Estado V46 e Estado V47. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição do tratamento dos sinais de natureza digital que saem do controlador local do grupo ar comprimido. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 44.

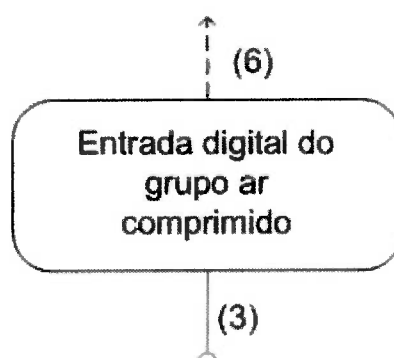


Figura B. 44 – “Componente” Entrada digital do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Estado V45, Estado V46 e Estado V47.

- 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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição do tratamento dos sinais de natureza digital que saem do controlador local do grupo hidráulica para um dispositivo de atuação. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 45.

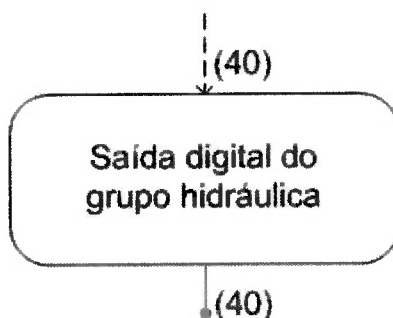


Figura B. 45 – “Componente” Saída digital do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Abertura V1, Fecha V1, Abertura V2, Fecha V2, Abre V3, Fecha V3, Abre V0a, Fecha V0a, Abre V0b, Fecha V0b, Abre V19, Fecha V19, Abre V20, Fecha V20, Abre V25, Fecha V25, Abre V26, Fecha V26, Selecciona VS1 p1, Selecciona 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.

- 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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição do tratamento dos sinais de natureza digital que saem do controlador local do grupo ar comprimido para um dispositivo de atuação. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 46.

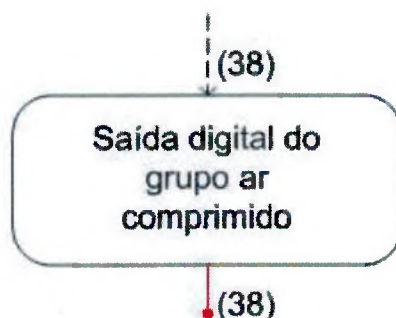


Figura B. 46 – “Componente” Saída digital do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Abre V31, Fecha V31, Abre V32, Fecha V32, Abre V33, Fecha V33, Abre V34, Fecha V34, Abre V35, Fecha V35, Abre V36, Fecha V36, Abre V37, Fecha V37, Abre V38, Fecha V38, Abre V39, Fecha V39, Abre V40, Fecha V40, 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.

- Solicitação do grupo hidráulica – composto pelos “objetos” Solicitação 17 e Solicitação 18. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição das solicitações do controlador local do grupo hidráulica aos demais controladores locais. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 47 e a descrição da função de cada “objeto” é feita na Tabela B. 76.

Tabela B. 76 – Lista dos “objetos” que compõem o “componente” Solicitação do grupo hidráulica e as suas respectivas funções.

Objeto	Função
S17	Solicita ao grupo ar comprimido para liberar o ar comprimido para a bomba hidráulica pneumática 1(BHP1)
S18	Solicita ao grupo ar comprimido para cortar o ar comprimido da bomba hidráulica pneumática 1 (BHP1)

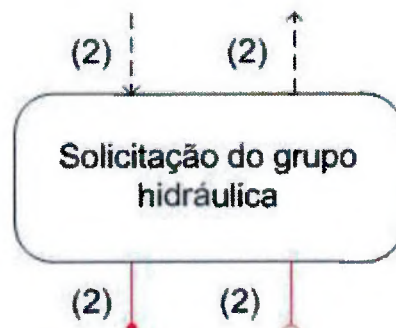


Figura B. 47 – “Componente” Solicitação do grupo hidráulica composto pelos “objetos” Solicitação 17 e Solicitação 18.

- “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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição das respostas às solicitações feitas pelos demais controladores locais ao controlador local do grupo hidráulica. Esse componente é representado esquematicamente pela Figura B. 49.

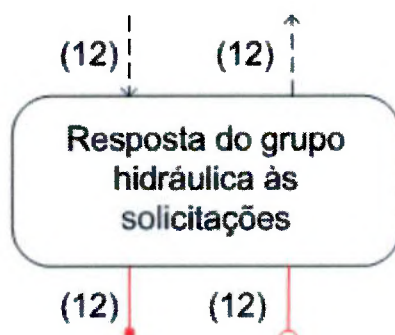


Figura B. 48 – “Componente” Resposta do grupo hidráulica às solicitações composto pelos “objetos” Resp. Sol 1, Resp. Sol 2, Resp. Sol 3, Resp. Sol 4, Resp. Sol 7, Resp. Sol 8, Resp. Sol 9, Resp. Sol 10, Resp. Sol 11, Resp. Sol 12, Resp. Sol 13, Resp. Sol 14.

- 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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição das respostas às solicitações feitas pelos demais controladores locais ao controlador local do grupo ar comprimido. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 50.



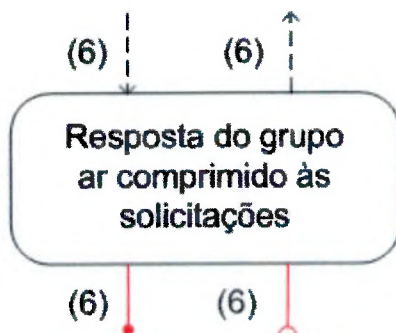


Figura B. 49 – “Componente” Resposta do grupo ar comprimido às solicitações composto pelos “objetos” Resp. Sol 5, Resp. Sol 6, Resp. Sol 15, Resp. Sol 16, Resp. Sol 17 e Resp. Sol 18.

- Atuadores do grupo hidráulica – composto pelos “objetos” Valvula V0a, Valvula V0b Valvula 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. Como critério de componentização, considerou-se que os seus elementos representam entidades físicas que têm como função atuar sobre o grupo hidráulica. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 51.

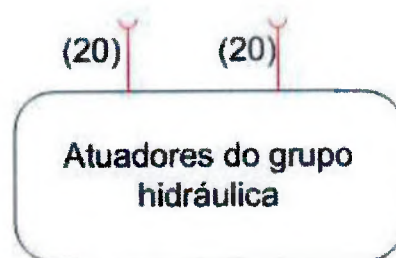


Figura B. 50 – “Componente” Atuadores do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Valvula V0a, Valvula V0b Valvula V1, Válvula V2, Válvula V3, Válvula V19, Válvula V20, Válvula V25, Válvula V26 Motor M1, Motor M2, Bomba BHP1, Válvula VS1, Válvula VS2, Válvula VS3, Válvula VS4, Válvula VS8, Válvula VS9, Válvula VS10 e Válvula VS11.

- Atuadores do grupo ar comprimido – composto pelos “objetos” Valvula V31, Valvula V32, Valvula V33, Valvula V34, Valvula V35, Valvula V36, Valvula V37, Valvula V38, Válvula V39, Válvula V40, Valvula V41, Valvula V42, Valvula V43, Valvula V44, Valvula V45, Valvula V46, Valvula V47, Compressor 1 e Compressor 2.. Como critério de componentização, considerou-se que os seus elementos representam entidades físicas que

têm como função atuar sobre o grupo ar comprimido. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 51.

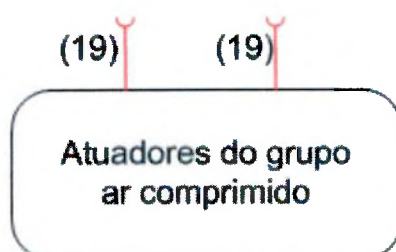


Figura B. 51 – “Componente” Atuadores do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Valvula V31, Valvula V32, Valvula V33, Valvula V34, Valvula V35, Valvula V36, Valvula V37, Valvula V38, Válvula V39, Válvula V40, Valvula V41, Valvula V42, Valvula V43, Valvula V44, Valvula V45, Valvula V46, Valvula V47, Compressor 1 e Compressor 2..

- 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. Como critério de componentização, considerou-se que os seus elementos representam entidades físicas que têm como função mensurar diversos parâmetros do grupo hidráulica e repassar esses dados ao controle local. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 52.



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.

- Sensores do grupo ar comprimido – composto pelos “objetos” Manômetro P18, Manômetro P19, Manômetro P22 e Manômetro P23. Como critério de componentização, considerou-se que os seus elementos representam entidades físicas que têm como função mensurar diversos parâmetros do grupo ar comprimido e repassar esses dados ao controle local. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 53.



Figura B. 53 – “Componente” Sensores do grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Manômetro P18, Manômetro P19, Manômetro P22 e Manômetro P23.

- Comandos do grupo hidráulica – composto pelos “objetos” Comando 7, Comando 8, Comando 9, Comando 10, Comando 11 e Comando 12. Como critério de componentização, considerou-se que os seus elementos representam entidades físicas que têm como função atuar sobre o controlador local do grupo hidráulica. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 54. A descrição da função de cada “objeto” está na Tabela B. 77.

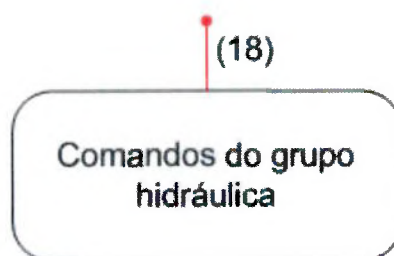


Figura B. 54 – “Componente” Comandos do grupo hidráulica, composto pelos objetos Comando 7, Comando 8, Comando 9, Comando 10, Comando 11 e Comando 12.

Tabela B. 77 – Lista dos “objetos” que compõem o “componente” Comandos do grupo hidráulica e as suas respectivas funções.

Objeto	Função
Comando 7	Ordem para iniciar a recirculação
Comando 8	Ordem para encerrar a recirculação
Comando 9	Ordem para iniciar a pressurização
Comando 10	Ordem para encerrar a pressurização
Comando 11	Ordem para iniciar a pressurização no modo de emergência
Comando 12	Ordem para encerrar a pressurização no modo emergência

- 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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição dos elementos que recebem às solicitações feitas pelos demais controladores, coordenam as ações sobre os dispositivos e respondem ao “componente” Resposta do grupo hidráulica às solicitações”para que esse possa responder aos demais controladores locais. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 55.

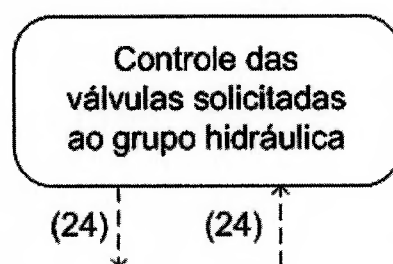


Figura B. 55 – “Componente” Controle das válvulas solicitadas ao grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Controle abertura V0a, Controle fechamento V0a, Controle abertura V0b, Controle fechamento V0b, Controle abertura V19, Controle fechamento V19, Controle abertura V20, Controle fechamento V20, Controle abertura V25, Controle fechamento V25, Controle abertura V26 e Controle fechamento V26.

- 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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição da lógica de controle das válvulas que selecionam a linha de pressurização a ser utilizada pelos consumidores de óleo hidráulico. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 56.

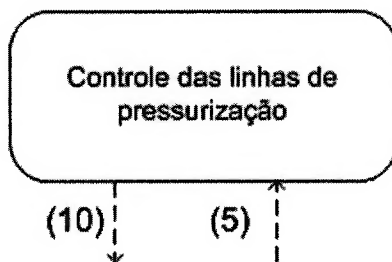


Figura B. 56 – “Componente” Controle das linhas de pressurização, composto pelos “objetos” Alteração de linha pela VS4, Alteração de linha pela VS8 , Alteração de linha pela VS9 , Alteração de linha pela VS10 e Alteração de linha pela VS11.

- Controle da pressurização das ampolas de ar comprimido, composto pelos “objetos” Pressurização das ampolas 1 e 3 e Pressurização das ampolas 2 e 4. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição da lógica que permite controlar a pressurização das ampolas de ar comprimido. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 57.

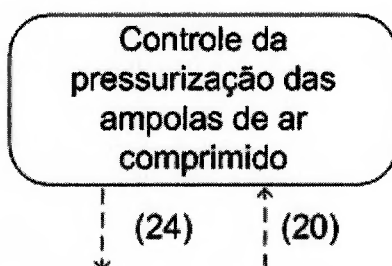


Figura B. 57 – “Componente” Controle da pressurização das ampolas de ar comprimido, composto pelos “objetos” Pressurização das ampolas 1 e 3 e Pressurização das ampolas 2 e 4.

- 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. Como critério de componentização, considerou-se que é

deste modelo que se tem a descrição da lógica que permite controlar o consumo das ampolas de ar comprimido. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 58.

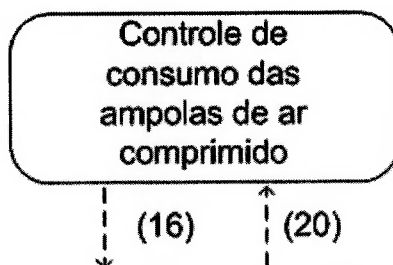


Figura B. 58 – “Componente” Controle de consumo das ampolas de ar comprimido, composto pelos “objetos” Consumo de ar das ampolas 1 e 2 e Consumo de ar das ampolas 3 e 4.

- 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. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se tem a descrição dos elementos que recebem às solicitações feitas pelos demais controladores, coordenam as ações sobre os dispositivos e respondem ao componente “Resposta do grupo ar comprimido às solicitações” para que esse possa responder aos demais controladores locais. Esse “componente” é representado esquematicamente pela Figura B. 59.

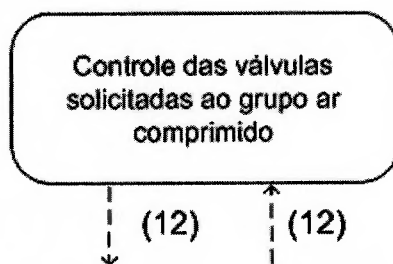


Figura B. 59 – “Componente” Controle das válvulas solicitadas ao grupo ar comprimido, composto pelos “objetos” Controle abertura V45, Controle fechamento V45, Controle abertura V46, Controle fechamento V46, Controle abertura V47 e Controle fechamento V47.

- Controle do grupo hidráulica (Figura B. 60), 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”. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se deriva o programa em linguagem de CLP (Controlador Lógico Programável), a ser executado pelo dispositivo de realização do controle local do grupo hidráulica. Assim, com a modelagem do aplicativo, evidencia-se o fluxo de sinais entre a planta e cada controlador local, bem como entre os controladores locais.

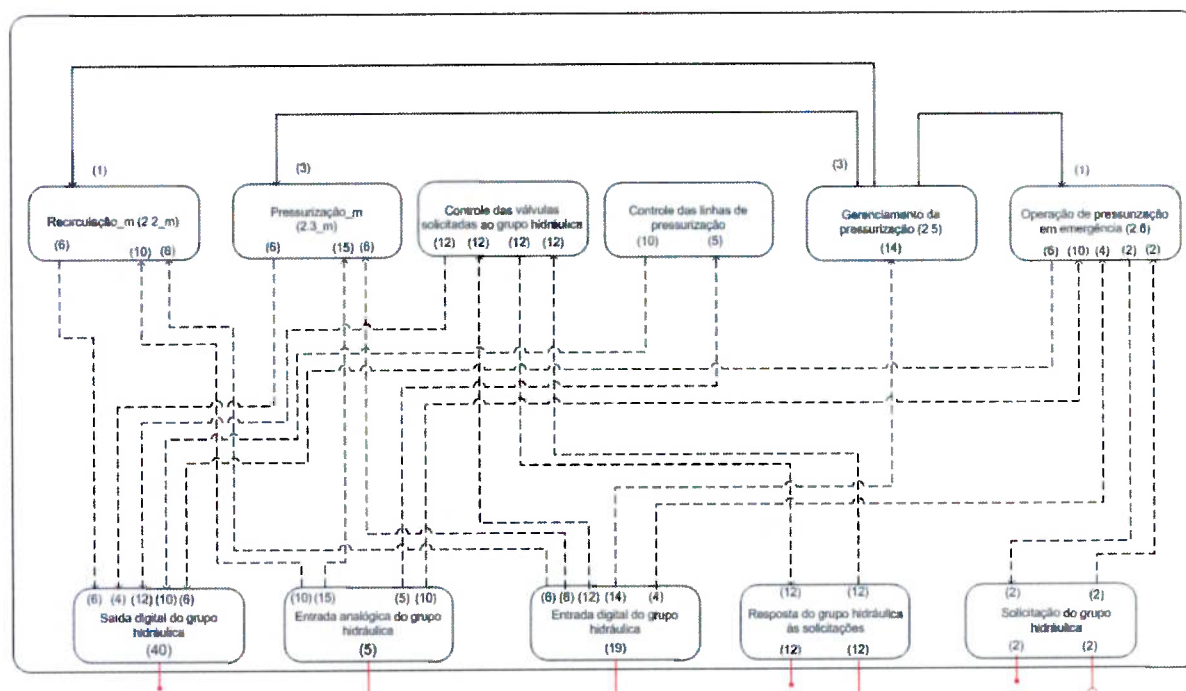


Figura B. 60 – “Componente” Controle do grupo hidráulica, composto pelos “objetos” Recirculação\_m (2.2\_m), Pressurização\_m (2.3\_m), Gerenciamento da pressurização (2.5) e Operação de pressurização em emergência (2.6) e pelos componentes “Controle das válvulas solicitadas”, “Controle das linhas de 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”.

- “Controle do grupo ar comprimido” (Figura B. 61), 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”. Como critério de componentização, considerou-se que é deste modelo que se deriva o programa em linguagem de CLP (Controlador Lógico Programável), a ser executado pelo dispositivo de realização do controle local do grupo ar comprimido. Assim, com a modelagem do aplicativo, evidencia-se o fluxo de sinais entre a planta e cada controlador local, bem como entre os controladores locais.

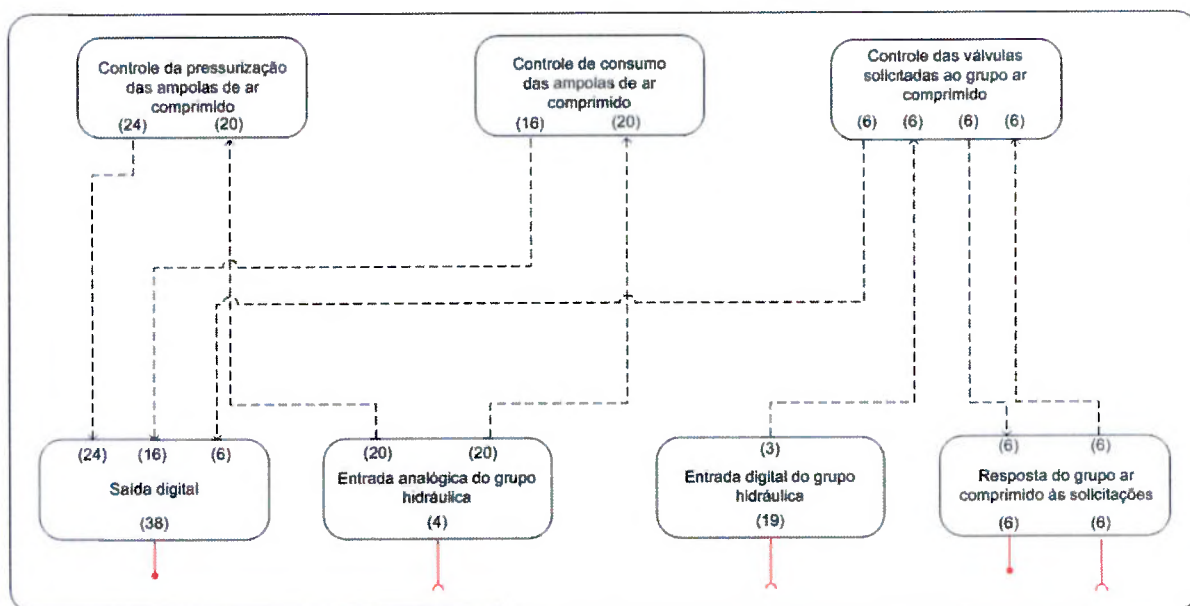


Figura B. 61 – Componente “Controle do grupo ar comprimido”, composto pelos “componentes” Controle da pressurização das ampolas de ar comprimido, Controle das válvulas solicitadas ao grupo ar comprimido, Controle de consumo das ampolas de ar comprimido, Entrada analógica do grupo ar comprimido, Entrada digital do grupo ar comprimido, Saída digital do grupo ar comprimido e Resposta do grupo ar comprimido às solicitações.



## B.6 PASSO 6 – GERAÇÃO DO APLICATIVO

Os “componentes” gerados para o subsistema de Energia, para o grupo hidráulica e para o grupo ar comprimido são então agrupados de forma a compor o aplicativo IPMS. Assim, a Figura B. 62 ilustra o aplicativo IPMS, seus “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.

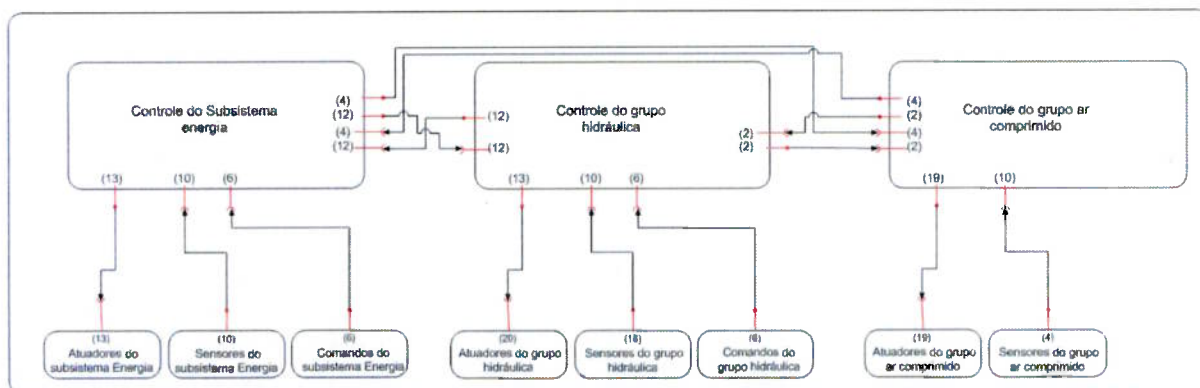


Figura B. 62 – Aplicativo IPMS composto pelos “componentes” Controle do Subsistema Energia, Comandos do subsistema Energia, Sensores do subsistema Energia, Atuadores do subsistema Energia, Controle do grupo hidráulica, Comandos do grupo hidráulica, Atuadores do grupo hidráulica, Sensores do grupo hidráulica, Controle do grupo ar comprimido, Atuadores do grupo ar comprimido, Sensores do grupo ar comprimido e o relacionamento entre eles.

## B.7 SÍNTESE DO APÊNDICE

Neste apêndice, complementa-se a modelagem que está apresentada no capítulo 4.

## 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: **1<sup>st</sup> Workshop on Object-Oriented Programming and Models of concurrency, OO-MC'95, 16<sup>th</sup> 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**. 2<sup>nd</sup> 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](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**, 1<sup>st</sup> 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](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.