MARCOS COELHO MATURANA

APLICAÇÃO DE REDES BAYESIANAS NA ANÁLISE DA
CONTRIBUIÇÃO DO ERRO HUMANO EM ACIDENTES DE COLISÃO

São Paulo

2010

MARCOS COELHO MATURANA

APLICAÇÃO DE REDES BAYESIANAS NA ANÁLISE DA
CONTRIBUIÇÃO DO ERRO HUMANO EM ACIDENTES DE COLISÃO

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciência

São Paulo

2010

Termo de Julgamento

MARCOS COELHO MATURANA

APLICAÇÃO DE REDES BAYESIANAS NA ANÁLISE DA
CONTRIBUIÇÃO DO ERRO HUMANO EM ACIDENTES DE COLISÃO

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciência

Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador:
Prof. Dr.
Marcelo Ramos Martins

São Paulo
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Maturana, Marcos Coelho

**Aplicação das redes bayesianas na análise da contribuição do erro humano em acidentes de colisão / M.C. Maturana. -- São Paulo, 2009.
161 p.**

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1. Redes neurais 2. Segurança à navegação 3. Colisão marítima 4. Normas de segurança 5. Navio tanque I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II. t.

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha esposa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores e ao pessoal do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, em especial ao meu orientador que, muito além de exercer suas atribuições, foi um amigo nos momentos de incerteza. Também agradeço a CAPES pela bolsa concedida, auxílio que facilitou a execução deste trabalho e permitiu sua conclusão em tempo hábil.

RESUMO

Recentemente, na indústria naval, a normatização por sociedades classificadoras e pela IMO (International Maritime Organization) tem apresentado uma mudança paulatina, migrando dos procedimentos prescritivos para uma estrutura regulatória baseada em risco. Tal perspectiva oferece algumas vantagens para operadores e armadores (empresas que exploram comercialmente as embarcações): 1) maior capacidade de incorporar projetos inovadores, tecnicamente superiores, a custos aceitáveis; 2) maior confiança quanto à segurança; 3) melhor entendimento de eventos de periculosidade, dos riscos enfrentados em novos projetos e de medidas de mitigação. Especificamente no setor petrolífero, a análise, a avaliação e o gerenciamento de risco são vitais, em face da potencial gravidade dos acidentes no que diz respeito à vida humana, ao meio-ambiente e ao patrimônio. Dado que a maior parte dos acidentes nesta área são motivados por fatores humanos, o propósito deste trabalho é apresentar uma metodologia e técnicas eficientes de análise de confiabilidade humana aplicáveis a esta indústria.

Durante as últimas décadas, se desenvolveram várias técnicas para o estudo quantitativo da confiabilidade humana. Na década de oitenta foram desenvolvidas técnicas que modelam o sistema por meio de árvores binárias, não permitindo a representação do contexto em que as ações humanas ocorrem. Desta forma, a representação dos indivíduos, suas inter-relações e a dinâmica do sistema não podem ser bem trabalhadas pela aplicação destas técnicas. Estas questões tornaram latente a necessidade de aprimoramento dos métodos utilizados para a HRA (Human Reliability Analysis). No intuito de extinguir, ou ao menos atenuar, estas limitações alguns autores vêm propondo a modelagem do sistema por meio de Redes Bayesianas. Espera-se que a aplicação desta ferramenta consiga suprimir boa parte das deficiências na modelagem da ação humana com o uso de árvores binárias. Este trabalho apresenta uma breve descrição da aplicação de Redes Bayesianas na HRA. Além disto, apresenta a aplicação desta técnica no estudo da operação de um navio petroleiro, tendo como foco a quantificação da contribuição do fator humano em cenários de colisão. Por fim, são feitas considerações a respeito dos fatores que podem influenciar no desempenho humano e no risco de colisão.

Palavras-chave: PSA (Probabilistic Safety Assessment); HRA; Redes Bayesianas; Colisão; Petroleiro.

ABSTRACT

Recently, in the naval industry, the normalization of classification societies and IMO (International Maritime Organization) has presented a gradual change, going from prescriptive procedures to a regulatory structure based on risk. That perspective offers some advantages to operators and constructors: 1) greater capacity to incorporate innovations in design, technically superiors, at acceptable cost; 2) greater confidence as to security; 3) better understanding of hazardous events, the risks faced by new projects and measures of mitigation. Specifically in the oil sector, the analyze, evaluation, and management of risk are vital, in face of the accidents severity potential in respect to human life, environment and property. Given that the greater part of the accidents on this sector is caused by human factors, the purpose of this dissertation is present a methodology and efficient techniques to HRA (Human Reliability Analysis) that can be applied in this industry.

During the last decades many techniques were developed to a quantitative study of the human reliability. In the eighties were developed some techniques based in the modeling by means of binaries trees. These techniques do not consider the representation of the context in which the human actions occur. Thus, the representation of individuals, their inter-relationships and dynamics of the system cannot be better worked by the application of these techniques. These issues became the improvement of the used methods for HRA a latent need. With the aim of extinguish, or attenuate at least, these weaknesses some authors proposed the modeling of the human system by means of Bayesians Network. It is expected that with the application of this tool can be suppressed great part of the deficiencies of the human action modeling by means of binaries trees. This work presents a brief description about the application of Bayesians Network in HRA. Additionally, is presented the application of this technique in the study of an oil tanker operation, focusing in the human factor quantification in scenarios of collision. Besides, are presented some considerations about the factors that can influence the human performance and the collision risk.

Keywords: PSA (Probabilistic Safety Assessment); HRA; Bayesian Networks; Collision; Tanker.

SUMÁRIO

LISTA DE ACRÔNIMOS.....	XII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	XIII
LISTA DE TABELAS	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	4
1.2. Estrutura da Dissertação	5
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1. Human Reliability Analysis (HRA)	7
2.1.1. Modelos de 1ª Geração	10
2.1.1.1. Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)	10
2.1.1.2. Technique for Human Error Rate Prediction (THERP)	11
2.1.2. Modelos de 2ª Geração	13
2.1.2.1. Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)	13
2.1.2.2. A Technique for Human Error Analysis (ATHEANA)	14
2.1.2.3. Modelo IDAC	15
2.1.3. Emprego das Redes Bayesianas.....	16
2.2. Explicação sobre as Redes Bayesianas.....	19
2.2.1. Conceitos Básicos	20
2.2.1.1. Probabilidade Condicional.....	22
2.2.1.2. Conjunção de Probabilidades	23
2.2.1.3. Representação do Domínio	24
2.2.1.4. Complexidade da Rede.....	25
2.2.1.5. Relações de Dependência Partindo da Topologia.....	26
2.2.2. Inferência	28
2.2.2.1. Inferência Exata	29
2.2.2.2. Eliminação de Variáveis	32
2.2.2.3. Agrupamento de Variáveis	32
2.2.2.4. Inferência Aproximada	34
2.2.3. Árvore de Falhas em Rede Bayesiana	35
2.3. Modelagem por Meio de Redes Bayesianas.....	40
2.3.1. Procedimento para a Construção de Redes Bayesianas na Análise de Confiabilidade	42
3. METODOLOGIA PARA HRA VIA REDES BAYESIANAS.....	44
3.1. Metodologia	44
3.2. Fatores Humanos na Operação do Navio	46
3.2.1. MOF	49
3.2.2. Fatores Internos	49
3.2.3. Fatores Ambientais	50
3.2.4. Lista de Habilidades.....	51
3.3. Integração das Redes Bayesianas com a Árvore de Falhas	52
4. APLICAÇÃO AO ESTUDO DA COLISÃO	54
4.1. Descrição do Sistema e Aproveitamento de Dados Quantitativos	55
4.2. Desencadeamento dos Eventos Perigosos.....	58
4.3. Redes Bayesianas Dinâmicas das Tarefas.....	60
4.3.1. Evento 5-Outra Embarcação não Detectada.....	61
4.3.2. Evento 10-Falha de Comunicação.....	62
4.3.3. Evento 11-Oficial dá Ordem Errada.....	63
4.3.4. Evento 23-Oficial dá Ordem Errada.....	63
4.3.5. Evento 29-Erro de Marcação	63
4.3.6. Evento 43-Falha no Traçado	64
4.4. Redes Bayesianas dos Fatores de Desempenho	65
4.4.1. Lista de Habilidades Relacionadas às Atividades	66
4.4.2. Rede dos Fatores de Desempenho para Monitoramento do Tráfego	66

4.5. Preenchimento das Tabelas de Probabilidades Condicionais.....	69
4.5.1. Nós das Atividades	71
4.5.2. Probabilidades Condicionais Iniciais	72
4.5.3. Ajustagem das Probabilidades Iniciais	73
5. ANÁLISE DO MODELO	80
5.1. Análise dos Eventos Básicos, dado o Evento Topo	81
5.2. Análise das Atividades	87
5.3. Análise dos Fatores Internos e Habilidades.....	92
5.4. Análise dos MOF	98
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	103
7. REFERÊNCIAS	107
APÊNDICE A: TABELAS COMPLEMENTARES PARA OS FATORES DE DESEMPENHO.....	110
APÊNDICE B: REDES BAYESIANAS DINÂMICAS E REDES DOS FATORES DE DESEMPENHO.....	118

LISTA DE ACRÔNIMOS

AI	Artificial Intelligence
ATHEANA	A Technique for Human Error Analysis
CREAM	Cognitive Reliability and Error Analysis Method
DAG	Directed Acyclic Graph
EFC	Error-forcing Context
EPC	Error Producing Condition
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FPSO	Floating Production System and Offloading
FSA	Formal Safety Assessment
GPS	Global Positioning System
HEART	Human Error Assessment and Reduction Technique
HEP	Human Error Probability
HFE	Human Failure Events
HRA	Human Reliability Analysis
IDAC	Information, Decision and Action in Crew Context
IMO	International Maritime Organization
LabRisco	Laboratório de Análise de Risco da Escola Politécnica da USP
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MOF	Management and Organizational Factor
ON	Oficial de Náutica
PSA	Probabilistic Safety Assessment
PSF	Performance Shaping Factor
RIPEAM	Regulamento Internacional Para Evitar Abalroamento no Mar
SMS	Safety Management System
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction
TPC	Tabela de Probabilidades Condicionais
UA	Unsafe Actions
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Número de técnicas para HRA (Hollnagel, 2005)	10
Figura 2 – Exemplos de grafos direcionados	20
Figura 3 – Rede Bayesiana típica demonstrando a topologia e as TPC	21
Figura 4 – Estrutura da rede exemplo	26
Figura 5 – Dependência do nó <i>A</i> , dados os nós pais	27
Figura 6 – <i>Markov Blanket</i> para o nó <i>A</i>	27
Figura 7 – Nós <i>A</i> e <i>B</i> : d-separados.....	28
Figura 8 – Inferência	29
Figura 9 – Visualização do cálculo	31
Figura 10 – Agrupamento de variáveis.....	33
Figura 11 – Portas empregadas em Árvores de Falhas	35
Figura 12 – Árvore de Falha com portas "E", "OU" e "OU Exclusivo"	36
Figura 13 – Rede obtida da Árvore com Porta "E"	37
Figura 14 – Rede obtida da Árvore com Porta "OU Exclusivo"	39
Figura 15 – Exemplo de rede dinâmica.....	41
Figura 16 – Metodologia para realização da HRA por meio das Redes Bayesianas	45
Figura 17 – Modelagem dos fatores que influenciam o desempenho humano	47
Figura 18 – Rede Genérica para Fatores de Desempenho.....	48
Figura 19 – Ilustração da integração Árvore de Falhas-Redes Bayesianas.....	53
Figura 20 – Rota observada durante visita.....	55
Figura 21 – Árvore de Falhas para Colisão.....	59
Figura 22 – Rede Bayesiana para o desencadeamento de eventos perigosos	60
Figura 23 – Rede Bayesiana Dinâmica para a tarefa de monitoramento do tráfego	62
Figura 24 – Rede Bayesiana Dinâmica para a tarefa de comunicação.....	62
Figura 25 – Rede Bayesiana Dinâmica para ordem dos oficiais	63
Figura 26 – Rede Bayesiana Dinâmica para a tarefa de marcação de posição	64
Figura 27 – Rede Bayesiana Dinâmica para a tarefa de traçado da rota	65
Figura 28 – Rede dos Fatores de Desempenho para Monitoramento do Tráfego	69
Figura 29 – Rede para o evento 6 – <i>Falha no Procedimento Padrão (RIPEAM)</i>	75
Figura 30 – Variação da probabilidade do evento 6 em função de α e β	75
Figura 31 – Pares de α e β possíveis para se encontrar 50% no Evento 6.....	76
Figura 32 – Diagrama dos desencadeamentos modelados na Figura 21	84
Figura 33 – Queda na probabilidade de falha	95
Figura 34 – Probabilidade de Colisão em Função dos MOF.....	99
Figura 35 – Probabilidade do MOF, dada uma evidência de Colisão.....	101
Figura 36 – Quantidade de arcos para cada MOF	101
Figura 37 – Rede para o evento 5 – <i>Outra Embarcação Não Detectada</i>	118
Figura 38 – Rede para o evento 10 – <i>Falha de Comunicação</i>	120
Figura 39 – Rede para o evento 11 – <i>Oficial dá Ordem Errada</i>	125
Figura 40 – Rede para o evento 14 – <i>Timoneiro dá Resposta Errada</i>	127
Figura 41 – Rede para o evento 29 – <i>Erro de Marcação</i>	129
Figura 42 – Rede para o evento 32 – <i>Capitão Falha</i>	133
Figura 43 – Rede para o evento 36 – <i>Erro de Atenção</i>	134
Figura 44 – Rede para o evento 43 – <i>Falha no Traçado</i>	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correlação entre os passos da FSA e da HRA (IMO, 2002)	7
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da HEART	11
Tabela 3 – Vantagens e desvantagens da THERP	13
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do CREAM	14
Tabela 5 – Vantagens e desvantagens da ATHEANA	16
Tabela 6 – Vantagens e desvantagens do modelo IDAC	17
Tabela 7 – Vantagens das Redes Bayesianas na HRA	18
Tabela 8 – Conjunção de Probabilidades das variáveis <i>A</i> e <i>B</i>	23
Tabela 9 – Cálculo de $P(j,m)$	31
Tabela 10 – MOF	49
Tabela 11 – Fatores Internos	50
Tabela 12 – Fatores Ambientais	51
Tabela 13 – Habilidades	51
Tabela 14 – Distribuição da Tripulação	56
Tabela 15 – Eventos Básicos e atividades relacionadas	61
Tabela 16 – Habilidades relacionadas às atividades	67
Tabela 17 – Fatores de desempenho para monitoramento com RADAR	68
Tabela 18 – TPC para o nó DectarVisualmente	72
Tabela 19 – TPC para o nó (A)	72
Tabela 20 – TPC para o nó Falha do Procedimento Padrão (RIPEAM)	77
Tabela 21 – TPC para o nó Percepção 6	77
Tabela 22 – TPC para o nó Equipe e Comunicação 1	77
Tabela 23 – TPC para o nó Conhecimento de Procedimento 1	77
Tabela 24 – TPC para o nó Qualidade do Sono 3	77
Tabela 25 – TPC para o nó Tratamento Dado a Falha 1	77
Tabela 26 – TPC para o nó Habilidade 1	77
Tabela 27 – TPC para o nó Condição Física 3	78
Tabela 28 – TPC para o nó Personalidade e Inteligência 2	78
Tabela 29 – TPC para o nó Estado Atual 2	78
Tabela 30 – TPC para o nó Conhecimento das Normas 2	78
Tabela 31 – Probabilidades associadas aos eventos básicos	81
Tabela 32 – Correlação entre fatores e eventos da árvore de falhas	82
Tabela 33 – Desencadeamento mais provável	85
Tabela 34 – Desencadeamentos com probabilidade maior que 1%	86
Tabela 35 – Probabilidades para as atividades	87
Tabela 36 – Probabilidades para as atividades, dadas as atividades precedentes	88
Tabela 37 – Probabilidades de erro obtidos no trabalho anterior	91
Tabela 38 – Análise dos PSF para a Tarefa 6 – <i>Procedimento RIPEAM</i>	93
Tabela 39 – Análise dos PSF para a atividade <i>DecidirFazerContato</i>	96
Tabela 40 – Análise dos PSF para a atividade <i>ConseguirContatoRadio</i>	96
Tabela 41 – Análise dos PSF para a atividade <i>DecidirContatoOutroMeio</i>	96
Tabela 42 – Análise dos PSF para a atividade <i>EntenderInterlocutor</i>	96
Tabela 43 – Análise dos PSF para a atividade <i>EntenderInterlocutor2</i>	97
Tabela 44 – Análise dos PSF para a atividade <i>EntendeDemanda1</i>	97
Tabela 45 – Análise dos PSF para a atividade <i>TomadaDecisao1</i>	97
Tabela 46 – Análise dos PSF para a atividade <i>DeteccaodoErro1</i>	98

Tabela 47 – Ordenação dos MOF (1º método)	100
Tabela 48 – Atividade 6-1: Falha do Procedimento RIPEAM	110
Tabela 49 – Atividade 10-1: Decidir Fazer Contato por Rádio	110
Tabela 50 – Atividade 10-2: Conseguir Fazer Contato	110
Tabela 51 – Atividade 10-3: Entender Interlocutor	110
Tabela 52 – Atividade 10-4: Decidir Fazer Contato por Outro Meio	111
Tabela 53 – Atividade 10-5: Entender Interlocutor	111
Tabela 54 – Atividade 11-1: Entende Corretamente	111
Tabela 55 – Atividade 11-2: Tomada de Decisão	111
Tabela 56 – Atividade 11-3: Detecção do Erro	112
Tabela 57 – Atividade 14-1: Resposta Errada	112
Tabela 58 – Atividade 23-1: Entende Corretamente	112
Tabela 59 – Atividade 23-2: Tomada de Decisão	112
Tabela 60 – Atividade 23-3: Detecção do Erro	113
Tabela 61 – Atividade 25-1: Resposta Errada	113
Tabela 62 – Atividade 29-1: Checagem de Equipamento	113
Tabela 63 – Atividade 29-3: Respeito dos Intervalos	113
Tabela 64 – Atividade 29-4: Leitura de posição	113
Tabela 65 – Atividade 29-5: Marcação na Carta Náutica	114
Tabela 66 – Atividade 29-6: Comandante Detecta o Erro	114
Tabela 67 – Atividade 32-1: Capitão Falha	114
Tabela 68 – Atividade 33-1: ON Falha	114
Tabela 69 – Atividade 36-1: Erro de Atenção	115
Tabela 70 – Atividade 39-1: Erro não Descoberto	115
Tabela 71 – Atividade 43-1: Atualização das Publicações	115
Tabela 72 – Atividade 43-2: Leitura das Informações	115
Tabela 73 – Atividade 43-3: Estabelecimento da Profundidade Mínima	115
Tabela 74 – Atividade 43-4: Leitura da Profundidade	116
Tabela 75 – Atividade 43-5: Identificar Áreas Restritas	116
Tabela 76 – Atividade 43-6: Traçar Áreas Restritas	116
Tabela 77 – Atividade 43-7: Traçar Rumos Sucessivos	116
Tabela 78 – Atividade 43-8: Identificar Way-Points	116
Tabela 79 – Atividade 43-9: Escolha dos Pontos	116
Tabela 80 – Atividade 43-10: Revisão da Rota ON	117
Tabela 81 – Atividade 43-11: Detecção de Falha Comandante	117
Tabela 82 – Eventos não apresentados no Apêndice	118
Tabela 83 – TPC para o nó Percepção	119
Tabela 84 – TPC para o nó Concentração	119
Tabela 85 – TPC para o nó Percepcao1	119
Tabela 86 – TPC para o nó Percepcao2	119
Tabela 87 – TPC para o nó DectarVisualmente	119
Tabela 88 – TPC para o nó DetectarPorRadar	119
Tabela 89 – TPC para o nó DetectarPorAlarme	119
Tabela 90 – TPC para o nó OutraEmbarcacaoNãoDetectada5	120
Tabela 91 – TPC para o nó Distrações	120
Tabela 92 – TPC para o nó TrabalhoMonotono	120
Tabela 93 – TPC para o nó QualidadedoSono	120
Tabela 94 – TPC para o nó CondicaoFisica	120
Tabela 95 – TPC para o nó QualidadedoSono2	121

Tabela 96 – TPC para o nó Distracoes2	121
Tabela 97 – TPC para o nó CondicaoFisica2.....	121
Tabela 98 – TPC para o nó Fadiga	121
Tabela 99 – TPC para o nó PersonalidadeeInteligencia	121
Tabela 100 – TPC para o nó MotivacaoeAtitude.....	121
Tabela 101 – TPC para o nó ConhecimentodasNormas.....	121
Tabela 102 – TPC para o nó EstadoAtual.....	121
Tabela 103 – TPC para o nó TratamentoDadoaFalha	121
Tabela 104 – TPC para o nó ConhecimentodasNormas1	121
Tabela 105 – TPC para o nó EstadoAtual1	122
Tabela 106 – TPC para o nó PersonalidadeeInteligencia1	122
Tabela 107 – TPC para o nó Habilidade	122
Tabela 108 – TPC para o nó Concentracao2.....	122
Tabela 109 – TPC para o nó Percepcao8	122
Tabela 110 – TPC para o nó ConhecimentodeProcedimento2	122
Tabela 111 – TPC para o nó Flexibilidade	122
Tabela 112 – TPC para o nó ConhecimentodeProcedimento	122
Tabela 113 – TPC para o nó EquipeComunicacao	122
Tabela 114 – TPC para o nó Percepcao7	123
Tabela 115 – TPC para o nó Interpretação	123
Tabela 116 – TPC para o nó EntenderInterlocutor2.....	123
Tabela 117 – TPC para o nó DecidirContatoOutroMeio.....	123
Tabela 118 – TPC para o nó DecidirFazerContato	123
Tabela 119 – TPC para o nó ConseguirContatoRadio	124
Tabela 120 – TPC para o nó EntenderInterlocutor.....	124
Tabela 121 – TPC para o nó FalhadeComunicacao10	124
Tabela 122 – TPC para o nó Distracoes3	125
Tabela 123 – TPC para o nó QualidadeodoSono4.....	125
Tabela 124 – TPC para o nó Fadiga1	125
Tabela 125 – TPC para o nó CondicaoFisica4.....	125
Tabela 126 – TPC para o nó PersonalidadeeInteligencia3	125
Tabela 127 – TPC para o nó TratamentoDadoaFalha2	125
Tabela 128 – TPC para o nó Percepcao9	125
Tabela 129 – TPC para o nó Flexibilidade1	125
Tabela 130 – TPC para o nó Interpretacao1	125
Tabela 131 – TPC para o nó MotivacaoeAtitude1	126
Tabela 132 – TPC para o nó Habilidade2	126
Tabela 133 – TPC para o nó Concentracao3.....	126
Tabela 134 – TPC para o nó EquipeComunicacao2	126
Tabela 135 – TPC para o nó Planejamento	126
Tabela 136 – TPC para o nó DeteccaodoErro	126
Tabela 137 – TPC para o nó EntendeDemanda	126
Tabela 138 – TPC para o nó TomadadeDecisao	127
Tabela 139 – TPC para o nó OficialdaOrdemErrada11.....	127
Tabela 140 – TPC para o nó QualidadeodoSono5.....	127
Tabela 141 – TPC para o nó Distracoes4	127
Tabela 142 – TPC para o nó TratamentoDadoaFalha3	128
Tabela 143 – TPC para o nó Habilidade3	128
Tabela 144 – TPC para o nó CondicaoFisica5.....	128

Tabela 145 – TPC para o nó Fadiga2	128
Tabela 146 – TPC para o nó EquipeComunicacao3	128
Tabela 147 – TPC para o nó ControleMotor.....	128
Tabela 148 – TPC para o nó Concentracao4	128
Tabela 149 – TPC para o nó TimoneirodaRespErrada14	128
Tabela 150 – TPC para o nó TrabalhoMonotono2	129
Tabela 151 – TPC para o nó QualidadeoSono8.....	129
Tabela 152 – TPC para o nó Distracoes7	129
Tabela 153 – TPC para o nó CondicaoFisica8.....	129
Tabela 154 – TPC para o nó Distracoes8	130
Tabela 155 – TPC para o nó TrabalhoMonotono3	130
Tabela 156 – TPC para o nó QualidadeoSono10.....	130
Tabela 157 – TPC para o nó Habilidade6	130
Tabela 158 – TPC para o nó TratamentoDadoaFalha6	130
Tabela 159 – TPC para o nó QualidadeoSono11.....	130
Tabela 160 – TPC para o nó TrabalhoMonotono4	130
Tabela 161 – TPC para o nó Distracoes9	130
Tabela 162 – TPC para o nó ExperienciaTreinamento	130
Tabela 163 – TPC para o nó CondicaoFisica9.....	130
Tabela 164 – TPC para o nó Percepcao13	130
Tabela 165 – TPC para o nó CondicaoFisica10.....	131
Tabela 166 – TPC para o nó ErrodeMarcacao29.....	131
Tabela 167 – TPC para o nó RespeitoIntervalosdeMarcacao	131
Tabela 168 – TPC para o nó LeituraPosicao.....	131
Tabela 169 – TPC para o nó ComandanteDetectaErro.....	131
Tabela 170 – TPC para o nó FalhaMaterialImprevista	131
Tabela 171 – TPC para o nó MarcacaoCartaNautica.....	131
Tabela 172 – TPC para o nó ChecagemEquipamento.....	132
Tabela 173 – TPC para o nó EquipeComunicacao7	132
Tabela 174 – TPC para o nó Percepcao12	132
Tabela 175 – TPC para o nó Concentracao9	132
Tabela 176 – TPC para o nó Percepcao11	132
Tabela 177 – TPC para o nó Concentracao8	132
Tabela 178 – TPC para o nó Concentracao10	132
Tabela 179 – TPC para o nó FrequenciaRepetitividade.....	132
Tabela 180 – TPC para o nó ControleMotor2.....	133
Tabela 181 – TPC para o nó ConhecimentodeProcedimento3	133
Tabela 182 – TPC para o nó EquipeComunicacao8	133
Tabela 183 – TPC para o nó CondicaoFisica11	133
Tabela 184 – TPC para o nó Concentracao11	133
Tabela 185 – TPC para o nó Percepcao14	134
Tabela 186 – TPC para o nó TrabalhoMonotono5	134
Tabela 187 – TPC para o nó QualidadeoSono12.....	134
Tabela 188 – TPC para o nó Habilidade7	134
Tabela 189 – TPC para o nó TratamentoDadoaFalha7	134
Tabela 190 – TPC para o nó Distracoes10	134
Tabela 191 – TPC para o nó ComandanteFalha32.....	134
Tabela 192 – TPC para o nó Fadiga5	135
Tabela 193 – TPC para o nó CondicaoFisica13.....	135

Tabela 194 – TPC para o nó Qualidade do Sono 14.....	135
Tabela 195 – TPC para o nó Trabalho Monotono 7	135
Tabela 196 – TPC para o nó Distrações 12	135
Tabela 197 – TPC para o nó Resistência Física	135
Tabela 198 – TPC para o nó Percepção 16	135
Tabela 199 – TPC para o nó Concentração 13	135
Tabela 200 – TPC para o nó Erro de Atenção 36	135
Tabela 201 – TPC para o nó Tratamento de uma Falha 11	136
Tabela 202 – TPC para o nó Condição Física 17	136
Tabela 203 – TPC para o nó Qualidade do Sono 18	137
Tabela 204 – TPC para o nó Tratamento de uma Falha 10	137
Tabela 205 – TPC para o nó Motivação e Atitude 3	137
Tabela 206 – TPC para o nó Experiência de Treinamento 1	137
Tabela 207 – TPC para o nó Qualidade do Sono 16	137
Tabela 208 – TPC para o nó Qualidade do Sono 17	137
Tabela 209 – TPC para o nó Habilidade 11	137
Tabela 210 – TPC para o nó Habilidade 10	137
Tabela 211 – TPC para o nó Condição Física 16	137
Tabela 212 – TPC para o nó Personalidade e Inteligência 5	137
Tabela 213 – TPC para o nó Distrações 14	137
Tabela 214 – TPC para o nó Condição Física 15	138
Tabela 215 – TPC para o nó Fadiga 6	138
Tabela 216 – TPC para o nó Distrações 15	138
Tabela 217 – TPC para o nó Trabalho Monotono 9	138
Tabela 218 – TPC para o nó Trabalho Monotono 10	138
Tabela 219 – TPC para o nó Distrações 16	138
Tabela 220 – TPC para o nó Trabalho Monotono 11	138
Tabela 221 – TPC para o nó Falha no Tracado 43	138
Tabela 222 – TPC para o nó Revisão Oficial Náutica 1	138
Tabela 223 – TPC para o nó Escolha de Pontos de Referência 1	139
Tabela 224 – TPC para o nó Identificar Way Points 1	139
Tabela 225 – TPC para o nó Tracar Rumos Sucessivos 1	139
Tabela 226 – TPC para o nó Tracar Áreas Restritas 1	139
Tabela 227 – TPC para o nó Profundidade Mínima 1	139
Tabela 228 – TPC para o nó Conhecimento de Procedimento 4	139
Tabela 229 – TPC para o nó Identificar Áreas Restritas 1	140
Tabela 230 – TPC para o nó Leitura de Profundidade 1	140
Tabela 231 – TPC para o nó Leitura das Informações 1	140
Tabela 232 – TPC para o nó Atualização de Publicações 1	140
Tabela 233 – TPC para o nó Revisão de Comandante 1	140
Tabela 234 – TPC para o nó Concentração 15	140
Tabela 235 – TPC para o nó Concentração 17	140
Tabela 236 – TPC para o nó Percepção 20	141
Tabela 237 – TPC para o nó Resistência Física 1	141
Tabela 238 – TPC para o nó Concentração 16	141
Tabela 239 – TPC para o nó Percepção 19	141
Tabela 240 – TPC para o nó Percepção 18	141
Tabela 241 – TPC para o nó Cálculo	141
Tabela 242 – TPC para o nó Controle Motor 3	141

Tabela 243 – TPC para o nó EquipeComunicacao11	141
Tabela 244 – TPC para o nó EquipeComunicacao12	141
Tabela 245 – TPC para o nó Interpretacao3	141

1. INTRODUÇÃO

Nos anos recentes, a análise, a avaliação e o gerenciamento de risco têm crescido substancialmente na indústria, tendo-se constituído em um instrumental de valor para apoio a decisões concernentes a segurança. Tornou-se possível a consideração de forma estruturada de eventos que envolvam periculosidade, permitindo o controle de riscos a custos aceitáveis.

Na indústria naval, a normatização por sociedades classificadoras e pela IMO tem apresentado uma mudança paulatina, migrando dos procedimentos prescritivos para uma estrutura regulatória baseada em risco. Tal perspectiva oferece as seguintes vantagens para operadores e armadores: 1) maior capacidade de incorporar projetos inovadores, tecnicamente superiores, a custos aceitáveis; 2) maior confiança quanto à segurança; 3) melhor entendimento de eventos de periculosidade, dos riscos enfrentados em novos projetos e de medidas de mitigação.

A concepção baseada em risco para tratamento de segurança de embarcações requer aplicação contínua e estruturada de técnicas de avaliação de risco, sendo fundamental o desenvolvimento de conhecimento e capacitação nesta área. O LabRisco, laboratório de análise de risco em fase de implantação no Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da USP, com financiamento de recursos do MCT/FINEP, vem ao encontro deste propósito, alavancando, inclusive, o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

Quando se deseja avaliar os riscos envolvidos na operação de determinado sistema, é natural o pensamento de se listar todos os eventos que podem ocorrer e trazer conseqüências negativas. No entanto, nem todos os eventos listados terão a mesma probabilidade de ocorrência. Da mesma forma, alguns eventos trazem conseqüências desastrosas e outros trazem perdas secundárias. Assim, para sistemas complexos, um estudo puramente determinístico dos eventos de risco pode não ser o mais adequado (Beldford e Cooke, 2001). Isto porque para sistemas complexos torna-se inviável a manipulação de todos os fatores que trazem perigo à operação. Por outro lado, um estudo probabilístico permite classificar os eventos em termos de conseqüências e freqüências. Sendo que a escolha de limites para estes parâmetros é pautada pelo grau de segurança que se deseja garantir na operação.

Os estudos probabilísticos dos riscos associados a sistemas estão agrupados no que se convencionou chamar PSA (Probabilistic Safety Assessment). A este respeito, a IMO publicou o “Guidelines for Formal Safety Assessment” (IMO, 2002). A intenção original desta publicação era formatar as propostas a serem encaminhadas para a IMO. Atualmente, no entanto, é utilizada por sociedades classificadoras como método para analisar e incrementar a segurança marítima (Martins e Goyano, 2007). A FSA (Formal Safety Assessment) aceita tanto uma caracterização quantitativa quanto qualitativa dos perigos e riscos envolvidos no problema a ser analisado e, consistentemente com os dados disponíveis, sua representação pode ser tanto matemática quanto descritiva. Nos casos em que os dados necessários para cada passo não estiverem disponíveis a metodologia prevê a participação de especialistas, desenvolvimento de modelos físicos, simulações e uso de modelos analíticos para sua produção. Entretanto, assim como na análise determinística, aquele que realiza a PSA pode se deparar com dificuldades. Como exemplos, podem-se citar:

- *Falta de Dados*: dificuldades associadas à falta de dados compreensíveis a respeito da área em consideração (como exemplo, isto pode ocorrer quando não existe para determinada área a cultura de se fazer registros, dificultando a obtenção de probabilidades; ou ainda porque se trata de uma área ou projeto inovador);
- *Dados Escassos*: dificuldades a respeito dos dados existentes associados a eventos raros (são poucos os dados existentes a respeito de acidentes catastróficos, restringindo a representatividade da amostra, por exemplo);
- *Modelagem*: modelos assumidos que não podem ser facilmente quantificados probabilisticamente (pouco entendimento de fenômenos físicos, ou do comportamento humano em regime de emergência, dificuldades nas considerações sobre dependências e simplificações para permitir a modelagem de sistemas complexos, por exemplo).

Desta forma, para que haja segurança nos resultados alcançados pela aplicação da PSA, é comum a adoção de intervalos ao invés de valores fixos para os dados assumidos (IAEA, 1995). Independentemente destas dificuldades, a PSA

pode claramente sugerir caminhos tanto para o incremento na segurança dos projetos quanto para a melhora na operação de sistemas complexos (IAEA, 1992).

A análise do elemento humano em sistemas integrados também pode ser feita por meio da PSA. Neste caso, associa-se o fator humano à ocorrência dos acidentes, suas causas implícitas e conseqüências (IMO, 2002). O elemento humano pode ser incorporado à PSA por meio da HRA.

Especificamente no setor petrolífero, a análise, a avaliação e o gerenciamento de risco são vitais, em face da potencial gravidade dos acidentes no que diz respeito à vida humana, ao meio-ambiente, ao patrimônio, às operações e à imagem da empresa. Um navio que transporta petróleo e seus derivados está sujeito a eventos com conseqüências desta natureza. Por exemplo, quando um navio deixa a rota segura incorre em uma série de perigos associados a eventos de encalhe e colisão com potencial para gerar grandes prejuízos ambientais; além dos efeitos listados no início do parágrafo. Dado que a maior parte dos acidentes nesta área é motivada por fatores humanos (IMO, 2002), torna-se interessante encontrar uma metodologia e técnicas eficientes de análise de confiabilidade humana que possam ser aplicadas com sucesso nesta indústria.

Durante as últimas décadas se desenvolveram várias técnicas para o estudo quantitativo da confiabilidade humana. Na década de oitenta foram desenvolvidas técnicas que modelam o sistema por meio de árvores binárias (Gertman e Blackman, 1993). Estas técnicas não levam em conta a representação do contexto em que as ações humanas ocorrem (Hollnagel, 2005). Desta forma, a representação dos indivíduos, suas inter-relações e a dinâmica do sistema não podem ser bem trabalhadas pela aplicação destas técnicas (Droguett e Menêzes, 2007). Estas questões tornaram latente a necessidade de aprimoramento dos métodos utilizados para a HRA.

Com intuito de extinguir ou pelo menos atenuar estas limitações, alguns autores vêm propondo a modelagem do sistema por meio de Redes Bayesianas (Droguett e Menêzes, 2007; Eleye-Datubo, Wall e Wang, 2008). A intenção, ao aplicar esta ferramenta, é suprimir boa parte das deficiências na modelagem da ação humana com o uso de árvore binárias.

No próximo capítulo, este trabalho apresenta de forma sucinta algumas das

principais técnicas dedicadas à HRA, com comentários a respeito de seus pontos fortes e fracos. Sobre esta base é justificado o emprego das Redes Bayesianas e, em seguida, é apresentada uma breve descrição dos principais conceitos que baseiam esta ferramenta.

A seguir são apresentados resumidamente os objetivos e a estrutura desta dissertação.

1.1. OBJETIVOS

O propósito deste trabalho é apresentar uma metodologia e técnicas eficientes de análise de confiabilidade humana aplicáveis a indústria naval. Para cumprir este propósito, foi desenvolvida uma metodologia que se baseia em trabalhos de outros autores (Swain e Guttman, 1983; Droguett e Menêzes, 2007; Eleye-Datubo, Wall e Wang, 2008) e está apoiada no emprego das Redes Bayesianas para modelar o fator humano. Antes de sua apresentação, no entanto, este trabalho procura justificar o emprego das Redes Bayesianas, comparando suas características com as vantagens e desvantagens de algumas técnicas existentes de análise de confiabilidade humana.

Para auxiliar no entendimento da metodologia desenvolvida, foi proposto um estudo de caso. Com isto, procurou-se saber quais as dificuldades encontradas ao se trabalhar com Redes Bayesianas, quais informações podem ser extraídas do modelo obtido pela aplicação da metodologia proposta e sua significância, e como pode ser feito o aproveitamento de informações de modelos já desenvolvidos pela aplicação de outras técnicas.

O estudo de caso tratou da operação de um navio petroleiro, tendo como foco a análise quantitativa da contribuição do fator humano em cenários de colisão. A fim de comparar as ferramentas utilizadas, esta aplicação foi feita com apoio de um estudo inicial realizado no Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da USP em 2007 (Maturana e Martins, 2008). Este estudo inicial abordou a aplicação da HRA, por meio da THERP (Technique for Human Error Rate Prediction), no estudo da operação de um navio petroleiro que percorre a rota entre a Bacia de Campos e São Sebastião realizando o alívio de plataformas tipo FPSO (Floating Production System and Offloading), também considerando cenários de colisão.

Visto o descrito nos parágrafos anteriores, ressalta-se que o objetivo deste

estudo de caso não é a determinação da probabilidade de colisão do navio estudado – que seria avaliada mais adequadamente se a análise não se restringisse a operação do navio e fosse extrapolada para pontos não modelados (como a fase de projeto, períodos de manutenção da embarcação, etc.).

Buscando apresentar o potencial da metodologia proposta, foram feitas considerações a respeito dos fatores que podem influenciar no desempenho humano e na probabilidade de colisão (utilizando o modelo desenvolvido neste estudo de caso). Os MOF (Management and Organizational Factors) foram listados de acordo com a sua contribuição na probabilidade do acidente em estudo. O mesmo é apresentado para as atividades realizadas no navio, comparando com os resultados obtidos no trabalho anterior, que não puderam ser quantitativos devido às dificuldades encontradas ao lidar com árvores binárias (ver Maturana e Martins, 2008). Todas estas análises foram feitas em função dos desencadeamentos de eventos que podem contribuir para a colisão.

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada em 7 Capítulos, incluindo este inicial de introdução, objetivos e explicação resumida sobre a estrutura da dissertação.

No **Capítulo 2** são apresentados os fundamentos teóricos, iniciando por uma breve discussão sobre os modelos de 1ª e 2ª geração aplicáveis à HRA, focando seus pontos fortes e fracos e a aplicação das Redes Bayesianas como instrumento para superar seus pontos fracos. Em seguida, este capítulo traz os conceitos básicos essenciais para o entendimento das Redes Bayesianas e seu emprego para fazer inferências. Neste contexto, um item é dedicado ao estudo da transformação das Árvores de Falhas em Redes Bayesianas.

No **Capítulo 3** é apresentada a metodologia desenvolvida para realização da HRA por meio das Redes Bayesianas e, centralizando na operação de navios petroleiros, é estruturada uma forma para modelar o fator humano com o emprego desta ferramenta. Assim, são apresentados os principais fatores relacionados a esta operação e ao evento de colisão. Para encerrar, é apresentada a maneira empregada no estudo de caso para integrar por meio de uma Árvore de Falhas as redes que modelam tarefas, com objetivo de estudar o evento de colisão.

No **Capítulo 4** é apresentado um estudo de caso com o intuito de verificar a aplicação das Redes Bayesianas na modelagem do fator humano em acidentes de colisão. Para tanto, o sistema é apresentado e é feita uma breve consideração sobre as dificuldades quantitativas encontradas. Na sequência são modelados os desencadeamentos dos eventos perigosos (aqueles que podem levar a embarcação a colidir), as tarefas que estão relacionadas aos eventos iniciadores destes desencadeamentos (eventos básicos da Árvore de Falhas) e os PSF (Performance Shaping Factors) relacionados a execução destas tarefas. Finalmente, é apresentado o método utilizado para preencher as TPC (Tabelas de Probabilidades Condicionais). Associados a este capítulo estão os Apêndices A e B que apresentam, respectivamente, as tabelas que relacionam os PSF às atividades das tarefas e as Redes Bayesianas Dinâmicas das Tarefas já integradas às Redes dos Fatores de Desempenho obtidas com a modelagem.

O **Capítulo 5** é de análise, onde são apresentadas as informações extraídas do modelo descrito no capítulo anterior. Os eventos básicos são estudados em função do evento topo (colisão) de forma a ser encontrado o desencadeamento crítico de acordo com este critério, ou seja, dado o evento de colisão. Dando continuidade a este capítulo, as atividades, fatores internos, habilidades e MOF são analisados detalhadamente em função do evento topo. No caso das atividades, foi feita uma comparação com os resultados alcançados em trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008). Para os MOF foram apresentados dois métodos equivalentes para determinar aqueles que mais contribuem para o evento de colisão.

No **Capítulo 6** é feita a conclusão final, sendo apresentados os resultados do trabalho e as dificuldades encontradas, além das últimas considerações a respeito desta dissertação e recomendações para trabalhos futuros.

Por fim, no **Capítulo 7** são apresentadas as referências consultadas que deram base para este trabalho e podem ser utilizadas para aprofundamento do conhecimento discutido, além de poderem servir para o desenvolvimento de trabalhos posteriores.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste capítulo, serão apresentados os fundamentos para o emprego das Redes Bayesianas na HRA. Primeiramente serão considerados alguns pontos a respeito da HRA e das técnicas dedicadas à sua aplicação. Dentro deste contexto, são apresentadas justificativas para o emprego das Redes Bayesianas como instrumento para a análise quantitativa da confiabilidade humana. Em seguida, é apresentada uma explanação a respeito desta ferramenta, focando os pontos considerados importantes para o entendimento do estudo de caso exposto no capítulo 4. Para encerrar, são apresentados alguns pontos sobre a modelagem de domínios por meio das Redes Bayesianas e um procedimento para sua construção na análise de confiabilidade.

2.1. HUMAN RELIABILITY ANALYSIS (HRA)

A HRA tem suas raízes no estudo do desempenho humano e tem grande aplicabilidade na indústria nuclear (Gertman e Blackman, 1993), onde a análise da segurança tem papel fundamental devido à grande responsabilidade em lidar com centrais nucleares e a complexidade do sistema como um todo.

A HRA é um procedimento que envolve atividades de análise com aplicação de técnicas específicas para cada estágio e, dependendo do nível de PSA que está sendo realizado, pode ser quantitativa ou qualitativa. Se for requerida a análise quantitativa completa, então HEP (Human Error Probabilities) devem ser determinadas para alimentar modelos tais como Árvores de Falhas e de Eventos (IMO, 2002), por exemplo. A HRA usualmente consiste dos seguintes estágios: 1) Identificação de Tarefas-chave; 2) Análise das Tarefas-chave; 3) Identificação dos Erros Humanos; 4) Análise dos Erros humanos; 5) Quantificação da Confiabilidade Humana. A Tabela 1 apresenta as relações entre os passos da FSA e as etapas previstas para a HRA (IMO, 2002).

Tabela 1 – Correlação entre os passos da FSA e da HRA (IMO, 2002)

Passos da FSA	Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5
	Identificação dos Perigos	Análise de Risco	Opções de Controle de Risco	Análise de Custo Benefício	Recomendações a Tomada de Decisão
Tarefas Requeridas para a Incorporação da HRA	<ul style="list-style-type: none">• Perigos Relacionados a Fatores Humanos;• Análise de Tarefas de Alto Nível;• Descrição Preliminar dos Resultados.	<ul style="list-style-type: none">• Análise Detalhada das Tarefas Críticas;• Análise do Erro Humano;• Quantificação do Erro Humano.	<ul style="list-style-type: none">• Opções de Controle de Risco para o Elemento Humano.		

A seguir, apresenta-se uma descrição sucinta dos principais estágios da HRA

relacionados com os passos da FSA:

- *Passo 1 – Identificação de Perigos:* Neste passo devem-se identificar as ações humanas que, se não executadas apropriadamente, podem levar o sistema a falhar. Por meio de ampla investigação, devem-se identificar as áreas de interesse (tarefas e sub-tarefas) e como os erros humanos podem contribuir para acidentes durante situações normais e de emergência. No desenvolvimento da análise das tarefas pode-se utilizar uma gama de técnicas – tais como entrevistas, observação, relatos de incidentes críticos – muitas das quais podem ser utilizadas diretamente na identificação de tarefas-chave. Adicionalmente, existe uma série de informações que podem ser consultadas, incluindo informações do projeto, experiências passadas e procedimentos de operação normais e em emergência. O resultado desta etapa é uma gama de tarefas, sub-tarefas e atividades associadas a perigos críticos;
- *Passo 2 – Análise de Risco:* O propósito deste passo é identificar as áreas em que o fator humano se coloca como de alto risco para a segurança do sistema e avaliar os fatores que influenciam no nível de risco. Pode ser composto das seguintes etapas:
 - *Análise Detalhada de Tarefas:* Nesta etapa as tarefas críticas são detalhas em suas atividades principais, levando em consideração os objetivos de cada atividade e seus executores. Nesta fase também devem ser levantados os fatores que influenciam na execução da tarefa – tais como ambiente de trabalho, grau de dificuldade, interface homem-máquina, se é feita em condições normais ou de emergência;
 - *Análise do Erro Humano:* O propósito desta análise é produzir uma lista de potenciais erros humanos que podem levar a conseqüências indesejadas. Estes erros precisam ser analisados quanto a sua causa provável, o potencial para correção do erro pelo próprio executor ou por outra pessoa, e as conseqüências do erro;
 - *Quantificação do Erro Humano:* A quantificação do erro humano

pode ser feita de diferentes maneiras – julgamento de especialistas, registros históricos e probabilidades genéricas de erro. Para estes dois últimos casos, existem técnicas associadas a banco de dados de erro humano, sendo que a THERP, que será detalhada adiante, é amplamente empregada. Ao se aplicar esta técnica para a quantificação do erro, geralmente utiliza-se uma aproximação da HEP, visto que não se pode dizer que os dados disponíveis (levantados em laboratório, em condições controladas) sempre se ajustam ao ambiente real de trabalho (Gertman e Blackman, 1993);

- *Passo 3 – Opções de Controle de Risco:* Para a realização deste passo é necessário definir ações para a redução da frequência do erro por meio da mitigação de seus efeitos e/ou alívio das circunstâncias em que ocorre. O resultado esperado para este passo é uma série de opções de controle de risco a serem aplicadas no sistema – Por exemplo: treinamento da tripulação; mudanças de layout ou ergonômicas; especificação de informações a serem disponibilizadas e desenvolvimento de procedimentos de emergência.

Com o passar dos anos foram desenvolvidas diversas técnicas aplicadas a HRA. A compreensão do conjunto das técnicas existentes para a aplicação da HRA está atrelada ao entendimento da evolução histórica destas técnicas. É interessante notar a forte conexão entre o acidente em *Three-Mile Island*, em 28 de março de 1979, e o crescimento do número de técnicas para HRA – conforme apontado na Figura 1 (Hollnagel, 2005). Este acidente (melhor detalhado por General Accounting Office, 1980), é considerado um marco, já que a partir dele o fator humano se tornou uma das principais preocupações, tanto no projeto de salas de controle como em outros pontos das centrais nucleares.

Como demonstrado na Figura 1 (Hollnagel, 2005), os métodos considerados de 1ª geração surgiram a partir de 1975, sendo o trabalho publicado por Rasmussen (NUREG-75/014, 1975) considerado pioneiro nesta área (Kirwan, 1994). Muitos métodos surgiram nos anos 80, com maior crescimento em 1984. Este período foi acompanhado por outro menos acentuado em torno de 1996, que representou o

aparecimento dos então chamados métodos de 2ª geração. Estes métodos tentaram suprimir as críticas então existentes à HRA (Hollnagel, 2005).

Figura 1 – Número de técnicas para HRA (Hollnagel, 2005)

Com o intuito de demonstrar a evolução atual das técnicas desenvolvidas para a HRA, a seguir serão apresentados rapidamente os principais métodos de 1ª geração, focalizando os seus pontos fortes e fracos. E, na seqüência, o mesmo será feito para os modelos de 2ª geração. Para finalizar a discussão sobre as técnicas dedicadas à HRA, será apresentado um tópico a respeito das Redes Bayesianas como ferramenta para o estudo quantitativo da confiabilidade humana – objetivando a supressão de algumas das desvantagens dos modelos de 1ª e 2ª geração, além da incorporação das suas principais vantagens.

2.1.1. MODELOS DE 1ª GERAÇÃO

A maioria das técnicas de 1ª geração foi desenvolvida para a indústria nuclear e tem como característica marcante o trabalho com modelos dicotômicos para modelar e quantificar as situações que podem conduzir a erros. Dentre estas, destacam-se a HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique) e a THERP que, por este motivo, foram escolhidas para uma breve apresentação. Como uma descrição detalhada de todas as técnicas disponíveis foge do escopo deste trabalho, recomenda-se Hollnagel (1998) que enumera uma lista de referências para diferentes métodos classificados como de 1ª geração.

2.1.1.1. HUMAN ERROR ASSESSMENT AND REDUCTION TECHNIQUE (HEART)

A HEART foi desenvolvida por Williams em 1986 (Kirwan, 1994). De maneira geral, é uma técnica que envolve a classificação de tarefas em grupos especificados por uma tabela. A cada grupo se associa uma HEP nominal. Para a obtenção da probabilidade final de erro humano na execução da tarefa, esta HEP nominal deve

ser multiplicada por fatores (denominados EPC — Error Producing Condition) que consideram o cenário em que a ação se desenvolve. Todas estas associações devem ser apoiadas na opinião de especialistas. Os passos específicos para a aplicação da HEART são:

- Identificação de todas as atividades requeridas para que determinado operador do sistema realize a tarefa estudada;
- Com estas informações em mãos, solicita-se a opinião de especialistas sobre a probabilidade de haver erro na execução da tarefa;
- Consideram-se, de acordo com a opinião de especialistas, quais EPC podem ter efeito negativo sobre a execução da tarefa. Assim, determina-se o grau de efeito de cada EPC;
- Por fim, calcula-se a HEP para a atividade, considerando-se os EPC que inegavelmente têm influência na tarefa dentro do contexto em que ela se desenvolve.

A Tabela 2 apresenta um resumo das vantagens e desvantagens levantadas para esta técnica.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da HEART

<i>Vantagens</i>
<ul style="list-style-type: none">• É de aplicação rápida, clara e demanda poucos recursos;• Proporciona ao usuário sugestões de como reduzir a ocorrência de erros;• Provê um <i>link</i> imediato entre fatores ergonômicos e características de projeto do sistema;• Permite análise de custo benefício;• É altamente flexível e permite sua aplicação em uma ampla gama de áreas, o que pode justificar sua popularidade.
<i>Desvantagens (Kirwan, 1994)</i>
<ul style="list-style-type: none">• Os dados apresentados que determinam os EPC nunca foram completamente validados;• É fortemente dependente da opinião de especialistas, sendo os resultados influenciados por suas tendências (otimistas ou pessimistas);• A interdependência entre os EPC não foi modelada.

2.1.1.2. TECHNIQUE FOR HUMAN ERROR RATE PREDICTION (THERP)

A THERP foi desenvolvida por Swain e Guttmann (1983) do Sandia National Laboratories para a U.S. Nuclear Regulatory Commission e se tornou um método bastante utilizado para a avaliação quantitativa da HRA (Gertman e Blackman, 1993).

Esta técnica combina um método de modelagem com uma coleção de dados empíricos para taxas básicas de falha humana (HEP) que são modificadas por uma

série de fatores de forma (PSF). Além disto, emprega Árvores de Falhas e de Eventos para, através do uso de portas lógicas, representarem as relações de causa e consequência no sistema que está sendo analisado. Desta forma, são determinadas as probabilidades de ocorrência dos cenários de acidentes.

A utilização das árvores de probabilidades se dá de forma semelhante ao que se faz para a confiabilidade de sistemas, mas considerando, ao invés dos estados do sistema e equipamentos, as atividades humanas e as suas correspondentes probabilidades de erros. Isto permite ao analista avaliar a degradação do sistema homem-máquina considerando os erros dos indivíduos quando os equipamentos estão funcionando, os processos e operações a serem realizados, além de outras características humanas que podem influenciar o funcionamento do sistema. Para a aplicação da THERP são requeridos os seguintes passos:

- *Definição das falhas do sistema:* identificar todos os subsistemas na operação que podem ser influenciados ou afetados por fatores humanos;
- *Listagem e análise das ações humanas relacionadas à operação do sistema:* elaborar uma lista de tarefas considerando todas as operações humanas realizando uma análise detalhada de cada tarefa;
- *Estimativa das probabilidades de erro relevantes (das atividades que trazem risco ao sistema, identificadas no passo anterior):* determinar as probabilidades dos erros humanos (HEP) por meio de banco de dados, julgamento de especialistas e/ou experiência. A THERP considera os PSF para definir o valor da probabilidade de erro em uma atividade – estes PSF são fatores que influenciam a tarefa no nível operacional. Para verificar a probabilidade de falha na tarefa são utilizadas Árvores de Eventos. Assim, com divisões binárias é representada a execução correta ou incorreta;
- *Estimativa do efeito dos erros humanos nos eventos de falha do sistema:* determinar os efeitos dos erros humanos ao integrar os erros humanos nas Árvores de Falhas;
- *Opções de Controle de Risco:* recomendar mudanças no sistema e

recalcular as probabilidades de falhas do sistema modificado.

A Tabela 3 apresenta um resumo das vantagens e desvantagens levantadas para esta técnica.

Tabela 3 – Vantagens e desvantagens da THERP

<i>Vantagens (IMO, 2002)</i>
<ul style="list-style-type: none">• Boa ferramenta para comparação relativa de riscos, ou seja, para verificar o efeito de mudanças em procedimentos operacionais ou mesmo comparar a magnitude do risco em plantas diferentes;• Devido ao nível de detalhe requerido, força o analista a ganhar uma profunda visão do sistema e dos potenciais erros humanos envolvidos;• Pode ser utilizada para verificar a participação do erro humano em termos de magnitude de risco, e não necessariamente em termos de probabilidades ou frequências;• Pode ser utilizada com as Árvores de Falhas na FSA;• O seu banco de dados pode ser utilizado sistematicamente, permitindo inclusive a inserção de novos dados de erro quando disponíveis.
<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none">• É difícil associar uma probabilidade ao erro humano, pois o ser humano pode se corrigir dependendo da situação, antes que o problema ocorra, trazendo incertezas às HEP disponibilizadas (Swain e Guttman, 1983);• Consideração impessoal do erro: duas pessoas não possuem a mesma reação como equipamentos (Swain e Guttman, 1983);• Não consideração de fatores tais como humor, disposição, ânimo, prudência, personalidade (Swain e Guttman, 1983);• Falta de banco de dados específico para a área naval (IMO, 2002);• Pode exigir recursos intensos devido ao nível de detalhe requerido para aplicá-la propriamente (IMO, 2002);• Diante das dificuldades em modelar ações humanas utilizando árvores binárias de eventos, este método não considera a dependência entre eventos e entre fatores de desempenho (Hollnagel, 1998).

2.1.2. MODELOS DE 2ª GERAÇÃO

Com o intuito de superar as deficiências apontadas nos modelos de 1ª geração, surgiram, na década de 90, técnicas centradas em modelos de comportamento humano (considerando mais explicitamente os fatores cognitivos). Dentre estas técnicas destacam-se o CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) e a ATHEANA (A Technique for Human Error Analysis). Estas técnicas serão descritas rapidamente a seguir, juntamente com o modelo IDAC (Information, Decision and Action in Crew Context), proposto por Chang e Mosleh (2007).

2.1.2.1. COGNITIVE RELIABILITY AND ERROR ANALYSIS METHOD (CREAM)

O CREAM, apresentado por Hollnagel (1998), é um método concebido para relacionar causas e conseqüências. Desta forma, com a aplicação deste método, pretende-se a determinação das causas dados os efeitos ou dos efeitos dadas as causas.

Este modelo constitui uma tentativa de quantificar mais explicitamente a influência dos diversos fatores sobre o desempenho dos operários através de uma generalização da Árvore de Eventos numa classificação policotômica (Droguett e Menêzes, 2007). Ou seja, esta técnica se baseia no estabelecimento de cadeias de eventos integrando modos de erros, genótipos humanos, equipamentos e fatores organizacionais.

A Tabela 4 apresenta um resumo das vantagens e desvantagens levantadas para este método.

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do CREAM

<i>Vantagens (Salmon, Stanton e Walker, 2003)</i>
<ul style="list-style-type: none">• Permite a quantificação direta dos HEP;• É flexível, permitindo ao usuário adaptação ao contexto em que os eventos ocorrem;• O método utiliza os mesmos princípios para a análise retrospectiva e para a preditiva.
<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none">• Requer grande quantidade de recursos, incluindo tempo para ser completada (Salmon, Stanton e Walker, 2003);• Requer conhecimento no campo de falhas humanas para perfeita aplicação, podendo ser muito complicada para usuários inexperientes (Salmon, Stanton e Walker, 2003);• Não ajuda a apontar os potenciais pontos para a redução de erros (Salmon, Stanton e Walker, 2003);• Não incorpora explicitamente o tratamento de contextos dinâmicos (Salmon, Stanton e Walker, 2003);• Trabalha com a suposição de independência entre os eventos (Droguett e Menêzes, 2007).

2.1.2.2. A TECHNIQUE FOR HUMAN ERROR ANALYSIS (ATHEANA)

Esta técnica, desenvolvida para U.S. Nuclear Regulatory Commission (NUREG/CR-6350, 1996), foi concebida para a análise posterior de incidentes. Essencialmente, este é um método para reportar acidentes de forma estruturada e padronizada, de maneira que possa ser facilmente entendida e comunicada. Seu propósito principal é auxiliar a entender mais facilmente o comportamento humano em centrais nucleares. Para isto, procura uma estrutura psicológica robusta para avaliar e identificar os PSF – incluindo fatores organizacionais e de meio ambiente – que tem levado a incidentes. O resultado alcançado pela aplicação desta técnica é a identificação de várias ações humanas e sua associação a situações contextuais que podem levar ao sucesso ou erro na execução da tarefa. Assim, o modelo resultante pode indicar soluções para incrementar a confiabilidade (NUREG/CR-6350, 1996). Não existem, no entanto, aspectos numéricos envolvidos na metodologia utilizada para construir o modelo (como não traz como resultado uma HEP é marcadamente diferente dos métodos de 1ª geração). Desta forma, esta

técnica não é propícia para certos campos – tais como projetos comparativos e análises de sensibilidade. No entanto, não sendo preditiva, também pode ser útil como ferramenta para se fazer diagnósticos.

Na ATHEANA, os diversos fatores envolvidos em um acidente, e suas possíveis consequências, são agrupados levando em consideração: influência organizacional, fatores de desempenho, falhas mecânicas, ações inseguras, evento de erro humano, e resultados inaceitáveis. São sete os passos básicos desta técnica (NUREG-1880, 2007):

- Definir e interpretar o assunto em questão;
- Detalhar o escopo requerido da análise;
- Definição do cenário básico de acidente, considerando o ambiente, ações e processos;
- Definição dos HFE (Human Failure Events – são os possíveis erros nas ações) e/ou UA (Unsafe Actions – é a ação na qual o operador pode errar e, com isto, levar à operação insegura do sistema) que podem afetar a tarefa em questão;
- Categorização mais profunda dos HFE e suas relações com as UA;
- Procura de possíveis desvios do cenário básico de acidente em termos de prováveis divergências no ambiente de operação em virtude do contexto de emergência;
- De posse dos dados do passo anterior, são escolhidas combinações dos EFC (Error-forcing Context) e PSF, de acordo com o que for considerado adequado para a tarefa.

A Tabela 5 apresenta um resumo das vantagens e desvantagens levantadas para esta técnica.

2.1.2.3. MODELO IDAC

Na modelagem do comportamento humano, os idealizadores do modelo IDAC propõem a decomposição das atividades humanas em três tipos genéricos, no que convencionaram chamar processo I-D-A – as atividades podem ser de recebimento e processamento de informação (I), de solução de problemas e tomada de decisão

(D), ou ainda de execução de ação no processo (A). Sendo proposto que estas atividades podem ser decompostas em atividades ainda mais simples, sendo cada uma classificada de acordo com o processo I-D-A (Chang e Mosleh, 2007).

Tabela 5 – Vantagens e desvantagens da ATHEANA

<i>Vantagens</i>
<ul style="list-style-type: none">• Entendimento mais rico e global das causas de incidentes do que os métodos de 1ª geração;• Aumenta a garantia de que os riscos associados aos eventos de erro humano serão identificados;• Depois de aplicada, permite mais segurança nas estimativas das HEP ao definir os fatores de desempenho e suas combinações;• Tem como característica a possibilidade de considerar dependência entre os fatores associados à execução de determinada tarefa.
<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none">• Análise preditiva quantitativa se torna mais demorada e dispendiosa;• Não aprofunda o entendimento das causas e suas dependências com os diversos fatores de influência;• As consequências dos erros humanos se limitam às seqüências pré-definidas de acidentes;• É considerada ineficiente para a análise preditiva.

Em 2007, os autores publicaram uma série de cinco artigos oferecendo uma visão geral sobre o modelo IDAC e seus avanços até aquele momento (ver Chang e Mosleh, 2007, 2007b, 2007c, 2007d, e 2007e).

Como apoio para a modelagem, o diagrama de influência IDAC apresenta relações de causa e efeito entre PSF, provendo subsídios para a simulação do comportamento humano e sua interação com as outras partes do sistema, considerando basicamente que o modelo humano recebe informações e entrega ações humanas ao sistema (Mosleh e Chang, 2004).

A Tabela 6 enumera algumas vantagens e desvantagens relacionadas a este modelo.

2.1.3. EMPREGO DAS REDES BAYESIANAS

Como apontado nos subitens anteriores, cada técnica traz vantagens e desvantagens. Verifica-se que alguns dos pontos tidos como fortes na THERP (boa ferramenta para comparação preditiva de riscos, por exemplo) são vistos como pontos fracos da ATHEANA (não recomendada para análise preditiva). Na verdade, a incapacidade de atender a todas as demandas por uma única técnica parece ter sido a causa da atual variedade de modelos.

Tabela 6 – Vantagens e desvantagens do modelo IDAC

<i>Vantagens</i>
<ul style="list-style-type: none">• Pode ser empregado para obtenção de resultados preditivos (Chang e Mosleh, 2007c);• Provê vários cenários de acidente, permitindo uma análise quantitativa do desempenho humano (Mosleh e Chang, 2004);• Abrange a modelagem cognitiva, emocional e física (Chang e Mosleh, 2007c);• Permite bom detalhamento e, por ser orientado à modelagem computacional, traz resultados que dificilmente seriam considerados, mesmo por um analista experiente (Mosleh e Chang, 2004);• Permite boa integração com modelos obtidos pela PSA usual (Mosleh e Chang, 2004);• Propõe uma metodologia para incremento gradual de conhecimento sobre o comportamento humano (Mosleh e Chang, 2004).
<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none">• O modelo não representa todas as dependências entre as ações humanas e PSF numerados (Droguett e Meneses, 2007);• O modelo causal não foi validado (Mosleh e Chang, 2004);• A influência de fatores relacionados às bases de conhecimento dos operadores ainda não foi adequadamente considerada (Mosleh e Chang, 2004);• Os modelos quantitativos não foram validados (Mosleh e Chang, 2004);• O modelo ainda está em desenvolvimento e centraliza-se na modelagem do fator humano em plantas nucleares, exigindo adaptação para ser empregado em campos distintos dos propostos pelos autores (Droguett e Meneses, 2007; Chang e Mosleh, 2007e);• Devido à variedade e complexidade de suas regras internas, é mais adequado para a simulação computacional (Chang e Mosleh, 2007c);• Exige dados e evidências de difícil obtenção (Chang e Mosleh, 2007e).

Dentro da expectativa de minimizar as limitações das técnicas existentes, o uso das Redes Bayesianas vem sendo proposto como uma possibilidade de agregar as vantagens das principais técnicas. Em outras palavras, o uso das Redes Bayesianas vem sendo proposto como uma boa maneira para modelar os fatores de influência na ação humana (Mosleh e Chang, 2004; Droguett e Menêzes, 2007; Eleye-Datubo, Wall e Wang, 2008).

Dentre as limitações apontadas nas técnicas listadas estão alguns pontos fortes da modelagem por meio das Redes Bayesianas. A capacidade de representação dinâmica do sistema e a possibilidade de representar qualquer dependência entre os fatores de influência na atividade humana (dependendo apenas da opinião de especialistas) são excelentes exemplos. As vantagens associadas à representação do sistema por meio das Redes Bayesianas estão apresentadas na Tabela 7.

Apesar de todas as vantagens, as Redes Bayesianas não podem ser vistas como soluções em si mesmas. Com o intuito de averiguar tais vantagens e levantar possíveis dificuldades no seu emprego, foi realizado um estudo de caso aplicando

uma metodologia de análise baseada no uso das Redes Bayesianas como ferramenta para modelar o fator humano. Trata-se da análise dos fatores humanos que influenciam em acidentes de colisão de navios petroleiros (isto foi feito com base em um artigo publicado por Maturana e Martins (2008) que traz o mesmo assunto avaliado por meio da THERP e Árvores de Falhas). A metodologia e este estudo de caso serão apresentados nos capítulos subseqüentes.

Tabela 7 – Vantagens das Redes Bayesianas na HRA

<i>Vantagens</i>
<ul style="list-style-type: none">• Podem ser utilizadas para se fazer diagnósticos e prognósticos;• Excelentes para a representação de dependências (têm apelo visual);• Pode ser padronizado um mecanismo para a elaboração dos gráficos;• Trazem resultados quantitativos. Permitem inferências diretamente da rede (dependendo do programa utilizado);• Podem ser alimentadas por dados já existentes;• Podem ser agregadas a Árvores de Falhas já elaboradas (as árvores podem ser transformadas em Redes Bayesianas);• Podem representar Árvores de Eventos já elaboradas; <p>Podem ser elaboradas redes dinâmicas para representar o desencadeamento de eventos e a ordem em que as atividades de determinada tarefa é executada (bons modelos causais);</p> <ul style="list-style-type: none">• São recomendadas para análise comparativa de risco. Incluindo decisões a respeito de qualidades requeridas de operadores.

Dentre as dificuldades encontradas no emprego das Redes Bayesianas durante o estudo de caso, podem-se citar:

- *Manipulação de sistemas complexos:* por permitirem grande detalhamento e a modelagem de qualquer dependência entre as variáveis do sistema, exigem bom conhecimento sobre o sistema a ser modelado, ou seja, é necessário conhecer bem o sistema para determinar quais dependências são significativas;
- *Preenchimento das TPC:* pode ser uma tarefa difícil, muitas vezes são necessárias probabilidades condicionais difíceis de serem obtidas;
- Para permitir a modelagem, pode ocorrer de serem empregadas variáveis discretas para modelar fenômenos contínuos na natureza, trazendo imprecisões ao modelo.

As dificuldades encontradas serão discutidas mais propriamente no decorrer da dissertação e no capítulo final, com as conclusões deste trabalho.

A seguir, para facilitar o entendimento das Redes Bayesianas como ferramenta para a aplicação da HRA, serão apresentadas suas características principais e, na sequência, alguns pontos sobre a modelagem do domínio por meio das Redes Bayesianas. Isto será feito antes da apresentação da metodologia de análise do fator humano empregando as Redes Bayesianas.

2.2. EXPLANAÇÃO SOBRE AS REDES BAYESIANAS

As Redes Bayesianas, também conhecidas como redes de opinião, redes causais, gráficos de dependência probabilística, são modelos gráficos para raciocínio baseado na incerteza, onde os nós representam as variáveis discretas ou contínuas, e os arcos representam a conexão direta entre eles (Charniak, 1991). Elas foram desenvolvidas no início dos anos 80 para facilitar a tarefa de predição e abdução em sistemas de Inteligência Artificial (AI) (Pearl, 1988) e vêm se tornando a metodologia padrão para a construção dos sistemas que confiam no conhecimento probabilístico, sendo aplicáveis a uma variedade de atividades (medicina, engenharia, etc.).

Além disto, as Redes Bayesianas são uma maneira sucinta para representar conjunções de probabilidades. De modo direto e estruturado, elas apresentam as dependências entre as variáveis de um domínio. Esta representação leva este nome porque trabalha com conhecimento incerto e incompleto, tratado inicialmente por meio da teoria de probabilidade Bayesiana (publicada por Thomas Bayes, em 1763).

As Redes Bayesianas são particularmente úteis para a representação de domínios em que existem informações a respeito de dependência condicional entre suas variáveis. Partindo deste tipo de informação é possível, então, a representação compacta do domínio.

Para uma melhor compreensão, neste tópico as Redes Bayesianas serão estudadas em sua estrutura e conceitos básicos. E para o entendimento de sua aplicação no estudo de caso, serão discutidas as técnicas para inferência e a modelagem de Árvores de Falhas por meio das Redes Bayesianas. É importante ressaltar que este tópico não se destina a esgotar o tema, mas apenas servir de apoio para a compreensão dos assuntos subseqüentes.

2.2.1. CONCEITOS BÁSICOS

Dado um evento e^1 , o conceito de sua probabilidade é a medida da frequência em que e ocorre. Outra interpretação de probabilidade representa o grau de crença de uma pessoa que determinado evento irá ocorrer em um experimento único. A interpretação de probabilidade como frequência em uma série de experimentos repetidos é referida como interpretação objetiva. De outra forma, a interpretação de probabilidade como grau de crença é chamado de interpretação subjetiva ou Bayesiana. Assim, na interpretação Bayesiana, a probabilidade sempre dependerá do conhecimento de quem a provê ou do que esta pessoa assume ser verdade.

Uma Rede Bayesiana é um grafo direcionado em que cada nó representa uma variável aleatória (que pode ser discreta ou contínua). Estes nós são conectados por arcos direcionados representando as dependências entre as variáveis do domínio que está sendo modelado. Se um dado arco parte do nó Y e chega ao nó Z , diz-se que Y é pai de Z , e que Z é filho de Y . Quantitativamente, cada nó X_i recebe uma distribuição de probabilidades condicionais $P(X_i|\text{pais}(X_i))$ exprimindo a influência dos nós pais (nesta expressão $\text{pais}(X_i)$ representa o conjunto dos nós pais do nó X_i). As redes bayesianas não apresentam ciclos direcionados, ou seja, não é possível passar duas vezes por determinado nó seguindo um caminho que respeite as orientações dos arcos – a Figura 2 apresenta um grafo cíclico e um acíclico. Devido a isto, é classificada como um grafo direcionado acíclico (ou DAG – Directed Acyclic Graph) na teoria dos grafos.

A seguir será apresentado um exemplo típico de Rede Bayesiana extraído de Russell e Norvig (2003) e que pode ser de grande auxílio para compreender a descrição acima. Neste exemplo as variáveis são booleanas.

Figura 2 – Exemplos de grafos direcionados

¹ Neste trabalho, os eventos serão representados por letras minúsculas e as variáveis e nós, por maiúsculas.

Considere-se a instalação de um novo sistema de alarme em uma residência. Este sistema é muito confiável para a detecção de ladrões, mas também responde em caso de pequenos terremotos. O dono da casa tem dois vizinhos, João e Maria, que se comprometeram a telefonar caso ouvissem o alarme. João sempre liga quando ouve o alarme, mas às vezes se confunde com o som do telefone da residência e liga também neste caso. Maria gosta de ouvir som alto e às vezes esquece o alarme. Pretende-se, por meio de uma Rede Bayesiana, estimar a probabilidade de haver um ladrão na casa, dada a evidência das ligações telefônicas (ou falta delas). Uma Rede Bayesiana para este caso está apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Rede Bayesiana típica demonstrando a topologia e as TPC

Observa-se nesta figura a presença das TPC. Cada linha destas tabelas representa a probabilidade relacionada ao nó, dados os estados dos nós pais. Um nó (considerando variáveis booleanas) com k pais deverá apresentar 2^k linhas em sua tabela de probabilidades condicionais. Um nó que não possui pais apresenta apenas as probabilidades iniciais relacionadas a cada valor da variável. Ainda em relação à Figura 3, nota-se que, para este exemplo, são apresentadas apenas as probabilidades relacionadas aos eventos positivos associados ao nó.

Conforme pode ser observado, a topologia da rede diz muito sobre o assumido em termos de dependência entre as variáveis do problema. Desta topologia pode-se concluir que tanto o terremoto quanto a entrada de ladrões afetam a probabilidade de o alarme ser acionado. Pode-se verificar que as ligações da Maria ou do João dependem apenas do acionamento do alarme. Desta forma,

verifica-se que foi assumido que tanto Maria quanto João não percebem os ladrões diretamente, e que os terremotos são ignorados por eles. Outro ponto importante é que eles não se conferem antes de ligar.

Ao olhar para a proposição do problema e para a rede desenvolvida, algumas objeções poderiam ser feitas. Por exemplo: 1) não apresenta um nó correspondente ao momento em que Maria está ouvindo som alto; 2) não se representou a hipótese de confusão de João com o barulho do telefone; 3) as possíveis falhas no equipamento não foram especificadas (apesar de ter sido mencionada sua alta confiabilidade); 4) não se considerou que Maria ou João poderiam estar de férias, no supermercado, etc. Estas indagações são justificadas da seguinte maneira (Russell e Norvig, 2003): os fatores relacionados aos pontos 1 e 2 foram incluídos nas incertezas associadas aos arcos *Alarme – João Liga* e *Alarme – Maria Liga* porque se tornou difícil encontrar probabilidades específicas para estes casos; já em relação ao ponto 3, estas possibilidades também foram representadas por meio de incremento nas probabilidades condicionais relacionadas ao nó *Alarme*; em relação ao ponto 4, por simplificação, houve também um incremento nas incertezas associadas aos arcos *Alarme – João Liga* e *Alarme – Maria Liga*.

Do parágrafo anterior, conclui-se que as probabilidades tentam sumarizar uma infinita gama de possibilidades para os eventos relacionados. De outra forma a representação se tornaria muito complexa ou mesmo inviável. Sendo assim, verifica-se que com simplificações é possível enfrentar problemas complexos, pelo menos aproximadamente.

Em relação aos conceitos probabilísticos envolvidos neste tipo de representação, está posta a seguir uma breve descrição dos conceitos probabilísticos básicos que permitem a representação dos domínios, de maneira compacta, por meio das Redes Bayesianas. Primeiramente serão apresentados os conceitos de probabilidade condicional e de conjunção de probabilidades e, na sequência, as bases para a representação do domínio por meio das Redes Bayesianas.

2.2.1.1. PROBABILIDADE CONDICIONAL

A probabilidade condicional $P(a/b) = x$ se relaciona com a sentença: “dado o evento b , a probabilidade de a é x ”. Uma regra fundamental que se extrai da

definição de probabilidade condicional é conhecida como regra do produto. Esta propriedade está representada na Equação (2.1) para dois eventos.

$$P(a, b) = P(a | b)P(b) \quad (2.1)$$

Nesta equação $P(a, b)$ é a probabilidade de ocorrer $a \wedge b$ ². Na seção 2.2.1.3, esta relação será explorada para demonstrar a plena representação do domínio por meio das Redes Bayesianas. Desta equação pode-se concluir que se os eventos a e b são independentes, então $P(a/b) = P(a)$ e, portanto, $P(a, b) = P(a)P(b)$, que é a igualdade utilizada nas portas lógicas “E” numa Árvore de Falhas (ver item 2.2.3).

Outra relação que se extrai da definição de probabilidade condicional é a Equação (2.2). Da Equação (2.1), e lembrando que $P(a, b) = P(b, a)$, conclui-se:

$$P(a | b) = \frac{P(b | a)P(a)}{P(b)} \quad (2.2)$$

Esta relação é conhecida como Regra de Bayes e auxilia na obtenção da probabilidade a partir do surgimento de uma evidência. Ela será explorada no tópico sobre inferência exata.

2.2.1.2. CONJUNÇÃO DE PROBABILIDADES

A conjunção de probabilidades para as variáveis A e B , ou $P(A, B)$, pode ser representada em uma tabela $n \times m$, onde n é o número de estados de A e m o número de estados de B ³ (nas Redes Bayesianas cada estado pode ser um evento). Sendo $P(A) = \langle 0.4; 0.6 \rangle$ ⁴ e $P(B) = \langle 0.4; 0.4; 0.2 \rangle$, tem-se para $P(A, B)$ a Tabela 8.

Tabela 8 – Conjunção de Probabilidades das variáveis A e B

	b_1	b_2	b_3
a_1	0.16	0.12	0.12
a_2	0.24	0.28	0.08

Nesta tabela cada célula representa uma configuração para a conjunção de probabilidades (as entradas do domínio).

Nota-se que para um problema com grande número de variáveis é necessário um número ainda maior de entradas nesta tabela. Sendo assim, torna-se sensível a necessidade de uma representação mais simples para domínios complexos; com

² Probabilidade de ocorrência dos eventos a e b .

³ Ressalta-se que nada foi mencionado a respeito da dependência entre as variáveis.

⁴ Onde cada valor representa a probabilidade de um possível estado da variável A .

grande número de variáveis. A representação por Redes Bayesianas pode ser utilizada para suprir esta necessidade.

2.2.1.3. REPRESENTAÇÃO DO DOMÍNIO

As Redes Bayesianas promovem a representação completa do domínio, mas de maneira mais enxuta que as tabelas de conjunção de probabilidades. Por meio das relações de dependência condicional entre as variáveis do domínio, é possível determinar a topologia adequada para a Rede Bayesiana. Partindo das informações apresentadas nesta rede é possível identificar qualquer entrada do domínio modelado. A seguir está apresentada a obtenção de uma equação por meio da qual este propósito pode ser alcançado. Além disto, também está apresentado um exemplo de sua aplicação.

Genericamente, a notação $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ é equivalente a $P(X_1=x_1 \wedge X_2=x_2 \wedge \dots \wedge X_n=x_n)^5$ e representa uma dada entrada do domínio. Observando a regra do produto, obtém-se a seguinte equação para esta entrada:

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(x_n | x_{n-1}, \dots, x_1) P(x_{n-1}, \dots, x_1) \quad (2.3)$$

A reaplicação sistemática da regra do produto gera a identidade apresentada nas Equações (2.4) e (2.5), conhecida como Regra da Cadeia.

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(x_n | x_{n-1}, \dots, x_1) P(x_{n-1} | x_{n-2}, \dots, x_1) \dots P(x_2 | x_1) P(x_1) \quad (2.4)$$

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n P(x_i | x_{i-1}, \dots, x_1) \quad (2.5)$$

Para o caso de uma Rede Bayesiana, tem-se a Equação (2.6), que é válida se for considerada a restrição apresentada na Equação (2.7).

$$P(X_i | X_{i-1}, \dots, X_1) = P(X_i | \text{pais}(X_i)) \quad (2.6)$$

$$\text{pais}(X_i) \subseteq \{X_{i-1}, \dots, X_1\} \quad (2.7)$$

A Equação (2.6) aponta a independência de cada nó em relação aos seus predecessores, excetuando-se os nós pais. E a Equação (2.7) presume que os nós pais foram enumerados antes dos nós filhos (Charniak, 1991).

⁵ Sendo X_i uma denominação para uma variável e x_i para um de seus estados

Os resultados apresentados nas Equações (2.5) e (2.6) tornam possível a obtenção da Equação (2.8).

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n P(x_i \mid \text{pais}(X_i)) \quad (2.8)$$

Desta forma, cada entrada da conjunção de probabilidade pode ser obtida por meio da multiplicação dos elementos certos, presentes nas tabelas de probabilidades condicionais da rede.

A completa conjunção de probabilidades pode dar qualquer informação a respeito do domínio representado. A Rede Bayesiana pode ser utilizada para gerar os dados completos a respeito da conjunção podendo, desta forma, ser utilizada para representar o domínio, sem perda de informação. Como ilustração, pode-se calcular (utilizando o exemplo apresentado na Figura 3) a probabilidade de o alarme ter tocado, mas sem ter havido terremoto nem presença de ladrão, e João e Maria (ambos) terem ligado. O desenvolvimento do cálculo está apresentado nas Equações (2.9) e (2.10).

$$P(j, m, a, \neg l, \neg t) = P(j \mid a)P(m \mid a)P(a \mid \neg l, \neg t)P(\neg l)P(\neg t) \quad (2.9)$$

$$P(j, m, a, \neg l, \neg t) = 0.9 * 0.7 * 0.001 * 0.999 * 0.998 = 0.00062 \quad (2.10)$$

Para encerrar a discussão sobre a representação do domínio por meio das Redes Bayesianas, serão considerados alguns pontos sobre a complexidade da rede e obtenção das TPC e sobre a obtenção de informações partindo da topologia da rede.

2.2.1.4. COMPLEXIDADE DA REDE

Assim como as tabelas de conjunção de probabilidades, as Redes Bayesianas são uma representação completa e não redundante do domínio. No entanto, são uma forma mais compacta de representação porque consideram as restrições no relacionamento entre as variáveis. Esta propriedade faz com que sejam úteis para o trabalho com domínios de muitas variáveis.

Para exemplificar esta característica pode-se tomar uma rede com 10 nós, com 2 estados cada, na qual 7 nós possuam 3 nós pais e os demais possuam apenas nós filhos (sem dependências condicionais), conforme Figura 4. Para este caso são necessários $7 \times 2^3 + 3 = 59$ números para preencher as TPC; já a tabela de

conjunção de probabilidades necessitaria de $2^{10}=1024$ números. A quantidade de dados para popular uma rede bayesiana cresce linearmente com a quantidade de nós (mantendo fixa a quantidade de arcos por nó), enquanto na tabela da conjunção de probabilidade esta quantidade cresce exponencialmente.

Figura 4 – Estrutura da rede exemplo

A complexidade da rede depende do grau de detalhamento requerido. É importante notar que o detalhamento pode trazer dificuldades para encontrar as probabilidades para popular a rede (preencher as TPC). No exemplo da rede da Figura 3 podem-se incluir as hipóteses de João ou Maria não ligarem porque no momento em que ouviram o alarme ocorria um terremoto, e consideraram ser este o motivo de acionamento. Neste caso, deveria haver um arco entre *Terremoto* e *João Liga* e outro entre *Terremoto* e *Maria Liga*, e deveriam ser encontradas probabilidades tais como a de Maria ligar dado que houve terremoto e o alarme foi acionado. O que se deve ponderar é relação entre os ganhos com este detalhamento e os custos para se obter as informações necessárias a este incremento.

2.2.1.5. RELAÇÕES DE DEPENDÊNCIA PARTINDO DA TOPOLOGIA

Partindo das relações de dependência entre as variáveis de um domínio, é possível determinar a topologia da rede que representa este domínio. Neste ponto é justificado que, partindo de uma rede pronta, também é possível determinar as condições de dependência entre as variáveis do domínio, dada alguma evidência (ou não). Isto pode ser feito considerando, por exemplo, uma das seguintes assertivas (Russell e Norvig, 2003):

- Um nó é condicionalmente independente de todos os nós que não são seus descendentes, dados seus nós pais (a Figura 5 ilustra os subconjuntos formados para uma rede simples);

- Um nó é condicionalmente independente de todos os outros da rede dados seus pais, seus filhos e os pais dos seus filhos – este subconjunto de nós é referido em Pearl (1988) como o *Markov Blanket* e está ilustrado na Figura 6 (formado pelos nós internos à zona pontilhada).

Figura 5 – Dependência do nó A, dados os nós pais

Figura 6 – *Markov Blanket* para o nó A

Outra maneira para verificar se um nó A é independente de outro nó B é observar o critério da d-separação (Pear, 1988; Charniak, 1991). Em outras palavras, este critério é utilizado para apontar a independência entre subconjuntos de nós. O nó A é dito d-separado (independente) de B se todo caminho entre A e B se apresentar de alguma das formas apontadas na Figura 7.

Os nós A e B são condicionalmente independentes, dada a evidência E , ou ocorrendo um nó como o D . Desta maneira, E (sendo C um nó pertencente a E) e/ou D bloqueiam o caminho entre A e B . Em resumo, o bloqueio pode ocorrer de três formas:

- O nó C possui um arco de entrada e um de saída no caminho;
- O nó C possui dois arcos de saída no caminho;
- D não pertence a E , e D possui dois arcos de chegada no caminho.

Figura 7 – Nós A e B : d-separados

A prova para estas assertivas pode ser encontrada em Pear (1988).

Encerrado o tópico sobre as relações de dependência dadas pela topologia, pode-se trabalhar com as TPC para obter informações probabilísticas da rede. A seguir serão discutidos alguns aspectos relevantes sobre inferência.

2.2.2. INFERÊNCIA

Além de representar o domínio de maneira compacta e intuitiva, as Redes Bayesianas possibilitam computar as probabilidades posteriores⁶ de certas variáveis, dado o conhecimento de certos eventos. As variáveis ligadas a estes eventos são classificados como variáveis de evidência. Com este recurso podem ser feitas inferências com três objetivos:

- *Causas*: dadas as causas obter as probabilidades dos efeitos;
- *Diagnósticos*: dados os efeitos, obter as probabilidades das causas;

⁶ Probabilidades associadas aos estados dos nós da rede depois de encontrada alguma evidência.

- *Intercausais*: dada a evidência de uma causa, obtém-se a probabilidade de outra causa.

Estas possibilidades foram ilustradas na Figura 8.

Figura 8 – Inferência

Além de consultas a partir de evidências, as Redes Bayesianas podem ser utilizadas para (Marques e Dutra, 2006): 1) tomar decisões baseadas em probabilidades; 2) decidir quais evidências adicionais devem ser observadas a fim de se obter informações úteis do sistema; 3) analisar o sistema a fim de buscar os aspectos do modelo que possuem maior impacto sobre as variáveis de consulta; 4) explicar os resultados de uma inferência probabilística a terceiros.

Os algoritmos desenvolvidos para a solução das redes bayesianas podem ser divididos entre os que trazem solução exata e os que trazem solução aproximada. Foge do propósito deste trabalho uma apresentação detalhada destas questões. Sendo assim, será apresentada apenas uma visão geral sobre estes algoritmos. A princípio serão apresentadas algumas técnicas para inferência exata e, por final, algo sobre as inferências aproximadas.

2.2.2.1. INFERÊNCIA EXATA

Considerando-se que $E = \{E_1, \dots, E_m\}$ represente o conjunto das variáveis de evidência de determinado domínio, sendo e uma dada evidência; seja X uma variável qualquer não pertencente a E ; e $Y = \{Y_1, \dots, Y_l\}$ o conjunto das variáveis que não pertencem às classificações anteriores. Uma questão típica seria determinar a distribuição posterior de probabilidade de X , ou seja, determinar $P(X/E)$.

Tome-se como exemplo o caso da rede da Figura 3. Considere-se que *João Liga* seja verdadeiro e que *Maria Liga* seja verdadeiro também. Neste caso, a probabilidade de haver ladrão na casa é igual a 0.284. As probabilidades condicionais como esta podem ser obtidas pela soma das entradas da conjunção de probabilidades (Russell e Norvig, 2003). Esta afirmação pode ser justificada partindo-se da regra do produto (Equação (2.1)) e levando em consideração todos os possíveis estados para os nós pertencentes a *Y*. Desta forma, obtêm-se as relações apresentadas nas Equações (2.11) e (2.12).

$$P(X | E) = \alpha P(X, E) = \alpha \sum_y P(X, E, Y) \quad (2.11)$$

sendo que:

$$\alpha = \frac{1}{P(E)} \quad (2.12)$$

O termo $P(X, E, Y)$ pode ser obtido diretamente das tabelas de probabilidades condicionais pela utilização da Equação (2.8). Retornando ao exemplo citado, a distribuição de probabilidade da variável *Ladrão*, dada a evidência das ligações, pode ser obtida das Equações (2.13) e (2.14).

$$P(\text{Ladrão} | \text{João} _ \text{Liga} = \text{verdadeiro}, \text{Maria} _ \text{Liga} = \text{verdadeiro}) = \alpha P(L, j, m) \quad (2.13)$$

$$\alpha P(L, j, m) = \alpha \sum_t \sum_a P(L, T, A, j, m) \quad (2.14)$$

Sendo assim, para determinar a probabilidade de haver ladrão na casa, dada a evidência citada, utiliza-se a Equação (2.15).

$$P(l | j, m) = \alpha P(l) \sum_t P(T) \sum_a P(A | l, T) P(j | A) P(m | A) \quad (2.15)$$

A estrutura desta expressão (Equação (2.15)) pode ser visualizada na Figura 9, onde as setas indicam as multiplicações a serem feitas. Os resultados finais de cada caminho devem ser multiplicados por α e somados.

Obtém-se, da maneira indicada, o resultado abaixo.

$$P(l | j, m) = \alpha * 0.00059224 \quad (2.16)$$

Falta agora a obtenção de α . As Equações (2.17) e (2.18) cumprem este

Figura 9 – Visualização do cálculo

$$\alpha = \frac{1}{P(j,m)} = \sum_l \sum_t \sum_a P(L,T,A,j,m) \quad (2.17)$$

$$P(j,m) = \sum_l \sum_t \sum_a P(L)P(T)P(A|L,T)P(j|A)P(m|A) \quad (2.18)$$

Aplicando os dados do exemplo à Equação (2.18) obtêm-se os resultados da Tabela 9.

Tabela 9 – Cálculo de $P(j,m)$

Estado do Sistema	$P(L)$	$P(T)$	$P(A L,T)$	$P(j A)$	$P(m A)$	Total
$P(l,t,a,j,m)$	0.001	0.002	0.950	0.900	0.700	1.197E-06
$P(l,t,\neg a,j,m)$	0.001	0.002	0.050	0.050	0.010	5.000E-11
$P(l,\neg t,a,j,m)$	0.001	0.998	0.940	0.900	0.700	5.910E-04
$P(l,\neg t,\neg a,j,m)$	0.001	0.998	0.060	0.050	0.010	2.994E-08
$P(\neg l,t,a,j,m)$	0.999	0.002	0.290	0.900	0.700	3.650E-04
$P(\neg l,t,\neg a,j,m)$	0.999	0.002	0.710	0.050	0.010	7.093E-07
$P(\neg l,\neg t,a,j,m)$	0.999	0.998	0.001	0.900	0.700	6.281E-04
$P(\neg l,\neg t,\neg a,j,m)$	0.999	0.998	0.999	0.050	0.010	4.980E-04
$P(j,m)$						2.084E-03

Com apoio da Tabela 9, obtêm-se as relações abaixo para α .

$$\alpha = \frac{1}{P(E)} = \frac{1}{P(j,m)} = 479.82 \quad (2.19)$$

Com o explicitado, obtêm-se a distribuição de probabilidade da variável *Ladrão*, dada a evidência de João e Maria terem ligado, apresentada na Equação (2.20), que era o objetivo inicial. Nesta equação, o primeiro valor indica a

probabilidade de haver ladrão e o segundo, a de não haver.

$$P(L | j, m) = \langle 0.284; 0.716 \rangle \quad (2.20)$$

A probabilidade de haver ladrão, dadas as evidências citadas no exemplo, pode parecer baixa, mas está atrelada à probabilidade de haver ladrão, sem as evidências ($P(l)$). No entanto, comparando o resultado acima com $P(l)$, é um valor 284 vezes maior. Se $P(l)$ fosse 0.003 (três vezes maior que no exemplo), então $P(l|j,m)$ seria 0.544; e para $P(l)=0.01$, então $P(l|j,m)$ seria 0.8. Tudo isto considerando inalteradas as eficiências de João e Maria em perceber o alarme e as demais variáveis.

O procedimento seguido acima é preciso e pode ser utilizado para qualquer rede. No entanto, torna-se extremamente dispendioso para redes com muitos nós e relações de dependência. Para simplificar estes cálculos foram desenvolvidos diversos meios. A seguir são apresentadas as linhas gerais de três possibilidades de simplificação dos cálculos: 1) eliminação de variáveis; 2) agrupamento de variáveis; 3) métodos aproximados.

2.2.2.2. ELIMINAÇÃO DE VARIÁVEIS

Conforme pode ser observado na Figura 9, para uma rede simples, existem alguns cálculos que são repetidos. Numa rede maior esta repetição se torna ainda mais onerosa, em termos de custo de processamento e tempo. Desta forma, foram desenvolvidas várias técnicas baseadas no princípio de executar estes cálculos repetitivos uma única vez, guardando os resultados na memória, para consulta posterior. Em Russell e Norvig (2003) está apresentada a técnica de *eliminação de variáveis*⁷, que é considerada a técnica mais simples deste tipo.

2.2.2.3. AGRUPAMENTO DE VARIÁVEIS

O agrupamento de variáveis é uma técnica amplamente utilizada em muitas ferramentas comerciais que trabalham com Redes Bayesianas. Esta técnica consiste em agrupar certas variáveis da rede de forma que esta se torne uma rede simplesmente conexa.

Uma rede simplesmente conexa é aquela em que existe no máximo um caminho não direcionado (em que não importa a orientação dos arcos) entre um par

⁷ Ressalta-se que são eliminadas as variáveis necessárias para a execução dos cálculos e não as da rede analisada.

de nós. Uma rede com múltiplas conexões, em contrapartida, possui pares de nós se conectando por mais de uma combinação de arcos. A Figura 10 apresenta o exemplo de uma rede com múltiplas conexões simplificada pelo agrupamento de um par de seus nós.

Figura 10 – Agrupamento de variáveis

Neste exemplo, com uma rede original com variáveis booleanas, o nó gerado pelo agrupamento de outros dois (X e Z) representa uma única variável com quatro estados que são combinações dos estados dos nós originais (são obtidos os estados vv , vf , fv , e ff). A obtenção da TPC para o nó gerado (X+Z) se faz pela combinação das probabilidades dos nós originais. Por exemplo, para o caso do novo estado vv (representando os estados verdadeiro para X e verdadeiro para Z), multiplica-se $P(X=v/Y=v)$ por $P(Z=v/Y=v)$, ou seja, 0.7 por 0.8. Assim, obtém-se 0.56 para a probabilidade de X e Z serem verdadeiros, dado que Y é verdadeiro.

A vantagem de se fazer inferências exatas utilizando redes simplesmente conexas está no tempo de processamento (linear com a quantidade de nós). No caso de redes agrupadas, a geração das tabelas de probabilidades condicionais para o nó agrupado também demanda tempo. Este tempo deve ser levado em consideração para a avaliação da complexidade da inferência exata utilizando esta técnica.

2.2.2.4. INFERÊNCIA APROXIMADA

Dada a impossibilidade de tratamento adequado por meio de inferência exata em redes extensas e com múltiplas conexões, é essencial a consideração de métodos de inferência aproximados (Russell e Norvig, 2003). Os métodos aproximados utilizam simulação estocástica. Isto significa que para uma determinada rede são gerados resultados aleatórios que são trabalhados estatisticamente e fornecem uma aproximação para a condição desejada. Para melhor compreensão destas idéias, toma-se o exemplo da rede da Figura 10. Segue-se então o procedimento a seguir:

- Atribui-se um valor aleatório ao nó raiz (Y) da rede (ponderado pela probabilidade da variável, ou seja, $P(Y)$);
- Dependendo do valor obtido no passo anterior, atribui-se um valor aleatório para as variáveis representadas pelos nós filhos (X e Z) do nó raiz (esta atribuição deve ponderar as probabilidades das TPC que consideram o estado obtido no passo anterior para o nó raiz);
- Os passos anteriores devem ser repetidos considerando que os nós pais passam a ser X e Z , e o nó filho passa a ser W . E as considerações anteriores continuam válidas.

Da Figura 10, tem-se que $P(Y)=0.2$. Assim, se o procedimento acima for repetido N vezes (sendo N um número grande), espera-se que Y seja igual a verdadeiro em 20% das rodadas.

Para a obtenção da probabilidade posterior $P(X=v/Y=v)$, por exemplo, deve-se repetir o procedimento descrito acima N vezes. Então, utilizando o princípio contido na Equação (2.1), contabiliza-se o número de vezes que a combinação $(Y=v)U(X=v)$ apareceu. Este resultado deve ser dividido pelo número de vezes que $(Y=v)$ ocorreu independentemente de $(X=v)$. O quociente obtido desta operação tende a se aproximar do valor exato da inferência conforme N aumenta (Marques e Dutra, 2006).

Muito mais poderia ser dito a respeito dos métodos de inferência. No entanto, conforme mencionado anteriormente, o apresentado aqui tem o objetivo de ser apenas o essencial para o entendimento do estudo de caso. Para o trabalho com as redes, neste estudo foi utilizado um programa comercial (NeticaTM 4.08 – ver Norsys

Software Corp., 1996) disponibilizado pelo LabRisco-USP. Este programa, na versão disponibilizada, não trabalha com Árvores de Falhas. Sendo assim, tornam-se necessárias algumas considerações sobre a conversão de uma Árvore de Falhas em uma Rede Bayesiana. Este assunto será discutido a seguir.

2.2.3. ÁRVORE DE FALHAS EM REDE BAYESIANA

As Árvores de Falhas são diagramas seqüenciais utilizados para determinar a probabilidade de um evento final (evento topo), agregando um conjunto de desencadeamentos de eventos. Cada desencadeamento pode ser encontrado por meio de um estudo de causa e consequência, determinando também a interdependência entre eles. Nestes diagramas, os eventos se relacionam por meio de portas lógicas, que utilizam lógica booleana (NUREG-0492, 1981). Neste trabalho são empregados três tipos de porta:

- **E**: quando todos os eventos predecessores devem ocorrer para que dado evento posterior ocorra;
- **Ou**: quando é suficiente que um ou mais eventos predecessores ocorram para que dado evento posterior ocorra;
- **Ou Exclusivo**: quando um evento posterior ocorre somente se exatamente um dos eventos predecessores ocorrer (sendo que neste trabalho esta porta foi empregada para eventos predecessores mutuamente exclusivos).

Os símbolos utilizados nas Árvores de Falhas para estas portas lógicas estão apresentados na Figura 11.

Figura 11 – Portas empregadas em Árvores de Falhas

As Árvores de Falhas podem ser convertidas em Redes Bayesianas (Lampis e Andrews, 2008). Caso seja feita esta conversão, os nós das redes obtidas serão representantes de variáveis booleanas. Para demonstrar esta conversão serão

apresentados três casos, cada um apresentando a conversão de uma Árvore de Falhas simples utilizando uma das portas lógicas descritas anteriormente.

Primeiramente, tome-se a Árvore de Falhas apresentada na Figura 12(a).

Figura 12 – Árvore de Falha com portas "E", "OU" e "OU Exclusivo"

Nesta árvore estão representados dois eventos básicos A e B independentes, além do evento topo C . Observa-se que a porta lógica que está sendo utilizada é a "E". Desta forma, para este exemplo, a probabilidade de ocorrência de do evento C é igual ao produto das probabilidades de ocorrência dos eventos A e B , ou seja:

$$P(c) = P(a)P(b) \quad (2.21)$$

Como a Árvore de Falhas relaciona eventos de forma cronológica (desencadeamento de eventos), as seguintes probabilidades condicionais podem ser obtidas:

$$P(c | a, b) = 1 \quad (2.22)$$

$$P(c | \neg a, b) = 0 \quad (2.23)$$

$$P(c | a, \neg b) = 0 \quad (2.24)$$

$$P(c | \neg a, \neg b) = 0 \quad (2.25)$$

O desenvolvimento de uma Rede Bayesiana, que considere a independência entre os eventos A e B , leva à estrutura gráfica apresentada na Figura 13, onde estes eventos são representados pelos nós de mesma denominação.

Na Figura 13 também estão representadas as probabilidades condicionais

para o nó C , obtidas diretamente das relações acima.

Para obter-se a probabilidade de ocorrência do evento C deve-se fazer uma inferência utilizando a rede desenvolvida (Figura 13). Assim, a probabilidade de ocorrência do evento C pode ser obtida da Equação (2.26).

Figura 13 – Rede obtida da Árvore com Porta "E"

$$P(c) = \frac{P(c, A, B)}{P(C, A, B)} \quad (2.26)$$

onde, de (2.8) e considerando as probabilidades apresentadas nas Equações (2.22) a (2.25):

$$P(c, A, B) = \sum_{a,b} P(c | A, B) P(A) P(B) = P(a) P(b) \quad (2.27)$$

$$P(C, A, B) = \sum_{a,b,c} P(C | A, B) P(A) P(B) = 1 \quad (2.28)$$

assim:

$$P(c) = P(a) P(b) \quad (2.29)$$

Estas equações demonstram que a rede desenvolvida se relaciona com a árvore original, já que este resultado (Equação (2.29)) é o esperado (Equação (2.21)).

De outra forma, se a porta lógica da Figura 12(a) fosse substituída pela porta "OU", com eventos independentes, conforme apresentado na Figura 12(b), a tabela de probabilidades condicionais para o evento C seria baseada nos dados apresentados nas Equações de (2.30) a (2.33).

$$P(c | a, b) = 1 \quad (2.30)$$

$$P(c | \neg a, b) = 1 \quad (2.31)$$

$$P(c \mid a, \neg b) = 1 \quad (2.32)$$

$$P(c \mid \neg a, \neg b) = 0 \quad (2.33)$$

Como os eventos A e B não são mutuamente exclusivos, ou seja, não apresentam dependência condicional, a Figura 13 também representa a topologia de rede adequada para este caso.

Para obter a probabilidade do evento topo ($P(c)$), o procedimento para o caso da porta “E” (Equações de (2.26) a (2.29)) pode ser repetido para a porta “OU”. Para este caso, considerando as probabilidades apresentadas nas Equações (2.30) a (2.33):

$$P(c, A, B) = P(a)P(b) + P(\neg a)P(b) + P(a)P(\neg b) \quad (2.34)$$

Como os eventos A e B não são mutuamente exclusivos, há probabilidade de intersecção, e:

$$P(b) = P(a)P(b) + P(\neg a)P(b) \quad (2.35)$$

e:

$$P(a)P(\neg b) = P(a)(1 - P(b)) = P(a) - P(a)P(b) \quad (2.36)$$

de onde conclui-se:

$$P(c, A, B) = P(a) + P(b) - P(a)P(b) \quad (2.37)$$

Lembrando-se que,

$$P(C, A, B) = \sum_{a,b,c} P(C \mid A, B)P(A)P(B) = 1 \quad (2.38)$$

chega-se a:

$$P(c) = P(a) + P(b) - P(a)P(b) \quad (2.39)$$

O resultado apresentado na Equação (2.39) é o esperado para o evento C da Árvore de Falhas da Figura 12(b) quando os eventos A e B são ligados por uma porta “OU” (sendo os eventos básicos independentes).

Agora, para terminar as conversões propostas, falta a árvore contendo a porta “OU Exclusivo”. Para este caso faz-se necessária uma mudança na topologia da Rede Bayesiana que representará a Árvore de Falhas, conforme apresentado na

Figura 14. Sendo assim, considere-se a árvore da Figura 12(c). Desta árvore extrai-se que as TPC para a rede equivalente devem ser baseadas nos dados apresentados nas Equações de (2.40) a (2.45).

$$P(c | a, b) = 0 \quad (2.40)$$

$$P(c | \neg a, b) = 1 \quad (2.41)$$

$$P(c | a, \neg b) = 1 \quad (2.42)$$

$$P(c | \neg a, \neg b) = 0 \quad (2.43)$$

$$P(b | a) = 0 \quad (2.44)$$

$$P(b | \neg a) = \frac{P(b)}{P(\neg a)} \quad (2.45)$$

A referida mudança na topologia se deve à dependência condicional entre os eventos A e B . Deve-se notar que é necessário apenas um arco entre estes eventos (de outra maneira a rede deixaria de ser um DAG).

Figura 14 – Rede obtida da Árvore com Porta "OU Exclusivo"

Para obter a probabilidade do evento topo ($P(c)$), o procedimento para o caso da porta "E" (Equações de (2.26) a (2.29)) também pode ser repetido para a porta "OU Exclusivo", ou seja:

$$P(c) = \frac{P(c, A, B)}{P(C, A, B)} \quad (2.46)$$

onde, de (2.8):

$$P(c, A, B) = \sum_{a,b} P(c | A, B)P(B | A)P(A) \quad (2.47)$$

e, considerando as probabilidades apresentadas nas Equações (2.40) a (2.45):

$$P(c, A, B) = P(a) + P(b) \quad (2.48)$$

Lembrando-se que,

$$P(C, A, B) = \sum_{a,b,c} P(C | A, B)P(A)P(B) = 1 \quad (2.49)$$

chega-se a:

$$P(c) = P(a) + P(b) \quad (2.50)$$

O resultado obtido (Equação (2.50)) é o esperado para o evento C da Árvore de Falhas da Figura 12(c), onde os eventos A e B são ligados por uma porta “OU Exclusivo” (sendo os eventos básicos mutuamente exclusivos). O mesmo resultado seria obtido se o arco entre A e B na rede da Figura 14 fosse direcionado de B para A .

Como conclusão, pode-se dizer que as Árvore de Falhas e as correspondentes Redes Bayesianas representam os mesmos domínios. As idéias básicas desenvolvidas aqui serão aplicadas no estudo de caso para agregar as informações apresentadas no trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008), então condensadas em Árvore de Falhas.

Para encerrar o capítulo de fundamentos teóricos, na próxima seção serão considerados alguns pontos sobre a modelagem de sistemas por meio das Redes Bayesianas.

2.3. MODELAGEM POR MEIO DE REDES BAYESIANAS

Com as Redes Bayesianas é possível sanar os seguintes problemas vivenciados durante a modelagem com métodos convencionais (que trabalham diretamente com a conjunção de probabilidades do domínio):

- Dificuldade de representação dos domínios com muitas variáveis;
- Necessidade de um grande número de probabilidades para a representação de um domínio;
- Probabilidades não intuitivas nas representações convencionais;

- Dificuldade para se fazer inferência partindo das representações convencionais.

Outra vantagem das Redes Bayesianas é a possibilidade de trabalhar com redes dinâmicas (*dynamic networks*). A rede dinâmica, por definição, é uma rede que possui nós influenciados por estados anteriores das variáveis do domínio (no instante t alguns nós são influenciados pelos estados de nós no instante $t-1$, $t-2$, $t-3$,...). Como exemplo, tem-se a rede da Figura 15 que apresenta nós influenciados por outros da mesma rede, mas em tempo distinto.

Figura 15 – Exemplo de rede dinâmica

Ainda em relação às redes dinâmicas, existem técnicas para estimar o “limite superior” em Redes Bayesianas, ou seja, fazer o tempo tender a infinito, para estimar as probabilidades das variáveis de redes com este tipo de característica (o método de inferência aproximada, apresentado no tópico 2.2.2.4, é um exemplo do que pode ser feito).

De acordo com Russell e Norvig (2003), o procedimento geral para a construção de uma Rede Bayesiana deve ser de acordo com os passos a seguir:

- Escolher o conjunto de variáveis X_i que descrevem o domínio;
- Escolher a ordenação para as variáveis;
- Enquanto existirem variáveis:
 - Selecionar uma variável X_i e adicionar um nó na rede para ela;
 - Definir os $país(X_i)$ como o conjunto mínimo de nós já existentes na rede para as quais a propriedade de dependência condicional se verifique, ou seja, o conjunto dos nós cujos estados influenciam nos estados do nó X_i ;

- Definir a TPC para X_i .

Uma vez que cada nó apenas se liga a nós definidos anteriormente, este método garante que a rede seja acíclica.

2.3.1. PROCEDIMENTO PARA A CONSTRUÇÃO DE REDES BAYESIANAS NA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

São as relações de dependência condicional entre as variáveis que devem guiar a construção da topologia da rede. Deve-se garantir que todos os nós que influenciam diretamente X_i estejam dentro do subconjunto $X_1, \dots, X_{i-1}$. Especificamente na modelagem para análise de confiabilidade, o processo de construção de uma rede que represente a contento um determinado domínio pode seguir o procedimento abaixo (Beldford e Cooke, 2001):

- Deve-se fazer a listagem de todas as variáveis, começando com os objetivos da análise;
- Devem ser levantados todos os fatores secundários que impactam as variáveis listadas no primeiro passo (neste ponto já é possível fazer uma análise qualitativa do impacto dos fatores levantados, olhando para os fatores e determinando caminhos pelos quais suas influências possam ser quebradas ou ao menos reduzidas);
- *Os diferentes fatores devem ser descritos em termos precisos*: os estados das variáveis devem ser determinados (se são exclusivos ou exaustivos⁸);
- *Construção do modelo qualitativo (DAG)*: os fatores de influência devem ser ordenados. Frequentemente esta ordenação se dá de forma natural, como resultado do tempo ou do fluxo de informação. De forma geral pode-se seguir o seguinte procedimento, em forma de questionamentos, para a ordenação e desenho da rede:
 - O valor de X_1 influencia X_2 ?
 - O valor de X_1 e X_2 influenciam X_3 ? Se sim, o conhecimento do valor de X_1 torna irrelevante o valor de X_2 para X_3 ?, ou, o conhecimento de X_2 torna o valor de X_1 irrelevante para X_3 ?

⁸ Os nós exclusivos são os que apresentam apenas um estado e os exaustivos ocorrem em mais de um estado

○ ...

A resposta positiva para estes questionamentos determinam os arcos que devem existir entre os nós, além de influenciar no preenchimento da TPC que alimentará determinado nó. A aplicação desta técnica no caso analisado pode ser considerada como exemplo;

- *Quantificação:* devem ser preenchidas as tabelas de probabilidades condicionais. Isto geralmente é feito mediante a consulta da opinião de especialistas. Deve-se considerar a hipótese de análise da confiabilidade da opinião destes especialistas, ou ao menos um estudo de quão conservadoras podem ser suas respostas.

É interessante notar que este procedimento incorpora os princípios estabelecidos no procedimento geral apresentado anteriormente.

O próximo capítulo apresenta uma metodologia para a HRA via Redes Bayesianas e subsídios para a modelagem do fator humano na operação do navio.

3. METODOLOGIA PARA HRA VIA REDES BAYESIANAS

Para facilitar a apresentação do que foi desenvolvido, este capítulo está dividido em três tópicos. O primeiro descreve de forma geral uma metodologia baseada em trabalho de outros autores para realizar a HRA por meio das Redes Bayesianas. Para apoiar esta metodologia, o segundo tópico traz um modelo para representação do elemento humano em sistemas complexos e, considerando as necessidades do estudo de caso (próximo capítulo), enumera os fatores que podem influenciar o desempenho humano e auxilia na integração entre os PSF – MOF, fatores internos, fatores ambientais e habilidades – e as ações humanas e suas conseqüências em uma única rede. Por fim, no terceiro tópico, são feitas considerações sobre a integração das Redes Bayesianas Dinâmicas com a Árvore de Falhas que representa o desencadeamento dos eventos perigosos.

3.1. METODOLOGIA

A fim de atingir o objetivo principal deste trabalho, buscou-se uma metodologia que englobe os principais estágios para a realização da HRA (ver item 2.1) e considere o emprego das Redes Bayesianas como ferramenta para a modelagem do fator humano.

Swain e Guttman (1983) apresentaram um procedimento com quatro fases para realização da HRA por meio da THERP (apresentado em resumo em Maturana e Martins, 2008). De maneira semelhante, um procedimento proposto recentemente para integrar as Redes Bayesianas na HRA (Droguett e Menêzes, 2007) inclui os seguintes passos:

- *Passo 1 – Familiarização:* com o procedimento a ser modelado;
- *Passo 2 – Análise de tarefas:* para a determinação da seqüência de atividades da tarefa;
- *Passo 3 – Construção da Rede Bayesiana Dinâmica:* que representa a seqüência de atividades da tarefa;
- *Passo 4 – Erros humanos:* identificação dos prováveis erros humanos nas atividades levantadas no passo 2;
- *Passo 5 – Fatores de Desempenho:* identificação dos fatores de

desempenho relevantes com base no passo anterior;

- Passo 6 – Construção das Redes Bayesianas dos fatores de desempenho: para cada atividade (ou operador responsável pela atividade);
- *Passo 7 – Integração das redes desenvolvidas:* nos passos anteriores (Dinâmica e dos Fatores de Desempenho);
- *Passo 8 – Análise dos resultados:* partindo de evidências empíricas ou subjetivas.

A aglutinação destes procedimentos (Swain e Guttman (1983) e Droguett e Menêzes (2007)) com os pontos apresentados no capítulo anterior, resultou em uma metodologia em quatro fases para realizar a HRA por meio das Redes Bayesianas. A Figura 16 representa este procedimento.

Figura 16 – Metodologia para realização da HRA por meio das Redes Bayesianas

Neste procedimento, a primeira fase trata da familiarização com o sistema que será analisado e do agrupamento do máximo de informações a seu respeito – a visita à planta e o estudo do que já foi publicado sobre o assunto são atividades recomendadas para esta fase. A segunda se refere à análise qualitativa do elemento humano; incluindo a análise das tarefas, determinação do desempenho requerido em cada atividade e o desenvolvimento da topologia das Redes Bayesianas que modelam o sistema. Na terceira etapa, fazem-se as associações de probabilidades

às TPC, conforme descrito no tópico referente aos passos para aplicação das Redes Bayesianas nos estudos de confiabilidade (capítulo anterior); além disto, devem ser considerados os efeitos dos eventuais fatores de revisão (quando o erro pode ser corrigido por outra pessoa, ou pelo próprio executor: pode-se estudar, por exemplo, a influência do acréscimo de um passo de revisão na probabilidade de sucesso na execução da tarefa). A última etapa pode considerar a incorporação do fator humano no estudo da confiabilidade do sistema como um todo (incluindo o maquinário); pode-se realizar análise de sensibilidade para verificar o impacto de alterações no fator humano para o sistema, ou ainda um estudo sobre o preenchimento das TPC.

3.2. FATORES HUMANOS NA OPERAÇÃO DO NAVIO

Para garantir que um sistema complexo, como o navio, atenda a todas as funções a ele atribuídas é necessário que, durante a fase de projeto, todas estas funções sejam analisadas a luz da tecnologia disponível, desempenho desejado, custo de pessoal, complexidade das tarefas, etc. Depois desta análise deve ser definido se estas funções ficarão a cargo de pessoas ou de equipamentos. Mas mesmo neste último caso o fator humano estará presente, por exemplo, na necessidade do fornecimento de informação e na tomada de decisão. Na verdade, existe a tendência de que os operadores não realizem tarefas físicas, tais como erguer e carregar pesos, e passem às atividades de análise e tomada de decisão, por exemplo.

Para realizar suas funções, os operadores precisam utilizar os recursos disponibilizados, coletando e interpretando as informações disponíveis (com base em sua experiência e treinamento) e, por fim, tomando a decisão de agir ou não sobre o sistema conforme seja apropriado. Dependendo do nível de complexidade e previsibilidade da situação, treinamento e experiência do indivíduo, o comportamento pode ser rotineiro ou baseado em regras, ou pode ser que a tarefa exija maior criatividade, pesquisa e análise. A maneira de interação com os equipamentos varia com as características da pessoa, as qualidades físicas do ambiente de trabalho, treinamento a respeito do sistema a ser operado, fatores organizacionais tais como horas de trabalho, e atitudes moldadas pela cultura organizacional. É provável que os operadores de uma parte do sistema partilhem de características de perfil (idade, grupo sócio-econômico, treinamento, experiência,

nível de aptidão, etc.) e este perfil faça com que suas ações sejam mais previsíveis. Estas interdependências podem ser sintetizadas pela Figura 17 (baseada em Webb e Lamoureux (2003)).

Para uma classe de sistemas, como o navio, e para uma dada função, como a operação de guinada, a tecnologia disponível permite diferentes soluções que propiciam diferenças significativas na operação de navio para navio. Alguns navios podem permitir a guinada feita da ponte, de onde o timoneiro tem visão total sobre os arredores. Em outros o timoneiro fica em compartimento separado, onde recebe ordens verbais sem ver para onde o navio se dirige. Em navios pequenos pode ocorrer de o capitão acumular a função de timoneiro, por exemplo. Há casos em que o timoneiro também controla o sistema propulsivo.

Figura 17 – Modelagem dos fatores que influenciam o desempenho humano

Assim, para cada caso devem ser levantadas as características do sistema, representar os perfis dos operadores, fatores de forma, comportamento, atividades cognitivas realizadas, erros e conseqüências. De posse destas informações é possível levantar os fatores (PSF) que influenciam cada operador (ou que mais influenciam). De qualquer maneira, é útil desenvolver um modelo genérico de influência que incorpore os PSF mais significativos na operação do sistema que está sendo analisado, deixando para um segundo passo o detalhamento caso a caso.

Com base em Mosleh e Chang (2004), Droguett e Menezes (2007), Maturana

e Martins (2008), Swain e Guttman (1983) e IMO (2002), foi desenvolvido um modelo genérico para aplicação no estudo de caso (diagrama apresentado na Figura 18). Este modelo representa a influência entre os fatores que determinam o desempenho de um operador (PSF). Foram considerados, para a sua construção, quatro grupos de fatores: 1) MOF; 2) Fatores Internos (ao operador, como fadiga, inteligência, etc.); 3) Fatores Ambientais; e 4) Habilidades Requeridas (para a execução das tarefas). O detalhamento de cada um destes fatores é apresentado nos sub-tópicos mais adiante.

Neste diagrama, considerou-se que a execução da tarefa depende da situação das habilidades requeridas do operador. E que os estados destas habilidades dependerá dos fatores ambientais e dos fatores internos do operador. Em outras palavras, considerou-se que os fatores ambientais atrapalham a execução da tarefa (influenciando nos sentidos, por exemplo), e que os fatores internos influenciam no desempenho do operador (fadiga, por exemplo), na medida em que indisponibilizam as habilidades necessárias para que o operador realize a tarefa.

Figura 18 – Rede Genérica para Fatores de Desempenho

Como observado na Figura 18, os fatores externos ao operador foram divididos entre MOF e fatores ambientais. Considerou-se que os fatores relativos a treinamento, à organização e gerenciais (agrupados nos MOF) influenciam diretamente os fatores físicos e mentais (incluindo os relativos à memória), ou seja, considerou-se, por simplicidade, que quando o operador chega para a execução da tarefa os MOF já estão definidos, e que o único grupo que o operador traz em si, passível de mudança de estado, são os fatores internos. Assim, as influências dos MOF ocorrem durante a vida do operador e não numa tarefa específica. Porém, os

fatores ambientais estão presentes durante a realização das tarefas.

3.2.1. MOF

No caso de empresas de navegação, a tripulação é grandemente influenciada por fatores tais como: políticas, procedimentos e decisões dos gestores. Para cumprir as regulamentações da IMO (IMO, 2002b) estas questões devem ser levadas em conta pelo operador do navio ao se elaborar um SMS (Safety Management System). Fatores que envolvem grandes riscos precisam ser identificados e medidas de correção devem ser adotadas para estes fatores. Para tanto o primeiro passo é identificar os MOF críticos. De acordo com IMO (2002b), os principais MOF envolvidos na operação do navio são os apresentados na Tabela 10.

As relações entre os MOF e os fatores internos estão apresentadas no tópico relativo a estes últimos, a seguir.

Tabela 10 – MOF

A	Carga de Trabalho
B	Formalização
C	Coordenação do Trabalho
D	Cultura Organizacional
E	Prêmios, reconhecimentos, benefícios
F	Recursos Físicos
G	Qualidade de Vida
H	Avaliação de Rendimento
I	Programas da Companhia
J	Seleção de Pessoal
K	Rotatividade de Pessoal
L	Programas de treinamento
M	Atitudes de Supervisores, Sindicatos, Agências Reguladoras, etc.
N	Tempo
O	Aprendizado Organizacional
P	Comunicação oral ou escrita

3.2.2. FATORES INTERNOS

Os PSF relacionados na Tabela 11 são uma compilação dos apresentados em Swain e Guttman (1983), Chang e Mosleh (2007b), Droguett e Menezes (2007) e Maturana e Martins (2008). Seguindo o modelo proposto (Figura 18), estes fatores internos foram relacionados aos MOF listados na Tabela 10. Isto foi feito de acordo com o julgamento do autor deste trabalho, considerando os MOF mais influentes para cada fator interno.

É importante ressaltar que nem todos os MOF relacionados na Tabela 11 precisam ser considerados quando determinado fator interno for associado ao executor de uma tarefa, na aplicação desta tabela. Devem-se considerar as características do operador antes de definir quais MOF devem ser adicionados às redes a serem desenvolvidas.

Outra questão importante é a inter-relação entre os fatores internos. Estas inter-relações serão tratadas caso a caso na implementação (no próximo capítulo).

Tabela 11 – Fatores Internos

<i>Físicos</i>		<i>MOF Relacionado</i>	<i>Mentais</i>		<i>MOF Relacionado</i>
1	Fadiga	A,B,G,H,M	15	Estado Emocional	A,C,E,F,G,H,I,M
2	Dor e Desconforto	A,B,F,M	16	Velocidade na Realização da Tarefa	B,C,F,H,M
3	Falta de Exercícios Físicos	A,D,I,G	17	Criticalidade da Tarefa	J,L,O
4	Qualidade do Sono	A,C,G	18	Atitudes baseadas na influência de grupos ou outras pessoas	B,C,D,H,I,J,M,P
5	Condição Física	A,B,G, J	19	Identificação com a equipe	C,D,I,J,K,L,M
<i>Relativos ao Estresse</i>			20	Personalidade e Inteligência	J
6	Duração do Estresse	A,B,C,D,F,G,L,M,P	21	Motivação e Atitude	A,C,D,E,F,G,H,I
7	Velocidade da Tarefa	B,C,F,H,M			
8	Riscos na Execução da Tarefa	C,D,H,O	<i>Memória</i>		
9	Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	D,H	22	Conhecimento das Normas	B,J,L
10	Trabalho Monótono	B,C,I,J,M	23	Experiência e Treinamento	B,D,J,K,L
11	Longos períodos sem ação	A,B,C,K,M	24	Habilidade	H,J,L
12	Distrações	C,G,J,L,M,N	25	Controle Motor	J,K,L
13	Falta de Avisos	C,D,O	26	Estado atual da Prática (Memórias)	C,K,L,M
14	Conflitos a respeito dos motivos da obtenção do melhor resultado	C,E,G,H,I,L,M			

3.2.3. FATORES AMBIENTAIS

A Tabela 12 lista os fatores ambientais considerados possíveis para o caso do navio apresentado no estudo de caso, levantados durante a visita ao navio (Maturana e Martins, 2008). Neste grupo foram alocados tanto os fatores relativos ao clima em alto mar como os relativos ao ambiente interno ao navio (é antinatural supor uma sala de máquinas sem vibração, ruídos, etc.).

Nesta tabela os fatores ambientais não estão apresentados por ordem de importância ou de incidência. Outro ponto importante é que para cada tarefa pode haver a presença de um ou de vários destes fatores. Para o modelo considerado, eles foram relacionados às habilidades (Tabela 13) exigidas em operações de navios, considerando o quanto podem influenciar em seu estado.

Tabela 12 – Fatores Ambientais

α	Temperatura
β	Umidade
χ	Insuficiência de Oxigênio
δ	Luminosidade
ϵ	Ruído
ϕ	Vibração
γ	Limpeza
η	Visibilidade
φ	Correnteza
κ	Tempestades
λ	Ventos
μ	Ondas

3.2.4. LISTA DE HABILIDADES

A tabela a seguir apresenta uma relação das principais habilidades requeridas para a execução de operações dentro do navio. Para tanto, foram consideradas as tarefas relacionadas ao evento de colisão, listadas em Maturana e Martins (2008) – da atividade de monitoramento do radar, por exemplo, se extraíram as habilidades de percepção e concentração, necessárias para o seu bom desempenho.

Tabela 13 – Habilidades

Descrição		PSF Relacionados	
		Internos	Ambientais
I	Interpretações	1,2,3,4,5,6,7,11,16,20,21	Todos
II	Cálculos	1,2,3,4,5,6,7,16,20,21,24,26	Todos
III	Concentração	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,20,21	Todos
IV	Conhecimento de procedimentos	20,22,26	Todos
V	Memória de longo e curto prazo	13,15,23,26	Todos
VI	Resistência Física	1,2,3,4,5,6,7,11,15,16,21	Todos
VII	Controle motor	1,2,3,4,5,6,11,15,20,23,24,25,26	Todos
VIII	Equipe e comunicação	8,9,14,15,16,18,19,20,21,24	Todos
IX	Frequência e Repetitividade	6,7,10,11,16,24	Todos
X	Percepção	1,2,3,4,5,6,15,20,21	Todos
XI	Planejamento	6,7,9,15,16,20,24	Todos
XII	Liderança	9,15,17,19,20,21,24	Todos
XIII	Criatividade	8,9,10,15,16,20,21	Todos
XIV	Flexibilidade	9,15,16,19,20,21	Todos
XV	Empatia	14,15,19,20,21	Todos

De acordo com o proposto na Figura 18, a Tabela 13 correlaciona os fatores internos (representados pelos números; ver Tabela 11) e os fatores ambientais que, no âmbito do navio, podem afetar as habilidades listadas. Esta associação foi feita

de acordo com o julgamento do autor deste trabalho, levando em consideração a análise de tarefas realizada em trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008) – naquele trabalho esta informação foi importante para definir os estados dos operadores e, por conseguinte, os valores das HEP associadas à execução das atividades dentro do navio.

Nesta tabela, considerou-se que todos os fatores ambientais (listados na Tabela 12) podem, de alguma forma, afetar os as habilidades listadas. Obviamente, no desenvolvimento da rede devem-se considerar apenas os que podem estar presentes e sejam significantes.

Como cada habilidade pode, direta ou indiretamente, ser afetada por quase todos os fatores internos, decidiu-se por excluir nesta tabela os fatores que afetam indiretamente o rendimento, deixando apenas os diretamente relacionados. Por exemplo, para o caso da habilidade **I-Interpretação** poderia ser associado o fator **26-Estado atual desta prática**, já que a interpretação pode exigir memória (conhecimento prévio que embasa as conclusões). No entanto, o fator **26** foi associado à habilidade **V-Memória de longo e curto prazo**. Desta forma, para uma tarefa que exija interpretação e memória devem-se selecionar as habilidades **I** e **V**, e na rede o fator **26** será ligado apenas à habilidade **V**. Assim, pode-se considerar a hipótese de colocar um arco de influência partindo da habilidade **V** e ligando-a a habilidade **I**.

Conforme observado anteriormente, um acidente pode estar relacionado a diversas tarefas realizadas dentro do navio. Na verdade, se espera que uma seqüência de falhas, ou combinações delas, leve a um evento catastrófico. No trabalho anterior, as seqüências consideradas mais prováveis foram agregadas por meio de uma Árvore de Falhas. A seguir serão considerados alguns pontos sobre o aproveitamento destas informações neste trabalho.

3.3. INTEGRAÇÃO DAS REDES BAYESIANAS COM A ÁRVORE DE FALHAS

Conforme observado previamente, o caso a ser estudado já foi explorado em trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008). Trata-se da análise quantitativa da contribuição do erro humano em acidentes de colisão. No trabalho anterior foram empregadas as Árvores de Eventos para obter as HEP para alimentar uma Árvore

de Falhas – esta árvore foi empregada para representar o desencadeamento dos eventos, ou seja, das consequências dos erros humanos. Na árvore desenvolvida os eventos básicos alimentados pelas HEP são erros das ações humanas; as Árvores de Eventos, no entanto, tornaram difícil e pouco natural a consideração dos PSF.

Um dos objetivos do estudo de caso (apresentado no próximo capítulo) é verificar como as Redes Bayesianas se comportam neste papel de modelar o fator humano. E, como o desencadeamento dos eventos que trazem perigo à operação do navio já foram representados a contento naquele trabalho, a árvore gerada será aproveitada neste estudo de caso. Assim, o que será feito no próximo capítulo é a alimentação da Árvore de Falhas com os estados dos nós que representarão as atividades realizadas pelos operadores (responsáveis pelas tarefas associadas a seus eventos básicos). Para cada evento básico será desenvolvida uma Rede Bayesiana Dinâmica da tarefa associada, agregando os fatores de desempenho (fatores internos, MOF, ambientais e habilidades requeridas) a cada atividade da tarefa. A Figura 19 apresenta uma ilustração destas idéias.

A Árvore de Falhas que representa os desencadeamentos dos eventos perigosos será transformada numa Rede Bayesiana – empregando os conceitos apresentados no tópico 2.2.3. Sendo assim, o resultado da modelagem será uma grande rede⁹ concatenando tanto esta árvore quanto as redes dinâmicas das tarefas. Isto permitirá fazer inferências que levam em consideração a probabilidade de colisão do navio (evento topo da Árvore de Falhas).

Figura 19 – Ilustração da integração Árvore de Falhas-Redes Bayesianas

⁹ No texto subsequente esta rede será referida como rede integrada

4. APLICAÇÃO AO ESTUDO DA COLISÃO

Este estudo de caso foi desenvolvido com objetivo de verificar o potencial das Redes Bayesianas na modelagem do fator humano em sistemas complexos. Optou-se por modelar a operação de um navio petroleiro, operando na costa brasileira, focando as atividades relacionadas ao evento de colisão. Esta escolha considerou a realização de trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008) em que o mesmo sistema é analisado por meio de Árvores de Falhas e de Eventos – o que permite a comparação entre estas diferentes ferramentas.

De maneira geral, procurou-se seguir os passos propostos no capítulo 2.1, quando foi feita a descrição inicial da HRA. No entanto, as atividades do passo 1 (*Identificação de Perigos*) e as duas iniciais do passo 2 (*Análise Detalhada das Tarefas Críticas* e *Análise do Erro Humano*), que deram origem à Árvore de Falhas e às estruturas das Árvores de Eventos no trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008) – e, portanto, já estavam prontas –, foram aproveitadas diretamente, restando apenas a atividade de *Quantificação* (passo 2) e o passo 3 (*Opções de Controle de Risco*). Assim, para verificar a influência do fator humano no acidente de colisão a modelagem do sistema se deu pela execução das seguintes atividades: 1) A Árvore de Falhas do trabalho anterior foi transformada em uma Rede Bayesiana (a Rede dos Eventos Perigosos); 2) Foram elaboradas as Redes Bayesianas Dinâmicas para as tarefas associadas aos eventos básicos da Árvore de Falhas (tendo como apoio as Árvores de Eventos do trabalho anterior); 3) Foram geradas as Redes Bayesianas dos fatores de desempenho para cada atividade das tarefas. Com a topologia destas redes em mãos e não tendo sido possível nova consulta a especialistas, os dados quantitativos do trabalho anterior foram aproveitados para balizar o preenchimento das TPC das Redes Bayesianas para as atividades desempenhadas no navio.

Sendo assim, neste capítulo são apresentadas as redes desenvolvidas para modelar a operação do navio e os desencadeamentos dos eventos que podem levá-lo a colidir. Também apresenta a técnica utilizada para o preenchimento das TPC e que possibilitou a quantificação do fator humano em termos de probabilidade de colisão. Antes, no entanto, é apresentada a descrição do sistema em estudo e são considerados alguns pontos sobre os dados utilizados neste trabalho. Em relação à análise do modelo obtido, foi desenvolvido o próximo capítulo – com considerações

quantitativas sobre os efeitos das mudanças nos MOF e comparações com os resultados alcançados no trabalho anterior.

Conforme comentado, para o trabalho com as Redes Bayesianas foi utilizado o programa NeticaTM (Norsys Software Corp., 1996), disponibilizado pelo LabRisco-USP. Desta forma, todas as figuras representando as redes foram obtidas por meio deste programa.

4.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA E APROVEITAMENTO DE DADOS QUANTITATIVOS

O sistema modelado refere-se a um navio SUEZMAX com posicionamento dinâmico utilizado em operações de alívio de unidades de produção do tipo *Floating Production System and Offloading* (FPSO). A operação foi modelada considerando a rota entre a unidade de produção (Bacia de Campos) e o terminal portuário (São Sebastião).

Como parte primordial na familiarização com o sistema, foi feito um levantamento de campo, com visita ao navio e observação de seu ciclo operacional (ida e volta das unidades de produção I e II, ver Figura 20). Objetivando uma base de conhecimento mais precisa e completa, durante esta visita também foram feitas entrevistas com a tripulação (entrevista formal com o comandante e informais com o restante da tripulação durante os quartos – período de serviço de um tripulante). Isto foi feito devido à carga de trabalho e aos horários dos quartos e folgas que impossibilitaram o isolamento dos tripulantes para entrevistas formais. A Tabela 14 apresenta a configuração da tripulação no momento da visita.

Figura 20 – Rota observada durante visita

Durante a entrevista, o comandante foi indagado sobre questões envolvendo os desencadeamentos de eventos perigosos e o histórico de falhas operacionais no

navio. Também foi coletada sua opinião sobre o relacionamento dos tripulantes e características essenciais para execução de suas tarefas. Apesar do caráter formal e do questionário preparado antecipadamente, outras questões surgiram durante a entrevista e todas as questões foram respondidas de forma aberta pelo oficial.

Tabela 14 – Distribuição da Tripulação

Tabela 11 - Distribuição da Tripulação				
	Náutica	Máquinas	Convés	Total
Oficiais	Comandante			11
	Imediato	Chefe de Máquinas		
	1º Oficial de Náutica	1º Oficial de Máquinas		
	2º Oficial de Náutica (3 pessoas)	2º Oficial de Máquinas (3 pessoas)		
Suboficiais	Praticante de Náutica (2 pessoas)	Praticante de Máquinas (2 pessoas)	Contramestre	8
		Mecânico		
		Eletricista		
		Bombeador		
Guarnição		Marinheiro de Máquinas	Marinheiro de Convés (2 pessoas)	5
		Moço de Máquinas	Moço de Convés	
Serviço	Cozinheiro (2 pessoas)			3
	Taifeiro			
Total	7	12	4	27

Em relação aos tripulantes, foram feitas perguntas e coletadas informações sobre a operação dos sistemas do navio e, individualmente, sobre questões pessoais (envolvendo qualidade de vida, recursos disponibilizados pela empresa, problemas familiares, etc.) que poderiam influenciar no seu rendimento no trabalho. Mesmo informalmente, foi possível coletar suas impressões sobre a liderança da empresa e satisfação pessoal.

Durante esta visita ao navio – considerando as observações e as informações obtidas por meio das entrevistas – todas as tarefas relacionadas à operação foram listadas e comparadas com os procedimentos estabelecidos nos manuais da empresa. Com isto verificou-se que por diferentes razões (instruções de operação ou de segurança apagadas, cobertas por sujeira ou ausentes e excesso de confiança do operador em sua experiência, por exemplo) haviam discrepâncias entre o praticado no navio e os procedimentos estabelecidos. Assim, os procedimentos escritos foram considerados como base para a modelagem, mas foram as evidências encontradas a bordo que determinaram os desencadeamentos de eventos perigosos e o seqüenciamento definitivo das tarefas (no trabalho anterior

estas diferenças foram utilizadas para determinar o valor das HEP nas Árvores de Eventos).

Foram considerados os procedimentos para navegação tanto em águas restritas quanto em águas abertas. Para cada tarefa foram verificados: 1) Os objetivos e descrição da tarefa; 2) Sinais de início e fim da tarefa; 3) Momento em que deve ser realizada; 4) Materiais disponíveis para a execução da tarefa; 5) Se eram tarefas executadas rotineiramente; 6) Características exigidas do pessoal (requisitos de percepção e antecipação); 7) Memória requerida (informações da memória do operador); 8) Problemas de manipulação (manivelas, botões, etc.); 9) Prováveis erros cometidos e em quais momentos; 10) Se existe a possibilidade do erro ser detectado e corrigido; 11) Condições ambientais (temperatura, barulho, vibração, umidade, etc.). Além disto, para cada operador foram feitas observações sobre: 1) A preparação que recebeu para realizar a tarefa; 2) Tempo de descanso e trabalhando; 3) Se possuía outras responsabilidades.

No trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008) estes dados, juntamente com os encontrados em Brown et al. (1996, 1997 e 1998), Bigano e Sheehan (1997) e Rawson et al.(1998) sobre a questão de colisão de navios petroleiros, foram utilizados para gerar a Árvore de Falhas e as Árvores de Eventos. Quanto aos dados quantitativos, sua disponibilidade na análise da confiabilidade humana é escassa, se não inexistente, para o caso da operação de navios. Seguindo o que foi proposto por outros autores (IMO, 2002a; Brown e Golay, 1997; Bigano e Sheehan, 1997), no trabalho anterior os dados necessários para a realização da THERP foram obtidos em bibliografia referente ao setor nuclear (Gertman e Blackman, 1993; Swain e Guttman, 1983). Porém, para o uso dos dados apresentados em Gertman e Blackman (1993) e Swain e Guttman (1983) foi necessário fazer associações entre as atividades desenvolvidas no navio e aquelas que são apresentadas para as plantas nucleares. Obviamente existem diferenças entre os dois casos, mas assumindo que as tarefas sejam semelhantes, considerou-se que as probabilidades de erros humanos apresentam a mesma ordem de grandeza, ou seja, acredita-se que os dados conseguidos no setor nuclear sejam uma boa estimativa inicial para o setor naval. As opiniões coletadas durante a visita também foram utilizadas para a realização quantitativa do trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008) – estes dados ajudaram a definir os PSF significativos para cada atividade e, com isto, determinar

suas HEP com apoio das tabelas apresentadas por Gertman e Blackman (1993) e Swain e Guttman (1983) (ver item 2.1.1.2). Nesta dissertação, os dados quantitativos do trabalho anterior foram aproveitados para balizar o preenchimento das TPC das Redes Bayesianas para as atividades desempenhadas no navio. Isto porque não foram consultados especialistas e não foram encontradas outras fontes para ajudar na execução desta tarefa. Mais adiante o aproveitamento destes dados será detalhado (item 4.5).

4.2. DESENCADEAMENTO DOS EVENTOS PERIGOSOS

Conforme comentado acima, com a análise das tarefas foi possível relacionar as tarefas e o evento de colisão por meio do desencadeamento de eventos perigosos, ou seja, montagem de cenários de acidente. Durante a visita ao navio, estes desencadeamentos foram apresentados ao comandante do navio que fez um julgamento de quais seriam os mais prováveis.

No trabalho anterior, antes da visita ao navio, foram levantadas árvores relativas à colisão definidas por outros autores para outras operações (Brown e Golay, 1997; Bigano e Sheehan, 1997). Estas Árvores de Falha preliminares foram comparadas com o conjunto de desencadeamentos de eventos perigosos citados no parágrafo anterior, o que deu origem à Árvore de Falha final para o evento de colisão, apresentada na Figura 21. Partindo desta Árvore de Falhas, foi possível o desenvolvimento de uma Rede Bayesiana com o mesmo valor de representação do domínio. A Rede Bayesiana obtida está apresentada na Figura 22.

Para a elaboração da rede da Figura 22 foram observados os princípios estabelecidos no capítulo anterior a respeito da conversão de Árvore de Falhas em Rede Bayesiana. Os números apresentados para os estados dos nós serão mais bem compreendidos com a leitura do próximo tópico e do capítulo relativo à análise do modelo obtido (onde todas as redes foram integradas; incluindo as redes dinâmicas das tarefas e as redes dos fatores de desempenho, com o intuito de quantificar o erro humano em termos de probabilidade de colisão). Ressalta-se que na Figura 21 os valores estão representados em notação científica, enquanto na Figura 22 as probabilidades estão representadas em percentagem.

Em relação à Figura 22, os nós que possuem somente arcos que “saem” representam os eventos básicos (da árvore da Figura 21). A cada nó de evento

básico foram associadas tarefas que, se mal executadas, podem gerar o evento básico em questão. A seguir é feita uma consideração sobre estas tarefas.

Figura 21 – Árvore de Falhas para Colisão

Figura 22 – Rede Bayesiana para o desencadeamento de eventos perigosos

4.3. REDES BAYESIANAS DINÂMICAS DAS TAREFAS

Para obter as atividades relacionadas aos eventos básicos da Árvore de Falhas (ou as tarefas relacionadas ao evento de colisão, conforme Figura 21) recorreu-se às Árvore de Eventos já desenvolvidas (Maturana e Martins, 2008). Na Tabela 15 abaixo são apresentados os eventos básicos e as atividades retiradas das Árvore de Eventos mencionadas. Estas atividades estão numeradas na ordem em que ocorrem.

Partindo destes eventos e considerando as Árvore de Eventos do trabalho anterior, foram desenvolvidas as Redes Bayesianas Dinâmicas das tarefas (dado que cada evento básico se origina na falha de execução de alguma tarefa). Nota-se que só é possível desenvolver uma rede dinâmica para tarefas que apresentam mais de uma atividade. A seguir são apresentadas as redes para estas tarefas. Antes, no entanto, salienta-se que nestas redes foram incluídos nós para os eventos básicos

que podem ser fruto de falhas na execução das atividades e que foram considerados dois estados para cada nó. A numeração dos eventos respeita a apresentada na Figura 21.

Tabela 15 – Eventos Básicos e atividades relacionadas

Evento		Atividade
5	Outra Embarcação não Detectada	1-Detectar Outra Embarcação por Radar
		2-Detectar Outra Embarcação Visualmente
		3-Detectar Outra Embarcação por Alarme
6	Falha do Procedimento RIPEAM	1-Falha do Procedimento RIPEAM
10	Falha de Comunicação	1-Decidir Fazer Contato por Rádio
		2-Conseguir Fazer Contato
		3-Entender Interlocutor
		4-Decidir Fazer Contato por Outro Meio
		5-Entender Interlocutor
11	Oficial dá Ordem Errada	1-Entende Corretamente
		2-Tomada de Decisão
		3-Deteção do Erro
14	Timoneiro dá Resposta Errada	1-Resposta Errada
23	Oficial dá Ordem Errada	1-Entende Corretamente
		2-Tomada de Decisão
		3-Deteção do Erro
25	Timoneiro dá Resposta Errada	1-Resposta Errada
29	Erro de Marcação	1-Checgem de Equipamento
		2-Falha Material
		3-Respeito dos Intervalos
		4-Leitura de posição
		5-Marcação na Carta Náutica
		6-Comandante Detecta o Erro
32	Capitão Falha	1-Capitão Falha
33	ON Falha	1-ON Falha
34	Ausência de Indicação	1-Ausência de Indicação
36	Erro de Atenção	1-Erro de Atenção
39	Erro não Descoberto	1-Erro não Descoberto
41	Informação Errada	1-Informação Errada
43	Falha no Traçado	1-Atualização das Publicações
		2-Leitura das Informações
		3-Estabelecimento da Profundidade Mínima
		4-Leitura da Profundidade
		5-Identificar Áreas Restritas
		6-Traçar Áreas Restritas
		7-Traçar Rumos Sucessivos
		8-Identificar Way-Points
		9-Escolha dos Pontos
		10-Revisão da Rota ON
		11-deteção de Falha Comandante

4.3.1. EVENTO 5-OUTRA EMBARCAÇÃO NÃO DETECTADA

Durante a operação de navegação, o monitoramento do tráfego é realizado por dois meios: visual e eletrônico. O meio eletrônico (RADAR) tem um alcance maior que o visual, portanto foi colocado em primeira posição no desencadeamento cronológico das atividades. Se a detecção por meio eletrônico falhar, o próximo passo é a detecção visual, e se esta também falhar, os equipamentos de detecção eletrônica são dotados de alarmes sonoros de proximidade e de rumo de colisão.

Para o desenvolvimento da rede considerou-se que a falha na detecção ocorrerá somente se houver falha na detecção por alarme. Para isto considerou-se que se houver a detecção visual então será certa a detecção por alarme (dado que a

concentração do operador deve aumentar; além disto, foram desconsideradas falhas nos equipamentos). E também que se houver a detecção por radar será certa a detecção visual. Estas considerações simplificaram as relações de dependência e permitiram tabelas de probabilidades condicionais mais simples – que serão vistas mais adiante, depois de serem discutidos os fatores de desempenho. A rede desenvolvida está apresentada na Figura 23.

Figura 23 – Rede Bayesiana Dinâmica para a tarefa de monitoramento do tráfego

Na Figura 23 o nó em tom mais escuro representa o evento básico e os demais são os nós para as atividades da tarefa. As probabilidades apresentadas nesta rede serão discutidas no tópico sobre a integração das redes dos fatores de desempenho com as redes dinâmicas (este padrão também será seguido para as demais tarefas).

4.3.2. EVENTO 10-FALHA DE COMUNICAÇÃO

A operação do rádio é feita com apoio de *checklist*. Consideraram-se dois meios de comunicação entre duas embarcações separadas por uma distância da ordem do alcance da visão: o rádio é o meio privilegiado e o código Morse visual, usando sinal luminoso, o meio secundário.

Figura 24 – Rede Bayesiana Dinâmica para a tarefa de comunicação

A Rede Bayesiana Dinâmica para a tarefa de comunicação está apresentada na Figura 24. Nesta rede foram consideradas atividades para conseguir fazer contato (manipulação de equipamentos) e entender o interlocutor (na comunicação

propriamente dita). Considerou-se a possibilidade de falha na comunicação se houver falha na decisão de fazer contato ou falha no entendimento (insucesso nos dois meios de comunicação disponíveis).

4.3.3. EVENTO 11-OFICIAL DÁ ORDEM ERRADA

Para a ordem dos oficiais considerou a necessidade de duas etapas. A primeira consistindo em compreender o que está acontecendo, sendo essencial para o processo decisório, e a segunda, denominada tomada de decisão, consistindo em escolher entre as soluções existentes. A simplicidade desta representação é justificada pela necessidade de resposta em curto espaço de tempo, já que a complexidade na operação de um navio petroleiro dificulta a geração de respostas coerentes neste curto espaço de tempo, de forma que todas as ações possíveis são estudadas previamente. Em outras palavras, não fosse o tempo escasso, poderia ser incluído um passo intermediário de pesquisa e raciocínio para gerar soluções.

Considerou-se que a ordem do oficial será falha se a decisão for errada e a revisão desta decisão também for imperfeita. Assim a rede desenvolvida ganhou as características apresentadas na Figura 25.

Figura 25 – Rede Bayesiana Dinâmica para ordem dos oficiais

4.3.4. EVENTO 23-OFICIAL DÁ ORDEM ERRADA

A construção desta rede seguiu os mesmos princípios apresentados no item anterior (Evento 11-Oficial dá Ordem Errada) e o resultado é idêntico.

4.3.5. EVENTO 29-ERRO DE MARCAÇÃO

A rede relacionada a este evento é na verdade a composição de outras duas: uma para o processo de marcação e outra para o estado do equipamento de GPS

(Global Positioning System).

A marcação na carta náutica segue um procedimento escrito, que define inclusive os intervalos de marcação. A leitura de posição consiste em ler e recordar informações obtidas de *displays* enquanto a marcação se refere à plotagem da posição na carta náutica.

A parte da rede relacionada aos equipamentos se resume a atividade de checagem destes equipamentos (foi incluído um nó para falha de equipamento, o que não é o foco deste trabalho).

Considerou-se a possibilidade de erro de marcação se houver falha de equipamento (inspeção incorreta acarretando em falha material imprevista ou regulagem incorreta) ou na marcação da carta náutica (ocasionada por leitura incorreta do equipamento, intervalo muito grande entre as marcações e marcação do ponto em coordenada diferente da obtida no equipamento) somada à falha na revisão do comandante. A rede dinâmica está apresentada na Figura 26.

Figura 26 – Rede Bayesiana Dinâmica para a tarefa de marcação de posição

4.3.6. EVENTO 43-FALHA NO TRAÇADO

O planejamento da rota é efetuado pelo 1º Oficial de Náutica (1º ON). Ele também é responsável pela atualização das publicações tais como cartas náuticas, roteiros de informações sobre as regiões de navegação, lista de faróis e bóias cegas. Estas atualizações chegam a cada duas semanas por meios eletrônicos e papel. A cada seis meses, a Autoridade Marítima apresenta uma lista de todas as correções feitas nos últimos seis meses e a cada ano uma lista de todas as

correções já efetuadas.

A atividade de traçado da rota consiste em utilizar as informações disponíveis sobre o meio ambiente e o navio para determinar o caminho seguro mais curto entre a origem e o destino da embarcação. Assim, a leitura das cartas náuticas e a definição da profundidade mínima para a navegação são atividades essenciais nesta tarefa, pois com estas informações é possível identificar e traçar as áreas restritas para a circulação do navio e determinar o caminho que reúne as características acima (definido na carta por rumos sucessivos, ou seja, pelo conjunto de retas que formam a rota).

Além do traçado da rota, são marcados os pontos de mudança de rumo (os *Way-Points*) e os pontos de referência (que servem para o monitoramento da rota). Depois de traçada, a rota é submetida ao comandante para aprovação.

Para o desenvolvimento da rede considerou-se a possibilidade de falha no traçado se houver falha na atualização das publicações, na revisão da rota feita pelo Oficial de Náutica e pelo Comandante. Estas considerações e o desencadeamento das atividades deram origem à rede apresentada na Figura 27.

Figura 27 – Rede Bayesiana Dinâmica para a tarefa de traçado da rota

4.4. REDES BAYESIANAS DOS FATORES DE DESEMPENHO

Neste tópico foram levantados os fatores de desempenho (relacionados às tarefas do tópico anterior) e as redes para estes fatores. Primeiramente, as

habilidades consideradas essenciais para a realização de cada atividade são relacionadas e, em seguida, a rede genérica para os fatores de desempenho – conforme apresentada no capítulo anterior (Figura 18) – é aplicada para obterem-se as Redes Bayesianas para representar os fatores que mais influenciam a execução das atividades relacionadas ao evento de colisão.

Como será observado mais adiante, alguns fatores discriminados para determinada tarefa são ligados a várias atividades desta tarefa. Isto porque as atividades são executadas pela mesma pessoa, ou ainda porque o fator está disponível para mais de um operador (este é o caso, por exemplo, de fatores ambientais para tarefas executadas em um mesmo compartimento e com diferença pequena de tempo).

4.4.1. LISTA DE HABILIDADES RELACIONADAS ÀS ATIVIDADES

Na Tabela 15 é possível verificar as atividades relacionadas aos eventos básicos da Árvore de Falhas (Figura 21). Com base nas habilidades listadas na Tabela 13 (identificadas por números romanos), foi possível desenvolver a Tabela 16. Esta tabela apresenta as habilidades consideradas essenciais para a boa execução das atividades ligadas ao evento de colisão.

Para os eventos básicos 34 e 41 (*Ausência de Indicação e Informação Errada*, respectivamente) não foram associadas habilidades. Para o caso do evento 34 isto se dá porque este não é um evento gerado pela ação humana, mas depende da posição do navio na rota. Já para o evento 41, a tarefa de fornecer informação correta depende de agentes externos à operação (Autoridade Marítima) cuja ação não foi modelada.

A Tabela 16 foi utilizada no desenvolvimento da topologia das redes para os fatores de desempenho. Como exemplo, a seguir será apresentado o desenvolvimento da rede completa para a atividade de monitoramento do tráfego.

4.4.2. REDE DOS FATORES DE DESEMPENHO PARA MONITORAMENTO DO TRÁFEGO

Para ilustrar a criação da topologia das redes dos fatores de desempenho, será tomado o exemplo do evento básico “5 – *Outra Embarcação não Detectada*”. Para tanto, será apresentada a análise individual das atividades desta tarefa.

Para a Atividade “5-1: Detectar Outra Embarcação por Radar” a Tabela 17 apresenta as habilidades requeridas e os fatores de desempenho internos relacionados (escolhidos entre os apresentados na Tabela 11, conforme se julgaram mais influentes). Além dos MOF (escolhidos com apoio da Tabela 10) e dos fatores ambientais (Tabela 12) relacionados a estes fatores de desempenho.

Tabela 16 – Habilidades relacionadas às atividades

	Descrição	Habilidades Requeridas
5-1	Detectar Outra Embarcação por Radar	III,X
5-2	Detectar Outra Embarcação Visualmente	III,X
5-3	Detectar Outra Embarcação por Alarme	III,X
6-1	Seguir o Procedimento RIPEAM	IV,VIII,X
10-1	Decidir Fazer Contato por Rádio	I,IV,VIII
10-2	Conseguir Fazer Contato	III,IV,VII
10-3	Entender o Interlocutor	III,X
10-4	Decidir Fazer Contato por Outro Meio	I,IV,XIV
10-5	Entender o Interlocutor	III,X
11-1	Entender Corretamente	III,X
11-2	Tomar Decisão	I,XI,XIV
11-3	Detectar erro	III,VIII,X
14-1	Responder Corretamente	III,VII,VIII
23-1	Entender Corretamente	III,X
23-2	Tomar Decisão	I,XI,XIV
23-3	Detectar Erro	III,X,VIII
25-1	Responder Corretamente	III,VII,VIII
29-1	Checar Equipamentos	III,IV,X
29-3	Respeitar Intervalos de Marcação	IX
29-4	Ler Posição	III,X
29-5	Marcar a Carta Náutica	III,VII
29-6	Detectar o Erro (Comandante)	III,VIII,X
32-1	Detectar Erro (Comandante)	III,VIII,X
33-1	Detectar o Erro (ON)	III,VIII,X
36-1	Monitorar o tráfego	III,VI,X
39-1	Revisar Rota	III,VIII,X
43-1	Atualizar as Publicações	III,VI,X
43-2	Ler as Informações	III
43-3	Estabelecer a Profundidade Mínima	II,III,X
43-4	Ler a Profundidade na Carta	III
43-5	Identificar Áreas Restritas	III
43-6	Traçar Áreas Restritas	III,VII
43-7	Traçar Rumos Sucessivos	III,VII
43-8	Identificar Way-points	III,VII
43-9	Escolher os Pontos de Referência	I,IV,X
43-10	Revisar a Rota (ON)	III,VIII,X
43-11	Revisar a Rota (Comandante)	III,VIII,X

Neste ponto é interessante relembrar que nem todos os PSF listados nas tabelas do item 3.2 precisaram ser associados às habilidades consideradas para esta atividade. Nasquelas tabelas a associação foi feita de maneira geral, para um navio e tripulação qualquer, localizando as relações mais prováveis entre os PSF. No caso do fator interno 4 – *Qualidade do Sono*, por exemplo, a Tabela 11 associa também o MOF G – *Qualidade de Vida*, mas na modelagem este MOF não foi relacionado a este fator interno. A qualidade de vida está relacionada a diversos

fatores: um indivíduo, por exemplo, pode não ter boa qualidade de vida porque está preocupado (com o pagamento no final do mês, ou com problemas com a justiça ou de saúde na família, ou com a educação dos filhos, etc.) ou não desfrutar de boa saúde (sedentarismo, falta de acompanhamento médico, alimentação, etc.). De forma que diversos fatores estão agrupados no MOF *G – Qualidade de Vida*. Não foi observada nas entrevistas e visita a presença de dificuldades neste quesito, em relação a preocupações, que possam influenciar significativamente a concentração (esta habilidade está mais relacionada às faculdades mentais que às físicas) do pessoal envolvido com o monitoramento do tráfego. Em contrapartida observou-se a presença de sedentarismo e, assim, para o fator interno 5 – *Condição Física* da habilidade *X – Percepção*, foi mantida a associação deste MOF.

Tabela 17 – Fatores de desempenho para monitoramento com RADAR

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A - Carga de Trabalho C - Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C - Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C - Coordenação do Trabalho
			F - Recursos Físicos
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	A - Carga de Trabalho C - Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A - Carga de Trabalho
			G - Qualidade de Vida
			J - Seleção de Pessoal
	Ambientais	κ - Tempestades μ - Ondas	
Obs.: Considerou-se que tempestades e ondas são os fatores ambientais que atrapalham a percepção de outros navios por meio de radar. Isto porque estes fenômenos sensibilizam este equipamento, tornando a leitura mais difícil.			

Outro ponto a ser ressaltado é a complexidade da rede final se as mínimas influências forem consideradas. Assim, cabe ao analista um estudo cuidadoso para eliminar na modelagem os fatores que são secundários. Na Tabela 13, por exemplo, verifica-se que muitos outros PSF (fatores internos) foram associados às habilidades *III – Concentração* e *X – Percepção*, mas com as observações feitas em campo foi possível agrupar na modelagem aqueles com maior impacto para as pessoas envolvidas na operação. A visita à planta tornou-se, portanto, fundamental na determinação dos fatores que não podem ser ignorados. O mesmo pode ser concluído em relação aos fatores ambientais.

Dando seqüência à modelagem, os fatores de desempenho para a atividade “5-2: *Detectar Outra Embarcação Visualmente*” são muito semelhantes aos encontrados para a atividade precedente. A diferença está na influência dos fatores

ambientais. Para este caso adota-se a influência da visibilidade e ignoram-se ondas e tempestade.

Para o caso da Atividade “5-3: Detectar Outra Embarcação por Alarme” os fatores também são semelhantes aos da atividade inicial. Mas aqui não foi considerada a influência de fatores ambientais.

Com o apoio da Tabela 17 e do descrito acima foi possível desenvolver a topologia da Rede Bayesiana para os fatores que influenciam no desempenho das atividades da tarefa de monitoramento do tráfego. A rede integrada obtida está apresentada na Figura 28.

Figura 28 – Rede dos Fatores de Desempenho para Monitoramento do Tráfego

Como pode ser visto na Figura 28, não há repetição dos MOF e fatores internos para o operador. No entanto, para a habilidade de percepção, foram gerados nós específicos para cada atividade. Isto porque, apesar de classificadas sobre a mesma nomenclatura, esta habilidade apresentou natureza diferente para cada atividade – da esquerda para a direita, conforme apresentadas na Figura 28: visual para as duas primeiras, com exigências diferentes de interpretação, e auditiva para a última.

No Apêndice A estão apresentadas tabelas semelhantes à Tabela 17 para as demais tarefas, o que permite a reconstrução das redes consideradas nos tópicos seguintes. A seguir será considerado o preenchimento das TPC das redes desenvolvidas.

4.5. PREENCHIMENTO DAS TABELAS DE PROBABILIDADES CONDICIONAIS

Para viabilizar o estudo de caso, a obtenção das TPC se deu pelo emprego

de dois procedimentos complementares: o primeiro objetivou o estabelecimento de valores iniciais de acordo com a opinião das pessoas envolvidas neste trabalho (foi estabelecido um critério de preenchimento que considera os estados dos nós pais) e o segundo consistiu do aproveitamento das probabilidades estimadas anteriormente (Maturana e Martins, 2008) para os eventos básicos da Árvore de Falhas através da aplicação da THERP, aproveitando, indiretamente, os dados obtidos de banco de dados do setor nuclear (ver item 4.1).

Em uma condição adequada as probabilidades condicionais deveriam ser obtidas a partir de banco de dados ou da opinião de especialistas, por exemplo. Porém, como salientado anteriormente, existe escassez de dados para o caso da indústria naval e a coleta de informações de especialistas não é um procedimento trivial, demandando tempo e recursos financeiros indisponíveis para o período de execução deste trabalho. Além disto, a obtenção indireta dos dados quantitativos necessários para preenchimento das TPC não inviabiliza a verificação do potencial da metodologia e técnica que estão sendo estudadas, e que é o objetivo principal deste trabalho (ver item 1.1). Ademais, a utilização da opinião de especialistas ou banco de dados exige a verificação do quão adequadas e empregáveis são as probabilidades obtidas (Droguett e Menêzes, 2007), o que seria justificado na necessidade de determinação quantitativa da probabilidade de colisão. Neste trabalho, no entanto, foram modelados apenas os eventos ligados à operação do navio e, assim, as probabilidades dos eventos modelados seriam mais bem avaliadas se fatores tais como manutenção, falha de equipamentos, atuação de pessoas e organismos externos à tripulação e a empresa de navegação, etc., fossem considerados com melhor detalhe.

As opiniões coletadas durante a visita também foram utilizadas para a realização quantitativa do trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008) – estes dados ajudaram a definir os PSF significativos para cada atividade e, com isto, determinar seus HEP com apoio das tabelas apresentadas por Gertman e Blackman (1993) e Swain e Guttman (1983) (ver item 2.1.1.2). Nesta dissertação, o aproveitamento dos dados do trabalho anterior se baseou na hipótese não validada de que os resultados obtidos naquela ocasião para as probabilidades dos eventos básicos da Árvore de Falhas são realistas. Assim, com apoio destes dados, foi desenvolvido um procedimento para balizar o preenchimento das TPC das Redes Bayesianas para os

fatores de desempenho relacionados às atividades desempenhadas no navio (não quantificados no trabalho anterior).

Os nós que representam as atividades das tarefas ligadas aos eventos básicos não passaram pelo segundo procedimento (proposto no primeiro parágrafo deste tópico). Isto porque o erro em determinada atividade pode inviabilizar o sucesso na atividade subsequente (para tarefas compostas por múltiplas atividades; por serem organizadas numa seqüência cronológica). Por conta disto, antes de apresentar o procedimento para a obtenção das probabilidades iniciais em função dos nós pais (item 4.5.2), serão discutidos alguns pontos sobre a obtenção das TPC para o caso das atividades (item 4.5.1). Posteriormente, será apresentado o procedimento para ajustagem da probabilidade inicial (item 4.5.3).

4.5.1. NÓS DAS ATIVIDADES

Cada evento básico da Árvore de Falhas é gerado pelo erro na execução de determinada tarefa ou de um conjunto delas (erro de leitura e de revisão do comandante gerando erro de marcação, por exemplo). Na elaboração das árvores dinâmicas para os eventos básicos, estas tarefas foram decompostas em suas atividades, e a cada atividade se associou um conjunto de habilidades requeridas para sua boa execução (ver item 4.4.1). Estes pontos devem ser levados em consideração para entender o preenchimento das TPC das atividades. Como exemplo, na Figura 28 verifica-se que a atividade “5-2: *Detectar Outra Embarcação Visualmente*” é precedida pela atividade “5-1: *Detectar Outra Embarcação por Radar*”, sendo que no item 4.3.1 definiu-se que se houver sucesso na detecção por radar será certa a detecção visual. O preenchimento da TPC para este último caso deve considerar então o estado do nó de atividade precedente (detecção por alarme) e os estados dos nós de habilidades. A Tabela 18 apresenta o resultado final para o preenchimento desta TPC.

Desta tabela, verifica-se que se houver sucesso no nó precedente (*DetectarPorRadar*) então o estado *Sim* será certo. Em contrapartida, se houver falha, as probabilidades dos estados dependerão dos estados dos nós para as habilidades. Estas probabilidades foram obtidas de maneira análoga a apresentada a seguir para os nós das habilidades e dos fatores internos em relação a seus nós pais.

Tabela 18 – TPC para o nó DectarVisualmente

<i>Sim</i>	<i>Não</i>	<i>DectarPorRadar</i>	<i>Concentração</i>	<i>Percepcao1</i>
1	0	<i>Sim</i>	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>
1	0	<i>Sim</i>	<i>Alta</i>	<i>Baixa</i>
1	0	<i>Sim</i>	<i>Baixa</i>	<i>Alta</i>
1	0	<i>Sim</i>	<i>Baixa</i>	<i>Baixa</i>
1	0	<i>Não</i>	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>
0.7	0.3	<i>Não</i>	<i>Alta</i>	<i>Baixa</i>
0.7	0.3	<i>Não</i>	<i>Baixa</i>	<i>Alta</i>
0.4	0.6	<i>Não</i>	<i>Baixa</i>	<i>Baixa</i>

4.5.2. PROBABILIDADES CONDICIONAIS INICIAIS

Para a obtenção das probabilidades iniciais foi estabelecida uma regra empregada em todos os nós relativos a habilidades e fatores internos. As probabilidades obtidas por esta regra foram submetidas a ajustamento (ver item 4.5.3) a fim de que os mesmos valores para as probabilidades dos eventos básicos estimados em trabalho anterior fossem observados na rede que integra as redes dos fatores de desempenho, as redes dinâmicas das tarefas e a rede dos desencadeamentos dos eventos perigosos, conforme mencionado anteriormente.

A regra estabelecida consiste em considerar em 40% a probabilidade de estado positivo do nó, dado que todos os nós pais apresentam estados negativos; da mesma forma, se arbitrou a probabilidade de 100% para o estado positivo do nó, dado que todos os nós pais apresentam estados positivos. E, para o estado positivo do nó, dadas as demais combinações de estados dos nós pais, as probabilidades condicionais iniciais foram obtidas pela interpolação neste intervalo ([0.4;1]), determinada pela quantidade de nós pais em estado positivo (lembrando que foram assumidos dois estados para cada nó). Por exemplo, para um nó (A) com dois pais (B e C) a TPC seria a apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 – TPC para o nó (A)

<i>Estados dos Nós Pais</i>		<i>P(A/B,C)</i>	
<i>B</i>	<i>C</i>	<i>Positivo</i>	<i>Negativo</i>
<i>Positivo</i>	<i>Positivo</i>	1	0
<i>Positivo</i>	<i>Negativo</i>	0.7	0.3
<i>Negativo</i>	<i>Positivo</i>	0.7	0.3
<i>Negativo</i>	<i>Negativo</i>	0.4	0.6

Neste ponto é importante explicitar que foram considerados dois estados para cada nó, um positivo e outro negativo. Por exemplo, num nó que represente *distração* foram definidos os estados *sim* e *não*, sendo que o estado *não* é positivo (porque a distração é algo negativo para a execução da tarefa). Já para um nó que represente *concentração* foram definidos os estados *baixa* e *alta*, sendo que o

estado *alta* é positivo. Assim, não se deve confundir a nomenclatura do nó com sua contribuição negativa ou positiva para a probabilidade associada à boa execução da tarefa (o estado positivo é o que, tendo aumentada sua probabilidade, faz diminuir a probabilidade de ocorrência do evento básico da rede).

A seguir se apresenta a ajustagem das TPC iniciais às probabilidades conhecidas para os eventos básicos.

4.5.3. AJUSTAGEM DAS PROBABILIDADES INICIAIS

A ajustagem das TPC foi feita com apoio dos resultados obtidos em trabalho anterior, pela aplicação da THERP, para os eventos básicos da Árvore de Falhas (Maturana e Martins, 2008). Neste processo procuraram-se, em princípio, dois objetivos. O primeiro foi popular as TPC de forma que os resultados obtidos no trabalho anterior para os eventos básicos fossem mantidos. E o segundo foi manter as diferenças relativas entre as probabilidades das TPC iniciais. Por exemplo, se uma TPC apresentar as mesmas probabilidades do conjunto {25%, 50% e 75%} para seu estado positivo – sendo 25% o valor mínimo e 75% o valor máximo, portanto – e depois do ajuste a TPC apresentar 40% como valor mínimo 80% como valor máximo, então, por interpolação, a outra probabilidade para seu estado positivo será 60%.

O primeiro objetivo representa uma forma de calibrar, ou julgar, a realidade das suposições iniciais; permitindo, ainda, a obtenção dos valores a serem adotados – para isto foi suposto que os dados obtidos em trabalho anterior são realistas. Já o segundo é uma forma de manter a distribuição relativa inicial entre as probabilidades – assim, considera-se que os valores iniciais, mesmo não sendo exatos, trazem a experiência do especialista que os definiu.

Sendo assim, para ajustar as probabilidades das TPC foram utilizados dois artifícios. O primeiro consistiu da utilização de um fator α multiplicado a cada probabilidade condicional inicial associada ao estado positivo do nó (sendo este multiplicador o mesmo para todos os nós da rede ligada a determinado evento básico, excetuando-se os nós para as atividades das tarefas compostas por múltiplas atividades) – os valores para o estado negativo foram ajustados de forma que a soma das probabilidades fosse igual a 100% para uma mesma linha da TPC (daqui por diante isto fica implícito e as manipulações consideradas no texto que se

segue consideram as probabilidades para o estado positivo do nó). Desta forma, com o valor de α podendo ser diminuído a valores próximos de zero, pode-se obter quaisquer valores para a probabilidade máxima da tabela (inferiores ao máximo da TPC inicial, ou $\alpha=1$).

O segundo artifício foi o estreitamento ou alargamento do intervalo em que se distribuíram as probabilidades condicionais. Esta ação se deu pela atribuição de um valor β para o valor mínimo do intervalo (lembrando que inicialmente foi atribuído o intervalo [40%;100%]).

O primeiro artifício ou o alargamento do intervalo (uma das alternativas do segundo artifício) podem ser empregados quando a probabilidade de ocorrência do evento básico (que pode contribuir para a colisão), pela utilização das TPC iniciais, se apresenta maior do que a procurada. Já o estreitamento do intervalo, proposto no segundo artifício, pode ser empregado quando ocorre o contrário. Neste trabalho, para simplificar a busca, no primeiro caso foram experimentados valores para α até que a probabilidade ideal para o evento básico (encontrada no trabalho anterior, que foi utilizada como referência) fosse encontrada. Para tanto, o valor de α foi reduzido paulatinamente – partindo-se de 1. No segundo caso, com o mesmo objetivo e de forma similar, o valor de β foi alterado. Mas desta vez, partindo de 40%, o valor de β foi incrementado.

Para ilustrar o que foi descrito, será tomado o exemplo do evento 6 – *Falha no Procedimento Padrão (RIPEAM)*, composto de uma tarefa com atividade única. A Rede Bayesiana que reúne a atividade, as habilidades, fatores internos e MOF a este evento está apresentada na Figura 29 (No Apêndice A estão apresentadas as tabelas que auxiliaram na composição desta rede).

Nota-se que para a rede da Figura 29 não foram considerados nós para fatores ambientais, já que para este caso seus efeitos foram considerados secundários. Para a mesma rede, os MOF foram modelados com dois estados. Assumiu-se o valor de 95% para o estado positivo (este padrão foi assumido para todos os MOF).

Para esta rede (Figura 29), a probabilidade do evento básico 6 – *Falha no Procedimento Padrão (RIPEAM)* varia em função de α e de β (trabalhando com as TPC iniciais preenchidas de acordo com item 4.5.2) conforme o apresentado no

gráfico da Figura 30. Os dados plotados na Figura 30 foram obtidos de um programa desenvolvido com auxílio do Octave (software livre – ver Eaton et al., 2008), observando os princípios determinados nos parágrafos iniciais deste tópico.

Figura 29 – Rede para o evento 6 – Falha no Procedimento Padrão (RIPEAM)

Figura 30 – Variação da probabilidade do evento 6 em função de α e β

De acordo com o descrito anteriormente e com o apoio do gráfico da Figura 30, pode-se verificar que o valor de α a ser utilizado se aproxima de 0.68, mantendo-se β em 40%. O que dará 50,72% de probabilidade para ocorrência do referido evento básico. Muito próxima dos 50% procurados (resultado encontrado em Maturana e Martins (2008) para o mesmo evento).

Para compreender o gráfico acima é importante não confundir a nomenclatura do estado *sim* com a sua natureza (o evento modelado é o de falha no procedimento, ou seja, se ocorre ou não ocorre a falha). Este é um estado negativo do nó, ou seja, é um estado que tendo sua probabilidade aumentada faz com que a probabilidade de colisão aumente também. Assim, o aumento generalizado das probabilidades dos estados positivos dos nós para os PSF ligados a este evento gera uma diminuição na probabilidade do estado *sim*, como pode ser observado pelo estreitamento ocasionado pelo aumento de β .

Se fosse mantido α igual a 0.68 e a probabilidade buscada em 50%, o β necessário seria de 41,79%. A Figura 31 apresenta todos os pares (α , β) possíveis para se encontrar a probabilidade de 50% no evento básico estudado (dentro dos intervalos propostos na Figura 30).

Figura 31 – Pares de α e β possíveis para se encontrar 50% no Evento 6

Sendo assim, para a rede da Figura 29 as TPC finais escolhidas e as iniciais estão apresentadas nas 11 tabelas a seguir (da Tabela 20 até a Tabela 30).

Tabela 20 – TPC para o nó Falha do Procedimento Padrão (RIPEAM)

Percepção 6	Equipe e Comunicação 1	Conhecimento de Procedimento 1	Finais		Iniciais	
			Sim	Não	Sim	Não
Alta	Bom	Bom	0.320	0.680	0.000	1.000
Alta	Bom	Ruim	0.456	0.544	0.200	0.800
Alta	Ruim	Bom	0.456	0.544	0.200	0.800
Alta	Ruim	Ruim	0.592	0.408	0.400	0.600
Baixa	Bom	Bom	0.456	0.544	0.200	0.800
Baixa	Bom	Ruim	0.592	0.408	0.400	0.600
Baixa	Ruim	Bom	0.592	0.408	0.400	0.600
Baixa	Ruim	Ruim	0.728	0.272	0.600	0.400

Tabela 21 – TPC para o nó Percepção 6

Qualidade do Sono 3	Condição Física 3	Finais		Iniciais	
		Alta	Baixa	Alta	Baixa
Boa	Boa	0.680	0.320	1.000	0.000
Boa	Ruim	0.476	0.524	0.700	0.300
Ruim	Boa	0.476	0.524	0.700	0.300
Ruim	Ruim	0.272	0.728	0.400	0.600

Tabela 22 – TPC para o nó Equipe e Comunicação 1

Tratamento Dado a Falha 1	Habilidade 1	Finais		Iniciais	
		Bom	Ruim	Bom	Ruim
Motivador	Apurada	0.680	0.320	1.000	0.000
Motivador	Incipiente	0.476	0.524	0.700	0.300
Desmotivador	Apurada	0.476	0.524	0.700	0.300
Desmotivador	Incipiente	0.272	0.728	0.400	0.600

Tabela 23 – TPC para o nó Conhecimento de Procedimento 1

Personalidade e Inteligência 2	Estado Atual 2	Conhecimento das Normas 2	Finais		Iniciais	
			Bom	Ruim	Bom	Ruim
Adequada	Apurado	Profundo	0.320	0.680	1.000	0.000
Adequada	Apurado	Superficial	0.456	0.544	0.800	0.200
Adequada	Incipiente	Profundo	0.456	0.544	0.800	0.200
Adequada	Incipiente	Superficial	0.592	0.408	0.600	0.400
Inadequada	Apurado	Profundo	0.456	0.544	0.800	0.200
Inadequada	Apurado	Superficial	0.592	0.408	0.600	0.400
Inadequada	Incipiente	Profundo	0.592	0.408	0.600	0.400
Inadequada	Incipiente	Superficial	0.728	0.272	0.400	0.600

Tabela 24 – TPC para o nó Qualidade do Sono 3

Coordenação do Trabalho	Carga de Trabalho	Finais		Iniciais	
		Boa	Ruim	Boa	Ruim
Boa	Ideal	0.680	0.320	1.000	0.000
Boa	Alta	0.476	0.524	0.700	0.300
Ruim	Ideal	0.476	0.524	0.700	0.300
Ruim	Alta	0.272	0.728	0.400	0.600

Tabela 25 – TPC para o nó Tratamento Dado a Falha 1

Cultura Organizacional	Avaliação de Rendimento	Finais		Iniciais	
		Motivador	Desmotivador	Motivador	Desmotivador
Apropriada	Adequada	0.680	0.320	1.000	0.000
Apropriada	Inadequada	0.476	0.524	0.700	0.300
Inapropriada	Adequada	0.476	0.524	0.700	0.300
Inapropriada	Inadequada	0.272	0.728	0.400	0.600

Tabela 26 – TPC para o nó Habilidade 1

Programas de treinamento	Final		Inicial	
	Apurada	Incipiente	Apurada	Incipiente
Adequado	0.680	0.320	1.000	0.000
Inadequado	0.272	0.728	0.400	0.600

Tabela 27 – TPC para o nó Condição Física 3

Carga de Trabalho	Qualidade de Vida	Seleção de Pessoal	Finais		Iniciais	
			Boa	Ruim	Boa	Ruim
Ideal	Boa	Boa	0.320	0.680	0.000	1.000
Ideal	Boa	Ruim	0.456	0.544	0.200	0.800
Ideal	Ruim	Boa	0.456	0.544	0.200	0.800
Ideal	Ruim	Ruim	0.592	0.408	0.400	0.600
Alta	Boa	Boa	0.456	0.544	0.200	0.800
Alta	Boa	Ruim	0.592	0.408	0.400	0.600
Alta	Ruim	Boa	0.592	0.408	0.400	0.600
Alta	Ruim	Ruim	0.728	0.272	0.600	0.400

Tabela 28 – TPC para o nó Personalidade e Inteligência 2

Seleção de Pessoal	Final		Inicial	
	Adequada	Inadequada	Adequada	Inadequada
Boa	0.680	0.320	1.000	0.000
Ruim	0.272	0.728	0.400	0.600

Tabela 29 – TPC para o nó Estado Atual 2

Coordenação do Trabalho	Rotatividade	Finais		Iniciais	
		Apurado	Incipiente	Apurado	Incipiente
Boa	Baixa	0.680	0.320	1.000	0.000
Boa	Alta	0.476	0.524	0.700	0.300
Ruim	Baixa	0.476	0.524	0.700	0.300
Ruim	Alta	0.272	0.728	0.400	0.600

Tabela 30 – TPC para o nó Conhecimento das Normas 2

Programas de Treinamento	Formalização	Finais		Iniciais	
		Profundo	Superficial	Profundo	Superficial
Adequado	Alta	0.680	0.320	1.000	0.000
Adequado	Baixa	0.476	0.524	0.700	0.300
Inadequado	Alta	0.476	0.524	0.700	0.300
Inadequado	Baixa	0.272	0.728	0.400	0.600

Ainda segundo o gráfico da Figura 30, é possível obter a probabilidade igual a 50% para o evento estudado com quaisquer dos valores de alfa testados (exceto para 0.4 e 0.5) variando-se o valor de beta entre 40% e 80%. Conforme comentado adiante, isto não foi feito porque tornaria a busca mais complexa. Além disto, não foi trabalhado nenhum mecanismo que justifique a escolha de quaisquer pares de α e β .

Para concluir este tópico, poder-se-ia atribuir a diferença entre os valores iniciais e os ajustados nas TPC a erros no estabelecimento dos dados iniciais (visto no tópico anterior) ou, por outro lado, a fatores considerados secundários na modelagem da topologia da rede (influência de habilidades, fatores ambientais, MOF, etc.). Não podendo ser ignoradas possíveis deficiências dos valores utilizados como referência (os valores assumidos para as probabilidades dos eventos básicos, obtidos por meio da THERP). Neste trabalho não são feitas considerações a respeito destes pontos. Isto porque os dados iniciais para as TPC não foram obtidos da opinião de especialistas ou de banco de dados, mas reúnem apenas as expectativas

do autor.

Resultados semelhantes aos apresentados para o evento 6 – *Falha no Procedimento Padrão (RIPEAM)* foram obtidos para os demais eventos básicos da rede. Utilizando os princípios apontados acima e com auxílio do Octave (software livre – ver Eaton et al., 2008), foi elaborado um programa de busca dos α e β que ajustam as TPC dos PSF a fim de que sejam obtidas as probabilidades requeridas para os eventos básicos (próximas às do trabalho anterior – Maturana e Martins, 2008). O programa elaborado, no entanto, demonstrou-se lento em seu propósito, de forma que a busca não foi refinada, ou seja, para este trabalho as probabilidades consideradas atendem apenas aproximadamente este requisito (para o caso do evento 6, por exemplo, as TPC ajustadas permitiram a probabilidade de 50,72% para o estado *Sim*, enquanto o esperado era 50% – a Tabela 31, que será melhor detalhada no próximo capítulo, apresenta os resultados obtidos para cada evento básico, e a Figura 21 apresenta os resultados do trabalho anterior). No Apêndice B foram incluídas as redes com as respectivas TPC associadas aos demais eventos básicos da Figura 21.

5. ANÁLISE DO MODELO

Este capítulo tem por objetivo principal ajudar a compreender o potencial da metodologia proposta, apresentando algumas informações que podem ser extraídas do modelo desenvolvido e sua significância.

Com a junção das redes modeladas no capítulo anterior (para Árvore de Falhas, redes dinâmicas das tarefas e redes dos fatores de desempenho) é possível fazer inferências em relação a todos os nós envolvidos – sendo que cada nó desta rede integrada pode representar um evento, a execução de uma atividade, uma habilidade, um PSF interno (físico ou mental), um fator ambiental ou um MOF. Com objetivo de levantar os pontos na operação do navio que são críticos em relação ao risco de colisão, neste capítulo serão feitas algumas considerações sobre os estados destes nós e sobre como eles se relacionam. Isto será feito em quatro etapas:

1. *Análise dos eventos básicos, dado o evento topo:* inicialmente será feita uma análise quantitativa dos eventos básicos (geradores de eventos perigosos) no contexto das seqüências de eventos que podem levar ao acidente de colisão;
2. *Análise das atividades:* em seguida, serão feitas algumas considerações sobre as atividades desenvolvidas no navio, isolando-as por meio de suposições sobre a evidência do evento de colisão e comparando os resultados alcançados desta forma (por meio das Redes Bayesianas) com os apresentados em trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008);
3. *Análise dos fatores internos e habilidades requeridas:* nesta etapa serão considerados os efeitos dos fatores internos e habilidades sobre a execução das atividades; serão feitas inferências sobre as tarefas sinalizadas como críticas nas etapas anteriores, tais como: 1) havendo falha na atividade, encontrar as probabilidades para os possíveis estados das habilidades; 2) dado que foram observadas certas condições do operador (fadiga, reclamações sobre sono, etc.), encontrar a chance de execução errônea da atividade; 3) se houver erro em atividade precedente, encontrar a chance de erro em outra atividade da mesma tarefa;

4. *Análise dos MOF*: serão apresentadas algumas formas para identificar os fatores gerenciais e organizacionais – considerados no modelo – que são importantes e devem ser analisados com maior cuidado para a redução das chances de acidente na operação.

Os resultados obtidos nestas quatro etapas apresentam-se a seguir.

5.1. ANÁLISE DOS EVENTOS BÁSICOS, DADO O EVENTO TOPO

Conforme apontado na modelagem (capítulo anterior), as probabilidades dos estados dos eventos básicos da Árvore de Falhas (Figura 21) foram obtidas de trabalho anterior. Inicialmente, pretendeu-se que as TPC dos PSF das redes dos fatores de desempenho fossem ajustadas para que as probabilidades destes eventos nas redes fossem iguais, sem considerar, no entanto, a evidência de colisão ou de “não colisão” (ver item 4.5.3). Para simplificar a busca, optou-se por não refiná-la, de forma que os resultados alcançados na ajustagem foram apenas aproximações dos resultados pretendidos (assim, os resultados da Figura 21 diferem dos apresentados aqui, apesar de serem próximos). As probabilidades associadas aos estados dos eventos básicos, considerando as evidências de colisão ou de “não colisão” e a ausência de evidência, utilizando estes resultados aproximados (apresentados no Apêndice B), estão apontadas na Tabela 31.

Tabela 31 – Probabilidades associadas aos eventos básicos

	<i>Evento</i>	<i>Estado</i>	<i>Colisão sim</i>	<i>Colisão não</i>	<i>Nenhuma Evidência</i>
34	Ausência de Indicação	sim	7,98E-01	7,50E-01	7,50E-01
6	Falha do Procedimento RIPEAM	sim	9,98E-01	5,07E-01	5,07E-01
10	Falha de Comunicação	sim	9,53E-01	1,03E-01	1,03E-01
39	Erro não Descoberto	sim	6,65E-02	1,08E-02	1,08E-02
32	Capitão Falha	sim	1,77E-01	1,08E-02	1,08E-02
33	ON Falha	sim	1,77E-01	1,08E-02	1,08E-02
36	Erro de Atenção	sim	3,71E-02	9,81E-03	9,81E-03
23	Oficial dá Ordem Errada	sim	6,08E-01	2,03E-03	2,17E-03
11	Oficial dá Ordem Errada	sim	3,86E-02	2,16E-03	2,17E-03
43	Falha no Traçado	sim	2,80E-02	1,22E-03	1,23E-03
25	Timoneiro dá Resposta Errada	sim	1,65E-01	4,61E-04	4,99E-04
14	Timoneiro dá Resposta Errada	sim	1,28E-02	4,96E-04	4,99E-04
29	Erro de Marcação	sim	6,64E-02	2,50E-04	2,65E-04
5	Outra Embarcação não Detectada	sim	4,33E-03	6,19E-05	6,29E-05
41	Informação Errada	sim	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Os resultados da Tabela 31 foram obtidos da Rede Bayesiana integrada dos eventos e fatores humanos, modelada com auxílio do Netica™ 4.08 (ver Norsys Software Corp., 1996).

Com a evidência de colisão, foram obtidos novos valores para as probabilidades dos eventos básicos que foram substituídos na Árvore de Falhas original (Figura 21). Isto gerou uma probabilidade de ocorrência do evento topo de 66,58%, que está associada à ocorrência de um dos desencadeamentos de eventos representado pela Árvore de Falhas. Os 33,42% restantes devem ser associados a seqüências não modeladas – incluindo falhas de equipamentos e erros humanos considerados secundários. Este resultado vai ao encontro do que é esperado, ou seja, de que 80% da falha na indústria naval é causada pelo erro humano (Webb e Lamoureux, 2003), o que auxilia a concluir que os eventos considerados secundários somariam 13,42% e outros considerados não humanos, os 20% restantes. É importante ressaltar que alguns eventos considerados não humanos poderiam ser classificados como humanos – por exemplo, na falha de equipamento, poderia ser estudada a possibilidade de erro de projeto ou ainda dos conceitos empregados na sua elaboração (por exemplo, na escolha de materiais ou mesmo inexistência de material adequado para determinado componente). No entanto, neste trabalho são considerados apenas os erros relacionados à operação do navio.

O cálculo da probabilidade do evento topo (Colisão) da Árvore de Falhas considerada (Figura 21) é feito de maneira direta, utilizando as portas lógicas apresentadas, em função dos eventos básicos. De outra forma, o cálculo da probabilidade do evento topo pode ser efetuado em função das probabilidades dos eventos que não são básicos. Assim, para simplificar a explanação seguinte, o cálculo da probabilidade de colisão (para a árvore da Figura 21) pode ser feito em função dos fatores apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – Correlação entre fatores e eventos da árvore de falhas

<i>Fator</i>	<i>Evento</i>	<i>Quantidade de possibilidades</i>
A	18-Sucesso no traçado da rota	3
B	22-Detecção por marcação	6
C	22-Detecção ambos	3
D	22-Sucesso na detecção visual	2
E	21-Ação ineficiente na correção da rota	2
F	20-Falha na detecção visual e por marcação	4
G	16-Falha no traçado da rota	2
H	2-Ação evasiva não efetiva	4

Nesta tabela, cada fator (primeira coluna) representa a probabilidade de ocorrência do evento apresentado na segunda coluna (numerado conforme Figura 21) – a terceira coluna será explicada mais adiante. Observa-se que o evento 22 foi

discretizado em suas três possibilidades: 1) Detecção por marcação; 2) Detecção por marcação e visual (ambos); e 3) Detecção visual. Esta discretização auxilia no entendimento dos desencadeamentos que levam ao evento topo da Árvore de Falhas.

Assim, conforme o apresentado, a probabilidade de colisão fica calculada na Equação (5.1).

$$P(\text{Colisão}) = \{A * [(B + C + D) * E + F] + G\} * H \quad (5.1)$$

As probabilidades dos eventos apresentados na Tabela 32 podem ser calculadas em função dos eventos básicos. As equações abaixo representam os resultados obtidos desta forma.

$$A = (\neg 41 * \neg 43 + \neg 41 * 43 * \neg 39 + 41 * \neg 39) \quad (5.2)$$

$$B = [\neg 29 * (32 * \neg 33 + \neg 32 * 33 + \neg 32 * \neg 33)] * (\neg 34 * 36 + 34) \quad (5.3)$$

$$C = (\neg 34 * \neg 36) * (\neg 29 * (32 * \neg 33 + \neg 32 * 33 + \neg 32 * \neg 33)) \quad (5.4)$$

$$D = (\neg 34 * \neg 36) * (29 * \neg 29 * 32 * 33) \quad (5.5)$$

$$E = (25 * \neg 23 + 23) \quad (5.6)$$

$$F = (\neg 34 * 36 + 34) * (29 * \neg 29 * 32 * 33) \quad (5.7)$$

$$G = (\neg 41 * 43 * 39 + 41 * 39) \quad (5.8)$$

$$H = \{5 + \neg 5 * 6 * [10 + \neg 10 * (11 + \neg 11 * 14)]\} \quad (5.9)$$

Nestas equações ((5.2) a (5.9)), os números em negrito representam os eventos básicos da Árvore de Falhas, numerados conforme Figura 21, e o sinal “¬” é aplicado na negação do evento que precede. Na Figura 21, alguns eventos já foram definidos como a negação de eventos básicos (como o evento 42 em relação ao 41, por exemplo), confundindo-se aqui com os estados de negação destes eventos básicos mas sem prejuízo para o cálculo proposto nestas equações ((5.1) a (5.9)).

De acordo com as equações acima ((5.1) a (5.9)), verifica-se que a probabilidade do evento topo pode ser definida pela somatória de diversas parcelas (aplicando a propriedade distributiva da multiplicação em relação à soma). Do estudo mais detalhado destas parcelas, percebe-se que cada uma representa um desencadeamento de eventos e que a probabilidade final é a somatória de um conjunto de possibilidades de desencadeamentos que podem levar o navio a colidir.

A terceira coluna da Tabela 32 ajuda a compreender a quantidade de maneiras em que cada evento representado pode ocorrer, calculada em função do número de parcelas possíveis nas Equações (5.2) a (5.9) (após aplicação da propriedade distributiva). Desta forma, a Tabela 32 e a Equação (5.1) permitem concluir que a Árvore de Falhas (Figura 21) representa 320 associações possíveis que determinam desencadeamentos de eventos que, de acordo com esta árvore, podem levar à colisão da embarcação. Estes desencadeamentos foram estudados com o intuito de se verificar o mais provável, dada a evidência de colisão.

A Figura 32 representa graficamente, de maneira condensada, todos os desencadeamentos modelados pela Árvore de Falhas. Nesta figura, os eventos básicos são representados por círculos e os demais, colocados para facilitar a compreensão, por retângulos. Para a compreensão desta figura, o parágrafo a seguir apresenta algumas explicações.

Figura 32 – Diagrama dos desencadeamentos modelados na Figura 21

Um ponto importante da Figura 32 é que em certos eventos são representados dois caminhos para sucesso ou dois para falha. No caso dos eventos 32 e 33, por exemplo, existem dois caminhos para falha (identificados por *falha(1)*, *falha(2)* e *falha(3)*) – os caminhos *falha(1)* e *falha(3)* devem ser utilizados apenas quando houver falha em ambas as tarefas (associadas aos eventos 32 e 33, ligando-os ao evento 27; isto porque, de acordo com a Árvore de Falhas, os eventos 32 e 33 devem falhar para que haja falha na análise dos dados sobre marcação na carta e , havendo sucesso em um dos dois ou em ambos, ocorre sucesso na avaliação do erro de posição); e o caminho *falha(2)* deve ser utilizado quando houver falha em uma das duas tarefas, no sentido da tarefa em que houve falha para a que foi bem sucedida. Também existem alguns eventos que somente ocorrem quando ocorre uma associação de outros eventos – o evento 20 somente ocorrerá se ocorrerem os eventos 27 e 28; isto porque o evento 20 representa a falha na detecção do erro de posição, que representa a falha na detecção visual e na detecção por marcação na carta náutica (considerados independentes na Árvore de Falhas).

No diagrama da Figura 32, o caminho em vermelho foi determinado como mais provável (28,26%) pela multiplicação das probabilidades dos eventos envolvidos, dada a evidência de colisão. Os eventos que o compõe estão reproduzidos na tabela abaixo, juntamente com as probabilidades associadas.

Tabela 33 – Desencadeamento mais provável

Evento/ estado	41	sucesso	43	sucesso	29	sucesso	33	sucesso	32	sucesso	34	não	23	falha	21	15	3	5	sucesso	10	falha	7	6	falha	4	2	1
Probabilidade		1,00E+00		9,72E-01		9,34E-01		8,23E-01		8,23E-01		7,98E-01		6,08E-01					9,96E-01		9,53E-01			9,98E-01			28,26%

Verifica-se que neste desencadeamento houve falha nas tarefas 23, 10 e 6. No evento básico 34 também houve resultado negativo devido à ausência de indicação visual (o que ocorre em 75% da rota, segundo a Árvore de Falhas original, mas que na evidência de colisão aumentou para 79,8% de probabilidade), mas este caso não se constitui erro da tripulação. Nota-se, da Tabela 32, que estes também estão entre os eventos mais prováveis, dada a evidência de colisão. Nestas circunstâncias, eles serão estudados com mais detalhes no tópico referente à análise dos fatores de desempenho e habilidades requeridas.

Na Tabela 34 estão apresentados outros desencadeamentos que

apresentaram probabilidade de ocorrência superior a 1%, dada a evidência de colisão. Nesta tabela, os desencadeamentos com as características descritas estão representados pelos eventos básicos que os compõem, organizados em colunas. Ao final de cada coluna está apresentada a probabilidade de o desencadeamento ter ocorrido, dada a evidência de colisão. Nota-se que a somatória destas probabilidades é de 31,78% e que, somada à probabilidade do desencadeamento apresentado na Tabela 33, compõe mais de 60% das probabilidades dos desencadeamentos representados na Figura 21, dada a evidência de colisão.

Tabela 34 – Desencadeamentos com probabilidade maior que 1%

Desencadeamento							
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
41 sucesso 1,00E+00	41 sucesso 1,00E+00	41 sucesso 1,00E+00	41 sucesso 1,00E+00	41 sucesso 1,00E+00	41 sucesso 1,00E+00	41 sucesso 1,00E+00	41 sucesso 1,00E+00
43 sucesso 9,72E-01	43 sucesso 9,72E-01	43 sucesso 9,72E-01	43 sucesso 9,72E-01	43 sucesso 9,72E-01	43 sucesso 9,72E-01	43 sucesso 9,72E-01	43 sucesso 9,72E-01
29 falha 6,64E-02	29 sucesso 9,34E-01	29 sucesso 9,34E-01	29 sucesso 9,34E-01	29 sucesso 9,34E-01	29 sucesso 9,34E-01	29 sucesso 9,34E-01	29 sucesso 9,34E-01
34 não 7,98E-01	33 falha 1,77E-01	33 falha 1,77E-01	33 sucesso 8,23E-01	33 sucesso 8,23E-01	33 falha 1,77E-01	33 sucesso 8,23E-01	33 sucesso 8,23E-01
5 sucesso 9,96E-01	32 falha 1,77E-01	32 sucesso 8,23E-01	32 sucesso 8,23E-01	32 falha 1,77E-01	32 sucesso 8,23E-01	32 sucesso 8,23E-01	32 falha 1,77E-01
10 falha 9,53E-01	34 não 7,98E-01	34 não 7,98E-01	34 não 7,98E-01	34 não 7,98E-01	34 sim 2,02E-01	34 sim 2,02E-01	34 sim 2,02E-01
6 falha 9,98E-01	5 sucesso 9,96E-01	23 falha 6,08E-01	23 sucesso 3,92E-01	23 falha 6,08E-01	36 sucesso 9,63E-01	36 sucesso 9,63E-01	36 sucesso 9,63E-01
	10 falha 9,53E-01	5 sucesso 9,96E-01	25 falha 1,65E-01	5 sucesso 9,96E-01	23 falha 6,08E-01	23 falha 6,08E-01	23 falha 6,08E-01
	6 falha 9,98E-01	10 falha 9,53E-01	5 sucesso 9,96E-01	10 falha 9,53E-01	5 sucesso 9,96E-01	5 sucesso 9,96E-01	5 sucesso 9,96E-01
		6 falha 9,98E-01	10 falha 9,53E-01	6 falha 9,98E-01	10 falha 9,53E-01	10 falha 9,53E-01	10 falha 9,53E-01
			6 falha 9,98E-01		6 falha 9,98E-01	6 falha 9,98E-01	6 falha 9,98E-01
1 sim 4,74%	1 sim 2,08%	1 sim 6,07%	1 sim 3,01%	1 sim 6,07%	1 sim 1,47%	1 sim 6,87%	1 sim 1,47%

Nesta tabela, nota-se falha nas tarefas 6 e 10 para todos desencadeamentos (o que já era esperado para a tarefa 6, já que o procedimento RIPEAM é o último recurso para evitar o acidente), e na 23 para a maioria deles, o que reforça a escolha destas tarefas para análise dos fatores de desempenho e habilidades requeridas (ver item 5.3).

A seguir serão consideradas as probabilidades das atividades das tarefas, dada a evidência de colisão.

5.2. ANÁLISE DAS ATIVIDADES

Para iniciar a análise quantitativa das atividades realizadas na operação do navio e que se relacionam ao evento de colisão, foi elaborada a Tabela 35, onde estão inseridas as probabilidades de erro nas atividades, sem evidência de colisão e com evidência de colisão. As atividades foram ordenadas de acordo com o aumento observado na probabilidade de erro, dada a evidência de colisão, e em negrito e sombreadas estão as atividades que apresentaram probabilidade de erro maior que 10%, na evidência de colisão. Ressalta-se que estes números foram obtidos da rede integrada modelada conforme capítulo anterior.

Tabela 35 – Probabilidades para as atividades

<i>Tarefa</i>	<i>Atividade</i>	<i>Estado</i>	<i>Sem evidência de colisão</i>	<i>Com evidência de colisão</i>	<i>Aumento da probabilidade de erro</i>
25	TimoneiroDaRespostaErrada25	sim	4,99E-04	1,65E-01	32962%
5	DetectarPorAlarme	não	6,29E-05	4,33E-03	6777%
29	ChecagemEquipamento	Incompleta	1,00E-03	6,53E-02	6404%
23	EntendeDemanda1	não	9,81E-03	5,86E-01	5868%
23	TomadadeDecisao1	falha	1,45E-02	6,22E-01	4202%
43	RevisaoComandante1	falha	1,90E-07	6,85E-06	3511%
14	TimoneirodaRespErrada14	sim	4,99E-04	1,28E-02	2474%
5	DectarVisualmente	não	2,18E-04	5,16E-03	2270%
43	AtualizacaoPublicacoes1	falha	1,23E-03	2,80E-02	2184%
32	ComandanteFalha32	sim	1,08E-02	1,77E-01	1537%
33	OficialdeNauticaFalha33	sim	1,08E-02	1,77E-01	1537%
43	LeiturasdasInformacoes1	falha	2,21E-03	3,20E-02	1345%
43	RevisaoOficialNautica1	falha	2,91E-05	3,53E-04	1113%
43	ProfundidadeMinima1	falha	3,05E-03	3,54E-02	1062%
43	LeiturasdeProfundidade1	falha	3,36E-03	3,66E-02	991%
43	IdentificarAreasRestritas1	falha	3,48E-03	3,71E-02	967%
43	TracarAreasRestritas1	falha	4,07E-03	3,96E-02	874%
43	TracarRumosSucessivos1	falha	4,48E-03	4,14E-02	824%
43	IdentificarWayPoints1	falha	4,76E-03	4,26E-02	794%
10	DecidirFazerContato	não	7,30E-02	6,21E-01	751%
43	EscolhaPontosReferencia1	falha	5,79E-03	4,59E-02	692%
29	RespeitoIntervalosdeMarcacao	não	1,00E-03	7,40E-03	637%
29	LeituraPosicao	falha	1,96E-03	1,37E-02	595%
29	MarcacaoCartaNautica	falha	2,76E-03	1,87E-02	578%
39	ErronãoDescoberto39	sim	1,08E-02	6,65E-02	516%
10	ConseguirContatoRadio	não	1,37E-01	7,82E-01	473%
11	EntendeDemanda	não	9,81E-03	5,58E-02	469%
10	EntenderInterlocutor	não	1,95E-01	9,60E-01	393%
11	TomadadeDecisao	falha	1,45E-02	6,91E-02	377%
36	ErrodeAtencao36	sim	9,81E-03	3,71E-02	278%
5	DetectarPorRadar	não	3,93E-03	1,19E-02	203%
6	FalhadoProcedimentoRIPEAM6	sim	5,07E-01	9,98E-01	97%
23	DeteccaoDoErro1	não	9,88E-01	9,85E-01	0%
29	ComandanteDetectaErro	não	9,97E-01	9,85E-01	-1%
11	DeteccaoDoErro	não	9,88E-01	9,70E-01	-2%
10	EntenderInterlocutor2	não	8,55E-01	5,54E-01	-35%
10	DecidirContatoOutroMeio	não	8,28E-01	2,59E-01	-69%

Na Tabela 35, verifica-se que certas atividades (“TimoneiroDaRespostaErrada25”, por exemplo), que antes da evidência de colisão tinham probabilidades baixas (4,99E-04), passaram a altas probabilidades após a

evidência (1,65E-01). Por outro lado, algumas atividades tiveram suas probabilidades reduzidas na evidência de colisão (as cinco últimas da tabela). Esta redução pode ser compreendida pela análise da modelagem da rede; para exemplificar será tomada a atividade “DecidirContatoOutroMeio” (última da tabela). Nesta atividade, a probabilidade do estado *não*, sem evidência de colisão, é de 82,8% e com evidência passou a 25,9% – uma redução de 69% na probabilidade. Esta redução se justifica pelo fato de o estado *não* agregar também a hipótese de não execução da atividade. Quando existe a evidência de colisão, aumentam as chances de a atividade ter sido executada (com ou sem erro) e o número apresentado para a probabilidade de o estado ser *não* se aproxima mais da probabilidade de erro na execução da atividade.

Um resultado mais próximo da probabilidade de erro na atividade, dado que foi necessário executá-la, pode ser observado na Tabela 36.

Tabela 36 – Probabilidades para as atividades, dadas as atividades precedentes

Tarefa	Atividade	Estado	Sem evidência de colisão	Com evidência de colisão	Aumento	Evidências nas atividades precedentes			
5	DectarVisualmente	<i>não</i>	5,54E-02	4,34E-01	683%	DectarporRadar	<i>falha</i>		
	DetectarPorAlarme	<i>não</i>	2,89E-01	8,38E-01	190%	DectarVisualmente	<i>falha</i>	DetectarPorRadar	<i>falha</i>
10	EntenderInterlocutor	<i>não</i>	6,73E-02	8,16E-01	1113%	ConseguirContatoRadio	<i>sim</i>		
	ConseguirContatoRadio	<i>não</i>	6,86E-02	4,25E-01	519%	DecidirFazerContato	<i>sim</i>		
	EntenderInterlocutor2	<i>não</i>	2,18E-01	9,73E-01	346%	ConseguirContatoRadio	<i>sim</i>	DecidirContatoOutroMeio	<i>sim</i>
	DecidirContatoOutroMeio	<i>não</i>	6,51E-02	2,45E-01	276%	ConseguirContatoRadio	<i>sim</i>	EntenderInterlocutor	<i>não</i>
		<i>não</i>	1,39E-01	2,25E-01	61%	ConseguirContatoRadio	<i>não</i>		
11	DeteccaoDoErro	<i>não</i>	1,98E-02	1,40E-01	604%	EntendeDemanda	<i>sim</i>	TomadaDeDecisao	<i>falha</i>
		<i>não</i>	2,11E-01	6,59E-01	212%	EntendeDemanda	<i>não</i>		
	TomadaDeDecisao	<i>falha</i>	4,70E-03	1,40E-02	198%	EntendeDemanda	<i>sim</i>		
23	TomadaDeDecisao1	<i>falha</i>	4,70E-03	8,85E-02	1783%	EntendeDemanda1	<i>sim</i>		
	DeteccaoDoErro1	<i>não</i>	1,98E-02	8,51E-01	4191%	EntendeDemanda1	<i>sim</i>	TomadaDeDecisao1	<i>falha</i>
		<i>não</i>	2,11E-01	9,85E-01	366%	EntendeDemanda1	<i>não</i>		
29	ComandanteDetectaErro	<i>não</i>	5,23E-03	2,16E-01	4030%	MarcacaoCartaNautica	<i>falha</i>		
	LeituraPosicao	<i>falha</i>	9,60E-04	6,30E-03	556%	RespeitoIntervalosDeMarcacao	<i>sim</i>		
	MarcacaoCartaNautica	<i>falha</i>	7,93E-04	5,10E-03	544%	LeituraPosicao	<i>sucesso</i>		
43	IdentificarWayPoints1	<i>falha</i>	2,87E-04	1,27E-03	340%	TracarRumosSucessivos1	<i>sucesso</i>		
	TracarRumosSucessivos1	<i>falha</i>	4,11E-04	1,81E-03	340%	TracarAreasRestritas1	<i>sucesso</i>		
	TracarAreasRestritas1	<i>falha</i>	5,87E-04	2,58E-03	339%	IdentificarAreasRestritas1	<i>sucesso</i>		
	ProfundidadeMinima1	<i>falha</i>	8,35E-04	3,51E-03	320%	LeiturasInformacoes1	<i>sucesso</i>		
	LeiturasInformacoes1	<i>falha</i>	9,89E-04	4,12E-03	316%	AtualizacaoPublicacoes1	<i>sucesso</i>		
	IdentificarAreasRestritas1	<i>falha</i>	1,25E-04	5,19E-04	316%	LeituraDeProfundidade1	<i>sucesso</i>		
	LeituraDeProfundidade1	<i>falha</i>	3,12E-04	1,30E-03	316%	ProfundidadeMinima1	<i>sucesso</i>		
	EscolhaPontosReferencia1	<i>falha</i>	1,04E-03	3,45E-03	233%	IdentificarWayPoints1	<i>sucesso</i>		
	RevisaoComandante1	<i>falha</i>	6,52E-03	1,94E-02	198%	RevisaoOficialNautica1	<i>falha</i>		
	RevisaoOficialNautica1	<i>falha</i>	5,02E-03	7,70E-03	53%	EscolhaPontosReferencia1	<i>falha</i>		

Nesta tabela, são apresentadas as probabilidades de erros nas atividades, considerando as evidências dos estados dos nós de atividades precedentes da mesma tarefa, para duas condições: 1) Sem evidência de colisão (nenhuma evidência a respeito de colisão); e 2) Com evidência de colisão. Ressalta-se que nesta tabela estão representadas apenas as atividades que são precedidas por nós

de atividades. Além disto, os dados apresentados representam a probabilidade de erro nas atividades, dado que não foram observadas evidências sobre os PSF. Nesta tabela, a quinta coluna (denominada *Aumento*) refere-se ao aumento observado nas probabilidades de erros das atividades se for observado o evento de colisão. As atividades discriminadas (por negrito e sombreamento) referem-se às que apresentaram probabilidade de erro maior que 10% na evidência de colisão.

Com estes resultados já é possível determinar em quais atividades despender os esforços iniciais para a redução da probabilidade de ocorrência de colisão (verifica-se, por exemplo, que as tarefas 10 e 23 possuem atividades que se destacam entre as com maiores chances de erro e que, além disto, no item 5.1 estas tarefas compunham o desencadeamento mais provável, na evidência de colisão), definindo ações para a redução da frequência dos erros nestas atividades, mitigação de seus efeitos, aliviando as circunstâncias em que ocorrem e/ou reduzindo suas conseqüências, obtendo-se, assim, uma série de opções de controle de risco, a serem aplicadas ao sistema – treinamento da tripulação; mudanças de layout ou ergonômicas; especificação de informações a serem disponibilizadas e desenvolvimento de procedimentos de emergência. No próximo tópico, no entanto, estas atividades serão mais bem estudadas em relação à influência dos PSF, o que pode auxiliar na definição destas opções de controle de risco. Antes, para encerrar este tópico, serão apresentados alguns pontos sobre a obtenção das probabilidades de erro com apoio das Redes Bayesianas em um breve exercício de comparação com os resultados alcançados no trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008).

Numa Rede Bayesiana, para conseguir as probabilidades de um nó independentemente dos demais, são necessárias evidências a respeito de todos os nós que formam o *Markov Blanket* (ver item 2.2.1.5). Portanto, no caso modelado, para determinar a probabilidade de erro em uma atividade, independentemente das demais da rede, seriam necessárias evidências a respeito da tarefa e das habilidades as quais se relaciona, além das referidas evidências sobre os estados das atividades precedentes (da mesma tarefa). Na ausência de outras evidências, as probabilidades de erro para cada atividade, dados os estados dos nós pais, ou seja, para cada combinação dos estados das atividades precedentes (quando existem) e habilidades, formam as TPC das atividades, que consideram sua necessidade de execução. O Apêndice B apresenta todas as TPC consideradas na modelagem.

No trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008), para definir as probabilidades de erro nas atividades, foram determinadas as HEP que foram alteradas por PSF, de acordo com o observado em campo e, além disto, foi considerada independência em relação às outras atividades. Desta forma, foram apresentadas as probabilidades de erro na execução da atividade, dado que houve a necessidade de sua execução.

Observa-se que a situação descrita no parágrafo anterior se assemelha mais às condições apresentadas na Tabela 36 que na Tabela 35. Com objetivo de verificar os efeitos das considerações assumidas a respeito dos nós precedentes das atividades, e lembrando que foi assumido hipoteticamente que os resultados utilizados no trabalho anterior reproduzem a realidade, foi desenvolvida a Tabela 37 apresentando os resultados do trabalho anterior comparados com os apresentados nestas tabelas (Tabela 35 e Tabela 36). Esta comparação permite verificar que não houve equívocos na manipulação dos dados do trabalho anterior capazes de alterar significativamente os resultados esperados (comparação com a Tabela 36), conforme será comentado mais adiante. Além disto, permite confrontar os resultados dos dois processos (Árvores Binárias e Redes Bayesianas) verificando o impacto da não consideração da dinâmica e dependências do sistema, ou seja, das limitações na representação de contexto no trabalho anterior (comparação com a Tabela 35).

Na Tabela 37, a sexta e a oitava coluna, denominadas *Diferença*, referem-se à diferença entre as probabilidades observadas no trabalho anterior para cada atividade e as observadas na Tabela 35 e Tabela 36, respectivamente.

Conforme explicado no capítulo anterior, o preenchimento das TPC considerou somente as probabilidades associadas aos eventos básicos da Árvore de Falhas e não considerou as probabilidades de erro específicas das atividades ligadas a estes eventos (que podem ser vistas em Maturana e Martins, 2008) – as informações retiradas das Árvores de Eventos também ajudaram na elaboração da topologia das redes dinâmicas das tarefas (ver item 4.3) –. Assim, verifica-se na Tabela 37 que, de maneira geral, os dados oriundos da Tabela 36 se aproximam mais dos dados utilizados no trabalho anterior do que os da Tabela 35. Para a atividade “*Detecção do Erro*” (da tarefa 11), por exemplo, a probabilidade para o estado *não* é de 1% (obtida do trabalho anterior), enquanto a probabilidade deste

estado, sem evidência do nó anterior é de 98,8% (Tabela 35), e de aproximadamente 2%, se forem observados erros nas atividades precedentes (Tabela 36). Em média, o módulo das diferenças entre as probabilidades do trabalho anterior e as obtidas da Tabela 35 para cada atividade, é de 13,7%; e, considerando os dados da Tabela 36, é de 3,9%. Esta análise ajuda a compreender que os dados obtidos sem evidência de execução da atividade carregam, além da informação de erro na execução, a informação de que a atividade não foi iniciada – para a atividade “*Detecção do Erro*”, por exemplo, o estado *não* também inclui a inexistência da necessidade de detecção.

Tabela 37 – Probabilidades de erro obtidas no trabalho anterior

<i>Tarefa</i>	<i>Atividade</i>	<i>Estado</i>	<i>Anterior</i>	<i>Tabela 35</i>	<i>Diferença</i>	<i>Tabela 36</i>	<i>Diferença</i>
5	Detectar Visualmente	<i>não</i>	2,00E-02	2,18E-04	-1,98E-02	5,54E-02	3,54E-02
5	Detectar Por Alarma	<i>não</i>	1,00E-01	6,29E-05	-9,99E-02	2,89E-01	1,89E-01
5	Detectar Por Radar	<i>não</i>	3,00E-03	3,93E-03	9,30E-04	-	-
6	Falhar no Procedimento RIPEAM6	<i>sim</i>	5,00E-01	5,07E-01	7,00E-03	-	-
10	Conseguir Contato Rádio	<i>não</i>	3,00E-03	1,37E-01	1,34E-01	6,86E-02	6,56E-02
10	Decidir Contato Outro Meio	<i>não</i>	5,00E-01	8,28E-01	3,28E-01	1,39E-01	-3,61E-01
10	Decidir Fazer Contato	<i>não</i>	1,00E-01	7,30E-02	-2,70E-02	-	-
10	Entender Interlocutor	<i>não</i>	3,00E-03	1,95E-01	1,92E-01	6,73E-02	6,43E-02
10	Entender Interlocutor 2	<i>não</i>	1,00E-03	8,55E-01	8,54E-01	2,18E-01	2,17E-01
11	Detecção do Erro	<i>não</i>	1,00E-02	9,88E-01	9,78E-01	1,98E-02	9,80E-03
11	Entende Demanda	<i>não</i>	2,00E-01	9,81E-03	-1,90E-01	-	-
11	Tomada de Decisão	<i>falha</i>	1,00E-03	1,45E-02	1,35E-02	4,70E-03	3,70E-03
14	Timoneiro da Resposta Errada 14	<i>sim</i>	5,00E-04	4,99E-04	-1,00E-06	-	-
23	Detecção do Erro 1	<i>não</i>	1,00E-02	9,88E-01	9,78E-01	1,98E-02	9,80E-03
23	Entende Demanda 1	<i>não</i>	2,00E-01	9,81E-03	-1,90E-01	-	-
23	Tomada de Decisão 1	<i>falha</i>	1,00E-03	1,45E-02	1,35E-02	4,70E-03	3,70E-03
25	Timoneiro da Resposta Errada 25	<i>sim</i>	5,00E-04	4,99E-04	-1,00E-06	-	-
29	Checagem Equipamento	<i>Incompleta</i>	1,00E-03	1,00E-03	0,00E+00	-	-
29	Comandante Detecta Erro	<i>não</i>	1,00E-02	9,97E-01	9,87E-01	5,23E-03	-4,77E-03
29	Leitura Posição	<i>falha</i>	1,00E-03	1,96E-03	9,60E-04	9,60E-04	-4,00E-05
29	Marcacao Carta Náutica	<i>falha</i>	3,00E-03	2,76E-03	-2,40E-04	7,93E-04	-2,21E-03
29	Respeito Intervalos de Marcacao	<i>não</i>	1,00E-03	1,00E-03	0,00E+00	-	-
32	Comandante Falha 32	<i>sim</i>	1,00E-02	1,08E-02	8,00E-04	-	-
33	Oficial de Náutica Falha 33	<i>sim</i>	1,00E-02	1,08E-02	8,00E-04	-	-
36	Erro de Atenção 36	<i>sim</i>	1,00E-02	9,81E-03	-1,90E-04	-	-
39	Erro não Descoberto 39	<i>sim</i>	1,00E-02	1,08E-02	8,00E-04	-	-
43	Atualizacao Publicacoes 1	<i>falha</i>	1,00E-03	1,23E-03	2,30E-04	-	-
43	Escolha Pontos Referencia 1	<i>falha</i>	1,00E-03	5,79E-03	4,79E-03	1,04E-03	4,00E-05
43	Identificar Areas Restritas 1	<i>falha</i>	1,00E-02	3,48E-03	-6,52E-03	1,25E-04	-9,88E-03
43	Identificar Way Points 1	<i>falha</i>	1,00E-03	4,76E-03	3,76E-03	2,87E-04	-7,13E-04
43	Leitura das Informacoes 1	<i>falha</i>	1,70E-02	2,21E-03	-1,48E-02	9,89E-04	-1,60E-02
43	Leitura de Profundidade 1	<i>falha</i>	1,00E-02	3,36E-03	-6,64E-03	3,12E-04	-9,69E-03
43	Profundidade Mínima 1	<i>falha</i>	1,00E-02	3,05E-03	-6,95E-03	8,35E-04	-9,17E-03
43	Revisao Comandante 1	<i>falha</i>	1,00E-02	1,90E-07	-1,00E-02	6,52E-03	-3,48E-03
43	Revisao Oficial Náutica 1	<i>falha</i>	1,00E-02	2,91E-05	-9,97E-03	5,02E-03	-4,98E-03
43	Tracar Areas Restritas 1	<i>falha</i>	1,00E-03	4,07E-03	3,07E-03	5,87E-04	-4,13E-04
43	Tracar Rumos Sucessivos 1	<i>falha</i>	3,00E-03	4,48E-03	1,48E-03	4,11E-04	-2,59E-03

Assim, de maneira geral e sem objetivo de validação, os resultados alcançados por meio das Redes Bayesianas estão coerentes com o esperado, já que a modelagem se pautou pelo aproveitamento dos resultados do trabalho anterior

(Maturana e Martins. 2008) obtidos por meio da THERP. Em outras palavras, ressalta-se que nesta análise aqueles dados estão sendo utilizados apenas para uma comparação geral, já que os dados obtidos da rede integrada consideram dependências não modeladas no trabalho anterior. Além disto, para se processar a comparação foi necessário definir condições específicas para os nós pais das atividades, para tornar as circunstâncias mais semelhantes ao modelado naquele trabalho. De qualquer modo, o apresentado acima ajuda a compreender uma diferença importante entre modelar via Redes Bayesianas e modelar via Árvores Binárias. Pelo apresentado, verifica-se que a utilização das Redes Bayesianas obriga o analista a uma consideração contextual do erro, ou seja, a uma consideração completa dos fatores que influenciam na execução da atividade. E isto ocorre tanto na fase de modelagem quanto na de análise do modelo, para compreensão dos resultados obtidos.

Voltando à sequência proposta para este capítulo, no próximo tópico serão apresentados os resultados da análise do erro humano considerando os estados dos PSF.

5.3. ANÁLISE DOS FATORES INTERNOS E HABILIDADES

A rede formada pela integração da rede dos desencadeamentos de eventos perigosos, redes dinâmicas das tarefas e redes dos fatores de desempenho possui 263 nós, dos quais 24 são para eventos perigosos, 40 para atividades, 12 para os MOF e 187 para habilidades, fatores internos e ambientais. Como a análise detalhada de cada condição (combinação de estados dos nós) da rede é inviável, para a análise dos PSF (exceto os MOF, que serão vistos no próximo tópico) foram escolhidas as atividades que se destacaram nos tópicos precedentes. Além disto, nos apêndices estão apresentados subsídios para a reconstrução da rede integrada, o que permite ao interessado a verificação das condições não consideradas.

No item 5.1 foram levantados os desencadeamentos de eventos mais prováveis, dada a evidência de colisão. Especificamente para o desencadeamento mais provável, as tarefas que apresentaram estado de falha foram¹⁰ (ver Tabela 33):

- 6 – Procedimento RIPEAM;

¹⁰ A título de comparação, estas tarefas também foram selecionadas como críticas no trabalho anterior (ver Maturana e Martins, 2008), utilizando um método diferente do apresentado aqui.

- 10 – Comunicação;
- 23 – Ordem do Oficial.

Considerando o apresentado no item 5.2, as atividades que compõem estas tarefas também podem ser isoladas entre as mais passíveis de erro. Na Tabela 35 e na Tabela 36, elas foram discriminadas (em negrito) entre as atividades que apresentaram probabilidade de erro maior que 10%, dada a evidência de colisão.

Sendo assim, para a tarefa 6–*Procedimento RIPEAM*, foram obtidos os dados apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 – Análise dos PSF para a Tarefa 6 – *Procedimento RIPEAM*

Falha no procedimento, dado o estado do PSF				Estado do PSF, dada a falha no procedimento		
Sem evidência	Estado	Probabilidade de Falha	Diferença			
	Sim	5,0722E-01				
Com evidência				Sem evidência	Evidência de Falha	Diferença
Habilidades						
ConhecimentodeProcedimento1	Ruim	5,8089E-01	14,52%	4,5888E-01	5,2553E-01	14,52%
Percepcao6	Baixa	5,8085E-01	14,52%	4,5888E-01	5,2550E-01	14,52%
EquipeComunicacao1	Ruim	5,8085E-01	14,52%	4,5888E-01	5,2549E-01	14,52%
Fatores Internos						
CondicaoFisica3	Ruim	5,2577E-01	3,66%	3,4040E-01	3,5285E-01	3,66%
Habilidade1	Incipiente	5,2574E-01	3,65%	3,4040E-01	3,5283E-01	3,65%
QualidadedoSono3	Ruim	5,2574E-01	3,65%	3,4040E-01	3,5283E-01	3,65%
TratamentoDadoaFalha1	Desmotivador	5,2552E-01	3,61%	3,4040E-01	3,5268E-01	3,61%
ConhecimentodasNormas2	Superficial	5,1975E-01	2,47%	3,4040E-01	3,4880E-01	2,47%
PersonalidadeeInteligencia2	Inadequada	5,1964E-01	2,45%	3,4040E-01	3,4873E-01	2,45%
EstadoAtual2	Incipiente	5,1959E-01	2,44%	3,4040E-01	3,4870E-01	2,44%

Nesta tabela (Tabela 38) estão apresentadas as inferências feitas para obter dois tipos de probabilidade: 1) A probabilidade de falha na tarefa, dado o estado de determinado PSF (habilidade ou fator interno); e 2) A probabilidade do estado negativo do PSF, dado a falha na tarefa. Ela também apresenta a comparação entre estas probabilidades e aquelas apresentadas pelos nós sem as referidas evidências – as colunas *Diferença* sintetizam estes dados. Verifica-se que estas colunas apresentam resultados iguais para um mesmo PSF. O entendimento desta igualdade pode ser alcançado por uma análise das probabilidades associadas aos nós em cada circunstância e do método de cálculo dos dados apresentados nas colunas *Diferença*. Para exemplificar, tome-se inicialmente a Equação (5.10), baseada na Equação (2.1):

$$P(\text{tarefa} | \text{psf}) = \frac{P(\text{tarefa}, \text{psf})}{P(\text{psf})} \quad (5.10)$$

onde *tarafa* refere-se ao estado de falha do nó para a tarefa, e *psf* refere-se ao estado negativo de um nó qualquer para habilidade ou para fator interno.

O cálculo da diferença entre a probabilidade sem evidência e a probabilidade, dada a evidência do PSF, foi feito segundo a Equação (5.11):

$$Diferença = \frac{P(tarefa | psf) - P(tarefa)}{P(tarefa)} \quad (5.11)$$

que, considerando a Equação (5.10), pode ser manipulada para gerar a Equação (5.12):

$$Diferença = \frac{P(tarefa, psf)}{P(tarefa) * P(psf)} - 1 \quad (5.12)$$

O procedimento acima pode ser repetido para a verificação da probabilidade do estado negativo do PSF, dada a evidência de erro na atividade. Para este caso, tome-se a Equação (5.13), que emprega as mesmas variáveis da Equação (5.10):

$$P(psf | tarefa) = \frac{P(tarefa, psf)}{P(tarefa)} \quad (5.13)$$

O cálculo da diferença entre a probabilidade sem evidência e a probabilidade, dada a evidência de erro na atividade, foi feito segundo a Equação (5.14):

$$Diferença = \frac{P(psf | tarefa) - P(psf)}{P(psf)} \quad (5.14)$$

que, considerando a Equação (5.13), pode ser manipulada para gerar o mesmo resultado apresentado na Equação (5.12).

Daqui por diante, a demonstração acima será utilizada para apoiar a idéia de que se o cálculo da diferença for feito considerando a probabilidade do estado do PSF, dada evidência de falha na tarefa (ou atividade), será encontrado o mesmo resultado do cálculo que considera a probabilidade de falha na tarefa (ou atividade), dado o estado do PSF.

Os PSF que apresentam diferenças maiores na Tabela 38 são os mais críticos para a atividade, ou seja, são os que sendo melhorados representam um ganho maior em termos de segurança operacional. No caso do fator interno *CondicaoFisica3*, por exemplo, se for observado o estado *Boa* ao invés de *Ruim*, a probabilidade de falha na tarefa cai 5,35%, para 4,98E-01. A figura a seguir ilustra as quedas obtidas, dado este ou os demais fatores internos da Tabela 38.

Figura 33 – Queda na probabilidade de falha

Um gráfico semelhante poderia ser elaborado para as habilidades, mas isto não foi feito porque as consideradas na Tabela 38 apresentaram resultados muito semelhantes entre si em relação ao critério abordado no parágrafo anterior (em torno de 23,42%).

Para as atividades da tarefa *10–Comunicação*, foram obtidos os dados apresentados da Tabela 39 a Tabela 43. Nestas tabelas estão apresentadas as inferências feitas para obter as probabilidades dos estados negativos dos PSF (habilidades e fatores internos), dada o erro na execução da atividade (ou decisão de não prosseguir com a comunicação). Elas também apresentam a comparação entre estas probabilidades e aquelas apresentadas pelos nós sem as referidas evidências – as colunas *Diferença* sintetizam estes dados. Na Tabela 41 e na Tabela 43, além das evidências citadas, a primeira linha da segunda coluna apresenta outras evidências referentes aos estados dos nós das atividades precedentes. Estas evidências foram consideradas a fim de que a análise dos PSF ligados à determinada atividade incorpore a necessidade de sua execução (ver item 5.2).

Os resultados apresentados nestas tabelas foram ordenados em função das colunas *Diferença*. Assim, os fatores apresentados nas primeiras posições são os mais críticos em relação à possibilidade de erro na execução das atividades. Da Tabela 43, por exemplo, a evidência do estado *Ruim* para o fator *QualidadeDoSono2* é pior que do que a evidência do estado *Ruim* para o fator *CondiçãoFísica2*, visto que a probabilidade de erro na atividade aumentará quatro vezes mais para o

primeiro caso do que para o segundo (81,40% e 19,49%, respectivamente).

Tabela 39 – Análise dos PSF para a atividade *DecidirFazerContato*

<i>DecidirFazerContato</i>	<i>Sem evidência</i>	<i>PSF, dado o erro na atividade</i>		
<i>não</i>	7,30E-02	<i>Sem evidência</i>	<i>Erro</i>	<i>Diferença</i>
<i>Habilidades</i>				
ConhecimentodeProcedimento	<i>Ruim</i>	1,22E-01	4,25E-01	248,60%
Interpretacao	<i>Lenta</i>	1,24E-01	4,29E-01	247,08%
EquipeComunicacao	<i>Ruim</i>	1,19E-01	4,09E-01	242,20%
<i>Fatores Internos</i>				
PersonalidadeeInteligencia	<i>Inadequado</i>	9,80E-02	1,89E-01	93,12%
Habilidade	<i>Incipiente</i>	8,85E-02	1,54E-01	74,36%
TratamentoDadoaFalha	<i>Desmotivador</i>	8,80E-02	1,50E-01	69,97%
ConhecimentodasNormas	<i>Superficial</i>	8,80E-02	1,35E-01	53,67%
MotivacaoeAtitude	<i>Baixa</i>	8,80E-02	1,31E-01	49,15%
Fadiga	<i>Sim</i>	9,80E-02	1,45E-01	48,44%
EstadoAtual	<i>Incipiente</i>	8,80E-02	1,29E-01	47,06%

Tabela 40 – Análise dos PSF para a atividade *ConseguirContatoRadio*

<i>ConseguirContatoRadio</i>	<i>Sem evidência</i>	<i>PSF, dado o erro na atividade</i>		
<i>Não</i>	1,37E-01	<i>Sem evidência</i>	<i>Erro</i>	<i>Diferença</i>
<i>Habilidades</i>				
EquipeComunicacao	<i>Ruim</i>	1,19E-01	3,82E-01	220,22%
ConhecimentodeProcedimento2	<i>Ruim</i>	1,22E-01	2,70E-01	121,91%
Concentracao2	<i>Baixa</i>	1,25E-01	2,75E-01	119,97%
<i>Fatores Internos</i>				
Habilidade	<i>Incipiente</i>	8,85E-02	1,48E-01	67,76%
TratamentoDadoaFalha	<i>Desmotivador</i>	8,80E-02	1,44E-01	63,65%
QualidadedoSono2	<i>Ruim</i>	9,80E-02	1,37E-01	39,45%
Distracoes2	<i>Sim</i>	9,80E-02	1,35E-01	37,61%
ConhecimentodasNormas1	<i>Superficial</i>	8,80E-02	1,16E-01	31,29%
PersonalidadeeInteligencia1	<i>Inadequada</i>	9,80E-02	1,28E-01	30,59%
EstadoAtual1	<i>Incipiente</i>	8,80E-02	1,13E-01	28,61%

Tabela 41 – Análise dos PSF para a atividade *DecidirContatoOutroMeio*

<i>DecidirContatoOutroMeio</i>	<i>Dado estado "Não" para ConseguirContatoRadio</i>	<i>PSF, dado o erro na atividade</i>		
<i>Não</i>	1,39E-01	<i>Sem evidência</i>	<i>Erro</i>	<i>Diferença</i>
<i>Habilidades</i>				
Flexibilidade	<i>Baixa</i>	1,46E-01	3,43E-01	135,11%
Interpretacao	<i>Lenta</i>	2,76E-01	5,57E-01	101,78%
ConhecimentodeProcedimento	<i>Ruim</i>	2,74E-01	5,45E-01	98,92%
<i>Fatores Internos</i>				
PersonalidadeeInteligencia	<i>Inadequada</i>	1,47E-01	2,66E-01	81,18%
MotivacaoeAtitude	<i>Baixa</i>	1,11E-01	1,73E-01	55,91%
Fadiga	<i>Sim</i>	1,23E-01	1,63E-01	32,72%
EstadoAtual	<i>Incipiente</i>	1,13E-01	1,46E-01	28,82%
ConhecimentodasNormas	<i>Superficial</i>	1,16E-01	1,48E-01	27,70%
TratamentoDadoaFalha	<i>Desmotivador</i>	1,44E-01	1,50E-01	3,81%

Tabela 42 – Análise dos PSF para a atividade *EntenderInterlocutor*

<i>EntenderInterlocutor</i>	<i>Sem evidência</i>	<i>PSF, dado o erro na atividade</i>		
<i>Não</i>	1,95E-01	<i>Sem evidência</i>	<i>Erro</i>	<i>Diferença</i>
<i>Habilidades</i>				
Concentracao2	<i>Baixa</i>	1,25E-01	3,52E-01	181,99%
Percepcao7	<i>Baixa</i>	1,25E-01	2,85E-01	127,97%
<i>Fatores Internos</i>				

QualidadedoSono2	<i>Ruim</i>	9,80E-02	1,84E-01	87,46%
Distracoes2	<i>Sim</i>	9,80E-02	1,52E-01	54,95%
CondicaoFisica2	<i>Ruim</i>	9,84E-02	1,37E-01	38,98%

Tabela 43 – Análise dos PSF para a atividade EntenderInterlocutor2

<i>EntenderInterlocutor 2</i>	<i>Dado o estado “Não” para DecidirContatoOutroMeio</i>	<i>PSF, dado o erro na atividade</i>		
<i>Não</i>	1,57E-01	<i>Sem evidência</i>	<i>Erro</i>	<i>Diferença</i>
<i>Habilidades</i>				
Percepcao8	<i>Baixa</i>	1,60E-01	4,30E-01	169,74%
Concentracao2	<i>Baixo</i>	3,65E-01	8,22E-01	125,12%
<i>Fatores Internos e Ambientais</i>				
QualidadedoSono2	<i>Ruim</i>	1,88E-01	3,40E-01	81,40%
Distracoes2	<i>Sim</i>	1,55E-01	2,57E-01	66,36%
Visibilidade2	<i>Baixa</i>	1,50E-01	1,96E-01	30,33%
CondicaoFisica2	<i>Ruim</i>	1,37E-01	1,64E-01	19,49%

O procedimento apresentado para a tarefa 10–*Comunicação* foi repetido para a tarefa 23–*Oficial dá Ordem Errada*, e a Tabela 44, a Tabela 45 e a Tabela 46 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 44 – Análise dos PSF para a atividade EntendeDemanda1¹¹

<i>EntendeDemanda1</i>	<i>Sem evidência</i>	<i>PSF, dado o erro na atividade</i>		
<i>Não</i>	9,81E-03	<i>Sem evidência</i>	<i>Erro</i>	<i>Diferença</i>
<i>Habilidades</i>				
Concentracao5	<i>Baixa</i>	8,00E-03	2,69E-01	3261,63%
Percepcao10	<i>Baixa</i>	2,47E-02	7,80E-01	3055,41%
<i>Fatores Internos e Ambientais</i>				
QualidadedoSono6	<i>Ruim</i>	2,00E-02	2,36E-01	1077,80%
Distracoes5	<i>Sim</i>	2,00E-02	1,59E-01	695,40%
CondicaoFisica6	<i>Ruim</i>	1,96E-02	1,10E-01	460,24%
Visibilidade4	<i>Baixa</i>	1,50E-01	6,58E-01	338,71%

Tabela 45 – Análise dos PSF para a atividade TomadadeDecisao1

<i>TomadadeDecisao 1</i>	<i>Sem evidência</i>	<i>PSF, dado o erro na atividade</i>		
<i>Falha</i>	1,45E-02	<i>Sem evidência</i>	<i>Erro</i>	<i>Diferença</i>
<i>Habilidades</i>				
Interpretacao2	<i>Lenta</i>	7,83E-03	1,35E-01	1621,43%
Flexibilidade2	<i>Baixa</i>	7,81E-03	1,33E-01	1599,86%
Planejamento1	<i>Inadequado</i>	8,00E-03	1,32E-01	1545,38%
<i>Fatores Internos e Ambientais</i>				
PersonalidadeeInteligencia4	<i>Inadequada</i>	2,00E-02	1,50E-01	648,80%
MotivacaoeAtitude2	<i>Baixa</i>	2,00E-02	1,09E-01	445,50%
Fadiga3	<i>Sim</i>	2,00E-02	7,78E-02	289,21%
Habilidade4	<i>Incipiente</i>	2,00E-02	7,37E-02	268,27%
TratamentoDadoaFalha4	<i>Desmotivador</i>	2,00E-02	5,50E-02	174,90%

Desta maneira, ficam evidenciados os PSF que mais influenciam nas probabilidades de falha nas atividades discriminadas inicialmente.

¹¹ Aqui foi utilizada a nomenclatura empregada no Netica™ e no Apêndice B, na Tabela 15 a nomenclatura para esta atividade é *Entende Corretamente*.

Com estes resultados é possível delinear ações para reduzir as chances do acidente em estudo (colisão). No contexto dos passos previstos na HRA, este delineamento poderia ser o ponto inicial para o passo 3 – *Opções de Controle de Risco* (ver item 2.1).

Tabela 46 – Análise dos PSF para a atividade *Detecção do Erro 1*

<i>Detecção do Erro 1</i>	<i>Dado o estado "Não" para Entende Demanda 1 e "Falha" para Tomada de Decisão 1</i>	<i>PSF, dado o erro na atividade</i>		
<i>Não</i>	1,98E-02	<i>Sem evidência</i>	<i>Erro</i>	<i>Diferença</i>
<i>Habilidades</i>				
Concentração 5	<i>Baixa</i>	9,58E-03	1,09E-01	1032,48%
Percepção 10	<i>Baixa</i>	2,64E-02	2,86E-01	983,74%
Equipe de Comunicação 4	<i>Ruim</i>	6,31E-02	6,52E-01	933,48%
<i>Fatores Internos e Ambientais</i>				
Qualidade do Sono 6	<i>Ruim</i>	4,64E-02	1,44E-01	209,79%
Distrações 5	<i>Sim</i>	1,86E-02	5,02E-02	169,57%
Tratamento Dado a Falha 4	<i>Desmotivador</i>	1,29E-01	3,04E-01	136,04%
Habilidade 4	<i>Incipiente</i>	1,87E-01	4,34E-01	132,45%
Visibilidade 4	<i>Baixa</i>	1,45E-01	2,65E-01	83,11%
Condição Física 6	<i>Ruim</i>	8,52E-02	1,31E-01	53,70%

A título de ilustração, pode-se tomar o exemplo do fator interno *Qualidade do Sono* – este PSF aparece muitas vezes como o fator mais impactante (ou como um dos mais impactantes) nas probabilidades de erro das atividades analisadas nas tabelas acima (ver Tabela 38, Tabela 40, Tabela 42, Tabela 43, Tabela 44 e Tabela 46). Algumas alternativas para atenuar o impacto deste fator podem ser: 1) melhorar o conforto das acomodações da tripulação; 2) enrijecer as regras relativas ao período entre quartos (estabelecendo um período fixo de repouso obrigatório); 3) elaborar um programa de conscientização sobre a importância do sono; 4) etc. Ressalta-se, no entanto, que de maneira geral ações isoladas apresentarão resultados isolados. No caso da atividade analisada na Tabela 46, por exemplo, as ações conjuntas de aumentar a qualidade do sono e de aumentar as distrações não se anulam, mas geram apenas uma pequena diferença na probabilidade de erro na atividade. Assim, o ideal é considerar ações para todos os PSF que se destacaram na análise.

5.4. ANÁLISE DOS MOF

Tendo a rede elaborada (conforme capítulo anterior) foi possível discriminar os MOF que mais influenciam na determinação da probabilidade da colisão. Isto foi feito partindo da elaboração do gráfico da probabilidade de colisão em função dos

MOF. Na verdade, foi elaborada uma curva para cada MOF presente na rede. Sendo assim, foi gerado o gráfico apresentado na Figura 34.

Nesta figura algumas curvas se sobrepõem a outras. As curvas para “Avaliação de Rendimento” e “Cultura Organizacional” são coincidentes; já as curvas para “Formalização”, “Programas da Companhia” e “Prêmios, Reconhecimento e Benefícios” são visualmente coincidentes nesta figura.

Figura 34 – Probabilidade de Colisão em Função dos MOF

Para a obtenção dos dados apresentados neste gráfico variaram-se as probabilidades associadas aos estados dos MOF. Isto foi feito para cada MOF mantendo-se inalteradas as probabilidades dos demais (95% para os estados positivos – aqueles que tendo suas probabilidades aumentadas geram uma redução na probabilidade de colisão – e 5% para os negativos).

Neste ponto pode ser ressaltado que, na rede modelada, as probabilidades associadas aos MOF possuem relação linear com a probabilidade de ocorrência do evento topo da Árvore de Falhas (colisão). Esta propriedade pode ser verificada considerando-se o método de cálculo direto apresentado no item 2.2.2.1.

Com auxílio deste gráfico (Figura 34) foi definida a Tabela 47 com os MOF que se destacaram, em ordem decrescente. O critério escolhido foi o valor da probabilidade de colisão quando a probabilidade do estado positivo do MOF é baixa (para “Avaliação de Rendimento” e “Cultura Organizacional” a ordenação foi alfabética, já que as curvas são coincidentes).

Os MOF apresentados nas primeiras posições são aqueles que, sendo trabalhados, podem representar ganhos mais evidentes em termos de segurança operacional, ou seja, diminuem mais a probabilidade de colisão. De outra forma, são os MOF que, sendo ignorados, podem contribuir de forma mais significativa para o aumento do risco de colisão.

Tabela 47 – Ordenação dos MOF (1º método)

<i>Ordenação dos MOF</i>	
1º	Coordenação do Trabalho
2º	Carga de Trabalho
3º	Programas de Treinamento
4º	Seleção de Pessoal
5º	Recursos Físicos
6º	Avaliação de Rendimento
7º	Cultura Organizacional
8º	Qualidade de Vida
9º	Rotatividade
10º	Prêmios, Reconhecimento e Benefícios
11º	Formalização
12º	Programas da Companhia

Outra maneira de levantar a lista acima (Tabela 47) é, tendo a rede, supor a evidência de colisão e calcular as probabilidades dos MOF. Isto foi feito para a rede modelada e foram alcançados os valores apresentados na Figura 35. Nesta figura foram colocadas as probabilidades para os estados negativos e positivos dos MOF (como foram definidos apenas dois estados, sua soma deve ser 1).

Como observado nesta Figura 35, os MOF puderam ser ordenados da mesma maneira que anteriormente (Tabela 47). Os MOF com menores probabilidades para os estados positivos, dada a evidência de colisão, são também os que mais afetam a probabilidade de colisão levantada pelo método anterior (conforme esperado, já que as relações entre a probabilidade de colisão e as dos MOF são lineares, e os valores iniciais assumidos para cada MOF são iguais a 95%).

Figura 35 – Probabilidade do MOF, dada uma evidência de Colisão

Uma constatação importante é que, quando o MOF está relacionado a um grande número de fatores internos na rede, e considerando o método de cálculo direto da probabilidade de um evento negativo (evento de colisão, por exemplo) dado um MOF, uma quantidade maior de fatores da multiplicação (ver Equação (2.8)) é influenciada pelo estado deste MOF (por conta das muitas dependências) e, conseqüentemente, se o estado considerado do MOF for negativo as probabilidades dos fatores internos, dado o estado negativo do MOF, aparecerão com maior freqüência no cálculo. Para a rede modelada, e considerando a ordem dos MOF apresentada na Tabela 47, foi elaborada a Figura 36 abaixo. Nesta figura apresenta-se a quantidade de arcos existentes a partir de cada MOF.

Figura 36 – Quantidade de arcos para cada MOF

Desta figura e com apoio do descrito nos parágrafos anteriores, verifica-se a tendência de os MOF com maior quantidade de arcos influenciarem mais na probabilidade de colisão. Desta forma, logo após a elaboração da topologia da rede já é possível ter uma idéia qualitativa de quais serão os MOF discriminados pela aplicação dos métodos quantitativos acima.

Feitas estas considerações, ficam determinados os MOF que apresentam maior potencial para redução na probabilidade de colisão.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tipicamente, os fatores humanos são a origem da maior parte das incertezas ao se aplicar a FSA (IMO, 2002). Ao longo das últimas décadas, muitas técnicas dedicadas a HRA foram desenvolvidas com intuito de melhorar o entendimento destes fatores e diminuir estas incertezas para, com isto, ajudar a identificar riscos específicos e permitir conjecturar modos para a redução destes riscos. O estudo de algumas destas técnicas, classificadas entre técnicas de 1ª e de 2ª geração, permitiu levantar pontos fortes e fracos a respeito da representação do fator humano alcançada por sua aplicação. Apesar de seus méritos, elas não permitem, de forma direta, a representação das dependências entre os elementos humanos incorporados ao sistema a ser analisado e, além disto, tornam difícil a representação dinâmica das atividades humanas, de forma que muita informação sobre o sistema deve ser desconsiderada para possibilitar uma análise quantitativa. As Redes Bayesianas vêm sendo propostas a fim de superar estas limitações e melhorar a representação do contexto em que as ações humanas se desenvolvem (Droguett e Menezes, 2007; Lampis e Andrews, 2008).

Com o estudo de caso, foi possível explorar o potencial das Redes Bayesianas como instrumento na HRA e foi possível apresentar sua aplicação na modelagem do fator humano – o que permitiu investigar os aspectos práticos do trabalho com esta ferramenta. O estudo de caso foi realizado em duas etapas: modelagem dos fatores humanos relacionados ao evento de colisão de um navio tanque, e análise deste modelo para identificar os fatores críticos em relação a este evento. A modelagem foi feita por meio da aplicação de uma metodologia baseada em técnicas existentes e nas características das Redes Bayesianas, considerando os resultados apresentados em Maturana e Martins (2008). A rede integrada obtida na etapa de modelagem foi submetida a uma série de suposições a respeito dos seus estados, resultando no levantamento dos fatores que devem receber maior atenção para melhorar a aplicação dos recursos da companhia numa cultura de redução de risco.

Durante a modelagem, verificou-se que as Redes Bayesianas permitem grande detalhamento dos fatores que influenciam a execução das tarefas e que para sua boa aplicação, entretanto, é necessário um conhecimento do sistema que

permita determinar com segurança o que pode e o que não pode ser ignorado nesta fase. Para este trabalho foi desenvolvido um modelo genérico de dependência entre os PSF e as atividades com base em suposições contextuais sobre possíveis erros.

A modelagem dos desencadeamentos dos eventos perigosos (que podem levar o navio a colidir) se deu por meio do aproveitamento das informações da Árvore de Falhas apresentada em Maturana e Martins (2008), o que permitiu utilizar as probabilidades dos seus eventos básicos como referência para popular as TPC dos nós das redes dinâmicas das tarefas e, diferentemente do trabalho anterior, foi possível integrar estes desencadeamentos com as atividades realizadas no navio e os PSF num mesmo modelo quantitativo, considerando as dependências entre os eventos resultantes da ação humana e seus condicionantes. Partindo deste modelo, foram encontrados atividades e fatores críticos em relação ao evento de colisão e que poderiam pautar a incorporação de melhoramentos – tais como mudanças de procedimentos, ergonômicas, disponibilidade de equipamentos, etc. – para remover ou reduzir as oportunidades de erros e de acidentes, aumentando a segurança operacional. É importante enfatizar, no entanto, que a implementação bem sucedida destas ações está sujeita à cultura de risco de cada setor específico e que vem se desenvolvendo recentemente na indústria naval.

Os resultados para o isolamento das tarefas críticas foram próximos aos alcançados no trabalho anterior (Maturana e Martins, 2008). Isto se justifica no parágrafo acima, em relação ao aproveitamento dos dados quantitativos e qualitativos. Mas, diferentemente daquele trabalho, foram isoladas atividades específicas destas tarefas para estudar os PSF (habilidades, fatores internos e ambientais) que as influenciam e destacá-los em relação ao impacto na probabilidade de erro – com estes dados é possível concluir quais habilidades e características pessoais precisam ser treinadas ou buscadas para a tripulação do navio. Dentre as tarefas consideradas críticas durante a análise, as que se destacaram foram as seguintes: 6 – *Procedimento RIPEAM*, 10 – *Comunicação* e 23 – *Ordem do Oficial*.

Além disto, foi possível concluir quais MOF podem ser trabalhados com prioridade para um efetivo ganho na segurança operacional ou, de outra forma, quais poderiam ser ignorados sem incorrer em grandes incrementos no risco de

colisão. Dentre os MOF analisados, os três considerados mais críticos para aumentar as chances de acidente foram os seguintes: *Coordenação do Trabalho*, *Carga de Trabalho* e *Programas de Treinamento*.

A modelagem dos PSF feita de maneira geral, considerando um modelo genérico de relacionamento entre os fatores, pode ter contribuído para que relações importantes tenham sido descartadas. Assim, para melhorar os resultados obtidos, deve ser considerado um aprofundamento na avaliação dos PSF. Por outro lado, pode ser considerado o incremento na quantidade de PSF analisados e o estudo do impacto da consideração discreta de variáveis que, na realidade, são contínuas.

Outro ponto que pode ser melhorado é a representação dos desencadeamentos dos eventos perigosos. A modelagem feita com aproveitamento das informações disponibilizadas em uma Árvore de Falhas limitou a representação temporal de ocorrência destes eventos, já que a precedência na execução das tarefas não é detectada pela Árvore de Falhas. A Figura 32 poderia ser utilizada com ponto de partida para esta modelagem.

Nem todos os fatores humanos relacionados ao sistema estudado foram considerados na modelagem. O estudo de caso tratou somente das atividades realizadas por operadores (isto é, tripulação do navio e pessoal de terra com quem eles se relacionam, em um navio já na fase operacional). Por exemplo, fatores relacionados ao projeto do navio – ligados a erros de projetos, que também são humanos – não foram considerados profundamente e os erros relacionados às decisões dos gerentes e administradores da empresa foram considerados apenas indiretamente, através dos MOF. Assim, entre as propostas para continuação desta pesquisa, poderia ser examinada a expansão da modelagem do sistema considerando a fase de projeto, o gerenciamento, os períodos de manutenção, etc., e sua influência sobre a fase operacional do navio.

Outro ponto que poderia ser considerado para incremento desta pesquisa, é o método de preenchimento das TPC. Poderiam ser consultadas as opiniões de especialistas para popular as TPC e assim obter as probabilidades de colisão e de falhas nas tarefas com base nestas opiniões – ressaltando-se que os resultados seriam mais robustos se as áreas listadas no parágrafo anterior fossem mais bem detalhadas –, utilizando um procedimento de coleta e organização da informação

que considere o trabalho com as Redes Bayesianas. Por outro lado, pode ser proveitoso um estudo sobre o aproveitamento das bases de dados oriundos de outras técnicas.

Ainda entre as propostas para trabalhos futuros, pode ser incluído o estudo da operação de alívio da plataforma (offload, não considerada neste trabalho) que demonstrou boa dependência do elemento humano, com os agravantes da interação entre as tripulações e da proximidade das unidades envolvidas neste procedimento (navio e plataforma).

7. REFERÊNCIAS

Beldford, T.; Cooke, R., (2001), “Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods”, Cambridge University Press. 1st edition.

Chang, Y. H.; Mosleh, A., (2007), “Cognitive Modeling and Dynamic Probabilistic Simulation of Operating Crew Response to Complex System Accidents. Part 1: Overview of the IDAC Model”, Reliability Engineering and System Safety, v.92, p.997-1013.

Chang, Y. H.; Mosleh, A., (2007b), “Cognitive Modeling and Dynamic Probabilistic Simulation of Operating Crew Response to Complex System Accidents. Part 2: IDAC Performance Influencing Factors Model”, Reliability Engineering and System Safety, v.92, p.1014-1040.

Chang, Y. H.; Mosleh, A., (2007c), “Cognitive Modeling and Dynamic Probabilistic Simulation of Operating Crew Response to Complex System Accidents. Part 3: IDAC Operator Response Model”, Reliability Engineering and System Safety, v.92, p.1041-1060.

Chang, Y. H.; Mosleh, A., (2007d), “Cognitive Modeling and Dynamic Probabilistic Simulation of Operating Crew Response to Complex System Accidents. Part 4: IDAC Causal Model of Operator Problem-solving Response”, Reliability Engineering and System Safety, v.92, p.1061-1075.

Chang, Y. H.; Mosleh, A., (2007e), “Cognitive Modeling and Dynamic Probabilistic Simulation of Operating Crew Response to Complex System Accidents. Part 5: Dynamic Probabilistic Simulation of the IDAC Model”, Reliability Engineering and System Safety, v.92, p.1076-1101.

Charniak, E., (1991), “Bayesian Network without Tears”. IA Magazine, USA.

Droguett, E.; Menêzes, R., (2007), “Análise de Confiabilidade Humana via redes Bayesianas: uma Aplicação à Manutenção de Linhas de Transmissão”, Revista Produção, v.17, n.1, p.162-185.

Eaton, J.; Bateman, D.; Hauberg, S., (2008) “GNU Octave Manual Version 3”, Disponível em: <http://www.network-theory.co.uk/docs/octave3> (Acessado em 15/06/2009).

Eleye-Datubo, A.; Wall, A.; Wang, J., (2008), “Marine and Offshore Safety Assessment by Incorporative Risk Modeling in a Fuzzy-Bayesian Network of an Induced Mass Assignment Paradigm”, Risk Analysis, v. 28, n.1, p. 95–112.

General Accounting Office, (1980), "Three Mile Island: The Most Studied Nuclear Accident In History", Report of the Comptroller General to the U.S. Congress, EMD-80-109.

Gertman, I.; Blackman S., (1993), "Human Reliability Analysis and Safety Analysis Data Handbook", New York, Johnwiley & Sons, Inc.

Hollnagel, E. (1998) "Cognitive reliability and error analysis method: CREAM" Elsevier Science.

Hollnagel, E., (2005), "Human Reliability Assessment in Context", Nuclear Engineering and Technology, vol.37 no.2.

IAEA, (1992), "Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants (Level 1): A Safety Practice", Safety Series, No. 50-P-4, Vienna: International Atomic Energy Agency.

IAEA, (1995), "Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants (Level 2): Accident Progression, Containment Analysis and Estimation of Accident Source Terms", Safety Series, No. 50-P-8, Vienna: International Atomic Energy Agency.

IMO, (2002), "Guidelines for Formal Safety Assessment for use in the IMO rule-making process", Maritime Safety Committee and Marine Environment Protection Committee, London.

IMO, (2002b), "International Safety Management Code (ISM Code)", London.

Kirwan, B. (1994), "A Guide to Practical Human Reliability Assessment", CPC Press.

Lampis, M., Andrews, J. D., (2008), "Bayesian Belief Networks for System Fault Diagnostics", Department of Aeronautical and Automotive Engineering, Loughborough University, U.K. Wiley InterScience.

Marques, R. L., Dutra, I., (2006), "Redes Bayesianas: o que são, para que servem, algoritmos e exemplos de aplicações". Coppe Sistemas – UFRJ. Disponível em: <http://www.cos.ufrj.br/~ines/courses/cos740/leila/cos740/Bayesianas.pdf> (acessado em 25/09/2008).

Martins, M.; Goyano, F., (2007), "Preliminary Hazard Analysis of fire systems of tankers", ISOPE-2007.

Maturana, M. C.; Martins, M. R., (2008), "Análise da Falha Humana em Acidentes de Colisão", 22ª Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore – Sobena 2008, p. 1-15.

Mosleh, A.; Chang, Y. H., (2004), "Model-based Human Reliability Analysis: Prospects and Requirements", Reliability Engineering and System Safety, v.83, p.241-253.

Norsys Software Corp., (1996), "Application for Belief Networks and Influence Diagrams", User's Guide, Vancouver, BC, Canada. Disponível em: <http://www.norsys.com> (acessado em 06/06/2008).

NUREG/CR-6350, (1996), "A Technique for Human Error Analysis: ATHEANA", Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.

NUREG-0492 (1981), "Fault Tree Handbook", U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.

NUREG-1880 (2007), "ATHEANA User's Guide", U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.

NUREG-75/014 (1975), "Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear power Plants", U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.

Pear, J., (1988), "Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Network of Plausible Inference", Morgan Kaufmann, San Mateo, California, USA.

Russell, S. J., Norvig, P. (2003) "Artificial Intelligence – A Modern Approach", Second Edition, Prentice Hall, New Jersey, USA.

Salmon, P., Stanton, N.A., Walker, G. (2003), "Human Factors Design Methods Review". Defence Technology Centre. Disponível em: <http://www.hfidtc.com/pdf/reports/Human%20Factors%20design%20methods%20review.pdf> (acessado em 15/06/2009).

Swain, A.; Guttman, H., (1983), "Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications", Albuquerque: Sandia National Laboratories.

Webb, R. D. G., Lamoureux, T. M. (2003), "Human Reliability and Ship Stability", Department of National Defense, Toronto, Ontario, Canada. Disponível em: <http://pubs.rddc-drdc.gc.ca/BASIS/pcandid/www/engpub/DDW?W%3DAUTHOR+%3D+Lamoureux%2C+T.M.%26M%3D2%26K%3D521120%26U%3D1> (acessado em 05/12/2008).

APÊNDICE A: TABELAS COMPLEMENTARES PARA OS FATORES DE DESEMPENHO

Neste tópico são apresentadas as tabelas utilizadas para a geração das redes dos fatores de desempenho. As atividades a que se relacionam são indicadas pelo número do evento e pelo número da atividade (ver Tabela 16).

Tabela 48 – Atividade 6-1: Falha do Procedimento RIPEAM

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
IV – Conhecimento de Procedimento	Internos	20 - Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
		22 - Conhecimento das Normas	B – Formalização
		26 - Estado atual desta prática (Memórias)	L – Programas de treinamento
VIII – Equipe e Comunicação	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	C – Coordenação do Trabalho
		24 - Habilidade	K – Rotatividade de Pessoal
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	D – Cultura Organizacional
			H – Avaliação de Rendimento
		5 - Condição Física	L – Programas de treinamento
			A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
			A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 49 – Atividade 10-1: Decidir Fazer Contato por Rádio

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
I – Interpretações	Internos	1 – Fadiga	A – Carga de Trabalho
			I – Programas da Companhia
		20 – Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
IV – Conhecimento de Procedimento	Internos	21 – Motivação e Atitude	A – Carga de Trabalho
			E – Prêmios, Reconhecimentos e Benefícios
		20 - Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
		22 - Conhecimento das Normas	B – Formalização
VIII – Equipe e Comunicação	Internos	26 - Estado atual desta prática (Memórias)	L – Programas de treinamento
		9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	C – Coordenação do Trabalho
		24 - Habilidade	K – Rotatividade de Pessoal
			D – Cultura Organizacional
			H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 50 – Atividade 10-2: Conseguir Fazer Contato

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
IV – Conhecimento de Procedimento	Internos		C – Coordenação do Trabalho
		20 - Personalidade e Inteligência	F – Recursos Físicos
		22 - Conhecimento das Normas	J – Seleção de Pessoal
		26 - Estado atual desta prática (Memórias)	B – Formalização
VIII – Equipe e Comunicação	Internos		L – Programas de treinamento
		9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	C – Coordenação do Trabalho
		24 - Habilidade	K – Rotatividade de Pessoal
			D – Cultura Organizacional
			H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 51 – Atividade 10-3: Entender Interlocutor

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
X - Percepção	Internos		C – Coordenação do Trabalho
		4 - Qualidade do Sono	F – Recursos Físicos
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
			A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 52 – Atividade 10-4: Decidir Fazer Contato por Outro Meio

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
I – Interpretações	Internos	1 – Fadiga	A – Carga de Trabalho I – Programas da Companhia
		20 – Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
		21 – Motivação e Atitude	A – Carga de Trabalho E – Prêmios, Reconhecimentos e Benefícios
IV – Conhecimento de Procedimento	Internos	20 – Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
		22 – Conhecimento das Normas	B – Formalização L – Programas de treinamento
		26 – Estado atual desta prática (Memórias)	C – Coordenação do Trabalho K – Rotatividade de Pessoal
XIV - Flexibilidade	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	D – Cultura Organizacional H – Avaliação de Rendimento
		20 – Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
		21 – Motivação e Atitude	A – Carga de Trabalho E – Prêmios, Reconhecimentos e Benefícios

Tabela 53 – Atividade 10-5: Entender Interlocutor

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho F – Recursos Físicos
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho G – Qualidade de Vida J – Seleção de Pessoal
	Ambientais	η - Visibilidade	

Tabela 54 – Atividade 11-1: Entende Corretamente

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho F – Recursos Físicos
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho G – Qualidade de Vida J – Seleção de Pessoal
	Ambientais	η - Visibilidade	

Tabela 55 – Atividade 11-2: Tomada de Decisão

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
I – Interpretações	Internos	1 – Fadiga	A – Carga de Trabalho I – Programas da Companhia
		20 – Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
		21 – Motivação e Atitude	A – Carga de Trabalho E – Prêmios, Reconhecimentos e Benefícios
XI – Planejamento	Internos	20 - Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
		24 - Habilidade	H – Avaliação de Rendimento J – Seleção de Pessoal L – Programas de Treinamento
XIV - Flexibilidade	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	D – Cultura Organizacional H – Avaliação de Rendimento
		20 – Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
		21 – Motivação e Atitude	A – Carga de Trabalho E – Prêmios, Reconhecimentos e Benefícios

Tabela 56 – Atividade 11-3: Detecção do Erro

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
VIII – Equipe e Comunicação	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	G – Qualidade de Vida
		24 - Habilidade	J – Seleção de Pessoal
			D – Cultura Organizacional
			H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 57 – Atividade 14-1: Resposta Errada

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
VII – Controle Motor	Internos	1 – Fadiga	C – Coordenação do Trabalho
		5 – Condição Física	F – Recursos Físicos
		24 – Habilidade	A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
VIII – Equipe e Comunicação	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	J – Seleção de Pessoal
		24 - Habilidade	H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento
			J – Seleção de Pessoal
			D – Cultura Organizacional
			H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 58 – Atividade 23-1: Entende Corretamente

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	F – Recursos Físicos
			A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
	Ambientais	η - Visibilidade	A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 59 – Atividade 23-2: Tomada de Decisão

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
I – Interpretações	Internos	1 – Fadiga	A – Carga de Trabalho
		20 – Personalidade e Inteligência	I – Programas da Companhia
		21 – Motivação e Atitude	J – Seleção de Pessoal
XI – Planejamento	Internos	20 - Personalidade e Inteligência	A – Carga de Trabalho
		24 - Habilidade	E – Prêmios, Reconhecimentos e Benefícios
			J – Seleção de Pessoal
XIV - Flexibilidade	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	H – Avaliação de Rendimento
		20 – Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
		21 – Motivação e Atitude	L – Programas de Treinamento
			D – Cultura Organizacional
			H – Avaliação de Rendimento
			J – Seleção de Pessoal
			A – Carga de Trabalho
			E – Prêmios, Reconhecimentos e Benefícios

Tabela 60 – Atividade 23-3: Detecção do Erro

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
VIII – Equipe e Comunicação	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	G – Qualidade de Vida
		24 - Habilidade	J – Seleção de Pessoal
			D – Cultura Organizacional
			H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 61 – Atividade 25-1: Resposta Errada

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
VII – Controle Motor	Internos	1 – Fadiga	C – Coordenação do Trabalho
		5 – Condição Física	A – Carga de Trabalho
		24 – Habilidade	G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal
VIII – Equipe e Comunicação	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	H – Avaliação de Rendimento
		24 - Habilidade	L – Programas de treinamento
			J – Seleção de Pessoal
			D – Cultura Organizacional
			H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 62 – Atividade 29-1: Checagem de Equipamento

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
IV – Conhecimento dos Procedimentos	Internos	23 – Experiência e Treinamento	F – Recursos Físicos
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	K – Rotatividade de Pessoal
		5 - Condição Física	L – Programas de Treinamento
			A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
			A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 63 – Atividade 29-3: Respeito dos Intervalos

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
IX - Frequência e Repetitividade	Internos	4 – Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		10 – Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 – Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos

Tabela 64 – Atividade 29-4: Leitura de posição

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	F – Recursos Físicos
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
			A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 65 – Atividade 29-5: Marcação na Carta Náutica

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
VII – Controle Motor	Internos	4 - Qualidade do Sono	F – Recursos Físicos
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
			A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 66 – Atividade 29-6: Comandante Detecta o Erro

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		5 - Condição Física	C – Coordenação do Trabalho
			A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
VIII – Equipe e Comunicação	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	J – Seleção de Pessoal
			D – Cultura Organizacional
		24 - Habilidade	H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 67 – Atividade 32-1: Capitão Falha

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		5 - Condição Física	C – Coordenação do Trabalho
			A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
VIII – Equipe e Comunicação	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	J – Seleção de Pessoal
			D – Cultura Organizacional
		24 - Habilidade	H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 68 – Atividade 33-1: ON Falha

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		5 - Condição Física	C – Coordenação do Trabalho
			A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
VIII – Equipe e Comunicação	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	J – Seleção de Pessoal
			D – Cultura Organizacional
		24 - Habilidade	H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 69 – Atividade 36-1: Erro de Atenção

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
VI – Resistência Física	Internos		F – Recursos Físicos
		1 - Fadiga	A – Carga de Trabalho
X - Percepção	Internos		C – Coordenação do Trabalho
		4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
	Ambientais		G – Qualidade de Vida
		η - Visibilidade	J – Seleção de Pessoal

Tabela 70 – Atividade 39-1: Erro não Descoberto

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	F – Recursos Físicos
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
			G – Qualidade de Vida
VIII – Equipe e Comunicação	Internos	9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	J – Seleção de Pessoal
			D – Cultura Organizacional
		24 - Habilidade	H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 71 – Atividade 43-1: Atualização das Publicações

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
VI – Resistência Física	Internos		F – Recursos Físicos
		1 - Fadiga	A – Carga de Trabalho
X - Percepção	Internos		C – Coordenação do Trabalho
		4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
	Internos		G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 72 – Atividade 43-2: Leitura das Informações

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos

Tabela 73 – Atividade 43-3: Estabelecimento da Profundidade Mínima

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
II - Cálculo	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
		20 – Personalidade e Inteligência	C – Coordenação do Trabalho
III - Concentração	Internos		J – Seleção de Pessoal
		4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
X - Percepção	Internos	12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos
		4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
	Internos	5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 74 – Atividade 43-4: Leitura da Profundidade

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos

Tabela 75 – Atividade 43-5: Identificar Áreas Restritas

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos

Tabela 76 – Atividade 43-6: Traçar Áreas Restritas

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos
VII – Controle Motor	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 77 – Atividade 43-7: Traçar Rumos Sucessivos

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos
VII – Controle Motor	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 78 – Atividade 43-8: Identificar Way-Points

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
			F – Recursos Físicos
VII – Controle Motor	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 79 – Atividade 43-9: Escolha dos Pontos

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
I – Interpretações	Internos	1 – Fadiga	A – Carga de Trabalho
			I – Programas da Companhia
		20 – Personalidade e Inteligência	J – Seleção de Pessoal
		21 – Motivação e Atitude	A – Carga de Trabalho
			E – Prêmios, Reconhecimentos e Benefícios
IV – Conhecimento dos Procedimentos	Internos	23 – Experiência e Treinamento	K – Rotatividade de Pessoal
			L – Programas de Treinamento
X - Percepção	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
			G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal

Tabela 80 – Atividade 43-10: Revisão da Rota ON

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
X - Percepção	Internos		F – Recursos Físicos
		4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
VIII – Equipe e Comunicação	Internos		G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal
		9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	D – Cultura Organizacional
		24 - Habilidade	H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

Tabela 81 – Atividade 43-11: Detecção de Falha Comandante

Habilidades Requeridas	PSF		MOF
III - Concentração	Internos	4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		10 - Trabalho Monótono	C – Coordenação do Trabalho
		12 - Distrações	C – Coordenação do Trabalho
X - Percepção	Internos		F – Recursos Físicos
		4 - Qualidade do Sono	A – Carga de Trabalho
			C – Coordenação do Trabalho
		5 - Condição Física	A – Carga de Trabalho
VIII – Equipe e Comunicação	Internos		G – Qualidade de Vida
			J – Seleção de Pessoal
		9 – Tratamento dispensado à falha (perda de emprego)	D – Cultura Organizacional
		24 - Habilidade	H – Avaliação de Rendimento
			L – Programas de treinamento

APÊNDICE B: REDES BAYESIANAS DINÂMICAS E REDES DOS FATORES DE DESEMPENHO

Neste apêndice, estão apresentadas as redes dinâmicas das tarefas integradas ao evento básico e às redes dos fatores de desempenho. Além da topologia estão apresentadas as TPC obtidas depois da ajustagem de seus valores de acordo com o item 4.5.3. Não foram repetidas aqui as redes já apresentadas ao longo do texto. Além disto, os eventos para os quais não foram assumidos nós filhos (34 e 41) já estão bem descritos na Figura 22 (a justificativa para os valores empregados nestes eventos encontra-se em Maturana e Martins (2008)).

Os eventos listados na Tabela 82 não foram repetidos neste apêndice. Esta tabela também apresenta justificativas para as exclusões.

Tabela 82 – Eventos não apresentados no Apêndice

Evento não apresentado	Evento semelhante
6-Falha do Procedimento RIPEAM	Evento abordado no texto (ver item sobre o preenchimento das TPC).
23-Oficial dá Ordem Errada	Modelagem idêntica à do evento 11.
25-Timoneiro dá Resposta Errada	Modelagem idêntica à do evento 14.
33-ON Falha	Modelagem idêntica à do evento 32.
39-Erro Não Descoberto	Modelagem idêntica à do evento 32.

De maneira geral, os nós apresentados nas redes estão agrupados (em atividades, habilidades, etc.) de acordo com a Figura 29.

Neste apêndice, as TPC se apresentam após as figuras às quais se relacionam.

Figura 37 – Rede para o evento 5 – Outra Embarcação Não Detectada

Tabela 83 – TPC para o nó Percepção

<i>Alta</i>	<i>Baixa</i>	<i>QualidadedoSono</i>	<i>CondicaoFisica</i>	<i>Ondas</i>	<i>Tempestade</i>
0.90	0.10	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
0.95	0.05	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Sim</i>	<i>Não</i>
0.95	0.05	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Não</i>	<i>Sim</i>
1.00	0.00	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Não</i>	<i>Não</i>
0.85	0.15	<i>Boa</i>	<i>Ruim</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
0.90	0.10	<i>Boa</i>	<i>Ruim</i>	<i>Sim</i>	<i>Não</i>
0.90	0.10	<i>Boa</i>	<i>Ruim</i>	<i>Não</i>	<i>Sim</i>
0.95	0.05	<i>Boa</i>	<i>Ruim</i>	<i>Não</i>	<i>Não</i>
0.85	0.15	<i>Ruim</i>	<i>Boa</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
0.90	0.10	<i>Ruim</i>	<i>Boa</i>	<i>Sim</i>	<i>Não</i>
0.90	0.10	<i>Ruim</i>	<i>Boa</i>	<i>Não</i>	<i>Sim</i>
0.95	0.05	<i>Ruim</i>	<i>Boa</i>	<i>Não</i>	<i>Não</i>
0.80	0.20	<i>Ruim</i>	<i>Ruim</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
0.85	0.15	<i>Ruim</i>	<i>Ruim</i>	<i>Sim</i>	<i>Não</i>
0.85	0.15	<i>Ruim</i>	<i>Ruim</i>	<i>Não</i>	<i>Sim</i>
0.90	0.10	<i>Ruim</i>	<i>Ruim</i>	<i>Não</i>	<i>Não</i>

Tabela 84 – TPC para o nó Concentração

Alta	Baixa	QualidadedoSono	Distrações	TrabalhoMonotono
0.87	0.13	Boa	Sim	Sim
0.93	0.07	Boa	Sim	Não
0.93	0.07	Boa	Não	Sim
1.00	0.00	Boa	Não	Não
0.80	0.20	Ruim	Sim	Sim
0.87	0.13	Ruim	Sim	Não
0.87	0.13	Ruim	Não	Sim
0.93	0.07	Ruim	Não	Não

Tabela 85 – TPC para o nó Percepcao1

Alta	Baixa	QualidadedoSono	CondicaoFisica	Visibilidade
1.00	0.00	Boa	Boa	Alta
0.93	0.07	Boa	Boa	Baixa
0.93	0.07	Boa	Ruim	Alta
0.87	0.13	Boa	Ruim	Baixa
0.93	0.07	Ruim	Boa	Alta
0.87	0.13	Ruim	Boa	Baixa
0.87	0.13	Ruim	Ruim	Alta
0.80	0.20	Ruim	Ruim	Baixa

Tabela 86 – TPC para o nó Percepcao2

Alta	Baixa	QualidadedoSono	CondicaoFisica
1.00	0.00	Boa	Boa
0.90	0.10	Boa	Ruim
0.90	0.10	Ruim	Boa
0.80	0.20	Ruim	Ruim

Tabela 87 – TPC para o nó DectarVisualmente

Sim	Não	DetectarPorRadar	Concentração	Percepcao1
1.00	0.00	Sim	Alta	Alta
1.00	0.00	Sim	Alta	Baixa
1.00	0.00	Sim	Baixa	Alta
1.00	0.00	Sim	Baixa	Baixa
1.00	0.00	Não	Alta	Alta
0.70	0.30	Não	Alta	Baixa
0.70	0.30	Não	Baixa	Alta
0.40	0.60	Não	Baixa	Baixa

Tabela 88 – TPC para o nó DetectarPorRadar

Sim	Não	Percepção	Concentração
1.00	0.00	Alta	Alta
0.70	0.30	Alta	Baixa
0.70	0.30	Baixa	Alta
0.40	0.60	Baixa	Baixa

Tabela 89 – TPC para o nó DetectarPorAlarme

Sim	Não	DectarVisualmente	Concentração	Percepcao2
1.00	0.00	Sim	Alta	Alta
1.00	0.00	Sim	Alta	Baixa
1.00	0.00	Sim	Baixa	Alta
1.00	0.00	Sim	Baixa	Baixa
1.00	0.00	Não	Alta	Alta
0.70	0.30	Não	Alta	Baixa
0.70	0.30	Não	Baixa	Alta
0.40	0.60	Não	Baixa	Baixa

Tabela 90 – TPC para o nó OutraEmbarcacaoNãoDetectada5

	DetectarPorAlarme
Sim	Não
Não	Sim

Tabela 91 – TPC para o nó Distrações

Sim	Não	RecursosFísicos	CoordenacaoDoTrabalho
0.00	1.00	Bom	Boa
0.10	0.90	Bom	Ruim
0.10	0.90	Ruim	Boa
0.20	0.80	Ruim	Ruim

Tabela 92 – TPC para o nó TrabalhoMonotono

Sim	Não	CoordenacaoDoTrabalho
0.00	1.00	Boa
0.20	0.80	Ruim

Tabela 93 – TPC para o nó QualidadeDoSono

Boa	Ruim	CoordenacaoDoTrabalho	CargadeTrabalho
1.00	0.00	Boa	Ideal
0.90	0.10	Boa	Alta
0.90	0.10	Ruim	Ideal
0.80	0.20	Ruim	Alta

Tabela 94 – TPC para o nó CondiçãoFísica

Boa	Ruim	CargadeTrabalho	QualidadeDeVida	SelecaoDePessoal
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.93	0.07	Ideal	Boa	Ruim
0.93	0.07	Ideal	Ruim	Boa
0.87	0.13	Ideal	Ruim	Ruim
0.93	0.07	Alta	Boa	Boa
0.87	0.13	Alta	Boa	Ruim
0.87	0.13	Alta	Ruim	Boa
0.80	0.20	Alta	Ruim	Ruim

Figura 38 – Rede para o evento 10 – Falha de Comunicação

Tabela 95 – TPC para o nó Qualidade do Sono2

Boa	Ruim	Coordenação do Trabalho	Carga de Trabalho
0.93	0.07	Boa	Ideal
0.65	0.35	Boa	Alta
0.65	0.35	Ruim	Ideal
0.37	0.63	Ruim	Alta

Tabela 96 – TPC para o nó Distrações2

Sim	Não	Coordenação do Trabalho	Recursos Físicos
0.07	0.93	Boa	Bom
0.35	0.65	Boa	Ruim
0.35	0.65	Ruim	Bom
0.63	0.37	Ruim	Ruim

Tabela 97 – TPC para o nó Condição Física2

Boa	Ruim	Carga de Trabalho	Seleção de Pessoal	Qualidade de Vida
0.93	0.07	Ideal	Boa	Boa
0.74	0.26	Ideal	Boa	Ruim
0.74	0.26	Ideal	Ruim	Boa
0.56	0.44	Ideal	Ruim	Ruim
0.74	0.26	Alta	Boa	Boa
0.56	0.44	Alta	Boa	Ruim
0.56	0.44	Alta	Ruim	Boa
0.37	0.63	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 98 – TPC para o nó Fadiga

Sim	Não	Carga de Trabalho	Programas da Companhia
0.07	0.93	Ideal	Presente
0.35	0.65	Ideal	Ausente
0.35	0.65	Alta	Presente
0.63	0.37	Alta	Ausente

Tabela 99 – TPC para o nó Personalidade e Inteligência

Adequada	Inadequada	Seleção de Pessoal
0.93	0.07	Boa
0.37	0.63	Ruim

Tabela 100 – TPC para o nó Motivação e Atitude

Alta	Baixa	Carga de Trabalho	Premio Reconhecimento Benefício
0.94	0.06	Ideal	Presente
0.66	0.34	Ideal	Ausente
0.66	0.34	Alta	Presente
0.37	0.63	Alta	Ausente

Tabela 101 – TPC para o nó Conhecimento das Normas

Profundo	Superficial	Formalização	Programas de Treinamento
0.94	0.06	Alta	Adequado
0.66	0.34	Alta	Inadequado
0.66	0.34	Baixa	Adequado
0.37	0.63	Baixa	Inadequado

Tabela 102 – TPC para o nó Estado Atual

Apurado	Incipiente	Coordenação do Trabalho	Rotatividade
0.94	0.06	Boa	Baixa
0.66	0.34	Boa	Alta
0.66	0.34	Ruim	Baixa
0.37	0.63	Ruim	Alta

Tabela 103 – TPC para o nó Tratamento Dado a Falha

Motivador	Desmotivador	Cultura Organizacional	Avaliação de Rendimento
0.94	0.06	Apropriada	Adequada
0.66	0.34	Apropriada	Inadequada
0.66	0.34	Inapropriada	Adequada
0.37	0.63	Inapropriada	Inadequada

Tabela 104 – TPC para o nó Conhecimento das Normas1

Profundo	Superficial	Formalização	Programas de Treinamento
0.94	0.06	Alta	Adequado
0.66	0.34	Alta	Inadequado
0.66	0.34	Baixa	Adequado
0.37	0.63	Baixa	Inadequado

Tabela 105 – TPC para o nó EstadoAtual1

Apurado	Incipiente	CoordenacaodoTrabalho	Rotatividade
0.94	0.06	Boa	Baixa
0.66	0.34	Boa	Alta
0.66	0.34	Ruim	Baixa
0.37	0.63	Ruim	Alta

Tabela 106 – TPC para o nó PersonalidadeeInteligencia1

Adequada	Inadequada	Selecao dePessoal
0.93	0.07	Boa
0.37	0.63	Ruim

Tabela 107 – TPC para o nó Habilidade

Apurada	Incipiente	Programas deTreinamento
0.94	0.06	Adequado
0.37	0.63	Inadequado

Tabela 108 – TPC para o nó Concentracao2

Alta	Baixa	QualidadedoSono2	Distracoes2
0.65	0.35	Boa	Sim
0.93	0.07	Boa	Não
0.37	0.63	Ruim	Sim
0.65	0.35	Ruim	Não

Tabela 109 – TPC para o nó Percepcao8

Alta	Baixa	QualidadedoSono2	CondicaoFisica2	Visibilidade2
0.93	0.07	Boa	Boa	Alta
0.74	0.26	Boa	Boa	Baixa
0.74	0.26	Boa	Ruim	Alta
0.56	0.44	Boa	Ruim	Baixa
0.74	0.26	Ruim	Boa	Alta
0.56	0.44	Ruim	Boa	Baixa
0.56	0.44	Ruim	Ruim	Alta
0.37	0.63	Ruim	Ruim	Baixa

Tabela 110 – TPC para o nó ConhecimentodeProcedimento2

Bom	Ruim	ConhecimentodasNormas1	EstadoAtual1	PersonalidadeeInteligencia1
0.93	0.07	Profundo	Apurado	Adequada
0.74	0.26	Profundo	Apurado	Inadequada
0.74	0.26	Profundo	Incipiente	Adequada
0.56	0.44	Profundo	Incipiente	Inadequada
0.74	0.26	Superficial	Apurado	Adequada
0.56	0.44	Superficial	Apurado	Inadequada
0.56	0.44	Superficial	Incipiente	Adequada
0.37	0.63	Superficial	Incipiente	Inadequada

Tabela 111 – TPC para o nó Flexibilidade

Alta	Baixa	PersonalidadeeInteligencia	Motivacao eAtitude	TratamentoDadoaFalha
0.93	0.07	Adequada	Alta	Motivador
0.74	0.26	Adequada	Alta	Desmotivador
0.74	0.26	Adequada	Baixa	Motivador
0.56	0.44	Adequada	Baixa	Desmotivador
0.74	0.26	Inadequada	Alta	Motivador
0.56	0.44	Inadequada	Alta	Desmotivador
0.56	0.44	Inadequada	Baixa	Motivador
0.37	0.63	Inadequada	Baixa	Desmotivador

Tabela 112 – TPC para o nó ConhecimentodeProcedimento

Bom	Ruim	PersonalidadeeInteligencia	ConhecimentodasNormas	EstadoAtual
0.93	0.07	Adequada	Profundo	Apurado
0.74	0.26	Adequada	Profundo	Incipiente
0.74	0.26	Adequada	Superficial	Apurado
0.56	0.44	Adequada	Superficial	Incipiente
0.74	0.26	Inadequada	Profundo	Apurado
0.56	0.44	Inadequada	Profundo	Incipiente
0.56	0.44	Inadequada	Superficial	Apurado
0.37	0.63	Inadequada	Superficial	Incipiente

Tabela 113 – TPC para o nó EquipeComunicacao

Bom	Ruim	TratamentoDadoaFalha	Habilidade
0.93	0.07	Motivador	Apurada
0.65	0.35	Motivador	Incipiente
0.65	0.35	Desmotivador	Apurada
0.37	0.63	Desmotivador	Incipiente

Tabela 114 – TPC para o nó Percepcao7

Alta	Baixa	Qualidade do Sono2	Condição Física2
0.93	0.07	Boa	Boa
0.65	0.35	Boa	Ruim
0.65	0.35	Ruim	Boa
0.37	0.63	Ruim	Ruim

Tabela 115 – TPC para o nó Interpretação

Rápida	Lenta	Fadiga	Personalidade e Inteligência	Motivação e Atitude
0.74	0.26	Sim	Adequada	Alta
0.56	0.44	Sim	Adequada	Baixa
0.56	0.44	Sim	Inadequada	Alta
0.37	0.63	Sim	Inadequada	Baixa
0.93	0.07	Não	Adequada	Alta
0.74	0.26	Não	Adequada	Baixa
0.74	0.26	Não	Inadequada	Alta
0.56	0.44	Não	Inadequada	Baixa

Tabela 116 – TPC para o nó Entender Interlocutor2

Sim	Não	Decidir Contato Outro Meio	Concentração2	Percepção8
1.00	0.00	Sim	Alta	Alta
0.70	0.30	Sim	Alta	Baixa
0.70	0.30	Sim	Baixa	Alta
0.40	0.60	Sim	Baixa	Baixa
0.00	1.00	Não	Alta	Alta
0.00	1.00	Não	Alta	Baixa
0.00	1.00	Não	Baixa	Alta
0.00	1.00	Não	Baixa	Baixa

Tabela 117 – TPC para o nó Decidir Contato Outro Meio

Sim	Não	Entender Interlocutor	Conseguir Contato Radi	Interpretação	Conhecimento de Procedimento	Flexibilidade
0.00	1.00	Sim	Sim	Rápida	Bom	Alta
0.00	1.00	Sim	Sim	Rápida	Bom	Baixa
0.00	1.00	Sim	Sim	Rápida	Ruim	Alta
0.00	1.00	Sim	Sim	Rápida	Ruim	Baixa
0.00	1.00	Sim	Sim	Lenta	Bom	Alta
0.00	1.00	Sim	Sim	Lenta	Bom	Baixa
0.00	1.00	Sim	Sim	Lenta	Ruim	Alta
0.00	1.00	Sim	Sim	Lenta	Ruim	Baixa
0.00	1.00	Sim	Não	Rápida	Bom	Alta
0.00	1.00	Sim	Não	Rápida	Bom	Baixa
0.00	1.00	Sim	Não	Rápida	Ruim	Alta
0.00	1.00	Sim	Não	Rápida	Ruim	Baixa
0.00	1.00	Sim	Não	Lenta	Bom	Alta
0.00	1.00	Sim	Não	Lenta	Bom	Baixa
0.00	1.00	Sim	Não	Lenta	Ruim	Alta
0.00	1.00	Sim	Não	Lenta	Ruim	Baixa
1.00	0.00	Não	Sim	Rápida	Bom	Alta
0.80	0.20	Não	Sim	Rápida	Bom	Baixa
0.80	0.20	Não	Sim	Rápida	Ruim	Alta
0.60	0.40	Não	Sim	Rápida	Ruim	Baixa
0.80	0.20	Não	Sim	Lenta	Bom	Alta
0.60	0.40	Não	Sim	Lenta	Bom	Baixa
0.60	0.40	Não	Sim	Lenta	Ruim	Alta
0.40	0.60	Não	Sim	Lenta	Ruim	Baixa
1.00	0.00	Não	Não	Rápida	Bom	Alta
0.80	0.20	Não	Não	Rápida	Bom	Baixa
0.80	0.20	Não	Não	Rápida	Ruim	Alta
0.60	0.40	Não	Não	Rápida	Ruim	Baixa
0.80	0.20	Não	Não	Lenta	Bom	Alta
0.60	0.40	Não	Não	Lenta	Bom	Baixa
0.60	0.40	Não	Não	Lenta	Ruim	Alta
0.40	0.60	Não	Não	Lenta	Ruim	Baixa

Tabela 118 – TPC para o nó Decidir Fazer Contato

Sim	Não	Interpretação	Conhecimento de Procedimento	Equipe de Comunicação
1.00	0.00	Rápida	Bom	Bom
0.80	0.20	Rápida	Bom	Ruim
0.80	0.20	Rápida	Ruim	Bom
0.60	0.40	Rápida	Ruim	Ruim
0.80	0.20	Lenta	Bom	Bom
0.60	0.40	Lenta	Bom	Ruim
0.60	0.40	Lenta	Ruim	Bom
0.40	0.60	Lenta	Ruim	Ruim

Tabela 119 – TPC para o nó ConseguirContatoRadio

Sim	Não	DecidirFazerContato	EquipeComunicacao	Concentracao2	ConhecimentodeProcedimento2
1.00	0.00	Sim	Alta	Bom	Bom
0.80	0.20	Sim	Alta	Bom	Ruim
0.80	0.20	Sim	Alta	Ruim	Bom
0.60	0.40	Sim	Alta	Ruim	Ruim
0.80	0.20	Sim	Baixa	Bom	Bom
0.60	0.40	Sim	Baixa	Bom	Ruim
0.60	0.40	Sim	Baixa	Ruim	Bom
0.40	0.06	Sim	Baixa	Ruim	Ruim
0.00	1.00	Não	Alta	Bom	Bom
0.00	1.00	Não	Alta	Bom	Ruim
0.00	1.00	Não	Alta	Ruim	Bom
0.00	1.00	Não	Alta	Ruim	Ruim
0.00	1.00	Não	Baixa	Bom	Bom
0.00	1.00	Não	Baixa	Bom	Ruim
0.00	1.00	Não	Baixa	Ruim	Bom
0.00	1.00	Não	Baixa	Ruim	Ruim

Tabela 120 – TPC para o nó EntenderInterlocutor

Sim	Não	ConseguirContatoRadio	Concentracao2	Percepcao7
1.00	0.00	Sim	Alta	Alta
0.70	0.30	Sim	Alta	Baixa
0.70	0.30	Sim	Baixa	Alta
0.40	0.60	Sim	Baixa	Baixa
0.00	1.00	Não	Alta	Alta
0.00	1.00	Não	Alta	Baixa
0.00	1.00	Não	Baixa	Alta
0.00	1.00	Não	Baixa	Baixa

Tabela 121 – TPC para o nó FalhadaComunicacao10

	EntenderInterlocutor2	EntenderInterlocutor	DecidirFazerContato
Não	Sim	Sim	Sim
Sim	Sim	Sim	Não
Não	Sim	Não	Sim
Sim	Sim	Não	Não
Não	Não	Sim	Sim
Sim	Não	Sim	Não
Sim	Não	Não	Sim
Sim	Não	Não	Não

Figura 39 – Rede para o evento 11 – Oficial dá Ordem Errada

Tabela 122 – TPC para o nó Distracoes3

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho	RecursosFisicos
0.00	1.00	Boa	Bom
0.20	0.80	Boa	Ruim
0.20	0.80	Ruim	Bom
0.40	0.60	Ruim	Ruim

Tabela 123 – TPC para o nó QualidadeDoSono4

Boa	Ruim	CoordenacaodoTrabalho	CargadeTrabalho
1.00	0.00	Boa	Ideal
0.80	0.20	Boa	Alta
0.80	0.20	Ruim	Ideal
0.60	0.40	Ruim	Alta

Tabela 124 – TPC para o nó Fadiga1

Sim	Não	CargadeTrabalho	ProgramasdaCompanhia
0.00	1.00	Ideal	Presente
0.20	0.80	Ideal	Ausente
0.20	0.80	Alta	Presente
0.40	0.60	Alta	Ausente

Tabela 125 – TPC para o nó CondicaoFisica4

Boa	Ruim	CargadeTrabalho	QualidadeDeVida	SelecaoDePessoal
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.87	0.13	Ideal	Boa	Ruim
0.87	0.13	Ideal	Ruim	Boa
0.73	0.27	Ideal	Ruim	Ruim
0.87	0.13	Alta	Boa	Boa
0.73	0.27	Alta	Boa	Ruim
0.73	0.27	Alta	Ruim	Boa
0.60	0.40	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 126 – TPC para o nó PersonalidadeeInteligencia3

Adequada	Inadequada	SelecaoDePessoal
1.00	0.00	Boa
0.60	0.40	Ruim

Tabela 127 – TPC para o nó TratamentoDadoaFalha2

Motivador	Desmotivador	CulturaOrganizacional	AvaliacaoDeRendimento
1.00	0.00	Apropriada	Adequada
0.80	0.20	Apropriada	Inadequada
0.80	0.20	Inapropriada	Adequada
0.60	0.40	Inapropriada	Inadequada

Tabela 128 – TPC para o nó Percepcao9

Alta	Baixa	QualidadeDoSono4	CondicaoFisica4	Visibilidade3
1.00	0.00	Boa	Boa	Alta
0.87	0.13	Boa	Boa	Baixa
0.87	0.13	Boa	Ruim	Alta
0.73	0.27	Boa	Ruim	Baixa
0.87	0.13	Ruim	Boa	Alta
0.73	0.27	Ruim	Boa	Baixa
0.73	0.27	Ruim	Ruim	Alta
0.60	0.40	Ruim	Ruim	Baixa

Tabela 129 – TPC para o nó Flexibilidade1

Alta	Baixa	TratamentoDadoaFalha2	MotivacaoeAtitude1	PersonalidadeeInteligencia3
1.00	0.00	Motivador	Alta	Adequada
0.87	0.13	Motivador	Alta	Inadequada
0.87	0.13	Motivador	Baixa	Adequada
0.73	0.27	Motivador	Baixa	Inadequada
0.87	0.13	Desmotivador	Alta	Adequada
0.73	0.27	Desmotivador	Alta	Inadequada
0.73	0.27	Desmotivador	Baixa	Adequada
0.60	0.40	Desmotivador	Baixa	Inadequada

Tabela 130 – TPC para o nó Interpretacao1

Rápida	Lenta	MotivacaoeAtitude1	PersonalidadeeInteligencia3	Fadiga1
0.87	0.13	Alta	Adequada	Sim
1.00	0.00	Alta	Adequada	Não
0.73	0.27	Alta	Inadequada	Sim
0.87	0.13	Alta	Inadequada	Não
0.73	0.27	Baixa	Adequada	Sim

0.87	0.13	Baixa	Adequada	Não
0.60	0.40	Baixa	Inadequada	Sim
0.73	0.27	Baixa	Inadequada	Não

Tabela 131 – TPC para o nó MotivacaoeAtitude1

Alta	Baixa	CargadeTrabalho	PremioReconhecimentoBeneficio
1.00	0.00	Ideal	Presente
0.80	0.20	Ideal	Ausente
0.80	0.20	Alta	Presente
0.60	0.40	Alta	Ausente

Tabela 132 – TPC para o nó Habilidade2

Apurada	Incipiente	ProgramasdeTreinamento
1.00	0.00	Adequado
0.60	0.40	Inadequado

Tabela 133 – TPC para o nó Concentracao3

Alta	Baixa	QualidadedoSono4	Distracoes3
0.80	0.20	Boa	Sim
1.00	0.00	Boa	Não
0.60	0.40	Ruim	Sim
0.80	0.20	Ruim	Não

Tabela 134 – TPC para o nó EquipeComunicacao2

Bom	Ruim	TratamentoDadoaFalha2	Habilidade2
1.00	0.00	Motivador	Apurada
0.80	0.20	Motivador	Incipiente
0.80	0.20	Desmotivador	Apurada
0.60	0.40	Desmotivador	Incipiente

Tabela 135 – TPC para o nó Planejamento

Adequado	Inadequado	Habilidade2	PersonalidadeeInteligencia3
1.00	0.00	Apurada	Adequada
0.80	0.20	Apurada	Inadequada
0.80	0.20	Incipiente	Adequada
0.60	0.40	Incipiente	Inadequada

Tabela 136 – TPC para o nó Deteccao do Erro

Sim	Não	EntendeDemanda	TomadadeDecisao	Concentracao3	Percepcao9	EquipeComunicacao2
0.00	1.00	Sim	Sucesso	Alta	Alta	Bom
0.00	1.00	Sim	Sucesso	Alta	Alta	Ruim
0.00	1.00	Sim	Sucesso	Alta	Baixa	Bom
0.00	1.00	Sim	Sucesso	Alta	Baixa	Ruim
0.00	1.00	Sim	Sucesso	Baixa	Alta	Bom
0.00	1.00	Sim	Sucesso	Baixa	Alta	Ruim
0.00	1.00	Sim	Sucesso	Baixa	Baixa	Bom
0.00	1.00	Sim	Sucesso	Baixa	Baixa	Ruim
1.00	0.00	Sim	Falha	Alta	Alta	Bom
0.80	0.20	Sim	Falha	Alta	Alta	Ruim
0.80	0.20	Sim	Falha	Alta	Baixa	Bom
0.60	0.40	Sim	Falha	Alta	Baixa	Ruim
0.80	0.20	Sim	Falha	Baixa	Alta	Bom
0.60	0.40	Sim	Falha	Baixa	Alta	Ruim
0.60	0.40	Sim	Falha	Baixa	Baixa	Bom
0.40	0.60	Sim	Falha	Baixa	Baixa	Ruim
1.00	0.00	Não	Sucesso	Alta	Alta	Bom
0.80	0.20	Não	Sucesso	Alta	Alta	Ruim
0.80	0.20	Não	Sucesso	Alta	Baixa	Bom
0.60	0.40	Não	Sucesso	Alta	Baixa	Ruim
0.80	0.20	Não	Sucesso	Baixa	Alta	Bom
0.60	0.40	Não	Sucesso	Baixa	Alta	Ruim
0.60	0.40	Não	Sucesso	Baixa	Baixa	Bom
0.40	0.60	Não	Sucesso	Baixa	Baixa	Ruim
1.00	0.00	Não	Falha	Alta	Alta	Bom
0.80	0.20	Não	Falha	Alta	Alta	Ruim
0.80	0.20	Não	Falha	Alta	Baixa	Bom
0.60	0.40	Não	Falha	Alta	Baixa	Ruim
0.80	0.20	Não	Falha	Baixa	Alta	Bom
0.60	0.40	Não	Falha	Baixa	Alta	Ruim
0.60	0.40	Não	Falha	Baixa	Baixa	Bom
0.40	0.60	Não	Falha	Baixa	Baixa	Ruim

Tabela 137 – TPC para o nó EntendeDemanda

Sim	Não	Concentracao3	Percepcao9
1.00	0.00	Alta	Alta
0.70	0.30	Alta	Baixa

0.70	0.30	Baixa	Alta
0.40	0.60	Baixa	Baixa

Tabela 138 – TPC para o nó Tomada de Decisão

Sucesso	Falha	Entende Demanda	Flexibilidade 1	Planejamento	Interpretação 1
1.00	0.00	Sim	Alta	Adequado	Rápida
0.80	0.20	Sim	Alta	Adequado	Lenta
0.80	0.20	Sim	Alta	Inadequado	Rápida
0.60	0.40	Sim	Alta	Inadequado	Lenta
0.80	0.20	Sim	Baixa	Adequado	Rápida
0.60	0.40	Sim	Baixa	Adequado	Lenta
0.60	0.40	Sim	Baixa	Inadequado	Rápida
0.40	0.60	Sim	Baixa	Inadequado	Lenta
0.00	1.00	Não	Alta	Adequado	Rápida
0.00	1.00	Não	Alta	Adequado	Lenta
0.00	1.00	Não	Alta	Inadequado	Rápida
0.00	1.00	Não	Alta	Inadequado	Lenta
0.00	1.00	Não	Baixa	Adequado	Rápida
0.00	1.00	Não	Baixa	Adequado	Lenta
0.00	1.00	Não	Baixa	Inadequado	Rápida
0.00	1.00	Não	Baixa	Inadequado	Lenta

Tabela 139 – TPC para o nó Oficial da Ordem Errada 11

	Deteção do Erro	Tomada de Decisão
Não	Sim	Sucesso
Não	Sim	Falha
Não	Não	Sucesso
Sim	Não	Falha

Figura 40 – Rede para o evento 14 – Timoneiro dá Resposta Errada

Tabela 140 – TPC para o nó Qualidade do Sono 5

Boa	Ruim	Carga de Trabalho	Coordenação do Trabalho
1.00	0.00	Ideal	Boa
0.94	0.06	Ideal	Ruim
0.94	0.06	Alta	Boa
0.88	0.12	Alta	Ruim

Tabela 141 – TPC para o nó Distracões 4

Sim	Não	Coordenação do Trabalho	Recursos Físicos
0.00	1.00	Boa	Bom
0.06	0.94	Boa	Ruim
0.06	0.94	Ruim	Bom
0.12	0.88	Ruim	Ruim

Tabela 142 – TPC para o nó TratamentoDadoaFalha3

Motivador	Desmotivador	CulturaOrganizacional	AvaliacaodeRendimento
1.00	0.00	Apropriada	Adequada
0.94	0.06	Apropriada	Inadequada
0.94	0.06	Inapropriada	Adequada
0.88	0.12	Inapropriada	Inadequada

Tabela 143 – TPC para o nó Habilidade3

Apurada	Incipiente	ProgramasdeTreinamento
1.00	0.00	Adequado
0.88	0.12	Inadequado

Tabela 144 – TPC para o nó CondicaoFisica5

Boa	Ruim	CargadeTrabalho	QualidadedeVida	SelecaoPessoal
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.96	0.04	Ideal	Boa	Ruim
0.96	0.04	Ideal	Ruim	Boa
0.92	0.08	Ideal	Ruim	Ruim
0.96	0.04	Alta	Boa	Boa
0.92	0.08	Alta	Boa	Ruim
0.92	0.08	Alta	Ruim	Boa
0.88	0.12	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 145 – TPC para o nó Fadiga2

Sim	Não	CargadeTrabalho	CoordenacaodoTrabalho
0.00	1.00	Ideal	Boa
0.06	0.94	Ideal	Boa
0.06	0.94	Alta	Ruim
0.12	0.88	Alta	Ruim

Tabela 146 – TPC para o nó EquipeComunicacao3

Bom	Ruim	TratamentoDadoaFalha3	Habilidade3
1.00	0.00	Motivador	Apurada
0.94	0.06	Motivador	Incipiente
0.94	0.06	Desmotivador	Apurada
0.88	0.12	Desmotivador	Incipiente

Tabela 147 – TPC para o nó ControleMotor

Bom	Ruim	Habilidade3	CondicaoFisica5	Fadiga2
0.96	0.04	Apurada	Boa	Sim
1.00	0.00	Apurada	Boa	Não
0.92	0.08	Apurada	Ruim	Sim
0.96	0.04	Apurada	Ruim	Não
0.92	0.08	Incipiente	Boa	Sim
0.96	0.04	Incipiente	Boa	Não
0.88	0.12	Incipiente	Ruim	Sim
0.92	0.08	Incipiente	Ruim	Não

Tabela 148 – TPC para o nó Concentracao4

Alta	Baixa	QualidadedoSono5	Distracoes4
0.94	0.06	Boa	Sim
1.00	0.00	Boa	Não
0.94	0.06	Ruim	Sim
0.88	0.12	Ruim	Não

Tabela 149 – TPC para o nó TimoneirodaRespErrada14

Sim	Não	Concentracao4	EquipeComunicacao3	ControleMotor
0.00	1.00	Alta	Bom	Bom
0.20	0.80	Alta	Bom	Ruim
0.20	0.80	Alta	Ruim	Bom
0.40	0.60	Alta	Ruim	Ruim
0.20	0.80	Baixa	Bom	Bom
0.40	0.60	Baixa	Bom	Ruim
0.40	0.60	Baixa	Ruim	Bom
0.60	0.40	Baixa	Ruim	Ruim

Figura 41 – Rede para o evento 29 – Erro de Marcação

Tabela 150 – TPC para o nó TrabalhoMonotono2

Sim	Não	CoordenacaoTrabalho
0.00	1.00	Boa
0.19	0.81	Ruim

Tabela 151 – TPC para o nó QualidadeSono8

Boa	Ruim	CoordenacaoTrabalho	CargadeTrabalho
1.00	0.00	Boa	Ideal
0.91	0.09	Boa	Alta
0.91	0.09	Ruim	Ideal
0.81	0.19	Ruim	Alta

Tabela 152 – TPC para o nó Distracoes7

Sim	Não	CoordenacaoTrabalho	RecursosFisicos
0.00	1.00	Boa	Bom
0.09	0.91	Boa	Ruim
0.09	0.91	Ruim	Bom
0.19	0.81	Ruim	Ruim

Tabela 153 – TPC para o nó CondicaoFisica8

Boa	Ruim	CargadeTrabalho	SelecaoPessoal	QualidadeVida1
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.94	0.06	Ideal	Boa	Ruim
0.94	0.06	Ideal	Ruim	Boa
0.87	0.13	Ideal	Ruim	Ruim
0.94	0.06	Alta	Boa	Boa
0.87	0.13	Alta	Boa	Ruim
0.87	0.13	Alta	Ruim	Boa
0.81	0.19	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 154 – TPC para o nó Distracoes8

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho	RecursosFisicos
0.00	1.00	Boa	Bom
0.09	0.91	Boa	Ruim
0.09	0.91	Ruim	Bom
0.19	0.81	Ruim	Ruim

Tabela 155 – TPC para o nó TrabalhoMonotono3

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho
0.00	1.00	Boa
0.19	0.81	Ruim

Tabela 156 – TPC para o nó QualidadeoSono10

Boa	Ruim	CoordenacaodoTrabalho	CargadeTrabalho
1.00	0.00	Boa	Ideal
0.91	0.09	Boa	Alta
0.91	0.09	Ruim	Ideal
0.81	0.19	Ruim	Alta

Tabela 157 – TPC para o nó Habilidade6

Apurada	Incipiente	ProgramasdeTreinamento
1.00	0.00	Adequado
0.81	0.19	Inadequado

Tabela 158 – TPC para o nó TratamentoDadoaFalha6

Motivador	Desmotivador	AvaliacaodeRendimento	CulturaOrganizacional
1.00	0.00	Adequada	Apropriada
0.91	0.09	Adequada	Inapropriada
0.91	0.09	Inadequada	Apropriada
0.81	0.19	Inadequada	Inapropriada

Tabela 159 – TPC para o nó QualidadeoSono11

Boa	Ruim	CoordenacaodoTrabalho	CargadeTrabalho
1.00	0.00	Boa	Ideal
0.91	0.09	Boa	Alta
0.91	0.09	Ruim	Ideal
0.81	0.19	Ruim	Alta

Tabela 160 – TPC para o nó TrabalhoMonotono4

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho
0.00	1.00	Boa
0.19	0.81	Ruim

Tabela 161 – TPC para o nó Distracoes9

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho	RecursosFisicos
0.00	1.00	Boa	Bom
0.09	0.91	Boa	Ruim
0.09	0.91	Ruim	Bom
0.19	0.81	Ruim	Ruim

Tabela 162 – TPC para o nó ExperienciaTreinamento

Apurado	Incipiente	Rotatividade	ProgramasdeTreinamento
1.00	0.00	Baixa	Adequado
0.91	0.09	Baixa	Inadequado
0.91	0.09	Alta	Adequado
0.81	0.19	Alta	Inadequado

Tabela 163 – TPC para o nó CondicaoFisica9

Boa	Ruim	CargadeTrabalho	SelecaoPessoal	QualidadedeVida
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.94	0.06	Ideal	Boa	Ruim
0.94	0.06	Ideal	Ruim	Boa
0.87	0.13	Ideal	Ruim	Ruim
0.94	0.06	Alta	Boa	Boa
0.87	0.13	Alta	Boa	Ruim
0.87	0.13	Alta	Ruim	Boa
0.81	0.19	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 164 – TPC para o nó Percepcao13

Alta	Baixa	CondicaoFisica10	QualidadedeSono11
1.00	0.00	Boa	Boa
0.91	0.09	Boa	Ruim
0.91	0.09	Ruim	Boa
0.81	0.19	Ruim	Ruim

Tabela 165 – TPC para o nó CondicaoFisica10

Boa	Ruim	CargadeTrabalho	SelecaoDePessoal	QualidadeDeVida
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.94	0.06	Ideal	Boa	Ruim
0.94	0.06	Ideal	Ruim	Boa
0.87	0.13	Ideal	Ruim	Ruim
0.94	0.06	Alta	Boa	Boa
0.87	0.13	Alta	Boa	Ruim
0.87	0.13	Alta	Ruim	Boa
0.81	0.19	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 166 – TPC para o nó ErrodeMarcacao29

	FalhaMaterialImprevista	MarcacaoCartaNautica	ComandanteDetectaErro
Sim	Sim	Falha	Sim
Sim	Sim	Falha	Não
Sim	Sim	Sucesso	Sim
Sim	Sim	Sucesso	Não
Não	Não	Falha	Sim
Sim	Não	Falha	Não
Não	Não	Sucesso	Sim
Não	Não	Sucesso	Não

Tabela 167 – TPC para o nó RespeitoIntervalosdeMarcacao

Sim	Não	FrequenciaRepetitividade
1.00	0.00	Boa
0.40	0.60	Ruim

Tabela 168 – TPC para o nó LeituraPosicao

Falha	Sucesso	RespeitoIntervalosdeMarcacao	Concentracao10	Percepcao13
0.00	1.00	Sim	Alta	Alta
0.30	0.70	Sim	Alta	Baixa
0.30	0.70	Sim	Baixa	Alta
0.60	0.40	Sim	Baixa	Baixa
1.00	0.00	Não	Alta	Alta
1.00	0.00	Não	Alta	Baixa
1.00	0.00	Não	Baixa	Alta
1.00	0.00	Não	Baixa	Baixa

Tabela 169 – TPC para o nó ComandanteDetectaErro

Sim	Não	MarcacaoCartaNautica	Concentracao9	Percepcao12	EquipeComunicacao7
1.00	0.00	Falha	Alta	Alta	Bom
0.80	0.20	Falha	Alta	Alta	Ruim
0.80	0.20	Falha	Alta	Baixa	Bom
0.60	0.40	Falha	Alta	Baixa	Ruim
0.80	0.20	Falha	Baixa	Alta	Bom
0.60	0.40	Falha	Baixa	Alta	Ruim
0.60	0.40	Falha	Baixa	Baixa	Bom
0.40	0.60	Falha	Baixa	Baixa	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Alta	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Alta	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Baixa	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Baixa	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Alta	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Alta	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Baixa	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Baixa	Ruim

Tabela 170 – TPC para o nó FalhaMaterialImprevista

Sim	Não	ChecagemEquipamento
0.00	1.00	Completa
0.25	0.75	Incompleta

Tabela 171 – TPC para o nó MarcacaoCartaNautica

Falha	Sucesso	LeituraPosicao	ControleMotor2	Concentracao10
1.00	0.00	Falha	Bom	Alta
1.00	0.00	Falha	Bom	Baixa
1.00	0.00	Falha	Ruim	Alta
1.00	0.00	Falha	Ruim	Baixa
0.00	1.00	Sucesso	Bom	Alta
0.30	0.70	Sucesso	Bom	Baixa
0.30	0.70	Sucesso	Ruim	Alta
0.60	0.40	Sucesso	Ruim	Baixa

Tabela 172 – TPC para o nó ChecagemEquipamento

Completa	Incompleta	Concentracao8	ConhecimentodeProcedimento3	Percepcao11
1.00	0.00	Alta	Bom	Alta
0.80	0.20	Alta	Bom	Baixa
0.80	0.20	Alta	Ruim	Alta
0.60	0.40	Alta	Ruim	Baixa
0.80	0.20	Baixa	Bom	Alta
0.60	0.40	Baixa	Bom	Baixa
0.60	0.40	Baixa	Ruim	Alta
0.40	0.60	Baixa	Ruim	Baixa

Tabela 173 – TPC para o nó EquipeComunicacao7

Bom	Ruim	Habilidade6	TratamentoDadoaFalha6
1.00	0.00	Apurada	Motivador
0.91	0.09	Apurada	Desmotivador
0.91	0.09	Incipiente	Motivador
0.81	0.19	Incipiente	Desmotivador

Tabela 174 – TPC para o nó Percepcao12

Alta	Baixa	QualidadedoSono10	CondicaoFisica9
1.00	0.00	Boa	Boa
0.91	0.09	Boa	Ruim
0.91	0.09	Ruim	Boa
0.81	0.19	Ruim	Ruim

Tabela 175 – TPC para o nó Concentracao9

Alta	Baixa	QualidadedoSono10	Distracoes8	TrabalhoMonotono3
0.87	0.13	Boa	Sim	Sim
0.94	0.06	Boa	Sim	Não
0.94	0.06	Boa	Não	Sim
1.00	0.00	Boa	Não	Não
0.81	0.19	Ruim	Sim	Sim
0.87	0.13	Ruim	Sim	Não
0.87	0.13	Ruim	Não	Sim
0.94	0.06	Ruim	Não	Não

Tabela 176 – TPC para o nó Percepcao11

Alta	Baixa	QualidadedoSono8	CondicaoFisica8
1.00	0.00	Boa	Boa
0.91	0.09	Boa	Ruim
0.91	0.09	Ruim	Boa
0.81	0.19	Ruim	Ruim

Tabela 177 – TPC para o nó Concentracao8

Alta	Baixa	QualidadedoSono8	TrabalhoMonotono2	Distracoes7
0.87	0.13	Boa	Sim	Sim
0.94	0.06	Boa	Sim	Não
0.94	0.06	Boa	Não	Sim
1.00	0.00	Boa	Não	Não
0.81	0.19	Ruim	Sim	Sim
0.87	0.13	Ruim	Sim	Não
0.87	0.13	Ruim	Não	Sim
0.94	0.06	Ruim	Não	Não

Tabela 178 – TPC para o nó Concentracao10

Alta	Baixa	QualidadedoSono11	TrabalhoMonotono4	Distracoes9
0.87	0.13	Boa	Sim	Sim
0.94	0.06	Boa	Sim	Não
0.94	0.06	Boa	Não	Sim
1.00	0.00	Boa	Não	Não
0.81	0.19	Ruim	Sim	Sim
0.87	0.13	Ruim	Sim	Não
0.87	0.13	Ruim	Não	Sim
0.94	0.06	Ruim	Não	Não

Tabela 179 – TPC para o nó FrequenciaRepetitividade

Bom	Ruim	QualidadedoSono11	TrabalhoMonotono4	Distracoes9
0.87	0.13	Boa	Sim	Sim
0.94	0.06	Boa	Sim	Não
0.94	0.06	Boa	Não	Sim
1.00	0.00	Boa	Não	Não
0.81	0.19	Ruim	Sim	Sim
0.87	0.13	Ruim	Sim	Não
0.87	0.13	Ruim	Não	Sim
0.94	0.06	Ruim	Não	Não

Tabela 180 – TPC para o nó ControleMotor2

Bom	Ruim	CondicaoFisica10	QualidadeDoSono11
1.00	0.00	Boa	Boa
0.91	0.09	Boa	Ruim
0.91	0.09	Ruim	Boa
0.81	0.19	Ruim	Ruim

Tabela 181 – TPC para o nó ConhecimentoDoProcedimento3

Bom	Ruim	ExperienciaTreinamento
1.00	0.00	Apurado
0.81	0.19	Incipiente

Figura 42 – Rede para o evento 32 – Capitão Falha

Tabela 182 – TPC para o nó EquipeComunicacao8

Bom	Ruim	Habilidade7	TratamentoDadoaFalha7
1.00	0.00	Apurada	Motivador
0.70	0.30	Apurada	Desmotivador
0.70	0.30	Incipiente	Motivador
0.40	0.60	Incipiente	Desmotivador

Tabela 183 – TPC para o nó CondicaoFisica11

Boa	Ruim	CargadeTrabalho	QualidadeDeVida	SelecaoDePessoal
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.80	0.20	Ideal	Boa	Ruim
0.80	0.20	Ideal	Ruim	Boa
0.60	0.40	Ideal	Ruim	Ruim
0.80	0.20	Alta	Boa	Boa
0.60	0.40	Alta	Boa	Ruim
0.60	0.40	Alta	Ruim	Boa
0.40	0.60	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 184 – TPC para o nó Concentracao11

Alta	Baixa	QualidadeDoSono12	Distracoes10	TrabalhoMonotonos5
0.60	0.40	Boa	Sim	Sim
0.80	0.20	Boa	Sim	Não
0.80	0.20	Boa	Não	Sim
1.00	0.00	Boa	Não	Não
0.40	0.60	Ruim	Sim	Sim
0.60	0.40	Ruim	Sim	Não
0.60	0.40	Ruim	Não	Sim
0.80	0.20	Ruim	Não	Não

Tabela 185 – TPC para o nó Percepcao14

Alta	Baixa	Qualidade do Sono12	Condição Física11
1.00	0.00	Boa	Boa
0.70	0.30	Boa	Ruim
0.70	0.30	Ruim	Boa
0.40	0.60	Ruim	Ruim

Tabela 186 – TPC para o nó Trabalho Monotono5

Sim	Não	Coordenação do Trabalho
0.00	1.00	Boa
0.60	0.40	Ruim

Tabela 187 – TPC para o nó Qualidade do Sono12

Boa	Ruim	Coordenação do Trabalho	Carga de Trabalho
1.00	0.00	Boa	Ideal
0.70	0.30	Boa	Alta
0.70	0.30	Ruim	Ideal
0.40	0.60	Ruim	Alta

Tabela 188 – TPC para o nó Habilidade7

Apurada	Incipiente	Programas de Treinamento
1.00	0.00	Adequado
0.40	0.60	Inadequado

Tabela 189 – TPC para o nó Tratamento da Falha7

Motivador	Desmotivador	Cultura Organizacional	Avaliação de Rendimento
1.00	0.00	Apropriada	Adequada
0.70	0.30	Apropriada	Inadequada
0.70	0.30	Inapropriada	Adequada
0.40	0.60	Inapropriada	Inadequada

Tabela 190 – TPC para o nó Distrações10

Sim	Não	Coordenação do Trabalho	Recursos Físicos
0.00	1.00	Boa	Bom
0.30	0.70	Boa	Ruim
0.30	0.70	Ruim	Bom
0.60	0.40	Ruim	Ruim

Tabela 191 – TPC para o nó Comandante Falha32

Sim	Não	Concentração11	Percepção14	Equipe de Comunicação8
0.00	1.00	Alta	Alta	Bom
0.20	0.80	Alta	Alta	Ruim
0.20	0.80	Alta	Baixa	Bom
0.40	0.60	Alta	Baixa	Ruim
0.20	0.80	Baixa	Alta	Bom
0.40	0.60	Baixa	Alta	Ruim
0.40	0.60	Baixa	Baixa	Bom
0.60	0.40	Baixa	Baixa	Ruim

Figura 43 – Rede para o evento 36 – Erro de Atenção

Tabela 192 – TPC para o nó Fadiga5

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho	CargadeTrabalho
0.00	1.00	Boa	Ideal
0.22	0.78	Boa	Alta
0.22	0.78	Ruim	Ideal
0.45	0.55	Ruim	Alta

Tabela 193 – TPC para o nó CondicaoFisica13

Boa	Ruim	CargadeTrabalho	QualidadedeVida	SelecaoDePessoal
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.85	0.15	Ideal	Boa	Ruim
0.85	0.15	Ideal	Ruim	Boa
0.70	0.30	Ideal	Ruim	Ruim
0.85	0.15	Alta	Boa	Boa
0.70	0.30	Alta	Boa	Ruim
0.70	0.30	Alta	Ruim	Boa
0.55	0.45	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 194 – TPC para o nó QualidadeDoSono14

Boa	Ruim	CoordenacaodoTrabalho	CargadeTrabalho
1.00	0.00	Boa	Ideal
0.78	0.22	Boa	Alta
0.78	0.22	Ruim	Ideal
0.55	0.45	Ruim	Alta

Tabela 195 – TPC para o nó TrabalhoMonotono7

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho
0.00	1.00	Boa
0.45	0.55	Ruim

Tabela 196 – TPC para o nó Distracoes12

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho	RecursosFisicos
0.00	1.00	Boa	Bom
0.22	0.78	Boa	Ruim
0.22	0.78	Ruim	Bom
0.45	0.55	Ruim	Ruim

Tabela 197 – TPC para o nó ResistenciaFisica

Boa	Ruim	Fadiga5
0.55	0.45	Sim
1.00	0.00	Não

Tabela 198 – TPC para o nó Percepcao16

Alta	Baixa	QualidadeDoSono14	CondicaoFisica13	Visibilidade5
1.00	0.00	Boa	Boa	Alta
0.85	0.15	Boa	Boa	Baixa
0.85	0.15	Boa	Ruim	Alta
0.70	0.30	Boa	Ruim	Baixa
0.85	0.15	Ruim	Boa	Alta
0.70	0.30	Ruim	Boa	Baixa
0.70	0.30	Ruim	Ruim	Alta
0.55	0.45	Ruim	Ruim	Baixa

Tabela 199 – TPC para o nó Concentracao13

Alta	Baixa	QualidadeDoSono14	Distracoes12	TrabalhoMonotono7
0.70	0.30	Boa	Sim	Sim
0.85	0.15	Boa	Sim	Não
0.85	0.15	Boa	Não	Sim
1.00	0.00	Boa	Não	Não
0.55	0.45	Ruim	Sim	Sim
0.70	0.30	Ruim	Sim	Não
0.70	0.30	Ruim	Não	Sim
0.85	0.15	Ruim	Não	Não

Tabela 200 – TPC para o nó ErroDeAtencao36

Sim	Não	Concentracao13	Percepcao16	ResistenciaFisica
0.00	1.00	Alta	Alta	Boa
0.20	0.80	Alta	Alta	Ruim
0.20	0.80	Alta	Baixa	Boa
0.40	0.60	Alta	Baixa	Ruim
0.20	0.80	Baixa	Alta	Boa
0.40	0.60	Baixa	Alta	Ruim
0.40	0.60	Baixa	Baixa	Boa
0.60	0.40	Baixa	Baixa	Ruim

Figura 44 – Rede para o evento 43 – Falha no Traçado

Tabela 201 – TPC para o nó TratamentoDadoaFalha11

Motivador	Desmotivador	Cultura Organizacional	Avaliação de Rendimento
1.00	0.00	Apropriada	Adequada
0.90	0.10	Apropriada	Inadequada
0.90	0.10	Inapropriada	Adequada
0.80	0.20	Inapropriada	Inadequada

Tabela 202 – TPC para o nó Condição Física17

Boa	Ruim	Carga de Trabalho	Qualidade de Vida	Seleção de Pessoal
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.93	0.07	Ideal	Boa	Ruim
0.93	0.07	Ideal	Ruim	Boa
0.87	0.13	Ideal	Ruim	Ruim
0.93	0.07	Alta	Boa	Boa
0.87	0.13	Alta	Boa	Ruim
0.87	0.13	Alta	Ruim	Boa
0.80	0.20	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 203 – TPC para o nó Qualidade do Sono 18

Boa	Ruim	Coordenação do Trabalho	Carga de Trabalho
1.00	0.00	Boa	Ideal
0.90	0.10	Boa	Alta
0.90	0.10	Ruim	Ideal
0.80	0.20	Ruim	Alta

Tabela 204 – TPC para o nó Tratamento da Falha 10

Motivador	Desmotivador	Cultura Organizacional	Avaliação de Rendimento
1.00	0.00	Apropriada	Adequada
0.90	0.10	Apropriada	Inadequada
0.90	0.10	Inapropriada	Adequada
0.80	0.20	Inapropriada	Inadequada

Tabela 205 – TPC para o nó Motivação e Atitude 3

Alta	Baixa	Carga de Trabalho	Premio Reconhecimento Benefício
1.00	0.00	Ideal	Presente
0.90	0.10	Ideal	Ausente
0.90	0.10	Alta	Presente
0.80	0.20	Alta	Ausente

Tabela 206 – TPC para o nó Experiência Treinamento 1

Apurada	Incipiente	Programas de Treinamento	Rotatividade
1.00	0.00	Adequado	Baixa
0.90	0.10	Adequado	Alta
0.90	0.10	Inadequado	Baixa
0.80	0.20	Inadequado	Alta

Tabela 207 – TPC para o nó Qualidade do Sono 16

Boa	Ruim	Coordenação do Trabalho	Carga de Trabalho
1.00	0.00	Boa	Ideal
0.90	0.10	Boa	Alta
0.90	0.10	Ruim	Ideal
0.80	0.20	Ruim	Alta

Tabela 208 – TPC para o nó Qualidade do Sono 17

Boa	Ruim	Coordenação do Trabalho	Carga de Trabalho
1.00	0.00	Boa	Ideal
0.90	0.10	Boa	Alta
0.90	0.10	Ruim	Ideal
0.80	0.20	Ruim	Alta

Tabela 209 – TPC para o nó Habilidade 11

Apurada	Incipiente	Programas de Treinamento
1.00	0.00	Adequado
0.80	0.20	Inadequado

Tabela 210 – TPC para o nó Habilidade 10

Apurada	Incipiente	Programas de Treinamento
1.00	0.00	Adequado
0.80	0.20	Inadequado

Tabela 211 – TPC para o nó Condição Física 16

Boa	Ruim	Carga de Trabalho	Qualidade de Vida	Seleção de Pessoal
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.93	0.07	Ideal	Ruim	Ruim
0.93	0.07	Ideal	Ruim	Boa
0.87	0.13	Ideal	Ruim	Ruim
0.93	0.07	Alta	Boa	Boa
0.87	0.13	Alta	Boa	Ruim
0.87	0.13	Alta	Ruim	Boa
0.80	0.20	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 212 – TPC para o nó Personalidade e Inteligência 5

Adequada	Inadequada	Seleção de Pessoal
1.00	0.00	Boa
0.80	0.20	Ruim

Tabela 213 – TPC para o nó Distrações 14

Sim	Não	Coordenação do Trabalho	Recursos Físicos
0.00	1.00	Boa	Bom
0.10	0.90	Boa	Ruim
0.10	0.90	Ruim	Bom
0.20	0.80	Ruim	Ruim

Tabela 214 – TPC para o nó CondicaoFisica15

Boa	Ruim	CargadeTrabalho	QualidadedeVida	SelecaoPessoal
1.00	0.00	Ideal	Boa	Boa
0.93	0.07	Ideal	Boa	Ruim
0.93	0.07	Ideal	Ruim	Boa
0.87	0.13	Ideal	Ruim	Ruim
0.93	0.07	Alta	Boa	Boa
0.87	0.13	Alta	Boa	Ruim
0.87	0.13	Alta	Ruim	Boa
0.80	0.20	Alta	Ruim	Ruim

Tabela 215 – TPC para o nó Fadiga6

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho	CargadeTrabalho
0.00	1.00	Boa	Ideal
0.10	0.90	Boa	Alta
0.10	0.90	Ruim	Ideal
0.20	0.80	Ruim	Alta

Tabela 216 – TPC para o nó Distracoes15

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho	RecursosFisicos
0.00	1.00	Boa	Bom
0.10	0.90	Boa	Ruim
0.10	0.90	Ruim	Bom
0.20	0.80	Ruim	Ruim

Tabela 217 – TPC para o nó TrabalhoMonotono9

Sim	Não	RecursosFisicos
0.00	1.00	Bom
0.20	0.80	Ruim

Tabela 218 – TPC para o nó TrabalhoMonotono10

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho
0.00	1.00	Boa
0.20	0.80	Ruim

Tabela 219 – TPC para o nó Distracoes16

Sim	Não	RecursosFisicos
0.00	1.00	Bom
0.20	0.80	Ruim

Tabela 220 – TPC para o nó TrabalhoMonotono11

Sim	Não	CoordenacaodoTrabalho
0.00	1.00	Boa
0.20	0.80	Ruim

Tabela 221 – TPC para o nó FalhanoTracado43

	AtualizacaoPublicacoes1	RevisaoOficialNautica1	RevisaoComandante1
Sim	Falha	Falha	Falha
Sim	Falha	Falha	Sucesso
Sim	Falha	Sucesso	Falha
Sim	Falha	Sucesso	Sucesso
Sim	Sucesso	Falha	Falha
Não	Sucesso	Falha	Sucesso
Não	Sucesso	Sucesso	Falha
Não	Sucesso	Sucesso	Sucesso

Tabela 222 – TPC para o nó RevisaoOficialNautica1

Falha	Sucesso	EscolhaPontosReferencia1	Concentracao16	Percepcao19	EquipeComunicacao11
0.00	1.00	Falha	Alta	Alta	Bom
0.20	0.80	Falha	Alta	Alta	Ruim
0.20	0.80	Falha	Alta	Baixa	Bom
0.40	0.60	Falha	Alta	Baixa	Ruim
0.20	0.80	Falha	Baixa	Alta	Bom
0.40	0.60	Falha	Baixa	Alta	Ruim
0.40	0.60	Falha	Baixa	Baixa	Bom
0.60	0.40	Falha	Baixa	Baixa	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Alta	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Alta	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Baixa	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Baixa	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Alta	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Alta	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Baixa	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Baixa	Ruim

Tabela 223 – TPC para o nó EscolhaPontosReferencia1

Falha	Sucesso	IdentificarWayPoints1	Percepcao18	ConhecimentodeProcedimento4	Interpretacao3
1.00	0.00	Falha	Alta	Bom	Rápida
1.00	0.00	Falha	Alta	Bom	Lenta
1.00	0.00	Falha	Alta	Ruim	Rápida
1.00	0.00	Falha	Alta	Ruim	Lenta
1.00	0.00	Falha	Baixa	Bom	Rápida
1.00	0.00	Falha	Baixa	Bom	Lenta
1.00	0.00	Falha	Baixa	Ruim	Rápida
1.00	0.00	Falha	Baixa	Ruim	Lenta
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Bom	Rápida
0.20	0.80	Sucesso	Alta	Bom	Lenta
0.20	0.80	Sucesso	Alta	Ruim	Rápida
0.40	0.60	Sucesso	Alta	Ruim	Lenta
0.20	0.80	Sucesso	Baixa	Bom	Rápida
0.40	0.60	Sucesso	Baixa	Bom	Lenta
0.40	0.60	Sucesso	Baixa	Ruim	Rápida
0.60	0.40	Sucesso	Baixa	Ruim	Lenta

Tabela 224 – TPC para o nó IdentificarWayPoints1

Falha	Sucesso	TracarRumosSucessivos1	Concentracao15	ControleMotor3
1.00	0.00	Falha	Alta	Bom
1.00	0.00	Falha	Alta	Ruim
1.00	0.00	Falha	Baixa	Bom
1.00	0.00	Falha	Baixa	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Bom
0.30	0.70	Sucesso	Alta	Ruim
0.30	0.70	Sucesso	Baixa	Bom
0.60	0.40	Sucesso	Baixa	Ruim

Tabela 225 – TPC para o nó TracarRumosSucessivos1

Falha	Sucesso	TracarAreasRestritas1	Concentracao15	ControleMotor3
1.00	0.00	Falha	Alta	Bom
1.00	0.00	Falha	Alta	Ruim
1.00	0.00	Falha	Baixa	Bom
1.00	0.00	Falha	Baixa	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Bom
0.30	0.70	Sucesso	Alta	Ruim
0.30	0.70	Sucesso	Baixa	Bom
0.60	0.40	Sucesso	Baixa	Ruim

Tabela 226 – TPC para o nó TracarAreasRestritas1

Falha	Sucesso	IdentificarAreasRestritas1	Concentracao15	ControleMotor3
1.00	0.00	Falha	Alta	Bom
1.00	0.00	Falha	Alta	Ruim
1.00	0.00	Falha	Baixa	Bom
1.00	0.00	Falha	Baixa	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Bom
0.30	0.70	Sucesso	Alta	Ruim
0.30	0.70	Sucesso	Baixa	Bom
0.60	0.40	Sucesso	Baixa	Ruim

Tabela 227 – TPC para o nó ProfundidadeMinima1

Falha	Sucesso	LeituradasInformacoes1	Concentracao15	Percepcao18	Calculo
1.00	0.00	Falha	Alta	Alta	Boa
1.00	0.00	Falha	Alta	Alta	Reduzida
1.00	0.00	Falha	Alta	Baixa	Boa
1.00	0.00	Falha	Alta	Baixa	Reduzida
1.00	0.00	Falha	Baixa	Alta	Boa
1.00	0.00	Falha	Baixa	Alta	Reduzida
1.00	0.00	Falha	Baixa	Baixa	Boa
1.00	0.00	Falha	Baixa	Baixa	Reduzida
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Alta	Boa
0.20	0.80	Sucesso	Alta	Alta	Reduzida
0.20	0.80	Sucesso	Alta	Baixa	Boa
0.40	0.60	Sucesso	Alta	Baixa	Reduzida
0.20	0.80	Sucesso	Baixa	Alta	Boa
0.40	0.60	Sucesso	Baixa	Alta	Reduzida
0.40	0.60	Sucesso	Baixa	Baixa	Boa
0.60	0.40	Sucesso	Baixa	Baixa	Reduzida

Tabela 228 – TPC para o nó ConhecimentodeProcedimento4

Bom	Ruim	EstadoAtual3
1.00	0.00	Apurada
0.80	0.20	Incipiente

Tabela 229 – TPC para o nó IdentificarÁreasRestritas1

Falha	Sucesso	LeituraProfundidade1	Concentracao15
1.00	0.00	Falha	Alta
1.00	0.00	Falha	Baixa
0.00	1.00	Sucesso	Alta
0.60	0.40	Sucesso	Baixa

Tabela 230 – TPC para o nó LeituraProfundidade1

Falha	Sucesso	ProfundidadeMinima1	Concentracao15
1.00	0.00	Falha	Alta
1.00	0.00	Falha	Baixa
0.00	1.00	Sucesso	Alta
0.60	0.40	Sucesso	Baixa

Tabela 231 – TPC para o nó LeituraDasInformacoes1

Falha	Sucesso	AtualizacaoPublicacoes1	Concentracao15
1.00	0.00	Falha	Alta
1.00	0.00	Falha	Baixa
0.00	1.00	Sucesso	Alta
0.60	0.40	Sucesso	Baixa

Tabela 232 – TPC para o nó AtualizacaoPublicacoes1

Falha	Sucesso	Concentracao15	Percepcao18	ResistenciaFisica1
0.00	1.00	Alta	Alta	Boa
0.20	0.80	Alta	Alta	Ruim
0.20	0.80	Alta	Baixa	Boa
0.40	0.60	Alta	Baixa	Ruim
0.20	0.80	Baixa	Alta	Boa
0.40	0.60	Baixa	Alta	Ruim
0.40	0.60	Baixa	Baixa	Boa
0.60	0.40	Baixa	Baixa	Ruim

Tabela 233 – TPC para o nó RevisaoComandante1

Falha	Sucesso	RevisaoOficialNautica1	Concentracao17	Percepcao20	EquipeComunicacao12
0.00	1.00	Falha	Alta	Alta	Bom
0.20	0.80	Falha	Alta	Alta	Ruim
0.20	0.80	Falha	Alta	Baixa	Bom
0.40	0.60	Falha	Alta	Baixa	Ruim
0.20	0.80	Falha	Baixa	Alta	Bom
0.40	0.60	Falha	Baixa	Alta	Ruim
0.40	0.60	Falha	Baixa	Baixa	Bom
0.60	0.40	Falha	Baixa	Baixa	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Alta	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Alta	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Baixa	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Alta	Baixa	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Alta	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Alta	Ruim
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Baixa	Bom
0.00	1.00	Sucesso	Baixa	Baixa	Ruim

Tabela 234 – TPC para o nó Concentracao15

Alta	Baixa	QualidadedoSono4	Distracoes3	TrabalhoMonotono3
0.87	0.13	Boa	Sim	Sim
0.93	0.07	Boa	Sim	Não
0.93	0.07	Boa	Não	Sim
1.00	0.00	Boa	Não	Não
0.80	0.20	Ruim	Sim	Sim
0.87	0.13	Ruim	Sim	Não
0.87	0.13	Ruim	Não	Sim
0.93	0.07	Ruim	Não	Não

Tabela 235 – TPC para o nó Concentracao17

Alta	Baixa	QualidadedoSono4	Distracoes3	TrabalhoMonotono3
0.87	0.13	Boa	Sim	Sim
0.93	0.07	Boa	Sim	Não
0.93	0.07	Boa	Não	Sim
1.00	0.00	Boa	Não	Não
0.80	0.20	Ruim	Sim	Sim
0.87	0.13	Ruim	Sim	Não
0.87	0.13	Ruim	Não	Sim
0.93	0.07	Ruim	Não	Não

Tabela 236 – TPC para o nó Percepcao20

Alta	Baixa	QualidadedoSono4	CondicaoFisica4
1.00	0.00	Boa	Boa
0.90	0.10	Boa	Ruim
0.90	0.10	Ruim	Boa
0.80	0.20	Ruim	Ruim

Tabela 237 – TPC para o nó ResistenciaFisica1

Boa	Ruim	Fadiga6
0.80	0.20	Sim
1.00	0.00	Não

Tabela 238 – TPC para o nó Concentracao16

Alta	Baixa	QualidadedoSono4	Distracoes3	TrabalhoMonotono3
0.87	0.13	Boa	Sim	Sim
0.93	0.07	Boa	Sim	Não
0.93	0.07	Boa	Não	Sim
1.00	0.00	Boa	Não	Não
0.80	0.20	Ruim	Sim	Sim
0.87	0.13	Ruim	Sim	Não
0.87	0.13	Ruim	Não	Sim
0.93	0.07	Ruim	Não	Não

Tabela 239 – TPC para o nó Percepcao19

Alta	Baixa	QualidadedoSono4	CondicaoFisica4
1.00	0.00	Boa	Boa
0.90	0.10	Boa	Ruim
0.90	0.10	Ruim	Boa
0.80	0.20	Ruim	Ruim

Tabela 240 – TPC para o nó Percepcao18

Alta	Baixa	QualidadedoSono4	CondicaoFisica4
1.00	0.00	Boa	Boa
0.90	0.10	Boa	Ruim
0.90	0.10	Ruim	Boa
0.80	0.20	Ruim	Ruim

Tabela 241 – TPC para o nó Calculo

Boa	Reduzida	QualidadedoSono16	PersonalidadeeInteligencia5
1.00	0.00	Boa	Adequada
0.90	0.10	Boa	Inadequada
0.90	0.10	Ruim	Adequada
0.80	0.20	Ruim	Inadequada

Tabela 242 – TPC para o nó ControleMotor3

Bom	Ruim	CondicaoFisica15	QualidadedoSono16
1.00	0.00	Boa	Boa
0.90	0.10	Boa	Ruim
0.90	0.10	Ruim	Boa
0.80	0.20	Ruim	Ruim

Tabela 243 – TPC para o nó EquipeComunicacao11

Bom	Ruim	TratamentoDadoaFalha2	Habilidade2
1.00	0.00	Motivador	Apurada
0.90	0.10	Motivador	Incipiente
0.90	0.10	Desmotivador	Apurada
0.80	0.20	Desmotivador	Incipiente

Tabela 244 – TPC para o nó EquipeComunicacao12

Bom	Ruim	TratamentoDadoaFalha2	Habilidade2
1.00	0.00	Motivador	Apurada
0.90	0.10	Motivador	Incipiente
0.90	0.10	Desmotivador	Apurada
0.80	0.20	Desmotivador	Incipiente

Tabela 245 – TPC para o nó Interpretacao3

Rápida	Lenta	MotivacaoeAtitude1	PersonalidadeeInteligencia5	Fadiga6
0.93	0.07	Alta	Adequada	Sim
1.00	0.00	Alta	Adequada	Não
0.87	0.13	Alta	Inadequada	Sim
0.93	0.07	Alta	Inadequada	Não
0.87	0.13	Baixa	Adequada	Sim
0.93	0.07	Baixa	Adequada	Não
0.80	0.20	Baixa	Inadequada	Sim
0.87	0.13	Baixa	Inadequada	Não