ALAÍDE APARECIDA DE CAMARGO BAYMA

**Análise da Confiabilidade Humana na Evacuação de Emergência de uma
Aeronave**

São Paulo

2019

ALAÍDE APARECIDA DE CAMARGO BAYMA

**Análise da Confiabilidade Humana na Evacuação de Emergência de uma
Aeronave**

Versão Revisada

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

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Ramos Martins

São Paulo

2019

ALAÍDE APARECIDA DE CAMARGO BAYMA

**Análise da Confiabilidade Humana na Evacuação de Emergência de uma
Aeronave**

Versão Revisada

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Engenharia Naval e Oceânica

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Ramos Martins

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 10 de abril de 2019

Assinatura do autor:

Assinatura do orientador:

Catálogo-na-publicação

Bayma, Alaide

Análise da confiabilidade humana / A. Bayma, M. R. Martins -- versão corr. -- São Paulo, 2019.
287 p.

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

1.Confiabilidade humana 2.Aeronave (Segurança) 3.Interior de aeronaves
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II.t. III.Martins, Marcelo Ramos

Nome: BAYMA, Alaíde Ap. de Camargo

Título: Análise da Confiabilidade Humana na Evacuação de Emergência de uma Aeronave

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Dedico este trabalho aos meus pais, Alaíde e José.

Agradecimentos

Agradecer é reconhecer um bem e retribuir com o bem, portanto a conclusão deste trabalho é a retribuição que ofereço ao Professor Marcelo Ramos Martins por acreditar em mim e por me orientar durante a jornada nesta pesquisa.

Ofereço a todos os professores, aos amigos que encontrei na USP, em especial aos amigos do Labrisco do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, aos amigos da Embraer que de alguma maneira me apoiaram nos momentos em que precisei de alguma orientação.

Ofereço à minha filha Júlia e ao meu marido Bayma por compreender as minhas ausências nos finais de semanas.

Ofereço também a cada autor de livros, artigos e outros trabalhos que passaram pela minha pesquisa nos momentos em que eu precisava de uma resposta e de um entendimento nos momentos de dificuldades.

.

Tão próximas as leis da matemática estejam da realidade, menos próximas da certeza elas estarão. E tão próximas elas estejam da certeza, menos elas se referirão à realidade.

Albert Einstein

RESUMO

Grandes avanços têm sido alcançados com as técnicas de análise de segurança dos sistemas essenciais de navegação e performance das aeronaves resultando na diminuição das taxas de acidentes ao longo dos últimos anos. O Relatório de Segurança de 2017 da EASA (*European Agency Safety Aviation*) apresenta um relevante aumento do número de acidentes não fatais. Este resultado positivo leva ao aumento das evacuações de emergência. O Relatório de Segurança de 2016 da IATA (*International Air Transport Association*) mostra que em 35% dos acidentes com sobreviventes em Jatos e 55% dos acidentes com sobreviventes em turbo hélice ocorreram com evacuação de emergência. Diante deste cenário, a confiabilidade humana torna-se relevante na interface destes passageiros com o projeto de segurança da cabine durante o procedimento de evacuação de emergência. Para avaliar as características e a contribuição desta interface no sucesso do procedimento de evacuação, é proposta uma metodologia para a análise da interação humana com este sistema estabelecendo um diagrama causal genérico com o objetivo de estudar o mecanismo do erro humano nesta interface. A metodologia proposta utiliza a abordagem das Redes Bayesianas apoiada pela lógica Fuzzy para modelar os Fatores de Desempenho Humano e para verificar, através da diagnose e inferência causal, quais fatores mais influenciam o desempenho humano na execução das tarefas neste ambiente de emergência. Esta pesquisa apresenta uma aplicação da metodologia proposta para analisar as tarefas do ensaio de evacuação de emergência de uma aeronave, focando na quantificação do erro humano na interface com o projeto de segurança da cabine da aeronave. Os resultados da aplicação identificaram o fator situacional: cartão de segurança, marcas na asa e escorregadores, e os fatores individuais: conhecimento e habilidades: interpretação e percepção como aqueles que mais influenciaram no teste do procedimento de evacuação de emergência de uma aeronave.

Palavras Chaves: Rede Bayesianas, Análise da Confiabilidade Humana, Emergência, Evacuação, Segurança de Cabine e Projeto.

ABSTRACT

Great advances have been achieved with the safety assessment techniques of essential aircraft navigation and performance systems due to decreasing of fatal accident rates in recent years. The EASA Annual Safety Report 2017 (European Agency Safety Aviation) presents a relevant increase of non-fatal accidents. This positive results leads to increasing of emergency evacuation. The IATA Safety Report 2016 (International Air Transport Association) presents that 35% of survival accidents with Jet and 55% of survival accidents with Turboprop occurred with emergency evacuation. In view of this scenario, human reliability becomes relevant in the interface of these passengers with the cabin safety design during emergency evacuation procedure. To evaluate this interface features, and the contribution of this interface in the success of evacuation procedure, it is proposed a method for analyzing the human interaction within the system, to establish a generic causal framework aiming at the study of the human error mechanism. The proposed methodology uses the Bayesian Networks approach supported by Fuzzy logic for modelling Human Performance Factors and for verifying, through diagnosis and causal inference, which factors most influence human performance in the execution of tasks in this emergency environment. This research presents an application of this approach to analyze the tasks of the emergency evacuation testing from an aircraft, focusing on the quantification of human error in the interface with aircraft cabin safety design. The results of application has identified the situational factor: safety card, marks on the wing and escape slides, and the individual factors: knowledge and abilities: interpretation and perception as one those most of influenced the emergency evacuation test procedure from an aircraft.

Keywords: Bayesian Network, Human Reliability Analysis, Emergency, Evacuation, Cabin Safety and Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Probabilidade Total.....	11
Figura 2 - Grafo acíclico DAG – Directed Acyclic Graph.....	16
Figura 3 – Rede Bayesiana – Diagnóstico de Câncer.....	18
Figura 4 – Exemplo de Condição de Markov	20
Figura 5 – Exemplo de Cobertor de Markov	20
Figura 6 - Estrutura Básica de uma Rede	21
Figura 7 – d-separação entre os nós A e C.....	23
Figura 8 - Tipos de Inferências	27
Figura 9 – Passos Básicos do Procedimento de uma ACH	28
Figura 10 – Equilíbrio entre a exigência da tarefa e a capacidade humana.....	30
Figura 11 – Rede Bayesiana - Atenção	41
Figura 12 – Lógica Convencional à esquerda – Lógica Fuzzy à direita	43
Figura 13 – Função Trapezoidal	43
Figura 14 – Função Triangular	44
Figura 15 – União de Dois conjuntos Fuzzy.....	44
Figura 16 – Intersecção de Dois conjuntos Fuzzy	45
Figura 17 – Fuzzyficação das variáveis linguísticas de entrada x e y	48
Figura 18 - Conj fuzzy e graus de pertinência da variável linguística de saída z.....	50
Figura 19 - Agregação das regras fuzzy 1, 2 e 3	50
Figura 20 – Representação Gráfica do Modelo SHELL	55
Figura 21 – Modelo Simplificado do Sistema Homem-Máquina	58
Figura 22 – Diagrama dos Fatores do Desempenho.....	60
Figura 23 - Modelo Genérico das Influências dos Fatores de Desempenho.....	67
Figura 24 – Ilustração das Influências do Fatores de Desempenho	70
Figura 25 – Esquema de Rota de Emergência e Posições das Portas.....	75
Figura 26 - Montagem do Ensaio de Abertura da Porta de Emergência.....	82
Figura 27 - Instruções do Cartão de Segurança.....	83
Figura 28 - Rede Bayesiana Preliminar – Abertura da Porta de Emergência	86
Figura 29 - Função de Pertinência da Variável de Entrada <i>Fuzzy</i> – Conhecimento..	91
Figura 30 - Função de Pertinência da Variável de Entrada <i>Fuzzy</i> – Nervosismo.....	91
Figura 31 - Função de Pertinência da Variável de Saída <i>Fuzzy</i> – Atenção.....	92

Figura 32 – Conjunto de Regras - Nervosismo - Conhecimento - Atenção	93
Figura 33 – Conjunto de Regras – Variável de Saída Atenção	94
Figura 34 - Funções Pert Variáveis de Entrada – Ler instruções/Remover Tampa ...	97
Figura 35 - Funções de Pertinência da Variável de Saída – Erro Humano 1	97
Figura 36 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Erro Humano 1	100
Figura 37 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Puxar a Alavanca.....	100
Figura 38 - Função de Pertinência da Variável de Saída – Erro Humano 2.....	101
Figura 39 - Rede Bayesiana da Porta de Emergência em cima da Asa	103
Figura 40 – Interface do Ensaio Abertura da Porta Principal	106
Figura 41 - Rede Bayesiana Preliminar – Abertura Porta Principal	109
Figura 42 - Funções Pert Variável Entrada – Ler instruções/Levantar Alavanca	112
Figura 43 - Funções de Pert da Variável de Saída – Erro Humano 1.....	112
Figura 44 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Erro Humano 1	116
Figura 45 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Empurrar a Porta	116
Figura 46 - Funções de Pert da Variável de Saída – Erro Humano 2.....	116
Figura 47 - Rede Bayesiana da Porta Principal.....	119
Figura 48 – Esquema da Rota Interna de Evacuação de Emergência.....	121
Figura 49 - Rede Bayesiana Preliminar – Saída pela Dianteira e Traseira	124
Figura 50 - Funções Pert Variável Entrada – Localizar Saída/Seguir Sinais.....	127
Figura 51 - Funções de Pert da Variável de Saída – Erro Humano 1.....	128
Figura 52 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Erro Humano 1	131
Figura 53 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Escorregar	131
Figura 54 - Funções de Pert da Variável de Saída <i>Fuzzy</i> – Erro Humano 2.....	131
Figura 55 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída Dianteira.....	134
Figura 56 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída Traseira	134
Figura 57 - Rede Bayesianas Preliminar – Evacuação pela saída em cima da asa	136
Figura 58 - Funções Pert Variável Entrada – Localizar Saída/Seguir Sinais.	139
Figura 59 - Funções de Pert da Variável de Saída – Erro Humano 1.....	139
Figura 60 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Erro Humano 1	142
Figura 61 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Localizar a saída fora.....	142
Figura 62 - Funções de Pert da Variável de Saída – Erro Humano 2.....	143
Figura 63 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Erro Humano 2.....	146
Figura 64 - Funções Pert Variável de Entrada – Escorregar.....	146
Figura 65 - Funções Pert Variável de Saída – Erro Humano 3.....	146

Figura 66 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída em cima da Asa	149
Figura 67 – Rede Bayesiana Preliminar - Evacuação de Emergência Completa.....	152
Figura 68 - Funções Pert Variável de Entradas – Porta Principal Diant Dir e Esq ...	153
Figura 69 - Funções Pert Variável de Saída – Porta Principal Dianteira.....	154
Figura 70 - Funções Pert Variável Entradas - Portas Diant/Loc Seg Sinais Inter.....	157
Figura 71- Funções de Pert da Variável de Saída – Evacuação Dianteira	157
Figura 72 - Funções Pert da Variável Entradas - Evac Diant/Escurregar	160
Figura 73 - Funções de Pert da Variável de Saída – Evac Dianteira Completa	161
Figura 74 - Rede Bayesiana – Evacuação de Emergência Completa.....	163
Figura 75 – Análise Erro Humano 2 - Porta de Emerg – Puxar Alavanca	167
Figura 76 – Análise Erro Humano 1 - Porta de Emerg – Remover Tampa.....	169
Figura 77 – Análise Erro Humano 1 – Porta de Emerg – Ler Instruções	169
Figura 78 - Análise Causal Erro Humano Completa - Porta de Emerg	170
Figura 79 – Análise Causal Erro Humano 2 – Porta Principal	174
Figura 80 – Análise Causal Erro Humano 1 – Porta Principal – Ler Instruções.....	175
Figura 81 – Análise Causal Erro Humano 1 – Porta Principal – Levantar Alavanca	176
Figura 82 – Análise Causal Completa Erro Humano – Abertura da Porta Principal.	177
Figura 83 - Análise Causal Erro Humano 2 – Saída pela Dianteira	181
Figura 84 – Análise Causal Erro Humano 2 – Saída pela Traseira.....	182
Figura 85 - Análise Causal Erro Humano 1 – Evacuação pela Saída Dianteira	183
Figura 86 – Análise Causal Erro Humano 1 – Evacuação pela Saída Traseira.....	183
Figura 87 – Análise Causal Erro Humano 1 – Saída Dianteira – Seguir Sinais	184
Figura 88 – Análise Causal Erro Humano 1 – Saída Traseira – Seguir Sinais	185
Figura 89 – Análise Causal Completa Erro Humano – Evac Saída Dianteira	186
Figura 90 – Análise Causal Completa Erro Humano – Evac Saída Traseira	186
Figura 91 – Análise Causal Erro Humano 3 – Evac de Emerg Saída cima da Asa .	191
Figura 92 – Análise Erro Humano 2 – Evac Saída em cima da Asa.....	192
Figura 93 – Análise Causal 1 Erro Humano 1 – Evac Emerg Saída cima da Asa....	194
Figura 94 – Análise Causal 2 Erro Humano 1 – Evac Emerg Saída cima da Asa....	194
Figura 95 – Análise Causal Erro Humano – Evac Emerg Saída cima da Asa.	195
Figura 96 – Análise Causal Erro Humano – Evacuação Completa.....	199
Figura 97 - Análise Causal Erro Humano – Evac Completa Asa	200
Figura 98 – Análise Causal Erro Humano – Evac Compl Asa – Loc Saída Asa.....	201
Figura 99 – Análise Causal Erro Humano – Evac Completa Dianteira e Traseira ...	202

Figura 100 – Análise Causal Completa Erro Humano – Evac Emerg Completa	203
Figura 101 – Análise Causal Completa Erro Humano – Evac de Emerg Aeronave.	204
Figura 102 - Análise de Efeito Completo Erro Humano – Evac Emerg	207

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Probabilidade Condicional – Câncer (Sim), Câncer (Não)	24
Tabela 2 – Fatores da Performance Humana.....	33
Tabela 3 – THERP - Vantagens e Desvantagens.....	36
Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens – SPAR-H	36
Tabela 5 – CREAM – Vantagens e Desvantagens	38
Tabela 6 - Rede Bayesiana – Vantagens e Desvantagens	39
Tabela 7 – Variáveis e Valores Linguísticos na Análise de Riscos de um Projeto	48
Tabela 8 – Método Proposto Baseado nos Métodos Estudados.....	63
Tabela 9 – Fatores de Desempenho Humano Externos e Internos	68
Tabela 10 - Tabela de Influências dos Fatores do Desempenho Humano	69
Tabela 11 - Tarefas do Procedimento de Evacuação da Aeronave.....	74
Tabela 12 – Fatores Organizacionais.....	77
Tabela 13 – Fatores Individuais	77
Tabela 14 – Fatores Ambientais	78
Tabela 15 – Fatores Situacionais.....	79
Tabela 16 – Fatores Habilidades	79
Tabela 17 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho	85
Tabela 18 – Probabilidades do Nó Pais – Porta de Emergência em cima da Asa	87
Tabela 19 - Probabilidades do Nó Filho – Conhecimento - Porta de Emergência	88
Tabela 20 - Probabilidade do Nó Filho – Nervosismo - Porta de Emergência	89
Tabela 21 - Habilidades e Fatores de Desempenho Individuais e Situacionais	90
Tabela 22 - Regras - Nervosismo $\cap$ Conhecimento = Atenção	93
Tabela 23 - Probabilidades Condicionadas – Habilidade Atenção.....	95
Tabela 24 - Regras Fuzzy - Ler Instruções $\cap$ Remover a Tampa = Erro Humano1	98
Tabela 25 - Probabilidades condicionadas – Erro Humano1	99
Tabela 26 - Regras Fuzzy- Erro Humano 1 $\cap$ Puxar Alavanca = Erro Humano 2....	102
Tabela 27 - Probabilidades condicionadas – Erro Humano 2	102
Tabela 28 – Atividades e Influências dos Fatores do Desempenho	108
Tabela 29 - Probabilidades dos Nós Pais – Porta Principal	110
Tabela 30 - Habilidades e Fatores de Desempenho Individuais e Situacionais	111
Tabela 31 - Regras Fuzzy - Ler Instruções $\cap$ Levantar Alavanca = Erro Humano1	114

Tabela 32 - Probabilidades condicionadas – Erro Humano1 - Porta Principal.....	114
Tabela 33 - Regras Fuzzy- Erro Humano 1 $\cap$ Empurrar a Porta = Erro Humano 2.....	117
Tabela 34 - Probabilidades Condicionadas – Erro Humano 2	118
Tabela 35 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho	123
Tabela 36 - Probabilidades Nós Pais	125
Tabela 37 - Habilidades e Fatores de Desempenho Individuais e Situacionais	126
Tabela 38 - Regras Fuzzy – Localizar Saída $\cap$ Seguir Sinais = Erro Humano1.....	129
Tabela 39 - Probabilidades Condicionadas – Erro Humano1	129
Tabela 40 - Regras Fuzzy- Erro Humano 1 $\cap$ Escorregar = Erro Humano 2	132
Tabela 41 - Probabilidades condicionadas – Erro Humano 2.....	133
Tabela 42 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho	135
Tabela 43 - Probabilidades Nós Pais	137
Tabela 44 - Habilidades e Fatores de Desempenho Individuais e Situacionais	138
Tabela 45 - Regras Fuzzy – Localizar Saída $\cap$ Seguir Sinais = Erro Humano1.....	140
Tabela 46 - Probabilidades Condicionadas – Erro Humano1	141
Tabela 47 - Regras Fuzzy Erro Humano 1 $\cap$ Loc Saída fora = Erro Humano 2	144
Tabela 48 - Probabilidades Condicionadas – Erro Humano 2	144
Tabela 49 - Regras Fuzzy Erro Humano 2 $\cap$ Escorregar = Erro Humano 3.....	147
Tabela 50 - Probabilidades condicionadas – Erro Humano 3.....	148
Tabela 51 – Probabilidades dos Erros Humanos das Tarefas.....	150
Tabela 52 - Probabilidades dos Erros Humanos das Principais Atividades	151
Tabela 53 – Significado dos nomes dos Nós da Rede Bayesiana Preliminar.....	152
Tabela 54 – EH porta diant dir $\cap$ EH porta diant esq = EH porta diant	155
Tabela 55 - Probabilidades Condicionadas – Erro Humano Porta Princip Diant	155
Tabela 56 – EH Porta P Diant $\cap$ EH Loc Seg Sin Inter = EH Evac Diant	158
Tabela 57 - Probabilidades Condicionadas – EH Porta Principal Dianteira.....	159
Tabela 58 - Regras – EH Evac Diant $\cap$ Escorregar = EH Evac Diant Completa	162
Tabela 59 - Probabilidades Condicionadas – EH Evac Diant Completa	162
Tabela 60 – Variação do Fator de Desempenho - Abertura da Porta de Emerg	171
Tabela 61 - Variação Erros Humanos 1/2 - Abertura da Porta de Emerg.....	172
Tabela 62 – Variação do Fator de Desempenho – Porta Principal	178
Tabela 63 – Variação do Erros Humanos 1/2 Abertura da Porta Principal.....	179
Tabela 64 – Variação do Fator do Desempenho – Evac Saída Dianteira.....	187
Tabela 65 – Variação do Fator de Desempenho – Evac Saída Traseira.....	187

Tabela 66 – Variação Erros Humanos 1/2 - Evac de Emerg Saída Dianteira	188
Tabela 67 – Variação Erros Humanos 1/2 - Evac Emerg Saída Traseira	189
Tabela 68 – Variação do Fator do Desempenho – Evac Emerg Asa	195
Tabela 69 - Variação Erros Humanos 1/2/3 - Evac Emerg Saída cima da Asa	197
Tabela 70 – Variação do Fator de Desempenho da Evac Emerg Completa	205
Tabela 71 - Variação Erros Humanos - Evac em cima da Asa	208
Tabela 72 - Variação Erros Humanos - Abertura da Porta de Emerg	210
Tabela 73 - Variação Erros Humanos - Evac Saídas Dianteira e Traseira	212
Tabela 74 - Variação Erros Humanos - Abertura da Porta Principal	214
Tabela 75 - Resultado Análise Causal/Efeito de cada Evento	216
Tabela 76 - Resultado Análise Causal/Efeito - Evento Compl Evac Emerg	217
Tabela 77 - Probabilidades Condicionadas – Intepretação do Cartão 1	242
Tabela 78 - Probabilidades Condicionais – Interpretação do Cartão 2	243
Tabela 79 - Probabilidades Condicionadas – Interpretação do Cartão 12	243
Tabela 80 - Probabilidades Condicionais – Interpretação do Placar 1	244
Tabela 81 - Probabilidades Condicionais – Interpretação do Placar 2	244
Tabela 82 - Probabilidades Condicionais – Interpretação do Placar 12	245
Tabela 83 - Probabilidades Condicionais – Habilidade Física Remover a Tampa ...	245
Tabela 84 - Probabilidades Condicionais – Tomada de Decisão Ler Placar	246
Tabela 85 - Probabilidades Condicionais – Habilidade Física Puxar a Alavanca	246
Tabela 86 - Probabilidade do Nó Filho – Conhecimento	247
Tabela 87 - Probabilidade do Nó Filho – Nervosismo	247
Tabela 88 - Probabilidades Condicionadas – Habilidade Atenção	248
Tabela 89 – Probabilidades Condicionais – Interpretação	248
Tabela 90 – Probabilidades Condicionais – Tomada de Decisão - Alavanca	249
Tabela 91 – Probabilidades Condicionais – Hab Fís - Alavanca	249
Tabela 92 – Probabilidades Condicionais – Tomada de Decisão Empurrar a Porta	250
Tabela 93 – Probabilidades Condicionais – Habilidade Física Empurrar a Porta	250
Tabela 94 - Probabilidade do Nó Filho – Conhecimento (Saída Dianteira)	251
Tabela 95 - Probabilidade do Nó Filho – Conhecimento (Saída Traseira)	251
Tabela 96 - Probabilidade do Nó Filho – Nervosismo (Saída Dianteira)	251
Tabela 97 - Probabilidade do Nó Filho – Nervosismo (Saída Traseira)	251
Tabela 98 - Probabilidade do Nó Filho – Conhecimento (Saída em cima da Asa) ...	252
Tabela 99 - Probabilidade do Nó Filho – Nervosismo (Saída em cima da Asa)	252

Tabela 100 - Probabilidades Condicionais - Atenção	253
Tabela 101 - Probabilidades Condicionais - Percepção dentro	253
Tabela 102 - Probabilidades Condicionais - Interpretação	254
Tabela 103 - Probabilidades Condicionais - Liderança	254
Tabela 104 - Probabilidades Condicionais - Tomada de Decisão	255
Tabela 105 - Probabilidades Condicionais – Percepção Fora	255
Tabela 106 - Probabilidades Condicionais - Habilidade Física para Escorregar	256
Tabela 107 - Abertura das Portas de Emergência em cima da Asa	257
Tabela 108 - Evacuação em cima da Asa	258
Tabela 109 - Evacuação Completa em cima da Asa	258
Tabela 110 - Abertura das Portas Principais Traseiras	259
Tabela 111 - Evacuação Traseira	259
Tabela 112 - Evacuação Completa Traseira	260

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Advisory Circular
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
EASA	European Agency Safety Aviation
IATA	International Civil Aviation Organization
FAA	Federal Administration Aviation
ICAO	International Civil Aviation Organization
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction
PSF	Performance Shape Factor
SMS	Safety Management System
NASA	National Aeronautics and Space Administration
TPC	Tabela de Probabilidades Condicionais
DGA	Directed Graph Acyclic
RB	Rede Bayesiana
HEART	Human Error Assessment and Reduction Technique
SPAR-H	Simplified Plant Analysis Risk Human Reliability Assessment
ATHEANA	A Technique for Human Error Analysis
CREAM	Cognitive Reliability and Error Analysis Method
HEP	Human Error Potential
HRMS	Human Reliability Management System
JHEDI	Justified Human Error Data Information
CRM	Crew Resource Management

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XVII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	4
1.2 JUSTIFICATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	4
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1 CONCEITOS BÁSICOS.....	7
2.1.1 <i>Probabilidade Clássica</i>	7
2.1.2 <i>Probabilidade Frequentista</i>	8
2.1.3 <i>Probabilidade Subjetiva</i>	9
2.1.4 <i>Cálculo de Probabilidade</i>	9
2.1.5 <i>Probabilidade Condicional</i>	9
2.1.6 <i>Probabilidade Total</i>	10
2.1.7 <i>Teorema de Bayes</i>	11
2.1.7.1 <i>Aplicando o Teorema de Bayes</i>	13
2.2 REDES BAYESIANAS	15
2.2.1 <i>Estrutura da Rede Bayesiana</i>	16
2.2.2 <i>Relações de Dependências e Independências entre as Variáveis</i>	18
2.2.2.1 <i>Condição de Markov</i>	19
2.2.2.2 <i>Cobertura de Markov</i>	20
2.2.2.3 <i>d-separação</i>	21
2.2.3 <i>Conjunção de Probabilidades</i>	23
2.2.4 <i>Domínio de Probabilidade</i>	25
2.2.5 <i>Inferência Bayesiana</i>	26
2.3 ANÁLISE DA CONFIABILIDADE HUMANA.....	27
2.3.1 <i>Erro Humano</i>	28
2.3.2 <i>Causas do Erro Humano</i>	29
2.3.3 <i>Fatores Influenciadores da Performance Humana</i>	30
2.3.3.1 <i>Taxonomia dos Fatores Influenciadores da Performance Humana</i>	32

2.3.4	<i>Técnicas de Análise da Confiabilidade Humana</i>	34
2.3.4.1	Técnicas da 1ª Geração	34
2.3.4.2	Técnicas da 2ª Geração	37
2.3.4.3	Técnicas da 3ª Geração	38
2.3.5	<i>Aplicação das Redes Bayesianas para ACH</i>	39
2.3.6	<i>Lógica Nebulosa (fuzzy)</i>	41
2.3.6.1	Conjuntos Fuzzy	42
2.3.6.2	Funções de Pertinência	43
2.3.6.3	Operações Fuzzy	44
2.3.6.4	Regras Fuzzy	45
2.3.6.5	Variáveis Linguísticas	46
2.3.6.6	Computação com as palavras	47
2.3.6.7	Inferência Fuzzy	47
2.3.6.8	Fuzzificação	48
2.3.6.9	Avaliação das Regras Fuzzy	49
2.3.6.10	Agregação das Regras Fuzzy	49
2.3.6.11	Defuzzificação	50
2.4	DIFERENTES VISÕES DE FATORES HUMANOS	51
2.4.1	<i>Abordagem de fatores humanos integrados</i>	53
2.5	MODELAGEM DO FATOR HUMANO	53
2.5.1	<i>Modelo SHELL – Fator Humano na Aviação</i>	54
2.5.2	<i>Modelo Interface Homem-Máquina – Fator Humano no setor Nuclear</i>	57
2.5.3	<i>Modelo Maturana e Martins – Fator Humano no Setor Marítimo</i>	59
2.5.3.1	Fatores Externos – Gerenciais e Organizacionais	60
2.5.3.2	Fatores externos – Ambientais	61
2.5.3.3	Fatores externos – Situacionais	61
2.5.3.4	Fatores Internos - Individuais	61
2.5.3.5	Fatores Internos – Habilidades	61
3	METODOLOGIA	62
3.1	MÉTODO PROPOSTO	62
3.1.1	<i>Modelo Genérico</i>	66
4	APLICAÇÃO AO ESTUDO DO ENSAIO DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA DE UMA AERONAVE	72
4.1	FAMILIARIZAÇÃO COM OS PROCEDIMENTOS DO ENSAIO DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA DE UMA AERONAVE	73
4.1.1	<i>Fatores Humanos no Procedimento de Evacuação de Emergência</i>	75
4.1.1.1	Fatores Organizacionais	76
4.1.1.2	Fatores Individuais	77
4.1.1.3	Fatores Ambientais	78

4.1.1.4	Fatores Situacionais.....	78
4.1.1.5	Habilidades	79
4.1.2	Abertura da Porta de Emergência em cima da Asa.....	80
4.1.2.1	Probabilidade da Habilidade Atenção.....	90
4.1.2.2	Probabilidade do Erro Humano 1	96
4.1.2.3	Probabilidades do Erro Humano 2	100
4.1.3	Abertura da Porta Principal.....	104
4.1.3.1	Probabilidades do Erro Humano 1	111
4.1.3.2	Probabilidades do Erro Humano 2	115
4.1.4	Evacuação pelas Saídas Dianteira, Traseira e em cima da Asa.....	119
4.1.4.1	Evacuação pelas Saídas Dianteira e Traseira	123
4.1.4.2	Evacuação pela Saída em cima da Asa.....	134
4.1.5	Procedimento de Evacuação de Emergência Completa	149
4.1.5.1	Probabilidades de Erro Humano das Aberturas das Portas Dianteiras	153
4.1.5.2	Probabilidades de Erro Humano Evacuação Dianteira	156
4.1.5.3	Evacuação Dianteira Completa	160
5	ANÁLISE DE RESULTADOS	165
5.1	ANÁLISE DA TAREFA DE ABERTURA DA PORTA DE EMERGÊNCIA	166
5.1.1	<i>Análise Causal do Erro Humano 2.....</i>	<i>166</i>
5.1.2	<i>Análise Causal do Erro Humano 1.....</i>	<i>168</i>
5.1.3	<i>Análise dos Efeitos nos Erros Humanos 1 e 2.....</i>	<i>171</i>
5.2	ANÁLISE DA TAREFA DE ABERTURA DA PORTA PRINCIPAL.....	173
5.2.1	<i>Análise Causal do Erro Humano 2.....</i>	<i>173</i>
5.2.2	<i>Análise do Erro Humano 1</i>	<i>175</i>
5.2.3	<i>Análise dos Efeitos nos Erros Humanos 1 e 2.....</i>	<i>178</i>
5.3	ANÁLISE DA TAREFA DE EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA E TRASEIRA	180
5.3.1	<i>Análise Causal do Erro Humano 2.....</i>	<i>180</i>
5.3.2	<i>Análise Causal do Erro Humano 1.....</i>	<i>182</i>
5.3.3	<i>Análise dos Efeitos nos Erros Humanos 1 e 2.....</i>	<i>188</i>
5.4	ANÁLISE DA TAREFA DE EVACUAÇÃO PELA SAÍDA EM CIMA DA ASA	190
5.4.1	<i>Análise Causal do Erro Humano 3.....</i>	<i>190</i>
5.4.2	<i>Análise Causal do Erro Humano 2.....</i>	<i>192</i>
5.4.3	<i>Análise Causal do Erro Humano 1.....</i>	<i>193</i>
5.4.4	<i>Análise dos Efeitos nos Erros Humanos 1, 2 e 3</i>	<i>196</i>
5.5	ANÁLISE DA TAREFA COMPLETA DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA.....	198
5.5.1	<i>Análise Causal do Erro Humano.....</i>	<i>198</i>
5.5.2	<i>Análise dos Efeitos no Erro Humano.....</i>	<i>205</i>
5.6	COMENTÁRIOS GERAIS	217

6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	219
	REFERÊNCIAS.....	223
	APÊNDICE A – ENSAIO ABERTURA DE PORTA DE EMERGÊNCIA EM CIMA DA ASA - QUESTIONÁRIO	228
	APÊNDICE B – ENSAIO ABERTURA DE PORTA PRINCIPAL - QUESTIONÁRIO.....	230
	APÊNDICE C – ENSAIO EVACUAÇÃO DA AERONAVE - QUESTIONÁRIO	232
	APÊNDICE D – DISCURSO DA DEMONSTRAÇÃO DOS ITENS DE SEGURANÇA	241
	APÊNDICE E – ABERTURA DA PORTA DE EMERGÊNCIA EM CIMA DA ASA – RESULTADOS DAS PROBABILIDADES CONDICIONAIS PELA LÓGICA FUZZY	242
	APÊNDICE F – ABERTURA DA PORTA PRINCIPAL – RESULTADOS DAS PROBABILIDADES CONDICIONAIS PELO QUESTIONÁRIO E PELA LÓGICA FUZZY	247
	APÊNDICE G – EVACUAÇÃO PELAS SAÍDAS DIANTEIRA E TRASEIRA E EM CIMA DA ASA– RESULTADOS DAS PROBABILIDADES CONDICIONAIS PELO QUESTIONÁRIO DO APÊNDICE C E PELA LÓGICA FUZZY	251
	APÊNDICE H – EVACUAÇÃO COMPLETA – RESULTADOS DAS PROBABILIDADES CONDICIONAIS PELA LÓGICA FUZZY	257

1 INTRODUÇÃO

A demanda por viagens aéreas tem aumentado no mundo todo e espera-se ainda um crescimento substancial na indústria aeronáutica nos próximos anos (INTERNATION AIR TRANSPORT ASSOCIATION, 2016). Embora as taxas de acidentes fatais tenham diminuído, o mesmo não tem sido observado na redução de fatalidades nos acidentes com sobreviventes; portanto, a busca por uma melhoria nas taxas de sobrevivência deverá ser priorizada nos próximos anos (NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD, 2017).

Diante destas evidências é possível inferir que importantes avanços têm sido alcançados com a aplicação de técnicas de “*safety assessment*” no escopo dos sistemas essenciais de navegação e desempenho das aeronaves, resultando na redução das taxas de acidentes fatais. Os acidentes com sobreviventes frequentemente resultam de um pouso duro, derrapagens, saída de pista, entre outros. A saída de pista foi o tipo de acidente mais frequente em 2016 (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2016).

O relatório anual de segurança de 2016 da IATA (*International Air Transport Association*) mostra que, naquele ano, 35% dos acidentes com jatos e 55% dos acidentes com aeronaves turbo hélice envolveram evacuação de emergência, alguns com fatalidades e prejuízos sérios aos ocupantes. Analisando este cenário, dois fatores básicos podem estar contribuindo para que isto ocorra: falta de treinamento da tripulação e/ou projeto inadequado da cabine.

Esforços têm sido aplicados em todos os segmentos aeronáuticos para conscientização da prática de segurança em todos os detalhes do processo de desenvolvimento, manufatura e manutenção dos produtos aeronáuticos (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2013). Juntamente com estes esforços várias frentes de pesquisas têm surgido para identificar oportunidades de inovar na segurança dos ocupantes nas aeronaves em condições normais e de emergências.

Uma das frentes pesquisou os acidentes com sobreviventes e selecionou depoimentos dos passageiros, os quais puderam relatar o comportamento da cabine destas aeronaves em diversos cenários de acidentes; estes depoimentos estavam

sempre relacionados com: Deformação, Proteção de ocupantes, Evacuação e Sobrevivência a incêndio (BAYMA; PISTILLI, 2014). O objetivo desta frente de pesquisa é apresentar para o engenheiro de desenvolvimento de produto um retorno do seu próprio trabalho, isto é um “feedback” de campo.

A sequência das dificuldades encontradas pelos sobreviventes sempre foram apresentadas na seguinte ordem: Deformação das estruturas após o impacto comprometendo a proteção dos ocupantes. Consequentemente, estes dois itens iniciais (deformação das estruturas e proteção dos ocupantes) impactam o tempo de evacuação, e com o tempo estendido as dificuldades aumentam em função do surgimento do fogo e fumaça que definitivamente causam o aumento de fatalidades nestes acidentes, os quais poderiam ter uma taxa de sobrevivência maior, se as dificuldades de evacuar da aeronave fossem mitigadas.

Considerando somente o aspecto de projeto, os fabricantes projetam as aeronaves demonstrando cumprimento dos requisitos de segurança de aeronavegabilidade, e as autoridades de homologação civil certificam estes projetos encontrando evidências destas demonstrações.

As estruturas das aeronaves são projetadas para suportar certas cargas de impactos, prescritas nos requisitos de aeronavegabilidade, de modo a limitar as deformações resultantes e proteger os ocupantes de forma que eles possam ser evacuados das aeronaves antes da possibilidade de uma eminência de incêndio.

A razão desta pesquisa vem ao encontro da necessidade de oferecer maior segurança e proteção aos ocupantes das aeronaves em um cenário de evacuação de emergência, além do que já é oferecido pelas autoridades aeronáuticas de homologação civil.

Para melhorar o comportamento da cabine em situações de emergência, favorecendo a evacuação dos ocupantes num tempo que permita a sua sobrevivência, um dos aspectos que será apresentado neste trabalho é a interface entre os ocupantes com os fatores de projeto de cabine tais como, marcas, aberturas de portas, escorregadeiras, sinais e demonstrações dos itens de segurança, de modo a se identificar quais fatores mais influenciam o desempenho humano nas tarefas do procedimento de evacuação de emergência. Outro aspecto essencial desta pesquisa

é a análise da confiabilidade humana durante o procedimento do ensaio de evacuação de emergência de uma aeronave e a sua contribuição para a melhoria do desenvolvimento dos projetos de segurança da cabine de passageiros.

O principal desafio é considerar a integração humana ao projeto, e avaliar que fatores de projeto mais influenciam o erro humano na execução das tarefas no procedimento do ensaio de evacuação da aeronave. Além disso, sugerir ajustes e melhoria no desenvolvimento dos projetos de cabine para mitigar o erro humano na evacuação de emergência.

Na integração do fator humano ao projeto, será estudada a efetividade de algumas técnicas para analisar e avaliar a confiabilidade humana em um ensaio de evacuação de emergência de uma aeronave.

Estas técnicas também serão avaliadas considerando uma situação de emergência sem treinamento dedicado, uma vez que nenhum dos voluntários do ensaio foi submetido a algum tipo de treinamento rigoroso e direcionado para este ambiente. A fim de avaliar a confiabilidade humana na integração com o projeto de cabine, serão pesquisadas algumas técnicas para a análise de confiabilidade humana com o propósito de avaliar através das percepções humanas (dos voluntários do ensaio) o quanto os fatores de projeto de segurança da cabine contribuem para que o indivíduo possa ser evacuado da aeronave a tempo, com segurança em uma situação de emergência.

Durante as últimas décadas, a indústria nuclear e a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) têm contribuído muito com o desenvolvimento de várias técnicas para a análise da confiabilidade humana; cada uma destas técnicas tem vantagens e desvantagens que serão avaliadas e consideradas ao longo deste trabalho. A visão holística de considerar o humano integrado ao sistema com o qual ele interage tem um peso considerável na avaliação de todas as técnicas.

O resultado desta pesquisa e a validação de um método pode ser mais uma ferramenta para o desenvolvimento de projetos de segurança do interior das cabines, promovendo uma melhor integração do ocupante com a cabine, mitigando as falhas humanas, permitindo uma evacuação no tempo necessário para se garantir um melhor índice de sobrevivência dos ocupantes.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem, como objetivo principal, propor uma metodologia para a avaliação da contribuição do fator humano no processo de evacuação de emergência de uma aeronave, identificando os fatores contribuintes do projeto da cabine mais relevantes.

Como objetivos secundários são apresentados:

- Fazer uma revisão das principais técnicas de análise de confiabilidade humana disponíveis na literatura avaliando as vantagens e desvantagens da aplicação de cada uma.
- Aplicar o método proposto em um estudo de caso que é o ensaio de evacuação de emergência para validar a efetividade do projeto de segurança da cabine através das percepções dos voluntários do ensaio.
- Validar um método eficiente para modelar a confiabilidade humana na interface com o projeto dos itens segurança da cabine de uma aeronave para identificar, primeiramente, os fatores situacionais de projeto, internos, e organizacionais que mais influenciaram o humano no desempenho de suas tarefas no procedimento de evacuação de uma aeronave, sugerir adequações no projeto de cabine favorecendo a integração entre os ocupantes e o projeto para melhorar a segurança de cabine.

1.2 JUSTIFICATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

No desenvolvimento do projeto de cabine das aeronaves, além de atender as especificações de mercado, os fabricantes devem cumprir os requisitos de segurança e aeronavegabilidade de projeto estabelecidos pelas autoridades internacional e nacional de homologação da aviação civil. Para a demonstração do cumprimento dos requisitos de segurança do projeto, entre outros meios, é utilizado o ensaio de certificação em uma aeronave em solo.

A cabine da aeronave a ser avaliada no ensaio é configurada com placares com instruções, marcas, sinais de emergências, portas e escorregadeiras conforme

os requisitos de segurança de projeto especificados nas regras da aviação civil; porém, para a avaliação do projeto faz-se necessário o elemento humano, os voluntários do ensaio, para perceber, interpretar, tomar decisões e agir de acordo com o intuito do projeto.

O resultado do ensaio de certificação depende da subjetividade de cada voluntário no entendimento das instruções, sinais e marcas. Caso o ensaio não demonstre o atendimento aos requisitos de segurança da aviação civil, o projeto deverá ser reavaliado e o ensaio repetido até que todos os requisitos sejam atendidos.

O alto custo para se realizar um ensaio de certificação de segurança de uma cabine e a subjetividade dos voluntários na interação com a cabine demandam o desenvolvimento de uma metodologia, para ser aplicada durante a fase de projeto da aeronave, que objetive a identificação dos fatores de influência na interface do projeto com o humano, evitando assim repetições dos ensaios de certificações. Além disso, tal metodologia deve prover um projeto de segurança de cabine com o uso mais amigável para os seus ocupantes, melhorando as chances e as condições destes ocupantes em uma provável evacuação de emergência daquela aeronave.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em 6 Capítulos, incluindo este inicial de introdução, objetivos, justificativas e a explicação resumida sobre a estrutura do texto.

No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica, a qual sustenta todo o embasamento técnico e os conceitos básicos essenciais para os estudos dos métodos empregados na análise da confiabilidade humana. Será apresentada também uma revisão sobre os métodos já existentes desenvolvidos analisando as vantagens e desvantagens de cada um. Neste capítulo, são destacados os conceitos necessários para a aplicação das redes bayesianas e o suporte da lógica nebulosa (lógica fuzzy) para a obtenção das probabilidades condicionadas necessárias.

No Capítulo 3 é apresentada a metodologia proposta, o resultado dos estudos dos métodos e a seleção dos fatores de desempenho que serão aplicados no estudo de caso do Capítulo 4. Neste capítulo, também será definido um modelo

genérico de influência onde, de uma forma estruturada, serão apresentadas as influências dos fatores do desempenho do elemento humano durante a execução das tarefas do procedimento de evacuação de emergência de uma aeronave.

No Capítulo 4 é apresentado um estudo de caso com o objetivo de validar a efetividade da metodologia proposta para a modelagem da contribuição do fator humano na interface do projeto da cabine de uma aeronave. Inicialmente, serão definidas todas as tarefas e suas atividades no procedimento em estudo; para cada atividade, serão identificadas as habilidades necessárias para o desempenho desta atividade e as influências dos fatores de desempenho humano seguindo a forma estruturada do diagrama causal definido no capítulo anterior. Diante da estrutura do diagrama causal é possível fazer a análise qualitativa do erro humano para aquela tarefa. A aplicação da rede bayesiana nesta estrutura permitirá quantificar o erro humano na execução das tarefas do procedimento de evacuação de uma aeronave, a qual apresentará o domínio das probabilidades do provável erro humano na execução daquela tarefa.

O Capítulo 5 é dedicado à análise dos resultados das redes bayesianas encontradas no capítulo anterior. A análise da rede bayesiana de cada tarefa considera se que evidência do erro humano ocorreu, sendo assim é possível analisar o quanto cada fator situacional de projeto mais variou com o erro humano, isto é, quais os fatores de projeto que mais influenciaram o erro humano na execução daquela tarefa.

O Capítulo 6 é reservado para as conclusões e recomendações; a partir do resultado da análise do Capítulo 5, é possível sugerir para o desenvolvimento de projeto as respectivas melhorias, cumprindo desta forma o objetivo deste trabalho. Neste Capítulo é também recomendada a continuidade desta pesquisa fazendo-se sugestões de futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos os quais sustentam a proposição da metodologia para a avaliação da contribuição do fator humano no processo de evacuação de emergência de uma aeronave que permita a identificação dos fatores contribuintes do projeto da cabine mais relevantes. Inicialmente serão apresentados conceitos básicos de probabilidade, essenciais para entender o Teorema de Bayes, conforme o item 2.1.7. Em seguida, serão apresentados alguns modelos de análise de confiabilidade humana com suas vantagens e desvantagens dando ênfase ao uso das redes bayesianas. A Lógica Nebulosa Fuzzy, tratada na seção 2.3.6 revelou-se uma ferramenta primordial para obter as probabilidades condicionais das tabelas de probabilidades condicionais (TPC) das redes bayesianas. Para finalizar este capítulo serão apresentados alguns modelos que representam o elemento humano em um sistema complexo e as influências dos fatores da desempenho humano durante a execução de uma tarefa.

2.1 CONCEITOS BÁSICOS

Esta seção trata de alguns conceitos básicos necessários para o entendimento da aplicação das redes bayesianas. Inicialmente serão discutidas interpretações da probabilidade clássica, frequentista e subjetivas, na sequência as definições de probabilidades condicionais e probabilidade total conforme mostrado por (MODARRES, M.; KAMINSKIY, M.; KRIVTSOV, V. 1999). Todos estes conceitos são necessários para o entendimento do Teorema de Bayes, o qual é o princípio básico da rede bayesiana.

2.1.1 Probabilidade Clássica

A interpretação da probabilidade clássica considera que todos os elementos de um espaço amostral S têm resultados igualmente prováveis e que, portanto, a probabilidade de ocorrência de um evento E pode ser obtida a partir da equação abaixo:

$$PR(E) = \frac{m(E)}{m(S)} \quad 2-1$$

onde,

$m(E)$ Número de ocorrências do evento E

$m(S)$ Número de elementos do espaço amostral

Para exemplificar esta definição podemos usar o lançamento de um dado, a probabilidade do resultado de números pares (3) são igualmente prováveis no espaço amostral de 6 possibilidades. $Pr(E) = 3/6 = 0,5$.

A probabilidade clássica pode ser determinada antes da ocorrência do evento, sendo assim uma probabilidade a priori.

2.1.2 Probabilidade Frequentista

Na interpretação frequentista, a limitação da falta de conhecimento sobre o espaço amostral pode ser sanada definindo a probabilidade como o limite de n/N , onde N é um número muito grande. A probabilidade de ocorrência de um evento “E” é determinada a partir da frequência de ocorrência dos eventos observados. Em termos matemáticos, a probabilidade de ocorrência de um evento E pode ser calculada a partir da equação abaixo:

$$PR(E) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N} \quad 2-2$$

onde,

n Número de observações do evento E

N Número de tentativas ou total de observações

Exemplificando, ao avaliar o funcionamento 2000 bombas e que 20 delas falharam, assumindo 2000 como um número muito grande, a probabilidade de falha da bomba é $20/2000 = 0,01$.

Diferentemente da interpretação clássica, a interpretação frequentista considera o histórico de falhas da bomba, isto é a probabilidade frequentista pode ser determinada somente após a ocorrência do evento, sendo assim uma probabilidade a posteriori.

2.1.3 Probabilidade Subjetiva

Na interpretação da probabilidade subjetiva, a $Pr(E)$ é medida através do grau de crença de um especialista, baseando-se na sua experiência e intuição a respeito do evento sob análise.

Esta interpretação é aplicada nos casos onde os dados históricos são inexistentes, obsoletos ou não são confiáveis ou representativos. No exemplo das bombas, caso não haja registros de falhas disponíveis ou suficientes, recorre-se à opinião de especialistas para inferir uma probabilidade de falha.

2.1.4 Cálculo de Probabilidade

A regra básica usada para combinar e tratar as probabilidades de um evento não é afetada pelas interpretações apresentadas acima; pode-se proceder sem a adoção de nenhuma delas (MODARRES, 1999). Os axiomas de probabilidade podem ser definidos em um espaço amostral S como segue:

$Pr(E) \geq 0$, para qualquer evento E tal que $E \subset S$

$Pr(E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_n) = Pr(E_1) + \dots + Pr(E_n)$ onde os eventos $E_1, E_2 \dots E_n$ são disjuntos ou mutuamente exclusivos

$Pr(S) = 1$

2.1.5 Probabilidade Condicional

Antes de somar e multiplicar probabilidades é importante entender o conceito de eventos independentes (MODARRES, M.; KAMINSKIY, M.; KRIVTSOV, V. 1999). Dois eventos são independentes se a ocorrência ou não ocorrência de um não depende ou altera a probabilidade da ocorrência do outro. Matematicamente, isto pode ser expresso por:

$$Pr(E_1|E_2) = Pr(E_1) \quad 2-3$$

Onde $Pr(E_1|E_2)$, lê-se “a probabilidade do evento E_1 dado que o evento E_2 ocorreu”.

A regra para avaliar a probabilidade da ocorrência de dois eventos simultâneos, isto é a probabilidade de ambos E_1 e E_2 ocorrerem ou existirem simultaneamente, ou seja, $\Pr(E_1 \cap E_2)$, é simplesmente a multiplicação das probabilidades de E_1 e E_2 ocorrerem individualmente e independente. Ou seja,

$$\Pr(E_1 \cap E_2) = \Pr(E_1) \cdot \Pr(E_2) \quad 2-4$$

Quando E_1 e E_2 são dependentes, a probabilidade de ambos E_1 e E_2 ocorrerem ou existirem simultaneamente é obtida a partir da seguinte expressão:

$$\Pr(E_1 \cap E_2) = \Pr(E_2) \Pr(E_1|E_2) \quad 2-5$$

A probabilidade da ocorrência simultânea de n eventos independentes $E_1, E_2 \dots E_n$ é o produto de suas probabilidades individuais, ou seja:

$$\Pr(E_1 \cap E_2 \dots \cap E_n) = \Pr(E_1) \cdot \Pr(E_2) \dots \Pr(E_n) = \prod_{i=1}^n \Pr(E_i) \quad 2-6$$

A probabilidade da ocorrência simultânea de n eventos dependentes $E_1, E_2 \dots E_n$ é obtida da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \Pr(E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n) \\ = \Pr(E_1) \cdot \Pr(E_2|E_1) \cdot \Pr(E_3|E_1 \cap E_2) \dots \Pr(E_n|E_1 \cap E_2 \cap \dots \\ \cap E_{n-1}) \end{aligned} \quad 2-7$$

onde $\Pr(E_3|E_1 \cap E_2)$ denota a probabilidade condicional de E_3 , dada a ocorrência de ambos os eventos E_1 e E_2 , e assim por diante.

2.1.6 Probabilidade Total

Uma coleção de eventos $A_1, A_2, \dots, A_n$ forma uma partição do espaço amostral S se os eventos A_i são disjuntos ($A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j$) e exaustivos ($\bigcup_{i=1}^n A_i = S$) (FARIAS, 2006).

Figura 1 – Probabilidade Total

Sejam $A_1, A_2, \dots, A_n$ eventos formando uma partição do espaço amostral S do universo Ω e E um evento qualquer em S . Então:

$$\begin{aligned} Pr(E) &= Pr[\{E \cap A_1\} \cup \{E \cap A_2\} \cup \dots \{E \cap A_n\}] \\ &= Pr(E \cap A_1) + Pr(E \cap A_2) + \dots Pr(E \cap A_n) \\ &= Pr(E|A_1)Pr(A_1) + \dots + Pr(E|A_n)Pr(A_n) \end{aligned} \quad 2-8$$

Este resultado é conhecido como teorema da probabilidade total e pode ser escrito também da seguinte forma:

$$Pr(E) = \sum_{i=1}^n Pr(A_i) Pr(E|A_i) \quad 2-9$$

2.1.7 Teorema de Bayes

Um importante teorema conhecido como Teorema de Bayes segue diretamente do conceito de probabilidade condicional.

$$Pr(E \cap A) = Pr(A \cap E)$$

$$Pr(E) \cdot Pr(A|E) = Pr(A) \cdot Pr(E|A)$$

$$Pr(A|E) = \frac{Pr(A) \cdot Pr(E|A)}{Pr(E)} \quad 2-10$$

Se o evento E depende de alguns eventos anteriores que podem ocorrer em uma das n diferentes formas $A_1, A_2, \dots, A_n$, conforme Figura 1 – Probabilidade Total, então a equação 2-10 pode ser generalizada para:

$$Pr(A_j|E) = \frac{Pr(A_j) \cdot Pr(E|A_j)}{\sum_{i=1}^n Pr(A_i) Pr(E|A_i)} \quad 2-11$$

O Teorema de Bayes é uma junção dos teoremas de probabilidade condicional e de probabilidade total. $Pr(A_j)$ é probabilidade a priori; $Pr(E|A_j)$ é uma probabilidade condicional relacionada com a probabilidade a priori (verossimilhança $L(E|A)$); $Pr(A_j|E)$ também pode ser indicado como $\pi(A|E)$ e é a probabilidade posteriori resultado da atualização da probabilidade a priori $Pr(A_j)$ pelo termo

$$\frac{Pr(E|A_j)}{\sum_{i=1}^n Pr(A_i) Pr(E|A_i)}$$

Quanto mais evidências estiverem disponíveis mais atualizações serão possíveis. O Teorema de Bayes é um meio de se atualizar um conhecimento sobre um evento em virtude de uma evidência relacionada a este evento.

Assim, a fórmula de Bayes nos permite usar uma evidência, E , fazendo inferência sobre o evento desconhecido de interesse A . A forma contínua do teorema de Bayes pode ser escrita como:

$$\pi(A|E) = \frac{\pi(A) \cdot L(E|A)}{\int \pi(A) L(E|A) dA} \quad 2-12$$

A função de verossimilhança $L(E|A)$, é a probabilidade de observar a evidência E , dados os parâmetros de distribuição A . A probabilidade de observar eventos é o produto da verossimilhança de cada evento, onde c é uma constante combinatória que quantifica o número de combinações em que a evidência observada poderia ter ocorrido no instante t_i .

$$L(A|E) = c \prod_i L(A|t_i) \quad 2-13$$

O estado do conhecimento (incerteza) de um evento desconhecido de interesse é quantificado pela atribuição de uma distribuição de probabilidade aos seus valores possíveis. O Teorema de Bayes fornece um meio matemático pelo qual essa incerteza pode ser atualizada, dadas novas evidências (O'CONNOR, ANDREW; MODARRES, MOHAMMAD; MOSLED, 2007).

2.1.7.1 Aplicando o Teorema de Bayes

O raciocínio bayesiano pode ser explicado com um exemplo médico, relacionando com a chance de uma mulher ter câncer de mama (RUSSELL; NORVIG, 2009). Recomenda-se que, a partir dos 40 anos, as mulheres façam mamografias anuais. Nessa idade, 1% das mulheres são portadoras de um tumor assintomático de mama. Sabe-se que a mamografia apresenta resultado positivo em 80% das mulheres com câncer, mas esse mesmo resultado ocorre também com 9,6% das mulheres sem o câncer. Considerando que uma mulher fez o exame e deu positivo, qual a probabilidade desta mulher ter um câncer de mama?

Para este problema, têm-se as seguintes probabilidades condicionais e informações:

- $Pr(C_1^c) = 0,99$ – Probabilidade a priori de a mulher não ter câncer.
- $Pr(C_1) = 0,01$ – Probabilidade a priori de a mulher ter câncer
- $Pr(M_1|C_1) = 0,80$ – Probabilidade de a mamografia ser positiva dado que a mulher tenha câncer.
- $Pr(M_1|C_1^c) = 0,096$ – Probabilidade de a mamografia ser positiva dado que a mulher não tenha câncer.
- $Pr(M_2|C_1) = 0,20$ – Probabilidade de a mamografia ser negativa dado que a mulher tenha câncer.
- $Pr(M_2|C_1^c) = 0,904$ - Probabilidade de a mamografia ser negativa dado que a mulher não tenha câncer.

Aplicando-se o Teorema da Probabilidade Total obtêm-se os seguintes valores para a probabilidade de a mamografia ser positiva ou negativa:

$$Pr(M_1) = Pr(C_1) \cdot Pr(M_1|C_1) + Pr(C_1^c) \cdot Pr(M_1|C_1^c)$$

$Pr(M_1) = 0,01 \cdot 0,8 + 0,99 \cdot 0,096 = 0,103$ - Probabilidade Total de a mamografia ser positiva

$$Pr(M_2) = Pr(C_1) \cdot Pr(M_2|C_1) + Pr(C_1^c) \cdot Pr(M_2|C_1^c)$$

$Pr(M_2) = 0,01 \cdot 0,2 + 0,99 \cdot 0,904 = 0,897$ - Probabilidade Total de a mamografia ser negativa

Assim, a probabilidade posterior ou atualizada que representa a chance de a mulher de fato ter câncer dado que a mamografia foi positiva pode ser obtida por:

$$Pr(C_1|M_1) = \frac{Pr(M_1|C_1) \cdot Pr(C_1)}{Pr(M_1)}$$

Substituindo as probabilidades condicionais na equação acima:

$$Pr(C_1|M_1) = \frac{0,8 \cdot 0,01}{0,103} = 0,078$$

A probabilidade posterior de NÃO ter câncer dado que a mamografia foi positiva é:

$$Pr(C_1^c|M_1) = \frac{Pr(M_1|C_1^c) \cdot Pr(C_1^c)}{Pr(M_1)}$$

Substituindo as probabilidades condicionais na equação acima fica:

$$Pr(C_1^c|M_1) = \frac{0,096 \cdot 0,99}{0,103} = 0,922$$

A probabilidade posterior de ter câncer dado que a mamografia foi negativa é:

$$Pr(C_1|M_2) = \frac{Pr(M_2|C_1) \cdot Pr(C_1)}{Pr(M_2)}$$

Substituindo as probabilidades condicionais na equação acima fica:

$$Pr(C_1|M_2) = \frac{0,2 \cdot 0,01}{0,897} = 0,0022$$

A probabilidade posterior de NÃO ter câncer dado que a mamografia foi negativa é:

$$Pr(C_1^c|M_2) = \frac{Pr(M_2|C_1^c) \cdot Pr(C_1^c)}{Pr(M_2)}$$

Substituindo as probabilidades condicionais na equação acima fica:

$$Pr(C_1^c|M_2) = \frac{0,904 \cdot 0,99}{0,897} = 0,998$$

Desta forma, as probabilidades de a mulher NÃO ter câncer, tanto com a mamografia sendo negativa (0,998) ou positiva (0,922) é muito grande, então ela pode ficar tranquila, independente do resultado da mamografia.

2.2 REDES BAYESIANAS

As redes bayesianas foram desenvolvidas no início dos anos 1980 para facilitar a tarefa de predição e abdução em sistemas de inteligência artificial (MATURANA, 2010).

Redes bayesianas são modelos de representação do conhecimento que trabalham com o conhecimento incerto e incompleto por meio do Teorema de Bayes, publicado pelo matemático Thomas Bayes em 1763.

Rede bayesianas (RB) são modelos gráficos para raciocínio baseados em incerteza, onde os nós representam as variáveis (discretas ou contínuas), e os arcos representam conexões diretas entre eles. Estas conexões são diretas e causais; além disso, as RB modelam as influências quantitativas das conexões entre as variáveis, permitindo que as crenças probabilísticas sobre elas sejam atualizadas automaticamente à medida que novas informações se tornem disponíveis.

A estrutura gráfica da RB nos permite representar e argumentar sobre um domínio incerto, e também representam conjunções de probabilidades que apresentam as dependências entre as variáveis deste domínio. Os nós da rede representam um conjunto de variáveis discretas ou contínuas do domínio. Um conjunto de arcos direcionados conecta pares de nós, representando as dependências diretas entre estas variáveis (MATURANA, 2010).

Uma rede bayesiana é um grafo dirigido acíclico, o qual é definido por uma componente qualitativa e uma quantitativa. A componente qualitativa é representada na topologia do grafo e a componente quantitativa é formada pelas probabilidades condicionais (SCHLEDER, 2012).

Assumindo que as variáveis são discretas, a força da relação entre elas é quantificada pelas probabilidades condicionais associadas a cada nó. As variáveis e arcos formam um grafo dirigido e sem ciclos, tal rede é chamada de grafo acíclico ou simplesmente de DAG (Directed Acyclic Graph) (KORB, 2004).

Figura 2 - Grafo acíclico DAG – Directed Acyclic Graph

O grafo acíclico da Figura 2 representa as relações qualitativas entre as variáveis dos nós X, Y e Z, definindo assim uma estrutura gráfica que é detalhada na seção seguinte.

2.2.1 Estrutura da Rede Bayesiana

Como mencionado anteriormente, os nós da rede representam as variáveis discretas ou contínuas cujos valores devem ser mutuamente exclusivos e exaustivos. A topologia representa as relações qualitativas entre as variáveis, a conexão direta de dois nós através de um arco indica que o nó de onde parte o arco afeta o nó onde o arco chega.

Se um dado arco parte do nó Y e chega no 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). (MATURANA, 2010).

Uma vez que todos os arcos são desenhados, é atribuído a cada nó uma probabilidade marginal ou uma tabela de probabilidade condicional.

Estas tabelas de probabilidades contêm todas as informações conhecidas sobre o estado do sistema com base na opinião de especialistas e nos dados disponíveis. Em uma RB, para cada nó é atribuída uma distribuição de probabilidades baseada em estados possíveis de seus nós pais. Cada nó em uma RB discreta tem um número finito de possíveis estados.

Muitas RB usam nós binários, onde 0 e 1 representam os estados positivo e negativo do nó. A soma das probabilidades marginais de todos os estados dentro do mesmo nó deve ser igual a 1. Cada estado possível do nó raiz é quantificado com as

probabilidades marginais dos estados. O modelo está completo, quando toda distribuição de probabilidade é definida.

À medida que novas informações se tornam disponíveis (por exemplo, evidências dos estados de um nó) as probabilidades de todos os nós no modelo podem ser atualizadas automaticamente com base na evidência.

A RB completamente quantificada representa o conhecimento prévio de um analista. Para usar o modelo, o analista fará observações (conjunto de evidências) sobre determinados nós e examinará os impactos em nós específicos de interesse.

Ao estabelecer evidências, um analista está fornecendo novas informações para o modelo, isto produz probabilidades atualizadas para todos os nós no modelo. As evidências sugeridas por um analista são frequentemente o interesse de uma observação de um estado particular de um nó.

O analista define a evidência na RB e a rede atualiza a probabilidade de cada nó com base em observações anteriores e de novas evidências. Para nós onde não exista evidência, a rede depende das probabilidades anteriores. Uma vez que a RB esteja completa, ela pode ser incorporada em uma Análise Probabilística de Risco (APR) pela ligação dos nós da RB em outro modelo de riscos (GROTH; MOSLEH, 2010).

A seguir, será apresentado um exemplo típico de RB extraída de (KORB, 2004) para compreender a descrição acima.

Em um diagnóstico médico de câncer, quais seriam os fatores que afetam as chances de um paciente ter câncer de pulmão? Se a resposta for poluição ou fumo, os arcos deveriam partir dos nós poluição e fumo para câncer. Similarmente, o câncer afetará a respiração do paciente, e o exame de raio X ou uma dispneia podem ser alguns dos efeitos de ter câncer.

Figura 3 – Rede Bayesiana – Diagnóstico de Câncer
Fonte: Adaptado de Korb, 2004

A Figura 3 apresenta um exemplo de rede bayesiana típica onde:

Os nós raízes, Poluição e Fumante contêm as suas probabilidades marginais conforme abaixo:

-
- $Pr(P_i^c) = 0,10$ – Probabilidade a priori da poluição causar câncer ser alto
- $Pr(F_i) = 0,30$ – Probabilidade a priori do fumante sim ter cancer
- $Pr(F_i^c) = 0,70$ – Probabilidade a priori do fumante não ter cancer

Os nós filhos, Câncer, Raio-X e Dispneia contêm as probabilidades condicionais nas suas respectivas TPC (Tabela de Probabilidades Condicionais), as quais foram obtidas pela experiência dos especialistas.

Este exemplo de rede bayesiana será abordada na seção 2.2.3 para explicar a conjunção de probabilidades.

2.2.2 Relações de Dependências e Independências entre as Variáveis

A análise quantitativa das RB é feita com base na independência condicional e no Teorema de Bayes.

Na notação padrão da teoria da probabilidade, X, Y são condicionalmente independentes dado Z se e somente se:

$$Pr(X \cap Y | Z) = Pr(X | Z) \cdot Pr(Y | Z),$$

ou equivalentemente,

$$Pr(X|Y \cap Z) = Pr(X|Z)$$

2-14

Duas variáveis aleatórias X e Y são condicionalmente independentes dada uma terceira variável aleatória se elas são independentes na distribuição da probabilidade condicional deles, dado Z . Ou seja, X e Y são condicionalmente independentes dado Z se e somente se, dado qualquer valor de Z , a distribuição da probabilidade de X é a mesma para todos os valores de Y e a distribuição de probabilidade de Y é a mesma para todos os valores de X .

A relação de probabilidades de cada nó (X) e seus respectivos pais $pa(X)$ é definida pela distribuição de probabilidades condicionais que será detalhada mais adiante na seção 2.2.3.

Conforme mencionado anteriormente, o grafo de uma RB é composto por nós e arcos que representam as variáveis estudadas e suas relações, essas relações tratam da independência entre as variáveis ou de dependências próximas. A partir da estrutura deste grafo, podem-se identificar todas as suposições de independências condicionais entre as variáveis de uma RB.

Na seção seguinte serão abordadas as relações de independências representadas no grafo que podem ser identificadas de maneiras diferentes, por meio de três conceitos: Condição de Markov, Cobertor de Markov e d-separação (SCHLEDER, 2012).

2.2.2.1 Condição de Markov

Uma RB que satisfaça a Condição de Markov explicitamente expressa uma independência condicional na distribuição de probabilidade. A relação entre a independência condicional e estrutura RB é importante para o entendimento de como uma RB trabalha.

A Condição de Markov estabelece que um nó é condicionalmente independente do conjunto de nós de seus não-descendentes dado o conjunto de seus nós pais. Para ilustrar a Figura 4 – Exemplo de Condição de Markov, extraída de (NEAPOLITAN, 2003), mostra que onde F é condicionalmente independente de C e H (conjunto de nós não descendente, exceto pais) dado B e L (o conjunto de nós pais). Esta condição

permite estabelecer a relação de independência condicional de uma variável em relação aos seus não descendentes dada as evidências nas variáveis representadas pelos nós pais.

Figura 4 – Exemplo de Condição de Markov
Fonte: Neapolitan, 2003

2.2.2.2 Cobertor de Markov

O conceito de Cobertor de Markov de um nó consiste de, pais do nó, seus filhos e o pai de seus filhos (KORB, 2004) .

Um nó é condicionalmente independente de todos os outros nós da rede dados seus pais, seus filhos e os pais dos seus filhos, este subconjunto de nós é referido em (NEAPOLITAN, 2003) como Cobertor de Markov e está ilustrada na Figura 5.

Figura 5 – Exemplo de Cobertor de Markov
Fonte: Schleder, 2012

O cobertor de Markov do nó X da Figura 5, consiste de seu pai T, seu filho Z, e pai do seu filho Z, que é Y.

Outra terminologia comumente utilizada vem da analogia com uma "árvore" (embora as redes bayesiana sejam grafos e não árvores): qualquer nó sem pais é chamado de nó raiz, enquanto qualquer nó sem filhos é chamado de nó folha. Qualquer outro nó (não-folha e não-raiz) é chamado de nó intermediário. Dado um

entendimento causal da estrutura da BN, os nós raízes representam causas originais, enquanto nós folha representam efeitos finais (KORB, 2004).

No exemplo do câncer as causas, poluição e fumante são nós raízes, enquanto os efeitos Raio X e Dispneia são nós folha.

2.2.2.3 d-separação

Antes de definir o conceito de d-separação é relevante ressaltar que há três estruturas básicas que podem existir em uma rede: (a) a cadeia, onde as variáveis estão conectadas em série, (b) o garfo, onde uma variável é conectada a outras duas e (c) a colisão, onde duas variáveis são conectadas a uma terceira (SCHLEDER, 2012).

Figura 6 - Estrutura Básica de uma Rede
Fonte: Norb, 2004

A Figura 6 (a) representa uma rede causal, onde A causa B, e B, por sua vez, causa C. No exemplo da Figura 3 – Rede Bayesiana – Diagnóstico de Câncer, “fumar causa câncer, que causa dispneia”, a rede causal origina uma independência condicional. Isto significa que a probabilidade de C, dado B, é exatamente a mesma que a probabilidade de C, dado B e A. Sabendo que A tenha ocorrido não faz nenhuma diferença para a nossa crença sobre C se nós já sabemos que B ocorreu. Isto pode ser escrito conforme equação abaixo.

$$Pr(C|A \cap B) = Pr(C|B) \quad 2-15$$

Na Figura 3 – Rede Bayesiana – Diagnóstico de Câncer, a probabilidade de um individuo ter dispneia depende direta e exclusivamente dele ter câncer. Se não sabemos se determinada mulher tem câncer, mas descobrimos que ela é fumante, isso aumentaria as nossas crenças de que ela tenha câncer e sofra com problemas de respiração. No entanto, se nós já sabemos que ela tem câncer, então o fato dela ser fumante não faria nenhuma diferença na probabilidade de dispneia. Sendo assim,

dispneia é uma condicionalmente independente de ser fumante, dado que o paciente tem câncer

A Figura 6 (b) representa uma rede com causas comuns, duas variáveis A e C tendo como causa comum B. No exemplo da Figura 3, câncer é a causa comum de dois sintomas, um resultado positivo de um raio-X e dispneia. Causas comuns (ou antecessores comuns) originam da mesma estrutura de independência condicional, conforme a Eq 2-15.

Se não existe nenhuma evidência ou informação sobre o câncer, então sabendo que este sintoma está presente, aumentará as chances de câncer que por sua vez aumentará a probabilidade de outro sintoma. No entanto, se já sabemos sobre o câncer, então o adicional de um raio-X positivo não nos dirá nada novo sobre as chances de dispneia.

A Figura 6 (c) representa uma rede de efeito comum por meio de uma estrutura em “V”, isto representa uma situação na qual um nó (o efeito) tem duas causas. Efeitos comuns (ou seus descendentes) produzem a estrutura da independência condicional oposta às das rede causal e causas comuns. Sendo assim, os pais são marginalmente independentes (A e C), mas se tornam dependentes dada a informação sobre o efeito comum (portanto, eles são condicionalmente dependentes).

Viu-se como as redes bayesianas representam independências condicionais e como estas independências afetam a chance de crença durante uma atualização. A independência condicional entre A e C, dado B, significa que o conhecimento do estado de B bloqueia a relevância das informações sobre C para a definição do estado de A, e vice-versa. Ou, no caso da Figura 6 (c), a falta de informação sobre B ativa a relevância de C para A, enquanto que um conhecimento sobre B bloqueia a relação entre C e A.

Esses conceitos aplicam-se não apenas a pares de nós, mas também a conjuntos de nós. Mais geralmente, dada a propriedade Markoviana, é possível determinar se um conjunto de nós X é independente de outro conjunto Y, dado um conjunto de nós de evidência E. Para isso, introduz-se a noção de separação-d (KORB, 2004).

O critério da d-separação é utilizado para mostrar a independência entre subconjuntos de nós. O nó A é dito d-separado (independente) de C se o caminho entre A e C se apresentar de alguma das formas apresentadas na Figura 7, (MATURANA, 2010).

Figura 7 – d-separação entre os nós A e C
Fonte: Adaptado de Maturana (2010)

Os nós A e C são condicionalmente independentes, dada uma evidência E, ou os Nós A e C são condicionalmente independentes ocorrendo um nó como o D, conforme Figura 7.

Na primeira rede A e C são d-separados por uma estrutura tipo cadeia e existe a evidência E sobre o estado da variável B. Na segunda rede, A e C são d-separados por uma estrutura do tipo garfo e existe a evidência E sobre o estado da variável B. Na terceira rede A e C são d-separados por uma estrutura do tipo colisão, não sendo necessário nenhuma evidência a respeito da variável D.

Mais informações sobre o critério d-separação podem ser encontradas em NEAPOLITAN (2003).

2.2.3 Conjunção de Probabilidades

Se um nó tem muitos nós pais, ou se os nós pais têm um número grande de possíveis estados, a TPC será muito grande; o tamanho da TPC é exponencial no número de pais. Um nó com n variáveis pais requer uma TPC com 2^{n+1} probabilidades (KORB, 2004).

Uma vez especificada a topografia da RB, o próximo passo é quantificar as relações entre os nós conectados, o que se faz pela especificação das distribuições das probabilidades condicionais para cada nó, originando as tabelas de probabilidades condicionais (TPC).

Para cada nó, fazem-se as combinações dos valores das probabilidades dos nós pais; tal combinação é chamada uma “instanciação” do conjunto de nós pais.

Para cada “instanciação” dos valores dos nós pais, é necessário especificar as probabilidades condicionais dos estados dos nós filhos (KORB, 2004).

No exemplo da Figura 3, os nós pais são Poluição e Fumo afetando o nó filho Câncer gerando a TPC apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Probabilidade Condicional – Câncer (Sim), Câncer (Não)

$Pr(P_i)$	$Pr(F_j)$	$Pr(C_i P_i,F_j)$	$Pr(C_i^c P_i,F_j)$
		Sim	Não
0,10	0,30	0,05	0,95
Alto	Sim		
	0,70	0,02	0,98
	Não		
0,90	0,30	0,03	0,97
Baixo	Sim		
	0,70	0,001	0,999
	Não		

Aplicando a regra da Probabilidade Total, conforme definida na Seção 2.1.6, é possível estimar as probabilidades marginais, de ter ou não ter câncer conforme segue.

$$(C_1) = \sum_{i=1}^2 Pr(P_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 Pr(F_j) \times Pr(C_i|P_i, F_j) \right] \quad 2-16$$

$$Pr(C_1) = 0,10 \times [0,30 \times 0,05 + 0,70 \times 0,02] + 0,90 \times [0,30 \times 0,03 + 0,70 \times 0,001]$$

$$= 0,011$$

$$Pr(C_2) = 0,10 \times [0,30 \times 0,95 + 0,70 \times 0,98] + 0,90 \times [0,30 \times 0,97 + 0,70 \times 0,999]$$

$$= 0,988$$

$$Pr(C_1) = 0,011 - \text{Probabilidade Marginal de ter câncer}$$

$$Pr(C_2) = 0,988 - \text{Probabilidade Marginal de não ter câncer}$$

Na Tabela 1, os nós raízes representam as probabilidades a priori; no exemplo, a probabilidade a priori de um paciente ser fumante é 0,3, indicando que a população que está sendo estudada tem 30% de fumante, e 90% da população estudada está exposta a baixos níveis de poluição. Na Tabela 1 cada célula representa uma configuração para a conjunção de probabilidades que são as entradas no 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 mais sensível a necessidade de uma representação mais simples para domínios complexos (MATURANA, 2010).

2.2.4 Domínio de Probabilidade

Matematicamente, uma rede bayesiana é uma representação compacta de uma tabela de conjunção de probabilidades do universo do problema, e isto quer dizer que, com todas as tabelas de probabilidades condicionadas definidas podemos obter a distribuição de probabilidade conjunta de todo o domínio.

Se uma rede bayesiana satisfaz a condição de Markov, então sua distribuição de probabilidade conjunta é igual ao produto das probabilidades condicionais de todos os nós, dado os valores de seus pais (NEAPOLITAN, 2003).

Sejam x_i um nó da rede e $pa(x_i)$ os seus pais de x_i . Desta maneira, $x_1, x_2, \dots, x_n$ identificam todos os nós do domínio; denotaremos por $Pr(x_1, x_2 \dots x_n)$ a distribuição de probabilidades conjuntas da rede. A regra da cadeia da teoria da probabilidade permite fatorar a probabilidade conjunta de modo a se obter a seguinte expressão (KORB, 2004):

$$\begin{aligned} Pr(x_1, x_2, \dots, x_n) &= Pr(x_1) \cdot Pr(x_2|x_1) \cdots Pr(x_n|x_1, \dots, x_{n-1}) \\ &= \prod_i Pr(x_i|x_1, \dots, x_{i-1}) \end{aligned} \quad 2-17$$

A estrutura de uma RB implica que o estado de um nó particular é condicional somente aos estados de seus nós pais, reduzindo a expressão anterior a:

$$Pr(x_1, x_2 \dots x_n) = \prod_i Pr(x_i|Pais(X_i)) \quad 2-18$$

Esta equação permite a obtenção de qualquer probabilidade conjunta de uma rede bayesiana a partir dos valores encontrados nas tabelas de probabilidades condicionais.

Como exemplo, pode-se calcular, utilizando o exemplo da Figura 3, a probabilidade do estado do nó raio X ser positivo para câncer, ter dispneia com câncer, ter câncer devido a um baixo nível de poluição e não ser fumante. Para este cenário, obtém-se a seguinte probabilidade:

$$Pr(r, d, c, p, f) = Pr(r|c) \cdot Pr(d|c) \cdot Pr(c|p, f) \cdot Pr(p) \cdot Pr(f) = 0,9 \cdot 0,65 \cdot 0,03 \cdot 0,9 \cdot 0,3 = 0,0047$$

2.2.5 Inferência Bayesiana

O processo de obtenção da probabilidade a posteriori a partir da probabilidade à priori é chamado de inferência bayesiana (NEAPOLITAN, 2003).

A tarefa básica para qualquer sistema de inferência probabilística é calcular a distribuição de probabilidade à posteriori para um conjunto de nós de consulta, dados os estados de alguns nós de evidência.

Essa tarefa é chamada de atualização de crença ou Inferência probabilística, uma vez que seja obtida uma evidência a respeito do estado de qualquer nó, as crenças a respeito do estado de quaisquer outros nós são atualizadas (KORB, 2004).

As inferências em uma RB podem ser utilizadas para: tomar decisões baseadas em probabilidades; decidir quais evidências adicionais devem ser observadas, a fim de obter conhecimento sobre o domínio; ou para se realizar uma análise de sensibilidade para entender quais aspectos do modelo têm maior impacto sobre determinadas variáveis (MATURANA, 2010).

As inferências podem ser feitas de três formas:

- Causal: Dadas as causas podem-se obter as probabilidades dos efeitos;
- Diagnósticos: Dados os efeitos podem-se obter as probabilidades das causas.
- Intercasual: Dada a evidência de uma causa, podem-se obter as probabilidades de outra causa.

A Figura 8 ilustra estes três tipos de evidências.

Figura 8 - Tipos de Inferências

Os algoritmos desenvolvidos para a solução das redes bayesianas podem ser divididos entre os que trazem solução exata e os que trazem solução aproximada.

Este trabalho não tem o propósito de fazer uma apresentação detalhada destas questões, porém RUSSEL; NORVIG (2009) é uma referência para esta abordagem.

2.3 ANÁLISE DA CONFIABILIDADE HUMANA

Confiabilidade humana pode ser definida como a probabilidade que um trabalho ou tarefa seja completada com sucesso por pessoas em qualquer estágio de um sistema operacional dentro de um tempo mínimo requerido, se o tempo for exigido (SWAIN; GUTTMAN, 1983).

A Análise da Confiabilidade Humana (ACH) envolve a engenharia de confiabilidade, por estar dentro do campo da análise de confiabilidade de sistemas, e os especialistas em fatores humanos, podem também estar dentro do campo da análise do comportamento humano. ACH é inerentemente interdisciplinar por duas razões. Primeiramente, por considerar a natureza psicológica na análise de alguns fatores humanos, tais como treinamento, experiência, e outros fatores que podem também afetar a performance do humano. Em segundo lugar, requer algum entendimento de engenharia de sistemas, nas interações intencionais e não intencionais do humano-sistema, as quais podem ser exploradas para conhecer o potencial de erro, bem como o seu impacto (KIRWAN, 1994).

Em termos semânticos pode se dizer que, confiabilidade humana é o oposto da probabilidade do erro humano, na dimensão quantitativa, seria a probabilidade

complementar da probabilidade do erro humano, e também pode ser interpretada como a probabilidade de executar com sucesso uma tarefa. A ACH é uma maneira estruturada e sistemática de estimar a probabilidade dos erros humanos em tarefas específicas, e identifica as interfaces humanas mais fracas em um sistema para que medidas apropriadas de controle possam ser identificadas e introduzidas (KIRWAN, 1994).

A ACH é um procedimento que considera a probabilidade do erro das tarefas da interação humana com o sistema e o impacto deste erro no sistema analisado. Na Análise Probabilística de Risco (APR) a análise de confiabilidade humana torna-se um elemento relevante para assegurar uma análise de risco. O procedimento de ACH consiste basicamente de cinco passos: 1) Definição do problema; 2) Análise da tarefa; 3) Identificação do Erro; 4) Representação do Erro (Modelagem), e; 5) Quantificação e Integração na APR (CHANDLER et al., 2010).

Figura 9 – Passos Básicos do Procedimento de uma ACH
Fonte: Adptado de Chandler et al., 2010

2.3.1 Erro Humano

Erro humano pode estar associado a qualquer parte de um conjunto de ações cujo desempenho está aquém do limite de aceitabilidade especificada no processo; um erro é meramente uma ação fora de tolerância, onde os limites toleráveis de desempenho são definidos pelo sistema (SWAIN; GUTTMAN, 1983).

Um erro humano pode ser definido também como uma ação ou uma decisão, a qual não era pretendida e que implica em um desvio de padrão predefinido levando a um resultado indesejável.

É necessário o estudo das interações humanas com o sistema para prever ou mitigar os efeitos dos impactos dos erros humanos durante a operação do sistema. As interações humanas com os sistemas resultam em atividades físicas que requerem ações que podem ser classificadas como erros de omissões (deslizes e lapsos), as interações com sistemas que resultam em atividades mentais que requerem análises podem ser classificadas como erros de comissões (enganos).

Erros baseados em habilidades, deslizos e lapsos, ocorrem em tarefas muito familiares, as quais podem ser desempenhadas sem muita necessidade de atenção. Deslizos são falhas na execução de ações de uma tarefa, por exemplo, pegar um componente errado de uma caixa com vários componentes, operando um interruptor errado ou pular passos de um procedimento. Lapsos de memória causam esquecimento no desempenho de uma ação, ou esquecer o que se pretendia fazer. Enganos são um tipo de erro mais complexo onde se executa uma ação errada acreditando que a mesma está correta.

Erros baseados em Regra, enganos, ocorrem quando os comportamentos são baseados nas lembranças de regras e procedimentos.

Erros baseados em conhecimento, enganos, ocorrem quando o operador tem que recorrer a um julgamento de um especialista não suportado por regras e procedimentos (RASMUSSEN; SVEDUNG, 2000).

2.3.2 Causas do Erro Humano

Basicamente existem dois tipos de causas de erro humano, as de origem interna e as de origem externa. As causas internas levam aos erros endógenos, e as externas, aos erros exógenos.

Os erros endógenos têm causas internas tais como uma falha dentro de processo cognitivo. A fim de explicar a ocorrência de erros endógenos, será necessário se apoiar nas ciências psicológicas e neurológicas. Já os erros exógenos têm causas externas e estão relacionados a um contexto dentro do qual o ambiente externo contribui para um provável erro durante a execução de uma atividade humana. Portanto, mesmo os erros exógenos requerem o envolvimento de processos cognitivos internos. Em uma situação onde um indivíduo interpreta uma informação de forma confusa e conflitante devido à interferência de um estímulo externo, este erro consiste em um erro exógeno, porém com uma parte de erro endógeno. Por outro lado, quando um erro endógeno ocorre, não existe nenhuma evidência de causas externas, embora seja difícil mostrar isto com certeza.

Embora a distinção entre erros endógenos e exógenos pareça ser bastante artificial, trata-se de um conceito importante para o entendimento da natureza do erro humano. Esta importância está associada à possibilidade de redução da frequência

de ocorrência de erros exógenos a partir de mudanças ou adequações no ambiente externo, o que não acontece com os erros endógenos (WHITTINGHAM, 2004).

Resumindo, as causas de erros humanos endógenos e exógenos na execução de uma tarefa têm influências internas e externas. Estas influências podem ser entendidas como fatores que influenciam o desempenho de um indivíduo na execução de uma tarefa.

2.3.3 Fatores Influenciadores da Performance Humana

A performance humana é o equilíbrio entre a capacidade de um indivíduo de executar a tarefa e as exigências de uma tarefa. Um bom desempenho consiste em obter um equilíbrio correto.

A Figura 10 ilustra que quanto maior for a exigência da tarefa, maior deve ser a capacidade humana para executá-la, neste tipo de interação um treinamento deveria ser proposto para proporcionar uma capacidade maior para este indivíduo, promovendo assim um equilíbrio nesta interação.

Por outro lado, se o indivíduo possuir uma alta capacidade, a exigência da tarefa também deveria ser revista, para evitar a subutilização deste indivíduo, prejudicando o potencial do seu desempenho, resultando em uma desmotivação que também é um fator que pode levar a erros na execução da tarefa.

A Figura 10 (A) apresenta uma capacidade humana pobre e a Figura 10 (B) apresenta boa capacidade humana (WHITTINGHAM, 2004).

Figura 10 – Equilíbrio entre a exigência da tarefa e a capacidade humana
Fonte: Whittingham (2004)

As interações humanas em um sistema podem ser classificadas em dois principais grupos, uma resposta cognitiva ou uma ação física; conforme mencionado

no item 2.3.1 os erros relacionados a estas categorias são, respectivamente, os de omissão e comissão.

Na Análise da Confiabilidade Humana deve-se determinar o tipo de erro que ocorrerá e os fatores influenciadores da performance humana que poderão contribuir para a ocorrência do erro (CHANDLER et al., 2010).

Para entender o quanto esses fatores influenciam o elemento humano na execução de uma tarefa, é necessário ter um mecanismo de propagação das influências destes fatores para conhecer aqueles que têm uma maior influência na performance do humano. Os fatores com a maior influência seriam as causas dos erros humanos na execução de uma tarefa.

O ponto de interação entre o humano e o equipamento ou sistema é conhecido como interface homem-sistema e as influências destas causas ou fatores de influências, conforme mencionados no item 2.3.2, podem ser internos e externos.

Os fatores influenciadores da performance humana externos incluem o ambiente de trabalho, projetos de equipamentos e procedimentos escritos ou instruções orais.

Os fatores influenciadores da performance humana internos representam as características individuais, habilidades, motivações, e expectativas que influenciam a performance do indivíduo. O fator estresse resulta do ambiente de trabalho no qual exigências são inseridas no operador em desconformidade com as suas capacidades e limitações; muitas destas exigências podem ser devido à pressão do tempo e da carga de trabalho. Para executar uma Análise da Confiabilidade Humana, um analista deve identificar os fatores mais relevantes e influenciadores na interface homem-sistema avaliada (SWAIN; GUTTMAN, 1983).

Para apoiar o especialista na análise da confiabilidade humana é primordial conhecer um conjunto de fatores influenciadores da performance humana. Cada método de Análise da Confiabilidade Humana reúne os fatores principais, na seção seguinte será apresentado como os fatores influenciadores da performance humana podem ser organizados.

2.3.3.1 Taxonomia dos Fatores Influenciadores da Performance Humana

Muitos métodos de Análise da Confiabilidade Humana estimam a probabilidade do erro humano baseado em vários estados de PSF (*Performance Shape Factor*).

Não existe um padrão de conjunto de PSF usado na ACH, contudo cada método usa um conjunto específico de PSF com variações de grau das interdependências entre eles (WHITTINGHAM, 2004).

Os métodos atuais de Análise de Confiabilidade Humana contam com um conjunto de PSF totalizando um pouco mais de 50 PSF com variações no grau de superposição (não-ortogonalidade) entre os PSF, esta não-ortogonalidade é observada em quase todos os conjuntos de PSF.

Alguns métodos de ACH não oferecem um modelo causal de PSF. Nenhum dos conjuntos de PSF usados por métodos de ACH foi adaptado para o uso do modelo causal porque os conjuntos de PSF atuais foram projetados e analisados por especialista em um modelo que não é quantificado. Um dos maiores problemas com os PSF apresentados na literatura é a superposição existente entre eles (GROTH; MOSLEH, 2010).

A razão das variações no grau de superposição dos PSF é porque algumas ACH foram projetadas e analisadas por especialista através de uma análise qualitativa, já para uma análise quantitativa faz-se necessário uma certa hierarquia entre os PSF para se obter um modelo causal.

Os especialistas da “*Ergonomic Society*” publicaram uma pesquisa que apresenta uma variedade considerável de fatores influenciadores da performance humana em diversos sistemas; este trabalho torna-se um acervo considerável para ser usado em análise da confiabilidade humana (GAWRON et al., 1991).

A análise de confiabilidade humana usada na indústria nuclear considera os fatores influenciadores da performance humana classificados em três categorias, os externos, os internos e os estressores, sendo que os estressores podem afetar os aspectos físicos e psicológicos (SWAIN; GUTTMAN, 1983). A Tabela abaixo apresenta estas três categorias.

Tabela 2 – Fatores da Performance Humana

FATORES EXTERNOS
Condições de Localização/acesso ao locais das ações
Temperatura
Umidade
Qualidade do ar
Iluminação
Ruído
Vibração
Grau de Limpeza em geral
Relação horas de trabalho/descanso
Disponibilidade e adequação de instrumento e ferramentas especiais
Condições de acesso/manuseio dos controles dos equipamentos
Diferenciação no formato/cor/localização para os controles/displays
Organização de plantões e o número de operadores por turno de trabalho
Necessidade de rapidez e precisão na execução de determinadas tarefas
Necessidade de interpretação para determinadas tarefas
Condições /"clima" para tomada de decisões
Repetitividade em determinadas tarefas
Grau de complexidade de determinadas tarefas
Realização de cálculos em algumas atividades
Comunicação entre membros da equipe
Qualidade da interface homem-máquina
Estado das ferramentas e instrumentos utilizados nas atividades
Existência de procedimentos/instruções de trabalho orais
Existência ou não de instruções escritas para realização de diagnóstico
Coerência nos métodos de trabalho
Erro de conteúdo e/ou de sequência nos procedimentos escritos
Comodidade na execução das tarefas
FATORES INTERNOS
Tempo de experiência na função
Conhecimentos na área de atuação
Familiaridade com ações de resposta a situações de emergência
Estado emocional
Identificação com o grupo de trabalho
Condição física do operador
FATORES ESTRESSORES
Estresse em situações de emergência
Duração do estresse
Risco de exposição a perigos
Subtaneidade (supresa) das ocorrências
Carga de trabalho
Monotonia no trabalho
Períodos longos de vigilância sem ocorrências
Aparição ocasional de ruídos ou outros fatores que causem distração
Disparos acidentais e rotineiros de alarmes
Caso de fadiga

2.3.4 Técnicas de Análise da Confiabilidade Humana

Nota-se o crescimento de várias técnicas depois dos acidentes ocorridos nas indústrias em Seveso (1976), Three Mile Island (1979), Bhopal (1983), e Chernobyl (1986), cujas investigações ressaltaram uma substancial contribuição da falha humana na ocorrência destes acidentes (MADONNA et al., 2009).

De acordo com Swain & Guttman (1983), a maioria dos especialistas responsáveis pelo desenvolvimento de análise de confiabilidade humana das técnicas de ACH tradicionais, define probabilidade de erro humano (PEH) como:

$$PEH = \frac{\text{Número de erros}}{\text{Número de oportunidades para errar}} \quad 2-19$$

Essa definição é chamada de frequentista, pois é necessário saber a frequência com que um erro ocorre em um determinado intervalo de tempo. Para inferir sobre o verdadeiro valor da probabilidade de erro humano de maneira empírica, isto é, frequentista, é necessário encontrar o “número de oportunidades para errar”. Diferentemente de equipamentos, indivíduos podem aprender com seus erros, mesmo que o ambiente externo possa ser mantido constante, é impossível que um indivíduo se depare com a mesma situação duas vezes com o mesmo grau de experiência. A inferência subjetiva ou bayesiana, mostra-se mais funcional neste caso e será abordada na seção 2.3.5 (MENÊZES; FIRMINO; DROGUETT, 2005).

A seguir, serão apresentadas a evolução das técnicas desenvolvidas para a ACH, começando pelas técnicas da 1ª geração, focalizando os pontos fortes e fracos, e na sequência o mesmo para a 2ª geração, e para finalizar são abordadas as técnicas da 3ª geração que consideram a interdependência dos fatores influenciadores da performance humana, ressaltando o emprego das redes bayesianas (CALIXTO et al., 2011).

2.3.4.1 Técnicas da 1ª Geração

As técnicas da primeira geração foram desenvolvidas entre o período de 1975 até 1984 (SOUZA; FIRMINO; DROGUETT, 2009).

Estas técnicas surgiram para auxiliar o analista de risco a prever e quantificar a probabilidade do erro humano. A abordagem das técnicas de primeira geração tende a ser detalhista; estas técnicas encorajam o avaliador a quebrar uma tarefa em atividades e, em seguida, considerar o impacto potencial de fatores influenciadores, como pressão de tempo, design de equipamentos e estresse sobre o resultado das atividades. Ao combinar estes elementos o analista pode avaliar o potencial de erro humano (HEP – do inglês *Human Error Probability*).

As técnicas de primeira geração focam na ação humana baseado no nível da habilidade e da regra e são frequentemente criticadas por não considerar tais ações como impacto no contexto dos fatores organizacionais e de erros de comissão. Apesar destas críticas, estas técnicas são úteis e comumente aplicadas em estudos de confiabilidade humana e de análise de risco (BELL; HOLROYD, 2009).

Exemplos de técnicas que estão publicamente disponíveis:

- THERP (Technique for Human Rate Prediction),
- HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique),
- SPAR-H (Simplified Plant Analysis Risk Human Reliability Assessment).

Exemplos de técnicas que não estão publicamente disponíveis, isto é, são apenas de uso exclusivo de seus desenvolvedores:

- HRMS (Human Reliability Management System),
- JHEDI (Justified Human Error Data Information) e
- INTENT (Not Acronym)

Destaca-se a THERP por ser a técnica mais conhecida da primeira geração. A THERP é baseada em árvores de eventos, cada nó na árvore de eventos corresponde a uma ação e as ramificações representam o erro ou sucesso do operador em executar esta ação. Através do uso do banco de dados fornecido pela THERP, é possível estimar as probabilidades de erro e sucesso de cada ação.

Posteriormente, as probabilidades são ajustadas com a finalidade de considerar os fatores de desempenho relevantes para um contexto específico. Em decorrência do uso de árvore binária de eventos, este método não considera a dependência entre eventos e entre fatores de desempenho, o que constitui a sua principal deficiência. Diante disso, apresenta uma grande dificuldade na modelagem das ações humanas, bem como na qualificação dos modelos causais (MENÊZES; FIRMINO; DROGUETT, 2005).

Como a THERP e a SPARH são as técnicas que mais se destacam elas foram escolhidas para uma breve descrição conforme apresentadas nas Tabela 3 e Tabela 4 .

Tabela 3 – THERP - Vantagens e Desvantagens

DESCRIÇÃO
THERP avalia a confiabilidade humana, trata das análises de tarefas, da identificação e representação do erro, bem como da quantificação da probabilidade do erro humano (Kirwan, 1994).
VANTAGENS
<ul style="list-style-type: none">• Tem uso prático.• O seu banco de dados pode ser utilizado sistematicamente, permitindo inclusão de novos dados de erro quando disponíveis.• Tem um procedimento detalhista na análise das tarefas, exige que o analista conheça bem os potenciais de erros humanos (Kirwan, 1994).
DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none">• Pode consumir muito tempo.• Consideração impessoal do erro: duas pessoas não possuem a mesma reação como equipamentos.• Utiliza árvores binárias de eventos para modelar ações humanas, este método não considera a dependência entre eventos e entre fatores de desempenho (Swain e Guttman, 1983).

Fonte: Kirwan, 1994 e Swain e Guttman, 1983

Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens – SPAR-H

DESCRIÇÃO
É um método que decompõe a probabilidade em, falhas de diagnóstico e falhas de ação. Considera no erro nominal as influências dos fatores da modelagem de desempenho (PSFs) e dependência entre as tarefas de ação e diagnóstico Gertman et al (2004a).
VANTAGENS
<ul style="list-style-type: none">• É relativamente fácil de usar e os resultados podem ser rastreáveis.• Os seus PSFs específicos abrangem muitas situações dispensando análises mais detalhadas.• O modelo de dependência é semelhante ao do THERP para abordar subtarefas e dependência de sequência de eventos (Bell e Holroyd, 2009).
DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none">• O grau de resolução dos seus PSFs específicos pode ser inadequado para uma análise detalhada.• Nenhuma orientação explícita é oferecida para abordar uma gama mais ampla de PSFs se necessário.• O método pode não ser apropriado quando é necessária uma análise mais realista e detalhada dos erros de diagnóstico (Bell e Holroyd, 2009).

Fonte: Bell, Holroyd, 2009

2.3.4.2 Técnicas da 2ª Geração

As técnicas da segunda geração foram desenvolvidas entre o período de 1984 e 1999. Elas surgiram com o objetivo de superar as deficiências das técnicas da primeira geração. As técnicas da segunda geração consideram as capacidades e limitações humanas, as quais influenciam no seu desempenho na execução da tarefa (MENÊZES; DROGUETT, 2007).

As técnicas de segunda geração têm o foco maior na avaliação dos fatores influenciadores da performance humana e no processo cognitivo, ou seja, percepção, avaliação planejamento e ação (CALIXTO et al., 2011), e procuram considerar, no contexto de análise, os erros de comissão na predição do erro humano.

A literatura mostra que as técnicas da segunda geração são geralmente consideradas em desenvolvimento, mas de alguma forma, podem fornecer informações úteis para questões de confiabilidade humana (BELL; HOLROYD, 2009).

Exemplos de técnicas que estão publicamente disponíveis:

- ATHEANA (A Technique for Human Error Analysis) e
- CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method).

Exemplos de técnicas que não estão publicamente disponíveis, isto é, são apenas de uso exclusivo de seus desenvolvedores:

- CAHR (Connectionism Assessment of Human Reliability),
- CESA (Commission Errors Search and ASSESSMENT),
- CODA (Conclusion from Occurrences' by Descriptions of Actions) e
- MERMOS (Méthode d'Evaluation de la Réalisation des Missions Operateur pour la Sûreté).

A CREAM é a técnica mais conhecida da segunda geração, ela apresenta uma tentativa de quantificar mais explicitamente a influência dos fatores sobre o desempenho dos operários através de uma generalização da árvore de eventos numa classificação policotômica. Porém, a suposição de independência entre eventos e a não incorporação explícita no tratamento de contextos dinâmicos continuou sendo um problema para a ACH. (MENÊZES; FIRMINO; DROGUETT, 2005)

Como a técnica CREAM é a mais que se destaca, ela foi escolhida para uma breve descrição abaixo (BELL; HOLROYD, 2009) com as suas vantagens e desvantagens (MATURANA, 2010).

Tabela 5 – CREAM – Vantagens e Desvantagens

DESCRIÇÃO
É totalmente bidirecional, ou seja, os mesmos princípios podem ser aplicados para análise retrospectiva, bem como previsão de desempenho. O modelo é baseado em uma distinção fundamental entre competência e controle. Um esquema de classificação separa claramente genótipos (causas) e fenótipos (manifestações) (Bell e Holroyd, 2009).
VANTAGENS
<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 (Maturana e Martins, 2010)
DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none">• Requer muito conhecimento no campo de falhas humanas para perfeita aplicação, podendo ser muito complicada para um analista inexperiente• Requer muito recurso e tempo para ser completada• Não contribui para apontar os potenciais de erros para redução (Maturana e Martins, 2010).

Fonte: Bell, Holroyd, 2009

2.3.4.3 Técnicas da 3ª Geração

As técnicas de terceira geração começaram a ser desenvolvidas em meados de 2005 quando a abordagem por redes bayesianas passou a ser aplicada para prever o erro humano (SOUZA; FIRMINO; DROGUETT, 2009).

A indústria nuclear desenvolveu a técnica NARA, a qual não está publicamente disponível, e é de uso exclusivo da indústria nuclear (BELL; HOLROYD, 2009).

Essas técnicas fornecem um meio estruturado para que os especialistas considerem a probabilidade do erro humano em um cenário específico, considerando a dependência dos fatores de performance humanos na falha humana (BELL; HOLROYD, 2009).

Para sistemas complexos, onde a quantidade de variáveis é elevada, são utilizadas redes bayesianas (NEAPOLITAN, 2003), apresentada na seção 2.3.5

As RB são estruturas gráficas acíclicas que permitem representar dependências entre as variáveis aleatórias, em um modelo probabilístico e oferecem um tratamento adequado às incertezas envolvidas (KORB, 2004).

Modelar ações humanas por redes bayesianas pode suprir as maiores deficiências das técnicas de ACH tradicionais, proporcionando uma maior flexibilidade às variáveis componentes de um determinado sistema, pois além de permitir uma representação mais realista da interface homem-máquina, também representa a

relação de dependência entre os eventos e entre os fatores de desempenho (MENÊZES; FIRMINO; DROGUETT, 2005).

A Tabela 6 apresenta uma breve descrição, vantagens e desvantagens da técnica de análise de confiabilidade humana pela abordagem das redes bayesianas.

Tabela 6 - Rede Bayesiana – Vantagens e Desvantagens

DESCRIÇÃO
Matematicamente, uma rede bayesiana é uma representação compacta de uma tabela de conjunção de probabilidades do universo do problema (Droguett et al, 2009).
VANTAGENS
<ul style="list-style-type: none">• Há uma representação mais real e dinâmica das interações homem-sistema, já que as relações do contexto mais relevantes estão presentes na rede e são expressas por probabilidades condicionais.• É possível atualizar o problema através das inferências subjetivas e empíricas.• Há flexibilidade de se representar novos conhecimentos, ou seja, inclusão de novas causas e efeitos, já que apenas é alterada a distribuição de probabilidades condicionais de tal efeito.• Pequenos desvios no comportamento humano são tratados, desde que estejam na rede, isto é, há sensibilidade a variabilidade do comportamento humano (Droguett et al, 2009).
DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none">• A maior dificuldade está na grande quantidade de probabilidades condicionais necessárias para a alimentação da rede.• Exige bom conhecimento sobre o sistema a ser modelado para determinar quais dependências são significativas.• Para permitir a modelagem, pode ocorrer que sejam empregadas variáveis discretas para modelar fenômenos contínuos na natureza trazendo imprecisões ao modelo (Maturana e Martins, 2010).

Fonte: Maturana, 2010 e Drouguett et al, 2009

2.3.5 Aplicação das Redes Bayesianas para ACH

Diante das críticas aos modelos de ACH tradicionais surgem as expectativas quanto a métodos futuros. Estas podem ser encontradas em (MOSLEH; CHANG, 2004).

A seguir apresentam-se algumas das expectativas desses autores e como a utilização de redes bayesianas podem contribuir para a resolução de cada uma delas:

- Identificação de erros de maneira contextual e estimação de probabilidades: redes bayesianas contextualizam o erro, tanto qualitativamente através dos causadores presentes vistos através da estrutura gráfica quanto, quantitativamente através do cálculo das probabilidades condicionais da rede;

- Melhores modelos causais: redes bayesianas são, por definição, estruturas gráficas que representam as relações de causa e efeito entre variáveis;
- Representação mais realista da natureza dinâmica das interações homem-sistema: redes bayesianas permitem representar a dinâmica das interações através da montagem de cenários na rede e as relações de causa e efeito pertencentes ao contexto.
- Capaz de ser aplicada em contextos diferentes: redes bayesianas são uma grande ferramenta para analisar diferentes contextos. Por exemplo, monitorar problemas operacionais através de diagnósticos e prognósticos, possibilitando um melhor entendimento sobre a relevância dos fatores de desempenho nos operadores, permitindo assim a providência de medidas que atenuem os seus efeitos. Pode-se também solucionar problemas gerenciais através do conhecimento prévio de fatores decisivos, tais como uma melhor definição das qualidades de um operador na contratação;
- Melhor calibração com eventos operacionais atuais: através de redes bayesianas é possível atualizar o sistema realizando inferências subjetivas e empíricas. Percebe-se que as características de redes bayesianas parecem suprir muitas das expectativas em relação a métodos de ACH futuros, demonstrando, assim, ser uma boa aproximação na modelagem de erros humanos.
- Redes bayesianas permitem fazer inferências gerenciais e operacionais dando suporte técnico científico a sistemas de produção. Como por exemplo, é possível através de redes bayesianas, verificar desde a importância da habilidade do operador no momento da contratação até a percepção medida probabilisticamente da gravidade de sua falta de atenção durante a realização da tarefa.

Na Figura 11, é apresentado o modelo de uma RB, em que a variável “Atenção” é influenciada pelas variáveis “Fadiga” e “Estado Emocional”, e por sua vez “Fadiga” é influenciada pela “Carga de Trabalho”, ou seja, a variável atenção de um indivíduo é influenciada diretamente por fadiga e pelo estado emocional e indiretamente pela carga de trabalho.

Figura 11 – Rede Bayesiana - Atenção

Apesar das vantagens em modelar a confiabilidade humana via redes bayesianas, a maior dificuldade está na grande quantidade de probabilidades condicionais necessárias para a alimentação da rede.

Diante deste fato e considerando a escassez de dados existentes, uma vez que erros humanos são raramente coletados e organizados em um banco de dados, recorre-se à opinião do especialista e da lógica nebulosa (fuzzy).

2.3.6 Lógica Nebulosa (fuzzy)

Conforme mencionado anteriormente, a necessidade de aquisição das probabilidades condicionadas da TPC (Tabela de Probabilidade Condicionada) apresenta-se como uma desvantagem da técnica de modelagem para prever o erro humano pela abordagem das redes bayesianas, devido à dificuldade em combinar várias probabilidades, resultado das influências de vários nós pais em um nó filho.

A lógica fuzzy pode ser utilizada para suprir esta desvantagem uma vez que ela pode ser aplicada para combinar estas probabilidades através da lógica booleana. É comumente aplicada na inteligência artificial, é uma ferramenta bastante útil na modelagem de incertezas quando não se dispõe de informações estatísticas.

A lógica fuzzy é uma lógica de múltiplos valores a qual permite definir valores intermediários entre valores convencionais como verdadeiro/falso, sim/não baixo/alto, etc. Noções como demais ou muito rápido podem ser formulados matematicamente e processados por computadores. Com isso, a lógica fuzzy tenta modelar o senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum do ser humano.

A lógica fuzzy é baseada na teoria dos conjuntos fuzzy. Um conjunto fuzzy pode ser definido como uma coleção de elementos em um universo de informações, onde o limite deste conjunto contido no universo é ambíguo, vago e difuso .

Este conjunto é definido como:

$$A: X \rightarrow [0,1]$$

2-20

Este tipo de conjunto permite que os seus membros tenham diferentes graus de pertinência (função de pertinência) no intervalo $[0,1]$.

A Teoria dos conjuntos fuzzy estabelecida por Zadeh (1965) consegue tratar a incerteza acumulada no processo de classificação. Desta forma, a incerteza e a imprecisão podem fazer parte do mesmo estudo utilizando concomitantemente as duas teorias, da Probabilidade e da Possibilidade, como afirma o próprio Zadeh: “(...) a probabilidade deve ser utilizada em conjunto com a lógica fuzzy para enfatizar sua efetividade. Nesta perspectiva, a teoria da probabilidade e a lógica fuzzy são complementares mais do que competidoras” (Zadeh, 1995) (NASCIMENTO, 2010).

2.3.6.1 Conjuntos Fuzzy

A teoria clássica de conjuntos permite o tratamento de classes de objetos e suas inter-relações em um universo definido. Nesta teoria, a pertinência de um dado elemento com relação a um conjunto refere-se ao fato de tal elemento pertencer ou não a esse conjunto. De uma forma ilustrativa, considere-se o gráfico apresentado no lado esquerdo da Figura 12 que representa um exemplo típico da teoria clássica e descreve a altura de uma pessoa através de três conjuntos: baixo, médio e alto.

Neste exemplo, dado um elemento x qualquer, o mesmo pertencerá a um dos conjuntos do gráfico; por exemplo se $x_1 = 1,69$ ele é classificado como baixo e, se $x_2 = 1,71$ ele é classificado como alto. Apesar destes dois elementos pertencerem a classes diferentes, fica difícil dizer que uma pessoa com 1,69 m e outra com 1,71 m, pertençam a classes diferentes.

Na lógica fuzzy, tanto x_1 quanto x_2 têm graus de pertinências aos conjuntos fuzzy definidos, que podem variar de 0 a 1 conforme apresentado na Figura 12 à direita (MARRO, A.; SOUZA, 2010).

Figura 12 – Lógica Convencional à esquerda – Lógica Fuzzy à direita

2.3.6.2 Funções de Pertinência

Como pode ser observado na Eq. 2-20 o intervalo de pertinência é $[0,1]$, onde 0 significa que um elemento não pertence a um determinado conjunto e 1 significa completa pertinência ao conjunto; valores entre 0 e 1 representam graus parciais de pertinências. Na lógica fuzzy, um elemento pertence a um conjunto com um certo grau de pertinência, fazendo com que uma determinada sentença possa ser parcialmente verdadeira e parcialmente falsa (NASCIMENTO; MESQUITA, 2010).

As funções de pertinência mais usadas são: trapezoidal, triangular, gaussiana e sigmoide.

Neste trabalho foram usadas a função trapezoidal e triangular para obter as probabilidades condicionais da TPC. Adotou-se a função trapezoidal para representar os valores extremos das probabilidades e a função triangular para representar os valores médios das probabilidades. As funções trapezoidal e triangular podem ser observadas nas Figura 13 e Figura 14.

Figura 13 – Função Trapezoidal

Figura 14 – Função Triangular

2.3.6.3 Operações Fuzzy

Pelo fato da teoria dos conjuntos fuzzy ser uma extensão da teoria clássica dos conjuntos, as operações entre conjuntos fuzzy são definidas como uma extensão das operações e relações da teoria clássica.

Assim como nos conjuntos crisp (clássicos), as generalizações das operações lógicas tradicionais como, por exemplo, união, intersecção e complemento, podem ser aplicadas a conjuntos fuzzy.

A operação união (e a operação de intersecção também) pode ser definida de muitas maneiras nesta teoria. Aqui, é discutida a definição mais utilizada na engenharia.

A união de dois conjuntos fuzzy A e B com funções de pertinências $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$, conforme Figura 15, é definida por um conjunto fuzzy C definido por um operador *max* (máximo), descrito como segue:

$$\forall x \in U: \mu_C = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

2-21

Figura 15 – União de Dois conjuntos Fuzzy

A intersecção entre os conjuntos A e B com as funções de pertinências $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$ respectivamente, conforme a Figura 16, é o conjunto fuzzy C, descrito como segue na Equação:

$$\forall x \in U: \mu_C = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad 2-22$$

Figura 16 – Intersecção de Dois conjuntos Fuzzy

É importante observar que, embora as equações de união e intersecção pareçam ser as mesmas para os conjuntos clássicos e fuzzy, elas diferem no fato de que $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$ podem assumir qualquer valor no intervalo completo $[0,1]$ (NASCIMENTO, 2010).

2.3.6.4 Regras Fuzzy

As regras fuzzy são regras normais utilizadas para operar, da maneira correta, conjuntos fuzzy, com o intuito de obter consequentes.

Para propor tais regras, é preciso um raciocínio coerente com o que se pretende manusear e obter. Para isso, este raciocínio deve ser dividido em duas etapas: (1) avaliar o antecedente da regra (entradas) e (2) aplicar o resultado ao consequente (saídas).

Por exemplo, considerando a sentença: se x é alto, então x é pesado.

Seguindo os passos 1 e 2 acima, tem-se que para $x = 1,70m$, deve-se, primeiramente, verificar o grau de pertinência da entrada para o conjunto ao qual se encaixa, alto, que é, para este caso, $\mu(x) = 0,5$. Como o grau de pertinência da entrada x é tal, então se deve passar este valor de pertinência para um $y = 80 \text{ kg}$ (por exemplo), pertencente ao conjunto pesado.

Para casos em que existam vários antecedentes, é preciso encontrar um grau de pertinência resultante de todos os dos antecedentes. Nos casos em que o conectivo entre os antecedentes seja “e”, devem-se utilizar métodos de combinação, contanto que o resultado não ultrapasse o valor de menor pertinência entre os antecedentes; um exemplo de método seria o mínimo das pertinências.

Já nos casos em que o conectivo entre os antecedentes for “ou”, deve-se utilizar métodos de combinação, contanto que o resultado não seja menor que o maior grau de pertinência.

O raciocínio é bem mais simples para casos em que existam vários consequentes, pois o grau de pertinência resultante será o mesmo para todos os consequentes (MARRO, A.; SOUZA, 2010).

2.3.6.5 Variáveis Linguísticas

O desenvolvimento de um sistema com conjuntos fuzzy envolve a concepção das funções de pertinência que atribuem valores linguísticos para as variáveis linguísticas.

Uma variável fuzzy é subdividida em seu universo de discurso (ou seja, raio de ação) em funções de pertinência associadas a cada possível valor assumido pela variável para aquele conjunto. Assim, neste trabalho, numa avaliação de um especialista para a chance de ocorrência de um determinado erro em uma tarefa elementar, a probabilidade avaliada é considerada uma variável fuzzy e os qualificadores possíveis (adequado, inadequado, sim, não, alta, baixa, etc.) são possíveis valores assumidos por esta variável.

A forma da função de pertinência afeta o desempenho do sistema de inferência fuzzy, que envolve a escolha de todo um conjunto de parâmetros, operadores lógicos e regras determinadas pela lógica fuzzy. Em geral, as funções triangular e trapezoidal representam um bom compromisso entre o poder descritivo desta linguagem e a simplicidade computacional (NASCIMENTO, 2010).

2.3.6.6 Computação com as palavras

A lógica fuzzy também pode ser definida como a metodologia que permite a computação com palavras, afirmando que nenhum outro método de modelagem o faz com tal flexibilidade. A computação com palavras é necessária para justificar o uso de números quando a informação disponível é imprecisa, e quando há uma tolerância de imprecisão que pode ser explorada para alcançar a manuseabilidade, robustez, solução de baixo custo e melhor conformidade com a realidade (NASCIMENTO, 2010).

2.3.6.7 Inferência Fuzzy

A inferência fuzzy é um processo de avaliação de entradas com o objetivo de, através das regras previamente definidas e das entradas, obter conclusões utilizando-se a teoria de conjuntos fuzzy. Esse processo pode ser feito através de modelos de inferência, cuja escolha deve levar em consideração o tipo de problema a ser resolvido, obtendo-se assim um melhor processamento.

Existem vários métodos de inferência, mas o mais comumente utilizado, é o método Mamdani .

O estilo de inferência Mamdani foi criado pelo professor Ebrahim Mamdani da Universidade de Londres (Reino Unido) em 1975 no contexto do desenvolvimento de sistemas fuzzy baseando-se em regras de conjuntos fuzzy no intuito de representar experiências da vida real (NASCIMENTO, 2010).

Para a construção desse sistema, foi definido um processo de raciocínio dividido em quatro passos: (1) fuzzyficação, (2) avaliação das regras fuzzy, (3) agregação das regras fuzzy e (4) defuzzyficação, cada uma delas explicadas sucintamente nas subseções a seguir.

Para ilustrar cada uma das etapas, considere a análise de riscos num projeto. Nesse domínio, identificam-se três variáveis linguísticas (as duas primeiras de entrada e a última de saída), apresentadas na Tabela 7, bem como seus respectivos valores. Desta feita, quer-se estabelecer, sendo conhecidos um valor x de recurso monetário para o projeto e um número y de funcionários para trabalhar no mesmo, qual o risco z desse projeto.

Tabela 7 – Variáveis e Valores Linguísticos na Análise de Riscos de um Projeto

Fundos do projeto (x)	
Valor linguístico	Notação
Inadequado	A1
Razoável	A2
Adequado	A3
Funcionário do projeto (y)	
Valor linguístico	Notação
Pequeno	B1
Grande	B2
Risco do projeto (z)	
Valor linguístico	Notação
Baixo	C1
Normal	C2
Alto	C3

2.3.6.8 Fuzzificação

Essa etapa obtém o grau de pertinência com que cada entrada pertence a cada conjunto fuzzy. Cada uma dessas entradas foi previamente limitada no universo de discurso em questão e associada a um grau de pertinência em cada conjunto fuzzy através do conhecimento do especialista.

Então para obter o grau de pertinência de uma determinada entrada crisp basta buscar esse valor na base de conhecimento do sistema fuzzy.

Para o exemplo em questão, têm-se os conjuntos fuzzy e graus de pertinência para cada uma das variáveis de entrada, conforme mostrado na Figura 17, resultando nos seus respectivos conjuntos fuzzy e graus de pertinência :

Figura 17 – Fuzzificação das variáveis linguísticas de entrada x e y

2.3.6.9 Avaliação das Regras Fuzzy

Depois de obter as entradas fuzzyficadas é só aplicá-las aos antecedentes obtendo-se assim o valor do consequente para cada regra.

Para um antecedente composto, os operadores “e” e “ou” são utilizados para obter um único resultado; no caso do operador “ou” é utilizada a operação de união (pega o maior grau de pertinência), e, no caso do operador “e”, é utilizada a de interseção (pega o menor grau de pertinência).

Depois de obter um único valor para o antecedente, é necessário obter o valor do consequente através de um método de correlação dos mesmos. O método mais comum é conhecido como clipped, onde o consequente é “cortado” para o nível de valor verdade do antecedente da regra avaliada, ou seja, o valor obtido é simplesmente passado para o consequente dessa regra.

Por exemplo, com base nos graus de pertinência e nas correlações entre as variáveis linguísticas, têm-se as regras

1. IF (x is A3 (0) or y is B1 (0.1)) THEN (z is C1 (0.1))
2. IF (x is A2 (0.2) and y is B2 (0.7)) THEN (z is C2 (0.2))
3. IF (x is A1 (0.5)) THEN (z is C3 (0.5))

É importante notar que, na regra 1, com a operação ou (or), tem-se que o grau de pertinência de z é 0.1, o maior entre os graus de x e de y; de forma similar, com a operação e (and) na regra 2, o grau de pertinência de z é 0.2, o menor dentre os graus de x e y. Na regra 3 foi aplicado o clipped: como tem-se apenas um valor na variável linguística de entrada que consta no antecedente (no caso, x), então o mesmo é passado para a variável linguística de saída que consta no consequente (no caso, z).

2.3.6.10 Agregação das Regras Fuzzy

Como o nome sugere, nessa etapa são agregadas todas as funções membro dos consequentes de cada regra em um único conjunto fuzzy.

Para o exemplo em questão, os conjuntos fuzzy para a variável z e seus respectivos graus de pertinência, produzidos pela aplicação das regras fuzzy 1, 2 e 3 são apresentados na Figura 18.

Figura 18 - Conj fuzzy e graus de pertinência da variável linguística de saída z

A agregação desses conjuntos resulta no conjunto fuzzy da Figura 19, produzido pela aplicação das regras fuzzy 1, 2 e 3

Figura 19 - Agregação das regras fuzzy 1, 2 e 3

2.3.6.11 Defuzzificação

Para se obter uma saída numérica é necessário defuzzificar a saída obtida na seção anterior. O método de defuzzificação mais comum é a técnica do centróide, que obtém o ponto onde uma linha vertical divide ao meio um conjunto agregado (MARRO, A.; SOUZA, 2010).

A fórmula matemática que obtém esse ponto é expressa da seguinte forma.

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu(x) \cdot x}{\sum_{x=a}^b \mu(x)} \quad 2-23$$

A precisão do método depende do intervalo escolhido, quanto maior mais impreciso, porém mais rápido de calcular.

Considerando o conjunto fuzzy da Figura 19, o resultado numérico obtido com a aplicação da técnica do centróide (COG) é dado por :

$$COG = \frac{(0 + 10 + 20).0,1 + (30 + 40 + 50).0,2 + (60 + 70 + 80 + 90 + 100).0,5}{0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,5 + 0,5 + 0,5}$$
$$COG = 95,6$$

Assim, tem-se que o risco do projeto em questão é de 95,6%.

No Capítulo 4, estudo de caso deste trabalho, será aplicada a lógica fuzzy para obter as probabilidades condicionadas da tabela de probabilidades (TPC) de cada nó da rede bayesiana utilizada na modelagem que será apresentada no capítulo 3. Para definir uma modelagem para quantificar o erro humano na interface homem-máquina, faz-se necessário entender as diferentes visões de fatores humanos.

2.4 DIFERENTES VISÕES DE FATORES HUMANOS

A visão do erro humano na engenharia de segurança é o modelo mais comumente utilizada na indústria, o qual assume que o erro humano é essencialmente controlável pelo indivíduo (operador) e que as pessoas podem decidir se comportar de forma segura ou não. Ela foca nos erros ativos em vez das condições latentes. Os erros ativos são aqueles em que as consequências são notadas imediatamente após serem cometidos, enquanto que nos erros latentes, as consequências demoram mais para se manifestarem.

Essa visão do erro humano enfatiza muito a mudança de comportamento através de motivação (campanhas de segurança), ações disciplinares e de treinamento. Estas ações têm sido amplamente utilizadas na área de segurança ocupacional para prevenir danos ao trabalhador.

A visão cognitiva do erro humano é a suposição de que a mente dos operadores pode ser imaginada como um sistema que processa informações. Nesse aspecto, os seres humanos não são tratados da mesma forma como um componente (uma bomba ou uma válvula). Por essa visão, os erros estão presentes no nível cognitivo baseado em conhecimento e em regras. Erros baseados em regras podem ocorrer, por

exemplo, quando um operador considera que um reator está funcionando perfeitamente com base nas indicações de pressão e temperatura de indicadores que estão com defeito. Essa condição vai levar o operador a fazer o diagnóstico errado.

Às vezes, o operador pode se deparar com demandas bastante elevadas, que podem exercer uma grande pressão sobre a sua capacidade de processar informações e isso pode afetar o desempenho, sobretudo se a resolução de problemas for necessária de imediato. Por exemplo, o operador pode deixar de diagnosticar a causa de uma anormalidade grave dada a pressão do tempo.

No entanto, os modelos cognitivos enfrentam uma série de limitações, como por exemplo, eles não abordam os fatores contextuais relacionados, tais como fatores de projeto, de equipamentos ou ambientais, como temperatura, ruído, etc. Estes modelos também ignoram os efeitos dos fatores como fadiga, a saúde ou a motivação que afetam o operador (NASCIMENTO, 2010).

Na visão de erro humano da engenharia de fatores humanos, o erro do operador é visto como uma consequência da incompatibilidade entre as demandas de uma tarefa e as capacidades físicas e mentais de um indivíduo ou da equipe de trabalho. É também referido como “visão/abordagem de sistemas” e raramente considera a pessoa como a única causa do erro.

A visão da engenharia de fatores humanos tem uma clara vantagem por que considera uma série de fatores contextuais que afetam o desempenho humano e estes incluem o projeto da interface homem-máquina e a otimização do ambiente e local de trabalho. Esta abordagem é mais prática de se adotar por pessoas com nenhum treinamento formal em psicologia ou fatores humanos, como os engenheiros. Por isso esta abordagem tem conseguido muito sucesso na concepção de novos sistemas.

No entanto, a visão da engenharia de fatores humanos tem limitações. Na maioria das vezes, somente causas externas de erros são levadas em consideração. Uma vez que o modelo se concentra na interação com os componentes, muita ênfase é direcionada para o projeto da interface homem-máquina e para os requisitos antropométricos de tarefas e características humanas.

O processamento interno de informação, que leva a erros na área de resolução de problemas e diagnósticos só pode ser realizado pela abordagem cognitiva.

A abordagem da engenharia de fatores humanos também não fornece uma estrutura sistemática para abordar as causas fundamentais de erros. Cada visão dos

fatores humanos descritos nesta seção contribui para a abordagem de fatores humanos integrados (NASCIMENTO, 2010).

2.4.1 Abordagem de fatores humanos integrados

Devido às limitações das visões de fatores humanos discutidos na seção 2.4, um modelo que considere todas as perspectivas de erro humano seria interessante, ou seja, que possibilite descobrir a maioria, das causas básicas de erro humano. Para tratar suficientemente de erro humano, uma abordagem com os fatores humanos integrados é necessária. Dentro deste contexto, fatores humanos estão relacionados com fatores ambientais, organizacionais, de trabalho, além das características humanas e individuais que influenciam o comportamento no trabalho de uma forma que pode afetar a saúde e segurança (NASCIMENTO, 2010).

Essa abordagem põe o homem como uma parte integrante do projeto da planta, desde as primeiras fases, e mostra que um evento indesejado é o resultado de condições latentes e erros ativos. Condições latentes não afetam imediatamente o funcionamento do sistema, mas em combinação com outros fatores podem resultar em um acidente (MARTINS; FRUTUOSO E MELO; MATURANA, 2015).

2.5 MODELAGEM DO FATOR HUMANO

Um dos primeiros passos da fase de qualificação da análise da confiabilidade humana, conforme Figura 9 é determinar todos os fatores que influenciam o humano na execução das tarefas. Para entender o mecanismo de influência destes fatores de desempenho faz-se necessário um modelo que represente o elemento humano em um sistema complexo e todas as influências destes fatores no desempenho humano.

Os modelos apresentados a seguir consideram o indivíduo na interação com o ambiente, com os equipamentos (máquinas) e com outros humanos que podem ser representados pela gestão de pessoas e tudo que envolve fatores organizacionais.

O modelo SHELL, proposto por Hawkins (1987), é utilizado para a avaliação de procedimentos operacionais no setor aeronáutico. O modelo da indústria nuclear, proposto por Swain e Guttman (1983), é utilizado considerando as interfaces homem-máquina.

O modelo proposto por Maturana e Martins (2010), apesar de ter sido desenvolvido inicialmente para a avaliação de procedimentos operacionais do setor marítimo, pode ser aplicado indistintamente a qualquer setor. As subseções seguintes descrevem sucintamente estes modelos.

2.5.1 Modelo SHELL – Fator Humano na Aviação

As interdependências e influências entre os fatores influenciadores do desempenho humano podem ser representados por alguns modelos, um deles é o SHELL, cujo acrônimo representa as palavras em inglês, “Software, Hardware, Environment, Liveware” (HAWKINS, 1987)

Conforme a Figura 20 – Representação Gráfica do Modelo SHELL, este modelo coloca ênfase no ser humano e na interface com outros componentes do sistema de aviação. Cada elemento do modelo SHELL representa um bloco do estudo dos fatores humanos (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO), 2003).

O elemento humano está no centro do modelo SHELL, e ele é o mais crítico e flexível componente no sistema, interagindo diretamente com outros componentes do sistema denominados “Software, Hardware, Environment, Liveware”.

S – Simboliza Software (suporte cognitivo)

H – Simboliza Hardware (equipamento, máquina)

E – Simboliza Environment (ambiente)

L – Simboliza Liveware (elemento humano - operador)

L – Simboliza Liveware (elemento humano - organizacional)

Figura 20 – Representação Gráfica do Modelo SHELL

Conforme a Figura 20, o modelo SHELL é representado por um diagrama de blocos baseado nas iniciais de seus componentes, tendo o homem (Liveware) como o elemento central. As interfaces de cada componente (S – H – E- L) são vinculadas ao componente L (o elemento humano) e devem adaptar-se e ajustar-se a ele, e não envolvem as interfaces que se encontram fora dos Fatores Humanos (máquina – máquina, máquina – ambiente, suporte lógico – máquina). Grande parte dos fatores de desempenho do modelo SHELL são atualmente previsíveis.

As margens dos blocos desenhados (as áreas de contato entre os componentes do modelo) não são simples e retas, portanto, os outros componentes do sistema devem ser cuidadosamente combinados entre si se algum estressor ou colapso eventual tiver que ser evitado, pois uma falha nessa combinação poderá ser uma importante fonte de erro humano.

Segundo a ICAO (2003), para que se alcance esse encadeamento é essencial que haja uma compreensão das características do componente central – o homem – quanto a:

- a) Tamanho físico e forma;
- b) Necessidades físicas;
- c) Características de input – O aparelho sensório humano é capaz de coletar informações do mundo a sua volta, capacitando as pessoas a responder aos eventos

externos e a realizar as tarefas necessárias. Entretanto, todos os sentidos estão sujeitos à deterioração por uma razão ou outra.

d) Processamento de informações – Essa capacidade humana possui limitações relevantes. Projetos de instrumentos e de sistemas de alerta precários resultam frequentemente de uma falha em não se considerar adequadamente as potencialidades e as limitações do sistema de processamento de informações humano.

e) Características de output – Assim que a informação é percebida e processada, mensagens são enviadas aos músculos para iniciar a resposta desejada, que pode ser desde um movimento objetivando o controle físico até o início de alguma forma de comunicação.

f) Tolerância ambiental – Temperatura, pressão, umidade, ruído, hora do dia, claridade e escuridão podem interferir no desempenho e no bem-estar de uma pessoa. A altura, os espaços confinados e um ambiente de trabalho monótono ou estressante podem influenciar no desempenho humano. A partir dos aspectos acima descritos, os demais componentes do modelo se relacionam e se adaptam a esse componente central como a seguir:

- Elemento Humano (L) – Máquina (H): é a interface mais frequentemente considerada e relaciona-se com os ajustes da máquina ao corpo humano (assento, telas, controles, etc.). Entretanto, por uma característica natural do homem de se adaptar aos desajustes, é possível encobrir-se uma deficiência nesse sistema, mas isso não eliminará a sua existência. Erros podem advir da má localização ou da identificação inadequada de botões e alavancas, por exemplo, o que justifica a importância da análise dessa relação desde o início do projeto de um sistema.

- Elemento Humano (L) – Software (S) (Suporte Cognitivo): envolve o ser humano e os aspectos não físicos do sistema, tais como procedimentos, apresentação geral dos manuais e listas de verificação, símbolos e programas de computador. Os problemas nessa interface não são objetivos e são de difícil solução, podendo resultar da má interpretação de mapas confusos, exaustivos procedimentos, de documentação enganosa ou composta por excessivos elementos, incluindo a automação.

- Elemento Humano (L) – Ambiente (E): foi uma das interfaces que primeiro se reconheceu na aviação. As medidas adotadas inicialmente visavam garantir a adaptação do ser humano ao ambiente (capacetes, trajes de voo, macacão anti-G2,

máscaras de oxigênio, entre outros). Posteriormente, buscou-se adaptar o ambiente ao homem (pressurização e sistema de ar condicionado, isolamento acústico).

Atualmente, as preocupações incluem também as consequências das concentrações de ozônio e de radiação em voos de altitude, alteração do ritmo circadiano em viagens transcontinentais, erros de percepção provocados por condições meteorológicas, aspectos organizacionais, o contexto político e econômico da empresa aérea e suas restrições.

- Elemento Humano (L) – Elemento Humano (L): é a interface que envolve as relações interpessoais entre as equipes de trabalho, sendo relevantes aspectos como liderança, cooperação, trabalho em equipe, interação de personalidades e relações de trabalho.

A tripulação, os controladores de tráfego aéreo, os engenheiros e técnicos de manutenção e os demais profissionais operacionais funcionam como um grande grupo, e a influência grupal exerce importante papel na determinação de comportamentos e de desempenho. É nessa interface que atuam os programas de gerenciamento de recursos de cabine, como, por exemplo, o CRM (Crew Resource Management), incluindo a cultura corporativa, o clima organizacional, as pressões em funcionamento dentro da empresa, que são capazes de afetar significativamente o desempenho humano (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO), 2003).

2.5.2 Modelo Interface Homem-Máquina – Fator Humano no setor Nuclear

Segundo Swain e Guttman (1983), a interação humana com os outros componentes no sistema, conhecida como homem-máquina, deve ser tratada de forma analítica da mesma forma como são tratados os outros componentes do sistema. A análise desta interação pode ser iniciada observando o desempenho humano bem como as suas respostas para o funcionamento do sistema.

Em geral, cada humano, individualmente ou em grupo, interage com informações de partes de um sistema, tais como monitores, áudios, telas, painéis, instruções escritas ou faladas e de condições ambientais.

Essas informações são processadas pelo cérebro humano resultando em ações ou reações as quais fazem parte do sistema, ligando e interagindo pontos e, assim, acrescentando um fator humano ao processo.

Figura 21 – Modelo Simplificado do Sistema Homem-Máquina

A Figura 21 apresenta de uma forma simplificada a interface homem-máquina e as influências dos fatores de desempenho externos e internos no elemento humano na execução de uma determinada tarefa e como a máquina também interage através de seus sinais e informações.

Os fatores do desempenho determinam a confiabilidade humana na execução da tarefa. O modelo proposto por Swain e Guttman (1983), baseia-se na análise da tarefa para identificar quais os fatores influenciadores do desempenho humano, combinados entre internos e externos, mais afetam a performance humana.

Em geral, os fatores influenciadores do desempenho humano externos são aqueles que definem as situações do trabalho do operador e outros que mantêm a planta de uma usina nuclear funcionando com confiabilidade e segurança.

Os PSF externos se dividem em três categorias: Características Situacionais, Características de Tarefa e Equipamento, e Trabalho e Instruções de Tarefas. Características Situacionais incluem PSF que muitas vezes são de grande influência ou que abrangem muitos trabalhos e tarefas na planta. Características de Tarefa e Equipamento incluem PSF que são restritos para alguns dados trabalhos ou mesmo para uma tarefa dentro de um trabalho. Trabalho e Instruções de Tarefas incluem PSF conectados com materiais instrucionais usados no trabalho. Embora as instruções

sejam na verdade características de tarefas, descobriu-se que elas são mais importantes do que se acredita ser, e representam uma área em que o investimento em tempo e dinheiro são relativamente pequenos e pode resultar em melhoria substancial na confiabilidade humana (SWAIN; GUTTMAN, 1983).

Fatores influenciadores internos são únicos para cada função humana em um sistema homem-máquina. Cada pessoa no desempenho da tarefa apresenta certas qualificações, habilidades, atitudes, e uma série de outros atributos. Seria muito conveniente selecionar ou desenvolver pessoas para atender padrões específicos para trabalhar em tarefas específicas, mas como isso não é possível, seleciona-se trabalhadores com potenciais para desenvolver níveis aceitáveis de desempenho; os PSF internos determinam o nível de potencial para o qual o indivíduo pode ser desenvolvido.

Contudo, os estados de alguns dos PSF internos, como por exemplo, treinamentos, experiências e qualificações, são dependentes dos métodos organizacionais empregados para treinar o trabalhador e manter sua proficiência (SWAIN; GUTTMAN, 1983).

Os fatores influenciadores de desempenho externos ao operador, como por exemplo, tarefas, equipamentos e máquinas fazem parte do desenvolvimento do projeto e processo que fazem interface com o operador humano na execução da tarefa. Os fatores externos situacionais, além de serem fatores ambientais, tais como temperatura e ruído, são também fatores organizacionais quando referenciam escalas e cargas de trabalho, o mesmo ocorrendo com os fatores externos instruções de trabalho quando oferecem métodos e regras para desempenhar as atividades.

2.5.3 Modelo Maturana e Martins – Fator Humano no Setor Marítimo

Segundo Maturana e Martins (2010), a execução de uma tarefa depende do estado das habilidades requeridas do operador, e os estados destas habilidades dependem dos fatores ambientais e dos fatores internos do operador. Da mesma forma, os fatores ambientais influenciam a execução da tarefa, e os fatores internos influenciam o desempenho do operador, na medida em que disponibilizam as habilidades necessárias para que o operador realize a tarefa.

Figura 22 – Diagrama dos Fatores do Desempenho

Fonte: (MATURANA, 2010)

Conforme apresentado na Figura 22, os fatores externos ao operador se dividem em organizacionais e ambientais, considerando que os fatores relativos a treinamento, organização e gerenciais influenciam diretamente os fatores físicos e mentais, ou seja considera-se, por simplicidade, que quando o operador chega para a execução da tarefa, os fatores organizacionais já estão definidos, e que o único grupo de fatores que o operador traz consigo, passível de mudança de estado, são os fatores internos. As influências dos fatores organizacionais ocorrem durante a vida do operador e não durante a execução de uma tarefa específica, porém os fatores ambientais estão presentes durante a realização das tarefas, (MATURANA, 2010).

A seguir, serão apresentados os fatores externos: gerenciais e organizacionais, ambientais, situacionais e fatores internos: individuais e habilidades.

2.5.3.1 Fatores Externos – Gerenciais e Organizacionais

Conforme mencionado no item 2.3.3 e na Tabela 2 os fatores externos, tais como treinamento, instruções de trabalho escrita e oral, procedimentos, comunicações, e a maioria dos fatores estressores tais como, situações de emergências e carga de trabalho, podem ser classificados como fatores organizacionais, uma vez que derivam da cultura das organizações, e influenciam o indivíduo na execução da tarefa.

2.5.3.2 Fatores externos – Ambientais

Conforme mencionado no item 2.3.3 e na Tabela 2, os fatores externos, tais como temperatura, umidade, iluminação, vibração, qualidade do ar e barulho podem ser classificados como fatores ambientais, uma vez que são fatores do ambiente no qual o indivíduo está inserido, e influenciam a habilidade do indivíduo na execução da tarefa.

2.5.3.3 Fatores externos – Situacionais

Conforme mencionado no item 2.3.3 e na Tabela 2 os fatores externos, tais como equipamentos, ferramentas, grau de complexidade de uma tarefa, condições de visualização, monitores podem ser classificados como fatores situacionais, uma vez que são fatores do projeto de máquinas os quais representam a interface homem-máquina em que o indivíduo está inserido; estes fatores influenciam a habilidade do indivíduo na execução da tarefa.

2.5.3.4 Fatores Internos - Individuais

Conforme mencionado no item 2.3.3 e na Tabela 2, os fatores internos, representam as características individuais, tais como, experiência, conhecimento, condições físicas, emocionais e habilidades, além dos fatores internos; alguns dos fatores estressores também representam as características individuais, tais como fadiga, que influenciam o desempenho do indivíduo na execução da tarefa.

2.5.3.5 Fatores Internos – Habilidades

Conforme mencionado no item 2.5.3, a execução da tarefa depende da situação das habilidades requeridas do operador.

As habilidades tais como, atenção, percepção, interpretação, liderança, tomada de decisão e habilidades físicas e cognitivas são adquiridas e desenvolvidas pelo indivíduo conforme a demanda do ambiente no qual o indivíduo está inserido.

3 METODOLOGIA

Este capítulo, baseando-se nas principais características e limitações dos métodos disponíveis para Análise da Confiabilidade Humana referenciados no Capítulo 2, propõe a metodologia a ser utilizada para a modelagem da confiabilidade humana em uma operação utilizando a interface homem-máquina em sistemas complexos.

Originalmente baseou-se no método THERP (2.3.4.1) desenvolvida por Swain e Guttman (1983), o qual reúne quatro principais fases: Familiarização, Análise Qualitativa, Análise Quantitativa e Incorporação.

No desenvolvimento de cada fase baseou-se também em outros métodos; por exemplo na análise qualitativa utilizou-se o modelo SHELL e na fase da análise quantitativa considerou-se a aplicação das redes bayesianas (MATURANA, 2010) que através da diagnose fornece os fatores que mais influenciam o desempenho humano na execução das tarefas.

Na fase de incorporação o método desenvolvido por Kirwain (1994) apresenta um ponto relevante, o reprojeto das tarefas e ou equipamentos, após a conclusão da análise dos fatores que mais influenciaram o desempenho humano na execução da tarefa.

A metodologia de análise da confiabilidade humana proposta neste capítulo apoia o estudo de caso no capítulo seguinte, cujo principal objetivo é identificar quais fatores externos representados pelos fatores situacionais de projeto, que mais contribuíram para o erro humano na execução das tarefas de evacuação de emergência de uma aeronave.

3.1 MÉTODO PROPOSTO

A reunião dos pontos relevantes de cada uma das técnicas estudadas na seção 2.3.4, resultaram no método proposto que será aplicado nos estudo de caso do Capítulo 4.

A Tabela 8 apresenta as 4 fases da Análise da Confiabilidade Humana, e as contribuições de cada técnica estudada nestas respectivas fases.

Tabela 8 – Método Proposto Baseado nos Métodos Estudados

FASES	PASSOS	MÉTODOS REFERENCIADOS
1 - Familiarização	1.1 - Reunir informações	THERP Swain e Guttman (1983)
	1.2 - Visitar o Local	
	1.3 - Rever as informações fornecidas pelo analista do sistema	
2 - Análise Qualitativa	2.1 - Determinar os requisitos de desempenho	SHELL Hawkins (1987) Maturana e Martins (2010)
	2.2 - Avaliar a situação do desempenho	
	2.3 - Identificar os potenciais de erros humanos	
	2.4 - Modelar a performance humana	
3 - Análise Quantitativa	3.1 - Determinar as probabilidades de todos os erros humanos	Questionários e Lógica Fuzzy Maturana e Martins (2010)
	3.2 - Evidenciar que o erro humano ocorreu na Rede Bayesiana	
	3.3 - Avaliar os fatores da performance humana que mais contribuíram para o erro humano	
4 - Incorporação	4.1 - Avaliar possíveis mudanças no projeto	Kirwain (1993)
	4.2 - Implantar as	
	4.3 - Modelar a nova interface	

Os detalhes de cada uma das 4 fases e os seus passos mencionados na Tabela 8 estão descritos nos itens a seguir.

1. Fase 1 – Familiarização

Esta fase consiste em reunir todas as informações relevantes das tarefas do procedimento na interface homem-máquina e visitar o local para rever as informações fornecidas pelo analista do sistema.

Passo 1.1 - Reunir informações: Conhecer em detalhes as interações homem-máquina, quais são os equipamentos e procedimentos que interagem com o humano.

Passo 1.2 - Visitar o local: Conhecer a posição relativa do humano no local da interação com os equipamentos para avaliar as influências ambientais e situacionais na performance humana durante a execução da tarefa.

Passo 1.3 - Rever as informações fornecidas pelo analista do sistema. Avaliar todos os detalhes dos procedimentos com o analista do sistema para entender a

sequência das tarefas a serem executadas durante a operação sob análise, dificuldades de acessos e coordenação das atividades.

2. Fase 2 – Análise Qualitativa

Nesta fase são descritas as atividades das tarefas e os potenciais erros humanos, são identificados os fatores de desempenho externos e internos e também é realizada a avaliação das propagações das influências dos fatores identificados na performance humana durante a execução das tarefas,

Passo 2.1 - Determinar os requisitos para o desempenho da tarefa: Descrever as atividades necessárias para execução das tarefas, determinar a ordem e as dependências de cada atividade e todos os fatores influenciadores do desempenho necessários para execução das tarefas.

Passo 2.2 - Avaliar a situação do desempenho: Avaliar e identificar para cada atividade das tarefas, os fatores influenciadores do desempenho externos (fatores organizacionais, ambientais e situacionais), internos (fatores individuais e habilidades requeridas).

Passo 2.3 - Identificar os potenciais erros humanos: Identificar para cada atividade da tarefa os possíveis erros humanos e a suas dependências com relação aos fatores influenciadores identificados.

Passo 2.4 - Modelar a performance humana: Desenvolver um modelo para representar o elemento humano em um sistema complexo e todas as influências na performance humana. Esta etapa consolida todas as etapas anteriores da fase de qualificação; uma vez definido o modelo humano em um sistema complexo, este modelo é aplicado em cada interação do humano com o sistema (equipamento e procedimento) na execução das tarefas. A aplicação deste modelo resulta em uma rede bayesiana preliminar para cada interação do humano com o sistema.

3. Fase 3 – Análise Quantitativa

Na fase quantitativa, os nós da rede qualitativa são alimentados com as probabilidades adquiridas através dos resultados da aplicação do questionário aos voluntários, e também pela aplicação da Lógica Fuzzy. Através da definição das dependências e das influências entre os nós na rede bayesianas será possível quantificar o erro humano na execução da tarefa.

Passo 3.1 - Determinar as probabilidades dos erros humanos das atividades definidas no passo 2.3: Uma vez definida a topologia da rede bayesiana, as probabilidades dos nós raízes serão adquiridas através de um questionário aplicado

ao humano da interface estudada, conforme o Apêndice C, as respostas definirão as probabilidades de ocorrência dos estados dos nós raízes da rede bayesiana e dos nós filhos com apenas uma influência (seção 2.2). Para a definição da probabilidade de ocorrência dos nós filhos com mais de uma influência será utilizada a lógica nebulosa fuzzy para definir as probabilidades condicionais (ver Capítulo 2).

Passo 3.2 – Determinar os fatores do desempenho que mais variaram com a ocorrência do erro humano: Considerando como evidência a ocorrência do erro humano, através de análise do tipo diagnóstico, será analisada a variação da probabilidade de ocorrência dos estados de todos os fatores da desempenho definidos na rede bayesiana.

Passo 3.3 – Avaliar quais os fatores situacionais de projeto que mais contribuíram para o erro humano: Ao assumir que o erro humano ocorreu, a variação do estado inadequado das probabilidades marginais dos nós dos equipamentos, classificados como fatores situacionais de projeto, deverão ser reavaliados para identificar aqueles que mais variaram, desta forma pode-se concluir que eles foram os que mais contribuíram para a ocorrência do erro humano, logo uma reavaliação do seu projeto será necessária para diminuir a sua contribuição na ocorrência do erro humano.

4. Fase 4 – Incorporação

Esta fase conclui a aplicação do método proposto neste trabalho, uma vez conhecendo quais os fatores situacionais de projeto que mais contribuíram para o erro humano, é possível propor e implantar melhorias neste projeto, e, depois da implantação, avaliar os impactos destas melhorias na ocorrência dos erros humanos na interface pesquisada.

Passo 4.1 - Propor melhorias no desenvolvimento de projeto nos fatores situacionais de projeto: O projeto dos equipamentos que fazem interface com os humanos deverão ser revisados para melhorar a sua interface com o humano; para conhecer estas melhorias, uma entrevista com os humanos que participaram do estudo deverá ser realizada para investigar os pontos de melhorias a serem implementados.

Passo 4.2 - Implantar melhorias: As melhorias avaliadas no passo anterior deverão ser realizadas em um projeto protótipo, e posteriormente um equipamento protótipo será fabricado e instalado na nova interface a ser modelada e avaliada.

Passo 4.3 - Modelar a nova interface: Aplicar todas as fases deste método considerando o mesmo cenário avaliado anteriormente, porém com as melhorias implantadas na nova interface humano e equipamento, com o objetivo de reavaliar a mitigação do erro humano; uma avaliação geral dos impactos destas melhorias na nova interface determinará uma revisão do projeto destes equipamentos.

Os passos 4.2 e 4.3 acima serão partes das recomendações deste trabalho no Capítulo 6.

Depois das descrições de cada passo das 4 fases da ACH, e uma vez que a fase 1 seja concluída, faz-se necessário definir um modelo genérico de influência para iniciar a fase 2, análise qualitativa. A seção seguinte descreve o modelo genérico a ser utilizado.

3.1.1 Modelo Genérico

O método genérico proposto na seção 3.1, na fase 2, a análise qualitativa é um modelo genérico de influência, que reúne os Fatores do Desempenho Humano mais significativos na execução da tarefa que se propõe analisar. Este modelo genérico deve representar o humano em um sistema complexo.

Considerando os métodos de Swain e Guttman (1983), ICAO (2003), Maturana e Martin (2010), foi desenvolvido um modelo genérico para aplicação no estudo de caso apresentado no próximo capítulo.

O modelo genérico proposto considera:

- Interface homem-máquina na execução de uma tarefa considerando Swain e Guttman (1983) e ICAO (2003);
- Influência dos fatores externos ao operador nos seus fatores internos durante a execução da tarefa considerando Swain e Guttman (1983), ICAO (2003), Maturana e Martins (2010);
- As dependências dos fatores internos e externos que levam ao erro humano na execução da tarefa considerando Swain e Guttman (1983);
- Divisão dos fatores internos em individuais (conhecimento, condições físicas, preocupação, nervosismo e etc) e habilidades (atenção, interpretação, percepção, liderança, tomada de decisão), conforme proposto por Maturana e Martin (2010);

- Os fatores externos foram divididos em organizacionais, ambientais e situacionais;
- Os fatores situacionais referem-se à interface do projeto-operador que no estudo de caso do Capítulo 4 são: instruções de placares, sinais, marcas, equipamentos e etc, considerando ICAO (2003).
- Os fatores externos organizacionais referem-se à interface da companhia aérea com os tripulantes, tais como: escala de turno, carga de atividade, comunicação, treinamento e etc, e as ações da tripulação com os passageiros, por exemplo a demonstração dos itens de segurança, no estudo de caso do Capítulo 4, é a simulação das ações de uma companhia aérea com os voluntários do ensaio em uma situação de emergência, tais como: demonstração dos itens de segurança, declaração de uma situação de emergência, instruções do ensaio realizado pelo organizador do ensaio, considerando ICAO (2003) e Martins e Maturana (2010).
- Os fatores ambientais referem-se à interface do humano com o ambiente, tais como: temperatura, luminosidade, barulho, escuridão chuva e etc.

Na consideração de todas as contribuições dos métodos mencionados acima, originou-se o diagrama da Figura 23.

Figura 23 - Modelo Genérico das Influências dos Fatores de Desempenho

O modelo genérico proposto na Figura 23 representa a propagação das influências dos fatores do desempenho humano externos nos fatores do desempenho internos na execução da tarefa. A forma como as influências são propostas neste

diagrama permite uma maior assertividade durante a análise das prováveis causas dos erros humanos na execução da tarefa.

Consideram-se os fatores organizacionais (treinamento, escalas, carga de trabalho) influenciando diretamente os fatores internos individuais (experiência, conhecimento, fadiga) porque os fatores organizacionais influenciam os operadores em um período muito maior antes da execução da tarefa, através do planejamento de gestão, do que no momento de execução de uma tarefa específica. Considerou-se que a execução da tarefa depende da situação das habilidades do operador (atenção, percepção, interpretação e etc).

As habilidades são influenciadas diretamente pelos fatores individuais (experiências, conhecimento e etc) e também pelos fatores ambientais (ruído, temperaturas e etc) presentes no momento da execução das tarefas (MATURANA, 2010).

As habilidades também são influenciadas pelos fatores situacionais (equipamentos, instruções, sinais, marcas) devido ao fato de serem as interfaces diretas com o operador na execução da tarefa.

De uma forma geral, todos os fatores do desempenho humano identificados na Tabela 9, como fatores organizacionais, individuais, situacionais, ambientais e habilidades aplicados no estudo de caso do próximo capítulo são uma compilação dos apresentados em Swain e Guttman (1983), Gawron et al., (1991), Kim e Jung (2003) e Martins e Maturana (2010).

Tabela 9 – Fatores de Desempenho Humano Externos e Internos

FATORES EXTERNOS			FATORES INTERNOS	
ORGANIZACIONAIS	AMBIENTAIS	SITUACIONAIS	INDIVIDUAIS	HABILIDADES
Treinamento	Barulho	Equipamentos	Condições Físicas	Interpretação
Comunicação	Escuro	Procedimento Escrito	Comportamento Social	Atenção
Instruções de Segurança	Temperatura	Procedimento Oral	Preocupação	Percepção
Instruções de Trabalho	Luminosidade	Iluminação	Conhecimento	Liderança
Situações de Trabalho	Umidade	Criticalidade das Instruções	Experiência	Habilidade Física
Escala de Turno	Chuva		Memória	Tomada de Decisão
Carga de Atividades	Vento		Nervosismo	
Pressão			Condições Cognitiva	
Situações de Emergência				

Uma vez proposto o modelo genérico que representa a propagação das influências dos fatores de desempenho até a execução de uma tarefa conforme a Figura 23, e a identificação dos fatores organizacionais, ambientais, situacionais, individuais e habilidades conforme a Tabela 9, é possível seguir os passos 2.1, 2.2 e

2.3 da fase 2 de qualificação do método proposto. O resultado da execução destes passos é a Tabela 10, que representa de uma forma concisa a descrição e a sequência das atividades de uma determinada tarefa, o provável erro desta tarefa, e as identificações dos fatores do desempenho humano e as suas relações, os quais são identificados pelo especialista de análise de confiabilidade humana.

A construção da Tabela 10 se inicia pela identificação das habilidades do operador necessárias para executar a tarefa, em seguida são identificados os fatores individuais que influenciam cada habilidade; da mesma forma, são identificados os fatores ambientais e situacionais de projeto que também influenciam as habilidades necessárias para executar aquela tarefa e, finalmente, são identificados os fatores organizacionais que influenciam os fatores individuais.

A Tabela 10 propõe uma representação ilustrativa do que seria a tabela de influência de uma determinada Tarefa 1 na análise da interface homem-máquina de um sistema complexo.

Tabela 10 - Tabela de Influências dos Fatores do Desempenho Humano

	TAREFA1	FATORES DO DESEMPENHO HUMANO				
		HABILIDADE	SITUACIONAL	AMBIENTAL	INDIVIDUAL	ORGANIZACIONAL
ERRO HUMANO DA TAREFA1	ATIV1.1	HAB1	NÃO APLICÁVEL	AMB1	IND1	ORG1 ORG2
		HAB2	SIT1	NÃO APLICÁVEL	IND1	ORG1 ORG2
					IND2	ORG2 ORG3
		HAB3	SIT2	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL
	ATIV1.2	HAB1	NÃO APLICÁVEL	AMB1	IND1	ORG1 ORG2
		HAB2	SIT1	NÃO APLICÁVEL	IND1	ORG1 ORG2
					IND2	ORG2 ORG3
		HAB3	SIT2	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL

Com a Tabela 10, a qual ilustra as influências nas tarefas de interesse a serem analisadas, o passo 2.4 da fase 2 do método proposto pode ser concluído dando origem a uma rede de influência onde se inicia a propagação das influências e como ela ocorre; esta rede de influências será modelada com uma rede bayesiana.

A Figura 24 ilustra a propagação das influências dos fatores organizacionais, aos individuais até habilidades, e dos fatores ambientais e situacionais até habilidades que, por sua vez, são os fatores de desempenho que têm uma influência direta através do operador na execução da tarefa estudada.

Figura 24 – Ilustração das Influências do Fatores de Desempenho

A propagação das influências dos fatores de desempenho seguem o método proposto por este trabalho. A rede bayesiana resultante será definida pelos fatores de desempenho humano identificados, representados na rede por nós com a probabilidade de ocorrência dos seus possíveis estados definidos marginalmente, para os nós raízes, ou pelas correspondentes tabelas de probabilidades condicionadas (TPC) para os nós filhos. A rede bayesiana resultante será utilizada para a análise quantitativa da fase 3 do método proposto.

Conforme a seção 2.2, a rede bayesiana consiste de um diagrama causal, onde cada nó pai influencia os nós filhos e cada um destes nós possui a probabilidade de ocorrência dos seus possíveis estados definida pelas dependências entre os nós pais e os nós filhos.

Para obter as probabilidades marginais de cada nó, adotaram-se duas ferramentas, os questionários oferecidos aos voluntários no ensaio da e a lógica nebulosa – (fuzzy).

A lógica nebulosa (fuzzy) será utilizada como uma ferramenta de apoio que por meio de um sistema de inferência permite obter as probabilidade condicionais dos nós filhos da rede bayesiana. A lógica nebulosa fuzzy é utilizada na modelagem de variáveis linguísticas quando informações estatísticas não estão disponíveis.

No estudo de caso do próximo capítulo, após a realização do ensaio, apresenta-se aos voluntários um questionário (ver Apêndice A) o qual é baseado nas

influências de cada fator do desempenho humano na execução das tarefas. Adotou-se o questionário por ser uma maneira direta de se obter as probabilidades marginais dos possíveis estados do nós raízes, os quais não possuem nós pais na rede bayesianas, e também para obter as probabilidades condicionais dos nós filhos com apenas a influência de um nó raiz, aplicou-se a lógica nebulosa (fuzzy) para obter as probabilidades condicionadas originadas das dependências entre os nós pais e nós filhos, com mais de uma influência.

Através da rede bayesiana, com a definição das dependências e das influências entre os nós, será possível determinar a probabilidade do erro humano na execução da tarefa.

Ao considerar a ocorrência do erro humano como evidência, é possível ainda fazer a avaliação da variação de todos os fatores de desempenho definido na rede bayesiana. O objetivo principal desta análise, é identificar os fatores situacionais de projeto que mais contribuem para a ocorrência do erro humano; estes fatores representam os equipamentos na interface homem-máquina estudada.

Melhorias no projeto podem ser implantadas para uma posterior avaliação se o erro humano com aquela interface foi mitigado.

No próximo capítulo, será aplicado o método proposto, com todas as fases, exceto as fases de implementação e modelagem da interface implementada que farão parte das recomendações do Capítulo 6, em um estudo de caso com o objetivo de validar a análise da confiabilidade humana através da abordagem das redes bayesianas suportada pela lógica nebulosa fuzzy.

4 APLICAÇÃO AO ESTUDO DO ENSAIO DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA DE UMA AERONAVE

Este estudo de caso tem o objetivo de validar o método da Análise da Confiabilidade Humana apresentado no Capítulo 3, sendo analisado o erro humano dos voluntários no ensaio de evacuação de emergência de uma aeronave através de rede bayesianas e da lógica nebulosa *fuzzy*.

Este ensaio tem o objetivo de demonstrar o cumprimento dos requisitos de aeronavegabilidade das autoridades da aviação civil (ANAC, FAA e EASA) como parte do processo de certificação da aeronave.

A aplicação desta modelagem não faz parte do processo de certificação da aeronave, ela apenas tem um caráter investigativo para conhecer as interfaces do humano com o projeto de interior da aeronave utilizada no ensaio.

A modelagem dos fatores de desempenho e as suas influências na execução das tarefas pela abordagem das redes bayesianas e suportada pela lógica nebulosa (*fuzzy*), para a obtenção das probabilidades condicionadas necessárias na tabela de probabilidades condicionadas da rede bayesiana, permite conhecer quais os fatores de desempenho que mais influenciaram a probabilidade do erro humano na execução das tarefas de abrir as portas de emergências, seguir os sinais e marcas, e utilizar as escorregadeiras.

Através da topologia da rede bayesiana é possível conhecer quais os fatores situacionais de projeto (marcas, sinais, cartão de segurança, escorregadeiras, alavancas, setas e etc.) que mais contribuíram para o erro humano durante o ensaio.

De posse deste conhecimento é possível incorporar implantações de melhoria nos projetos de cabine, possibilitando uma mitigação das probabilidades dos erros humanos em um possível evento de evacuação de emergência de uma aeronave.

Os passos desta aplicação são as quatro fases (Familiarização, Qualificação, Quantificação e Incorporação) descritos no capítulo anterior. As análises dos resultados desta aplicação estão no Capítulo 5.

Para a construção das redes bayesianas utilizou-se o software acadêmico *Genie 2.1*, e para a obtenção das probabilidades condicionadas aplicou-se a técnica da lógica nebulosa *fuzzy* utilizando recursos do Matlab versão 2017.

Para construir as redes bayesianas de cada evento do procedimento de evacuação de emergência, é necessário a priori familiarizar-se com cada ação que os

voluntários devem desempenhar nos ensaios de aberturas de portas principal e de emergência, e de evacuação da aeronave; a seção 4.1 detalha estes ensaios.

4.1 FAMILIARIZAÇÃO COM OS PROCEDIMENTOS DO ENSAIO DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA DE UMA AERONAVE

O sistema complexo modelado neste trabalho refere-se ao conjunto de eventos e tarefas dos procedimentos de evacuação de emergência de uma aeronave, desempenhado por 142 voluntários, sendo que 30 voluntários participaram dos ensaios de abertura das portas principal e de emergência e 112 voluntários participaram do ensaio de evacuação de emergência de uma aeronave comercial de 112 assentos.

O procedimento completo de evacuação de emergência consiste em os voluntários prestarem atenção na demonstração dos itens de segurança executado pela comissária voluntária, seguir os sinais e marcas de saída da aeronave, abrir as portas principais e de emergência e os voluntários que optaram por abrir as portas de emergência, seguir os sinais em cima da asa e todos os voluntários escorregarem nas escorregadeiras, disponível em cada porta, até atingir o solo.

Para obter os dados necessários na análise do erro humano no procedimento de evacuação de emergência, consideram-se três ensaios separados, 1) ensaio de abertura de porta principal; 2) ensaio de abertura de porta de emergência; 3) ensaio de evacuação de emergência. Para os ensaios de aberturas das portas de emergência e principal selecionaram-se 15 voluntários para cada ensaio, e para o ensaio de evacuação de emergência, selecionaram-se 112 voluntários.

As autoridades da Aviação Civil, ANAC, FAA e EASA acordaram a seleção e o número de voluntários conforme as normas:

- Appendix J to RBAC / 14 CFR / CS Part 25.
- FAA AC 25.803-1A - Emergency Evacuations Demonstrations.
- FAA AC 25-17A - Transport Airplane Cabin Interiors Crashworthiness Handbook (ANM-100, AIRCRAFT CERTIFICATION SERVICE, 2009).

De acordo com as normas acima, as portas do lado direito na direção de voo da aeronave foram bloqueadas sem o conhecimento dos voluntários do ensaio, com

o objetivo de simular um cenário de situação de emergência com algumas portas bloqueadas, isto é emperradas.

As tarefas necessárias para abandonar a aeronave e as interfaces dos equipamentos do interior da aeronave utilizada no procedimento de evacuação de emergência estão apresentadas na Tabela 11. Não analisou-se o evento 1 neste trabalho devido a participação de apenas um piloto voluntário no ensaio.

Tabela 11 - Tarefas do Procedimento de Evacuação da Aeronave

TAREFA	EVENTO	ATIVIDADES
1	Erro do Piloto no procedimento de decolagem do ensaio	1.1 - Entrar no cockpit, fechar e trancar a porta do cockpit. 1.2 - Ajustar os assentos na posição de decolagem. 1.3 - Apertar os cintos e proceder com o check de pré-voo normal. 1.4 - Aguardar a confirmação do (a) comissário (a) líder 1.5 - Autorizar o embarque dos passageiros (após pré-check de cabine) 1.6 - Autorizar o travamento externo das portas (após check de portas) 1.7 - Ligar luzes anti-colisão. 1.8 - Informar que a cabine está preparada para o início do teste (após autorização dos observadores da ANAC dentro da cabine) 1.9 - Ligar luzes da asa / estabilizador vertical
2	Erro da comissária e/ou passageiros na operação de abertura da porta principal	2.1 - Prestar Atenção nas instruções 2.2 - Seguir as instruções do placar para abrir a porta 2.3 - Levantar a alavanca até o fim do curso 2.4 - Empurrar a porta para fora
3	Erro dos passageiros para localizar e seguir os sinais de saída dentro da aeronave	3.1 - Prestar atenção nas instruções 3.2 - Ler o cartão de segurança 3.3 - Localizar os sinais no avião 3.4 - Seguir os sinais
4	Erro dos passageiros na operação de abertura da porta de emergência	4.1 - Prestar atenção nas instruções 4.2 - Ler as instruções do Cartão de Segurança 4.3 - Ler as Instruções no placar 4.4 - Remover a tampa 4.5 - Puxar a alavanca para baixo
5	Erro em seguir o sinal de rota em cima da asa	5.1 - Localizar os sinais na asa 5.2 - Seguir os sinais na direção certa
6	Erro em localizar a escorregadeira	6.1 - Localizar a escorregadeira
7	Erro de não escorregar	7.1 - Escorregar e levantar

Para a familiarização com os detalhes do sistema de interfaces entre os voluntários e os procedimentos, estudaram-se as propostas dos ensaios de aberturas de portas principal (portas de entradas dianteira e traseira na aeronave), de portas de emergência (portas em cima das asas), e do procedimento de evacuação de emergências; todos estes ensaios foram executados na mesma aeronave do ensaio de evacuação de emergência.

No estudo das propostas de ensaios, mapearam-se todas as interfaces dos voluntários com as portas e com os sinais e marcas. Todas estas interfaces foram validadas dentro da aeronave do ensaio pela autora deste trabalho com os

especialistas responsáveis por cada ensaio de aberturas de portas e de evacuação da aeronave.

Todos os procedimentos de cada ensaio foram filmados e observados pelo especialista de confiabilidade humana, com o objetivo de validar as respostas dos questionários apresentadas por cada voluntário.

A mostra o esquema de rota de emergência dentro e fora da aeronave e as posições das portas de emergência e das escorregadeiras.

Figura 25 – Esquema de Rota de Emergência e Posições das Portas

Para que o procedimento de evacuação de emergência atenda à função de evacuar os ocupantes da aeronave, todas as interfaces do projeto do interior com os ocupantes devem ter uma reciprocidade que permita uma evacuação da aeronave dentro dos requisitos de segurança, esta reciprocidade e interação são influenciadas pelos fatores do desempenho humano, os quais estão descritos a seguir.

4.1.1 Fatores Humanos no Procedimento de Evacuação de Emergência

Um sistema complexo surge quando o humano é considerado como parte do desenvolvimento do projeto do interior na interface com os sinais, marcas, iluminação,

visibilidade, instruções e aberturas de portas em um procedimento de evacuação de emergência.

Neste sistema complexo, os passageiros não possuem o mesmo nível de treinamento que os tripulantes para um cenário de emergência, e as tarefas desempenhadas por eles neste cenário são de cognição, como seguir os sinais, que requer as habilidades de percepção dos sinais, atenção nas instruções e interpretações de procedimentos; somente as tarefas de aberturas de portas e de deslizar nas escorregadeiras são de ação e exigem algum atributo físico.

As tarefas da tripulação tais como declaração de emergência, abertura de portas principais e orientação para os passageiros são treinadas pelas companhias aéreas, porém o número de passageiros supera o número da tripulação em um procedimento de evacuação de emergência.

A maneira da interação dos tripulantes com os equipamentos varia com as características individuais, as condições ambientais, treinamento a respeito do sistema a ser operado, horas de trabalho, e as atitudes moldadas pela cultura organizacional influenciam muito o desempenho dos tripulantes.

Da mesma maneira, a interação dos passageiros com os sinais, marcas, visibilidades dos placares e instruções varia com as características individuais, habilidades e condições ambientais, influenciando o desempenho dos passageiros na execução das tarefas.

Os fatores de desempenho organizacionais, individuais, ambientais, situacionais e habilidades identificados na metodologia do Capítulo 3, serão mais detalhados nas seções 4.1.1.1- 4.1.1.5.

4.1.1.1 Fatores Organizacionais

No caso das empresas aéreas, a tripulação é grandemente influenciada pelos fatores tais como: políticas internas, treinamentos, procedimentos, carga de atividades e escala de turno. Para cumprir os regulamentos operacionais da Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC), estas questões devem ser levadas em conta pelos operadores das aeronaves para elaborar um SMS (Safety Management System).

Fatores que envolvem grandes riscos precisam ser identificados e medidas de correção devem ser adotadas para mitigar estes fatores. A seleção destes fatores baseou-se nas características humanas do operador das tarefas.

Os fatores organizacionais apresentados na Tabela 12 foram derivados da Tabela 9 com os devidos ajustes ao ambiente organizacional das operadoras aéreas, por exemplo o fator instruções de segurança da Tabela 9 foi ajustado para a demonstração de instruções de segurança e instruções de trabalho foi ajustado para instruções do ensaio da abertura da porta.

Os fatores organizacionais selecionados para serem aplicados neste estudo de caso são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Fatores Organizacionais	
FATORES ORGANIZACIONAIS	
A	Treinamento
B	Comunicação
C	Demonstração de Instruções de Segurança
D	Instruções do Ensaio da Abertura da Porta Principal
E	Instruções do Ensaio da Abertura da Porta de Emergência
F	Situação de Emergência do Ensaio

4.1.1.2 Fatores Individuais

A Tabela 13 apresenta os fatores individuais identificados como um dos influenciadores nas habilidades requeridas ao operador para a execução das tarefas apresentadas no estudo de caso. Estes fatores individuais foram derivados e ajustados da Tabela 9. Por exemplo, o fator preocupação foi ajustado para preocupação com o tempo, conhecimento foi ajustado para conhecimento das instruções. Os fatores individuais selecionados para serem aplicados neste estudo de caso estão apresentados na Tabela 13

Tabela 13 – Fatores Individuais	
FATORES INDIVIDUAIS	
α	Condições Físicas
β	Comportamento Social
μ	Preocupação com o Tempo
φ	Conhecimento das Instruções
ρ	Experiência
ε	Nervosismo

4.1.1.3 Fatores Ambientais

A Tabela 14 apresenta os fatores ambientais considerados como influenciadores das habilidades requeridas do operador para a execução das tarefas no ambiente de dentro da aeronave apresentado no estudo de caso.

Para cada tarefa, pode haver a necessidade de um ou mais destes fatores ambientais. De acordo com o modelo genérico, a seleção destes fatores baseou-se nas habilidades humanas requeridas do operador para a execução das tarefas.

Seguem abaixo os fatores ambientais selecionados da Tabela 9, para serem aplicados neste estudo de caso.

Tabela 14 – Fatores Ambientais	
FATORES AMBIENTAIS	
Ba	Barulho
Es	Escurecimento

4.1.1.4 Fatores Situacionais

A Tabela 15 apresenta os fatores situacionais que representam os equipamentos e procedimentos escritos que fazem interface entre o operador na execução das tarefas. Todos estes fatores situacionais são projetados para proporcionar de forma segura o abandono da aeronave pelos ocupantes em uma situação de emergência.

Nesta interface, os fatores situacionais do projeto influenciam as habilidades requeridas do operador para a execução da tarefa. A Tabela 9 menciona os equipamentos como um dos fatores situacionais de projeto, os equipamentos projetados no interior da cabine estão identificados na Tabela 15 .

A seleção dos fatores situacionais apresentados na Tabela 15, baseou-se nos julgamentos da autora deste trabalho e dos especialistas que tiveram uma interface direta com os voluntários no procedimento do ensaio de evacuação da aeronave em situação de emergência.

Seguem abaixo os equipamentos projetados no interior da cabine da aeronave identificados como os fatores situacionais de projeto que serão aplicados neste estudo de caso.

Tabela 15 – Fatores Situacionais

FATORES SITUACIONAIS	
a	Porta de Emergência
b	Iluminação
c	Visibilidade dos Sinais
d	Marcas para Saída
e	Sinais de Saída
f	Procedimento do Placar
g	Cartão de Instruções de Segurança
h	Escorregadeira
i	Criticalidade da Instrução
k	Alavanca da Porta Principal (Maçaneta)
l	Tampa da Alavanca da Porta de Emergência
m	Seta Vermelha Porta Principal
n	Porta Principal
o	Flap da Porta Principal
p	Alavanca da Porta de Emergência
q	Iluminação da Escorregadeira

4.1.1.5 Habilidades

A Tabela 16 apresenta as habilidades necessárias para o operador executar as tarefas para abandonar a aeronave em situações de emergência. De acordo com o modelo proposto, as habilidades são influenciadas pelos fatores individuais (representados pelas letras gregas, ver Tabela 13), pelos fatores ambientais (representados pelas duas letras iniciais do fator identificado, ver Tabela 14) e pelos fatores situacionais (representados pelas letras minúsculas, ver Tabela 15).

Conforme a Figura 23, as habilidades são um dos fatores internos que têm interface direta com a execução da tarefa.

As habilidades identificadas como requeridas para a execução das tarefas do estudo de caso, são apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Fatores Habilidades

HABILIDADES	
I	Interpretação
II	Atenção
III	Comunicação
IV	Habilidade Física
V	Percepção
VII	Tomada de Decisão
VIII	Liderança

Todos estes fatores de desempenho influenciaram os voluntários durante a execução das tarefas no procedimento do ensaio de evacuação de emergência de uma aeronave.

Para facilitar o entendimento desta aplicação de estudo de caso, optou-se por dividir o procedimento em três etapas: 1) Abertura da porta em cima da asa; 2) Abertura da porta principal; 3) Evacuação da aeronave pela saída dianteira, traseira e em cima da asa. A reunião destas três etapas configura o procedimento completo do ensaio de evacuação de emergência.

Estas etapas seguem as disposições das tarefas e eventos conforme a Tabela 11. A primeira etapa se refere à tarefa 4, evento: Erro de abertura da porta de emergência. A segunda etapa se refere à tarefa 2, evento: Erro de abertura da porta principal. A terceira etapa, quando se trata de evacuação pela saída dianteira, traseira e em cima da asa, se refere a tarefa 3, evento: Erro de localizar e seguir os sinais internos na aeronave; e à tarefa 7, evento: Erro de escorregar. Ainda na terceira etapa com relação à evacuação em cima da asa acrescenta-se a tarefa 5, evento: Erro de seguir sinais em cima da asa, e tarefa 6, evento: Erro de localizar a escorregadeira em cima da asa. Estas três etapas estão detalhadas nas seções seguintes.

4.1.2 Abertura da Porta de Emergência em cima da Asa

A abertura da porta de emergência em cima da asa é a tarefa de número 4 da Tabela 11. Durante o ensaio de evacuação de emergência, somente um voluntário abriu a porta de emergência em cima da asa. Assim, para termos um valor significativo da probabilidade de erro da tarefa de abertura da porta, antes do ensaio de evacuação de emergência realizou-se um ensaio específico de abertura de porta de emergência em cima da asa que seguiu as etapas descritas abaixo.

Etapas do ensaio de abertura de porta de emergência em cima da asa:

- Os 15 voluntários do ensaio de abertura da porta de emergência foram selecionados de acordo com os critérios estabelecidos pelos padrões da aviação, considerando gênero, idade, etc.
- O responsável pelo ensaio encaminhou cada voluntário para o interior da aeronave e o colocou sentado ao lado da porta de emergência em cima da asa.

Previamente, cada voluntário recebeu as instruções abaixo dentro da aeronave:

- "Você está participando de um teste de certificação, por favor siga todas as instruções."*
- "Você se sentará ao lado da saída de emergência para operar a porta em uma condição de emergência, por favor aja de acordo. "*
- "Quando estiver em frente à porta, não toque na porta até o início do teste."*
- "Você deve abrir a porta seguindo todas as instruções fornecidas na porta e no cartão de instruções de segurança no bolso do assento à sua frente."*
- "Quando você estiver pronto para começar o teste, avise-me."*
- "O teste iniciará com o meu sinal."*
- "Após o teste, você será guiado para outro local."*

- Após o teste finalizado cada passageiro foi levado a uma sala para responder a um questionário.
- Na execução da tarefa de abrir a porta de emergência em cima da asa cada voluntário desempenhou as atividades abaixo, descritas na Tabela 11:
 1. Prestar atenção nas instruções do ensaio;
 2. Ler as instruções no placar;
 3. Ler as instruções no Cartão de Segurança;
 4. Remover a tampa;
 5. Puxar a alavanca para baixo.
- Para a execução das tarefas as interfaces com os voluntários foram:
 1. Instruções do ensaio;
 2. Instruções do Placar;
 3. Instruções do Cartão de Segurança;
 4. Posição da Tampa;
 5. Alavanca.
- Depois da execução de cada ensaio de abertura de porta de emergência em cima da asa, os voluntários foram levados para salas separadas para responder a um questionário, conforme o Apêndice A; depois do questionário respondido e validado pelo entrevistador, estes voluntários foram

encaminhados para outras salas para não ocorrer contaminação de dados com os outros voluntários do ensaio.

- Cada tomada do ensaio foi gravada para que cada resposta do questionário fosse validada pelo entrevistador. O resultado positivo ou negativo do ensaio não foi revelado para os voluntários.

As Figura 26 e Figura 27 apresentam a montagem do ensaio, no qual cada voluntário fez interface com o projeto da cabine; estas interfaces de projeto foram: Instruções do placar, cartão de segurança, tampa da porta, alavanca.

Figura 26 - Montagem do Ensaio de Abertura da Porta de Emergência

Figura 27 - Instruções do Cartão de Segurança

Conhecendo as tarefas e as interfaces de cada voluntário, é possível elaborar a tabela de Influência dos Fatores do Desempenho da Tarefa Número 4, “Operação de abertura da porta de emergência em cima da asa”. Consideraram-se as premissas abaixo:

1. Nas instruções individuais para cada voluntário, o placar e o cartão de segurança foram apresentados, logo nem a habilidade percepção e nem a atividade “Localizar Placar” ou “Cartão de Segurança” foram selecionados e considerados na Tabela 17.

Os voluntários do ensaio de abertura de porta de emergência foram orientados para não seguir a instrução “Evacuar da aeronave”.

2. Os fatores organizacionais de “Situação de Emergência e Instruções do Ensaio” foram selecionados como fatores organizacionais pois eles foram

- ações dos organizadores do ensaio para contextualizar o cenário de emergência e fornecer instruções mínimas para simular a necessidade de abrir a porta de emergência.
3. Depois das instruções do ensaio, os fatores individuais Nervosismo e Conhecimento surgiram em cada voluntário (indivíduo) influenciados pelos fatores organizacionais Situação de Emergência e Instruções do Ensaio.
 4. Os fatores individuais Nervosismo e Conhecimento são fatores cognitivos que junto com os fatores situacionais de projetos, Instruções do cartão de segurança, Placar, Criticidade das instruções e Iluminação influenciam de forma direta as habilidades Atenção, Interpretação na execução da tarefa “Ler as instruções”, que é uma tarefa cognitiva.
 5. O fator interno habilidade, Tomada de Decisão faz uma interface entre as tarefas cognitivas e as de ações, pois depois de um certo aprendizado rápido cada voluntário precisa agir para abrir a porta.
 6. Na sequência de atividades, vêm os fatores individuais físicos que, junto com os fatores situacionais de projeto, Tampa e Alavanca, influenciam as habilidades físicas de cada voluntário do ensaio para a execução da tarefa “Remover a tampa” e “Puxar a alavanca”.
 7. Não foi selecionado nenhum fator ambiental barulho, porque constatou-se que não havia nenhuma perturbação de ruído durante o ensaio.

Tabela 17 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho

ATIVIDADE	HABILIDADE	PSF	
		INDIVIDUAL/SITUACIONAL/AMBIENTAL	ORGANIZACIONAL
4.2 Ler as Instruções no Cartão	Atenção - II	IND - Nervosismo - ϵ	Emergência - F
		IND - Conhecimento - ϕ	Instruções - D
	Interpretação - I	IND - Conhecimento - ϕ	Instruções - D
		SIT - Cartão - g	
		SIT - Criticalidade - i	
4.3 Ler as Instruções no Placar	Atenção - II	SIT - Iluminação no Cartão - bc	
		IND - Nervosismo - ϵ	Emergência - F
	Interpretação - I	IND - Conhecimento - ϕ	Instruções - D
		IND - Conhecimento - ϕ	Instruções - D
		SIT - Placar - f	
4.4 Remover a Tampa	Habilidade Física Tampa - IV	SIT - Criticalidade - i	
		SIT - Iluminação no Placar - bp	
	Tomada Decisão - VII	IND - Condições Física - αt	Não aplicável
4.5 Puxar a Alavanca	Habilidade Física Alavanca - IV	SIT - Tampa - I	
		IND - Preocupação Tempo - μ	Não aplicável
	Tomada Decisão - VII	SIT - Placar - f	
	Habilidade Física Alavanca - IV	IND - Condições Física - αa	Não aplicável
		SIT - Alavanca - p	
	Tomada Decisão - VII	IND - Preocupação Tempo - μ	Não aplicável
		SIT - Placar - f	

Notas:

IND – Condições Física – αt : Fator Individual – Condições Física do humano para remover a tampa da porta.

IND – Condições Física – αa : Fator Individual – Condições Física do Humano para empurrar a alavanca da porta

Considerou-se a habilidade, “Atenção” na análise de influência das atividades 4.2 e 4.3 na Tabela 17, logo supriu-se a atividade 4.1, Prestar Atenção nas Instruções do Ensaio da Tabela 11.

Uma vez definida a Tabela 17, é possível elaborar a rede bayesiana preliminar, cujo objetivo é mostrar as relações de dependência de cada nó pai com os seus nós filhos e, conseqüentemente, as propagações das influências dos fatores do desempenho entre os nós da rede bayesiana preliminar, conforme a Figura 28.

Figura 28 - Rede Bayesiana Preliminar – Abertura da Porta de Emergência

Os nós destacados em amarelo na Figura 28 são os que serão usados como exemplos de como obter através do questionário (Apêndice A), as probabilidades dos nós raízes e das probabilidades condicionais dos nós filhos com apenas uma influência, e da Lógica Fuzzy - Método Mandini (ver seção 2.3.6), as probabilidades condicionais dos nós filhos com mais de uma influência.

Estas probabilidades condicionais farão parte das TPC dos nós filhos da rede bayesiana; as demonstrações das probabilidades condicionais dos demais nós em azul estão no Apêndice E.

A elaboração do questionário (Apêndice A), apresentado para cada voluntário do ensaio baseou-se na seleção dos fatores do desempenho organizacionais, individuais, situacionais e ambientais, representados pelos nós raízes da rede bayesiana preliminar da Figura 28, e na influência que os nós pais (raízes) exercem nos nós filhos, com apenas uma influência.

A rede preliminar apresentada para cada etapa do procedimento de evacuação de emergência de uma aeronave tem o objetivo apenas de mostrar as influências de cada fator de desempenho nos seus respectivos nós filhos.

O questionário do Apêndice A tem o objetivo de obter através de perguntas diretas, as probabilidades dos nós raízes da rede bayesiana preliminar.

Existem também no questionário perguntas indiretas que dependem das respostas anteriores de outra pergunta, isto é, perguntas condicionais com apenas

uma influência de um fator de desempenho. É mais razoável que este tipo de pergunta seja respondida por um humano.

Quando o nó filho na rede bayesiana preliminar apresenta mais de uma influência de nós pais, aplica-se a lógica nebulosa (fuzzy) para obter as probabilidades condicionais dos nós filhos.

A Tabela 18 apresenta as probabilidades dos nós pais raízes adquiridas pelas respostas do questionário do Apêndice A.

Tabela 18 – Probabilidades do Nó Pais – Porta de Emergência em cima da Asa

PSFs	NÓS PAIS	ESTADOS	PROBABILIDADES
ORG	Di (Instruções)	Adequado	$P(D_1)=0,86$
		Inadequado	$P(D_2)=0,14$
	Fi (Emergência)	Sim	$P(C_1)=0,86$
		Não	$P(C_2)=0,14$
IND	μ_i (Preocupação Tempo)	Sim	$P(\mu_1)=0,71$
		Não	$P(\mu_2)=0,29$
	α_{ti} (Cond Física Tampa)	Adequado	$P(\alpha_{t1})=1,00$
		Inadequado	$P(\alpha_{t2})=0,00$
	α_{ai} (Cond Física Alavanca)	Adequado	$P(\alpha_{a1})=0,43$
		Inadequado	$P(\alpha_{a2})=0,57$
SIT	b_{pi} (Iluminação Placar)	Adequado	$P(bp_1)=0,78$
		Inadequado	$P(bp_2)=0,22$
	f_i (Placar)	Adequado	$P(f_1)=0,78$
		Inadequado	$P(f_2)=0,22$
	i_{pi} (Criticalidade do Placar)	Fácil	$P(ip_1)=0,78$
		Difícil	$P(ip_2)=0,22$
	b_{ci} (Iluminação Cartão)	Adequado	$P(bc_1)=0,86$
		Inadequado	$P(bc_2)=0,14$
	g_i (Cartão de Segurança)	Adequado	$P(g_1)=0,78$
		Inadequado	$P(g_2)=0,22$
	i_{ci} (Criticalidade do Cartão)	Fácil	$P(ic_1)=0,78$
		Difícil	$P(ic_2)=0,22$
	l_i (Tampa)	Adequado	$P(l_1)=1,00$
		Inadequado	$P(l_2)=0,00$

Com as influências identificadas na Tabela 17 e com as probabilidades dos nós pais acima é possível calcular as probabilidades dos primeiros nós filhos na rede bayesianas da Figura 39, porém se faz necessário ter as probabilidades

condicionadas das TPC para completar a rede bayesiana com o objetivo de ter as probabilidades marginais de cada nó na rede.

Conforme mencionado anteriormente, quando existe apenas uma influência de um nó pai, é possível obter as probabilidades condicionadas do nó filho através do questionário do Apêndice A, porém quando existem influências de mais de um nó pais é necessário obter as probabilidades condicionadas dos nós filhos através do suporte da lógica nebulosa (fuzzy) – Método Mandini (ver seção 2.3.6).

Todos os fatores de desempenho externos e individuais identificados como influenciadores da tarefa Abertura da porta de emergência estão com as suas probabilidades marginais definidas através do questionário do Apêndice A

Para exemplificar a obtenção das probabilidades condicionais dos nós com apenas uma influência, serão apresentado os nós: Conhecimento e Nervosismo, cujas probabilidades condicionadas foram obtidos através do questionário do Apêndice A.

Com as probabilidades marginais do nó raiz Instruções, e com as probabilidades condicionais do nó filho Conhecimento (adquirida através do questionário do Apêndice A), apresentadas na Tabela 19, e com o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6), é possível determinar as probabilidades marginais do nó filho Conhecimento.

Tabela 19 - Probabilidades do Nó Filho – Conhecimento - Porta de Emergência

INSTRUÇÕES - D	CONHECIMENTO - φ	
$P(D_i)$	$P(\varphi_1 D_i)$	$P(\varphi_2 D_i)^c$
$P(D_1)=0,86$	$P(\varphi_1 D_1)=0,64$	$P(\varphi_2 D_1)=0,36$
ADEQ	ADEQ	INADEQ
$P(D_2)=0,14$	$P(\varphi_1 D_2)=0$	$P(\varphi_2 D_2)=1$
INADEQ	ADEQ	INADEQ

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(\varphi_j) = \sum_{i=1}^2 P(D_i) P(\varphi_j|D_i)$$

4-1

Assim,

$$P(\varphi_1) = 0,86 \cdot 0,64 + 0,14 \cdot 0 = 0,55$$

$$P(\varphi_2) = 0,86 \cdot 0,36 + 0,14 \cdot 1 = 0,45$$

Como resultado, as probabilidades marginais do fator individual Conhecimento são conforme abaixo:

$$P(\varphi_1) = 0,55 \text{ Conhecimento ADEQUADO}$$

$$P(\varphi_2) = 0,45 \text{ Conhecimento INADEQUADO}$$

Empregou-se o mesmo procedimento acima para o nó filho Nervosismo, considerando a influência do nó pai Emergência, conforme apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 - Probabilidade do Nó Filho – Nervosismo - Porta de Emergência

EMERGÊNCIA - F	NERVOSISMO - ε	
P(F _i)	P(ε _j F _i)	P(ε _j F _i) ^c
P(F ₁)=0,86	P(ε ₁ F ₁)=0,58	P(ε ₂ F ₁)=0,42
SIM	SIM	NÃO
P(F ₂)=0,14	P(ε ₁ F ₂)=0	P(ε ₂ F ₂)=1
NÃO	SIM	NÃO

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(\varepsilon_j) = \sum_{i=1}^2 P(F_i) P(\varepsilon_j|F_i) \quad 4-2$$

Assim,

$$P(\varepsilon_1) = 0,86 \cdot 0,58 + 0,14 \cdot 0 = 0,49$$

$$P(\varepsilon_2) = 0,86 \cdot 0,42 + 0,14 \cdot 1 = 0,51$$

Como resultado, as probabilidades marginais do fator individual Nervosismo são:

$$P(\varepsilon_1) = 0,49 \text{ Nervosismo SIM}$$

$$P(\varepsilon_2) = 0,51 \text{ Nervosismo NÃO}$$

A rede bayesiana preliminar da Figura 28 apresenta os nós dos fatores de desempenho habilidades com mais de uma dependência do nós dos fatores individuais e situacionais (não apresenta dependência de nós do fator ambiental).

Conforme explicado anteriormente para obter as probabilidades condicionais dos nós filhos com mais de uma dependência, utilizou-se a lógica nebulosa (fuzzy)–

Método Mandini. A Tabela 21 apresenta os fatores de desempenho habilidades com mais de uma influência dos fatores dos desempenhos individuais e situacionais

Tabela 21 - Habilidades e Fatores de Desempenho Individuais e Situacionais

PSF HABILIDADES	PSF INDIVIDUAIS E SITUACIONAIS
Atenção (II)	Nervosismo (ϵ), Conhecimento (φ)
Interpretação Cartão (Ic)	Cartão (g), Criticalidade (i), Conhecimento (φ), Iluminação (b)
Interpretação Placar (Ip)	Placar (f), Criticalidade (i), Conhecimento (φ), Iluminação (b)
Habilidade Física Tampa (IVt)	Tampa (l), Condições Físicas Tampa (αt)
Habilidade Física Alavanca (IVa)	Alavanca (p), Condições Físicas Alavanca (αa)
Tomada de Decisão (VII)	Placar (f), Preocupação com o Tempo (μ)

Na próxima seção, será apresentado, apenas como exemplo, como foram obtidas as probabilidades condicionais (nó com mais de uma influência) da habilidade Atenção através da Lógica Nebulosa Fuzzy – Método Mandini. Aplicou-se o mesmo procedimento para as demais habilidades da Tabela 21, cujos resultados estão no Apêndice E.

4.1.2.1 Probabilidade da Habilidade Atenção

O nó habilidade Atenção destacado em amarelo na rede bayesiana preliminar da Figura 28, recebeu duas influências, a das probabilidades do nó fator individual Nervosismo e as probabilidades do nó fator individual Conhecimento.

Para obter as probabilidades condicionadas da TPC da habilidade Atenção utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis Fuzzy de entrada, Nervosismo e Conhecimento, resultando na variável Fuzzy de saída, Atenção.

Adotou-se a função de pertinência (ver seção 2.3.6.2) trapezoidal para os valores linguístico fuzzy “adequada”, “inadequada”, “sim” e “não” e adotou-se também a função triangular para os valores linguísticos “médio alto” e “médio baixa”.

A função de pertinência trapezoidal para o valor linguístico “adequada” (adeq) tem o grau de pertinência 1 para todas as probabilidades maiores que 0,7, e tem grau de pertinência variado (nebuloso) para as probabilidades entre 0,5 até 0,7, por isso

adotou-se a função de pertinência triangular médio alto (MA) nesta região. A mesma premissa também foi adotada para as funções de pertinência trapezoidal para a variável linguística “inadequada” (inadeq) e para as funções de pertinência triangular para a variável linguística “médio baixa” (MB)

Adotaram-se os quatro valores linguísticos Fuzzy “adequada”, “médio alto”, “inadequada”, “médio baixo” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída.

Para obter as probabilidades condicionais da TPC dos nós filhos com mais de uma influência, aplicou-se o sistema de inferência Fuzzy somente para as combinações de influências apresentadas na TPC.

As Figura 29, Figura 30 e Figura 31 apresentam as funções de pertinências trapezoidal e triangular adotadas para os valores linguísticos “inadequada”, “médio baixo”, “médio alto”, “adequada” das variáveis linguísticas de entrada Conhecimento e Nervosismo e da variável linguística de saída Atenção.

Entrada: Nervosismo

Figura 29 - Função de Pertinência da Variável de Entrada Fuzzy – Conhecimento

Entrada: Conhecimento

Figura 30 - Função de Pertinência da Variável de Entrada Fuzzy – Nervosismo

Saída: Atenção

Figura 31 - Função de Pertinência da Variável de Saída Fuzzy – Atenção

Para elaborar o sistema de regras Fuzzy (seção 2.3.6) para a habilidade Atenção resultado das influências dos fatores individuais Nervosismo e Conhecimento, considerou-se, baseado nos critérios dos especialistas, a premissa de que em uma situação de emergência o Conhecimento é influenciado pelo Nervosismo; construiu-se o sistema de regras da Tabela 22 baseado no critério de que quando o Nervosismo for SIM e o Conhecimento for INADEQUADO, a Atenção será INADEQUADA, e quando o Nervosismo for NÃO e o Conhecimento ADEQUADO, a Atenção será ADEQUADA.

Para as combinações intermediárias a estes extremos considera-se que quanto mais (NÃO) nervosismo e mais (ADEQUADO) conhecimento, mais existirá (ADEQUADA) atenção, da mesma forma que quanto mais (SIM) nervosismo e mais (INADEQUADO) conhecimento, mais existirá (INADEQUADA) atenção.

A avaliação das respostas do questionário respondido pelos voluntários após o ensaio (Apêndice A) resultou nas probabilidades marginais abaixo para os fatores individuais, Nervosismo e Conhecimento.

$$P(\varepsilon_1) = 0,49 \text{ "SIM" estava nervosismo}$$

$$P(\varepsilon_2) = 0,51 \text{ "NÃO" estava nervosismo}$$

$$P(\varphi_1) = 0,55 \text{ ter adquirido conhecimento "ADEQUADO"}$$

$$P(\varphi_2) = 0,45 \text{ ter adquirido conhecimento "INADEQUADO"}$$

Conforme a premissa adotada para o sistema de regras de inferências, para obter os valores das probabilidades da variável linguística de saída "Atenção" a qual é inferida pelos valores das probabilidades das variáveis linguísticas das entradas "Nervosismo" e "Conhecimento", adotaram-se as regras apresentadas na Tabela 22:

Tabela 22 - Regras - Nervosismo $\cap$ Conhecimento = Atenção

VARIÁVEIS		CONHECIMENTO			
FUZZY		I	MB	MA	A
NERVOSISMO	S	I	I	I	MB
	MB	I	I	MB	A
	MA	I	MA	A	A
	N	MA	A	A	A

MB - Médio Baixo

MA – Médio Alto

As regras aplicadas à habilidade Atenção originaram-se do conhecimento do especialista.

Aplicou-se o sistema de regras da Tabela 22 ao método da lógica nebulosa (fuzzy) para obter, através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Atenção com os seus valores linguísticos “ADEQUADA”, “MEDIO ALTO”, “INADEQUADA” e “MÉDIO BAIXO”.

A Figura 32 apresenta o conjunto de regras aplicadas à técnica da lógica nebulosa (fuzzy) utilizando os recursos do Matlab, versão 2017.

Figura 32 – Conjunto de Regras - Nervosismo - Conhecimento - Atenção

Ao aplicar o sistema de inferência fuzzy (método Mandini) e o conjunto de regras da Figura 32 pode-se inferir o quanto as variáveis linguísticas de entrada Nervosismo e Conhecimento influenciam a variável de saída Atenção.

A Figura 33 exemplifica que, quando as entradas forem as variáveis linguísticas Nervosismo com o valor linguístico “Sim” e Conhecimento com o valor linguístico “Inadequado”, resulta a variável linguística Atenção com o valor linguístico “Inadequado”.

Figura 33 – Conjunto de Regras – Variável de Saída Atenção

Os parâmetros da função de pertinência trapezoidal das Figura 29, Figura 30 e Figura 31 são os parâmetros de pertinência do conjunto fuzzy para cada variável linguística.

Para este trabalho, assumiu-se que os resultados de saída da variável linguística Atenção, após ter aplicado o sistema de inferência da Lógica Fuzzy, são os valores de probabilidades condicionais da habilidade Atenção dado que os fatores individuais, Nervosismo e Conhecimento ocorram, conforme a Tabela 23 .

Aplicou-se o método exemplificado acima, com relação a habilidade Atenção, para todas as combinações de fatores de desempenho e erros humanos que serão apresentadas a seguir.

A Tabela 23 apresenta as probabilidades marginais dos fatores do desempenho, Conhecimento e Nervosismo e as probabilidades condicionais da habilidade Atenção dado que Nervosismo e Conhecimento ocorram. Estes nós estão representados na Tabela 39 .

Tabela 23 - Probabilidades Condicionadas – Habilidade Atenção

NERVOSISMO - ε	CONHECIMENTO - φ	ATENÇÃO - II	
$P(\varepsilon_i)$	$P(\varphi_i)$	$P(II_j \varepsilon_i, \varphi_i)$ ADEQ	$P(II_j \varepsilon_i, \varphi_i)^c$ INADEQ
$P(\varepsilon_1) = 0,51$ NAO	$P(\varphi_1) = 0,55$ ADEQ	0,798	0,202
	$P(\varphi_2) = 0,45$ INADEQ	0,563	0,437
$P(\varepsilon_2) = 0,49$ SIM	$P(\varphi_1) = 0,55$ ADEQ	0,437	0,563
	$P(\varphi_2) = 0,45$ INADEQ	0,202	0,798

Conhecendo as probabilidades marginais dos fatores individuais Nervosismo e Conhecimento, a tabela de probabilidades condicionais (TPC) da habilidade Atenção e aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6), é possível calcular as probabilidades marginais da habilidade Atenção. Estas probabilidades estão apresentadas na Figura 39 e definidas abaixo:

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(II_j) = \sum_{i=1}^2 P(\varepsilon_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(\varphi_i) \times P(II_j|\varepsilon_i, \varphi_i) \right] \quad 4-3$$

Assim,

$$P(II_1) = 0,51 \times [0,55 \times 0,798 + 0,45 \times 0,563] + 0,49 \times [0,55 \times 0,437 + 0,45 \times 0,202]$$

$$P(II_2) = 0,51 \times [0,55 \times 0,202 + 0,45 \times 0,437] + 0,49 \times [0,55 \times 0,563 + 0,45 \times 0,798]$$

Como resultado, as probabilidades marginais da habilidade Atenção são:

$$P(II_1) = 0,51 \text{ Atenção ADEQUADA}$$

$$P(II_2) = 0,49 \text{ Atenção INADEQUADA}$$

Realizou-se o mesmo procedimento acima para cada nó filho da Figura 28. Considerando o conhecimento do especialista para avaliar a combinação dos efeitos das influências dos nós pais nos nós filhos é possível chegar até a probabilidade marginal do “Erro Humano 1”, que é o primeiro erro humano resultado das influências das atividades Ler as Instruções e Remover a Tampa.

4.1.2.2 Probabilidade do Erro Humano 1

A conjunção das probabilidades dos nós das atividades, Ler Instruções, Remover a Tampa e Puxar a Alavanca, resultaria nas probabilidades do nó do Erro Humano da tarefa, Abertura da Porta em cima da Asa, para simplificar os calculos das probabilidades do Erro Humano, optou-se por dividir os calculos das probabilidade em duas etapas, a primeira seria encontrar a probabilidade do nó do Erro Humano 1, o qual seria a conjunção das probabilidades dos nós, Ler Instruções e Remover a Tampa, e por último seria encontrar a probabilidade do nó Erro Humano 2 como sendo a conjunção das probabilidades do nó do Erro Humano 1 com as probabilidades da atividade, Puxar a Alavanca.

O nó do Erro Humano 1 destacado em amarelo na rede bayesiana preliminar da Figura 28, é a conjunção dos nós das atividades, Ler as Instruções e Remover a Tampa.

Para obter as probabilidades condicionadas da TPC do Erro Humano 1, utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis linguística de entrada, Ler as Instruções e Remover a Tampa, resultando na variável linguística de saída, Erro Humano 1.

Adotaram-se a função de pertinência (ver seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para os valores linguísticos fuzzy “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo” para as variáveis de entrada, e “sim”, “médio” e “não” para as variáveis de saída conforme Figura 34 e Figura 35.

Entrada: Ler as instruções e Remover a Tampa

Figura 34 - Funções Pert Variáveis de Entrada – Ler instruções/Remover Tampa

Adotaram-se os quatro valores linguísticos fuzzy “adequada”, “médio alto”, “inadequada” e “médio baixo” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída.

Saída: Erro Humano 1

Figura 35 - Funções de Pertinência da Variável de Saída – Erro Humano 1

Adotaram-se os três valores linguísticos fuzzy “sim erro”, “médio”, e “não erro” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída.

Para elaborar o sistema de regras fuzzy (ver seção 2.3.6) do Erro Humano 1, resultado das influências das atividades, Ler instruções e Remover a tampa, considerou-se, baseado nos critérios dos especialistas, a premissa de que a primeira

atividade Ler as Instruções do cartão de segurança e do placar tem mais influência no Erro Humano 1 do que a atividade de Remover a Tampa, isto é, quanto mais a atividade de Ler as instruções for ADEQUADA, ela mais influencia para o NÃO erro Humano 1.

Por outro lado, quanto mais a atividade de Ler as instruções for INADEQUADA, ela mais influencia para o SIM erro Humano 1. As inferências intermediárias estão na Tabela 24.

O resultado das probabilidades dos nós das atividades, Ler as Instruções e Remover a Tampa, na tarefa Abertura da Porta de Emergência em cima da Asa, tiveram as probabilidades mencionadas abaixo, conforme a Figura 39.

$P(T3_1) = 0,51$ Ler as instruções de forma “ADEQUADA”

$P(T3_2) = 0,49$ Ler as instruções de forma “INADEQUADA”

$P(T4_1) = 0,58$ Remover a tampa “ADEQUADO”

$P(T4_2) = 0,42$ Remover a tampa “INADEQUADO”

Conforme a premissa adotada para o sistema de regras de inferências, para obter os valores das probabilidades da variável de saída “Erro Humano 1”, a qual foi inferida pelos valores das probabilidades das variáveis linguísticas das entradas “Ler as Instruções” e “Remover a Tampa”, adotaram-se as regras da Tabela 24.

Tabela 24 - Regras Fuzzy - Ler Instruções $\cap$ Remover a Tampa = Erro Humano1

VARIÁVEIS FUZZY		REMOVER TAMPA			
		A	MA	MB	I
LER INSTRUÇÕES	A	N	N	N	M
	MA	N	N	N	S
	MB	N	S	S	S
	I	M	S	S	S

As regras aplicadas ao Erro Humano 1 originaram-se do conhecimento do especialista e, posteriormente, aplicou-se o sistema de regras da Tabela 24 ao método da lógica nebulosa (fuzzy) para obter através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano 1 com os seus valores linguísticos (“SIM erro” e “MEDIO”, “NÃO erro”) e com as suas respectivas probabilidades.

A Tabela 25 apresenta as probabilidades marginais das atividades, Ler instruções e Remover a tampa e as probabilidades condicionais do Erro Humano 1, dado que as atividades Ler instruções e Remover a tampa ocorram; estes nós com as suas probabilidades marginais estão representados na Figura 39.

Tabela 25 - Probabilidades condicionadas – Erro Humano1

LER INSTRUÇÕES - T3	REMOVER TAMPA - T4	ERRO HUMANO1 - EH1	
P(T3i)	P(T4i)	P(EHj T3i,T4i) NÃO	P(EHj T3i,T4i) ^c SIM
P(T3 ₁) = 0,51 ADEQ	P(T4 ₁) = 0,58 ADEQ P(T4 ₂) = 0,42 INADEQ	0,798 0,5	0,202 0,5
P(T3 ₂) = 0,49 INADEQ	P(T4 ₁) = 0,58 ADEQ P(T4 ₂) = 0,42 INADEQ	0,5 0,202	0,5 0,798

Conhecendo as probabilidades marginais das atividades, Ler instruções, Remover a Tampa e a tabela de probabilidades condicionadas do Erro Humano1, e aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6), é possível calcular as probabilidades marginais do Erro Humano1. Estas probabilidades estão apresentadas na Figura 39.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(EH1_j) = \sum_{i=1}^2 P(T3_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(T4_i) \times P(EH1_j|T3_i, T4_i) \right] \quad 4-4$$

Assim,

$$P(EH1_1) = 0,51 \times [0,58 \times 0,798 + 0,42 \times 0,50] + 0,49 \times [0,58 \times 0,50 + 0,42 \times 0,202]$$

$$P(EH1_2) = 0,51 \times [0,58 \times 0,202 + 0,42 \times 0,50] + 0,49 \times [0,58 \times 0,50 + 0,42 \times 0,798]$$

Como resultado, as probabilidades marginais do Erro Humano 1 são:

$$P(EH1_1) = 0,53 \text{ Erro Humano 1 NAO}$$

$$P(EH1_2) = 0,47 \text{ Erro Humano 1 SIM}$$

Conforme representado na Figura 39, considerando as probabilidades do Erro Humano1 e da atividade Puxar a Alavanca é possível determinar as probabilidades do Erro Humano 2 que será avaliado na seção a seguir.

4.1.2.3 Probabilidades do Erro Humano 2

O nó do Erro Humano 2 destacado em amarelo na rede bayesiana preliminar da Figura 28, é a conjunção do nó do Erro Humano 1 e do nó da atividade Puxar a Alavanca.

Para obter as probabilidades condicionadas da TPC do Erro Humano 2, utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis linguísticas de entrada, Erro Humano 1 e Puxar a Alavanca, resultando na variável linguística de saída, Erro Humano 2.

Adotaram-se as funções de pertinência (ver seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para as valores linguísticos Fuzzy “sim erro”, “médio”, “nao erro” e “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo” para as variáveis de entrada conforme Figura 36 e Figura 37.

Adotaram-se também os valores linguísticos Fuzzy “sim erro”, “médio”, “nao erro” para as variáveis de saída conforme Figura 38.

Entrada: Erro Humano 1

Figura 36 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Erro Humano 1

Entrada: Puxar a Alavanca

Figura 37 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Puxar a Alavanca

Saída: Erro Humano 2

Figura 38 - Função de Pertinência da Variável de Saída – Erro Humano 2

Adotaram-se os valores linguísticos fuzzy “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo”, “sim erro”, “médio”, e “não erro” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável linguística de saída.

Para elaborar o sistema de regras fuzzy (seção 2.3.6) para o Erro Humano 2, resultado das influências do Erro Humano1 e da atividade Puxar a Alavanca, considerou-se a premissa de que o Erro Humano 2 só ocorre se o Erro Humano 1 ocorrer e se a atividade de Puxar a Alavanca for inadequada; o Erro Humano 2 será médio, quando não houver a ocorrência do Erro Humano 1 e a atividade Puxar a Alavanca for inadequada, o Erro Humano 2 também será médio, quando ocorrer o Erro Humano 1 e a atividade Puxar a Alavanca for adequada, o Erro Humano 2 não ocorrerá se não ocorrer o Erro Humano 1 e se a atividade de Puxar a alavanca for adequada. A Tabela 26 apresenta o sistema de regras completo.

O resultado das probabilidades dos nós Erro Humano 1 e da atividade Puxar a alavanca, na tarefa Abertura da Porta de Emergência em cima da Asa, tiveram as probabilidades mencionadas abaixo conforme a Figura 39 .

$P(EH1_1) = 0,47$ Probabilidade de “SIM” o Erro Humano 1 ocorrer

$P(EH1_2) = 0,53$ Probabilidade de “Não” o Erro Humano 1 ocorrer

$P(T5_1) = 0,55$ Probabilidade de Puxar a Alavanca “ADEQUADO”

$P(T5_2) = 0,45$ Probabilidade de Puxar a Alavanca “INADEQUADO”

Conforme a premissa adotada para o sistema de regras de inferências, para obter os valores das probabilidades da variável de saída Erro Humano 2, a qual foi inferida pelos valores das probabilidades das variáveis linguísticas das entradas Erro

Humano 1 e pela atividade de Puxar a alavanca, adotaram-se as regras apresentadas na Tabela 26 .

Tabela 26 - Regras Fuzzy- Erro Humano 1 $\cap$ Puxar Alavanca = Erro Humano 2

VARIÁVEIS FUZZY		PUXAR A ALAVANCA			
		A	MA	MB	I
ERRO HUMANO 1	S	M	S	S	S
	M	M	S	S	S
	N	N	N	N	M

O sistema de regras aplicado ao Erro Humano 2 originou-se do conhecimento do especialista, e posteriormente aplicou-se o método da lógica nebulosa (fuzzy) para obter através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano 2 com os seus valores linguísticos (SIM erro” e “MEDIO”, “NÃO erro”) e com as suas probabilidades.

A Tabela 27 apresenta as probabilidades marginais do Erro Humano 1 e da atividade Puxar a Alavanca e as probabilidades condicionais do Erro Humano 2, dado que o Erro Humano 1 e a atividade Puxar a Alavanca ocorram, estes nós com as suas probabilidades marginais estão na Figura 39 .

As regras da

Tabela 26 aplicadas ao método da lógica nebulosa (fuzzy), resultaram nas probabilidades condicionais não e sim para o Erro Humano 2 apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 - Probabilidades condicionadas – Erro Humano 2

ERRO HUMANO 1 - EH1	PUXAR ALAVANCA - T5	ERRO HUMANO 2 - EH2	
P(EH1 _i)	P(T5 _i)	P(EH2 _j EH1 _i ,T5 _i)	P(EH2 _j EH1 _i ,T5 _i) ^c
		NÃO	SIM
P(EH1 ₁) = 0,53 NÃO	P(T5 ₁) = 0,52 ADEQ	0,798	0,202
	P(T5 ₂) = 0,48 INADEQ	0,5	0,5
P(EH1 ₂) = 0,47 SIM	P(T5 ₁) = 0,52 ADEQ	0,5	0,5
	P(T5 ₂) = 0,48 INADEQ	0,202	0,798

Conhecendo as probabilidades marginais do Erro Humano 1, da atividade Puxar a alavanca e a tabela de probabilidades condicionadas do Erro Humano 2 e aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6), é possível calcular as

probabilidades marginais do Erro Humano 2. Estas probabilidades estão apresentadas na Figura 39.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(EH2_j) = \sum_{i=1}^2 P(EH1_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(T5_i) \times P(EH2_j | EH1_i, T5_i) \right] \quad 4-5$$

Assim,

$$P(EH2_1) = 0,53 \times [0,52 \times 0,798 + 0,48 \times 0,50] + 0,47 \times [0,52 \times 0,50 + 0,48 \times 0,202]$$

$$P(EH2_2) = 0,53 \times [0,52 \times 0,202 + 0,48 \times 0,50] + 0,47 \times [0,52 \times 0,50 + 0,48 \times 0,798]$$

Como resultado, as probabilidades marginais do Erro Humano 2 são:

$$P(EH2_1) = 0,52 \text{ Erro Humano 2 SIM}$$

$$P(EH2_2) = 0,48 \text{ Erro Humano 2 NAO}$$

Com as probabilidades marginais dos nós destacados em amarelo da rede bayesiana preliminar da Figura 28 apresentadas como exemplos, e com todas as probabilidades das TPC do Apêndice E, dos nós destacados em azul também da Figura 28 é possível obter a rede bayesiana apresentada na Figura 39 .

Figura 39 - Rede Bayesiana da Porta de Emergência em cima da Asa

4.1.3 Abertura da Porta Principal

A Abertura da Porta Principal é a tarefa de número 2 da Tabela 11. Durante o ensaio de evacuação de emergência, as comissárias abriram as portas principais, porém os requisitos de aeronavegabilidade exigem que a porta principal seja aberta tanto pelos passageiros, quanto pelos comissários; como os comissários recebem treinamento para esta atividade, decidiu-se pela forma mais conservadora ao optar neste trabalho pelo uso dos resultados do ensaio de Abertura da Porta Principal, executados por voluntários na análise da confiabilidade humana no ensaio de evacuação de emergência.

Conforme proposto na Seção 4.1, o ensaio de abertura de porta principal foi executado antes do ensaio completo de evacuação de emergência. Seguem abaixo as etapas do ensaio:

- Os 15 voluntários do ensaio de abertura da porta principal foram selecionados de acordo com os critérios estabelecidos pelos padrões da aviação considerando gênero, idade, etc.
- O responsável pelo ensaio encaminhou cada voluntário para o interior da aeronave e em pé diante da porta, cada voluntário recebeu as instruções abaixo dentro da aeronave:
 - "Você está participando de um teste de certificação, por favor siga todas as instruções."
 - "Você será posicionado em frente à porta para operá-la em uma condição de emergência, por favor, aja de acordo."
 - "Quando estiver em frente à porta, não toque na porta até o início do teste".
 - "Você deve abrir a porta seguindo todas as instruções fornecidas na porta."
 - "Quando você estiver pronto para começar o teste, avise-me."
 - "O teste iniciará com o meu sinal."
 - "Após o teste, você será guiado para outro local."
- Na execução da tarefa de abrir a porta principal cada voluntário desempenhou as atividades abaixo:
 1. Prestar atenção nas instruções do ensaio;
 2. Ler as instruções no placar;
 3. Levantar a alavanca até o fim do curso;

4. Empurrar a porta para fora;

- Na execução da tarefa as interfaces com os voluntários foram:
 1. Instruções do ensaio;
 2. Instruções do placar;
 3. Seta vermelha;
 4. Alavanca;
 5. Porta;
- Depois da execução de cada ensaio de abertura de porta principal, os voluntários foram levados em salas separadas para responder ao questionário conforme o Apêndice B; depois do questionário respondido e validados pelo entrevistador, estes voluntários foram encaminhados para outras salas para não ocorrer contaminação de dados.
- Cada tomada do ensaio foi gravada para que cada resposta do questionário fosse validada pelo entrevistador.
- O resultado positivo ou negativo do ensaio não foi revelado para os voluntários.

A Figura 40 apresenta a porta principal, parte da montagem do ensaio no qual cada voluntário fez interface, estas interfaces foram: Instruções do placar, posição da seta vermelha, alavanca e porta.

Figura 40 – Interface do Ensaio Abertura da Porta Principal

Conhecendo as tarefas e as interfaces de cada voluntário, é possível elaborar a tabela de Influência dos Fatores do Desempenho da Tarefa Número 2, “Operação de abertura da porta principal”. Consideraram-se as premissas abaixo:

1. Nas instruções individuais para cada voluntário, informou-se que as instruções estavam na porta, logo nem a habilidade percepção e nem a atividade “Localizar Placar” foram selecionadas.
2. O cartão de segurança não foi apresentado para os voluntários, logo ele não fez interface com os voluntários, logo a habilidade interpretação é influenciada apenas pelo placar.
3. A porta é uma interface relevante, devido a sua característica de não abrir automaticamente, exigindo que o voluntário a empurre, a ação cognitiva de interpretar a tarefa ler as instruções tem um peso importante na abertura da porta.

4. Os fatores organizacionais de “Situação de Emergência e Instruções do Ensaio” foram selecionados como fatores organizacionais, pois eles foram ações dos organizadores do ensaio para contextualizar o cenário de emergência e fornecer instruções mínimas para simular a necessidade de abrir a porta de emergência.
5. Depois das instruções do ensaio, os fatores individuais nervosismo e conhecimento surgiram em cada voluntário (indivíduo) influenciados pelos fatores organizacionais Situação de Emergência e Instruções do Ensaio.
6. Os fatores individuais nervosismo e conhecimento são fatores cognitivos que junto com fatores situacionais de projetos, instruções do placar, criticalidade das instruções e iluminação, influenciam de forma direta as habilidades atenção, interpretação na execução da tarefa “Ler as instruções”, que é uma tarefa cognitiva.
7. Os fatores situacionais, placar e seta vermelha junto com o fator individual, preocupação com o tempo influenciam a habilidade tomada de decisão, a qual faz uma interface entre as tarefas cognitivas e as de ações, pois depois de um certo aprendizado rápido cada voluntário precisa agir para abrir a porta.
8. Nesta sequência de atividades os fatores individuais condições físicas e os fatores situacionais de projeto, alavanca e porta, influenciaram as habilidades físicas de cada voluntário do ensaio para execução da tarefa “Levantar a alavanca” e “Empurrar a porta”.
9. Não foi selecionado nenhum fator ambiental ruído, porque constatou-se que não havia nenhuma perturbação de ruído durante o ensaio.

Tabela 28 – Atividades e Influências dos Fatores do Desempenho

ATIVIDADE	PSF HAB	PSF IND/SIT/AMB	PSF ORG
2.2 Ler as Instruções no Placar	Atenção - II	IND - Nervosismo - ϵ	Emergência - F
		IND - Conhecimento - ϕ	Instruções - D
	Interpretação - I	IND - Conhecimento - ϕ	Instruções - D
		SIT - Placar - f SIT - Criticalidade - i	
2.3 Levantar a Alavanca até o fim do curso	Habilidade Física Alavanca - IV	IND – Condições Física - αa	Não aplicável
		SIT - Alavanca - p	
	Tomada Decisão - VII	IND – Preocupação Tempo - μ	Não aplicável
		SIT - Alavanca - p SIT – Seta Vermelha - m	
2.4 Empurrar a porta para fora	Habilidade Física Porta - IV	IND – Condições Física Porta - αp	Não aplicável
		SIT - Porta - n	
	Tomada Decisão - VII	IND – Preocupação Tempo - μ	Não aplicável
		SIT - Placar - f	

Notas:

IND – Condições Física – αa : Fator Individual – Condições Física do Humano para empurrar a alavanca da porta

Considerou-se a habilidade, Atenção, na análise de influência das atividades 2.2 e 2.3 da Tabela 28 desta forma optou-se por não analisar a atividade 2.1, Prestar Atenção nas Instruções do Ensaio.

Uma vez definida a Tabela 28, é possível elaborar a rede bayesiana preliminar cujo objetivo é mostrar as relações de dependências de cada nó pai com os seus nós filhos e consequentemente as propagações das influências dos fatores do desempenho entre os nós da rede bayesiana preliminar conforme a Figura 41.

Figura 41 - Rede Bayesiana Preliminar – Abertura Porta Principal

Os nós destacados em roxo na Figura 41, seguiram os exemplos da seção 4.1.2 para obter as probabilidades condicionais destes nós, através do questionário (Apêndice B) e da lógica fuzzy - Método Mandini (ver seção 2.3.6). Estas probabilidades condicionais e as outras das probabilidades condicionais dos nós em azul, com exceção dos nós Erro humano 1 e 2 os quais estão no final desta seção, estão no Apêndice F. Todas estas probabilidades condicionais farão parte das TPC dos nós filhos da rede bayesiana da tarefa, Abertura da porta principal.

Aplicou-se as mesmas considerações da seção 4.1.2 para elaboração do questionário (Apêndice B), e na construção da rede bayesiana preliminar da Figura 41.

A Tabela 29 abaixo apresenta as probabilidades dos nós pais adquiridas pelas respostas do questionário do Apêndice B.

Tabela 29 - Probabilidades dos Nós Pais – Porta Principal

PSFs	NÓS PAIS	ESTADOS	PROBABILIDADES
ORG	Di (Instruções)	Adequado	$P(D_1)=0,69$
		Inadequado	$P(D_2)=0,31$
	Fi (Emergência)	Sim	$P(C_1)=0,92$
		Não	$P(C_2)=0,08$
IND	μ_i (Preocupação Tempo)	Sim	$P(\mu_1)=0,85$
		Não	$P(\mu_2)=0,15$
	α_{ti} (Cond Física Alavanca)	Adequado	$P(\alpha_{a1})=1,00$
		Inadequado	$P(\alpha_{a2})=0,00$
	α_{ai} (Cond Física Porta)	Adequado	$P(\alpha_{p1})=0,69$
		Inadequado	$P(\alpha_{p2})=0,31$
SIT	m_i (Seta vermelha)	Adequado	$P(m_1)=0,62$
		Inadequado	$P(m_2)=0,38$
	f_i (Placar)	Adequado	$P(f_1)=0,85$
		Inadequado	$P(f_2)=0,15$
	i_{pi} (Criticalidade do placar)	Fácil	$P(ip_1)=0,69$
		Difícil	$P(ip_2)=0,31$
	a_i (Porta)	Adequado	$P(a_1)=0,85$
		Inadequado	$P(a_2)=0,15$

Com as influências identificadas na Tabela 28 e com as probabilidades dos nós pais da Tabela 29 é possível calcular as probabilidades dos primeiros nós filhos na rede bayesiana da Figura 47, porém se faz necessário ter as probabilidades condicionadas das TPC do Apêndice F para completar a rede bayesiana com o objetivo de ter as probabilidades marginais de cada nó na rede.

Para obter as probabilidades marginais de cada nó da rede Bayesiana (Figura 47), aplicou-se o mesmo procedimento da seção 4.1.2 – Abertura da Porta de Emergência em cima da asa.

A rede bayesiana preliminar da Figura 41 apresenta os nós dos fatores de desempenho habilidades com mais de uma dependência do nós dos fatores individuais e situacionais e não apresenta dependência de nós do fator ambiental.

Conforme explicado anteriormente para obter as probabilidades condicionais dos nós filhos com mais de uma dependência, utilizou-se a lógica nebulosa (fuzzy)– Método Mandini.

A Tabela 30 apresenta as influências dos nós pais dos fatores dos desempenhos individuais e situacionais em cada nó filho dos fatores de desempenho

habilidades. Conforme a Figura 47, as probabilidades marginais de cada fator de desempenho habilidade são resultado da soma das probabilidades do produto das probabilidades dos fatores dos desempenhos individuais e situacionais com as probabilidades condicionadas das habilidades.

Tabela 30 - Habilidades e Fatores de Desempenho Individuais e Situacionais

PSF HABILIDADES	PSF INDIVIDUAIS E SITUACIONAIS
Atenção (II)	Nervosismo (ϵ), Conhecimento (ϕ)
Interpretação Cartão (Ic)	Cartão (g), Criticalidade (i), Conhecimento (ϕ), Iluminação (b)
Interpretação Placar (Ip)	Placar (f), Criticalidade (i), Conhecimento (ϕ), Iluminação (b)
Habilidade Física Tampa (IVt)	Tampa (l), Condições Físicas Tampa (αt)
Habilidade Física Alavanca (IVa)	Alavanca (p), Condições Físicas Alavanca (αa)
Tomada de Decisão (VII)	Placar (f), Preocupação com o Tempo (μ)

Aplicou-se o mesmo procedimento, para obter as probabilidades condicionais (nó com mais de uma influência) da habilidade Atenção da seção 4.1.2 para todas as demais habilidades da Tabela 30, cujas funções de pertinência e conjuntos de regras da lógica fuzzy estão no Apêndice F.

Considerando o conhecimento do especialista para avaliar as combinações dos efeitos das influências dos nós pais nos nós filhos é possível chegar até a probabilidade marginal do “Erro Humano 1”, que é o primeiro erro humano resultado das influências das atividades, Ler as Instruções e Levantar a Alavanca.

4.1.3.1 Probabilidades do Erro Humano 1

O nó do Erro Humano 1 destacado em roxo na rede bayesiana preliminar da Figura 41, é a conjunção dos nós das atividades, Ler as Instruções e Levantar a Alavanca.

Para obter as probabilidades condicionadas da TPC do Erro Humano 1, utilizou-se o sistema de inferência Fuzzy com as variáveis linguística Fuzzy de entrada, Ler as Instruções e Levantar a Alavanca, resultando na variável linguística Fuzzy de saída, Erro Humano 1.

Adotou-se a função de pertinência (ver seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para os valores linguísticos fuzzy “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo” para as variáveis de entrada, e “sim” “médio” e “não” para as variáveis de saída conforme Figura 42.

Entrada: Ler as instruções e Remover a Tampa

Figura 42 - Funções Pert Variável Entrada – Ler instruções/Levantar Alavanca

Adotaram-se os quatro valores linguísticos Fuzzy “adequada”, “médio alto”, “inadequada”, “médio baixo” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída.

Saída: Erro Humano 1

Figura 43 - Funções de Pert da Variável de Saída – Erro Humano 1

Adotaram-se os três valores linguísticos Fuzzy “sim erro”, “médio”, e “não erro” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída conforme Figura 43.

Para elaborar o sistema de regras Fuzzy (ver seção 2.3.6) do Erro Humano 1, resultado das influências das atividades, Ler instruções e Levantar a alavanca, considerou-se, baseado nos critérios dos especialistas, a premissa de que a primeira atividade Ler as Instruções do cartão de segurança e do placar tem mais influência no Erro Humano 1 do que a atividade de Levantar a alavanca, isto é quanto mais a atividade de Ler as instruções for ADEQUADA, ela influencia para o NÃO erro Humano 1.

Por outro lado, quanto mais a atividade de Ler as instruções for INADEQUADA, ela mais influencia para o SIM erro Humano 1. As inferências intermediárias estão na Tabela 31.

O resultado das probabilidades dos nós das atividades, Ler as Instruções e Levantar a alavanca, na tarefa Abertura da Porta Principal, tiveram as probabilidades mencionadas abaixo conforme a Figura 47 - Rede Bayesiana da Porta Principal

$P(T1_1) = 0,56$ Tarefa Ler as instruções de forma “ADEQUADA”

$P(T1_2) = 0,44$ Tarefa Ler as instruções de forma “INADEQUADA”

$P(T2_1) = 0,55$ Levantar a Alavanca “ADEQUADO”

$P(T2_2) = 0,45$ Levantar a Alavanca “INADEQUADO”

Conforme premissa adotada para o sistema de regras de inferências, para obter os valores das probabilidades da variável de saída “Erro Humano 1”, a qual foi inferida pelos valores das probabilidades das variáveis linguísticas das entradas “Ler as Instruções” e “Remover a Tampa”, adotou-se as seguintes regras apresentadas na Tabela 31

Tabela 31 - Regras Fuzzy - Ler Instruções $\cap$ Levantar Alavanca = Erro Humano1

VARIÁVEIS FUZZY		LEVANTAR A ALAVANCA			
		A	MA	MB	I
LER INSTRUÇÕES	A	N	N	N	M
	MA	N	N	N	S
	MB	N	N	S	S
	I	M	S	S	S

As regras aplicadas ao Erro Humano1 originaram-se do conhecimento do especialista e, posteriormente, aplicou-se o sistema de regras da Tabela 31 acima no método da lógica nebulosa (fuzzy) para obter através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano 1 com os seus valores linguísticos (“SIM erro” “MEDIO” e “NÃO erro”) e com suas probabilidades.

A Tabela 32 apresenta as probabilidades marginais das atividades, Ler instruções e Levantar a alavanca e as probabilidades condicionais do Erro Humano 1, dado que as atividades Ler instruções e Levantar a alavanca ocorram, estes nós com as suas probabilidades marginais estão representados na Figura 47.

Tabela 32 - Probabilidades condicionadas – Erro Humano1 - Porta Principal

LER INSTRUÇÕES - T1 LEVANTAR ALAVANCA - T2		ERRO HUMANO 1 - EH1	
P(T1 _i)	P(T2 _i)	P(EH1 _j T1 _i ,T2 _i) NÃO	P(EH1 _j T1 _i ,T2 _i) ^c SIM
P(T1 ₁) = 0,56 ADEQ	0,55 ADEQ	0,798	0,202
	0,45 INADEQ	0,5	0,5
P(T1 ₂) = 0,44 INADEQ	0,55 ADEQ	0,5	0,5
	0,45 INADEQ	0,202	0,798

Conhecendo as probabilidades marginais das tarefas, Ler instruções, Levantar a Alavanca e as probabilidades condicionadas do Erro Humano 1, aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6) é possível calcular as probabilidades marginais do Erro Humano1. Estas probabilidades estão apresentadas na rede Bayesiana da Figura 47 e definidas abaixo.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(EH1_j) = \sum_{i=1}^2 P(T1_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(T2_i) \times P(EH1_j | T1_i, T2_i) \right] \quad 4-6$$

Assim,

$$P(EH1_1) = 0,56 \times [0,55 \times 0,798 + 0,45 \times 0,50] + 0,44 \times [0,55 \times 0,50 + 0,45 \times 0,202]$$

$$P(EH1_2) = 0,56 \times [0,55 \times 0,202 + 0,45 \times 0,50] + 0,44 \times [0,55 \times 0,50 + 0,45 \times 0,798]$$

Resultando nas probabilidades marginais do Erro Humano 1.

$$P(EH1_1) = 0,53 \text{ Erro Humano 1 NAO}$$

$$P(EH1_2) = 0,47 \text{ Erro Humano 1 SIM}$$

Conforme representado na, Figura 47, considerando as probabilidades do Erro Humano 1 e da atividade Empurrar a Porta é possível determinar as probabilidades do Erro Humano 2 que será avaliado a seguir.

4.1.3.2 Probabilidades do Erro Humano 2

O nó do Erro Humano 2 destacado em roxo na rede bayesiana preliminar da Figura 41, é a conjunção dos nós do Erro Humano 1 e do nó da atividade Empurrar a Porta.

Para obter as probabilidades condicionadas da TPC do Erro Humano 2, utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis linguística fuzzy de entrada, Erro Humano 1 e Empurrar a Porta, resultando na variável fuzzy de saída, Erro Humano 2. Adotaram-se as funções de pertinência (ver seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para os valores linguísticos fuzzy “sim erro”, “médio”, “nao erro” e “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo” para as variáveis de entrada.

Adotaram-se também os valores linguísticos Fuzzy “sim erro”, “médio”, “nao erro” para as variáveis de saída conforme Figura 44, Figura 45 e Figura 46.

Entrada: Erro Humano 1

Figura 44 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Erro Humano 1

Entrada: Empurrar a Porta

Figura 45 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Empurrar a Porta

Saída: Erro Humano 2

Figura 46 - Funções de Pert da Variável de Saída – Erro Humano 2

Adotaram-se os valores linguísticos fuzzy “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo”, “sim erro”, “médio”, e “não erro” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída.

Para elaborar o sistema de regras fuzzy (seção 2.3.6) para o Erro Humano 2, resultado das influências do Erro Humano1 e da atividade Empurrar a porta, considerou-se a premissa de que o Erro Humano 2 só ocorre se o Erro Humano 1 ocorrer e se a atividade de Empurrar a porta for inadequada; o Erro Humano 2 será

médio, quando não houver a ocorrência do Erro Humano 1 e a atividade Empurrar a porta for inadequada, o Erro Humano 2 também será médio, quando ocorrer o Erro Humano 1 e a atividade Empurrar a porta for adequada, o Erro Humano 2 não ocorrerá se não ocorrer o Erro Humano 1 e se a atividade de Empurrar a porta for adequada, a Tabela 33 apresenta o sistema de regras completo.

O resultado das probabilidades dos nós Erro Humano 1 e da atividade Empurrar a porta, na tarefa abertura da porta principal, tiveram as probabilidades mencionadas abaixo, conforme a Figura 47.

$P(EH1_1) = 0,47$ Probabilidade de “SIM” o Erro Humano 1 ocorrer

$P(EH1_2) = 0,53$ Probabilidade de “Não” o Erro Humano 1 ocorrer

$P(T3_1) = 0,55$ Probabilidade de Empurrar a Porta ser “ADEQUADO”

$P(T3_2) = 0,45$ Probabilidade de Empurrar a Porta ser “INADEQUADO”

Conforme premissa adotada para o sistema de regras de inferências, para obter os valores das probabilidades da variável de saída Erro Humano 2, a qual foi inferida pelos valores das probabilidades das variáveis linguísticas das entradas Erro Humano 1 e pela tarefa de Empurrar a porta, adotaram-se as regras apresentadas, na Tabela 33 .

Tabela 33 - Regras Fuzzy- Erro Humano 1 $\cap$ Empurrar a Porta = Erro Humano 2

VARIÁVEIS FUZZY		EMPURRAR A PORTA			
		A	MA	MB	I
ERRO HUMANO 1	S	M	S	S	S
	M	M	S	S	S
	N	N	N	N	M

As regras aplicadas ao “Erro Humano 2” originaram-se do conhecimento do especialista, e posteriormente aplicou-se o método da Lógica Nebulosa *Fuzzy* para obter, através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano 2 com os seus valores linguísticos (“SIM erro” “MEDIO” e “NÃO erro”) e com as suas respectivas probabilidades.

A Tabela 34 apresenta as probabilidades marginais do Erro Humano 1 e da tarefa “Empurrar a Porta” e as probabilidades condicionais do Erro Humano 2, dado que o Erro Humano 1 e a atividade Empurrar a Porta ocorram; estes nós com as suas probabilidades marginais estão na Figura 47 - Rede Bayesiana da Porta Principal

As regras da Tabela 33 aplicadas ao método da lógica nebulosa (fuzzy), resultaram nas probabilidades condicionais não e sim para o Erro Humano 2.

Tabela 34 - Probabilidades Condicionadas – Erro Humano 2

ERRO HUMANO 1 - EH1	EMPURRAR A PORTA - T3	ERRO HUMANO 2 - EH2	
		$P(EH2_j EH1_i, T3_i)$ NÃO	$P(EH2_j EH1_i, T3_i)^c$ SIM
$P(EH1_1) = 0,53$ NÃO	$P(T3_1) = 0,55$ ADEQ	0,798	0,202
	$P(T3_2) = 0,45$ INADEQ	0,5	0,5
$P(EH1_2) = 0,47$ SIM	$P(T3_1) = 0,55$ ADEQ	0,5	0,5
	$P(T3_2) = 0,45$ INADEQ	0,202	0,798

Conhecendo as probabilidades marginais do Erro Humano 1 e da tarefa “Empurrar a porta” e as probabilidades condicionadas do Erro Humano 2 e aplicando o Teorema da Probabilidade Total da seção 2.1.6 é possível calcular as probabilidades marginais do Erro Humano 2. Estas probabilidades estão apresentadas na Figura 47.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(EH2_j) = \sum_{i=1}^2 P(EH1_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(T3_i) \times P(EH2_j|EH1_i, T3_i) \right] \quad 4-7$$

Assim,

$$P(EH2_1) = 0,55 \times [0,61 \times 0,798 + 0,45 \times 0,50] + 0,45 \times [0,61 \times 0,50 + 0,39 \times 0,202]$$

$$P(EH2_2) = 0,55 \times [0,61 \times 0,202 + 0,45 \times 0,50] + 0,45 \times [0,55 \times 0,50 + 0,45 \times 0,798]$$

Como resultado, as probabilidades marginais do Erro Humano 2 são:

$$P(EH2_2) = 0,52 \text{ Erro Humano 2 NAO}$$

$$P(EH2_1) = 0,48 \text{ Erro Humano 2 SIM}$$

Com as probabilidades marginais dos nós destacados em roxo da rede bayesiana preliminar da Figura 41 apresentadas nesta seção como exemplos, e com todas as TPC do Apêndice F, dos nós destacados em azul também da Figura 41, é possível obter a rede bayesiana apresentada na Figura 47.

Figura 47 - Rede Bayesiana da Porta Principal

4.1.4 Evacuação pelas Saídas Dianteira, Traseira e em cima da Asa

O ensaio de evacuação de emergência iniciou-se com o procedimento de uma decolagem normal, como num voo comercial, todos os voluntários tiveram oportunidade de prestar atenção nas instruções de segurança apresentada por uma comissária, e depois de receberem o comunicado de situação de emergência e da ordem de evacuar da aeronave, aqueles que não estavam próximos às portas, tiveram que localizar e seguir os sinais de saída dentro da aeronave e optar por usar as saídas dianteira, em cima da asa, ou saída traseira.

Seguem abaixo as etapas do ensaio:

- O teste foi executado em solo, em uma aeronave com um interior representativo de série, com todos os trens de pouso estendidos, e dentro de um hangar.
- Os 112 voluntários do ensaio de abandono de aeronave foram selecionados de acordo com os critérios estabelecidos pelas regras da aviação civil considerando gênero, idade, etc.

- Todos os 112 voluntários foram encaminhados para os seus respectivos assentos conforme marcação de seus coletes selecionados por eles mesmos.
- As autoridades distribuíram 3 bonecos considerados como crianças de colo, o voluntário escolhido para ficar com o boneco deveria cuidar dele e conduzi-lo para fora da aeronave.
- Depois das instruções de segurança (Apêndice D), se deu um tempo para os voluntários lerem as instruções do cartão de segurança.
- O responsável pelo ensaio solicitou que os voluntários considerassem a situação como de emergência e agissem como tal.
- Malas, travesseiros e cobertores foram distribuídos no corredor e nos acessos das de emergência para criar obstruções simulando um acidente.
- Na execução da tarefa de Localizar e Seguir os sinais de dentro da aeronave cada voluntário desempenhou as atividades abaixo:
 1. Prestar atenção nas instruções de segurança
 2. Ler o cartão de segurança;
 3. Localizar os sinais no avião;
 4. Seguir os sinais.
- Na execução da tarefa as interfaces com os voluntários foram:
 1. Instruções de segurança;
 2. Sinais;
 3. Cartão de Segurança.

Depois da execução do ensaio de evacuação da aeronave, os voluntários foram levados para salas para responder ao questionário, depois dos questionários respondidos e validados pelo entrevistador, estes voluntários foram encaminhados para outras salas para não ocorrer contaminação de dados. O ensaio foi gravado para esclarecer possíveis dúvidas com relação a comportamentos atípicos de alguns voluntários.

A Figura 48 apresenta a rota de evacuação de emergência dentro da aeronave, a qual deveria ser seguida pelos voluntários e as interfaces de projeto marcas e sinais.

Figura 48 – Esquema da Rota Interna de Evacuação de Emergência

A rota interna de evacuação de emergência indica as saídas dianteiras e traseiras e em cima da asa.

Conhecendo as tarefas e as interfaces dos voluntários com o projeto, é possível elaborar a Tabela 35 e a Tabela 42, para as quais considerou-se as premissas abaixo:

1. Dividiram-se os voluntários em três grupos, os que saíram através da porta dianteira, traseira e em cima da asa, e todos responderam os questionários em grupos separados;
2. Para o grupo que saiu pela porta de emergência em cima da asa, o questionário apresentou questões adicionais sobre os sinais em cima da asa e a localização da escorregadeira em cima da asa;
3. As atividades das tarefas 3 e 7 da Tabela 11 são comuns para os voluntários que saíram pelas saídas dianteira, traseira e em cima da asa;
4. A Tabela 35 de Influência dos Fatores de Desempenho para as atividades de localizar, seguir e escorregar é comum para os voluntários que escolheram as saídas, dianteiras e traseiras;
5. A Tabela 42 de influência para os voluntários que saíram em cima da asa apresenta, além da habilidade de percepção dentro da aeronave, também a

percepção fora da aeronave, isto é, em cima da asa, consequentemente uma atividade a mais de localizar sinais em cima da asa;

6. A habilidade percepção fora não tem influência do fator individual conhecimento porque o cartão de segurança não apresenta marca em cima da asa e nem iluminação nas escorregadeiras em cima da asa;
7. Não se considerou, a iluminação da escorregadeira na Tabela 35 Influência dos Fatores de Desempenho das saídas dianteira e traseira porque os voluntários não tiveram chance de seguir a iluminação para escorregar;
8. Considerou-se a iluminação da escorregadeira em cima da asa porque logo que os voluntários saíram pela porta de emergência em cima da asa tiveram chance de perceber a escorregadeira e a direção certa, devido à iluminação dela;
9. Os fatores organizacionais de “Situação de Emergência e “Demonstração dos itens de Segurança” foram selecionados como fatores organizacionais, pois eles foram ações dos organizadores do ensaio para contextualizar o cenário de emergência e a demonstração dos itens de segurança foi feita por uma comissária representando uma linha comercial;
10. Consideram-se dois tipos de sinais, os do piso e os do “homenzinho correndo”;
11. Os fatores individuais Nervosismo e Conhecimento são fatores cognitivos que junto com fatores situacionais de projetos, Sinais, Cartão de segurança e Criticalidade das instruções, influenciaram de forma direta as habilidades Atenção, Percepção e Interpretação na execução da tarefa “Localizar sinais”, que é uma tarefa cognitiva;
12. A habilidade Tomada de decisão recebeu influência do fator individual Conhecimento porque o fator organizacional Demonstração de itens de segurança ensinou onde estavam as escorregadeiras;
13. Nesta sequência de atividades, o fator individual Condição física e o fator situacional de projeto, Escorregadeira, influenciaram as habilidades físicas de cada voluntário para execução da tarefa de escorregar;
14. Selecionou-se o fator ambiental Barulho, porque 112 voluntários em um mesmo ambiente, de alguma forma geraram ruídos durante o ensaio.

As influências dos Fatores de Desempenho na execução das tarefas de localizar sinais das saídas e seguir os sinais são as mesmas para todos os voluntários antes de escolher as saídas pela dianteira, traseira e sobre as asas.

4.1.4.1 Evacuação pelas Saídas Dianteira e Traseira

O procedimento de evacuação pelas saídas dianteira e traseira consiste em localizar os sinais dentro da aeronave, seguir os sinais dentro da aeronave e escorregar. A Tabela 35 apresenta os fatores de desempenho que influenciam as atividades 3.3, 3.4 e 7.1.

Tabela 35 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho

ATIVIDADE	PSF HAB	PSF IND/SIT/AMB	PSF ORG
3.3 Localizar sinais de saída dentro da aeronave	Atenção - II	IND – Conhecimento - φ AMB – Barulho - Ba	Demonstração - C
	Percepção (dentro) - V	IND – Conhecimento - φ SIT – Sinal do Homenzinho Correndo - eh SIT – Sinal no Piso - ep	Demonstração - C
	Interpretação - I	IND – Conhecimento - φ SIT – Cartão de Segurança - g SIT – Criticalidade - i	Demonstração - C
3.4 Seguir os sinais dentro da aeronave	Liderança - VIII	IND – Nervosismo - ϵ IND – Comportamento Social - β IND – Preocupação Tempo - μ	Emergência - F Não aplicável Não Aplicável
	Tomada de Decisão - VII	IND – Conhecimento - φ IND – Nervosismo - ϵ IND – Preocupação Tempo - μ	Demonstração - C Emergência - F Não Aplicável
	Habilidade Física - IV	IND – Condição Física - α SIT – Escorregadeira - h	Não Aplicável
7.1 Escorregar	Tomada de Decisão - VII	IND – Conhecimento - φ	Demonstração - C
		IND – Nervosismo - ϵ	Emergência - F
		IND – Preocupação Tempo - μ	Não Aplicável

Constatou-se que as atividades 3.1 e 3.2 da Tabela 11 são ações cognitivas, logo supriu-se estas, na atividade 3.3 que também é uma ação cognitiva.

Uma vez definida a Tabela 35 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho é possível elaborar a rede bayesiana preliminar cujo objetivo é mostrar as relações de dependência de cada nó pai com os seus nós filhos e, conseqüentemente, as propagações das influências dos fatores do desempenho entre os nós da Figura 49.

A rede bayesiana preliminar da Figura 49 representa as influências entre os Fatores de Desempenho das tarefas de evacuar da aeronave pelas saídas dianteiras e traseiras.

Figura 49 - Rede Bayesiana Preliminar – Saída pela Dianteira e Traseira

Os nós destacados em verde na Figura 49, seguiram os são os exemplos da seção 4.1.2 para obter as probabilidades condicionais destes nós, através do questionário (Apêndice C) e da lógica fuzzy - Método Mandini (ver seção 2.3.6). Estas probabilidades condicionais e as outras probabilidades condicionais dos nós em azul estão no Appendix G, com exceções do nó Percepção dentro e dos nós Erro humano 1 e 2, os quais estão no final desta seção. Todas estas probabilidades condicionais farão parte das TPC, dos nós filhos das redes bayesianas, Evacuação pela saída Dianteira e Traseira.

Aplicou-se as mesmas considerações da seção 4.1.2 para elaboração do questionário (Apêndice C), e na construção da rede bayesiana preliminar (Figura 49).

A Tabela 36 apresenta as probabilidades dos nós pais (raízes) adquiridas pelas respostas do questionário do Apêndice C.

Tabela 36 - Probabilidades Nós Pais

PSFs	NÓS PAIS	ESTADOS	PROB DIANTEIRA	PROB TRASEIRA
ORG	Ci (Demonstração)	Adequado	$P(C_1)=0,97$	$P(C_1)=0,98$
		Inadequado	$P(C_2)=0,03$	$P(C_2)=0,02$
	Fi (Emergência)	Sim	$P(F_1)=0,98$	$P(F_1)=0,98$
		Não	$P(F_2)=0,02$	$P(F_2)=0,02$
IND	μ_i (Preocupação Tempo)	Sim	$P(\mu_1)=0,75$	$P(\mu_1)=0,75$
		Não	$P(\mu_2)=0,25$	$P(\mu_2)=0,25$
	α_i (Cond Física)	Adequado	$P(\alpha_1)=0,89$	$P(\alpha_1)=0,89$
		Inadequado	$P(\alpha_2)=0,11$	$P(\alpha_2)=0,11$
	β_i – (Comportamento Social)	Sim	$P(\beta_1)=0,41$	$P(\beta_1)=0,41$
		Não	$P(\beta_2)=0,59$	$P(\beta_2)=0,59$
SIT	epi (Sinais Piso)	Adequado	$P(ep_1)=0,37$	$P(ep_1)=0,37$
	Ehi(Homenzinho correndo)	Adequado	$P(eh_2)=0,23$	$P(eh_2)=0,23$
	Ei (Piso e Homenzinho)	Inadequado	$P(e_3)=0,40$	$P(e_3)=0,40$
	gi (Cartão de Segurança)	Adequado	$P(g_1)=0,98$	$P(g_1)=0,98$
		Inadequado	$P(g_2)=0,02$	$P(g_2)=0,02$
	ici (Criticalidade do cartão)	Fácil	$P(ic_1)=0,93$	$P(ic_1)=0,93$
		Difícil	$P(ic_2)=0,07$	$P(ic_2)=0,07$
	Hi (Escorregadeira)	Estável	$P(h_1)=0,98$	$P(h_1)=0,98$
		Instável	$P(h_2)=0,02$	$P(h_2)=0,02$
	AMB	Não atrap	$P(Ba_1)=0,93$	$P(Ba_1)=0,93$
		Sim atrap	$P(Ba_2)=0,07$	$P(Ba_2)=0,07$

Com as influências identificadas na Tabela 35 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho, e com as probabilidades dos nós pais da Tabela 36 acima é possível calcular as probabilidades dos primeiros nós filhos na rede Bayesianas – Saídas Dianteiras e rede Bayesianas Saídas Traseiras, Figura 55 e Figura 56 porém, se faz necessário ter as probabilidades condicionadas das TPC para obter a rede bayesiana com o objetivo de ter as probabilidades marginais de cada nó na rede.

Para obter as probabilidades marginais de cada nó da rede Bayesiana aplicou-se o mesmo procedimento das seções 4.1.2 – Abertura da Portas de Emergência.

A Figura 49 - Rede Bayesiana Preliminar – Saída pela Dianteira e Traseira apresenta os nós dos fatores de desempenho habilidades com mais de uma dependência do nós dos fatores dos desempenhos ambientais, individuais e situacionais.

Conforme explicado anteriormente, para obter as probabilidades condicionais dos nós filhos com mais de uma dependência, utilizou-se a lógica nebulosa (fuzzy) – Método Mandini.

A Tabela 37 apresenta as influências dos nós pais dos fatores dos desempenhos ambientais, individuais, situacionais em cada nó filho dos fatores de desempenho habilidades.

Tabela 37 - Habilidades e Fatores de Desempenho Individuais e Situacionais

PSF HABILIDADES	PSF INDIVIDUAIS, SITUACIONAIS E AMBIENTAIS
Atenção (II)	Barulho (Ba) Conhecimento (φ)
Percepção (VI)	Sinais (e), Conhecimento (φ)
Interpretação (I)	Cartão (g), Criticalidade (i), Conhecimento (φ)
Liderança (VIII)	Comportamento Seguir (β), Nervosismo (ε), Preocupação c/Tempo (μ)
Habilidade Física (IV)	Escurregadeira (h), Condições Físicas (α)
Tomada de Decisão (VII)	Nervosismo (ε), Preocupação c/ Tempo (μ), Conhecimento (φ)

Aplicou-se o mesmo procedimento da seção 4.1.2, para obter as probabilidades condicionais (nó com mais de uma influência) das habilidades da Tabela 37 acima, cujas funções de pertinência e conjuntos de regras da lógica fuzzy estão no Apêndice G.

Considerando o conhecimento do especialista para avaliar as combinações dos efeitos das influências dos nós pais nos nós filhos é possível chegar até a probabilidade marginal do “Erro Humano 1”, que é o primeiro erro humano resultados das influências das atividades, Localizar saída e Seguir sinais.

Realizou-se o mesmo procedimento acima para cada nó filho da Figura 49 - Rede Bayesiana Preliminar – Saída pela Dianteira e Traseira. Considerando o conhecimento do especialista para avaliar as combinações dos efeitos das influência dos nós pais nos nós filhos, é possível chegar até à probabilidade marginal do “Erro Humano 1”, que é o primeiro erro humano resultado das influências das atividades, Localizar as saídas e Seguir os sinais

4.1.4.1.1 Probabilidades do Erro Humano1

O nó do Erro Humano 1, destacado em verde na rede bayesiana preliminar da Figura 49, é a conjunção dos nós das atividades, Localizar a Saída e Seguir Sinais.

Para obter as probabilidades condicionadas do Erro Humano 1 utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis linguísticas de entrada, Localizar a Saída e Seguir os Sinais resultando na variável linguística de saída, Erro Humano 1.

Adotaram-se a função de pertinência (ver seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para os valores linguísticos fuzzy “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo” para as variáveis de entrada, e “sim” “médio” e “não” para as variáveis de saída conforme as Figura 50 e Figura 51.

Entrada: Localizar a Saída e Seguir os Sinais.

Figura 50 - Funções Pert Variável Entrada – Localizar Saída/Seguir Sinais

Saída: Erro Humano 1

Figura 51 - Funções de Pert da Variável de Saída – Erro Humano 1

Para elaborar o sistema de regras fuzzy (ver seção 2.3.6) do Erro Humano 1 que é resultado das influências das tarefas, Localizar a Saída e Seguir os Sinais considerou-se, baseado nos critérios dos especialistas, a premissa que a primeira atividade, Localizar a Saída tem mais influência no Erro Humano 1 do que a atividade de Seguir os Sinais, isto é quanto mais a atividade de Localizar a Saída for (ADEQUADA), ela colabora mais para o (NÃO) erro humano.

Por outro lado, quanto mais a atividade de Localizar a Saída for INADEQUADA, ela mais influencia para o SIM erro Humano 1. As inferências intermediárias estão na Tabela 38.

A avaliação das respostas do questionário respondido pelos voluntários após o ensaio (Apêndice C), resultou nas probabilidades marginais abaixo para os fatores situacional de projeto, Localizar saída e Seguir os sinais, conforme apresentado na Figura 55 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída Dianteira

$P(T1_1) = 0,61$ Tarefa Localizar a Saída “ADEQUADA”

$P(T1_2) = 0,39$ Tarefa Localizar a Saída “INADEQUADA”

$P(T2_1) = 0,48$ Tarefa Seguir os Sinais “ADEQUADO”

$P(T2_2) = 0,52$ Tarefa Seguir os Sinais “INADEQUADO”

Para obter a saída “Erro Humano 1”, o qual foi inferida pelos valores das probabilidades das variáveis linguísticas das entradas “Localizar a Saída” e “Seguir os Sinais”, adotaram-se as regras apresentadas na Tabela 38.

Tabela 38 - Regras Fuzzy – Localizar Saída $\cap$ Seguir Sinais = Erro Humano1

VARIÁVEIS FUZZY		SEGUIR SINAIS			
		A	MA	MB	I
LOCALIZAR SAÍDA	A	N	N	N	M
	MA	N	N	N	S
	MB	N	N	S	S
	I	M	S	S	S

As regras aplicadas ao Erro Humano 1 originaram-se do conhecimento do especialista, e posteriormente aplicou-se o sistema de regras da Tabela 38 ao método da lógica nebulosa (fuzzy) para obter, através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano 1 com os seus valores linguísticos (“SIM erro”, “MEDIO” e “NÃO erro”) e com as suas respectivas probabilidades.

A Tabela 39 abaixo apresenta as probabilidades marginais das atividades, Localizar as saídas e Seguir os sinais e as probabilidades condicionais do Erro Humano 1, representadas na Figura 55 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída Dianteira.

Tabela 39 - Probabilidades Condicionadas – Erro Humano1

LOCALIZAR SAÍDA - T1	SEGUIR SINAIS - T2	ERRO HUMANO1 - EH1	
$P(T1_i)$	$P(T2_i)$	$P(EH_j T1_i, T2_i)$ NÃO	$P(EH_j T1_i, T2_i)^c$ SIM
$P(T1_1) = 0,61$ ADEQ	$P(T2_1) = 0,52$ ADEQ	0,798	0,202
	$P(T2_2) = 0,48$ INADEQ	0,5	0,5
$P(T1_2) = 0,39$ INADEQ	$P(T2_1) = 0,52$ ADEQ	0,5	0,5
	$P(T2_2) = 0,48$ INADEQ	0,202	0,798

Conhecendo as probabilidades marginais das atividades, Localizar a Saída, Seguir os Sinais e as probabilidades condicionadas do Erro Humano1, aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6) é possível calcular as probabilidades marginais do Erro Humano1. Estas probabilidades estão apresentadas na Figura 55 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída Dianteira e definidas abaixo.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total

$$P(EH1_j) = \sum_{i=1}^2 P(T1_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(T2_i) \times P(EH1_j | T1_i, T2_i) \right] \quad 4-8$$

Assim,

$$P(EH1_1) = 0,61 \times [0,52 \times 0,798 + 0,48 \times 0,50] + 0,39 \times [0,52 \times 0,50 + 0,48 \times 0,202]$$

$$P(EH1_2) = 0,61 \times [0,52 \times 0,202 + 0,48 \times 0,50] + 0,39 \times [0,52 \times 0,50 + 0,48 \times 0,798]$$

Como resultado, as probabilidades marginais do Erro Humano 1 são:

$$P(EH1_1) = 0,53 \text{ Erro Humano 1 NAO}$$

$$P(EH1_2) = 0,47 \text{ Erro Humano 1 SIM}$$

Conforme representado na Figura 55, e considerando as probabilidades do Erro Humano1 e a da atividade de Escorregar é possível determinar as probabilidades do Erro Humano 2 que será avaliado na seção a seguir.

4.1.4.1.2 Probabilidades do Erro Humano 2 – Saída Dianteira

O nó do Erro Humano 2, destacado em roxo na rede bayesiana preliminar da Figura 49, é influenciado pelas probabilidades do Erro Humano 1 e da atividade de Escorregar.

Para obter as probabilidades condicionadas da TPC do Erro Humano 2 utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis linguística de entrada, Erro Humano 1 e a atividade Escorregar, resultando na variável Fuzzy de saída, Erro Humano 2.

Adotaram-se as funções de pertinência (ver seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para as valores linguística fuzzy “simERRO”, “médio”, “naoERRO” e “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo” conforme Figura 52, Figura 53 e Figura 54. Adotaram-se as valores linguísticas fuzzy “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo”, “simERRO”, “médio”, e “nãoERRO” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída.

Entrada: Erro Humano 1

Figura 52 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Erro Humano 1

Entrada: Escorregar

Figura 53 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Escorregar

Saída: Erro Humano 2

Figura 54 - Funções de Pert da Variável de Saída Fuzzy – Erro Humano 2

Para elaborar o sistema de regras fuzzy (seção 2.3.6) para o Erro Humano 2, resultado das influências do Erro Humano1 e da atividade Escorregar, considerou-se a premissa que o Erro Humano 2 só ocorre se o Erro Humano 1 ocorrer e se a atividade de Escorregar for inadequada, o Erro Humano 2 será médio, quando não houver a ocorrência do Erro Humano 1 e a atividade escorregar for inadequada.

O Erro Humano 2 também será médio, quando ocorrer o Erro Humano 1 e a atividade Escorregar for adequada, o Erro Humano 2 não ocorrerá se não ocorrer o

Erro Humano 1 e se a atividade de Escorregar for adequada. A Tabela 40 apresenta o sistema de regras completo.

O resultado das probabilidades dos nós, Erro Humano 1 e atividade Escorregar tiveram as probabilidades mencionadas abaixo conforme Figura 55.

$P(EH1_1) = 0,47$ Probabilidade de “SIM” o Erro Humano 1 ocorrer

$P(EH1_2) = 0,53$ Probabilidade de “Não” o Erro Humano 1 ocorrer

$P(T3_1) = 0,58$ Probabilidade de Escorregar ser “ADEQUADO”

$P(T3_2) = 0,42$ Probabilidade de Escorregar ser “INADEQUADO”

Para obter os valores das probabilidades da variável linguística fuzzy de saída “Erro Humano 2”, a qual foi inferida pelos valores das probabilidades das variáveis linguística fuzzy das entradas Erro Humano 1 e pela atividade de “Escorregar” adotaram-se as regras apresentadas na Tabela 40.

Tabela 40 - Regras Fuzzy- Erro Humano 1 $\cap$ Escorregar = Erro Humano 2

VARIÁVEIS FUZZY		ESCORREGAR			
		A	MA	MB	I
ERRO HUMANO 1	S	M	S	S	S
	M	M	S	S	S
	N	N	N	S	M

As regras aplicadas ao “Erro Humano 2” originou-se do conhecimento do especialista, e posteriormente aplicou-se o método da Lógica Nebulosa *Fuzzy* para obter através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano 2 com os seus valores linguísticos (“simERRO”, “MEDIO” e “naoERRO”) e com as suas respectivas probabilidades.

A Tabela 41 apresenta as probabilidades marginais do Erro Humano 1 e da atividade de “Escorregar” e as probabilidades condicionais do Erro Humano 2, dado que o Erro Humano 1 e a atividade Escorregar ocorram; estes nós com as suas probabilidades marginais, estão representadas na Figura 55 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída Dianteira.

A regra da Tabela 40 acima aplicada no método da Lógica Nebulosa “Fuzzy”, resultou nas probabilidades condicionais adequadas e inadequadas para o Erro Humano 2.

Tabela 41 - Probabilidades condicionadas – Erro Humano 2

ERRO HUMANO 1 - EH1	ESCORREGAR - T3	ERRO HUMANO 2 - EH2	
$P(EH1_i)$	$P(T3_i)$	$P(EH2_j EH1_i, T3_i)$	$P(EH2_j EH1_i, T3_i)^c$
		NÃO	SIM
$P(EH1_1) = 0,53$ NÃO	$P(T3_1) = 0,58$ ADEQ	0,798	0,202
	$P(T3_2) = 0,42$ INADEQ	0,5	0,5
$P(EH1_2) = 0,47$ SIM	$P(T3_1) = 0,58$ ADEQ	0,5	0,5
	$P(T3_2) = 0,42$ INADEQ	0,202	0,798

Conhecendo as probabilidades marginais do Erro Humano 1 e a atividade Escorregar e as probabilidades condicionadas do Erro Humano 2 e aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6) é possível calcular as probabilidades marginais do Erro Humano 2, apresentadas na Figura 55 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída Dianteira.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(EH2_j) = \sum_{i=1}^2 P(EH1_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(T3_i) \times P(EH2_j|EH1_i, T3_i) \right] \quad 4-9$$

Assim,

$$P(EH2_1) = 0,53 \times [0,58 \times 0,798 + 0,42 \times 0,50] + 0,47 \times [0,58 \times 0,50 + 0,42 \times 0,202]$$

$$P(EH2_2) = 0,53 \times [0,58 \times 0,202 + 0,42 \times 0,50] + 0,47 \times [0,58 \times 0,50 + 0,42 \times 0,798]$$

Como resultado, as probabilidades marginais do Erro Humano 2 são:

$$P(EH2_1) = 0,53 \text{ Erro Humano 2 NAO}$$

$$P(EH2_2) = 0,47 \text{ Erro Humano 2 SIM}$$

Com as probabilidades marginais destacados em verde da rede bayesiana preliminar da Figura 49, apresentadas nesta seção como exemplos, e com todas as TPC do Apêndice G, dos nós destacados em azul também da Figura 49, é possível obter as redes bayesianas da Evacuação pelas Saídas Dianteira e Traseiras apresentadas nas Figura 55 e Figura 56 .

Figura 55 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída Dianteira

Figura 56 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída Traseira

4.1.4.2 Evacuação pela Saída em cima da Asa

O procedimento de evacuação pela saída em cima da asa difere dos procedimentos saída pela dianteira e traseira pelas atividades de localizar sinais em cima da asa e localizar a escorregadeira.

A Tabela 42 apresenta as atividades 3.3 ,3.4, 5.1 e 7.1, e as influências dos fatores do desempenho humano na execução de cada atividade.

Tabela 42 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho

ATIVIDADE	PSF HAB	PSF IND/SIT/AMB	PSF ORG
3.3 Localizar sinais de saída dentro da aeronave	Atenção - II	IND – Conhecimento - ϕ AMB – Barulho - Ba	Demonstração - C
	Percepção (dentro) - V	IND – Conhecimento - ϕ SIT – Sinal do Homenzinho Correndo - eh SIT – Sinal no Piso - ep	Demonstração - C
	Interpretação - I	IND – Conhecimento - ϕ SIT – Cartão de Segurança - g SIT – Criticalidade - i	Demonstração - C
3.4 Seguir os sinais dentro da aeronave	Liderança - VIII	IND – Nervosismo - ϵ IND – Comportamento Social - β IND – Preocupação Tempo - μ	Emergência - F Não aplicável Não aplicável
	Tomada de Decisão - VII	IND – Conhecimento - ϕ IND – Nervosismo - ϵ IND – Preocupação Tempo - μ	Demonstração - C Emergência - F Não aplicável
		IND – Conhecimento - ϕ SIT – Cartão de Segurança - g SIT – Criticalidade - i	Demonstração - C
5.1 Localizar os sinais em cima da asa	Interpretação - I	SIT - Marcas - d SIT – Ilum na Escorregadeira - q	
	Percepção (fora) - V		
7.1 Escorregar	Habilidade Física - IV	IND – Condição Física - α SIT – Escorregadeira - h	Não Aplicável
	Tomada de Decisão - VII	IND – Conhecimento - ϕ IND – Nervosismo - ϵ IND – Preocupação Tempo - μ	Emergência - F Não aplicável

A Tabela 35 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho difere da Tabela 42 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho na atividade 5.1.

Constataram-se que a iluminação na escorregadeira contribuiu para os voluntários perceberem a direção certa para evacuar da aeronave, logo supriu-se as atividades 5.2 e 6.1 na atividade 7.1. Todas estas atividades estão apresentadas na Tabela 11 - Tarefas do Procedimento de Evacuação da Aeronave.

Uma vez definido as tabelas Influência do Desempenho – é possível elaborar a rede bayesiana preliminar e as relações de dependências de cada nó pai (raiz) com os seus nós filhos e consequentemente as propagações das influências dos fatores do desempenho por cada nó.

A rede bayesiana preliminar da Figura 57 tem o objetivo de representar as influências entre os fatores de desempenho das tarefas de evacuar da aeronave pela saída em cima da asa.

Figura 57 - Rede Bayesianas Preliminar – Evacuação pela saída em cima da asa

Os nós destacados em laranja na Figura 57, seguem os são os exemplos da seção 4.1.2 para obter as probabilidades condicionais destes nós, através do questionário (Apêndice C) e da lógica fuzzy – Método Mandini (ver seção 2.3.6). Estas probabilidades condicionais e as outras probabilidades condicionais dos nós em azul, estão no Apêndice G, com exceções dos nós Erro humano 1, 2 e 3, os quais estão no final desta seção. Todas estas probabilidades condicionais farão parte das TPC, do nós filhos da rede bayesiana, Evacuação pela saída em cima da asa.

Aplicou-se as mesmas considerações da seção 4.1.2 para elaboração do questionário (Apêndice C), e na construção da rede bayesiana preliminar da Figura 57.

A Tabela 43 apresenta as probabilidades dos nós pais (raízes) obtidas pelas respostas do questionário do Apêndice C.

Tabela 43 - Probabilidades Nós Pais

PSFs	NÓS PAIS	ESTADOS	PROB
ORG	Ci (Demonstração)	Adequado	$P(C_1)=0,94$
		Inadequado	$P(C_2)=0,06$
	Fi (Emergência)	Sim	$P(F_1)=1$
		Não	$P(F_2)=0$
IND	μ_i (Preocupação Tempo)	Sim	$P(\mu_1)=0,84$
		Não	$P(\mu_2)=0,16$
	α_i (Cond Física)	Adequado	$P(\alpha_1)=0,90$
		Inadequado	$P(\alpha_2)=0,10$
	β_i – (Comportamento Social)	Sim	$P(\beta_1)=0,32$
		Não	$P(\beta_2)=0,68$
SIT	epi (Sinais Piso)	Adequado	$P(ep_1)=0,34$
	Ehi(Homenzinho correndo)	Adequado	$P(eh_2)=0,34$
	Ei (Piso e Homenzinho)	Inadequado	$P(e_3)=0,32$
	gi (Cartão de Segurança)	Adequado	$P(g_1)=0,93$
		Inadequado	$P(g_2)=0,07$
	ici (Criticalidade do cartão)	Fácil	$P(ic_1)=0,90$
		Difícil	$P(ic_2)=0,10$
	Hi (Escorregadeira)	Estável	$P(h_1)=1,00$
		Instável	$P(h_2)=0,00$
	AMB Bai (Barulho)	Não atrap	$P(Ba_1)=0,90$
		Sim atrap	$P(Ba_2)=0,10$

Com as influências identificadas na Tabela 42 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho, e com as probabilidades dos nós pais da Tabela 43 é possível calcular as probabilidades dos primeiros nós filhos da Figura 66 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída em cima da Asa , porém se faz necessário ter as probabilidades condicionadas das TPC para obter a rede bayesiana com o objetivo de ter as probabilidades marginais de cada nó na rede.

Para obter as probabilidades marginais de cada nó da rede bayesiana aplicou-se o mesmo procedimento da seção 4.1.2 Abertura da Portas de Emergência.

A rede bayesiana preliminar Figura 57, apresenta os nós dos fatores de desempenho habilidades com mais de uma dependência do nós dos fatores individuais, ambientais e situacionais.

Conforme explicado anteriormente para obter as probabilidades condicionais dos nós filhos com mais de uma dependência, utilizou-se a lógica nebulosa (fuzzy) – Método Mandini.

A Tabela 44 apresenta as influências dos nós pais dos fatores dos desempenhos individuais, ambientais e situacionais em cada nó filho dos fatores de desempenho habilidades.

Tabela 44 - Habilidades e Fatores de Desempenho Individuais e Situacionais

PSF HABILIDADES	PSF INDIVIDUAIS, SITUACIONAIS E AMBIENTAIS
Atenção (II)	Barulho (Ba) Conhecimento (φ)
Percepção dentro (VI)	Sinais (e), Conhecimento (φ)
Percepção fora (VI)	Marcas (d), Iluminação (q)
Interpretação (I)	Cartão (g), Criticalidade (i), Conhecimento (φ)
Liderança (VIII)	Comportamento Seguir (β), Nervosismo (ε), Preocupação C/Tempo (μ)
Habilidade Física (IV)	Escurecimento (Es), Escorregadia (h), Condições Físicas (α)
Tomada de Decisão (VII)	Nervosismo (ε), Preocupação c/Tempo (μ), Conhecimento (φ)

Aplicou-se o mesmo procedimento da seção 4.1.2, para obter as probabilidades condicionais (nó com mais de uma influência) das habilidades da Tabela 44 acima, cujas funções de pertinência e conjuntos de regras da lógica fuzzy estão no Apêndice G. Considerando o conhecimento do especialista para avaliar as combinações dos efeitos das influências dos nós pais nos nós filhos é possível chegar até a probabilidade marginal do “Erro Humano 1”, que é o primeiro erro humano resultados das influências das atividades, Localizar saída e Seguir sinais.

4.1.4.2.1 Probabilidades do Erro Humano 1

O nó do Erro Humano 1 destacado em laranja na rede bayesiana preliminar da Figura 57, é a conjunção dos nós das atividades, Localizar a Saída e Seguir Sinais.

Para obter as probabilidades condicionadas do Erro Humano 1 utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis linguística fuzzy de entrada, Localizar a Saída e Seguir os Sinais resultando na variável linguística Fuzzy de saída, Erro Humano 1.

Adotaram-se as funções de pertinência (ver seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para as valores linguística fuzzy “sim erro”, “médio”, “nao erro” e “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo”, conforme Figura 58 e Figura 59

Entrada: Localizar a Saída e Seguir os Sinais.

Figura 58 - Funções Pert Variável Entrada – Localizar Saída/Seguir Sinais.

Saída: Erro Humano 1

Figura 59 - Funções de Pert da Variável de Saída – Erro Humano 1

Para elaborar o sistema de regras fuzzy (ver seção 2.3.6) do Erro Humano 1, que é resultado das influências das atividades, Localizar a Saída e Seguir os Sinais, baseado nos critérios dos especialistas, considerou-se a premissa de que a primeira atividade, Localizar a Saída tem mais influência no Erro Humano 1 do que a atividade de Seguir os Sinais, isto é, quanto mais a atividade de Localizar a Saída for (ADEQUADA), ela colabora mais para o (NÃO) erro humano.

Por outro lado, quanto mais a atividade de Localizar a Saída for INADEQUADA, ela mais influencia para o SIM erro Humano 1. As inferências intermediárias estão na Tabela 45.

A avaliação das respostas do questionário respondido pelos voluntários após o ensaio (Apêndice C), resultou nas probabilidades marginais abaixo para as atividades, Localizar saída e Seguir os sinais, conforme apresentado na Figura 66.

$P(T1_1) = 0,62$ Tarefa Localizar a Saída “ADEQUADA”

$P(T1_2) = 0,38$ Tarefa Localizar a Saída “INADEQUADA”

$P(T2_1) = 0,48$ Tarefa Seguir os Sinais “ADEQUADO”

$P(T2_2) = 0,52$ Tarefa Seguir os Sinais “INADEQUADO”

Para obter a saída “Erro Humano 1”, o qual ocorreu devido as influências das tarefas “Localizar a Saída” e “Seguir os Sinais”, adotaram-se as regras apresentadas na Tabela 45.

Tabela 45 - Regras Fuzzy – Localizar Saída $\cap$ Seguir Sinais = Erro Humano1

VARIÁVEIS FUZZY		SEGUIR SINAIS			
		A	MA	MB	I
LOCALIZAR SAÍDA	A	N	N	N	S
	MA	N	N	N	S
	MB	N	N	S	S
	I	S	S	S	S

As regras aplicadas ao “Erro Humano 1” originaram-se do conhecimento do especialista, e posteriormente aplicou-se o sistema de regras da Tabela 45 ao método da lógica nebulosa fuzzy para obter, através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano 1 com os seus valores linguísticos (“SIM erro”, “MEDIO” e “NÃO erro”) e com as suas respectivas probabilidades.

A Tabela 46 apresenta as probabilidades marginais das atividades, Localizar Saídas e Seguir Sinais e as probabilidades condicionais do Erro Humano 1, representadas na Figura 66.

Tabela 46 - Probabilidades Condicionadas – Erro Humano1

LOCALIZAR SAÍDA - T1	SEGUIR SINAIS - T2	ERRO HUMANO1 - EH1	
P(T1 _i)	P(T2 _i)	P(EH ₁ T1 _i ,T2 _i) NÃO	P(EH ₁ T1 _i ,T2 _i) ^c SIM
P(T1 ₁) = 0,62 ADEQ	P(T2 ₁) = 0,48 ADEQ	0,808	0,192
	P(T2 ₂) = 0,52 INADEQ	0,5	0,5
P(T1 ₂) = 0,38 INADEQ	P(T2 ₁) = 0,48 ADEQ	0,5	0,5
	P(T2 ₂) = 0,52 INADEQ	0,192	0,808

Conhecendo as probabilidades marginais das atividades, Localizar a Saída e Seguir os Sinais e as probabilidades condicionadas do Erro Humano1, aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6) é possível calcular as probabilidades marginais do Erro Humano1. Estas probabilidades estão apresentadas na Figura 66 e definidas abaixo.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(EH1_j) = \sum_{i=1}^2 P(T1_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(T2_i) \times P(EH1_j|T1_i, T2_i) \right] \quad 4-10$$

Assim,

$$P(EH1_1) = 0,62 \times [0,52 \times 0,5 + 0,48 \times 0,808] + 0,38 \times [0,52 \times 0,192 + 0,48 \times 0,50]$$

$$P(EH1_2) = 0,62 \times [0,52 \times 0,5 + 0,48 \times 0,192] + 0,38 \times [0,52 \times 0,808 + 0,48 \times 0,192]$$

Resultando nas probabilidades marginais do Erro Humano 1

$$P(EH1_1) = 0,53 \text{ Erro Humano 1 NÃO}$$

$$P(EH1_2) = 0,47 \text{ Erro Humano 1 SIM}$$

Conforme representado na Figura 66 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída em cima da Asa e considerando as probabilidades do Erro Humano 1 e a atividade de Localizar a Saída na Asa, é possível determinar as probabilidades do Erro Humano 2, que será avaliado na seção a seguir.

4.1.4.2.2 Probabilidades do Erro Humano 2 – Saída em cima da Asa

O nó do Erro Humano 2 destacado em laranja na rede bayesiana preliminar da Figura 57, é a conjunção do nó do Erro Humano 1 e do nó da atividade de Localizar a Saída na Asa.

Para obter as probabilidades condicionadas do Erro Humano 2, utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis linguísticas fuzzy de entrada, Erro Humano 1 e a atividade Localizar a Saída na Asa, resultando na variável linguística Fuzzy de saída, Erro Humano 2.

Adotaram-se a função de pertinência (ver seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para os valores linguísticos Fuzzy “simERRO” “médio” e “nãoERRO”, “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo”, conforme Figura 60, Figura 61 e Figura 62.

Entrada: Erro Humano 1

Figura 60 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Erro Humano 1

Entrada: Localizar a Saída Asa

Figura 61 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Localizar a saída fora

Saída: Erro Humano 2

Figura 62 - Funções de Pert da Variável de Saída – Erro Humano 2

Para elaborar o sistema de regras fuzzy (ver seção 2.3.6) do Erro Humano 2, resultado das influências do Erro Humano1 e da atividade Localizar a saída na asa, baseado nos critérios dos especialistas, considerou-se a premissa de que o Erro Humano 2 só ocorre se o Erro Humano 1 ocorrer e se a atividade de Localizar a saída na asa for inadequada, o Erro Humano 2 será médio, quando não houver a ocorrência do Erro Humano 1 e a atividade Localizar sinais na asa for inadequada.

O Erro Humano 2 também será médio, quando ocorrer o Erro Humano 1 e a atividade Escorregar for adequada, o Erro Humano 2 não ocorrerá se não ocorrer o Erro Humano 1 e se a atividade de Escorregar for adequada. A Tabela 47 apresenta o sistema de regras completo.

O resultado das probabilidades dos nós, Erro Humano 1 e Localizar a saída na asa, tiveram as probabilidades mencionadas abaixo, conforme a Figura 66.

$P(EH1_1) = 0,53$ Probabilidade de “NAO” ocorrer o Erro Humano 1

$P(EH1_2) = 0,47$ Probabilidade de “SIM” ocorrer o Erro Humano 1

$P(T3_1) = 0,64$ Probabilidade de Localizar Saída fora ser “ADEQUADO”

$P(T3_2) = 0,36$ Probabilidade de Localizar Saída fora ser “INADEQUADO”

Para obter os valores das probabilidades da variável linguística fuzzy de saída “Erro Humano 2”, a qual foi inferida pelos valores das probabilidades das variáveis linguística Fuzzy das entradas Erro Humano 1 e pela atividade de “Localizar Saída Asa” adotaram-se as regras apresentada na Figura 55.

Tabela 47 - Regras Fuzzy Erro Humano 1 $\cap$ Loc Saída fora = Erro Humano 2

VARIÁVEIS FUZZY		LOCALIZAR SAÍDA FORA			
		A	MA	MB	I
ERRO HUMANO 1	S	M	S	S	S
	M	M	S	S	S
	N	N	N	S	M

As regras aplicadas ao “Erro Humano 2” originaram-se do conhecimento do especialista, e posteriormente aplicou-se o método da Lógica Nebulosa *Fuzzy* para obter através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano 2 com os seus valores linguísticos (“SIMerro”, “MEDIO” e “NÃOerro”) e com as suas respectivas probabilidades.

A Tabela 48 apresenta as probabilidades marginais do Erro Humano 1 e da tarefa “Localizar Saída Asa” e as probabilidades condicionais do Erro Humano 2, dado que o Erro Humano 1 e a atividade Localizar Saída na Asa ocorram, estes nós com as suas probabilidades marginais estão representadas na Figura 66.

A regra da Tabela 47 acima aplicada no método da lógica nebulosa (fuzzy), resultou nas probabilidades condicionais adequadas e inadequadas para o Erro Humano 2.

Tabela 48 - Probabilidades Condicionadas – Erro Humano 2

ERRO HUMANO 1 - EH1	LOCALIZAR SAÍDA fora - T3	ERRO HUMANO 2 - EH2	
P(EH1 _i)	P(T3 _i)	P(EH2 _j EH1 _i ,T3 _i) NÃO	P(EH2 _j EH1 _i ,T3 _i) ^c SIM
P(EH1 ₁) = 0,53 NÃO	P(T3 ₁) = 0,64 ADEQ	0,808	0,192
	P(T3 ₂) = 0,36 INADEQ	0,5	0,5
P(EH1 ₂) = 0,47 SIM	P(T3 ₁) = 0,64 ADEQ	0,5	0,5
	P(T3 ₂) = 0,36 INADEQ	0,192	0,808

Conhecendo as probabilidades marginais do “Erro Humano 1” e a atividade “Localizar a saída asa” e as probabilidades condicionadas do Erro Humano 2 e aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6) é possível calcular as probabilidades marginais do Erro Humano 2, apresentadas na Figura 66.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(EH2_j) = \sum_{i=1}^2 P(EH1_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(T3_i) \times P(EH2_j | EH1_i, T3_i) \right] \quad 4-11$$

Assim,

$$P(EH2_1) = 0,53 \times [0,64 \times 0,808 + 0,36 \times 0,50] + 0,47 \times [0,64 \times 0,50 + 0,36 \times 0,192]$$

$$P(EH2_2) = 0,53 \times [0,64 \times 0,102 + 0,36 \times 0,50] + 0,47 \times [0,64 \times 0,50 + 0,36 \times 0,808]$$

Resultando nas probabilidades marginais do Erro Humano 2

$$P(EH2_1) = 0,55 \text{ Erro Humano 2 NÃO}$$

$$P(EH2_2) = 0,45 \text{ Erro Humano 2 SIM}$$

4.1.4.2.3 Probabilidades do Erro Humano 3 – Saída em cima da Asa

O nó do Erro Humano 3 destacada em laranja na rede bayesiana preliminar da Figura 57, é a conjunção do nó do Erro Humano 2 e do nó da atividade de Escorregar.

Para obter as probabilidades condicionadas da TPC do Erro Humano 3 utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis linguística fuzzy de entrada, Erro Humano 2 e a atividade Escorregar, resultando na variável fuzzy de saída, Erro Humano 3.

Adotaram-se as funções de pertinência (ver seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para as valores linguística Fuzzy “simERRO”, “médio”, “naoERRO” e “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo”, conforme as Figura 63, Figura 64 e Figura 65.

Entrada: Erro Humano 2

Figura 63 - Funções de Pert da Variável de Entrada – Erro Humano 2

Entrada: Escorregar

Figura 64 - Funções Pert Variável de Entrada – Escorregar

Saída: Erro Humano 3

Figura 65 - Funções Pert Variável de Saída – Erro Humano 3

Adotaram-se as valores linguísticas fuzzy “adequado”, “médio alto”, “inadequado” e “médio baixo”, “simERRO”, “médio”, e “nãoERRO” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída.

Para elaborar o sistema de regras fuzzy do Erro Humano 3, resultado das influências do Erro Humano 2 e da atividade Escorregar, considerou-se a premissa de que o Erro Humano 3 só ocorre se o Erro Humano 2 ocorrer e se a atividade de Escorregar for inadequada, o Erro Humano 3 será médio, quando não houver a ocorrência do Erro Humano 2 e a atividade Escorregar for inadequada.

O Erro Humano 3 também será médio, quando ocorrer o Erro Humano 2 e a atividade Escorregar for adequada, o Erro Humano 3 não ocorrerá se não ocorrer o Erro Humano 2 e se a atividade de Escorregar for adequada. A Tabela 49 apresenta os sistema de regras completo

O resultado das probabilidades dos nós, Erro Humano 3 e Escorregar tiveram as probabilidades mencionadas abaixo, conforme na Figura 66 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída em cima da Asa.

$P(EH2_1) = 0,55$ Probabilidade de “NAO” ocorrer o Erro Humano 2

$P(EH2_2) = 0,45$ Probabilidade de “SIM” ocorrer o Erro Humano 2

$P(T4_1) = 0,57$ Probabilidade de Escorregar “ADEQUADO”

$P(T4_2) = 0,43$ Probabilidade de Escorregar “INADEQUADO”

Para obter os valores das probabilidades da variável linguística Fuzzy de saída Erro Humano 3, a qual é influenciado pelo Erro Humano 2 e pela atividade de “Escorregar” adotou-se as regras abaixo:

Tabela 49 - Regras Fuzzy Erro Humano 2 $\cap$ Escorregar = Erro Humano 3

VARIÁVEIS FUZZY		ESCORREGAR			
		A	MA	MB	I
ERRO HUMANO 2	S	M	S	S	S
	M	M	S	S	S
	N	N	N	S	M

As regras aplicadas ao “Erro Humano 3” originaram-se do conhecimento do especialista, e posteriormente aplicou-se o método da Lógica Nebulosa Fuzzy para obter, através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano 3 com os seus valores linguísticos “SIM erro” “MEDIO” e “NÃO erro” e com as suas respectivas probabilidades.

A Tabela 49 apresenta as probabilidades marginais do Erro Humano 2 e da atividade “Escorregar” e as probabilidades condicionais do Erro Humano 3, dado que o Erro Humano 2 e a atividade Escorregar ocorram, estes nós com as suas probabilidades marginais estão representadas na Figura 66.

O sistema de regras da Tabela 49 aplicada ao método da lógica nebulosa (fuzzy), resultou nas probabilidades condicionais adequadas e inadequadas para o Erro Humano 3.

Tabela 50 - Probabilidades condicionadas – Erro Humano 3

ERRO HUMANO 2 - EH2	ESCORREGAR - T4	ERRO HUMANO 3 - EH3	
		P(EH3 _j EH2 _i ,T4 _i) NÃO	P(EH3 _j EH2 _i ,T4 _i) ^c SIM
P(EH2 ₁) = 0,55 NÃO	P(T4 ₁) = 0,57 ADEQ P(T4 ₂) = 0,43 INADEQ	0,808 0,5	0,192 0,5
P(EH2 ₂) = 0,45 SIM	P(T4 ₁) = 0,57 ADEQ P(T4 ₂) = 0,47 INADEQ	0,5 0,192	0,5 0,808

Conhecendo as probabilidades marginais do Erro Humano 2 e a atividade Escorregar e as probabilidades condicionadas do Erro Humano 3 e aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6) é possível calcular as probabilidades marginais do Erro Humano 3, apresentadas na Figura 66.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total

$$P(EH3_j) = \sum_{i=1}^2 P(EH2_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(T4_i) \times P(EH3_j|EH2_i, T4_i) \right] \quad 4-12$$

Assim,

$$P(EH3_1) = 0,55 \times [0,57 \times 0,808 + 0,43 \times 0,50] + 0,43 \times [0,57 \times 0,50 + 0,43 \times 0,192]$$

$$P(EH3_2) = 0,55 \times [0,57 \times 0,192 + 0,43 \times 0,50] + 0,43 \times [0,57 \times 0,50 + 0,43 \times 0,808]$$

Resultando nas probabilidades marginais do Erro Humano 3:

$$P(EH3_1) = 0,54 \text{ Erro Humano 3 NÃO}$$

$$P(EH3_2) = 0,46 \text{ Erro Humano 3 SIM}$$

Com as probabilidades marginais destacadas em laranja na rede bayesiana preliminar da Figura 57, apresentadas como exemplos, e com todas as TPC do Apêndice H, dos nós destacados em azul também da Figura 57 é possível obter as

redes Bayesianas da Evacuação pela Saída em cima da Asa, conforme apresentada na Figura 66 abaixo.

Figura 66 - Rede Bayesiana – Evacuação pela Saída em cima da Asa

A avaliação do Erro Humano de cada tarefa, do procedimento de evacuação de emergência de uma aeronave, descrita na seção 4.1.2, Abertura da Porta de Emergência, na seção 4.1.3, Abertura da Porta Principal, e na seção 4.1.4, Evacuação pela Saída Dianteira, Traseira e em cima da Asa, permite identificar qual tarefa apresenta a maior chance de Erro Humano e qual fator situacional de projeto daquela tarefa mais contribuiu para o Erro Humano no procedimento completo de evacuação de emergência de uma aeronave.

A seção seguinte reúne todas estas tarefas para identificar quais delas mais contribuíram para o Erro Humano em um procedimento completo de evacuação de emergência.

4.1.5 Procedimento de Evacuação de Emergência Completa

O procedimento de Evacuação de emergência completa reúne as operações das tarefas: Aberturas das portas principal e de emergência, das atividades: Localizar e seguir os sinais internos, Localizar e seguir os sinais em cima asa e usar as escorregadeiras; estas atividades são partes das tarefas, Evacuação pela Saída Dianteira, Traseira e em cima da Asa.

De acordo com os regulamentos aeronáuticos mencionadas na seção 4.1, as portas do lado direito na direção de voo da aeronave foram bloqueadas sem o conhecimento dos voluntários do ensaio, com o objetivo de simular um cenário de situação de emergência.

Desta forma, para analisar os erros humanos da Evacuação de Emergência Completa, considerou-se que os erros humanos ocorreram nas Aberturas das portas principal dianteira e traseira, a de emergência do lado direito e esquerdo da aeronave, atividades de localizar e seguir sinais internos e em cima da asa, e usar as escorregadeiras e por fim não considerou nenhuma falha no mecanismo de abertura das portas.

A sequência da evacuação de emergência completa considera as probabilidades dos erros humanos nas tarefas e atividades abaixo:

- Tarefa de abrir as portas principais da dianteira esquerda e direita;
- Tarefa de abrir as portas principais da traseira esquerda e direita;
- Tarefa de abrir as portas de emergência em cima da asa esquerda e direita;
- Atividade de localizar e seguir os sinais internos;
- Atividade de localizar e seguir os sinais em cima da asa;
- Atividade de usar as escorregadeiras.

As Tabela 51 e Tabela 52 apresentam as probabilidades dos erros humanos de cada tarefa e de cada atividade descrita acima.

Tabela 51 – Probabilidades dos Erros Humanos das Tarefas

TAREFA	PROB DO ERRO HUMANO - P(EH) LADO ESQUERDO DA DIREÇÃO DE VOO	PROB DO ERRO HUMANO - P(EH) LADO DIREITO DA DIREÇÃO DE VOO
ABRIR AS PORTAS PRINCIPAIS DIANTEIRA	P(EH ₂₁) NÃO = 0.52	P(EHe ₁) NÃO = 0
	P(EH ₂₂) SIM = 0.48	P(EHe ₂) SIM = 1
ABRIR AS PORTAS PRINCIPAIS TRASEIRA	P(EH ₂₁) NÃO = 0.52	P(EHe ₁) NÃO = 0
	P(EH ₂₂) SIM = 0.48	P(EHe ₂) SIM = 1
ABRIR AS PORTAS DE EMERGÊNCIA EM CIMA DA ASA	P(EH ₂₁) NÃO = 0.52	P(EHa ₁) NÃO = 0
	P(EH ₂₂) SIM = 0.48	P(EHa ₂) SIM = 1

Tabela 52 - Probabilidades dos Erros Humanos das Principais Atividades

ATIVIDADE	PROB DO ERRO HUMANO - P(EH)
LOCALIZAR E SEGUIR OS SINAIS INTERNOS NA DIANTEIRA	$P(EH_{11}) \text{ NÃO} = 0,53$ $P(EH_{12}) \text{ SIM} = 0,47$
LOCALIZAR E SEGUIR OS SINAIS INTERNOS NA ASA	$P(EH_{11}) \text{ NÃO} = 0,53$ $P(EH_{12}) \text{ SIM} = 0,47$
LOCALIZAR E SEGUIR OS SINAIS INTERNOS NA TRASEIRA	$P(EH_{11}) \text{ NÃO} = 0,53$ $P(EH_{12}) \text{ SIM} = 0,47$
SEGUIR SINAIS NA ASA	$P(T_{31}) \text{ ADEQ} = 0,64$ $P(T_{32}) \text{ INADEQ} = 0,36$
ESCORREGAR DA ASA	$P(T_{41}) \text{ ADEQ} = 0,57$ $P(T_{42}) \text{ INADEQ} = 0,43$
ESCORREGAR DA DIANTEIRA	$P(T_{31}) \text{ ADEQ} = 0,54$ $P(T_{32}) \text{ INADEQ} = 0,46$
ESCORREGAR DA TRASEIRA	$P(T_{31}) \text{ ADEQ} = 0,59$ $P(T_{32}) \text{ INADEQ} = 0,41$

Com a definição das tarefas e atividades do procedimento de evacuação de emergência completa é possível elaborar a rede Bayesiana Preliminar e as relações de dependências de cada nó pai com os seus nós filhos e, conseqüentemente as propagações dos erros humanos.

A rede bayesiana preliminar da evacuação completa da Figura 67 abaixo representa as propagações dos erros humanos em Localizar e seguir os sinais internos, Abrir as portas principais dianteira e traseira, Abrir as portas de emergência em cima da asa, Localizar e seguir os sinais em cima da asa e Escorregar usando as escorregadeiras.

Figura 67 – Rede Bayesiana Preliminar - Evacuação de Emergência Completa

A Tabela 53 apresenta os significados das siglas de cada nó da rede bayesiana preliminar da Figura 67.

Tabela 53 – Significado dos nomes dos Nós da Rede Bayesiana Preliminar

NOME DO NÓ	SIGNIFICADO	NOME DO NÓ	SIGNIFICADO	NOME DO NÓ	SIGNIFICADO
DIANTEIRA		ASA		TRASEIRA	
APdE	Abertura da porta dianteira esquerda	APaE	Abertura da porta da asa esquerda	APtE	Abertura da porta traseira esquerda
APdD	Abertura da porta dianteira direita	APaD	Abertura da porta da asa direita	APtD	Abertura da porta traseira direita
Apd	Abertura da porta dianteira	Apa	Abertura da porta asa	Apt	Abertura da porta traseira
Evdianteira	Evacuação dianteira	Evdianteira	Evacuação pela asa	Evtraseira	Evacuação dianteira
ESCORREGARDiant	Escorregar pela saída dianteira	ESCORREGARasa	Escorregar pela saída da asa	ESCORREGARtras	Escorregar pela saída traseira
EVcompDIANTEIRA	Evacuação completa dianteira	EVcompASA	Evacuação completa pela asa	EVcompTRASEIRA	Evacuação completa traseira
LOCsegSinaisint	Localizar e seguir sinais internos				

Depois da análise preliminar da rede bayesiana, os nós: Aberturas de portas dianteira, traseira e Aberturas de portas de emergência e em cima da asa, Localizar e seguir os sinais internos e Localizar sinais em cima da asa e usar as escorregadeiras, receberam as suas respectivas probabilidades marginais dos erros humanos conforme a Tabela 51 e Tabela 52 .

Nas seções 4.1.5.1, 4.1.5.2 e 4.1.5.3, será apresentado como foram obtidos as probabilidades condicionais das TPC dos nós filhos destacados em rosa (Evacuação pela Saída Dianteira) na Figura 67.

As TPC dos outros nós (Evacuação em cima da Asa e Traseira) da rede bayesiana da Figura 74, estão no Apêndice H.

4.1.5.1 Probabilidades de Erro Humano das Aberturas das Portas Dianteiras

O nó do Erro Humano das Aberturas das Portas Dianteiras destacada em rosa na rede bayesiana preliminar da Figura 67, é a conjunção do nós dos Erro Humano da Abertura da Porta Dianteira esquerda e direita.

Para obter as probabilidades condicionadas da TPC do nó filho do Erro Humano da Abertura das Portas Principal Dianteiras (portas principais dianteiras esquerda e direita) utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis fuzzy de entrada, Erro Humano na Abertura da porta principal dianteira esquerda e direita, resultando na variável Fuzzy de saída, Erro Humano na Abertura da porta principal dianteira.

Adotaram-se a função de pertinência (seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para os valores linguísticos Fuzzy “EHsim”, “EHmedio” e “EHnao”, conforme as Figura 68 e Figura 69.

Entradas: Erro Humano na Abertura da Porta Principal Dianteira esquerda e direita

Figura 68 - Funções Pert Variável de Entradas – Porta Principal Diant Dir e Esq

Saída: Erro Humano na Abertura da Porta Principal Dianteira

Figura 69 - Funções Pert Variável de Saída – Porta Principal Dianteira

Adotaram-se os três valores linguísticos fuzzy “ERROsim”, “EHmedio”, “ERROnao” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída.

Para elaborar o sistema de regras fuzzy (seção 2.3.6.4) para o Erro Humano na Abertura da Porta Principal Dianteira, resultado das influências dos Erros Humanos na Abertura das Portas Dianteira Principal esquerda e direita, considerou-se a premissa de que o Erro Humano na Abertura da Porta Principal direita é predominante em relação ao Erro Humano na Abertura da Porta Principal esquerda, e se ocorrer o Erro Humano na Abertura da Porta Dianteira Principal direita e não ocorrer o Erro Humano na Abertura da Porta Principal esquerda, o Erro Humano na Abertura da Porta Principal será médio.

Seguem abaixo os resultados das probabilidades marginais dos Erros Humanos na tarefa de Abertura de Porta Principal Dianteira Esquerda conforme apresentado na rede bayesiana da Figura 47 (ver seção 4.1.3 Abertura da Porta Principal) e a premissa que o Erro Humano ocorreu na Abertura da Porta Principal Dianteira direita.

- Probabilidades marginais do Erro Humano na Abertura da Porta Principal Dianteira esquerda, $P(EH2_1) = 0,52$ de NÃO ocorrer e a $P(EH2_2) = 0,48$ de SIM ocorrer
- Probabilidades marginais do Erro Humano na Abertura da Porta Principal Dianteira direita, $P(EHe_1) = 0$ de NÃO ocorrer e a $P(EHe_2) = 1$ de SIM ocorrer.

Para obter a saída do “Erro Humano na Abertura da Porta Principal Dianteira”, a qual é inferida pelos valores das probabilidades das variáveis linguística das entradas Erros Humanos na Abertura da Porta Principal Dianteira Esquerda e na Abertura da Porta Principal Dianteira Direita, adotaram-se as regras da Tabela 54.

Tabela 54 – EH porta diant dir $\cap$ EH porta diant esq = EH porta diant

VARIÁVEIS FUZZY		EH ABERTURA DA PORTA ESQUERDA		
		EHnão	EHmédio	EHsim
EH ABERTURA DA PORTA DIREITA	EHsim	EHMédio	EHsim	EHsim
	EHmédio	EHnão	EHmédio	EHsim
	EHnao	EHnão	EHnão	EHmédio

As regras aplicadas ao Erro Humano da tarefa da “Abertura da Porta Principal Dianteira”, originaram-se do conhecimento do especialista, e posteriormente aplicou-se o sistema de regras da Tabela 54 ao método da lógica nebulosa fuzzy para obter, através do sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano na Abertura da Porta Dianteira, com os seus valores linguísticos “ERROsim”, “Ehmedio” e “ERRONao” e com as suas respectivas probabilidades.

A Tabela 55 apresenta as probabilidades marginais dos Erros Humanos das tarefas de Abertura das Portas Principal Dianteira direita e esquerda e as probabilidades condicionais da tarefa “Abertura da Porta Principal Dianteira”, representada na Figura 67.

Tabela 55 - Probabilidades Condicionadas – Erro Humano Porta Princip Diant

ABERTURA DA PORTA PRINCIPAL DIANTEIRA DIREITA - E _{he}	ABERTURA DA PORTA PRINCIPAL DIANTEIRA ESQUERDA - E _{H2}	ABERTURA DA PORTA PRINCIPAL DIANTEIRA - E _{Hpd}	
P(E _{Hei})	P(E _{H2i})	P(E _{Hpdj} E _{he1} ,E _{H2i}) NÃO	P(E _{Hpdj} E _{he1} ,E _{H2i}) ^c SIM
P(E _{He2}) = 1,0 SIM	P(E _{H21}) = 0,52 NÃO	0,5	0,5
	P(E _{H22}) = 0,48 SIM	0,192	0,808
P(E _{He1}) = 0 NÃO	P(E _{H21}) = 0,52 NÃO	0,808	0,192
	P(E _{H22}) = 0,48 SIM	0,5	0,5

Conhecendo as probabilidades marginais das tarefas dos Erros Humanos das tarefas de Abertura das portas principal dianteira esquerda e direita, e as probabilidades condicionais da tarefa “Abertura da Porta Principal Dianteira”, e aplicando o Teorema da Probabilidade Total seção 2.1.6, é possível calcular as

probabilidades marginais da tarefa Abertura da Porta Principal Dianteira, apresentadas na Figura 74.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(EHpd_j) = \sum_{i=1}^2 PEHe_i \times \left[\sum_{j=1}^2 P(EH2_i) \times P(EHpd_j | EHe_i, EH2_i) \right] \quad 4-13$$

Assim,

$$P(EHpd_1) = 1,0 \times [0,52 \times 0,50 + 0,48 \times 0,192] + 0,47 \times [0,52 \times 0,50 + 0,48 \times 0,192]$$

$$P(EHpd_2) = 1,0 \times [0,52 \times 0,50 + 0,48 \times 0,808] + 0,47 \times [0,52 \times 0,50 + 0,48 \times 0,808]$$

O resultado das probabilidades marginais do Erro Humano na Abertura da porta dianteira são:

$$P(EHpd_1) = 0,35 \text{ Erro Humano 2 NÃO}$$

$$P(EHpd_2) = 0,65 \text{ Erro Humano 2 SIM}$$

4.1.5.2 Probabilidades de Erro Humano Evacuação Dianteira

O nó do Erro Humano da Evacuação Dianteira destacada em rosa na rede bayesiana preliminar da Figura 67, é a conjunção dos nós do Erro Humano da Abertura da Porta Dianteira e do nó Localizar e Seguir os Sinais Internos.

Para obter as probabilidades condicionadas da TPC do nó filho do Erro Humano da Evacuação Dianteira, utilizou-se o sistema de inferência fuzzy com as variáveis fuzzy de entrada, Erro Humano na Abertura da porta principal dianteira e Localizar e seguir sinais internos resultando na variável fuzzy de saída, Erro Humano na Evacuação Dianteira.

Adotaram-se a função de pertinência (seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para os valores linguísticos Fuzzy “EHsim”, “EHmedio” e “EHnao”, conforme as Figura 70 e Figura 71.

Entradas: Erro Humano na Abertura das Portas Dianteiras e Localizar e Seguir Sinais Internos

Figura 70 - Funções Pert Variável Entradas - Portas Diant/Loc Seg Sinais Inter

Saída: Erro Humano na Evacuação Dianteira

Figura 71- Funções de Pert da Variável de Saída – Evacuação Dianteira

Adotaram-se os três valores linguísticos fuzzy “ERROsim”, “EHmedio”, “ERROnao” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída.

Para elaborar o sistema de regras fuzzy (seção 2.3.6.4) para o Erro Humano na Evacuação Dianteira, resultado das influências dos Erros Humanos na Abertura das Portas Dianteira Principal e Localizar e seguir os sinais internos, considerou-se a premissa de que o erro humano em abrir a porta principal dianteira é predominante em relação o erro humano em Localizar e seguir os sinais internos, pois a ocorrência do erro humano de não abrir a porta principal dianteira influencia de forma negativa a

Evacuação Dianteira. Se ocorrer o erro humano em abrir a Porta dianteira principal e não ocorrer o erro humano em Localizar e seguir os sinais internos, o Erro Humano da Evacuação dianteira será médio.

Seguem abaixo os resultados das probabilidades marginais dos erros humanos na tarefa de abrir a porta principal dianteira e de localizar e seguir os sinais internos conforme apresentadas na Figura 74.

Probabilidades marginais do Erro Humano em abrir a porta principal dianteira, $P(EH_{pd1}) = 0,35$ de NÃO ocorrer e a $P(EH_{pd2}) = 0,65$ de SIM ocorrer

Probabilidades marginais do Erro Humano em localizar e seguir os sinais internos, $P(EH_{11}) = 0,53$ de NÃO ocorrer e a $P(EH_{12}) = 0,47$ de SIM ocorrer.

Para obter a saída do “Erro Humano na Evacuação Dianteira”, a qual é influenciada pelos erros humanos “Abrir a Porta Principal Dianteira” e “Localizar e Seguir os Sinais Internos” adotaram-se as regras apresentadas na Tabela 56.

Tabela 56 – $EH \text{ Porta P Diant} \cap EH \text{ Loc Seg Sin Inter} = EH \text{ Evac Diant}$

VARIÁVEIS FUZZY		EH LOCALIZAR E SEGUIR OS SINAIS		
		EHnã	EHmédio	EHsim
		EHmédio	EHsim	EHsim
EH ABERTURA DA PORTA DIANTEIRA	EHsim	EHmédio	EHsim	EHsim
	EHmédio	EHnã	EHmédio	EHsim
	EHnao	EHnã	EHnã	EHmédio

As regras aplicadas ao Erro Humano da tarefa da “Evacuação Dianteira”, originaram-se do conhecimento do especialista, e posteriormente aplicou-se o sistema de regras da Tabela 56 ao método da lógica nebulosa fuzzy para obter através de um sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano na Evacuação Dianteira, com os seus valores linguísticos “EHsim” “EHmedio” e “EHnao” com as suas respectivas probabilidades.

A Tabela 57 apresenta as probabilidades marginais dos Erros Humanos das tarefas de Abertura das Portas Principal Dianteira, Localizar e Seguir os Sinais Internos e as probabilidades condicionais do erro humano “Evacuação Dianteira”, representada na Figura 74.

Tabela 57 - Probabilidades Condicionadas – EH Porta Principal Dianteira

ABERTURA DA PORTA LOCALIZAR E SEGUIR OS DIANTEIRA - EHpd	SINAIS INTERNOS - EH1	EVACUAÇÃO DIANTEIRA - EHed	
		P(EHed _j EHpd _i ,EH1 _j) NÃO	P(EHed _j EHpd _i ,EH1 _j) ^c SIM
P(EHpd ₁)	P(EH1 ₁)		
P(EHpd ₂) = 0,65 SIM	P(EH1 ₁) = 0,53 NÃO	0,5	0,5
	P(EH1 ₂) = 0,47 SIM	0,808	0,192
P(EHpd ₁) = 0,35 NÃO	P(EH1 ₁) = 0,53 NÃO	0,192	0,808
	P(EH1 ₂) = 0,47 SIM	0,5	0,5

Conhecendo as probabilidades marginais das tarefas dos Erros Humanos das tarefas de Abertura das Portas Principal Dianteira e Localizar e Seguir os Sinais Internos, e as probabilidades condicionais do erro humano na “Evacuação Dianteira”, e aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6), é possível calcular as probabilidades marginais do erro humano “Evacuação Dianteira”, apresentadas na Figura 74 e definidas abaixo:

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(EHed_j) = \sum_{i=1}^2 P(EHpd_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(EH1_i) \times P(EHed_j|EHpd_i, EH1_j) \right] \quad 4-14$$

Assim,

$$P(EHed_1) = 0,65 \times [0,53 \times 0,50 + 0,47 \times 0,808] + 0,35 \times [0,53 \times 0,192 + 0,47 \times 0,5]$$

$$P(EHed_2) = 0,65 \times [0,53 \times 0,50 + 0,47 \times 0,192] + 0,35 \times [0,53 \times 0,808 + 0,47 \times 0,5]$$

O resultado das probabilidades marginais do Erro Humano na Evacuação dianteira são:

$$P(EHed_2) = 0,54 \text{ Erro Humano 2 SIM}$$

$$P(EHed_1) = 0,46 \text{ Erro Humano 2 NAO}$$

4.1.5.3 Evacuação Dianteira Completa

O nó do Erro Humano da Evacuação Dianteira Completa destacada em rosa na rede bayesiana preliminar da Figura 67, é a conjunção dos nós do Erro Humano da Evacuação Dianteira e Escorregar.

Para obter as probabilidades condicionadas da TPC do nó filho do Erro Humano da Evacuação Dianteira Completa utilizou-se o sistema de inferência Fuzzy com as variáveis Fuzzy de entrada, Erro Humano na Evacuação Dianteira e Escorregar resultando na variável Fuzzy de saída, Erro Humano na Evacuação Dianteira Completa.

Adotou-se a função de pertinência (seção 2.3.6.2) trapezoidal e triangular para os valores linguísticos Fuzzy “EHsim”, “EHmedio” e “EHnao”, conforme as Figura 72 e Figura 73.

Entradas: Erro Humano na Evacuação Dianteira e da Tarefa de Escorregar

Figura 72 - Funções Pert da Variável Entradas - Evac Diant/Escorregar

Saída: Erro Humano na Evacuação Dianteira Completa

Figura 73 - Funções de Pert da Variável de Saída – Evac Dianteira Completa

Adotaram-se os três valores linguísticos Fuzzy “ERROsim”, “EHmedio”, “ERROnao”, “ADEQ”, “INADEQ” para garantir um grau de pertinência para todas as probabilidades e também para obter um conjunto de regras mais representativo para a variável de saída.

Para elaborar o sistema de regras fuzzy (seção 2.3.6.4) para o Erro Humano na Evacuação Dianteira Completa, resultado das influências dos Erros Humanos na Evacuação Dianteira e Escorregar, considerou-se a premissa de que o erro humano na Evacuação Dianteira é predominante em relação o erro humano em Escorregar, pois a ocorrência do erro humano da Evacuação Dianteira influencia de forma negativa a atividade de escorregar. Se ocorrer o erro humano na Evacuação Dianteira e não ocorrer o erro humano na atividade de Escorregar, Erro Humano da Evacuação Dianteira Completa será médio.

Seguem abaixo os resultados das probabilidades marginais dos erros humanos na tarefa da evacuação Dianteira e da atividade de Escorregar, conforme apresentadas na Figura 74.

Probabilidades marginais do Erro Humano evacuação dianteira, $P(EHed1) = 0,46$ de NÃO ocorrer e a $P(EHed2) = 0,54$ de SIM ocorrer

Probabilidades marginais da atividade de escorregar ser ADEQUADA, $P(T3_1) = 0,58$ e de ser INADEQUADA $P(T3_2) = 0,42$.

Para obter a saída do “Erro Humano na Evacuação Dianteira Completa”, a qual é influenciada pelo Erro Humano “Evacuação Dianteira” e atividade Escorregar adotaram-se as regras apresentadas na Tabela 58.

Tabela 58 - Regras – EH Evac Diant $\cap$ Escorregar = EH Evac Diant Completa

VARIÁVEIS FUZZY		ESCORREGAR		
		ADEQ	Média	INADEQ
EH EVACUAÇÃO DIANTEIRA	EH _{nao}	EH _{nao}	Eh _{nao}	Eh _{médio}
	EH _{médio}	EH _{nao}	EH _{médio}	EH _{sim}
	EH _{sim}	Eh _{médio}	EH _{sim}	EH _{sim}

As regras aplicadas ao Erro Humano da tarefa da “Evacuação Dianteira Completa”, originaram-se do conhecimento do especialista, e posteriormente aplicou-se o sistema de regras da Tabela 58 ao método da Lógica Nebulosa *Fuzzy* para obter através de um sistema de inferência, a variável linguística de saída Erro Humano na Evacuação Dianteira Completa, com os seus valores linguísticos “EH_{sim}” Eh_{médio} e “EH_{nao}” da tarefa “Evacuação Dianteira Completa”.

A Tabela 59 apresenta as probabilidades marginais dos Erros Humanos das tarefas Evacuação Dianteira Completa, e da atividade de Escorregar e as probabilidades condicionais do Erro Humano “Evacuação Dianteira Completa”, representada na Figura 74.

Tabela 59 - Probabilidades Condicionadas – EH Evac Diant Completa

EVACUAÇÃO DIANTEIRA - EH _{ed}	ESCORREGAR - T ₃	EVACUAÇÃO DIANTEIRA COMPLETA - EH _{edc}	
P(EH _{ed_i})	P(T _{3_i})	P(EH _{edc_j} EH _{ed_i} ,T _{3_i}) NÃO	P(EH _{edc_j} EH _{ed_i} ,T _{3_i}) ^c SIM
P(EH _{ed₁}) = 0,54 SIM	P(T _{3₁}) = 0,58 ADEQ P(T _{3₂}) = 0,42 INADEQ	0,5 0,192	0,5 0,808
P(EH _{ed₂}) = 0,46 NÃO	P(T _{3₁}) = 0,58 ADEQ P(T _{3₂}) = 0,42 INADEQ	0,808 0,5	0,192 0,5

Conhecendo as probabilidades marginais dos Erro Humano da Evacuação Dianteira Completa e da atividade Escorregar e as probabilidades condicionais do Erro Humano na “Evacuação Dianteira Completa”, e aplicando o Teorema da Probabilidade Total (ver seção 2.1.6), é possível calcular as probabilidades marginais do Erro Humano “Evacuação Dianteira Completa”, apresentadas na Figura 74.

Aplicando o Teorema da Probabilidade Total:

$$P(EHedc_j) = \sum_{i=1}^2 P(EHed_i) \times \left[\sum_{j=1}^2 P(T3_i) \times P(EHedc_j|EHed_i, T3_j) \right] \quad 4-15$$

Assim,

$$P(EHedc_1) = 0,54 \times [0,58 \times 0,5 + 0,42 \times 0,192] + 0,46 \times [0,58 \times 0,808 + 0,42 \times 0,5]$$

$$P(EHedc_2) = 0,54 \times [0,58 \times 0,5 + 0,42 \times 0,808] + 0,46 \times [0,58 \times 0,192 + 0,42 \times 0,5]$$

Resultado das probabilidades marginais do Erro Humano na evacuação dianteira completa.

$$P(EHedc_1) = 0,51 \text{ Erro Humano 2 NÃO}$$

$$P(EHedc_2) = 0,49 \text{ Erro Humano 2 SIM}$$

Com as probabilidades marginais destacados em rosa na rede bayesiana preliminar da Figura 67 apresentadas como exemplos, e com todas as TPC do Apêndice H, dos nós destacados em azul também da Figura 67, considerando os critérios dos especialistas para arbitrar o sistema de regras de cada influência dos nós raízes, nós pais e nós filhos, é possível obter as redes bayesianas da evacuação de emergência completa, conforme apresentada na Figura 74

Figura 74 - Rede Bayesiana – Evacuação de Emergência Completa

O propósito do Capítulo 4 foi o de aplicar o método da Análise de Confiabilidade Humana apresentado no Capítulo 3 ao estudo de caso do ensaio da Evacuação de Emergência de uma aeronave.

Esta aplicação resultou nas redes bayesianas das tarefas da Abertura das Portas Principal e de Emergência e na Evacuação pelas Saídas Dianteiras, Traseiras e em cima da Asa e a rede bayesiana da Evacuação Completa, que é o resultado da integração das redes bayesianas das tarefas.

Cada rede bayesiana apresentou a probabilidade do Erro Humano dos voluntários no ensaio em cada interface com o projeto de cabine da aeronave. O Capítulo 5 dará continuidade a este trabalho ao analisar as causas, os fatores situacionais de projeto, dos Erros Humanos em cada interface.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Este capítulo tem o objetivo de avaliar a efetividade do método de análise da confiabilidade humana pela abordagem das redes bayesianas suportada pela lógica nebulosa (fuzzy) e o resultado da variação dos estados dos fatores do desempenho humano considerando que o erro humano tenha ocorrido nos principais eventos do procedimento de evacuação de emergência de uma aeronave.

Estes eventos são as tarefas de: Abertura da Porta de Emergência em cima da asa (ver seção 4.1.2), Abertura da Porta Principal (ver seção 4.1.3) e Evacuação pelas Saídas Dianteira, Traseira, e em cima da Asa (ver seção 4.1.4).

Além disso, será analisada também a junção de todas as redes bayesianas dos eventos descritos no parágrafo acima. Esta junção leva à rede bayesianas do evento Evacuação de Emergência Completa (ver seção 4.1.5), cujo objetivo final é avaliar entre todos os fatores situacionais de projetos, avaliados em cada um do evento descritos no paragrafo acima, quais os fatores situacionais de projeto que mais contribuíram para o erro de não evacuar da aeronave no ensaio de evacuação de emergência objeto do estudo de caso do Capítulo 4 .

O foco principal da análise das variações dos fatores do desempenho humano é a variação dos fatores de desempenho situacionais representados pela interface do humano com o projeto; uma vez conhecendo qual interface de projeto mais contribuiu para o erro humano, é possível recomendar melhorias do projeto nesta interface para mitigar o erro humano nesta interação.

Inicialmente, a análise será pelos fatores situacionais de projeto que mais influenciaram nas probabilidades dos erros humanos na execução das tarefas de Abertura da Porta de Emergência, Abertura da Porta Principal, Localizar e Seguir os Sinais dentro da aeronave e Localizar e Seguir os Sinais em cima da Asa.

Dividiram-se as análises em 3 etapas.

- 1 Considerar a evidência de ocorrência do erro humano na rede bayesiana de cada tarefa.
 - Avaliar qual a atividade que mais contribuiu para a ocorrência do erro humano
- 2 Considerar que a atividade que mais contribuiu para a ocorrência do erro humano apresente 100% de chance de estar no seu estado inadequado.

- Avaliar qual habilidade humana que mais contribuiu para a atividade se apresentar no seu estado inadequado.
- 3 Considerar que a habilidade mais contribuiu para o erro da atividade presente 100% de chance de estar no seu estado inadequado.
 - Avaliar quais os fatores situacionais de projeto mais contribuíram para a habilidade se apresentar no seu estado inadequado.
- 4 Considerar que cada fator individual e cada fator situacional de projeto presente 100% de chance de estar no seu estado inadequado.
 - Avaliar qual ocorrência de erro e de qual atividade é mais influenciado (sensível) quando os fatores individual e situacional de projeto apresentarem 100% de chance de estar no seu estado inadequado.

Os resultados das avaliações após a aplicação destas 4 etapas são apresentados nas seções seguintes.

5.1 ANÁLISE DA TAREFA DE ABERTURA DA PORTA DE EMERGÊNCIA

O estudo de caso do Capítulo 4 apresenta a Tabela 11. A aplicação da abordagem da rede bayesiana à tarefa 4 (Abertura da porta de emergência em cima da asa) resultou na Figura 39, a qual apresenta a probabilidade de ocorrência dos possíveis estados do Erro Humano como sendo: $P(EH2_1) \text{ NÃO} = 0,54$ e $P(EH2_2) \text{ SIM} = 0,46$.

Para identificar quais os fatores do desempenho humano que mais contribuíram para o erro humano na abertura da porta de emergência, iniciou-se uma análise causal pelo Erro Humano 2 da rede bayesiana

5.1.1 Análise Causal do Erro Humano 2

A análise causal começa considerando que o Erro Humano 2, $P(EH2_2)$ ocorreu, o que implica em assumir a probabilidade de ocorrência do estado sim igual a 100%. Neste caso, a atividade “Puxar Alavanca”, apresentou a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 36%, e o Erro Humano 1 apresentou a variação de 34% em sua probabilidade de ocorrência, conforme se observa na Figura 75.

Continuando a análise causal considera-se que a atividade “Puxar Alavanca” apresente 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que a habilidade “TOMADA DECISÃO” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 42%, e “HABILIDADE FÍSICA ALAVANCA” apresentou a variação de 33% em sua probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA”, conforme observa-se na Figura 75.

A análise continua considerando que a habilidade “TOMADA DE DECISÃO” apresente 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que o fator situacional de projeto “PLACAR” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADO” em 56%, e o fator individual “PREOCUPAÇÃO” apresentou a variação de 14% em sua probabilidade de ocorrência do estado “SIM”. A Figura 75 apresenta o resultado desta análise.

Figura 75 – Análise Erro Humano 2 - Porta de Emerg – Puxar Alavanca

Como o objetivo deste trabalho é encontrar o fator situacional de projeto com a maior variação da probabilidade de ocorrência no seu estado “INADEQUADO”, com a evidência que o erro humano ocorreu, nota-se “PLACAR” como ponto de atenção na interface do humano com o projeto. A análise causal da rede bayesiana do Erro Humano 1 também mostrará a interface que mais contribui para o erro na tarefa Abertura de Porta de Emergência.

5.1.2 Análise Causal do Erro Humano 1

Continuando a análise causal do Erro Humano na rede bayesiana, Abertura da Porta de Emergência da Figura 78, considera-se que $P(EH1_2)$ ocorreu, o que implica em assumir a probabilidade de ocorrência do estado “SIM” como sendo igual a 100%. , Conforme a Figura 76, observa-se que a atividade “Remover a tampa” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 36% e a atividade “Ler Instruções” apresentou a variação de 31% em sua probabilidade de ocorrência.

A análise continua, considerando que a atividade “Remover a tampa”, apresente 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que a habilidade “HABILIDADE FÍSICA TAMPA” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 47% e a habilidade “TOMADA DECISÃO” apresentou a variação de 44% em sua probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA”, conforme se observa na Figura 76.

Considerando que a habilidade “HABILIDADE FÍSICA TAMPA” apresenta 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que o fator situacional de projeto “TAMPA” não apresentou nenhuma variação, porém ao considerar que a habilidade “TOMADA DE DECISÃO” apresente 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observar-se que o fator situacional de projeto “PLACAR” apresentou a mesma variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADO” em 56% da análise do Erro Humano 2. A primeira parte da análise do Erro Humano 1 pode ser observado na Figura 76.

A análise causal da Figura 76 mostra que o ramo da atividade “Remover a tampa”, leva ao fator situacional de projeto “TAMPA” e “PLACAR”, porém somente “PLACAR” apresenta variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADO” em 56%.

Figura 76 – Análise Erro Humano 1 - Porta de Emerg – Remover Tampa

Ao considerar que a atividade “Ler as Instruções” apresenta 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que a atividade “Ler instruções cartão” apresentou a maior variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA”,

Figura 77 – Análise Erro Humano 1 – Porta de Emerg – Ler Instruções

Considerando a atividade “Ler instruções cartão” com 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que a habilidade “ATENÇÃO” apresentou a maior variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA”, considerando que a habilidade “ATENÇÃO” apresente 100% de chance de estar no

estado “INADEQUADA”, o fator individual “NERVOSISMO” apresentou a variação de 36% em sua probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADO”. A segunda parte da análise do Erro humano 1 pode ser observada na Figura 77.

A análise causal da mostra que o ramo da atividade “Ler Instruções” no cartão, leva a uma variação maior na probabilidade de ocorrência da habilidade “Atenção” e do fator individual “Nervosismo”, não mostrando nenhuma interface direta com o fator situacional de projeto.

A análise causal completa realizada na rede bayesiana da tarefa “Abertura da Porta de Emergência” revela que o fator situacional de projeto “PLACAR” é a interface de projeto que mais contribuiu para que o Erro Humano ocorra nesta tarefa, conforme apresentado na Figura 78.

Observa-se na rede bayesiana na Figura 78 um caminho crítico que é o caminho com variações das probabilidades de ocorrências maiores do estado “INADEQUADA” que levam ao fator situacional de projeto “PLACAR”; este caminho crítico é definido pela: atividade “PUXAR A ALAVANCA” e habilidade “TOMADA DE DECISÃO”, lado direito da rede bayesiana.

Pode-se observar também que o lado esquerdo da rede bayesiana na Figura 78, o Erro Humano 1 tem influência do fator situacional de projeto “PLACAR”, e além deste existe a influência do fator individual “NERVOSISMO”.

A efetividade do projeto do Placar, consiste em prover uma posição adequada do placar na porta, ilustrações e instruções de fácil compreensão, considerando os fatores individuais e as limitações inerentes do humano em uma situação de emergência.

A Tabela 60 resume o resultado da análise causal do Erro Humano na tarefa de “Abertura da Porta de Emergência”, apresentando o fator situacional de projeto “PLACAR” com a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADO” em 56%, e o fator individual “NERVOSISMO” com a variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” em 36%, estes são os fatores de desempenho que mais influenciaram o Erro Humano, bem como o caminho crítico até estes fatores

Tabela 60 – Variação do Fator de Desempenho - Abertura da Porta de Emerg

ABERTURA DA PORTA DE EMERGÊNCIA - TAREFA 4			
ERRO HUMANO OCORREU	FATOR DE DESEMPENHO	VARIAÇÃO	CAMINHO CRÍTICO
ERRO HUM2	SITUACIONAL INDIVIDUAL	PLACAR DA PORTA 56% PREOCUPAÇÃO 14%	PUXAR ALAVANCA, TOMADA DECISÃO
ERRO HUM1	SITUACIONAL INDIVIDUAL	PLACAR DA PORTA 56% NERVOSISMO 36%	REMOVER TAMPA, TOMADA DE DECISÃO LER INSTRUÇÕES CARTÃO, ATENÇÃO

Para concluir a análise de resultados do Erro Humano na tarefa Abertura da Porta de Emergência, a análise dos efeitos dos fatores individuais, fatores situacionais de projeto e habilidades nos Erros Humanos 1 e 2 também é um meio de avaliar as influências, a seção a seguir identificará quais fatores do desempenho humano tem mais efeitos no Erro Humano na execução desta tarefa.

5.1.3 Análise dos Efeitos nos Erros Humanos 1 e 2

A análise dos efeitos dos fatores individuais, situacionais de projetos e habilidades podem identificar os fatores de desempenho que a análise causal não identificou, a Tabela 61 apresenta o resultado da análise dos efeitos nos Erros Humanos 1 e 2 da tarefa Abertura da Porta de Emergência,

Ao assumir que cada fator individual, situacional de projeto e habilidade, da rede bayesiana da Figura 39 apresente 100% de chance de estar no seu estado

“INADEQUADA”, observa-se os seus maiores efeitos nas variações das probabilidades de ocorrência no estado “SIM” nos Erros Humanos 1 e 2, conforme a Tabela 61.

Tabela 61 - Variação Erros Humanos 1/2 - Abertura da Porta de Emerg

FATOR INDIVIDUAL	NERVOSISMO 100% INADEQUADO	CONHECIMENTO 100% INADEQUADO	PREOCUPAÇÃO 100% SIM	CONDIÇÃO FÍSICA TAMPA 100% INADEQUADA	CONDIÇÃO FÍSICA ALAVANCA 100% INADEQUADA	
	NERVOSISMO 100% INADEQUADO	CONHECIMENTO 100% INADEQUADO	PREOCUPAÇÃO 100% SIM	CONDIÇÃO FÍSICA TAMPA 100% INADEQUADA	CONDIÇÃO FÍSICA ALAVANCA 100% INADEQUADA	
ERRO HUMANO 1	$\Delta\%$ SIM (48-47)/47=2%	$\Delta\%$ SIM (48-47)/47=2%	$\Delta\%$ SIM (48-47)/47=2%	$\Delta\%$ SIM (50-47)/47=6%	$\Delta\%$ SIM (47-47)/47=0%	
ERRO HUMANO 2	$\Delta\%$ SIM (48-48)/48=0%	$\Delta\%$ SIM (48-48)/48=0%	$\Delta\%$ SIM (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (48-48)/48=0%	
HABILIDADE	ATENÇÃO 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO CARTÃO 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO PLACAR 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA TAMPA 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA ALAVANCA 100% INADEQUADA	TOMADA DE DECISÃO 100% INADEQUADA
ERRO HUMANO 1	$\Delta\%$ SIM (51-47)/47=9%	$\Delta\%$ SIM (49-47)/47=4%	$\Delta\%$ SIM (48-47)/47=2%	$\Delta\%$ SIM (53-47)/47=13%	$\Delta\%$ SIM (47-47)/47=0%	$\Delta\%$ SIM (53-47)/47=13%
ERRO HUMANO 2	$\Delta\%$ SIM (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (48-48)/48=0%	$\Delta\%$ SIM (48-48)/48=0%	$\Delta\%$ SIM (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (52-48)/48=8%	$\Delta\%$ SIM (55-48)/48=15%
FATOR SITUACIONAL DE PROJETO	CARTÃO 100% INADEQUADO	ILUMINAÇÃO NO CARTÃO 100% INADEQUADO	PLACAR 100% INADEQUADO	ILUMINAÇÃO NO PLACAR 100% INADEQUADO	TAMPA 100% INADEQUADA	ALAVANCA 100% INADEQUADA
ERRO HUMANO 1	$\Delta\%$ SIM (47-47)/47=0%	$\Delta\%$ SIM (48-47)/47=2%	$\Delta\%$ SIM (50-47)/47=6%	$\Delta\%$ SIM (47-47)/47=0%	$\Delta\%$ SIM (49-47)/47=4%	$\Delta\%$ SIM (47-47)/47=0%
ERRO HUMANO 2	$\Delta\%$ SIM (48-48)/48=0%	$\Delta\%$ SIM (48-48)/48=0%	$\Delta\%$ SIM (51-48)/48=6%	$\Delta\%$ SIM (48-48)/48=0%	$\Delta\%$ SIM (48-48)/48=0%	$\Delta\%$ SIM (50-48)/48=4%

Ao considerar cada fator individual com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “Condição Física de Remover a Tampa”, apresentou o efeito nas variações das probabilidades de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 1 e 2 em 6% e 2%, respectivamente.

Ao considerar cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que “Habilidade Física de Remover a Tampa”, e “Tomada de Decisão” apresentaram o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 1 em 13%.

Continuando a análise do efeito de cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que “Tomada de Decisão” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 2 em 15%.

Ao considerar cada fator situacional de projeto com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “Placar” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” no Erro Humano 1 e 2 em 6% respectivamente.

Tanto a análise causal quanto a análise de efeito, identificaram que o fator situacional de projeto, “PLACAR” apresenta a maior contribuição para a ocorrência do Erro Humano e também é o que mais causa efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” no Erro humano na Abertura da Porta de Emergência.

A análise de Efeito identificou que o fator individual “Condições Físicas e as habilidades “Tomada de Decisão” e a “Habilidade Física de Remover a Tampa” têm efeitos no Erro Humano 1 e 2, fatores estes que não foram identificados na análise causal.

A análise causal do Erro Humano e a análise do efeito dos fatores de desempenho no Erro Humano no procedimento de Evacuação de uma aeronave, continua com a tarefa de Abertura da Porta Principal, Evacuação pela Saída Dianteira, Evacuação pela Saída Traseira, Evacuação pela Saída em cima da Asa e Evacuação Completa.

5.2 ANÁLISE DA TAREFA DE ABERTURA DA PORTA PRINCIPAL

O estudo de caso do capítulo 4 apresenta a Tabela 11, a aplicação da abordagem da rede bayesiana na tarefa 2 (Abertura da porta principal) resultou na Figura 47, a qual apresenta as probabilidades de ocorrências dos possíveis estados do Erro Humano, $P(EH2_1) \text{ NÃO} = 0,52$ e $P(EH2_2) \text{ SIM} = 0,48$.

Para identificar quais os fatores do desempenho humano que mais contribuíram para o erro humano na abertura da porta principal, iniciou-se a análise causal pelo Erro Humano 2.

5.2.1 Análise Causal do Erro Humano 2

A análise causal inicia considerando que o Erro Humano 2, $P(EH2_2)$ ocorreu, o que implica em assumir a probabilidade de ocorrência do estado “SIM” como sendo igual a 100%, a atividade “Empurrar Porta”, apresentou a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 36%, e o “Erro Humano 1” apresentou a variação no estado “SIM” de 32% em sua probabilidade de ocorrência, conforme se observa na Figura 79.

Continuando a análise causal, considera-se que a atividade “Empurrar Porta” apresenta 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que a habilidade “TOMADA DECISÃO” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência no estado “INADEQUADA” em 45%, e a habilidade “HABILIDADE FÍSICA PORTA” apresentou a variação de 34% em sua probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA”.

A análise continua considerando que a habilidade “TOMADA DE DECISÃO” apresenta 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que o fator situacional de projeto “PLACAR” apresentou uma variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 73%.

Ao considerar a habilidade “HABILIDADE FÍSICA PORTA” presente 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que o fator situacional de projeto “PORTA” apresentou uma variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADO” em 76%. A Figura 79 apresenta o resultado desta primeira análise.

Figura 79 – Análise Causal Erro Humano 2 – Porta Principal

Com a evidência que o Erro humano 2 ocorreu, o fator situacional de projeto com a maior variação da probabilidade de ocorrência no seu estado “INADEQUADO” é o que mais contribui para a ocorrência do erro humano, na Figura 79, o fator situacional de projeto “PLACAR e “PORTA” são os fatores situacionais de projeto que mais contribuíram para que a chance da ocorrência do Erro Humano 2 seja 100% “SIM”. Desta forma, nota-se o “PLACAR” e “PORTA” como ponto de atenção na

interface do humano com o projeto. A análise causal da rede bayesiana do Erro Humano 1 também mostrará uma das interface que mais contribuíram para o erro humano na tarefa Abertura da Porta Principal.

5.2.2 Análise do Erro Humano 1

Continuando a análise causal do erro humano na rede bayesiana, Abertura da Porta de Principal da Figura 47, considera-se que $P(EH_{12})$ ocorreu, o que implica em assumir a probabilidade de ocorrência do estado “SIM” igual a 100%.

Observa-se na Figura 80 abaixo que a atividade “LER INSTRUÇÕES” e “LEVANTAR ALAVANCA” apresentaram a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 36%.

Considerando que a atividade “LER INSTRUÇÕES” apresenta 100% de chance de estar no estado “INADEQUADA”, as habilidade “ATENÇÃO” e “INTERPRETAÇÃO” apresentaram a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 48 % e 37% respectivamente.

Considerando a habilidade “ATENÇÃO” presente 100% de chance de estar no estado “INADEQUADA”, observa-se que o fator individual “NERVOSISMO” apresentou a variação de 49% em sua probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA”, conforme Figura 80.

Figura 80 – Análise Causal Erro Humano 1 – Porta Principal – Ler Instruções

Considerando que a atividade “LEVANTAR ALAVANCA” apresenta 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que as habilidade “TOMADA DE DECISÃO” e “HABILIDADE FÍSICA ALAVANCA” apresentaram a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 39 % e 35%, respectivamente.

Figura 81 – Análise Causal Erro Humano 1 – Porta Principal – Levantar Alavanca

Considerando que a habilidade “TOMADA DE DECISÃO” apresenta 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, os fatores situacional de projeto “PLACAR” e “SETA” apresentaram as variações da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 33% e 28%, respectivamente, conforme é apresentado na Figura 81.

A análise causal Completa do Erro Humano 1 e 2 na rede bayesiana da tarefa “Abertura da Porta de Principal” revelou que o fator situacional de projeto “PLACAR” é a interface de projeto que mais contribuiu para que o Erro Humano ocorra nesta tarefa, conforme apresentado na Figura 82.

Figura 82 – Análise Causal Completa Erro Humano – Abertura da Porta Principal

Observa-se na rede bayesiana na Figura 82 um caminho crítico que é o caminho com as variações maiores das probabilidades de ocorrências dos estados “INADEQUADA” que levam ao fator situacional de projeto “PLACAR”; este caminho crítico é definido pela: atividade “EMPURRAR A PORTA” e habilidade “TOMADA DE DECISÃO”, lado direito da rede bayesiana.

Pode-se observar também que o lado esquerdo da rede bayesiana na Figura 82 que o Erro Humano 1 tem influência do fator situacional de projeto “PLACAR”, e além deste, existe a influência do fator individual “NERVOSISMO”. O Erro Humano 1 também é influenciado pelo fator situacional de projeto “SETA”, o seu caminho crítico é definido pela atividade “LEVANTAR ALAVANCA” e habilidade “TOMADA DE DECISÃO”.

A Tabela 62 resume o resultado da análise causal do erro humano na tarefa de “Abertura da Porta Principal”, apresentando a variação da probabilidade de ocorrências do fator situacional de projeto Placar da Porta em 73 %, Porta em 76% e Seta em 28%, e a variação da probabilidade de ocorrência do fator individual Nervosismo em 49%. Estes são os fatores de desempenho que mais influenciaram o erro humano, bem como o caminho crítico até estes fatores.

Tabela 62 – Variação do Fator de Desempenho – Porta Principal

ABERTURA DA PORTA PRINCIPAL - TAREFA 2			
ERRO HUMANO OCORREU	FATOR DE DESEMPENHO	VARIAÇÃO	CAMINHO CRÍTICO
ERRO HUM2	SITUACIONAL	PLACAR DA PORTA 73% PORTA 76%	EMPURRAR PORTA, TOMADA DECISÃO EMPURRAR PORTA, HAB FÍSICA
ERRO HUM1	SITUACIONAL	PLACAR DA PORTA 33% SETA 28%	LEVANTAR ALAVANCA, TOMADA DECISÃO
	INDIVIDUAL	NERVOSISMO 49%	LER INSTRUÇÕES PLACAR, ATENÇÃO

Para concluir a análise de resultados do Erro Humano na tarefa Abertura da Porta Principal, a análise dos efeitos dos fatores individuais, fatores situacionais de projeto e habilidades nos Erros Humanos também é um meio de avaliar as influências; a seção a seguir identificará quais fatores do desempenho humano têm mais efeitos no Erro Humano na execução desta tarefa.

5.2.3 Análise dos Efeitos nos Erros Humanos 1 e 2

A análise dos efeitos dos fatores individuais, situacionais de projetos e habilidades podem identificar os fatores de desempenho que a análise causal não identificou; a Tabela 63 apresenta o resultado da análise dos efeitos nos Erro Humanos 1 e 2 da tarefa Abertura da porta de Principal

Ao assumir que cada fator individual, situacional de projeto e habilidade, da rede bayesiana da Figura 47, apresentam 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se os seus maiores efeitos nas variações de probabilidade de ocorrência no estado “SIM” nos Erros Humanos 1 e 2, conforme a Tabela 63.

Tabela 63 – Variação do Erros Humanos 1/2 Abertura da Porta Principal

ANÁLISE DO EFEITO	FATOR INDIVIDUAL	NERVOSISMO 100% INADEQUADO	CONHECIMENTO 100% INADEQUADO	PREOCUPAÇÃO 100% SIM	CONDIÇÃO FÍSICA PORTA 100% INADEQUADA	CONDIÇÃO FÍSICA ALAVANCA 100% INADEQUADA
	ERRO HUMANO 1	$\Delta\% \text{ SIM}$ (49-47)/47=4%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (49-47)/47=4%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (47-47)/47=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (47-47)/47=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-47)/47=2%
	ERRO HUMANO 2	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-48)/48=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-48)/48=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-48)/48=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-48)/48=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-48)/48=0%
	HABILIDADE	ATENÇÃO 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO PLACAR 100% INADEQUADA	TOMADA DECISÃO ALAVANCA 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA PORTA 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA ALAVANCA 100% INADEQUADA
	ERRO HUMANO 1	$\Delta\% \text{ SIM}$ (53-47)/47=13%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (52-47)/47=11%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (53-47)/47=13%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (47-47)/47=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (51-47)/47=9%
	ERRO HUMANO 2	$\Delta\% \text{ SIM}$ (49-48)/48=2%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (50-48)/48=4%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (50-48)/48=4%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (52-48)/48=8%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (49-48)/48=2%
	FATOR SITUACIONAL DE PROJETO	CRITICALIDADE PLACAR 100% INADEQUADO	PLACAR 100% INADEQUADO	SETA 100% INADEQUADO	PORTA 100% INADEQUADO	ALAVANCA 100% INADEQUADA
	ERRO HUMANO 1	$\Delta\% \text{ SIM}$ (47-47)/47=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (51-47)/47=8%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-47)/47=2%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (47-47)/47=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-47)/47=4%
	ERRO HUMANO 2	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-48)/48=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (53-48)/48=10%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-48)/48=0%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (50-48)/48=4%	$\Delta\% \text{ SIM}$ (48-48)/48=0%
						$\Delta\% \text{ SIM}$ (54-48)/48=15%

Ao considerar cada fator individual com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “Nervosismo” e “Conhecimento” apresentaram o efeito, para ambos os fatores individuais, na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 1 em 6%.

Ao considerar cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que “Atenção”, e “Tomada de Decisão” apresentaram o efeito, em ambas as habilidades, na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 1 em 13%.

Continuando a análise do efeito de cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que “Tomada de Decisão” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 2 em 15%.

Ao considerar cada fator situacional de projeto com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “Placar” apresentou o efeito, na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” nos Erro Humano 1 e 2 em 8% e 10%, respectivamente.

Tanto a análise causal quanto a análise de efeito, identificaram que o fator situacional de projeto, “PLACAR” apresenta a maior contribuição para a ocorrência do Erro Humano e também é o que mais causa efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” no Erro humano na Abertura da Porta Principal.

A análise de Efeito identificou que o fator individual “Nervosismo” tem efeito no Erro Humano, o qual também foi identificado na análise causal, porém identificou que “Conhecimento” também tem efeito no Erro Humano, o qual não foi identificado na análise causal.

A análise de Efeito identificou que as habilidades “Tomada de Decisão” e a “Atenção” têm efeitos no Erro Humano, fatores estes que também foram identificados na análise causal.

A análise causal do Erro Humano e a análise do efeito dos fatores de desempenho no Erro Humano no procedimento de Evacuação de Emergência de uma Aeronave, continua com a tarefa de Evacuação pela Saída Dianteira, Evacuação pela Saída Traseira, Evacuação pela Saída em cima da Asa e Evacuação Completa.

5.3 ANÁLISE DA TAREFA DE EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA E TRASEIRA

O estudo de caso do capítulo 4 apresenta a Tabela 11, as aplicações da abordagem da rede bayesiana nas tarefas 3 e 5, resultaram na Figura 55 e na Figura 56, com as seguintes probabilidades de Erro Humano:

- Evacuação pela saída dianteira: Erro Humano, $P(EH2_1) \text{ NÃO} = 0,53$ e $P(EH2_2) \text{ SIM} = 0,47$
- Evacuação pela saída traseira: Erro Humano, $P(EH2_1) \text{ NÃO} = 0,53$ e $P(EH2_2) \text{ SIM} = 0,47$

Para identificar quais os fatores do desempenho humano que mais contribuíram para o Erro Humano na Evacuação pela saída Dianteira e Traseira, a análise causal inicia-se pelo Erro Humano 2.

5.3.1 Análise Causal do Erro Humano 2

A análise causal a inicia considerando que o Erro Humano 2, $P(EH2_2)$ ocorreu, o que implica em assumir a probabilidade de ocorrência do estado “SIM” como sendo igual a 100%, para os eventos Evacuação pela Saída Dianteira e Traseira; a atividade “ESCORREGAR”, apresentou as seguintes variações da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA”:

- 36% para os que saíram pela Saída Dianteira;
- 39% para os que saíram pela Saída Traseira.

Continuando a análise causal considera-se a atividade “ESCORREGAR” apresenta 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA” para ambos os eventos e observa-se que a habilidade “TOMADA DECISÃO” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência no estado “INADEQUADA” igual a:

- 51% para os que saíram pela Dianteira;
- 48% para os que saíram pela Traseira.

Os fatores de desempenho que influenciaram a habilidade “TOMADA DECISÃO” são fatores individuais, e o que mais se destaca é o fator individual “CONHECIMENTO”, o qual é influenciado pelo fator organizacional de “DEMONSTRAÇÃO”; esta demonstração representou, no ensaio, a apresentação que as companhias aereas oferecem aos passageiros antes de cada decolagem.

Como o objetivo deste trabalho é encontrar quais os fatores situacionais de projeto que mais contribuíram para o Erro Humano, a análise causal continua, assumindo que a habilidade “HABILIDADE FÍSICA ESCORREGAR” apresenta para ambos os eventos 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”; observa-se, para ambos os eventos Evacuação pela Saída Dianteira e Traseira, que o fator situacional de projeto “ESCORREGADEIRA” apresentou 100% de variação no estado “INADEQUADA”

A Figura 83 e a Figura 84 apresentam as análises causal do Erro Humano 2 para a Evacuação pela Saída Dianteira e Traseira, respectivamente.

Figura 83 - Análise Causal Erro Humano 2 – Saída pela Dianteira

Figura 84 – Análise Causal Erro Humano 2 – Saída pela Traseira

Observa-se nas Figura 83 e Figura 84 que a análise do Erro Humano 2 para ambos os eventos, Evacuação pela Saída Dianteira e Traseira apresentam influências muito similares dos fatores de desempenho individual e situacional, os quais se destacam, Conhecimento e Escorregadeira.

A análise causal do Erro humano 1 a seguir apresentará também as outras interfaces que mais contribuíram para o erro humano na tarefa Evacuação de Emergência pela Saída Dianteira e Traseira.

5.3.2 Análise Causal do Erro Humano1

Continuando a análise causal da rede bayesiana, Evacuação pela Saída Dianteira e Traseira das Figura 89 e Figura 90, considera-se que $P(EH1_2)$ ocorreu, o que implica em assumir a probabilidade de ocorrência do estado “SIM” igual a 100%, para ambas Evacuações Dianteira e Traseira; observa-se que a atividade “LOCALIZAR SAÍDA” apresentou a mesma variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 41%, conforme Figura 85 e Figura 86 .

Assumindo a atividade “LOCALIZAR SAÍDA” presente 100% de chance de estar no estado 100% ‘INADEQUADA’ para ambos os eventos, a habilidade “INTERPRETAÇÃO” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência do estado

“INADEQUADA” em 61% para ambos os eventos, as Figura 85 e Figura 86 apresentam estas variações.

Considerando que a habilidade “INTERPRETAÇÃO” apresenta 100% de chance de estar no estado “INADEQUADA”, observa-se que o fator situacional de projeto “CARTÃO” apresentou a variação de 150% em sua probabilidade de ocorrência do estado ‘INADEQUADO”; esta variação foi a maior entre todos os fatores situacionais.

Figura 85 - Análise Causal Erro Humano 1 – Evacuação pela Saída Dianteira

Figura 86 – Análise Causal Erro Humano 1 – Evacuação pela Saída Traseira

O fator individual “CONHECIMENTO” se destaca na análise das habilidades “INTERPRETAÇÃO” e “ATENÇÃO” como um fator que influencia o Erro Humano 1, confirmando o que foi observado na análise do Erro Humano 2.

Observa-se também, nas Figura 85 e Figura 86, que a atividade “SEGUIR SINAIS” apresentou a maior variação no estado “INADEQUADA” para a Evacuação pela Saída Traseira, conforme abaixo:

- 48% para os que saíram pela Saída Traseira;
- 31% para os que saíram pela Saída Dianteira.

Este resultado mostra que “SEGUIR OS SINAIS” tem uma maior influência para os voluntários que saíram pela saída traseira.

Considerando que a atividade “SEGUIR SINAIS” apresenta 100% de chance de estar no seu estado 100% “INADEQUADA”, observa-se que as habilidades “LIDERANÇA” e “TOMADA DECISÃO” apresentaram as variações da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 31% e 26% para ambos os eventos, conforme Figura 87 e Figura 88, respectivamente.

Figura 87 – Análise Causal Erro Humano 1 – Saída Dianteira – Seguir Sinais

Figura 88 – Análise Causal Erro Humano 1 – Saída Traseira – Seguir Sinais

Assumindo que as habilidades “LIDERANÇA” e “TOMADA DECISÃO” apresentam 100% de chance de estar nos seus estados 100% INADEQUADA, nota-se somente influências de fatores individuais, mais uma vez o fator individual “CONHECIMENTO” apresenta a variação na probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADO” em 67% e 72% para o evento Saída pela Dianteira e Saída pela Traseira, respectivamente.

As redes bayesianas das Figura 89 e Figura 90 apresentam nos nós destacados o resultado das análises dos Erros Humanos 1 e 2, das tarefas “Evacuação pela Saída Dianteira e Traseira”; os fatores situacionais de projeto que se destacam depois das análises causal de cada rede são: “ESCORREGADEIRA” e “CARTÃO”. Conclui-se portanto que estes fatores situacionais são as interfaces de projeto que mais contribuíram para que o Erro Humano ocorra nestas tarefas.

Figura 89 – Análise Causal Completa Erro Humano – Evac Saída Dianteira

Figura 90 – Análise Causal Completa Erro Humano – Evac Saída Traseira

Observa-se nas redes bayesianas nas Figura 89 e Figura 90 um caminho crítico em cada uma das redes; estes caminhos são os com as maiores variações nos estados “INADEQUADA”, considerando que o Erro Humano ocorreu.

Os caminhos críticos, que levam aos fatores situacionais de projetos “ESCORREGADEIRA” e “CARTÃO”, estão definidos nas Tabela 64 e Tabela 65, as quais resumem o resultado das análises causal do Erro Humano nas tarefas 3 e 7 da Evacuação pelas Saídas Dianteiras e Traseiras.

Tabela 64 – Variação do Fator do Desempenho – Evac Saída Dianteira

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA - TAREFAS - 3 e 7			
ERRO HUMANO OCORREU	FATOR DE DESEMPENHO	VARIAÇÃO	CAMINHO CRÍTICO
ERRO HUM2	SITUACIONAL	ESCORREGADEIRA 100%	ESCORREGAR, HABILIDADE FÍSICA DE ESCORREGAR
	INDIVIDUAL	CONDIÇÃO FÍSICA 100%	
	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 57%	ESCORREGAR, TOMADA DECISÃO
ERRO HUM1	SITUACIONAL	CARTÃO 150%	LOCALIZAR SAÍDA, INTERPRETAÇÃO
	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 78%	
	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 78%	LOCALIZAR SAÍDAS, ATENÇÃO
	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 67%	SEGUIR SINAIS, TOMADA DECISÃO
	INDIVIDUAL	SEGUIR OS OUTROS 39%	SEGUIR SINAIS, LIDERANÇA

Tabela 65 – Variação do Fator de Desempenho – Evac Saída Traseira

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA - TAREFA - 3 e 7			
ERRO HUMANO OCORREU	FATOR DE DESEMPENHO	VARIAÇÃO	CAMINHO CRÍTICO
ERRO HUM2	SITUACIONAL	ESCORREGADEIRA 100%	ESCORREGAR, HABILIDADE FÍSICA ESCORREGAR
	INDIVIDUAL	CONDIÇÃO FÍSICA 100%	
	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 42%	ESCORREGAR, TOMADA DECISÃO
ERRO HUM1	SITUACIONAL	CARTÃO 150%	LOCALIZAR SAÍDA, INTERPRETAÇÃO
	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 42%	
	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 42%	LOCALIZAR SAÍDA, ATENÇÃO
	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 72%	SEGUIR SINAIS, TOMADA DECISÃO
	INDIVIDUAL	SEGUIR OS OUTROS 39%	SEGUIR SINAIS, LIDERANÇA

O resultado da análise causal dos Erros Humanos 1 e 2 dos eventos da “Evacuação pela Saída Dianteira e Traseira, indica que o desenvolvimento de projeto dos fatores situacionais de projeto “ESCORREGADEIRAS” e “CARTÃO” devem ser reavaliados, porém não se pode deixar de considerar que os fatores individuais “SEGUIR OUTROS” e “CONHECIMENTO” têm uma influência considerável no Erro Humano 1, o fator individual “CONHECIMENTO” é influenciado pelo fator organizacional “DEMONSTRAÇÃO” no entanto o fator individual “SEGUIR OUTROS” depende exclusivamente do indivíduo, não tendo nenhuma influência de fatores organizacionais.

Para concluir a análise de resultados do Erro Humano na tarefa Evacuação de Emergência pelas Saídas Dianteira e Traseira, a análise dos efeitos dos fatores individuais, fatores situacionais de projeto e habilidades nos Erros Humanos também é um meio de avaliar as influências; a seção a seguir identificará quais fatores do desempenho humano têm mais efeitos no Erro Humano na execução desta tarefa

5.3.3 Análise dos Efeitos nos Erros Humanos 1 e 2

A análise dos efeitos dos fatores individuais, situacionais de projetos e habilidades podem identificar fatores de desempenho, os quais a análise causal não identificou, bem como confirmar o resultado da análise causal. As Tabela 66 e Tabela 67 apresentam os resultados das análise dos efeitos nos Erro Humanos 1 e 2 das tarefas Evacuação de Emergência pelas Saídas Dianteira e Traseira.

Ao assumir que cada fator individual, situacional de projeto e habilidade, das redes bayesianas das Figura 55 e Figura 56, apresentam 100% de chance de estarem nos seus estado “INADEQUADA”, observa-se os seus maiores efeitos nas variações das probabilidades de ocorrência no estado “SIM” nos Erros Humanos 1 e 2, conforme as Tabela 66 e Tabela 67.

Tabela 66 – Variação Erros Humanos 1/2 - Evac de Emerg Saída Dianteira

ANÁLISE DO EFEITO	FATOR INDIVIDUAL	NERVOSISMO 100% INADEQUADO	CONHECIMENTO 100% INADEQUADO	PREOCUPAÇÃO 100% SIM	SEGUIR OS OUTROS 100% INADEQUADA	CONDIÇÃO FÍSICA ESCORREGAR 100% INADEQUADA
	ERRO HUMANO 1	Δ% SIM (49-47)/47=4%	Δ% SIM (54-47)/47=15%	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (50-47)/47=2%	Δ% SIM (47-47)/47=0%
	ERRO HUMANO 2	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (48-47)/47=2%
	HABILIDADE	ATENÇÃO 100% INADEQUADA	PERCEPÇÃO DENTRO 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO CARTÃO 100% INADEQUADA	LIDERANÇA 100% INADEQUADA	TOMADA DE DECISÃO 100% INADEQUADA
	ERRO HUMANO 1	Δ% SIM (53-47)/47=13%	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (54-47)/47=15%	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (52-47)/47=11%
	ERRO HUMANO 2	Δ% SIM (49-47)/47=4%	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (49-47)/47=4%	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (54-47)/47=15%
	FATOR SITUACIONAL DE PROJETO	CARTÃO 100% INADEQUADO	CRITIC CARTÃO 100% INADEQUADO	SINAIS INTERNOS 100% INADEQUADO	HABILIDADE FÍSICA 100% INADEQUADA	
	ERRO HUMANO 1	Δ% SIM (51-47)/47=8%	Δ% SIM (49-47)/47=4%	Δ% SIM (49-47)/47=4%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	
	ERRO HUMANO 2	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (49-47)/47=4%	

Tabela 67 – Variação Erros Humanos 1/2 - Evac Emerg Saída Traseira

ANÁLISE DO EFEITO	FATOR INDIVIDUAL	NERVOSISMO 100% INADEQUADO	CONHECIMENTO 100% INADEQUADO	PREOCUPAÇÃO 100% SIM	SEGUIR OS OUTROS 100% INADEQUADA	CONDIÇÃO FÍSICA ESCORREGAR 100% INADEQUADA	
	ERRO HUMANO 1	Δ% SIM (49-47)/47=4%	Δ% SIM (54-47)/47=15%	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (50-47)/47=2%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	
	ERRO HUMANO 2	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (48-47)/47=2%	
	HABILIDADE	ATENÇÃO 100% INADEQUADA	PERCEPÇÃO DENTRO 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO CARTÃO 100% INADEQUADA	LIDERANÇA 100% INADEQUADA	TOMADA DE DECISÃO 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA 100% INADEQUADA
	ERRO HUMANO 1	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (49-47)/47=4%	Δ% SIM (54-47)/47=15%	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (47-47)/47=0%
	ERRO HUMANO 2	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (49-47)/47=4%	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (54-47)/47=15%	Δ% SIM (52-47)/47=15%
	FATOR SITUACIONAL DE PROJETO	CARTÃO 100% INADEQUADO	CRITIC CARTÃO 100% INADEQUADO	SINAIS INTERNOS 100% INADEQUADO			ESCORREGADEIRA 100% INADEQUADA
	ERRO HUMANO 1	Δ% SIM (50-47)/47=6%	Δ% SIM (49-47)/47=4%	Δ% SIM (50-47)/47=6%			Δ% SIM (49-47)/47=0%
	ERRO HUMANO 2	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (47-47)/47=0%			(49-47)/47=4%

A análise dos efeitos dos fatores individuais, habilidades e situacionais de projetos nos Erros Humanos 1 e 2 para as tarefas Emergência pela Saída Dianteira e Traseira é muito similar, apenas a habilidade “Percepção dentro” apresentou um efeito menor no Erro Humano 1 e 2 da tarefa Evacuação de Emergência pela Saída Traseira.

Ao considerar cada fator individual com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, para ambas as tarefas de Evacuação pelas Saídas Dianteira e Traseira, observa-se que “Conhecimento” apresentou o efeito nas variações das probabilidades de ocorrência do estado “SIM” dos Erros Humanos 1 e 2 em 15% e 13%, respectivamente.

Ao considerar cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, para ambas as tarefas de Evacuação pela Saídas Dianteira e Traseira, observa-se que “Interpretação” apresenta o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 1 em 15%.

Continuando a análise das habilidades com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, para ambas as tarefas de Evacuação pela Saídas Dianteira e Traseira, se observa que “Tomada de decisão” e “Habilidade Física” apresentam o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 2 em 15%.

Ao considerar cada fator situacional de projeto com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “Cartão” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” no Erro Humano 1 em 6%,

não se observou nenhum efeito do fator situacional “Cartão” em ambas as tarefas, no Erro Humano 2.

Tanto a análise causal quanto a análise de efeito, identificaram que o fator situacional de projeto, “CARTÃO”; apresenta a maior contribuição para a ocorrência do Erro Humano e também é o que tem maior efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” no Erro Humano 1 em ambas as tarefas Evacuação de Emergência pelas Saídas Dianteira e Traseira.

No entanto a análise de efeitos não identificou o fator situacional de projeto “Escorregadeira” o qual foi identificado na análise causal.

A análise dos efeitos identificou o fator individual “Conhecimento” com maior efeito nos Erro Humano 1 e 2, confirmando o resultado da análise causal, porém não identificou o fator individual “Seguir os Outros”, o qual foi identificado na análise causal.

A análise causal do Erro Humano e a análise do efeito dos fatores de desempenho no Erro Humano no procedimento de Evacuação de uma aeronave, continua com a tarefa de Evacuação pela Saída em cima da Asa e Evacuação Completa.

5.4 ANÁLISE DA TAREFA DE EVACUAÇÃO PELA SAÍDA EM CIMA DA ASA

O estudo de caso do capítulo 4 apresenta a Tabela 11, a aplicação da abordagem da rede bayesiana às tarefas 3, 5 e 7 resultou na Figura 66, a qual apresenta as probabilidades do Erro Humano, $P(EH3_1) \text{ NÃO} = 0,54$ e $P(EH3_2) \text{ SIM} = 0,46$.

Para identificar quais os fatores do desempenho humano que mais contribuíram para o Erro Humano na Evacuação de Emergência pela saída em cima da Asa, a análise causal inicia-se pelo Erro Humano 3.

5.4.1 Análise Causal do Erro Humano 3

A análise causal inicia considerando que o Erro Humano 3, $P(EH3_2)$ ocorreu, o que implica em assumir a probabilidade de ocorrência do estado “SIM” igual a 100%, a atividade “ESCORREGAR”, apresentou a variação da probabilidade de ocorrência

do estado INADEQUADA em 37% , e o “ERRO HUMANO 2 apresentou a variação no estado “SIM” de 35% em sua probabilidade de ocorrência, conforme observa-se na Figura 91.

Figura 91 – Análise Causal Erro Humano 3 – Evac de Emerg Saída cima da Asa

Continuando a análise causal considera-se que a atividade “ESCORREGAR” apresenta 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que a “HABILIDADE FÍSICA ESCORREGAR” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência no estado “INADEQUADA” em 29% e habilidade a “TOMADA DE DECISÃO” apresentou avariação de 45% em sua probabilidade de ocorrência do estado “ADEQUADA”

A análise continua considerando que a “HABILIDADE FÍSICA ESCORREGAR” apresente 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”; desta forma o fator individual “CONDIÇÃO FÍSICA” apresentou a maior variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 100%, o fator ambiental “ESCURIDÃO” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência no estado INADEQUADA em 7%. O foco deste trabalho é observar a variação no fator situacional de projeto, mas como o fator situacional de projeto, “ESCORREGADEIRA”, já apresentava 100% “ADEQUADA”, não foi possível avaliar variação alguma.

Considerando que a habilidade “TOMADA DE DECISÃO” representa 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que o fator individual “CONHECIMENTO” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência no estado

“INADEQUADO” em 67%. A análise causal do Erro Humano 3 pode ser observada na Figura 91. A análise causal da rede bayesiana continua pelo Erro humano 2 que também mostrará as interfaces que mais contribuíram para o Erro Humano na tarefa Evacuação de Emergência pela Saída em cima da Asa.

5.4.2 Análise Causal do Erro Humano 2

Continuando a análise causal da rede bayesiana, Evacuação de Emergência pela saída em cima da Asa da Figura 66 , considera-se que o Erro Humano 2, P(EH22) ocorreu, o que implica em assumir a probabilidade de ocorrência do estado “SIM” igual a 100%; observa-se que a atividade “LOCALIZAR SAIDAS ASA”, apresentou a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA, em 47%, conforme apresenta a Figura 92.

Figura 92 – Análise Erro Humano 2 – Evac Saída em cima da Asa

Ao considerar que a atividade “LOCALIZAR SAÍDA ASA” apresenta 100% de chance de estar no estado “INADEQUADA”, a habilidade “INTERPRETAÇÃO” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 80%, que é a maior variação entre as habilidades associadas com esta atividade.

Considerando que a habilidade “INTERPRETAÇÃO” apresenta 100% de chance de estar no estado “INADEQUADA”, observa-se que os fatores situacional de

projeto “CARTÃO” e “CRITICIDADE” apresentaram a variação de 140% e 70% em suas probabilidades de ocorrência do estado “INADEQUADA”; respectivamente.

Considerando que a habilidade “PERCEPÇÃO” apresenta 100% de chance de estar no estado “INADEQUADA”, observa-se que os fatores situacionais de projeto “MARCA ASA” e “ILUMINAÇÃO ESCORREGADEIRA” apresentaram a variação de 89% e 60% em suas probabilidades de ocorrência do estado “INADEQUADA”, respectivamente. Outro ponto que se deve observar é a variação na probabilidade de ocorrência do fator individual do estado “INADEQUADA” em 67%.

A análise causal da rede bayesiana continua observando as influências do fatores do desempenho humano para o Erro Humano 1.

5.4.3 Análise Causal do Erro Humano 1

Continuando a análise causal da rede bayesiana, Evacuação de Emergência pela saída em cima da Asa da Figura 66 , considera-se que $P(EH_{12})$ ocorreu, o que implica em assumir a probabilidade de ocorrência do estado “SIM” sendo igual a 100%, observa-se que a atividade “LOCALIZAR SAÍDA” apresentou a maior variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 66%, conforme a Figura 93.

Considerando que a atividade “LOCALIZAR SAÍDA” apresenta 100% de chance de estar no estado “INADEQUADA”, a habilidade “INTERPRETAÇÃO” apresentou a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 60%, sendo a maior variação, conforme se observa na Figura 93.

Continuando a análise causal, considerando a habilidade “INTERPRETAÇÃO” apresenta 100% de chance de estar no estado “INADEQUADA”, o fator situacional de projeto “CARTÃO” apresenta a variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADO” em 140%.

Figura 93 – Análise Causal 1 Erro Humano 1 – Evac Emerg Saída cima da Asa

A Figura 94 apresenta a segunda análise causal do Erro Humano 1, assumindo a probabilidade de ocorrência do estado ‘INADEQUADA’ sendo igual a 100% para a atividade “SEGUIR SINAIS”, observa-se a habilidade “LIDERANÇA” com a maior variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 32% conforme se apresenta na Figura 94.

Figura 94 – Análise Causal 2 Erro Humano 1 – Evac Emerg Saída cima da Asa

A análise causal dos Erros Humanos 1, 2 e 3 representados na rede Bayesiana da tarefa “Evacuação pela Saída em cima da Asa” mostra que o fator situacional de

projeto “CARTÃO”, “MARCAS NA ASA” e “ILUMINAÇÃO NA ESCORREGADEIRA”, são as interfaces de projeto que mais contribuíram para que o Erro Humano ocorra neste evento.

Figura 95 – Análise Causal Erro Humano – Evac Emerg Saída cima da Asa.

Observa-se na rede bayesiana da Figura 95 um caminho crítico que leva aos fatores situacionais de projetos, estes caminhos são os com variações maiores no estado “INADEQUADA”, considerando que o Erro Humano ocorreu. Os caminhos que levaram aos fatores situacional de projeto: “CARTÃO”, “CRITICIDADE”, “MARCAS NA ASA” e “ILUMINAÇÃO ESCORREGADEIRA” estão definidos na Tabela 68.

Tabela 68 – Variação do Fator do Desempenho – Evac Emerg Asa

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA EM CIMA DA ASA - TAREFAS - 3, 5 e 7			
ERRO HUM OCORREU	FATOR DESEMPENHO	VARIAÇÃO	CAMINHO CRÍTICO
ERRO HUM 3	SITUACIONAL	N/A	ESCORREGAR, HABILIDADE FÍSICA
	INDIVIDUAL	CONDIÇÃO FÍSICA 100%	ESCORREGAR
ERRO HUM2	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 67%	TOMADA DECISÃO
	SITUACIONAL	MARCA ASA 89%	LOCALIZAR SAÍDA ASA, PERCEPÇÃO FORA
	SITUACIONAL	ILUMINAÇÃO ESCORREGADEIRA 60%	
	SITUACIONAL	CARTÃO 140%	LOCALIZAR SAÍDA ASA, INTERPRETAÇÃO
	SITUACIONAL	CRITICIDADE CARTÃO 70%	
ERRO HUM 1	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 67%	LOCALIZAR SAÍDA, INTERPRETAÇÃO
	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 67%	
	INDIVIDUAL	CONHECIMENTO 67%	SEGUIR SINAIS, INTERPRETAÇÃO

A Tabela 68 indica o resultado da análise completa das causas do Erro Humano no evento Evacuação de Emergência em cima da Asa, e uma atenção no desenvolvimento de projeto do Cartão de Segurança, Marcas na asa, Iluminação na Escorregadeiras devem ser avaliados, porém não se pode deixar de considerar que o

fator individual Conhecimento apresenta influência tanto no Erro Humano 2 quanto no Erro Humano 1. Este fator individual é influenciado pelo fator organizacional Demonstração, um ponto a ser avaliado na conclusão deste trabalho.

Para concluir a análise de resultados do Erro Humano na tarefa Evacuação de Emergência em cima da Asa, a análise dos efeitos dos fatores individuais, fatores situacionais de projeto e habilidades nos Erros Humanos também é um meio de avaliar as influências. A seção a seguir identificará quais fatores do desempenho humano têm mais efeitos no Erro Humano na execução desta tarefa.

5.4.4 Análise dos Efeitos nos Erros Humanos 1, 2 e 3

A análise dos efeitos dos fatores individuais, situacionais de projetos e habilidades pode identificar fatores que a análise causal não identificou, bem como confirmar o resultado da análise causal. A Tabela 69 apresenta o resultado da análise dos efeitos nos Erros Humanos 1, 2 e 3 da tarefa Evacuação de Emergência em cima da Asa.

Ao assumir que cada fator individual, situacional de projeto e habilidade, da rede bayesiana da Figura 66, apresentam 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se os seus maiores efeitos nas variações de probabilidade de ocorrência no estado “SIM” nos Erros Humanos 1, 2 e 3 conforme a Tabela 69.

Tabela 69 - Variação Erros Humanos 1/2/3 - Evac Emerg Saída cima da Asa

ANÁLISE DO EFEITO	FATOR INDIVIDUAL		NERVOSISMO 100% INADEQUADO	CONHECIMENTO 100% INADEQUADO	PREOCUPAÇÃO 100% SIM		SEGUIR OS OUTROS 100% INADEQUADA	CONDIÇÃO FÍSICA ESCORREGAR 100% INADEQUADA		
	ERRO HUMANO 1	Δ% SIM (48-47)/47=4%	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (50-47)/47=6%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (45-45)/45=0%	Δ% SIM (48-46)/46=2%		
	ERRO HUMANO 2	Δ% SIM (45-45)/45=0%	Δ% SIM (49-45)/45=9%	Δ% SIM (45-45)/45=0%	Δ% SIM (46-45)/45=2%	Δ% SIM (45-45)/45=0%	Δ% SIM (45-45)/45=0%	Δ% SIM (48-46)/46=2%		
	ERRO HUMANO 3	Δ% SIM (47-46)/46=2%	Δ% SIM (51-46)/46=9%	Δ% SIM (47-46)/46=2%	Δ% SIM (46-46)/46=0%	Δ% SIM (48-46)/46=2%	Δ% SIM (48-46)/46=2%	Δ% SIM (48-46)/46=2%		
	HABILIDADE		ATENÇÃO 100% INADEQUADA	PERCEPÇÃO DENTRO 100% INADEQUADA	PERCEPÇÃO FORA 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO CARTÃO 100% INADEQUADA	LIDERANÇA 100% INADEQUADA	TOMADA DE DECISÃO 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA 100% INADEQUADA	
	ERRO HUMANO 1	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (54-47)/47=15%	Δ% SIM (52-47)/47=11%	Δ% SIM (51-47)/47=11%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	
	ERRO HUMANO 2	Δ% SIM (47-45)/45=4%	Δ% SIM (46-45)/45=2%	Δ% SIM (50-45)/45=15%	Δ% SIM (56-45)/45=25%	Δ% SIM (46-45)/45=2%	Δ% SIM (46-45)/45=2%	Δ% SIM (45-45)/45=0%	Δ% SIM (45-45)/45=0%	
	ERRO HUMANO 3	Δ% SIM (47-46)/46=2%	Δ% SIM (47-46)/46=2%	Δ% SIM (48-46)/46=4%	Δ% SIM (50-46)/46=9%	Δ% SIM (47-46)/46=2%	Δ% SIM (53-46)/46=15%	Δ% SIM (52-46)/46=13%	Δ% SIM (52-46)/46=13%	
	FATOR SITUACIONAL DE PROJETO		CARTÃO 100% INADEQUADO	CRITIC CARTÃO 100% INADEQUADO	MARCAS NA ASA 100% INADEQUADO	SINAIS INTERNOS 100% INADEQUADO	ILUMINAÇÃO 100% ESCORREGADEIRA INADEQUADO	ESCORREGADEIRA 100% INADEQUADA		
	ERRO HUMANO 1	Δ% SIM (50-47)/47=6%	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (48-47)/47=2%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	Δ% SIM (47-47)/47=0%	
	ERRO HUMANO 2	Δ% SIM (50-45)/45=11%	Δ% SIM (47-45)/45=2%	Δ% SIM (47-45)/45=2%	Δ% SIM (45-45)/45=0%	Δ% SIM (46-45)/45=2%	Δ% SIM (45-45)/45=0%	Δ% SIM (45-45)/45=0%	Δ% SIM (45-45)/45=0%	
	ERRO HUMANO 3	Δ% SIM (48-46)/46=2%	Δ% SIM (47-46)/46=2%	Δ% SIM (47-46)/46=2%	Δ% SIM (46-46)/46=0%	Δ% SIM (47-46)/46=2%	Δ% SIM (46-46)/46=0%	Δ% SIM (46-46)/46=0%	Δ% SIM (46-46)/46=0%	

Ao considerar cada fator individual com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “Conhecimento”, apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 1, 2 e 3, em 11%, 9% e 9% respectivamente.

Ao considerar cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que “Interpretação do Cartão”, apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 1, em 15% e no Erro Humano 2 em 25%.

Continuando a análise do efeito de cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que “Tomada de Decisão” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano 2 em 15%.

Ao considerar cada fator situacional de projeto com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “Cartão” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” no Erro Humano 1 e 2 em 6% e 11% respectivamente.

Tanto a análise causal quanto a de efeito, revelaram que o fator situacional de projeto, “CARTÃO” apresenta a maior contribuição para a ocorrência do Erro Humano 1 e 2 (Localizar Saída e Seguir Sinais Internos e Localizar Saída na Asa) também é o

que causa o maior efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” no Erro Humano 1 e 2 na Evacuação de Emergência em cima da Asa.

A análise causal do Erro Humano e a análise do efeito dos fatores de desempenho no Erro Humano no procedimento de Evacuação de Emergência de uma Aeronave, continua com a tarefa de Abertura da Porta Principal, Evacuação pela Saída Dianteira, Evacuação pela Saída Traseira, Evacuação pela Saída em cima da Asa e Evacuação Completa.

A análise causal do procedimento de evacuação de uma aeronave continua com a tarefa evacuação completa, a qual integra todas as redes bayesianas já analisadas.

5.5 ANÁLISE DA TAREFA COMPLETA DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

A Tarefa Completa de Evacuação de Emergência reúne as tarefas de Abertura das Portas Principal Dianteira e Traseira, Abertura das Portas de Emergência em cima da Asa, Evacuação pelas saídas dianteiras, traseira e em cima da asa, seguir os sinais em cima da asa e escorregar até o solo.

A Tarefa Completa de Evacuação de Emergência representada pela rede Bayesiana na Figura 74, resulta nas probabilidades do Erro Humano, $P(E_{hec1}) \text{ NÃO} = 0,51$ e $P(E_{hec2}) \text{ SIM} = 0,49$.

Através da análise causal do Erro Humano, é possível encontrar quais fatores situacionais de projeto que mais influenciaram o Erro Humano no procedimento Completo da Evacuação de Emergência de uma Aeronave.

5.5.1 Análise Causal do Erro Humano

A análise causal começa considerando que o Erro Humano da Evacuação Completa (E_{hec2}) ocorreu, o que implica assumir a probabilidade de ocorrência do estado “SIM”, igual a 100%; observa-se que o Erro Humano da Evcompleta Asa (Evacuação Completa pela ASA) apresentou a maior variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” em 49%, conforme mostra a Figura 96.

Figura 96 – Análise Causal Erro Humano – Evacuação Completa

O Erro humano da tarefa Evacuação Completa pela Asa reúne as influências dos Erros Humanos da Evacuação pela Asa, e de Localizar Saída na Asa e a atividade Escorregar pela Asa.

Continuando a análise causal do Erro Humano da Evacuação de Emergência Completa, considera-se que o Erro Humano na Evacuação Completa pela Asa (EVcompASA) ocorreu, o que implica assumir que a probabilidade de ocorrência do estado EHeac2SIM, igual a 100%; observa-se que o Erro Humano da Evasa (Evacuação pela asa), apresentou a maior variação da probabilidade de ocorrência do estado EHea2SIM em 33%, conforme Figura 96.

O Erro Humano da tarefa Evacuação pela Asa (Evasa) reúne os Erros Humanos da Abertura da Porta na Asa (Apa) e o de Localizar e Seguir os Sinais Internos (LOCsegSINAISint), conforme a Figura 97.

Figura 97 - Análise Causal Erro Humano – Evac Completa Asa

Considerando que o Erro Humano da Evacuação pela Asa (EHea) ocorreu, o que implica em assumir que a probabilidade de ocorrência do estado é EHea2SIM, como sendo igual a 100%, observa-se que o Erro Humano em Localizar e Seguir Sinais Internos (LOCsegSINAISint) apresentou a maior variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM”, em 30%.

Considerando que o Erro Humano em Localizar e Seguir Sinais internos ocorreu o que implica assumir que a probabilidade de ocorrência do estado EH12YES igual a 100%, e considerando a análise realizada na seção 5.4, observa-se que o fator situacional de projeto, “CARTÃO” como o que mais influenciou o Erro Humano de Localizar e Seguir Sinais Internos, com a maior variação da probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADO”, em 140% conforme apresentado na Figura 97.

Ao considerar que o Erro Humano em Localizar Saída na Asa (LOCsaídaASA) ocorreu, o que implica assumir que a probabilidade de ocorrência do estado “EH12sim” igual a 100%, e considerando a análise realizada na seção 5.4, observa-se que o fator situacional de projeto “CARTÃO” e “MARCAS na ASA” como os que mais influenciaram o Erro Humano de Localizar Saída na Asa conforme apresentada na Figura 98.

Figura 98 – Análise Causal Erro Humano – Evac Compl Asa – Loc Saída Asa

Portanto, podemos concluir que o Cartão de Segurança com as instruções de Localizar Sinais Internos e Marcas na Asa foram um dos fatores situacionais de projeto que mais influenciaram o Erro Humano no procedimento Completo da Evacuação de Emergência de uma aeronave.

Com o propósito de identificar também quais fatores situacionais de projeto influenciaram as tarefas de Evacuação Completa pela Dianteira e Traseira da aeronave, a análise causal continua ao considerar que o Erro Humano ocorreu na tarefa da Evacuação Completa pela Dianteira e Traseira, o que implica em assumir que as probabilidades de ocorrência dos estados “EHedc2” e “EHetc2” igual a 100%; observa-se que a atividade “ESCORREGAR” apresentou a maior variação na probabilidade de ocorrência do estado “INADEQUADA” em 36% para ambos os eventos, conforme a Figura 99.

Considerando que a atividade “Escorregar” apresenta 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, e considerando a análise realizada na seção 5.4, observa-se que o fator situacional de projeto “ESCORREGADEIRA” como um dos fatores que mais influenciaram a atividade “ESCORREGAR”, com a variação da probabilidade de ocorrência do estado “ADEQUADA, em 100%, conforme apresentado na Figura 99.

Análise da Confiabilidade Humana na Evacuação de Emergência de uma Aeronave

Figura 100 – Análise Causal Completa Erro Humano – Evac Emerg Completa

A Figura 100 apresenta o início dos três caminhos críticos das causas do Erro Humano, cujas análises causais estão apresentadas nas Figura 97, Figura 98 e Figura 99.

Cada um dos três caminhos crítico é constituído pelo: Erro Humano na execução da tarefa de evacuação por uma das três saídas que resulta no Erro Humano em “LOCALIZAR E SEGUIR SINAIS INTERNOS” e “ESCORREGAR”.

Ao continuar a análise causal do erro humano Localizar e Seguir Sinais Internos e Escorregar, é possível encontrar os fatores situacionais de projeto que mais influenciaram o procedimento de Evacuação de Emergência Completa de uma Aeronave; a Figura 101 apresenta a análise completa.

O caminho crítico 1 é o que mais influenciou o procedimento de Evacuação de Emergência Completa.

A análise causal do Erro Humano se inicia pelo procedimento de Evacuação pela Saída na Asa e termina no Cartão de Segurança e Marcas na Asa

O segundo e terceiro caminhos críticos que mais influenciaram o procedimento de Evacuação de Emergência Completa, foram os procedimentos de Evacuação de Emergência Completo pela Saída Dianteira e Traseira, cuja análise causal do Erro Humano finaliza na Escorregadeira.

A análise causal completa dos Erros Humanos da Figura 101 resultou nos fatores situacional de projeto e nos seus respectivos caminhos críticos que podem ser observados na Tabela 70.

Tabela 70 – Variação do Fator de Desempenho da Evac Emerg Completa			
ERRO HUMANO OCORREU NA EVACUAÇÃO COMPLETA			
ERRO HUMANO	VARIAÇÃO DO ERRO HUMANO	VARIAÇÃO FATOR SITUACIONAL	CAMINHO CRÍTICO
EVACUAÇÃO COMPLETA ASA	50%	MARCAS NA ASA 89% CARTÃO 140%	LOCALIZAR SAÍDA ASA, PERCEPÇÃO FORA, LOCALIZAR E SEGUIR SINAIS INTERNOS, INTERPRETAÇÃO
EVACUAÇÃO COMPLETA TRASEIRA	17%	ESCORREGADEIRA 100%	ESCORREGAR, HABILIDADE FÍSICA
EVACUAÇÃO COMPLETA DIANTEIRA	16%	ESCORREGADEIRA 100%	ESCORREGAR, HABILIDADE FÍSICA

A Tabela 70 apresenta, de forma resumida, a análise causal do Erro Humano na Evacuação Completa, e destacam-se os fatores situacionais de projeto que mais influenciaram o Erro Humano no procedimento de Evacuação de Emergência de uma Aeronave, portanto se faz necessária uma reavaliação inicialmente no desenvolvimento de projeto do Cartão de Segurança, Escorregadeira para indicar a rota de saída até a escorregadeira.

5.5.2 Análise dos Efeitos no Erro Humano

A análise dos efeitos dos fatores individuais, situacionais de projetos e habilidades podem identificar fatores de desempenho os quais a análise causal não identificou, bem como confirmar o resultado da análise causal.

Para obter uma análise completa dos efeitos dos fatores individuais, situacionais de projetos e habilidades no Erro Humano da Evacuação de Emergência Completa incorporou-se na rede bayesianas da Figura 101 as redes bayesianas dos Erros Humanos das tarefas: das Aberturas das Portas de Emergência e Principal, das Evacuações pelas Saídas Dianteira e Traseira com o objetivo de identificar os efeitos dos fatores individuais, situacionais de projetos e habilidades de todas estas tarefas no Erro Humano na Evacuação de Emergência Completa.

A Figura 102 abaixo apresenta o resultado da incorporação das redes Bayesianas mencionadas acima.

Figura 102 - Análise de Efeito Completo Erro Humano – Evac Emerg

Ao assumir que cada fator individual, situacional de projeto e habilidade, da rede bayesiana da Figura 102, apresentem 100% de chance de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se os seus maiores efeitos nas variações de probabilidade de ocorrência no estado “SIM” no Erro Humano da Evacuação Completa.

A Tabela 71 apresenta os maiores efeitos dos fatores individuais, habilidades e situacional de projeto da tarefa Evacuação em cima da Asa nos Erros Humanos no procedimento de Evacuação Completa da Aeronave.

Tabela 71 - Variação Erros Humanos - Evac em cima da Asa

FATOR INDIVIDUAL	NERVOSISMO 100% INADEQUADO	CONHECIMENTO 100% INADEQUADO					
			PREOCUPAÇÃO 100% SIM	SEGUIR OS OUTROS 100% INADEQUADA	CONDIÇÃO FÍSICA ESCORREGAR 100% INADEQUADA		
ERRO HUMANO EVACUAR ASA	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (55-54)/54=2%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%		
ERRO HUMANO EVACUAR ASA COMPLETA	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (52-48)/48=8%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%		
ERRO HUMANO EVACUAR COMPLETA	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (50-49)/49=2%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%		
HABILIDADE	ATENÇÃO 100% INADEQUADA	PERCEPÇÃO DENTRO 100% INADEQUADA	PERCEPÇÃO FORA 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO CARTÃO 100% INADEQUADA	LIDERANÇA 100% INADEQUADA	TOMADA DE DECISÃO 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA 100% INADEQUADA
ERRO HUMANO EVACUAR ASA	$\Delta\%$ SIM (55-54)/54=2%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (55-54)/54=2%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (56-54)/54=4%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (55-54)/54=4%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (55-54)/54=4%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%
ERRO HUMANO EVACUAR ASA COMPLETA	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (51-48)/48=6%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (54-48)/48=12%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (52-48)/48=8%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (51-48)/48=6%
ERRO HUMANO EVACUAR COMPLETA	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (50-49)/49=2%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (51-49)/49=4%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (51-49)/49=4%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (50-49)/49=2%
FATOR SITUACIONAL DE PROJETO	CARTÃO 100% INADEQUADO	CRITIC CARTÃO 100% INADEQUADO	MARCAS NA ASA 100% INADEQUADO	SINAIS INTERNOS 100% INADEQUADO	ILUMINAÇÃO ESCORREGADEIRA 100%	ESCORREGADEIRA 100% INADEQUADA	
ERRO HUMANO EVACUAR ASA	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (55-54)/54=2%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	$\Delta\%$ SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	
ERRO HUMANO EVACUAR ASA COMPLETA	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (51-48)/48=6%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (50-48)/48=4%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	$\Delta\%$ SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	
ERRO HUMANO EVACUAR COMPLETA	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (50-49)/49=2%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	$\Delta\%$ SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	

Ao considerar cada fator individual com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “Conhecimento”, apresentou o maior efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” dos Erros Humanos na Evacuação em cima da Asa (Localizar e seguir sinais internos na direção da porta de emergência) em 2%, na Evacuação em cima da Asa Completa (Localizar e seguir sinais internos em direção da porta de emergência, seguir os sinais em cima da asa e escorregar) em 8%, e nos Erros Humanos na Evacuação Completa (Evacuar pelas Sidas Dianteira, Traseira e em cima da Asa) em 2%.

Ao considerar cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que “Interpretação” apresentou o maior efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Evacuação em cima da Asa Completa em 12%, e em 4% no Erro Humano de Evacuação Completa.

As habilidades “Liderança” e “Tomada de Decisão” com a chance de 100% nos seus estados “INADEQUADA” apresentaram o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Evacuação em cima da Asa Completa ambas em 4%.

Ao considerar cada fator situacional de projeto com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “CARTÃO” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Evacuação Completa em cima da Asa em 6%, e 2% no Erro Humano de Evacuar Completo.

A Tabela 72 apresenta os maiores efeitos dos fatores individuais, habilidades e situacional de projeto da tarefa Abertura das Portas de Emergência nos Erros Humanos na: Abertura da Porta de Emergência, Evacuação em cima da Asa, (Localizar e seguir sinais internos até a porta de emergência), Evacuação em cima da Asa Completa (Localizar e seguir sinais internos até a porta de emergência, abrir a porta seguir os sinais em cima da asa e escorregar) e Evacuação Completa da Aeronave.

Tabela 72 - Variação Erros Humanos - Abertura da Porta de Emerg

FATOR INDIVIDUAL	NERVOSISMO	CONHECIMENTO	PREOCUPAÇÃO	CONDIÇÃO FÍSICA	CONDIÇÃO FÍSICA	
	100% INADEQUADO	100% INADEQUADO	100% SIM	TAMPA 100% INADEQUADA	ALAVANCA 100% INADEQUADA	
ERRO HUMANO ABERTURA PORTA EMERG	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	
ERRO HUMANO EVACUAR ASA	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	
ERRO HUMANO EVACUAR ASA COMPLETA	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	
ERRO HUMANO EVACUAR COMPLETA	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	
HABILIDADE	ATENÇÃO 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO CARTÃO 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO PLACAR 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA TAMPA 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA ALAVANCA 100% INADEQUADA	TOMADA DE DECISÃO 100% INADEQUADA
ERRO HUMANO ABERTURA PORTA EMERG	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (66-65)/65=2%	Δ% SIM (EHpa2) (67-65)/65=3%
ERRO HUMANO EVACUAR ASA	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%
ERRO HUMANO EVACUAR ASA COMPLETA	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	Δ% SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%
ERRO HUMANO EVACUAR COMPLETA	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%
FATOR SITUACIONAL DE PROJETO	CARTÃO 100% INADEQUADO	ILUMINAÇÃO NO CARTÃO 100% INADEQUADO	PLACAR 100% INADEQUADO	ILUMINAÇÃO NO PLACAR 100% INADEQUADO	TAMPA 100% INADEQUADA	ALAVANCA 100% INADEQUADA
ERRO HUMANO ABERTURA PORTA EMERG	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (66-65)/65=2%	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHpa2) (66-65)/65=2%
ERRO HUMANO EVACUAR ASA	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHea2) (54-54)/54=0%
ERRO HUMANO EVACUAR ASA COMPLETA	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHeac2) (49-48)/48=2%
ERRO HUMANO EVACUAR COMPLETA	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%

Ao considerar que cada fator individual com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, nenhum fator individual apresentou algum efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” dos Erros Humanos nas Aberturas das Portas de Emergência, na Evacuação em cima da Asa (Localizar e seguir sinais na direção da porta de emergência), na Evacuação em cima da Asa Completa (Localizar e seguir sinais internos na direção da Porta de Emergência, seguir sinais em cima da Asa e escorregar) e na Evacuação Completa (Evacuar pelas Sidas Dianteira, Traseira e em cima da Asa).

Ao considerar que cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que “Tomada de Decisão” apresentou o maior efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” dos Erros Humanos nas Aberturas das Portas de Emergência em 3%, e em 2% no Erro Humano na

Evacuação em cima da Asa Completa, e nenhuma variação no Erro Humano na Evacuação Completa.

Ao considerar que cada fator situacional de projeto com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “PLACAR” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Abertura das Portas de Emergência em 2%, e 2% no Erro Humano na Evacuação em cima da Asa Completa, e nenhuma variação no Erro Humano na Evacuação Completa.

Observa-se também que “ALAVANCA” apresentou o mesmo efeito que o do “PLACAR”, isto é apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Abertura das Portas de Emergência em 2%, e 2% no Erro Humano na Evacuação em cima da Asa Completa, e nenhuma variação no Erro Humano na Evacuação Completa.

As análises de efeitos da tarefa Evacuação em cima da Asa com a junção da tarefa Abertura da Porta de Emergência mostra que, tanto a análise causal quanto a análise de efeito, revelaram que o fator situacional de projeto, “CARTÃO” apresenta a maior contribuição para a ocorrência do Erro Humano na Evacuação em cima da Asa Completa, e também é o que mais causa maior efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” no Erro Humano na Evacuação Completa em cima da Asa.

As análises do efeitos dos fatores individuais, habilidades e situacional de projeto no Erro Humano na Evacuação Completa de Emergência revela outras influências que não foram reveladas na análise causal, observa-se que o fator individual “Conhecimento” surge com um considerável efeito no Erro Humano na Evacuação de Emergência Completa, o mesmo observa-se na habilidade “Interpretação”, “Liderança” e “Tomada de Decisão”.

Outro ponto relevante na análise de efeito é que com a Junção da rede bayesiana da Abertura das Portas de Emergência, o fator situacional de projeto “Placar” e “Alavanca” causam maior efeito no Erro Humano na Evacuação de Emergência Completa, o se qual nota na Tabela 72.

A Tabela 73 apresenta os maiores efeitos dos fatores individuais, habilidades e situacional de projeto das tarefas Evacuação pela Saída Dianteira e Traseira nos Erros Humanos no procedimento de Evacuação Completa da Aeronave.

Tabela 73 - Variação Erros Humanos - Evac Saídas Dianteira e Traseira

ANÁLISE DO EFEITO	FATOR INDIVIDUAL	NERVOSISMO 100% INADEQUADO	CONHECIMENTO 100% INADEQUADO	PREOCUPAÇÃO 100% SIM	SEGUIR OS OUTROS 100% INADEQUADA	CONDIÇÃO FÍSICA ESCORREGAR 100% INADEQUADA
	ERRO HUMANO EVACUAÇÃO (DIANT e TRAS)	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (56-54)/54=4%	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHed2) (55-54)/54=2% Δ% SIM (EHet2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (54-54)/54=0%
	ERRO HUMANO EVAC COMPLETA (DIANT e TRAS)	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (50-49)/49=2%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (53-49)/49=8%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (50-49)/49=2%
	ERRO HUMANO EVAC COMPLETA	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%
	HABILIDADE	ATENÇÃO 100% INADEQUADA	PERCEPÇÃO DENTRO 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO CARTÃO 100% INADEQUADA	LIDERANÇA 100% INADEQUADA	TOMADA DE DECISÃO 100% INADEQUADA
	ERRO HUMANO EVACUAÇÃO (DIANT e TRAS)	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (55-54)/54=2%	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (55-54)/54=2%	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (56-54)/54=4%	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (55-54)/54=2%	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (55-54)/54=0%
	ERRO HUMANO EVAC COMPLETA (DIANT e TRAS)	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (51-49)/49=4%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (50-49)/49=2%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (56-49)/49=14%
	ERRO HUMANO EVAC COMPLETA	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (50-49)/49=2%
	FATOR SITUACIONAL DE PROJETO	CARTÃO 100% INADEQUADO	CRÍTIC CARTÃO 100% INADEQUADO	SINAIS INTERNOS 100% INADEQUADO	ESCORREGAD BBA 100% INADEQUADA	
	ERRO HUMANO EVACUAÇÃO (DIANT e TRAS)	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (55-54)/54=2%	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHed2) Δ% SIM (EHet2) (54-54)/54=0%	
	ERRO HUMANO EVAC COMPLETA (DIANT e TRAS)	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (51-49)/49=4% (50-49)/49=2%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) Δ% SIM (EHetc2) (50-49)/49=2%	
	ERRO HUMANO EVAC COMPLETA	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	

Ao considerar que cada fator individual com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “Conhecimento”, apresentou o maior efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” dos Erros Humanos na Evacuação pelas Saídas Dianteira e Traseira (Localizar e seguir sinais internos na direção da porta principal) em 4%, na Evacuação pelas Saídas das Dianteira e Traseira Completa (Localizar e seguir sinais internos em direção da Porta Principal e escorregar) em 8%, e nenhum efeito no Erro Humano na Evacuação Completa (Evacuar pelas Saidas Dianteira, Traseira e em cima da Asa).

Ao considerar que cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que “Atenção” apresentou o maior efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Evacuação pelas Saídas das Dianteira e Traseira Completa em 4%, e nenhum efeito no Erro Humano de Evacuação Completa.

Observa-se também que habilidade “Liderança” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Evacuação pelas Saídas das Dianteira e Traseira em 2%.

Observa-se também que a habilidade “Tomada de Decisão” com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Evacuação pelas Saídas das Dianteira e Traseira Completa em 14%, e 2% no Erro Humano de Evacuação Completa.

E por fim observa-se que a habilidade “Habilidade Física” com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Evacuação pelas Saídas das Dianteira e Traseira Completa em 12%, e 2% no Erro Humano de Evacuação Completa.

Ao considerar que cada fator situacional de projeto com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “CARTÃO” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Evacuação pelas Saídas das Dianteira e Traseira em 2%. Observa-se também que “CRITICALIDADE CARTÃO” e ESCORREGADEIRA” apresentaram cada uma o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Evacuação pelas Saídas das Dianteira e Traseira Completa em 2%.

A Tabela 74 apresenta os maiores efeitos dos fatores individuais, habilidades e situacional de projeto da tarefa Abertura da Porta Principal nos Erros Humanos na: Abertura da porta Principal, Evacuação pelas Saídas Dianteiras e Traseiras (Localizar e seguir sinais internos até a porta principal), Evacuação Completa pelas Saídas Dianteiras e Traseiras (Localizar e seguir sinais internos até a porta principal, abrir a porta e escorregar) e Evacuação Completa da Aeronave (Evacuações completas pelas saídas Dianteiras e Traseiras e em cima da Asa).

Tabela 74 - Variação Erros Humanos - Abertura da Porta Principal

ANÁLISE DO EFEITO

FATOR INDIVIDUAL	NERVOSISMO 100% INADEQUADO	CONHECIMENTO 100% INADEQUADO	PREOCUPAÇÃO 100% SIM	CONDIÇÃO FÍSICA PORTA 100% INADEQUADA	CONDIÇÃO FÍSICA ALAVANCA 100% INADEQUADA	
ERRO HUMANO ABERTURA PORTA PRINCIPAL (DIANTE e TRAS)	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	
ERRO HUMANO EVACUAÇÃO (DIANTE e TRAS)	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	
ERRO HUMANO EVAC COMPLETA (DIANTE e TRAS)	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	
	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	
ERRO HUMANO EVAC COMPLETA	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHec2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHec2) (48-48)/48=0%	
HABILIDADE	ATENÇÃO 100% INADEQUADA	INTERPRETAÇÃO DO PLACAR 100% INADEQUADA	TOMADA DECISÃO ALAVANCA 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA PORTA 100% INADEQUADA	HABILIDADE FÍSICA ALAVANCA 100% INADEQUADA	TOMADA DE DECISÃO PORTA 100% INADEQUADA
ERRO HUMANO ABERTURA PORTA PRINCIPAL (DIANTE e TRAS)	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (66-65)/65=2%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%
ERRO HUMANO EVACUAÇÃO (DIANTE e TRAS)	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%
ERRO HUMANO EVAC COMPLETA (DIANTE e TRAS)	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%
	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHetc2) (49-48)/48=2%	Δ% SIM (EHetc2) (49-48)/48=2%	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%
ERRO HUMANO EVAC COMPLETA	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%
FATOR SITUACIONAL DE PROJETO	CRITICIDADE PLACAR 100% INADEQUADO	PLACAR 100% INADEQUADO	SETA 100% INADEQUADO	PORTA 100% INADEQUADO	ALAVANCA 100% INADEQUADA	
ERRO HUMANO ABERTURA PORTA PRINCIPAL	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (66-65)/65=2%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	Δ% SIM (EHp2) (65-65)/65=0%	
ERRO HUMANO EVACUAÇÃO (DIANTE e TRAS)	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	Δ% SIM (EHe2) (54-54)/54=0%	
ERRO HUMANO EVAC COMPLETA (DIANTE e TRAS)	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHedc2) (49-49)/49=0%	
	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHetc2) (49-48)/48=2%	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	Δ% SIM (EHetc2) (48-48)/48=0%	
ERRO HUMANO EVAC COMPLETA	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	Δ% SIM (EHec2) (49-49)/49=0%	

Ao considerar cada fator individual com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, nenhum fator individual apresentou algum efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” dos Erros Humanos nas Aberturas das Portas de Principal, na Evacuação Dianteira e Traseira (Localizar e seguir sinais na direção das portas principal), na Evacuação Dianteira e Traseira Completa (Localizar e seguir sinais na direção das porta principal e escorregar) e na Evacuação Completa (Evacuar pelas Sidas Dianteira, Traseira e em cima da Asa).

Ao considerar que cada habilidade com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADA”, observa-se que “Habilidade Física” apresentou o maior efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” dos Erros Humanos nas

Aberturas das Portas Principal em 2%, e em 2% no Erro Humano na Evacuação pelas saídas Dianteiras e Traseiras Completa (Localizar e seguir sinais internos em direção as portas principal dianteira e traseira), e nenhuma variação no Erro Humano na Evacuação Completa.

Ao considerar que cada fator situacional de projeto com a chance de 100% de estar no seu estado “INADEQUADO”, observa-se que “PLACAR” apresentou o efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” do Erro Humano na Abertura das Portas Principal em 2%, e 2% no Erro Humano na Evacuação pelas Saídas Dianteira e Traseira Completa, e nenhuma variação no Erro Humano na Evacuação Completa.

As análises de efeitos das tarefas Evacuação pela Saída Dianteira e Traseira com a junção da tarefa Abertura da Porta Principal mostra que, tanto a análise causal quanta a análise de efeito, revelaram que os fator situacional de projeto, “ESCORREGADEIRA” apresenta a maior contribuição para a ocorrência do Erro Humano nas Evacuações pelas Saídas Dianteiras e Traseiras Completa, e também é o que mais causa maior efeito na variação da probabilidade de ocorrência do estado “SIM” no Erro Humano na Evacuação Completa em cima da Asa.

As análises de efeitos acrescenta também que o fator situacional “CARTÃO” e “CRITICALIDADE DO CARTÃO” causam efeitos na variação das probabilidade de ocorrência no estado “SIM” dos Erros Humanos Evacuações Completa pelas Saídas Dianteiras e Traseiras.

As análises de efeitos dos fatores individuais, habilidades e situacional de projeto no Erro Humano nas Evacuações Completa pelas Saídas Dianteiras e Traseiras revelam outras influências que não foram reveladas na análise causal, observa-se que o fator individual “Conhecimento” surge com um considerável efeito no Erro Humano na Evacuação Completa pelas Sidas Dianteiras e Traseiras, o mesmo observa-se nas habilidades “Liderança”, “Tomada de Decisão” e “Habilidade Física de Escorregar”.

Outro ponto relevante na análise de efeito é que com a junção da rede Bayesiana da Abertura das Portas Principal, o fator situacional de projeto “Placar”, causa maior efeito no Erro Humano na Evacuação de Emergência Completa, conforme Tabela 74.

O Capítulo 5 propos analisar as causas e os efeitos dos Erros Humanos nos eventos de Aberturas das Portas de Emergência e Principal, na Evacuação pelas

Saídas Dianteira, Traseira e em cima da Asa e na Evacuação de Emergência Completa.

Cada análise da causa do Erro humano e cada análise de efeito no Erro Humano indicaram os fatores situacionais de projeto que mais contribuíram com o Erro Humano naquele evento, logo recomenda-se também uma reavaliação no desenvolvimento de cada fator situacional de projeto destes eventos conforme apresentados nas Tabela 60, Tabela 62, Tabela 64, Tabela 65 e Tabela 68

A Tabela 75 reúne os resultados das análises causal e os resultados da análises de efeito de cada tarefa e apresenta de forma resumida os fatores individuais, habilidades e fatores situacionais de projeto que mais contribuíram para a ocorrência do Erro Humano em cada um dos eventos estudados neste trabalho.

Tabela 75 - Resultado Análise Causal/Efeito de cada Evento

EVENTO	RESULTADO DA ANÁLISE CAUSAL			RESULTADO DA ANÁLISE DE EFEITO		
	FATORES INDIVIDUAIS	HABILIDADES	FATORES SITUACIONAL DE PROJETO	FATORES INDIVIDUAIS	HABILIDADES	FATORES SITUACIONAL DE PROJETO
ERRO NA ABERTURA DA PORTA DE EMERGÊNCIA	Preocupação Nervosismo	Tomada de Decisão Atenção	Placar da Porta	Condições Físicas	Habilidade Física Tomada de Decisão	Placar da Porta
ERRO NA EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA	Condição Física Conhecimento	Habilidade Física Tomada de Decisão Percepção fora Interpretação	Marcas na Asa Iluminação na Escorregadeira Cartão	Conhecimento	Interpretação Tomada de Decisão Liderança Habilidade Física	Cartão
ERRO NA ABERTURA DA PORTA PRINCIPAL	Nervosismo	Tomada de Decisão Atenção Habilidade Física	Placar da Porta Seta Vermelha	Conhecimento	Tomada de Decisão Atenção	Placar da Porta
ERRO NA EVACUAÇÃO PELA DIANTEIRA	Condição Física, Conhecimento Seguir os Outros	Habilidade Física, Tomada de Decisão Interpretação Atenção Liderança	Escorregadeira Cartão	Conhecimento	Habilidade Física Tomada de Decisão Atenção Interpretação	Cartão
ERRO NA EVACUAÇÃO PELA TRASEIRA	Condição Física, Conhecimento Seguir os Outros	Habilidade Física Tomada de Decisão Interpretação Atenção Liderança	Escorregadeira Cartão	Conhecimento	Interpretação, Tomada de Decisão e Habilidade Física	Cartão Sinais Internos

Ao integrar todas as redes bayesianas de todos os eventos conforme a seção 4.1.5 podemos entender quais destes eventos mais contribuíram para o Erro Humano no procedimento completo de Evacuação de Emergência de uma aeronave.

A Tabela 76 abaixo apresenta a análise causal do Erro Humano, e a análise de efeito no Humano no procedimento de Evacuação de Emergência Completa.

Tabela 76 - Resultado Análise Causal/Efeito - Evento Compl Evac Emerg

EVENTO	RESULTADO ANÁLISE CAUSAL			RESULTADO DA ANÁLISE DE EFEITO		
	FATORES INDIVIDUAIS	HABILIDADES	FATORES SITUACIONAL DE PROJETO	FATORES INDIVIDUAIS	HABILIDADES	FATORES SITUACIONAL DE PROJETO
EVACUAÇÃO COMPLETA	Nenhum	Interpretação, Habilidade Física	Cartão Marcas na Asa Escorregadeira	Conhecimento	Interpretação Habilidade Física Tomada Decisão	Cartão Placar

5.6 COMENTÁRIOS GERAIS

A análise causal do erro humano e a análise de efeito dos fatores individuais, habilidades e fatores situacional de projeto no erro humano na rede bayesiana do evento “Evacuação pela saída dianteira e traseira” identificaram inicialmente as escorregadeiras e depois o cartão de segurança como fatores situacionais de projeto que mais contribuíram para o erro humano nesta tarefa; logo o desenvolvimento de projeto da escorregadeiras e cartão de segurança devem ser reavaliados para tornar a interpretação mais efetiva.

A análise causal do erro humano e a análise de efeito dos fatores individuais, habilidades e fatores situacional de projeto no erro humano nas redes bayesiana dos eventos “Abertura da Porta Principal” e “Abertura de Porta de Emergência” identificaram o placar da porta como o fator situacional de projeto que mais contribuiu para o erro humano na abertura da porta principal e de emergência e o fator individual conhecimento influenciou na interpretação das instruções neste placar; desta forma o desenvolvimento de projeto destas instruções devem ser avaliados para tornar esta interpretação mais intuitiva.

A análise causal do erro humano e a análise de efeito dos fatores individuais, habilidades e fatores situacional de projeto no erro humano na rede bayesiana do evento “Evacuação em cima da asa” identificaram inicialmente o cartão de segurança e, na sequência, as marcas na asa e iluminação na escorregadeira como os fatores situacional de projeto que mais influenciaram o erro humano nesta tarefa, e, novamente, o fator individual conhecimento aparece como um influenciador na interpretação do cartão de segurança; portanto o desenvolvimento de projeto deve ser avaliado na percepção das marcas sobre as asas e deixar as instruções do cartão de segurança mais amigáveis.

A análise causal do erro humano e a análise de efeito dos fatores individuais, habilidades e fatores situacional de projeto no erro humano na rede bayesiana completa considerou todos as probabilidades dos erros humanos das tarefas:

Evacuação pela saídas dianteiras, traseiras e em cima da asa, aberturas das portas principais dianteira e traseira em ambos os lados da aeronave, e aberturas das portas de emergência em ambos os lados da saída em cima da asa, identificaram os fatores situacional de projeto que mais influenciaram o procedimento do ensaio de evacuação de emergência de uma aeronave foram: cartão de segurança, marcas na asa e escorregadeiras, reforçando a necessidade de uma reavaliação de projetos destes fatores situacionais, e os fatores individuais que mais influenciaram foram conhecimento e as habilidades interpretação e percepção.

A ICAO, 2003 diz que a sobrevivência em um acidente de aeronave depende de múltiplos fatores. Os padrões de certificação, demandam do projeto das aeronaves uma resistência aos impactos para aumentar a capacidade de sobrevivência dos passageiros.

O treinamento em procedimentos de emergência da tripulação aumenta ainda mais a chance de sobrevivência dos tripulantes e passageiros. As taxas de sobrevivência dos passageiros são melhoradas quando eles são informadas sobre o uso correto do equipamento e como devem agir em caso de uma situação de emergência.

Os padrões da ICAO abordam a necessidade de os passageiros receberem informações de segurança a bordo dos aviões. Passageiros bem informados têm mais chances de sobreviver a uma situação de risco de vida que pode ocorrer a bordo de uma aeronave.

Os operadores devem fornecer informações e instruções específicas e precisas aos passageiros, em uma variedade de métodos, para facilitar o entendimento. Esses métodos incluem instruções verbais e informações visuais de segurança, como os cartões informativos de segurança dos passageiros.

Diante dos resultados obtidos no Capítulo 5, é possível estabelecer conclusões importantes para determinar recomendações e sugestões de trabalhos futuros.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A história mostra que houve uma evolução nos projetos de equipamentos ao considerar o fator humano na interface homem-máquina; com a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), os projetos dos veículos militares, aviões e outros equipamentos bélicos, passaram a considerar as limitações humanas para tirar mais proveito das capacidades humanas, especialmente em situações de emergência e pânico (MARTINS et al., 2004).

O desenvolvimento da confiabilidade humana esteve em diversos segmentos (industriais e bélicos); porém, sem dúvida alguma, o setor nuclear foi a grande alavanca na evolução desta ciência.

O acidente de Three Mile Island (TMI), ocorrido em 28 de março de 1979, que resultou no fechamento da Unidade-2, foi um marco na história da Análise da Confiabilidade Humana e na análise da confiabilidade humana como um todo, confirmando os estudos realizados no relatório WASH-1400 (FONSECA, 2004)

Depois deste marco, várias técnicas foram desenvolvidas pela indústria nuclear para a análise da confiabilidade humana, consideradas de 1ª, 2ª e 3ª gerações, cada qual com suas vantagens e desvantagens. Uma das desvantagens da técnicas da 1ª geração é a de não apresentar, de forma direta, a representação das dependências entre os fatores do desempenho humano.

Em paralelo ao desenvolvimento da 3ª geração, surge a abordagem por redes bayesianas a qual passou a ser aplicada para predizer o erro humano. Essa técnica fornece um meio estruturado para que os especialistas considerem a probabilidade de ocorrência do erro humano em um cenário específico considerando a dependência dos fatores influenciadores sobre a falha humana.

O estudo das principais técnicas contribuiu para desenvolver a fase de análise qualitativa da metodologia pela abordagem da RB, ao considerar as influências externas e internas dos fatores de desempenho na execução das tarefas.

Os padrões da ICAO abordam a necessidade dos passageiros receberem informações de segurança a bordo dos aviões. Passageiros bem informados têm mais chances de sobreviver a uma situação de risco de vida que pode ocorrer a bordo de uma aeronave.

Além dos padrões da ICAO, o estudo de caso deste trabalho, que é a análise da confiabilidade humana na evacuação de emergência de um aeronave, evidenciou que para mitigar o erro humano e aumentar a sobrevivência dos ocupantes no procedimento de evacuação de emergência, a interface com os equipamentos de emergência também é um meio relevante para garantir a sobrevivência dos ocupantes.

O objetivo deste trabalho foi propor um método, baseado nos estudos das principais técnicas, para a avaliação da contribuição do fator humano no processo de evacuação de emergência de uma aeronave, identificando os fatores contribuintes mais relevantes relativos ao projeto da cabine.

Com o estudo de caso desenvolvido neste trabalho foi possível avaliar, através da abordagem por rede bayesianas, o quanto estes equipamentos, tais como, marcas, sinais, instruções para abertura de portas e escorregadeiras são efetivos quando os ocupantes interagem com eles no procedimento de evacuação de emergência.

O estudo de caso foi realizado em duas grandes etapas, a modelagem das tarefas do procedimento do ensaio de evacuação de emergência de uma aeronave, e a análise deste modelo para identificar os fatores relativos ao projeto dos equipamentos que mais contribuíram para o erro humano.

O resultado desta análise levantou quais pontos relativos ao projeto de cabine devem receber uma atenção no desenvolvimento de projeto.

No desenvolvimento do estudo de caso, verificou-se que as redes bayesianas permitem grande detalhamento dos fatores que influenciam o humano na execução das tarefas e, para uma aplicação adequada, é necessário ter um bom conhecimento do sistema analisado para determinar as relações de dependências dos fatores do desempenho e definir as premissas de análises.

O especialista de ACH deve interagir com o humano que executa a tarefa e com os projetistas e engenheiros de desenvolvimento do produto para garantir uma relação adequada entre os fatores do desempenho humano na construção das dependências dos nós da rede bayesiana, conforme o modelo genérico de dependência entre os fatores de desempenho.

A modelagem dos eventos do ensaio da evacuação de emergência de uma aeronave se deu através de um questionário apresentado para os voluntários, que permitiu determinar as probabilidades marginais dos estados dos nós raízes das redes bayesianas e a aplicação da lógica fuzzy para obter as probabilidades condicionais de

cada nó filho. Uma análise causal do erro humano e uma análise dos efeitos no erro humano foram realizadas com o objetivo de identificar os fatores de projeto, e também outros fatores que mais contribuíram para o erro humano na execução daquela tarefa.

O procedimento do ensaio foi dividido basicamente nas tarefas de: “Evacuação pelas saídas dianteiras, traseiras e em cima da asa”, “Aberturas de portas principais e de emergências” e “Seguir os sinais em cima da asa”, que resultaram nas redes bayesianas dos erros humanos na execução de cada uma destas tarefas; todas estas redes bayesianas foram integradas em uma rede bayesiana completa do evento evacuação de emergência de uma aeronave.

O resultado da análise causal do erro humano e a análise de efeito dos fatores individuais, habilidades e fatores situacional de projeto no erro humano na rede bayesiana do evento de evacuação completa de uma aeronave identificaram primeiramente o cartão de segurança e depois os placares das portas e marcas sobre a asa, como fatores situacionais de projeto que podem mais contribuir para o erro humano na evacuação de emergência de uma aeronave.

Esta conclusão confirma a preocupação da ICAO em garantir que os passageiros de uma aeronave tenham mais conhecimento sobre como abandonar uma aeronave em situações de emergência; porém, se a interação dos ocupantes com os fatores de projeto da cabine não proporcionar uma interface amigável, mesmo tendo conhecimento em abandonar a aeronave em uma situação de emergência, os meios, representados pelo projeto da cabine, podem contribuir para o erro humano no abandono da aeronave.

A metodologia proposta pela aplicação das redes bayesianas mostrou que é possível identificar que fatores de desempenho mais influenciam na ocorrência do erro humano na execução de uma tarefa, além dos fatores situacionais de projeto, que é o objetivo deste trabalho, sendo possível também avaliar o quanto os fatores individuais, habilidades, ambientais e organizacionais podem influenciar na ocorrência do erro humano.

Tendo conhecimento disso e devido às influências dos fatores de desempenho do sistema no elemento humano, torna-se elementar considerar o pensamento holístico no desenvolvimento de um sistema, onde o fator humano é parte deste sistema.

O elemento humano tem limitações inerentes que podem levar a erros; não considerar estas limitações no desenvolvimento de um sistema é voltar para antes da

Segunda Guerra, onde estas interfaces eram inadequadas proporcionando acidentes ou até diminuindo rendimentos no trabalho, levando a prejuízos financeiros.

Este trabalho não termina com este estudo de caso, outras interfaces como procedimento de manutenção, procedimentos executados pelos pilotos no cockpit e processos produtivos, também podem ser validados com o método proposto neste estudo de caso.

Ter um banco de dados com o resultado da análise de outros grupos humanos atuando na mesma interface poderá aumentar a perspectiva na avaliação do erro humano.

Além da melhoria da interface com o projeto oferecida pelo método deste trabalho, é possível definir o perfil humano que mais se ajusta naquela interface, facilitando a seleção dos humanos para executar determinadas tarefas.

É importante também considerar a integração das probabilidades dos erros humanos na árvore de falhas dos equipamentos de cabine, tais como portas e sinais internos, para identificar o quanto o erro humano contribui com o procedimento de evacuação de emergência de uma aeronave.

Conforme mencionado na Seção 3.1 após as implantações das recomendações das melhorias de projeto, uma nova análise do erro humano se faz necessária para avaliar o quanto a melhoria do projeto da interface contribuiu para a mitigação do Erro Humano. As fases de implementar e verificar o quanto a implantação das melhorias mitigou o Erro Humano, faz parte também da Análise da Confiabilidade Humana; desta forma, recomenda-se que uma avaliação seja realizada após a implantação de cada melhoria sugerida por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ANM-100, AIRCRAFT CERTIFICATION SERVICE, T. A. D. **FAA Regulations & Policies.**

BAYMA, A.; PISTILLI, J. Cabin Safety Project: Engineering Improvements Based On Accidents Research. **In: VIII Simpósio de Segurança de Voo**, p. 1–6, 2014.

BELL, J.; HOLROYD, J. Review of human reliability assessment methods. **Health & Safety Laboratory**, p. 78, 2009.

CALIXTO, E. et al. Comparação entre diferentes métodos de Análise de Confiabilidade Humana: estudo de caso da Análise de Confiabilidade Humana da partida do turbogerador. **In: VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão (VII CNEG)**, p. 1–26, 2011.

CHANDLER, F. et al. **NASA Human Error Analysis**. Washington: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.hq.nasa.gov/office/codeq/rm/docs/hra.pdf>>.

FARIAS, A. **Teoria das Probabilidades I**. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/26058355/teoria-calculo-de-probabilidades---ana-maria-lima-de-farias-uff>>. Acesso em: 22 set. 2016.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Project Cabin Safety Culture: Identify Opportunities of Safety Innovation**. Disponível em: <https://www.fire.tc.faa.gov/2013Conference/session_details.asp?sessionID=8>. Acesso em: 11 out. 2014.

FONSECA, R. . **Uma Análise da Confiabilidade Humana do Acidente na Usina de Three Mile Island II considerando as Metodologias THERP e ATHEANA**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

GAWRON, V. J. et al. Human Factors Taxonomy. In: **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**, v. 35, n. 18, p. 1284–1287, 1991.

GROTH, K.; MOSLEH, A. A performance shaping factors causal model for nuclear power plant human reliability analysis. In : **10Th International Probabilistic Safety Assessment**, 2010.

HAWKINS, F. H. **Human Factors in Flight**. Second ed. Hants, England: Gower Technical Press, 1987.

INTERNATION AIR TRANSPORT ASSOCIATION. **Demand for Air Travel in 2015 Surges to Strongest Result in Five Years**. Disponível em: <<http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2016-02-04-01.aspx>>. Acesso em: 15 set. 2016.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Safety Report 2016**. Disponível em: <https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2016_final>. Acesso em: 13 jul. 2018.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Human Factors Guidelines for Aircraft Maintenance Manual** Montreal, 2003.

KIM, J. W.; JUNG, W. A taxonomy of performance influencing factors for human reliability analysis of emergency tasks. In: **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 16, n. 6, p. 479–495, 2003.

KIRWAN, B. **A Guide To Practical Human Reliability Assessment**. Bristol: Taylor & Francis, 1994.

KORB, K. B. ; N. A. E. **Bayesian Artificial Intelligence**. Second ed. London: CRC PRESS LLC, 2004.

MADONNA, M. et al. the Human Factor in Risk Assessment : Methodological Comparison Between Human Reliability Analysis Techniques. In: **Prevention today**, v. 5, n. 1, p. 67–83, 2009.

MARRO, A.; SOUZA, A. **Lógica Fuzzy : Conceitos e aplicações**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

MARTINS, D. D. A. et al. **O conceito de Fatores Humanos na aviação**. Disponível em: <http://www.fef.unicamp.br/fef/sites/uploads/deafa/qvaf/fadiga_cap14.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2017.

MARTINS, M. R.; FRUTUOSO E MELO, P. F. F.; MATURANA, M. C. Methodology for system reliability analysis during the conceptual phase of complex system design considering human factors. In: **International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment and Analysis, PSA 2015**, v. 2, 2015.

MATURANA, M. C. **Aplicação de Redes Bayesianas na análise da contribuição do erro humano em acidentes de colisão**. [s.l.] Escola Politécnica da USP, 2010.

MENÊZES, R. DA C. S.; DROGUETT, E. L. Análise da confiabilidade humana via redes Bayesianas: uma aplicação à manutenção de linhas de transmissão. In: **Produção**, v. 17, n. 1, p. 162–185, 2007.

MENÊZES, R. DA C. S.; FIRMINO, P. R. A.; DROGUETT, E. L. Análise de confiabilidade humana via redes bayesianas. In: **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (XXXVII SBPO)**, p. 678–685, 2005.

MODARRES, M.; KAMINSKIY, M.; KRIVTSOV, V. **Reliability engineering and risk analysis: a practical guide**. New York: CRC PRESS LLC, 1999.

MOSLEH, A.; CHANG, Y. H. Model-based human reliability analysis: Prospects and requirements. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 83, n. 2, p. 241–253, 2004.

NASCIMENTO, C. **Aplicação da Metodologia Fuzzy na Quantificação da Probabilidade de Erro Humano em Instalações Nucleares**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2010.

NASCIMENTO, C.; MESQUITA, R. **Sistemas Baseados em Regras Fuzzy e Aplicações**. Londrina: [s.n.].

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. **2015 NTSB US Civil Aviation Accident Statistics**. Disponível em: <<https://www.nts.gov/investigations/data/Pages/AviationDataStats2015.aspx>>. Acesso em: 8 dez. 2017.

NEAPOLITAN, R. E. **Learning Bayesian Networks**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2003. v. 6

O'CONNOR, ANDREW; MODARRES, MOHAMMAD; MOSLED, A. **Probability Distributions Used in Reliability Engineering**. Maryland: Center for Risk and Reliability, 2007.

RASMUSSEN, J.; SVEDUNG, I. **Proactive Risk Management in a Dynamic Society**. Karlstad: Sweden : Swedish Rescue Services Agency, 2000.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. Third ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2009.

SCHLEDER, A. ; M. M. **Aplicação de Rede Bayesianas Para Análise de Confiabilidade do Sistema de Regaseificação de uma unidade tipo FSRU**. [s.l.] Escola Politécnica da USP, 2012.

SOUZA, F.; FIRMINO, P.; DROGUETT, E. A Análise Confiabilidade Humana: Uma Revisão Comentada da Literatura. In : **XLIISBPO**, p. 12, 2009.

SWAIN, A. D.; GUTTMAN, H. E. **Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications: NUREG/CR-1278**, 1983.

WHITTINGHAM, R. **The Blame Machine: Why Human Error Causes Accidents**. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinenann, 2004.

APÊNDICE A – ENSAIO ABERTURA DE PORTA DE EMERGÊNCIA EM CIMA DA ASA - QUESTIONÁRIO

A Elaboração do questionário abaixo seguiu a configuração da Tabela 17 – Atividades e Influências dos Fatores de Desempenho.

1. Na sua opinião, o “briefing” instruções antes do teste, contribuiu para o seu conhecimento para abrir a porta? () SIM () NÃO

$P(D1)$ – Probabilidade das instruções antes do teste ter sido ADEQUADA – $12/14 = 0,86$

$P(D2)$ - Probabilidade das instruções antes do teste ter sido INADEQUADA – $2/14 = 0,14$

1.1 Se a sua resposta foi SIM na questão 1, o briefing te ajudou em abrir a porta?

() SIM () NÃO

$P(\phi1/D1)$ – Probabilidade de ter adquirido Conhecimento dado que o briefing foi ADEQUADA – $9/14=0,64$

$P(\phi2/D1)$ – Probabilidade de não ter adquirido Conhecimento dado que o briefing foi ADEQUADA – $5/14=0,36$

1.2 Se a sua resposta foi NÃO na questão 1, o briefing te prejudicou em abrir a porta?

() SIM () NÃO

$P(\phi1/D2)$ – Probabilidade de ter adquirido Conhecimento dado que o briefing foi INADEQUADA – $2/2$

$P(\phi2/D2)$ – Probabilidade de não ter Conhecimento dado que o briefing foi INADEQUADA – $0/2$

2. Você agiu de acordo com uma situação de emergência? () SIM () NÃO

$P(F1)$ – Probabilidade da simulação de Emergência do ensaio ser real - $12/14 = 0,86$

$P(F2)$ – Probabilidade da simulação de Emergência não ser real – $2/14 = 0,14$

2.1 Se a sua resposta foi SIM na questão 2, você ficou nervoso (a)? () SIM () NÃO

$P(\epsilon1/ F1)$ Probabilidade de estar nervoso dado que a situação era de emergência – $7/12 = 0,58$

$P(\epsilon2/ F1)$ Probabilidade de NÃO estar nervoso dado que a situação era de emergência – $5/12 = 0,42$

2.2 Se a sua resposta foi NÃO na questão 2, você ficou calmo (a)? () SIM () NÃO

$P(\epsilon1/ F2)$ Probabilidade de estar nervoso dado que a situação NÃO era de emergência – $0/2 = 0$

3. Você localizou o placar facilmente? () SIM () NÃO

$P(c1)$ $14/14= 1$ Probabilidade da visibilidade ser ADEQUADA

$P(c2)$ $0/14= 0$ Probabilidade da visibilidade ser INADEQUADA

4 A iluminação te ajudou a ler o placar? () SIM () NÃO

$P(bp1)$ - Probabilidade da iluminação ser ADEQUADO – $11/14= 0,78$

$P(bp2)$ - Probabilidade da iluminação ser INADEQUADO – $3/14= 0,22$

5 Na sua opinião a instrução do placar te auxiliou na tarefa de abrir a porta?

() SIM () NÃO

P(f1) - Probabilidade do placar ser ADEQUADO – $11/14=0,78$

P(f2) - Probabilidade do cartão do placar ser INADEQUADO – $3/14=0,22$

6. Na sua opinião, a instrução do placar estava: () FÁCIL () DIFÍCIL

P(i1) - Probabilidade criticalidade das instruções serem FACEIS – $11/14=0,78$

P(i2) - Probabilidade criticalidade das instruções serem DIFÍCEIS - $3/14=0,22$

7. A iluminação te ajudou a ler o cartão de segurança? () SIM () NÃO

P(bc1) - Probabilidade da iluminação ser ADEQUADO – $12/14=0,86$

P(bc2) - Probabilidade da iluminação ser INADEQUADO – $2/14=0,14$

8. Na sua opinião as instruções do cartão de segurança te ajudaram na tarefa de abrir a porta? () SIM () NÃO

P(g1) - Probabilidade do cartão de segurança ser ADEQUADO – $11/14=0,78$

P(g2) - Probabilidade do cartão de segurança ser INADEQUADO – $3/14=0,22$

9. Na sua opinião, as instruções do cartão de segurança estava: () FÁCIL () DIFÍCIL

P(i1) - Probabilidade criticalidade das instruções serem FACEIS – $11/14=0,78$

P(i2) - Probabilidade criticalidade das instruções serem DIFÍCEIS - $3/14=0,22$

10. Você ficou preocupado com o tempo para abrir a porta? () SIM () NÃO

P(μ 1) Probabilidade de SIM fiquei preocupado com o tempo – $10/14=0,71$

P(μ 2) Probabilidade de NÃO fiquei preocupado com o tempo – $4/14=0,29$

11. Você achou a remoção da tampa: () FÁCIL () DIFÍCIL

P(l1) – Probabilidade da tampa ser ADEQUADA – $14/14=1$

P(l2) – Probabilidade da tampa ser INADEQUADA - $0/14=0$

12. Na sua opinião, você precisou de alguma habilidade manual especial para remover a tampa? SIM () NÃO ()

P(α t1) - Probabilidade das condições física para remover a tampa ser ADEQUADA – $14/14=1$

P(α t2) – Probabilidade das condições físicas para remover a tampa ser INADEQUADA - $0/14=0$

13. A alavanca estava? PESADA () LEVE ()

P(p1) Probabilidade da alavanca ser ADEQUADA – $14/14=1$

P(p2) Probabilidade da alavanca ser INADEQUADA – $0/14=0$

14. Na sua opinião, a sua condição física contribuiu para puxar a alavanca?

SIM () NÃO ()

P(α a1) - Probabilidade das condições físicas para puxar alavanca ser INADEQUADA – $6/14=0,43$

P(α a2) – Probabilidade das condições físicas para puxar a alavanca ser ADEQUADA - $8/14=0,57$

15. Na sua opinião a porta abriu: () Rápida () Lenta

P(a1) Probabilidade da porta ser ADEQUADA – $12/14=0,86$

P(a2) Probabilidade da porta ser INADEQUADA – $2/14=0,14$

16. Na sua opinião, você se sentiu apto para sair rápido da aeronave? () SIM () NÃO

P(α p1) - Probabilidade das condições físicas para sair ser ADEQUADA – $9/14=0,64$

P(α p2) – Probabilidade das condições físicas para sair ser INADEQUADA - $5/14=0,36$

APÊNDICE B – ENSAIO ABERTURA DE PORTA PRINCIPAL - QUESTIONÁRIO

A Elaboração do questionário abaixo seguiu a configuração da Tabela 28 – Atividades e Influências dos Fatores do Desempenho.

1) Na sua opinião, o “briefing” feito antes do ensaio, contribuiu para o seu conhecimento para abrir a porta? () SIM () NÃO

$P(D1)$ – Probabilidade das instruções antes do teste ter sido ADEQUADA – $9/13 = 0,69$

$P(D2)$ - Probabilidade das instruções antes do teste ter sido INADEQUADA – $4/13 = 0,31$

1.1) Se a sua resposta foi SIM na questão 1, o briefing te ajudou em abrir a porta?

() SIM () NÃO

$P(\phi1/D1)$ – Probabilidade de ter adquirido Conhecimento dado que o briefing foi ADEQUADA – $8/9=0,88$

$P(\phi2/D1)$ – Probabilidade de não ter adquirido Conhecimento dado que o briefing foi ADEQUADA – $1/9=0,12$

1.2) Se a sua resposta foi NÃO na questão 1, o briefing te prejudicou em abrir a porta?

() SIM () NÃO

$P(\phi2/D2)$ – Probabilidade de não ter adquirido Conhecimento dado que o briefing foi INADEQUADA – $4/4$

$P(\phi1/D2)$ – Probabilidade de ter adquirido Conhecimento dado que o briefing foi INADEQUADA – $0/4$

2) Você agiu de acordo com uma situação de emergência?() SIM () NÃO

$P(F1)$ – Probabilidade da simulação de Emergência do ensaio ser real - $12/13 = 0,92$

$P(F2)$ – Probabilidade da simulação de Emergência do ensaio não ser real – $1/13 = 0,08$

2.1) Se a sua resposta foi SIM na questão 2, você ficou nervoso (a)?

$P(\epsilon1/ F1)$) Probabilidade de estar nervoso dado que a situação era de emergência – $5/12 = 0,42$

$P(\epsilon2/ F1)$) Probabilidade de NÃO estar nervoso dado que a situação era de emergência – $7/12 = 0,58$

2.2 Se a sua resposta foi NÃO na questão 2, você ficou calmo (a)?

$P(\epsilon1/ F2)$) Probabilidade de estar nervoso dado que a situação NÃO era de emergência – $0/1 = 0$

$P(\epsilon2/ F2)$) Probabilidade de NÃO estar nervoso dado que a situação NÃO era de emergência – $1/1 = 1$

3) Você localizou o placar facilmente?

() SIM () NÃO

P(c1) $13/13 = 1$ Probabilidade da visibilidade ser ADEQUADA

P(c2) $0/13 = 0$ Probabilidade da visibilidade ser INADEQUADA

4) A iluminação te ajudou a encontrar o placar? () SIM () NÃO

P(b1) $14/14 = 1$ Probabilidade da iluminação ser ADEQUADA

P(b2) $0/14 = 0$ Probabilidade da iluminação ser INADEQUADA

5) Na sua opinião a instrução do placar te auxiliou na tarefa de abrir a porta?

() SIM () NÃO

P(f1) - Probabilidade do cartão de segurança ser ADEQUADO – $11/13 = 0,85$

P(f2) - Probabilidade do cartão de segurança ser INADEQUADO – $2/13 = 0,15$

6) Na sua opinião, a instrução do placar estava: () FÁCIL () DIFÍCIL

P(i1) - Probabilidade das instruções serem FÁCEIS – $9/13 = 0,69$

P(i2) - Probabilidade das instruções serem DIFÍCEIS - $2/13 = 0,31$

7) Você ficou preocupado com o tempo para abrir a porta? () SIM () NÃO

P(μ 1) Probabilidade de SIM fiquei preocupado com o tempo – $11/13 = 0,85$

P(μ 2) Probabilidade de NÃO fiquei preocupado com o tempo – $2/13 = 0,15$

8) A seta vermelha te ajudou a encontrar a alavanca? SIM () NÃO ()

P(m1) Probabilidade da seta ter sido ADEQUADA – $8/13 = 0,62$

P(m2) Probabilidade da seta ter sido INADEQUADA – $5/13 = 0,38$

9) A alavanca estava? PESADA () LEVE ()

P(k1) Probabilidade da alavanca ter sido ADEQUADA – $8/13 = 0,62$

P(k2) Probabilidade da alavanca ter sido INADEQUADA – $5/13 = 0,38$

10) Na sua opinião, a sua condição física contribuiu para você levantar a alavanca?

SIM () NÃO ()

P(α a1) Probabilidade condição física ter estado ADEQUADA – $13/13 = 1$

P(α a2) Probabilidade condição física ter estado INADEQUADA – $0/13 = 0$

11) Quando você empurrou a porta ela estava: PESADA () LEVE ()

P(α 1) Probabilidade condição física ter estado ADEQUADA – $9/13 = 0,69$

P(α 2) Probabilidade condição física ter estado INADEQUADA - $3/13 = 0,31$

12) Na sua opinião, a suas condições físicas contribuíram para você empurrar a porta?

() SIM () NÃO

P(a1) Probabilidade da porta ter estado ADEQUADA – $11/13 = 0,85$

P(a2) Probabilidade da porta ter estado INADEQUADA – $12/13 = 0,15$

APÊNDICE C – ENSAIO EVACUAÇÃO DA AERONAVE - QUESTIONÁRIO

A Elaboração do questionário abaixo seguiu a configuração das Tabela 35 e Tabela 42.

1 A demonstração dos itens de segurança feita pelo(a) comissário (a) te deu conhecimento para sair da aeronave? [] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

P(C1) – Probabilidade da Demonstração dos itens de segurança ter sido ADEQUADA – $29/31 = 0,94$

P(C2) - Probabilidade da Demonstração dos itens de segurança ter sido INADEQUADA – $2/31 = 0,06$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

P(C1) – Probabilidade da Demonstração dos itens de segurança ter sido ADEQUADA – $31/32 = 0,97$

P(C2) - Probabilidade da Demonstração dos itens de segurança ter sido INADEQUADA – $1/32 = 0,03$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

P(C1) – Probabilidade da Demonstração dos itens de segurança ter sido ADEQUADA – $43/44 = 0,98$

P(C2) - Probabilidade da Demonstração dos itens de segurança ter sido INADEQUADA – $1/44 = 0,02$

1.1 Se você respondeu SIM na questão 1, a demonstração te ajudou a sair da aeronave?[] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

P(ϕ 1/C1) – Probabilidade de ter adquirido Conhecimento dado que a Demonstração foi ADEQUADA – $29/29=1$

P(ϕ 2/C1) – Probabilidade de não ter adquirido Conhecimento dado que a Demonstração foi ADEQUADA – $0/29=0$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

P(ϕ 1/C1) – Probabilidade de ter adquirido Conhecimento dado que a Demonstração foi ADEQUADA – $30/32=0,94$

$P(\phi 2/C1)$ – Probabilidade de não ter adquirido Conhecimento dado que a Demonstração foi ADEQUADA – $02/32=0,06$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(\phi 1/C1)$ – Probabilidade de ter adquirido Conhecimento dado que a Demonstração foi ADEQUADA – $41/43=0,95$

$P(\phi 2/C1)$ – Probabilidade de não ter adquirido Conhecimento dado que a Demonstração foi ADEQUADA – $2/43=0,05$

1.2 Se você respondeu NÃO na questão 1, você usou outro conhecimento para sair da aeronave? [] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(\phi 1/C2)$ – Probabilidade de ter adquirido Conhecimento dado que a Demonstração foi INADEQUADA – $0/2$

$P(\phi 2/C2)$ – Probabilidade de não ter Conhecimento dado que a Demonstração foi INADEQUADA – $2/2$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(\phi 1/C2)$ – Probabilidade de ter adquirido Conhecimento dado que a Demonstração foi INADEQUADA – $0/1$

$P(\phi 2/C2)$ – Probabilidade de não ter Conhecimento dado que a Demonstração foi INADEQUADA – $1/1$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(\phi 1/C2)$ – Probabilidade de ter adquirido Conhecimento dado que a Demonstração foi INADEQUADA – $0/1$

$P(\phi 2/C2)$ – Probabilidade de não ter Conhecimento dado que a Demonstração foi INADEQUADA – $1/1$

2. Você agiu de acordo com uma situação de emergência? [] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(F1)$ – Probabilidade da simulação de Emergência do ensaio ser real - $31/31 = 1$

$P(F2)$ – Probabilidade da simulação de Emergência não ser real – $0/31 = 0$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(F1)$ – Probabilidade da simulação de Emergência do ensaio ser real - $32/32 = 1$

$P(F2)$ – Probabilidade da simulação de Emergência não ser real - $0/32 = 0$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(F1)$ – Probabilidade da simulação de Emergência do ensaio ser real - $43/44 = 0,98$

$P(F2)$ – Probabilidade da simulação de Emergência não ser real – $1/44 = 0,02$

2.1 Se você respondeu SIM na questão 2, você estava nervoso (a)?

[] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(\epsilon_1/ F1)$ Probabilidade de estar nervoso dado que a situação era de emergência –
 $13/31 = 0,42$

$P(\epsilon_2/ F1)$ Probabilidade de NÃO estar nervoso dado que a situação era de
emergência – $18/31 = 0,58$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(\epsilon_1/ F1)$ Probabilidade de estar nervoso dado que a situação era de emergência –
 $11/32 = 0,34$

$P(\epsilon_2/ F1)$ Probabilidade de NÃO estar nervoso dado que a situação era de
emergência – $21/32 = 0,66$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(\epsilon_2/ F1)$ Probabilidade de NÃO estar nervoso dado que a situação era de
emergência – $30/43 = 0,70$

$P(\epsilon_1/ F1)$ Probabilidade de estar nervoso dado que a situação era de emergência –
 $13/43 = 0,30$

2.2 Se você respondeu NÃO na questão 2, você estava nervoso (a)?

[] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(\epsilon_1/ F2)$ Probabilidade de estar nervoso dado que a situação NÃO era de
emergência – $0/1 = 0$

$P(\epsilon_2/ F2)$ Probabilidade de NÃO estar nervoso dado que a situação NÃO era de
emergência – $1/1 = 1$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(\epsilon_1/ F2)$ Probabilidade de estar nervoso dado que a situação NÃO era de
emergência – $0/1 = 0$

$P(\epsilon_2/ F2)$ Probabilidade de NÃO estar nervoso dado que a situação NÃO era de
emergência – $1/1 = 1$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(\epsilon_1/ F2)$ Probabilidade de estar nervoso dado que a situação NÃO era de
emergência – $0/1 = 0$

$P(\epsilon_2/ F2)$ Probabilidade de NÃO estar nervoso dado que a situação NÃO era de
emergência – $1/1 = 1$

3. O barulho na cabine te atrapalhou no entendimento das instruções da demonstração da (o) comissária(o)? [] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

P(Ba1) – Probabilidade do Barulho (INADEQUADO) ter SIM atrapalhado o entendimento das instruções – $3/31 = 0,10$

P(Ba2) – Probabilidade do Barulho (ADEQUADO) NÃO ter atrapalhado o entendimento das instruções – $28/31 = 0,90$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

P(Ba1) – Probabilidade do Barulho (INADEQUADO) ter SIM atrapalhado o entendimento das instruções – $1/32 = 0,03$

P(Ba2) – Probabilidade do Barulho (ADEQUADO) NÃO ter atrapalhado o entendimento das instruções – $31/32 = 0,97$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

P(Ba2) – Probabilidade do Barulho (INADEQUADO) ter SIM atrapalhado o entendimento das instruções – $3/44 = 0,07$

P(Ba1) – Probabilidade do Barulho (ADEQUADO) NÃO ter atrapalhado o entendimento das instruções – $41/44 = 0,93$

4. Você seguiu os sinais de saída da cabine para sair da aeronave?

[] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

P(e1) – Probabilidade dos sinais de saída da cabine ter sido ADEQUADA – $21/31 = 0,68$

P(e2) – Probabilidade dos sinais de saída da cabine ter sido INADEQUADA – $10/31 = 0,32$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

P(e1) – Probabilidade dos sinais de saída da cabine ter sido ADEQUADA – $15/32 = 0,48$

P(e2) – Probabilidade dos sinais de saída da cabine ter sido INADEQUADA – $17/32 = 0,52$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

P(e1) – Probabilidade dos sinais de saída da cabine ter sido ADEQUADA – $26/44 = 0,59$

P(e2) – Probabilidade dos sinais de saída da cabine ter sido INADEQUADA – $18/44 = 0,41$

4.1 Se você respondeu SIM na questão 4, estes sinais foram?

[] marcações luminosas no piso [] sinais do homenzinho correndo

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(ep1/e1)$ – Probabilidade dos sinais luminosas no piso ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram ADEQUADA – $10+1/21 = 0,52$; então $0,68 \times 0,52 = 0,35$

$P(eh1/e1)$ – Probabilidade dos sinais do homenzinhos correndo ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram ADEQUADA – $10+1/21 = 0,52$; então $0,68 \times 0,52 = 0,35$

$P(ep2/d1)$ - Probabilidade dos sinais luminosas no piso ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram INADEQUADA - $10/21=0,48$, então $0,32 \times 0,48=0,15$

$P(eh2/d1)$ - Probabilidade dos sinais homenzinhos correndo ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram INADEQUADA - $10/21=0,48$, então $0,32 \times 0,48=0,15$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(ep1/e1)$ – Probabilidade dos sinais luminosas no piso ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram adequadas - $9/15 = 0,60$, então $0,48 \times 0,60=0,29$

$P(eh1/e1)$ – Probabilidade das sinais do homenzinhos correndo ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram adequadas - $6/15 = 0,40$, então $0,48 \times 0,40=0,19$

$P(ep2/d1)$ - Probabilidade dos sinais luminosas no piso ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram INADEQUADA - $6/15=0,40$, então $0,52 \times 0,40=0,21$

$P(eh2/d1)$ - Probabilidade dos sinais homenzinhos correndo ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram INADEQUADA - $9/15=0,60$, então $0,52 \times 0,60=0,31$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(ep1/e1)$ – Probabilidade dos sinais luminosas no piso ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram ADEQUADA – $15+1/26 =$, então $0,59 \times 0,62 = 0,37$

$P(eh1/d1)$ – Probabilidade dos sinais do homenzinhos correndo ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram ADEQUADA – $10/26 = 0,38$ então $0,38 \times 0,59 = 0,23$

$P(ep2/d1)$ - Probabilidade dos sinais luminosas no piso ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram INADEQUADA - $15+1/26$, então $0,41 \times 0,62=0,26$

$P(eh2/d1)$ - Probabilidade dos sinais homenzinhos correndo ter sido seguidas dado que os sinais de saída da cabine foram INADEQUADA - $10/26 = 0,38$, então $0,41 \times 0,38 = 0,16$

4.2 Se você respondeu NÃO na questão 4, você seguiu os demais passageiros? [] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(\beta1)$ Probabilidade de SIM seguir os outros (comportamento social) – $10/10=1$

$P(\beta2)$ Probabilidade de NÃO seguir os outros (comportamento social) – $0/10=0$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(\beta1)$ Probabilidade de SIM seguir os outros (comportamento social) – $17/17=1$

$P(\beta2)$ Probabilidade de NÃO seguir os outros (comportamento social) – $0/17=0$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(\beta1)$ Probabilidade de SIM seguir os outros (comportamento social) – $18/18=1$

$P(\beta2)$ Probabilidade de NÃO seguir os outros (comportamento social) – $0/18=0$

5. Você se preocupou com o tempo para sair do avião? [] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(\mu1)$ Probabilidade de SIM fiquei preocupado com o tempo – $26/31=0,84$

$P(\mu2)$ Probabilidade de NÃO fiquei preocupado com o tempo – $5/31=0,16$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(\mu1)$ Probabilidade de SIM fiquei preocupado com o tempo – $30/32=0,93$

$P(\mu2)$ Probabilidade de NÃO fiquei preocupado com o tempo – $2/32=0,07$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(\mu1)$ Probabilidade de SIM fiquei preocupado com o tempo – $33/44=0,75$

$P(\mu2)$ Probabilidade de NÃO fiquei preocupado com o tempo – $11/44=0,25$

6. Você sentiu alguma dificuldade física para escorregar e levantar na saída?

[] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(\alpha1)$ Probabilidade de SIM tive dificuldade física – $6/31=0,20$

$P(\alpha2)$ Probabilidade de NÃO tive dificuldade física – $25/31=0,80$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(\alpha1)$ Probabilidade de SIM tive dificuldade física – $3/32=0,09$

$P(\alpha2)$ Probabilidade de NÃO tive dificuldade física – $29/32=0,91$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(\alpha1)$ Probabilidade de SIM tive dificuldade física – $5/44=0,11$

P(α_2) Probabilidade de NÃO tive dificuldade física – $39/44=0,89$

7. Você leu o Cartão de Segurança? [] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

P(LC1) - 31/31 no Briefing do ensaio foi mencionado para ler o cartão de segurança.

P(LC2) - 0/31 no Briefing do ensaio foi mencionado para ler o cartão de segurança

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

P(LC1) - 32/32 no Briefing do ensaio foi mencionado para ler o cartão de segurança

P(LC2) - 0/31 no Briefing do ensaio foi mencionado para ler o cartão de segurança

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

P(LC1) - 44/44 no Briefing do ensaio foi mencionado para ler o cartão de segurança.

P(LC2) - 0/44 no Briefing do ensaio foi mencionado para ler o cartão de segurança

8. Se você respondeu Sim na questão 7, o Cartão de Segurança te auxiliou a sair da aeronave? [] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

P(g1) - Probabilidade do cartão de segurança ser ADEQUADO – $29/31=0,93$

P(g2) - Probabilidade do cartão de segurança ser INADEQUADO – $2/31=0,07$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

P(g1) - Probabilidade do cartão de segurança ser ADEQUADO – $30/32=0,93$

P(g2) - Probabilidade do cartão de segurança ser INADEQUADO – $2/32=0,07$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

P(g1) - Probabilidade do cartão de segurança ser ADEQUADO – $43/44=0,98$

P(g2) - Probabilidade do cartão de segurança ser INADEQUADO – $1/44=0,02$

9. Se você respondeu que leu o Cartão de Segurança, você achou as instruções do cartão de segurança [] Fáceis [] Difíceis

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

P(i1) - Probabilidade das instruções serem FACEIS – $28/31=0,90$

P(i2) - Probabilidade das instruções serem DIFÍCEIS - $3/31=0,10$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

P(i1) - Probabilidade das instruções serem FACEIS – $29/32=0,90$

P(i2) - Probabilidade das instruções serem DIFÍCEIS - $3/32=0,10$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

P(i1) - Probabilidade das instruções serem FACEIS – $40/43=0,93$

P(i2) - Probabilidade das instruções serem DIFÍCEIS - $3/43=0,07$

10. A escuridão te atrapalhou a levantar depois que escorregou?

[] Sim [] Não

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(Es1)$ – Probabilidade da Escuridão ter atrapalhado (ADEQUADA) – $5/31 = 0,15$

$P(Es2)$ – Probabilidade da Escuridão NÃO ter atrapalhado (INADEQUADA) – $26/31 = 0,85$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(Es1)$ – Probabilidade da Escuridão ter atrapalhado (ADEQUADA) – $5/32 = 0,16$

$P(Es2)$ – Probabilidade da Escuridão NÃO ter atrapalhado (ADEQUADA) – $27/32 = 0,84$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(Es1)$ – Probabilidade da Escuridão ter atrapalhado (ADEQUADA) – $3/44 = 0,15$

$P(Es2)$ – Probabilidade da Escuridão NÃO ter atrapalhado (INADEQUADA) – $41/44 = 0,85$

11 as marcações sobre a asa te ajudaram na sua saída

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(d1)$ – Probabilidade das marcas em cima da asa terem sido ADEQUADAS – $21/29 = 0,73$

$P(d2)$ – Probabilidade das marcas em cima da asa terem sido INADEQUADAS – $08/29 = 0,27$

11.1 Você teve alguma dificuldade para passar pela saída e andar sobre a asa do avião?

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(\alpha1)$ Probabilidade de SIM teve dificuldade – $4/29=0,14$

$P(\alpha2)$ Probabilidade de NÃO teve dificuldade – $25/29=0,86$

12. A iluminação da escorregadeira ajudou na saída do avião

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(q1)$ = Probabilidade da iluminação da escorregadeira ter sido ADEQUADA – $28/31=0,90$

$P(q2)$ = Probabilidade da iluminação da escorregadeira ter sido INADEQUADA - $3/31=0,10$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(q1)$ = Probabilidade da iluminação da escorregadeira ter sido ADEQUADA – $29/32=0,90$

$P(q2)$ = Probabilidade da iluminação da escorregadeira ter sido INADEQUADA - $3/32=0,10$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(q1)$ = Probabilidade da iluminação da escorregadeira ter sido ADEQUADA – $39/44=0,88$

$P(q2)$ = Probabilidade da iluminação da escorregadeira ter sido INADEQUADA - $5/44=0,12$

13 Você teve alguma dificuldade para passar pela saída e escorregar para o chão?

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(\alpha1)$ Probabilidade de SIM tive dificuldade – $3/29=0,10$

$P(\alpha2)$ Probabilidade de NÃO tive dificuldade – $26/29=0,90$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(\alpha1)$ Probabilidade de SIM tive dificuldade – $2/32=0,10$

$P(\alpha2)$ Probabilidade de NÃO tive dificuldade – $30/32=0,90$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(\alpha1)$ Probabilidade de SIM tive dificuldade – $4/40=0,10$

$P(\alpha2)$ Probabilidade de NÃO tive dificuldade – $40/44=0,90$

14 . Qual a sua impressão sobre as escorregadeiras?

EVACUAÇÃO EM CIMA DA ASA

$P(h1)$ = Probabilidade da escorregadeira ter sido ADEQUADA – $30/30=1$

$P(h2)$ = Probabilidade da escorregadeira ter sido INADEQUADA - $0/30=0$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA DIANTEIRA

$P(h1)$ = Probabilidade da escorregadeira ter sido ADEQUADA – $31/32=0,97$

$P(h2)$ = Probabilidade da escorregadeira ter sido INADEQUADA - $1/32=0,03$

EVACUAÇÃO PELA SAÍDA TRASEIRA

$P(h1)$ = Probabilidade da escorregadeira ter sido ADEQUADA – $43/44=0,98$

$P(h2)$ = Probabilidade da escorregadeira ter sido INADEQUADA - $1/44=0,02$

This questionnaire is not part of E196 E2 Certification Cabin Safety Design

APÊNDICE D – DISCURSO DA DEMONSTRAÇÃO DOS ITENS DE SEGURANÇA

“Para afivelar seu cinto de segurança, encaixe as extremidades e ajuste-o puxando a tira. Para soltá-lo, levante a face externa da fivela.

Luzes sinalizadoras no piso e no teto indicarão o caminho para as saídas de emergência, que estão assim localizadas: duas portas à frente, duas janelas sobre as asas e duas portas atrás. Localize a saída mais próxima, lembrando que ela poderá estar atrás de você.

Os sinais localizados próximos às saídas contendo uma representação gráfica verde de um homem correndo em direção à porta indicam a presença de uma saída de emergência.

Em caso de despressurização, máscaras para oxigênio cairão do compartimento acima de seu assento. Imediatamente tire a máscara do suporte plástico e puxe-a para liberar o fluxo de oxigênio. Coloque a máscara sobre a boca e o nariz e fixe-a com a tira elástica. Somente preste auxílio após ter fixado a sua.

Aeronave com coletes salva-vidas

Se um pouso de emergência ocorrer na água, use o colete salva-vidas que se encontra embaixo de seu assento. Vista-o e ajuste-o conforme demonstrado. Para inflar o colete, puxe os comandos vermelhos ou sopra pelos tubos. Somente infle o colete ao abandonar a aeronave.

Essas e outras informações importantes estão em um cartão com instruções de segurança no bolso da poltrona a sua frente.

É importante que você leia o cartão de segurança antes da decolagem. Em caso de emergência, siga rigorosamente todas as instruções dos tripulantes.”

APÊNDICE E – ABERTURA DA PORTA DE EMERGÊNCIA EM CIMA DA ASA – RESULTADOS DAS PROBABILIDADES CONDICIONAIS PELA LÓGICA FUZZY

Neste Apêndice serão apresentadas as tabelas das probabilidades condicionadas das habilidades da rede Bayesianas da tarefa de Abertura da Porta de Emergência.

Tabela 77 - Probabilidades Condicionadas – Interpretação do Cartão 1

Tabela 78 - Probabilidades Condicionais – Interpretação do Cartão 2

Tabela 79 - Probabilidades Condicionadas – Interpretação do Cartão 12

Tabela 80 - Probabilidades Condicionais – Interpretação do Placar 1

Tabela 81 - Probabilidades Condicionais – Interpretação do Placar 2

Tabela 82 - Probabilidades Condicionais – Interpretação do Placar 12

Tabela 83 - Probabilidades Condicionais – Habilidade Física Remover a Tampa

Tabela 84 - Probabilidades Condicionais – Tomada de Decisão Ler Placar

Tabela 85 - Probabilidades Condicionais – Habilidade Física Puxar a Alavanca

APÊNDICE F – ABERTURA DA PORTA PRINCIPAL – RESULTADOS DAS PROBABILIDADES CONDICIONAIS PELO QUESTIONÁRIO E PELA LÓGICA FUZZY

Neste Apêndice serão apresentadas as tabelas das probabilidades condicionadas dos fatores individuais e das habilidades da rede Bayesianas da tarefa de Abertura da Porta Principal.

Fatores Individuais – Probabilidades condicionais obtidas pelo questionário do Apêndice B

Tabela 86 - Probabilidade do Nó Filho – Conhecimento

INSTRUÇÕES - D		CONHECIMENTO - φ
$P(D_i)$	$P(\varphi_j D_i)$	$P(\varphi_j D_i)^c$
$P(D_1)=0,69$	$P(\varphi_1 D_1)=0,88$	$P(\varphi_2 D_1)=0,12$
ADEQ	ADEQ	INADEQ
$P(D_2)=0,31$	$P(\varphi_1 D_2)=0$	$P(\varphi_2 D_2)=1$
ADEQ	ADEQ	INADEQ

Tabela 87 - Probabilidade do Nó Filho – Nervosismo

EMERGÊNCIA - F	NERVOSISMO - ϵ	
$P(F_i)$	$P(\epsilon_j F_i)$	$P(\epsilon_j F_i)^c$
$P(F_1)=0,92$	$P(\epsilon_1 F_1)=0,58$	$P(\epsilon_2 F_1)=0,42$
SIM	NÃO	SIM
$P(F_2)=0,08$	$P(\epsilon_1 F_2)=1$	$P(\epsilon_2 F_2)=0$
NÃO	NÃO	SIM

Habilidades: Probabilidades condicionais obtidas pela lógica fuzzy

Tabela 88 - Probabilidades Condicionadas – Habilidade Atenção

Tabela 89 – Probabilidades Condicionais – Interpretação

Tabela 90 – Probabilidades Condicionais – Tomada de Decisão - Alavanca

Tabela 91 – Probabilidades Condicionais – Hab Fís - Alavanca

Tabela 92 – Probabilidades Condicionais – Tomada de Decisão Empurrar a Porta

Tabela 93 – Probabilidades Condicionais – Habilidade Física Empurrar a Porta

APÊNDICE G – EVACUAÇÃO PELAS SAÍDAS DIANTEIRA E TRASEIRA E EM CIMA DA ASA– RESULTADOS DAS PROBABILIDADES CONDICIONAIS PELO QUESTIONÁRIO DO APÊNDICE C E PELA LÓGICA FUZZY

Neste Apêndice serão apresentadas as tabelas das probabilidades condicionadas dos fatores individuais e das habilidades da rede Bayesianas da tarefa Evacuação pelas Saídas Dianteira e Traseira, e em cima da Asa.

Fatores Individuais – Probabilidades condicionais adquiridas pelo questionário do Appendix C.

Tabela 94 - Probabilidade do Nó Filho – Conhecimento (Saída Dianteira)

DEMONSTRAÇÃO - C	CONHECIMENTO - φ	
$P(C_i)$	$P(\varphi_j C_i)$	$P(\varphi_j C_i)^c$
$P(C_1)=0,97$	$P(\varphi_1 C_1)=0,94$	$P(\varphi_2 C_1)=0,06$
ADEQ	ADEQ	INADEQ
$P(C_2)=0,03$	$P(\varphi_1 C_2)=0$	$P(\varphi_2 D_2)=1$
ADEQ	ADEQ	INADEQ

Tabela 95 - Probabilidade do Nó Filho – Conhecimento (Saída Traseira)

DEMONSTRAÇÃO - C	CONHECIMENTO - φ	
$P(C_i)$	$P(\varphi_j C_i)$	$P(\varphi_j C_i)^c$
$P(C_1) = 0,98$	$P(\varphi_1 C_1)=0,95$	$P(\varphi_2 C_1)=0,05$
ADEQ	ADEQ	INADEQ
$P(C_2)=0,02$	$P(\varphi_1 C_2)=0$	$P(\varphi_2 C_2)=1$
ADEQ	ADEQ	INADEQ

Tabela 96 - Probabilidade do Nó Filho – Nervosismo (Saída Dianteira)

EMERGÊNCIA - F	NERVOSISMO - ε	
$P(F_i)$	$P(\varepsilon_j F_i)$	$P(\varepsilon_j F_i)^c$
$P(F_1)=0,98$	$P(\varepsilon_1 F_1)=0,68$	$P(\varepsilon_2 F_1)=0,32$
SIM	NÃO	SIM
$P(F_2)=0,02$	$P(\varepsilon_1 F_2)=1$	$P(\varepsilon_2 F_2)=0$
NÃO	NÃO	SIM

Tabela 97 - Probabilidade do Nó Filho – Nervosismo (Saída Traseira)

Análise da Confiabilidade Humana na Evacuação de Emergência de uma Aeronave

EMERGÊNCIA - F	NERVOSISMO - ϵ	
$P(F_i)$	$P(\epsilon_j F_i)$	$P(\epsilon_j F_i)^c$
$P(F_1) = 0,98$	$P(\epsilon_1 F_1)=0,70$	$P(\epsilon_2 F_1)=0,30$
SIM	NÃO	SIM
$P(F_2)=0,02$	$P(\epsilon_1 F_2)=1$	$P(\epsilon_2 F_2)=0$
NÃO	NÃO	SIM

Tabela 98 - Probabilidade do Nó Filho – Conhecimento (Saída em cima da Asa)

DEMONSTRAÇÃO - C	CONHECIMENTO - ϕ	
$P(C_i)$	$P(\phi_j C_i)$	$P(\phi_j C_i)^c$
$P(C_1) = 0,94$	$P(\phi_1 C_1)=1$	$P(\phi_2 C_1)=0$
ADEQ	ADEQ	INADEQ
$P(C_2)=0,06$	$P(\phi_1 C_2)=0$	$P(\phi_2 D_2)=1$
ADEQ	ADEQ	INADEQ

Tabela 99 - Probabilidade do Nó Filho – Nervosismo (Saída em cima da Asa)

EMERGÊNCIA - F	NERVOSISMO - ϵ	
$P(F_i)$	$P(\epsilon_j F_i)$	$P(\epsilon_j F_i)^c$
$P(F_1) = 1$	$P(\epsilon_1 F_1)=0,58$	$P(\epsilon_2 F_1)=0,42$
SIM	NÃO	SIM
$P(F_2)=0$	$P(\epsilon_1 F_2)=1$	$P(\epsilon_2 F_2)=0$
NÃO	NÃO	SIM

Habilidades – Probabilidades condicionais adquiridas pela lógica fuzzy

Tabela 100 - Probabilidades Condicionais - Atenção

Tabela 101 - Probabilidades Condicionais - Percepção dentro

Tabela 102 - Probabilidades Condicionais - Interpretação

Tabela 103 - Probabilidades Condicionais - Liderança

Tabela 104 - Probabilidades Condicionais - Tomada de Decisão

Tabela 105 - Probabilidades Condicionais – Percepção Fora

Tabela 106 - Probabilidades Condicionais - Habilidade Física para Escorregar

APÊNDICE H – EVACUAÇÃO COMPLETA – RESULTADOS DAS PROBABILIDADES CONDICIONAIS PELA LÓGICA FUZZY

Neste Apêndice serão apresentadas as tabelas das probabilidades condicionadas dos nós filhos das redes Bayesianas das tarefas Evacuação em cima da Asa e Traseira do Procedimento da Evacuação Completa

Tabela 107 - Abertura das Portas de Emergência em cima da Asa

Tabela 108 - Evacuação em cima da Asa

Tabela 109 - Evacuação Completa em cima da Asa

Tabela 110 - Abertura das Portas Principais Traseiras

Tabela 111 - Evacuação Traseira

Tabela 112 - Evacuação Completa Traseira