

## UTILIZAÇÃO DO MODELO DE FATORES HUMANOS (HFACS) NA ESTRUTURAÇÃO DE MAPAS CAUSAIS DE SEGURANÇA OPERACIONAL <sup>1</sup>

João Alexandre B. M. Vilela <sup>2</sup>  
Rodolfo dos Santos Sampaio <sup>3</sup>

Artigo submetido em 19/09/2011.

Aceito para publicação em 07/11/2011.

**RESUMO:** O aprimoramento de ferramentas prospectivas que auxiliem as atividades de prevenção pró-ativa de ocorrências aeronáuticas demanda a utilização de técnicas objetivas que também considerem as interações entre os fatores de risco presentes no contexto de segurança operacional em aviação. Estudos indicam que as inter-relações de causa-e-efeito que caracterizam um sistema complexo, como é o de aviação, podem potencializar o risco de danos e que as influências podem ser capturadas por meio de adequadas técnicas de mapeamento causal. Este trabalho amplia a análise sobre o tema, avaliando a interação entre os fatores de risco e as barreiras de defesa do contexto operacional do Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV), considerando os fatores de risco definidos pelo Modelo de Fatores Humanos (*Human Factors Analysis and Classification System* – HFACS). O estudo conclui que a estruturação de Mapas Causais de Segurança Operacional - MCSO, baseado no modelo HFACS, aporta benefícios à técnica de mapeamento causal, uma vez que permite organizar os fatores de risco e as barreiras de defesa de acordo com a realidade abordada no modelo do acidente organizacional de Reason. Nesse sentido, verifica-se que o aprimoramento de técnicas de estruturação da segurança, fundamentada na natureza prospectiva do mapeamento causal, amplia a capacidade de prevenção pró-ativa com instrumentos objetivos, contribuindo para o aperfeiçoamento da gestão de segurança operacional no IPEV.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensaios em Voo. Gerenciamento da Segurança Operacional. HFACS. Mapas Causais.

### 1 INTRODUÇÃO

As organizações que trabalham com aviação possuem metas que determinam a sua sobrevivência e, embora a segurança não seja o principal objetivo do negócio, ela é um componente fundamental para que as metas de produtividade sejam alcançadas de forma segura. Nas organizações que desenvolvem atividades aéreas,

---

<sup>1</sup> Artigo originalmente apresentado no IV Simpósio de Segurança de Voo do Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV), ocorrido em São José dos Campos - SP, de 15 a 17 de agosto de 2011.

<sup>2</sup> Coronel Aviador da Força Aérea Brasileira, piloto de caça, piloto de prova e piloto inspetor de aviação civil. Especialista e mestre em segurança de aviação e aeronavegabilidade continuada pelo Instituto de Tecnologia e Aeronáutica – ITA. Experiência profissional em projetos aeronáuticos, com ênfase em ensaios em voo, armamento aéreo e combate eletrônico. Possui o curso de segurança de voo do SIPAER – Módulo Prevenção. Atualmente, é chefe da seção técnica do GAC-CASA (empresa Airbus Military - Espanha), atuando nos projetos P-3BR e CL-X. vilelajabm@gmail.com

<sup>3</sup> Capitão Aviador da Força Aérea Brasileira, piloto de prova, piloto de asas rotativas. Mestre em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada, pelo ITA. Especialista em investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos. Atualmente, é chefe da seção de coordenação de operações aéreas e da seção de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos do IPEV, além de atuar junto ao IFI no projeto AS565 K2, entre outros. rodolfosap@hotmail.com

quando ocorre um desequilíbrio entre os recursos que suportam as metas de produção e os objetivos de segurança, aumentam-se os riscos de surgirem ocorrências (acidentes, incidentes ou ocorrências de solo) aeronáuticas (ICAO, 2008).

Para manter a atividade aérea dentro de um nível aceitável de segurança, realiza-se a Gestão da Segurança Operacional (GSO), cujo conceito compreende o conjunto de ações, métodos e procedimentos a ser adotado, no âmbito de uma organização, para a prevenção de acidentes aeronáuticos (BRASIL, 2008b). Seu principal instrumento, no âmbito governamental, é o Programa de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos - PPAA (BRASIL, 2009).

No Comando da Aeronáutica, a gestão da segurança em ensaios em voo é realizada pelo Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV). As principais atividades aéreas deste Instituto estão associadas à execução de voos de ensaio, instrução aérea de pessoal especializado, instrução aérea básica e transporte aéreo (BRASIL, 2011). O voo fora do envelope (condições de voo ainda não testadas), suportado por atividades de engenharia, conferem ao IPEV aspectos funcionais diferentes dos encontrados nos diversos esquadrões da Força Aérea Brasileira e, portanto, demandam ações complementares ao previsto nas normas para confecção do PPAA.

De forma a adequar a abrangência das atividades de prevenção do IPEV, desenvolveu-se o Programa de Segurança de Voo em Ensaios (PSVE) o qual tem por objetivo orientar a prevenção de ocorrências aeronáuticas e manter a atividade de voos de ensaios com um nível de segurança aceitável (BRASIL, 2009b).

O PSVE estabelece processos e orienta o gerenciamento do risco operacional com o foco baseado em informações e exemplos que evidenciam somente os fatores de risco associados aos voos de ensaios. Entretanto, muitos dos recursos materiais, humanos e financeiros são compartilhados com outras atividades importantes do IPEV que vão além do planejamento e realização de voos de ensaios, como por exemplo, a formação de pessoal especializado em ensaios, manutenção e instrumentação de aeronaves, instrução aérea básica, transporte aéreo e serviços aeroportuários, os quais precisam coexistir de forma harmoniosa para que o sistema atinja seus objetivos de produtividade com segurança.

Para realizar a prevenção pró-ativa em ambientes operacionais multicomponentes de elevada complexidade, como é o contexto do IPEV, Vilela

(2011) propõe a utilização de Mapas Causais de Segurança Operacional (MCSO) baseados em modelos estruturados nas inter-relações causais entre fatores de risco e barreiras de segurança (barreiras de defesa).

Os mapas causais correspondem à representação gráfica e instantânea das relações de causa-e-efeito existentes nos modelos mentais de indivíduos ou de grupos acerca de uma dada realidade. Esses mapas podem conter elevado nível de detalhes, de forma a proporcionar condições para uma rica descrição qualitativa e objetiva das condições de segurança de um contexto operacional. Em seu trabalho, Vilela (2011) estruturou MCSO segundo a percepção de especialistas na atividade de ensaios em voo, utilizando somente os fatores contribuintes previstos no Manual de Investigação de Acidentes Aeronáuticos do SIPAER - MCA 3-6 (BRASIL, 2008a).

Neste trabalho, amplia-se o estudo de referência, estruturando a pesquisa de modo a considerar a atuação dos fatores de risco em conjunto com as variáveis que reduzem os efeitos dos riscos (barreiras de defesa, representadas pela tecnologia, treinamento, normatização e fiscalização). Adicionalmente, utilizam-se os fatores de risco definidos pelo Modelo de Fatores Humanos (*Human Factors Analysis and Classification System* – HFACS), em substituição aos originalmente definidos na MCA 3-6.

Essa mudança busca avaliar a adequabilidade em confeccionar MCSO que considerem a realidade abordada no modelo do acidente organizacional (*accident causation*), desenvolvido pelo Professor James Reason e operacionalizado no modelo de análise de erro - HFACS. Como resultados do estudo, disponibilizam-se um guia de procedimentos (check-list) para orientar a confecção de mapas causais de segurança operacional (MCSO) do IPEV e uma proposta de representação diagramática de MCSO.

No próximo capítulo são indicadas as bases teóricas relacionadas com a gestão da segurança operacional no IPEV e com os modelos tradicionais aplicados à segurança (acidente organizacional de Reason e o modelo de fatores humanos HFACS). Complementando o referencial bibliográfico, apresenta-se a metodologia de prevenção pró-ativa de ocorrências aeronáuticas com uso de modelos causais.

Em seguida, são estabelecidos os procedimentos para elaborar a lista constructos do sistema de segurança operacional (fatores de risco e barreiras de defesa) de modo a confeccionar os MCSO. Nas discussões, explica-se o processo de interpretação e análise desses mapas, evidenciando as influências causais

decorrentes das interações entre os fatores de risco e as barreiras de defesa. Por fim, conclui-se que a estruturação de modelos causais com base no HFACS aporta benefícios à técnica de confecção de MCSO e contribui para o aprimoramento de ferramentas objetivas que suportam as atividades de prevenção pró-ativa com vistas ao aperfeiçoamento da gestão de segurança operacional no IPEV.

Como limitação de pesquisa, o estudo não quantifica os valores das variáveis e das influências entre os fatores de risco e as barreiras de defesa, apenas explora o método relacionado com a identificação e quantificação dos constructos e de suas inter-relações causais.

Definição dos símbolos utilizados:

$B_i$  - Barreira de defesa de índice  $i$

$C_i$  - Constructo de índice  $i$  ( $B_i$  ou  $F_i$ )

$C_i \xrightarrow{+p} C_j$  - impacto/influência de  $C_i$  sobre  $C_j$  com polaridade positiva igual a  $+p$

$F_i$  - Fator de risco de índice  $i$

$I$  - Impacto direto

$I_x$  - Impacto indireto

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Gestão da segurança operacional no IPEV

No Comando da Aeronáutica, a atividade de ensaios em voo é desenvolvida pelo Instituto de Pesquisa e Ensaios em Voo - IPEV, antigo Grupo Especial de Ensaios em Voo (GEEV). Esta organização, pertencente ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial, foi criada pelo Decreto nº 5.657, de 30 de dezembro de 2005 e teve sua denominação renomeada (de Grupo para Instituto) em 09 de março de 2011. A finalidade do IPEV é a prestação de serviços tecnológicos especializados na área de ensaios em voo, instrumentação de aeronaves e telemetria de dados para apoio à pesquisa, desenvolvimento e certificação de produtos aeronáuticos, bem como a formação de pessoal especializado em ensaios em voo (BRASIL, 2011).

No IPEV, coexistem atividades administrativas, técnicas e logísticas em suporte à atividade aérea, a qual está organizada em três grandes áreas: voos de ensaio com e sem abertura de envelope (condições de voo ainda não testadas), instrução aérea de pessoal especializado (curso de ensaios em voo e curso de recebimento de aeronaves) e operações aéreas (instrução de voo básica e

transporte aéreo) conforme os manuais de operação dos fabricantes de aeronaves (BRASIL, 2011). A Figura 1 apresenta um diagrama que ilustra o contexto operacional do IPEV.



FIGURA 1 - Contexto da atividade aérea no IPEV  
Fonte: BRASIL, 2011

Cada área de atividade aérea engloba um conjunto de missões com diferentes níveis de complexidade, as quais demandam distintos requisitos para o cumprimento das diferentes condições de voo (noturno, diurno, instrumento, visual), perfis (tráfego, navegação a baixa altura, etc.) e fases (táxi, decolagem, subida, cruzeiro, ensaio, descida, pouso).

No que tange à gestão da segurança operacional, o desafio está em como realizar ações de prevenção nesse complexo ambiente operacional de modo a mitigar os riscos das atividades e nas áreas que suportam a atividade aérea.

A perspectiva de gestão da segurança deve ser compreendida como uma importante função na organização, uma vez que existe o potencial de ocorrer competitividade danosa na alocação de recursos para atender as principais funções da organização que apóiam direta ou indiretamente a produção dos seus serviços. Caso não seja adequadamente gerenciada, a alocação de recursos pode ser prejudicada como decorrência dos conflitos que surgem na priorização das metas de produção (*Production* - fornecimento de serviços) e das metas de proteção (*Protection* - segurança) (ICAO, 2008). Esses conflitos, comumente conhecido como dilema dos dois “P”, podem converter-se em fatores de risco para a atividade aérea e devem ser adequadamente identificados e seus efeitos mitigados.

A segurança é o estado no qual a possibilidade de lesões às pessoas ou de danos aos bens se reduz e se mantém em um nível aceitável ou abaixo deste, por meio de um processo contínuo de identificação de perigos e gestão de riscos (ICAO, 2008).

Stolzer, Halford e Goglia (2008) afirmam que, para profissionais de segurança operacional, a palavra *safety* é um “*verbo ativo*” (p. 15), visto que implica constante mensuração, avaliação e análise dos dados dentro de um sistema. O gerenciamento de risco operacional, como uma das formas de prevenção, é definido como “um processo de mensuração deste risco e de desenvolvimento de estratégias para gerenciá-los” (STOLZER; HALFORD; GOGLIA, 2008).

De acordo com as normas em vigor, o PPAA é o instrumento por meio do qual se transmite as políticas de segurança operacional, processos, métodos, ferramentas, dados estatísticos, atividades (educativas, promocionais, vistorias e auditorias, programas, gestão do risco, divulgação operacional, reportes) e responsabilidades, sob a óptica do SIPAER, visando à prevenção de ocorrências aeronáuticas (BRASIL, 2008c).

O PPAA do IPEV considera o Método SIPAER de Gerenciamento de Risco – MSGR como recurso da prevenção pró-ativa para as atividades aéreas que não são específicas de ensaios em voo (treinamento, voos de instrução aérea e transporte). Restrito às atividades aéreas dentro do envelope de voo, o MSGR estabelece procedimentos para mitigar o risco dos fatores de risco previamente definidos, utilizando a análise de tendência com base em indicadores estabelecidos por meio dos dados coletados (BRASIL, 2008c).

Esta ferramenta, de uso amplo, procura mensurar os aspectos do presente mais próximos como possíveis causadores de acidentes, identificando, porém, limitadas condições latentes e sem considerar a existência das inter-relações entre os fatores contribuintes como potencializadores das condições de risco.

Assim, em virtude das peculiaridades do IPEV, o PPAA é complementado pelo Programa de Segurança de Voo em Ensaios (PSVE), principal ferramenta de gerenciamento de risco em ensaios, cujo processo está estruturado em quatro fases conforme ilustrado na Figura 2.

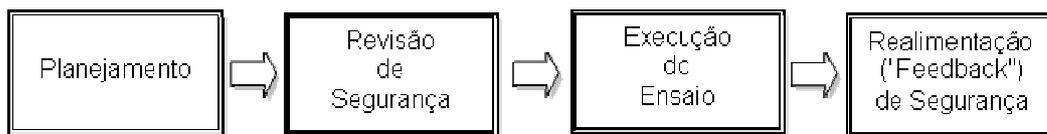


FIGURA 2 - Fases do programa de segurança em voos de ensaio

Fonte: BRASIL, 2009<sup>a</sup>

Na fase de planejamento (primeira etapa), a equipe de ensaio explora as condições potencialmente inseguras para a realização do ensaio, aplica medidas mitigadoras e classifica o nível de risco. A previsão do comportamento da aeronave ou do sistema a ser ensaiado é um aspecto relevante para diminuir a incerteza do ensaio e considera testes em laboratório, ensaios no solo, meios computacionais disponíveis, meios de simulação e outras formas de levantamento de dados como meios para mitigar os riscos.

A segunda fase (revisão de segurança) é realizada por pessoal mais experiente e/ou especializado em segurança operacional de modo a inserir medidas extras que visem ao aperfeiçoamento da documentação de ensaio, à aplicação de procedimentos adicionais, em caso de uma emergência relacionada ao ensaio, e, se necessário, à alteração da classificação inicial do nível de risco.

Durante a execução dos ensaios (terceira etapa), qualquer situação diferente do previsto é documentada e encaminhada ao revisor do ensaio, juntamente com as providências tomadas, para registro, revisão dos procedimentos de segurança e utilização em futuros planejamentos.

Ao final (quarta fase), analisam-se as condições inseguras identificadas nas fases anteriores com o objetivo de renovar e atualizar a base de dados relacionada com a segurança operacional dos ensaios, permitindo a aplicação das lições aprendidas em atividades futuras.

Ressalta-se que o processo de classificação do nível de risco aborda, principalmente, os fatores diretamente ligados à execução do ensaio, desconsiderando a influência organizacional e a supervisão como condições latentes para o surgimento de ocorrências aeronáuticas, de modo que fatores de risco importantes podem não ser identificados e, conseqüentemente, suas influências indiretas não serem devidamente analisadas. As pré-condições para atos inseguros são verificadas momentos antes do voo pelas equipagens de ensaio por meio do MSGR.

Os dados estatísticos de ocorrências aeronáuticas e de relatórios de prevenção (RELPREV) também são utilizados na gestão da segurança do IPEV. A literatura especializada indica que o erro humano continua a afligir tanto percalços militares como civis, sendo apontado como fator causal em 80 a 90% dos acidentes e resultado de inúmeras falhas latentes ou condições que precedem falhas ativas (DoD-HFACS, 2005), razão pela qual faz-se necessário considerar modelos que abordem esta questão como referências para o gerenciamento de risco operacional de uma forma mais ampla.

## **2.2. Modelos Tradicionais Aplicados à Segurança**

A aplicação de modelos sob perspectivas cognitiva, ergonômica, comportamental, aeromédica, psicossocial e organizacional contribui para a gestão da segurança operacional uma vez que a compreensão da natureza humana, sob a ótica do raciocínio, das reações orgânicas, do comportamento e das interações homem-máquina, permite a explicação das causas de acidentes aeronáuticos (WIEGMANN; SHAPPELL, 2003).

Neste trabalho, explora-se a estrutura do modelo de fatores humanos (HFACS) como arcabouço para estruturar os MCSO a permitir análises das inter-relações causais entre fatores contribuintes de ocorrências aeronáuticas e suas influências na segurança operacional de ensaios em voo.

### **2.2.1 MODELO DE FATORES HUMANOS**

A teoria de Reason está fundamentada na influência da organização sobre o indivíduo, sendo amplamente difundida e aceita pelas indústrias e pelos órgãos reguladores. Segundo essa teoria, sistemas complexos, tais como o de aviação, são extremamente bem defendidos por camadas de defesas em profundidade em que as falhas simples e pontuais raramente geram consequências catastróficas. As falhas de equipamento ou os erros operacionais (falhas ativas) nunca são a causa das rupturas em defesas da segurança, mas os gatilhos. Essas rupturas são uma consequência atrasada das decisões feitas em níveis mais elevados do sistema (condições latentes) e que permanecem dormentes até que seus efeitos sejam ativados por circunstâncias operacionais (ICAO, 2008).

A Figura 3 ilustra a sequência causal de acidentes segundo o modelo Reason.

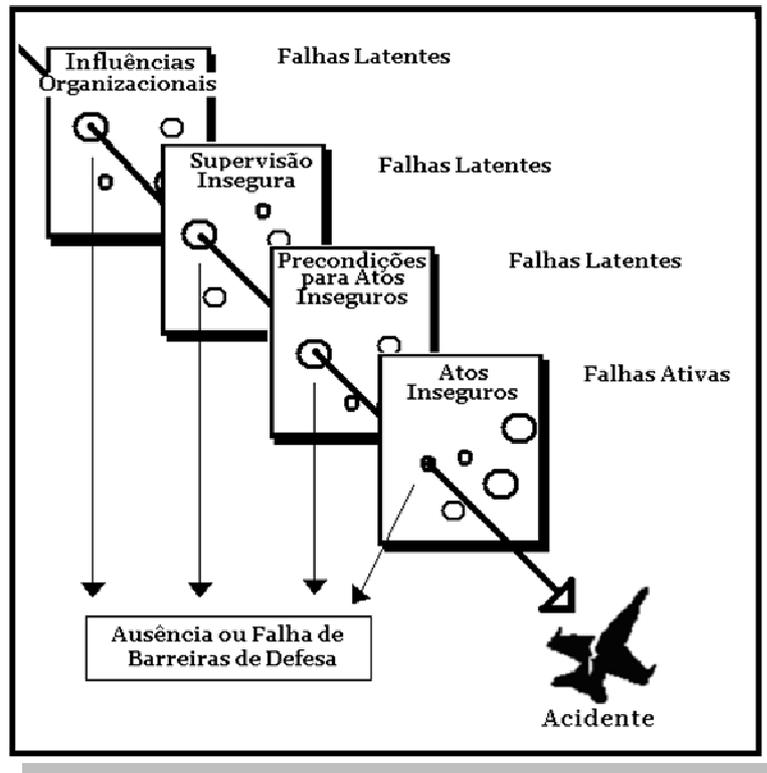


FIGURA 3 – Modelo do queijo suíço  
Fonte: DoD-HFACS, 2005

O ambiente organizacional contribui para que os fatores de risco dos níveis gerenciais e de supervisão afetem as condições de trabalho e permitam gerar situações que influenciam direta e indiretamente as ações mais próximas do acidente. As barreiras de defesa atuam em todo o contexto organizacional e operacional de forma a impedir ou minimizar a atuação das condições latentes e falhas ativas. Na ausência ou deficiência dessas barreiras, as condições operacionais tornam-se propícias para o surgimento de ocorrências aeronáuticas.

O HFACS (*Human Factors Analysis and Classification System*) está estruturado com base na teoria do acidente organizacional de Reason (*accident causation – The Reason model*). Esse modelo de análise de erros, originariamente desenvolvido e testado nas Forças Armadas Americanas, é uma ferramenta utilizada para investigar e analisar as causas de acidentes aeronáuticos decorrentes de fatores humanos, cuja contribuição chega a 70% a 80% dos ocorridos na aviação civil e militar (WIEGMANN; SHAPPELL, 2003).

O advento desta ferramenta é decorrente da dificuldade encontrada por pesquisadores em analisar e investigar os dados armazenados nos diversos sistemas de registro de acidentes aeronáuticos. As estruturas de dados desses sistemas, por serem concebidas e empregadas por engenheiros e operadores de linha de frente com pouca experiência em fatores humanos, não incorporam a teoria e conceitos afins, dificultando as análises de acidentes decorrentes de erros humanos e, por conseguinte, impedindo o estabelecimento de adequadas estratégias de prevenção (WIEGMANN; SHAPPELL, 1997).

O HFACS implementa os conceitos do acidente organizacional de Reason e força o investigador a correlacionar os erros humanos identificados nas investigações de acidentes aeronáuticos, permitindo classificar os fatores de risco (falhas ativas e condições latentes) de acordo com os códigos (*nanocodes*) da taxonomia estabelecida (DoD-HFACS, 2005). Devido a essas características, o HFACS auxilia a compreender por que os atos inseguros dos indivíduos envolvidos em um acidente têm condições precedentes que propiciam suas ocorrências como resultado final de uma série de causas primárias.

Esse modelo, portanto, é projetado para apresentar uma abordagem sistemática e multidimensional para análise de erros, abrangendo o erro humano sob perspectivas de integração cognitiva, de interação entre indivíduos, de aspectos socioculturais e de fatores organizacionais. O HFACS organiza os fatores de risco em quatro níveis de falhas:

- Influências Organizacionais;
- Supervisão Insegura;
- Pré-condições para Atos Inseguros; e
- Atos Inseguros.

Esses grupos subdividem-se em outros menores (categorias, subcategorias) conforme ilustrado na Figura 4. Cada subdivisão está estruturada em denominações mais básicas compostas de códigos (*nanocodes*), cujas definições permitem correlacioná-los com as evidências encontradas nas investigações de forma mais precisa e objetiva (DoD-HFACS, 2005).

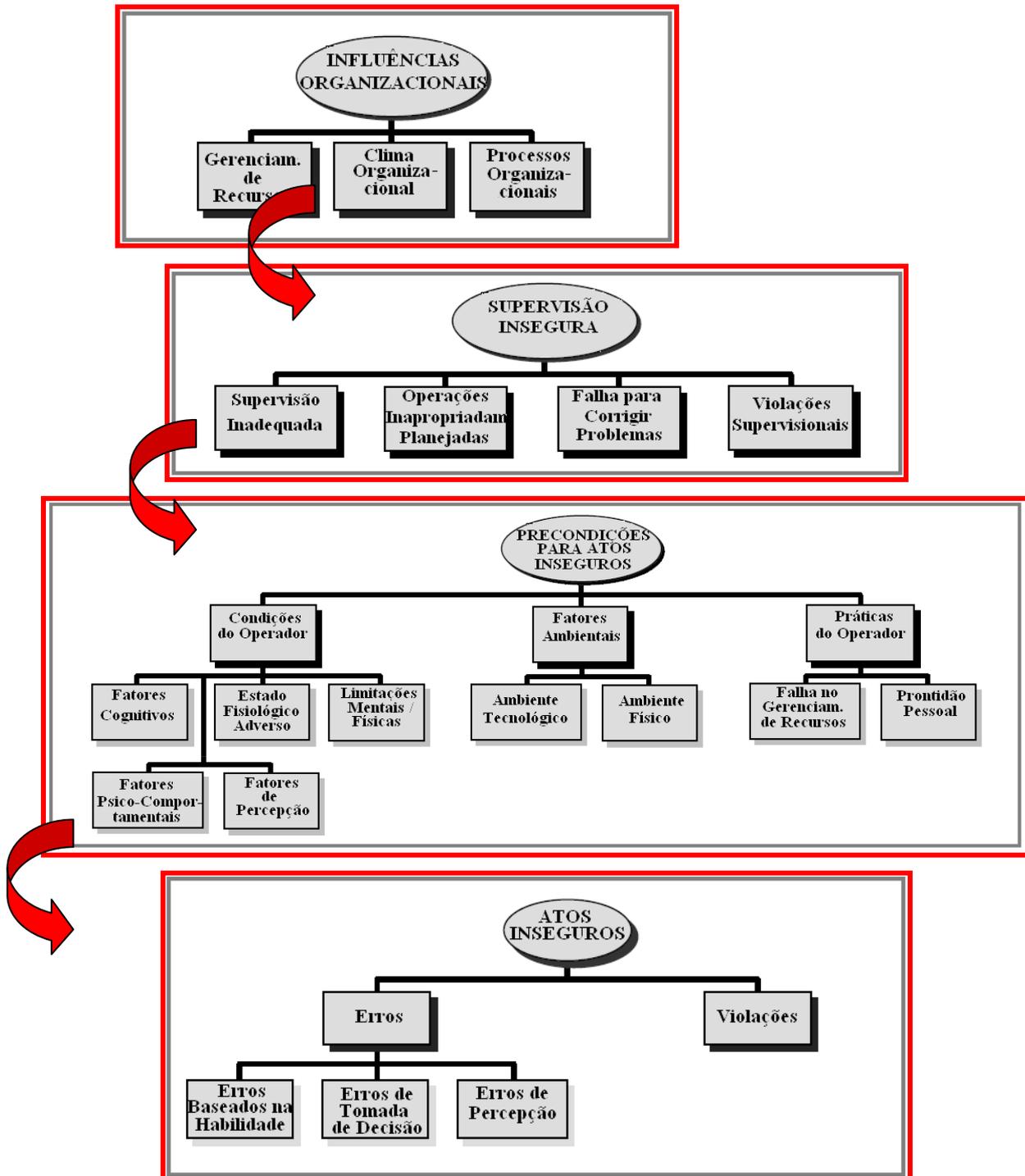


FIGURA 4 – Modelo HFACS

Fonte: DoD-HFACS, 2005

A literatura apresenta resultados positivos na aplicação do HFACS como recurso de investigação de acidentes aeronáuticos (WIEGMANN; SHAPPELL, 1997). A aplicação do HFACS diminui a distância entre a teoria de Reason e a prática de investigação ao prover os investigadores de uma ferramenta amigável que

permita a identificação e a classificação das causas humanas em acidentes aeronáuticos (COLORADO FIRECAMP, 2011).

Em sua dissertação, Vilela (2011) analisa as inter-relações entre os fatores contribuintes do MCA 3-6 sem considerar qualquer classificação. Neste trabalho, diferentemente, amplia-se a análise sobre o tema, explorando e avaliando a maneira como os fatores estão organizados, e a aplicabilidade do HFACS como recurso para a confecção de MCSO.

### **2.3. Prevenção pró-ativa com uso de mapas causais**

“A atitude ativa frente ao futuro, própria da prospectiva, surgiu em decorrência da decadência da previsão quantitativa, a qual consiste em observar o passado e, baseando em algo quantitativamente invariante, postular sua permanência no futuro. De forma análoga, tem-se o enfoque prospectivo que, com base numa visão sistêmica, na subjetividade da interpretação dos fatos e na inter-relação de fatores, procuram estabelecer as possibilidades do futuro com os fundamentos do presente.” (DURÁN, 2010).

Luxhøj (2003) explica que o modelamento formal de sistemas pressupõe da utilização de métodos quantitativos ou qualitativos para identificar e medir as influências entre as variáveis como forma de obter indicadores numéricos em suporte às estratégias de segurança. Entretanto, salienta que o processo para obtenção de valores quantitativos é considerado um gargalo na estruturação de modelos para a segurança operacional.

Para suprir essa limitação, Vilela (2011) propõe a utilização de modelos causais como recurso estruturar a segurança operacional. Por meio de adequadas técnicas de mapeamento, as inter-relações causais entre os fatores de risco e as barreiras de defesa que caracterizam a segurança de um determinado contexto operacional podem ser capturadas e expressar, de forma objetiva, as influências diretas e indiretas dos constructos na segurança operacional.

Os Mapas Causais da Segurança Operacional (MCSO) correspondem à representação gráfica e instantânea dos modelos de causa-e-efeito de indivíduos ou de grupos frente a uma dada realidade. Eles podem ser estáticos ou dinâmicos e conter elevado nível de detalhes, proporcionando condições para uma rica descrição qualitativa e quantitativa das condições de segurança de um contexto operacional.

A aplicação de mapas causais como recurso de prevenção pró-ativa está inserida no contexto da metodologia de prevenção pró-ativa por modelos causais (Figura 5) e está fundamentada na seguinte premissa:

O contexto de ensaios em voo é multicomponente e complexo, caracterizado por variáveis que se inter-relacionam de forma sistêmica, as quais afetam direta e indiretamente a segurança operacional de todo o sistema. O modelo conceitual do segurança operacional de ensaios em voo (SOEV) considera a existência de dois tipos básicos de variáveis:

- Fatores de risco - variáveis que contribuem para o surgimento de ocorrências aeronáuticas. Neste estudo, equivalem aos *nanocodes* definidos em DoD-HFACS (2005); e
- Barreiras de defesa - variáveis que atuam de forma a reduzir ou inibir os efeitos dos fatores de risco. Neste estudo, adotam-se os seguintes grupos: tecnologia, treinamento, regulação e fiscalização.

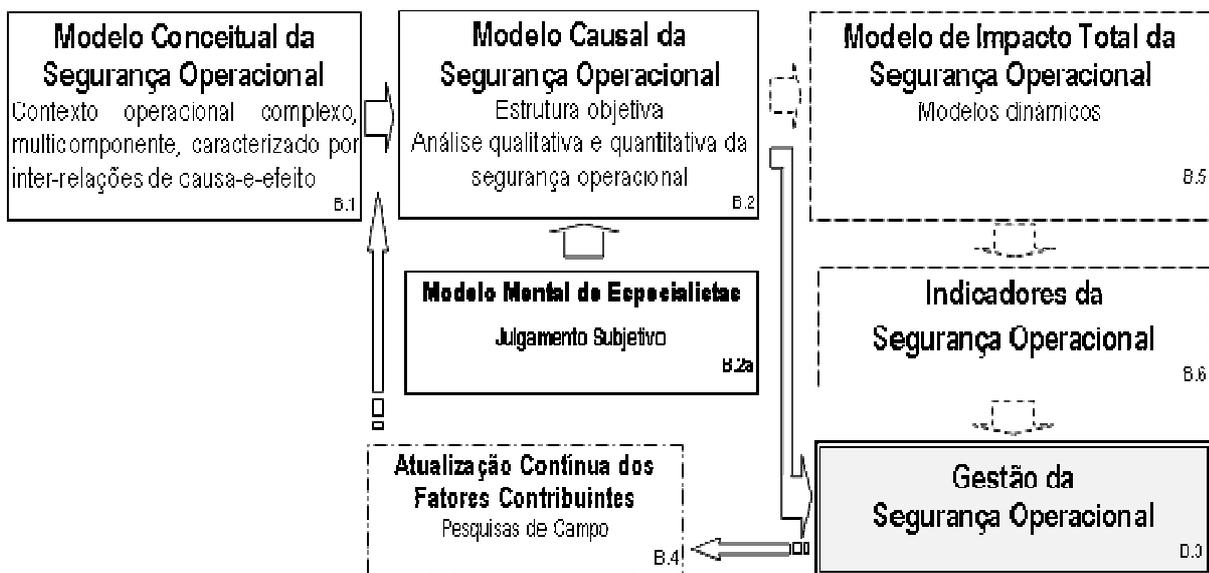


FIGURA 5 - Metodologia de prevenção pró-ativa por modelos causais  
Fonte: VILELA, 2011

O bloco “B.1” corresponde ao ambiente da segurança operacional de ensaios em voo (Figura 6), cujo modelo conceitual é caracterizado pela diversidade de componentes que se interagem em complexas inter-relações as quais podem amplificar os impactos dos elementos no sistema de segurança.

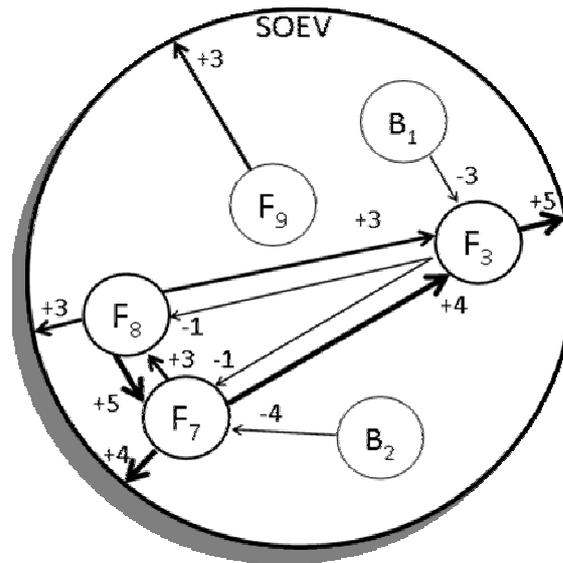


FIGURA 6 - Modelo conceitual da segurança operacional de ensaios em voo  
Fonte: VILELA, 2011

O círculo maior representa a Segurança Operacional de Ensaios em Voo (SOEV), cujo estado é diretamente influenciado pela atuação dos fatores de risco, representado pelos círculos que estão identificados por códigos  $F_i$  ( $F_3$ ,  $F_7$ ,  $F_8$  e  $F_9$ ), e indiretamente impactado pelas inter-relações entre os fatores de risco e as barreiras de defesa, identificadas por  $B_i$  ( $B_1$  e  $B_2$ ). As setas que apontam para o círculo maior representam os impactos (influências) diretos dos fatores de risco na SOEV. As setas entre os círculos menores constituem as inter-relações, ou seja, os impactos cruzados entre os elementos e representam as influências indiretas dos fatores de risco na SOEV.

As relações de influência, quando existem, são representadas por setas (arcos causais), acompanhadas por números compostos de sinal e valor. Cada arco apresenta um sentido de impacto e um valor numérico, cujo sinal representa a polaridade (positiva ou negativa) e seu módulo corresponde à intensidade (nível, grau ou quantidade) de impacto. Quando a polaridade assume um valor positivo, a influência é diretamente proporcional, ou seja, um aumento/diminuição na variável impactante leva a um aumento/diminuição do elemento impactado. Se a polaridade é negativa, o efeito é inversamente proporcional, pois um aumento no primeiro leva a uma diminuição do segundo ou uma diminuição no primeiro leva a um aumento no segundo. De acordo com a Figura 6, por exemplo,  $F_7$  impacta positivamente em  $F_3$  com intensidade igual a 4. A influência é representada pelo símbolo  $F_7 \xrightarrow{+4} F_3$ .

A técnica de modelamento causal utilizada neste estudo não limita o tipo de entrada, podendo, inclusive, acomodar números que expressem incertezas sobre a quantificação das influências causais. Estudos que se baseiam na Teoria de Sistemas Nebulosos (*Grey System Theory - GST*) utilizam, ao invés de números inteiros e discretos, intervalos (*grey numbers*) para quantificar a influência nebulosa (grau de incerteza) das relações causais entre conceitos como forma de obter modelos mais confiáveis do processo decisório (Salmeron, 2010).

O bloco “B.2” representa o processo de estruturação do modelo causal da segurança em ensaios em voo, caracterizado pelo sequenciamento das atividades de pesquisa com base no julgamento de especialistas (bloco “B.2a”), pelas técnicas de organização e tratamento dos resultados, e pelas análises qualitativas e quantitativas dos mapas causais. No trabalho original, apesar de Vilela (2011) mencionar as barreiras de defesa como elementos integrantes do modelo conceitual da segurança operacional em ensaios em voo, somente utiliza os fatores contribuintes previstos no Manual de Investigação de Acidentes Aeronáuticos do SIPAER - MCA 3-6 (BRASIL, 2008a) para a confecção dos MCSO.

O bloco “B.3” (linha dupla) corresponde às atividades que se utilizam dos MCSO para realizar o gerenciamento de risco. O bloco “B.4”, em linha tracejada e pontilhada, representa o processo de realimentação, possibilitando a atualização dos mapas causais a partir de pesquisas de campo, sempre que necessário, de forma a obter um contínuo gerenciamento do risco operacional. O bloco “B.5”, em linha tracejada, representa as propostas de trabalhos futuros no sentido de permitir o cálculo dos impactos diretos e indiretos (impacto total) no sistema de segurança operacional. O bloco “B.6”, em linha tracejada, representa outra proposta de trabalho futuro para, em complemento às atividades do bloco “B.5”, viabilizar a definição de critérios de mensuração e interpretação de indicadores que possam representar o nível de segurança de um determinado contexto operacional.

### **3 ESTRUTURAÇÃO E USO DE MAPAS CAUSAIS COM BASE NO HFACS**

Em sua dissertação, Vilela (2011) avaliou a adequabilidade de estruturar a segurança operacional por meio de modelos causais, utilizando um modelo conceitual da segurança operacional coerente com a teoria de causa de acidentes (*accident causation*) do Professor James Reason e um conjunto de fatores

contribuintes baseados no MCA 3-6. O trabalho de referência não tinha por objetivo definir qual seria a melhor estrutura para organizar os fatores contribuintes no processo de confecção dos MCSO. Para ampliar o escopo do estudo e alcançar o objetivo pretendido, duas mudanças significativas são introduzidas neste estudo.

A primeira corresponde à substituição dos fatores contribuintes, originalmente definidos com base no manual MCA 3-6, pelos constructos definidos no HFACS. Essa alteração visa a avaliar o processo de confecção de mapas causais de segurança, considerando contextos operacionais baseados na teoria de causa de acidentes (*accident causation*) desenvolvida pelo Professor James Reason. A segunda objetiva avaliar as inter-relações considerando a inclusão das barreiras de defesa no processo de estruturação dos MCSO.

### **3.1. Guia de procedimentos para estruturar MCSO**

#### **3.1.1. DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA SEGURANÇA OPERACIONAL**

O primeiro passo para iniciar o processo de estruturação de MCSO consiste em definir o contexto da atividade aérea sobre a qual se deseja realizar as análises referentes à segurança operacional, pois ele serve de referência para a identificação e escolha dos fatores de risco que vão fazer parte da confecção dos mapas causais.

Conforme abordado anteriormente, o contexto operacional do IPEV é caracterizado pelas atividades de ensaios em voo, instrução aérea especializada e operações. É importante ter consciência de que o escopo da atividade aérea delimita as variáveis de estudo. Isso significa dizer que alguns fatores de risco (*nanocodes*) definidos no HFACS podem estar associados a um determinado contexto operacional (ensaios em voo), mas não necessariamente a outro (voos de instrução básica/transporte aéreo, instrução especializada).

A contextualização operacional no nível mais amplo (ensaios em voo, por exemplo) implica na obtenção de mapas mais genéricos cujas características podem não expressar informações úteis para a gestão de risco quanto aos aspectos relacionados com o tipo de missão/perfil de voo, gerando incertezas sobre a sua aplicabilidade. Por outro lado, se o contexto operacional da pesquisa abordar um escopo no nível das fases de voo (decolagem, por exemplo), o MCSO pode ter uma abrangência reduzida e não ser aplicável aos aspectos relacionados com o tipo de missão e/ou área de atividade aérea.

### 3.1.2. LISTA DE CONSTRUCTOS

A lista de constructos define os elementos com os quais se pretende avaliar as influências causais. Uma vez definido o escopo do contexto operacional, listam-se os constructos (elementos) com base na literatura especializada. Neste trabalho, utiliza-se o arcabouço do HFACS como estrutura de referência para definir os fatores de risco, mas poder-se-ia utilizar outras perspectivas e/ou modelos de segurança. Não existe uma referência correta para a organização e escolha das variáveis. A técnica de modelamento também permite mesclar fontes de referência além de poder-se complementar a lista com variáveis com sugestões dos respondentes do formulário de pesquisa. Ressalta-se que quanto maior for o número de variáveis, mais detalhado pode ser o mapa. Entretanto, o excesso de variáveis pode impossibilitar a aplicação de formulários em função da excessiva quantidade de respostas por formulário de pesquisa que é influenciada de forma quadrática (VILELA, 2011).

Por ocasião da confecção dos mapas causais da segurança operacional, apesar de Markóczy e Goldberg (1995) sugerirem o uso de 40 a 50 constructos, recomenda-se analisar e definir a lista inicial de constructos a partir 147 *nanocodes*. Caso algum *nanocode* não seja suficiente para distinguir condições distintas e propiciarem respostas dúbias, outras categorias de *nanocodes* devem ser criadas de modo a representar o contexto operacional de interesse. De forma a simplificar este trabalho, utilizam-se apenas os fatores de risco adotados pelo DoD-HFACS (2005) até o nível de subcategoria e os quatro tipos genéricos de barreiras de defesa (ICAO, 2008).

### 3.1.3. AMOSTRA

O MCSO deve ser elaborado com base em uma amostra heterogênea que reflita a estrutura funcional e operacional da organização. Entende-se por grupo heterogêneo aquele cujos integrantes possuem o mesmo nível de conhecimento no tema de interesse, mas de áreas de atuação distintas (SALMERON; LOPEZ, 2011).

Considerando que cada profissional percebe os fatores de risco de acordo com sua idiosincrasia (área de atuação, conhecimento ou formação), é relevante que a amostra composta de representantes de cada área funcional que, no caso do IPEV, está assim identificada: pilotos de prova, engenheiros de prova,

instrumentadores de ensaios (engenheiros ou técnicos), mecânicos de voo de ensaios, servidores do setor de manutenção de aeronaves, servidores do setor de administração e outros setores técnicos do IPEV. Caso não haja médico e psicólogo de aviação, recomenda-se envolver profissionais dessas especialidades de outras organizações.

Os profissionais especialistas envolvidos devem ter pleno conhecimento dos fundamentos e experiência profissional sobre ensaios em voo, riscos, fatores de risco e barreiras da segurança na atividade aérea desenvolvida no IPEV. Em função desses aspectos, julga-se que a amostragem seja representativa da cultura de segurança do IPEV.

### 3.1.4. CARACTERIZAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSAIS

A caracterização dos impactos causais (identificação e quantificação das inter-relações causais) é realizada por meio de um formulário de pesquisa com vistas ao preenchimento de uma matriz de impactos cruzados. As orientações fornecidas ao respondente devem abordar o escopo da atividade aérea que está sendo avaliada para que as avaliações dos impactos entre os constructos sejam coerentes com o contexto operacional da pesquisa. As conceituações das variáveis devem estar explícitas no formulário.

Os questionamentos são realizados em duas etapas: a primeira para obter dados pessoais, indicando a área de atuação profissional, o tempo de serviço na atividade aérea e na atividade de ensaios em voo, o nível de conhecimento em ensaios em voo e em segurança de aviação, pois podem ser úteis na análise dos mapas. Na segunda parte, deve-se quantificar a influência (polaridade e a intensidade) com que um constructo  $C_i$  impacta outro elemento constructo  $C_j$

$$(C_i \xrightarrow{+p} C_j).$$

A sequência de perguntas ocorre sempre de uma linha para uma coluna (sentido do impacto) de forma que todos os elementos sejam confrontados com os demais. Uma exceção é feita ao constructo SOEV, pois considera-se que este constructo não influencia os demais.

O preenchimento da matriz inicia-se pontuando a influência do primeiro elemento da linha ( $F_1$ ) sobre o primeiro elemento disponível da coluna ( $F_1 \rightarrow F_2$ ).

Após, prossegue-se pontuando a influência de  $F_1$  sobre o elemento da coluna seguinte ( $F_1 \rightarrow F_3$ ) até o último da linha ( $F_1 \rightarrow F_{SOEV}$ ). Prossegue para a linha seguinte ( $F_2 \rightarrow F_1$ ), repetindo os mesmos procedimentos até a avaliação do último impacto ( $B_4 \rightarrow F_{SOEV}$ ). Os campos são preenchidos por um sinal de polaridade acompanhado de um valor inteiro.

Quando a polaridade dos arcos causais é representada por um sinal “+” (positivo), um aumento/diminuição do valor de um constructo da linha  $i$  implica em um aumento/diminuição do elemento da coluna  $j$  (influência diretamente proporcional). Como exemplo, um aumento do “Estresse” influencia para o aumento da “Compulsão para agilizar o tráfego em detrimento da segurança”. Um valor negativo significa que um aumento/diminuição do elemento da linha  $i$  implica em uma diminuição/aumento do constructo da coluna  $j$  (influência inversamente proporcional). Como exemplo, um aumento do “Estresse” faz com que a “Consciência Situacional” diminua.

A escala utilizada é ordinal, discreta e sequencial, com valores de impacto variando de 0 a 5 (0 – Não há; 1 - Muito Fraco; 2 - Fraco; 3 - Moderado; 4 - Forte e 5 - Muito Forte). Quando o julgamento não for suficiente para assegurar uma resposta consciente, o campo é deixado vazio. O formulário indica quais os campos que ainda devem ser preenchidos.

Os impactos entre constructos são representados pelo símbolo  $C_i \xrightarrow{p} C_j$ , com  $i=1, 2, \dots, n-1$ ;  $j=1, 2, \dots, n$  e  $p=-5, -4, \dots, 5$ . Exemplificando, um impacto do fator de risco  $F_7$  sobre  $F_8$ , com polaridade negativa e intensidade igual a três, é representado

pelo símbolo  $F_7 \xrightarrow{-3} F_8$ .

### 3.1.5. CONSTRUÇÃO DOS MAPAS CAUSAIS

Com base nos resultados dos formulários de pesquisa, organizam-se os dados coletados por áreas de atuação profissional de modo a gerar uma matriz do grupo de interesse, usando os valores médios calculados a partir dos resultados individuais. Esta medida de tendência central possibilita diminuir as influências de respostas extremas ou sem consenso (erro de interpretação, cultura individual afastada da cultura organizacional). A utilização do desvio padrão pode auxiliar a



Os grupos de constructos (influências organizacionais, supervisão insegura, pré-condições para atos inseguros, atos inseguros, barreiras de defesa e SOEV) estão descritos na primeira coluna e organizados por cores. Os nomes dos elementos (etiquetas), descritos na segunda coluna, correspondem às categorias e subcategorias escolhidas para este estudo e são seguidos pelos códigos ( $F_1, \dots, F_{20}$ ,  $B_1, \dots, B_4$ , SOEV). Os campos para preenchimento dos valores dos impactos cruzados médios estão apresentados nas células correspondentes aos cruzamentos de cada linha com cada coluna.

No exemplo da Figura 7, todos os elementos dos grupos “barreiras de defesa” e “atos inseguros” foram avaliados entre si, bem como os impactos destes últimos na SOEV. Também são apresentadas algumas outras medidas de influência entre elementos de outros grupos para facilitar a compreensão e uso da matriz de impacto cruzado. Os campos na cor cinza não são preenchidos, pois não se considera um elemento impactando a ele mesmo.

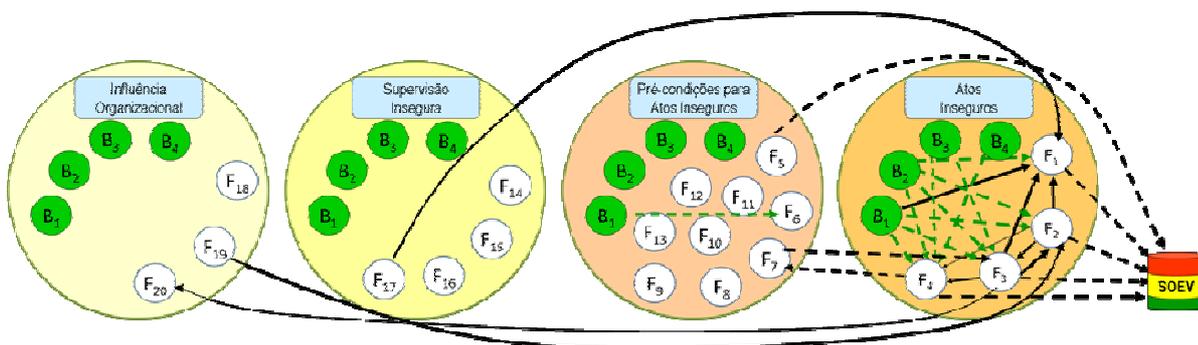


FIGURA 8 – Exemplo de representação diagramática de MCSO.

A representação diagramática do MCSO (Figura 8) é completamente diferente do trabalho original (VILELA, 2011), pois o diagrama que se apresenta é concebido à semelhança do “Modelo do *Queijo Suíço*” (Figura 3). Os quatro círculos maiores, representando os quatro níveis de falha da estrutura do HFACS, agrupam os fatores de risco ( $F_1$  a  $F_{20}$ ) e as barreiras de defesa ( $B_1$  a  $B_4$ ).

O primeiro grande círculo representa o ambiente onde se desenvolvem as Influências Organizacionais ( $F_{18}$  a  $F_{20}$ ). De forma análoga, o círculo seguinte contém os fatores relacionados com a Supervisão ( $F_{14}$  a  $F_{17}$ ), seguido pelas Pré-condições ( $F_5$  a  $F_{13}$ ). O último círculo corresponde ao grupo dos Atos Inseguros ( $F_1$  a  $F_4$ ), cujos fatores de risco (falhas ativas) estão mais próximos das ocorrências aeronáuticas (representadas pelo ícone da SOEV).

As inter-relações causais (setas) da representação diagramática da Figura 8 correspondem às células preenchidas da representação matricial da Figura 7. A polaridade positiva está expressa por setas contínuas e a negativa por setas tracejadas. A espessura das setas é diretamente proporcional à intensidade das influências causais. A cor preta e a cor verde referem-se à influência dos fatores de risco e das barreiras de defesa, respectivamente. Convencionou-se que quanto maior o impacto de um fator de risco no SOEV, menor é o nível de segurança do sistema.

#### 4 INTERPRETAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSAIS

As representações matriciais e diagramáticas de MCSO contêm elevado nível de detalhes e proporcionam, em conjunto, condições para uma rica descrição qualitativa e objetiva das condições de segurança de um contexto operacional.

Os aspectos visuais (quantidade de setas e as correspondentes espessuras) podem evidenciar indicações importantes sobre o nível de segurança operacional. As setas que unem elementos dos dois primeiros grupos aos constructos do último grupo podem ser indicativas de condições latentes. As setas que conectam os fatores de risco ao ícone de segurança operacional expressam as influências das falhas ativas. As setas pretas que permanecem dentro de cada círculo grande são interpretadas como as influências indiretas que potencializam os fatores de risco e as verdes indicam a contribuição das barreiras no sentido de amenizar seus efeitos. A quantidade de setas que chegam e saem de um elemento é proporcional à sua relevância no sistema de segurança operacional.

Quando se associa este MCSO com o modelo do acidente organizacional de Reason, é natural pensar que as influências ocorram no sentido da esquerda para a direita da Figura 8 (influência organizacional → supervisão → pré-condições → atos inseguros), o que podem ser observados nos exemplos listados abaixo.

-  $F_7 \xrightarrow{+5} F_3$ : “Impacto positivo muito forte” de “F<sub>7</sub>-Falhas Cognitivas” (canalização da atenção) para a ocorrência dos “F<sub>3</sub>-Erros de Percepção” - (Impacto indireto -  $I_x$ );

-  $F_{17} \xrightarrow{+4} F_1$ : “Impacto positivo forte” de “F<sub>17</sub>-Violações de Supervisores” para a ocorrência dos “F<sub>1</sub>-Erros de Procedimentos” - ( $I_x$ ); e

-  $F_{19} \xrightarrow{+4} F_2$ : “Impacto positivo forte” de “F<sub>19</sub>-Clima Organizacional” para a ocorrência dos “F<sub>2</sub>-Erros de Julgamento ou de Tomadas de Decisão” - ( $I_x$ ).

Alguns contextos operacionais podem proporcionar condições para que existam influências na direção contrária (sentido da direita para a esquerda da Figura 8), ou seja, uma causa ativa potencializando uma condição latente. Normalmente, como mostra este exemplo de MCSO, esta influência é nula (como está representado pelo impacto de  $F_3$  em  $F_{14}$ ). Entretanto, os fatores de risco  $F_3$  e  $F_4$  do grupo “Ato Inseguro” impactam outros fatores de grupos anteriores ( $F_7$  em “Pré-Condição para Atos Inseguros” e  $F_{20}$  em “Influência Organizacional”), evidenciando que falhas ativas podem potencializar condições latentes e realimentar o sistema.

-  $F_3 \xrightarrow{0} F_{14}$ : “Impacto nulo” de “F<sub>3</sub>-Erro de Percepção” em “F<sub>14</sub>-Falhas de Supervisão Inadequada”;

-  $F_3 \xrightarrow{+1} F_{20}$ : “Impacto positivo muito fraco” de “F<sub>3</sub>-Erro de Percepção” em “F<sub>20</sub>-Processos Organizacionais” - ( $I_x$ ); e

-  $F_4 \xrightarrow{-3} F_7$ : “Impacto negativo moderado” de “F<sub>4</sub>-Violações” em “F<sub>7</sub>-Falhas Cognitivas” - ( $I_x$ ).

As relações de causa-e-efeito das barreiras de defesa com as falhas (e vice-versa) mostram informações interessantes e, por vezes, pouco intuitivas. Como exemplo, espera-se que uma barreira de segurança sempre contribua para a não ocorrência de erros. À primeira vista, entende-se que sim, pois as barreiras são utilizadas para inibir a ocorrência de acidentes no sistema, como é visto a seguir:

-  $B_1 \xrightarrow{-5} F_4$ : “Impacto negativo muito forte” de “B<sub>1</sub>-Recursos tecnológicos” em “F<sub>4</sub>-Violações” - ( $I_x$ ), significando que o investimento em recursos tecnológicos favorece a diminuição de violações, como é o caso da aplicação de sistemas FOQA (*Flight Operation Quality Assurance*).

Entretanto, em outras situações, os mapas causais podem evidenciar que uma barreira de defesa pode amplificar os efeitos de certos fatores de risco, como é mostrado no seguinte exemplo:

-  $B_1 \xrightarrow{+3} F_6$ : “Impacto positivo moderado” de “B<sub>1</sub>-Recursos tecnológicos” em “F<sub>6</sub>-Ambiente Tecnológico” - ( $I_x$ ), significando que o excesso de recursos tecnológicos pode aumentar os riscos associados ao fator “F<sub>6</sub> - Ambiente Tecnológico”.

Quando os recursos tecnológicos são empregados como fonte de informação e controle do voo de ensaio, espera-se uma contribuição positiva para que haja uma tomada de decisão acertada no caso de replanejamento da missão em situações de emergência. Contudo, caso esses recursos (interface homem-máquina, por exemplo) não sejam amigáveis, o operador não esteja bem preparado ou existam falhas ocultas, condições facilitadoras podem estar reunidas de modo a contribuir para a ocorrência novas falhas ligadas ao ambiente tecnológico e à automação de sistemas, podendo, assim, aumentar a gravidade da emergência.

Em casos de violações eventuais, por exemplo, pode-se esperar uma diminuição na possibilidade de ocorrência de falhas ligadas à falta de atenção, uma vez que a consciência do erro deliberado (assunção do risco da operação marginal) desperta, normalmente, maior atenção no indivíduo. Nesse caso, uma falha ativa inibe, ao invés de potencializar, uma pré-condição para atos inseguros.

A quantificação dos impactos totais de um fator sobre a segurança operacional, aspecto não abordado neste trabalho, pode ser compreendida como sendo o conjunto de setas que chegam (impactos indiretos) em um fator de risco tipo falha ativa e que potencializa o efeito deste na segurança operacional (impacto direto).

#### **4.1. Atualização dos MCSO**

A atualização dos mapas causais deve ser realizada ao final do período de validade estipulado na pesquisa. Entretanto, Caso ocorram mudanças significativas na estrutura, no cenário operacional ou ocorram acidentes graves, os mapas causais podem não mais ser válidos e, portanto, deve-se realizar um ciclo de revisão para atualizá-los. Essa recomendação segue a filosofia das auditorias especiais do SIPAER (BRASIL, 2008c).

## **5 CONCLUSÕES**

Observa-se nos mapas causais de segurança operacional (MCSO) que há uma complexa inter-relação causal entre as variáveis do sistema. A compreensão

das interações entre os fatores de risco e as barreiras de defesa é fundamental para o desenvolvimento de modelos que permitam avaliar de forma objetiva o nível de segurança de um determinado contexto de segurança operacional de aviação.

A aplicação da estrutura HFACS, como recurso para a organização dos fatores de risco de mapas causais de segurança operacional, evidencia e clarifica a influência das condições latentes (influências organizacionais, supervisão, pré-condições para atos inseguros) sobre as falhas ativas, e vice-versa, além de permitir uma maior interação com as barreiras de defesa. De fato, as falhas organizacionais (alocação de recursos, processos formais da organização e o clima organizacional) podem facilitar erros de supervisão e enfraquecer eficácia das barreiras de defesa.

A organização dos fatores de risco em quatro níveis (influências organizacionais, supervisão insegura, pré-condições para atos inseguros e atos inseguros) permite identificar com maior propriedade a maneira como os fatores de risco (condições latentes ou causas ativas) se relacionam e influenciam para o surgimento das ocorrências aeronáuticas.

O estudo demonstra que a estruturação desses fatores em conjunto com as barreiras de defesa (tecnologia, treinamento, normatização e fiscalização), possibilita, com base no julgamento de especialistas, identificar o quanto e como as inter-relações ocorrem de modo a melhor compreender o ambiente operativo e permitir a aplicação de medidas preventivas mais adequadas e coerentes com a realidade operacional. Neste sentido, a utilização da estrutura HFACS (*Human Factors Analysis and Classification System*) revela-se apropriada para estruturar as inter-relações causais do ambiente operacional do Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV).

O trabalho disponibiliza procedimentos para a confecção de mapas causais de segurança operacional (MCSO) e uma proposta de representação diagramática, a qual ilustra as inter-relações e influências entre as variáveis organizadas nos quatro grupos do HFACS de modo a facilitar a visualização das influências das condições latentes, das causas ativas e das medidas de defesa sobre a segurança operacional.

Adicionalmente, verifica-se que o aprimoramento de técnicas de estruturação da segurança, fundamentada na natureza prospectiva do mapeamento causal e à semelhança do modelo do acidente organizacional de Reason, conceito amplamente

aceito pela comunidade aeronáutica, amplia a capacidade de prevenção pró-ativa e favorece os meios para se obter indicadores objetivos com vistas ao aperfeiçoamento da gestão de segurança operacional no IPEV.

Este estudo, por questões de ordem prática, limitou-se a utilizar uma lista de constructos com 25 variáveis, a qual se mostrou suficiente para avaliar a aplicação da estrutura do HFACS e de barreiras de defesa na confecção de MCSO. Para trabalhos práticos, faz-se necessária a utilização de todos os *nanocodes* (denominações mais básicas dos fatores de risco) previstos pelo DoD-HFACS e variáveis tipo barreiras de defesa mais específicas, de modo a permitir estruturar os MCSO com maior propriedade.

Como perspectiva para trabalhos futuros, recomenda-se que pesquisas de campo com vistas à aplicação dos procedimentos propostos sejam conduzidas de modo a prover subsídios para atualização e aperfeiçoamento do uso da técnica, além de estruturar a base para o desenvolvimento de mapas causais dinâmicos e ferramentas computacionais para calcular indicadores preditivos de segurança operacional.

Quanto aos parâmetros utilizados na caracterização dos arcos causais (polaridade e intensidade), incentiva-se o estudo de outros aspectos que possam ser consideradas importantes para caracterizar a relação causal, a saber: incerteza, latência, tempo de reação, peso e probabilidade de ocorrência. Sugere-se, ainda, a estruturação de mapas por camadas, considerando variados contextos específicos, de forma a harmonizá-los para a condição mais genérica.

Recomenda-se que os formulários de pesquisa considerem que os avaliadores possam complementar a lista de constructos com outras variáveis, mas que estejam em consonância com a estrutura do HFACS. Para tal, incentiva-se utilizar dados estatísticos de ocorrências aeronáuticas no IPEV e outras literaturas especializadas, por exemplo, o Código Brasileiro de Aeronáutica (BRASIL, 1986) e o MCA 3-6 (BRASIL, 2008a).

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986.** Código Brasileiro de Aeronáutica – CBA. Brasília, DF, 1986.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **MCA 3-6: Manual de investigação do SIPAER.** Brasília, DF, 2008a.

\_\_\_\_\_. **NSCA 3-1: Conceituação de vocábulos, expressões e siglas de uso no SIPAER.** Brasília, DF, 2008b.

\_\_\_\_\_. **NSCA 3-3: Gestão da segurança operacional.** Brasília, DF, 2008c.

\_\_\_\_\_. **ICA 3-1: Programa de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos da aviação militar brasileira para o ano de 2009.** Brasília, DF, 2009.

\_\_\_\_\_. **PSVE: Programa de Segurança em Voos de Ensaio. Grupo Especial de Ensaios em Voo. Revisão B.** São José dos Campos, 2009b.

\_\_\_\_\_. **ROCA 21-73: Regulamento do Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo.** Brasília, DF, 2011.

COLORADO FIRECAMP. **The Human Factors Analysis and Classification System–HFACS.** Disponível em: <<http://www.coloradofirecamp.com/swiss-cheese/introduction.htm>> Acesso em: 02 ago. 2011.

DOD HFACS. **A mishap investigation and data analysis tool.** Department of Defense Human Factors Analysis and Classification System. jan. 2005. 35 p. Disponível em: <[http://www.uscg.mil/safety/docs/ergo\\_hfacs/hfacs.pdf](http://www.uscg.mil/safety/docs/ergo_hfacs/hfacs.pdf)> Acesso em: 02 ago. 2011.

DURÁN, R. T. **El análisis de sistemas.** Disponível em: <<http://www.isdefe.es/monografias/docs/Analisis.pdf>> Acesso em: 05 nov 2010.

MANUELE, F. A. **On the practice of safety.** 3. ed. New Jersey: [s.n.], 2003.

MARKÓCZY, L.; GOLDBERG, J. **A method for eliciting and comparing causal maps.** *Journal of Management*, v. 21, n. 2, p. 305-333, 1995.

SALMERON, J. L; LOPEZ, C. Forecasting risk impact on ERP Maintenance with Augmented Fuzzy Cognitive Maps. **IEE Transactions on Software Engineering,, Manuscript ID.** 2011.

SALMERON, J. L. Modelling grey uncertainty with Fuzzy Grey Cognitive Maps. **Journal of Expert Systems with Applications**, 37, p. 7581–7588, 2010

STOLZER, A. J.; HALFORD, C. D.; GOGLIA, J. J. **Safety Management System in Aviation.** Ashgate, 2008.

VILELA, J. A. B. M. **Aplicação de modelos causais na gestão da segurança operacional: o caso de ensaios em voo na aviação militar brasileira.** 2011. 119f. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

WIEGMANN, D. A.; SHAPPELL, S. A. **A human error approach to aviation accident analysis: the human factors analysis and classification system.** Cornwall: MPG Books Bodmin, 2003.

WIEGMANN, D.; SHAPPELL, S. Human factors analysis of post-accident data: applying theoretical taxonomies of human error. **International Journal of Aviation Psychology**, 7, 67-81, 1997.

## USE OF THE HUMAN FACTORS MODEL (HFACS) IN THE STRUCTURING OF OPERATIONAL SAFETY CAUSAL MAPS

**ABSTRACT:** The improvement of prospective tools to assist activities of proactive prevention of aeronautical occurrences demand the utilization of objective techniques that consider the interactions between risk factors in the context of aviation operational safety. Studies indicate that the cause-and-effect inter-relationship that characterize a complex system, such as aviation, may boost the risk of damage, and that the influences can be captured through appropriate causal mapping techniques. This work expands the analysis on the topic, evaluating the interaction between risk factors and defense barriers in the operational environment of the *Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo – IPEV* (Research and Flight Testing Institute), considering the risk factors defined by the Human Factors Analysis and Classification System - HFACS. The study concludes that the structuring of operational safety causal maps - MCSO, based on the HFACS model, brings benefits to the causal mapping technique, since it allows organizing the risk factors and defense barriers in accordance with the reality discussed in the Reason's organizational accident model. In this sense, one verifies that the improvement of safety structuring techniques, based on the prospective nature of the causal mapping, enhances the capability of pro-active prevention with objective tools, thus contributing to the improvement of operational safety management in the IPEV.

**KEYWORDS:** Flight Test. Operational Safety Management. HFACS. Causal Maps.

## APÊNDICE

## LISTA DE CONSTRUCTOS DO SISTEMA DE SEGURANÇA OPERACIONAL

**BARREIRAS DE DEFESA****B1. Recursos tecnológicos**

- Referem-se aos recursos de prevenção de ocorrência de erros que atuam por meio de: a) fornecimento de informação atualizada, elevando a consciência situacional e provendo apoio à tomada de decisão no ambiente operacional; e b) dados que apresentem erros já ocorridos para que o evento seja esclarecido e prevenido. Algumas das principais ferramentas tecnológicas incluem os auxílios à navegação, as interfaces com os sistemas da aeronave e programas computacionais de monitoramento das condições de manutenção e operação da aeronave. A utilização de gravadores de voo para fins de prevenção de acidentes (Flight Operational Quality Assurance - FOQA) seria outro exemplo.

**B2. Normatização**

- Refere-se ao processo formal que visa à regulação e à padronização das operações, dos procedimentos e da fiscalização. O termo "operações" refere-se não apenas ao emprego dos meios aéreos, mas também às características de trabalho que foram estabelecidas pela administração, como carga de trabalho, tempo para execução das tarefas, sistemas de incentivo e horários. Quanto mais específicos e sistematizados forem os processos oficiais /formais de execução dos trabalhos (padrões de desempenho, documentação e instruções), maior será a possibilidade de compreensão e longevidade dos procedimentos normatizados, uma vez que um dos objetivos da normatização como barreira de defesa é a redução de erros devido a dúvidas e falhas de interpretação. A doutrina estabelecida para execução dos voos dentro da Unidade deve ser considerada.

**B3. Treinamento: CRM, cursos, etc**

- Referem-se aos cursos realizados com o propósito de capacitar o indivíduo à operação de equipamentos/ sistemas ou de possibilitar a compreensão dos aspectos de segurança e de risco relacionados a essa operação. Como exemplos, cita-se ground school de aeronaves e treinamento de CRM (Corporate / Company / Crew / Cockpit Resource Management). Dentro desse contexto, como barreira de defesa, devem ser considerados não apenas os cursos iniciais, mas os de elevação de nível, de transição, de manutenção de conhecimentos, de apoio à atividade aérea (aprontos), e outros.

**B4. Fiscalização**

- Refere-se ao monitoramento e ao controle de recursos, clima e processos para garantir um ambiente de trabalho seguro e produtivo. A fiscalização pode ser realizada durante o acompanhamento e a verificação de todas as etapas de execução dos serviços, zelando pelo cumprimento dos padrões de qualidade fixados nas especificações técnicas, através de controles dos serviços, materiais empregados, pessoal designado e processo empreendido. No entanto, mecanismos de controle mais amplos também fazem parte da fiscalização, como vistorias e auditorias, com intuito de analisar o cumprimento das obrigações regulamentares e de procedimentos especificados em documentos relacionados à gestão de risco e à padronização das ações executadas.

## **FATORES DE RISCO (DoD-HFACS)**

### **ATOS INSEGUROS**

#### ERROS

##### **F1. Erros baseados em Habilidade**

- São fatores em um acidente quando ocorrem erros na execução de uma rotina do operador, de uma tarefa altamente praticada relativas procedimentos, treinamento ou proficiência e resulta em uma situação insegura. Erros baseados em habilidade são comportamentos não intencionais.
- Ex: Operação Inadvertida, Erro de Check-list, Erro Processual, Perda de controle, Falha de Varredura Visual (*visual scan*), Manobra Inadequada com Carga “G” Imposta.

##### **F2. Erros de Julgamento e Tomada de Decisão**

- São fatores em um acidente quando o comportamento ou ações do indivíduo em proceder como intencionado ainda que o plano escolhido se mostre inadequado para alcançar o estado final desejado, resultando em uma situação de risco.
- Avaliação de Risco - Durante a Operação, Erro de priorização de Tarefas, Ação Necessária não Realizada: Sentido de Agilizar, Ação Necessária não Realizada: Sentido de Atrasar, Avisos e Alarmes Ignorados, Tomada de Decisão Durante a Operação.

##### **F3. Erros de Percepção Equivocada**

- São fatores em um acidente quando a má percepção de um objeto, de uma ameaça ou situação (tais como visual, auditiva, proprioceptiva, ou ilusão vestibular, cognitiva ou falha de atenção) resulta em erro humano.
- Erros devido a Falhas de Percepção.

##### **F4. VIOLAÇÕES**

- Violação - Com base na Avaliação de Risco, Violação - Rotineira / generalizada, Violação - Falta de Disciplina.

### **PRÉ-CONDIÇÕES PARA ATOS INSEGUROS**

#### FATORES AMBIENTAIS

##### **F5. Ambiente Físico**

- Quando fenômenos ambientais, como condições meteorológicas e clima afetam as ações de indivíduos.
- Restrição de Visibilidade por Congelamento / Vidros Embaçados / etc, Restrição de Visibilidade por Meteorologia, Vibração, Restrição de Visibilidade no Ambiente de Trabalho por Poeira / Fumaça / etc., Rajada de Vento, Estresse térmico – Frio, Estresse térmico – Calor, Forças geradas por Manobras em Voo, Iluminação de outras Aeronaves / Veículos, Interferência de ruído, *Brownout / Whiteout*.

##### **F6. Ambiente Tecnológico**

- Quando *cockpit*, aeronave, espaço de trabalho, fatores de projeto ou automação contribuem para resultar em erro humano ou em uma situação insegura.
- Assentos e cintos, Instrumentação e Sistemas Sensores de Realimentação (*Feedback*), Restrições de Visibilidade, Controles e Switches, Automação, Ambiente de Trabalho Incompatível com Humanos, Interferência de Equipamento de Voo, Comunicações – Equipamentos.

## CONDIÇÃO DO OPERADOR

### **F7. Fatores Cognitivos**

- Quando o gerenciamento da atenção ou os aspectos cognitivos afetam a percepção ou o desempenho dos indivíduos e resultam em erro humano ou uma situação insegura.
- Desatenção, Atenção Canalizada, Saturação de Tarefas Cognitivas, Confusão, Transferência Negativa, Distração, Desorientação Geográfica (Perdido), Interferência de *Check-list*.

### **F8. Fatores Psicocomportamentais**

- Quando traços da personalidade de um indivíduo, problemas psicossociais, transtornos psicológicos ou motivação inadequada cria uma situação insegura.
- Transtorno da Personalidade Pré-Existente, Transtorno Psicológico Pré-Existente, Problema Psicossocial Pré-Existente, Estado Emocional, Estilo de Personalidade, Excesso de confiança, Pressão, Complacência, Motivação Inadequada, Motivação Deslocada, Agressividade Excessiva, Motivação Excessiva para Execução da Tarefa, “Regressite”, Expectativa, Exaustão - Fatores Motivacionais.

### **F9. Estados Fisiológicos Adversos**

- Quando um indivíduo vivencia um evento fisiológico que compromete o desempenho humano, diminuindo o desempenho e resultando em uma situação insegura.
- Efeitos de Força-G (G-LOC, etc), Medicamentos prescritos, Lesão / Doença Operacional, Súbita Incapacidade / Inconsciência, Doença / Lesão Física Pré-Existente, Fadiga – Física, Fadiga - Fisiológica / Mental, Ritmo Circadiano Dessincronizado, Vertigem Aérea (*Motion Sickness*), Distúrbios devido a Variações de Altitude, Distúrbios Envolvendo Gás no Sangue, Hipóxia, Hiperventilação, Adaptação Visual ao Ambiente Noturno, Desidratação, Supersaturação Física de Tarefas.

### **F10. Limitações Físicas / Mentais**

- Quando um indivíduo não tem a capacidade física ou mental para lidar com uma situação e esta insuficiência provoca uma situação insegura. Por vezes, em característica de um indivíduo que não possui a capacidade física ou mental desejada para desempenhar as funções necessárias de forma segura.
- Capacidade / Taxa de Aprendizagem, Capacidade / Lapsos de Memória, Limitações Antropométricas / Biomecânicas, Deficiência de Coordenação Motora, Conhecimento Técnico / de Procedimentos.

### **F11. Fatores de Percepção**

- Quando a não percepção de um objeto, uma ameaça ou uma situação gera uma situação insegura. Se relacionado à desorientação espacial ou à ilusão, deve ser identificada qual condição motivou essa falta de percepção (condição visual, auditiva, proprioceptiva ou vestibular).
- Ilusão – Cinestesia, Vestibular, Visual, Erro de Percepção das Condições Operacionais, Interpretação / Leitura Errada de Instrumento, Expectativa, Sensações (*Cues*) Auditivas, Desorientação Espacial (Tipo 1) - Não Reconhecida, (Tipo 2) – Reconhecida, (Tipo 3) – Incapacitante, Distorção Temporal.

## PRÁTICAS DO OPERADOR

### **F12. Falha no Gerenciamento de Recursos**

- Quando as interações entre indivíduos, equipes e equipes envolvidas com a preparação e execução de uma missão resultam em erro humano ou uma situação de risco.

- Liderança da Equipe / Tripulação, Monitoramento do Desempenho de Tripulação, Delegação de Tarefas, Diferença de Autoridade / Patente, Assertividade, Comunicar de Informações Críticas, Terminologia / Fraseologia Padrão / Adequada, Realimentação (*Feedback*), Planejamento de Missão, *Briefing* de Missão, Replanejamento de Tarefa / Missão em Execução, Falha de Comunicação (Interpretação).

**F13. Prontidão Pessoal (agentes estressores auto-impostos)**

- Quando o operador demonstra desrespeito de regras e instruções para manutenção da prontidão física/fisiológica ou quando apresenta falha no julgamento de ações relacionada aos agentes estressores autoimpostos, ocasionando erro humano ou situação insegura.
- Aptidão Física, Álcool, Drogas / Suplementos / Autommedicação, Nutrição, Repouso Insuficiente, Condição Médica Significante não Reportada.

## SUPERVISÃO INSEGURA

**F14. Supervisão Inadequada**

- Liderança / Supervisão inadequada, Supervisão – Aprendizado Influenciado pelos Demais, Programas de Treinamento/ Formação Local, Supervisão – Política, Supervisão - Conflito de Personalidade, Supervisão - Falta de *feedback*.

**F15. Operações Inapropriadamente Planejadas**

- Indicação para Missão além da Capacidade, Composição de Tripulação, Experiência Limitada Recente ou Total, Proficiência, Avaliação de Risco – Formal, Riscos Desnecessários Autorizados.

**F16. Falha para Corrigir Problemas Conhecidos**

- Gestão de Pessoas, Gestão de Operações.

**F17. Violações de Supervisão**

- Supervisão – Regras Aplicadas por Pessoal não Autorizado (omissão do supervisor), Supervisão - Política De facto (Política Informal), Supervisão – Violação Estrita de Regras, Permissão para Execução de Tarefas por Pessoal sem Treinamento Corrente.

## INFLUÊNCIAS ORGANIZACIONAIS

**F18. Gestão/Alocação de Recursos**

- Recursos do Controle de Tráfego Aéreo, Recursos do Aeródromo, Suporte ao Operador, Processos e Políticas de Aquisição de Equipamento, Políticas de Desativação de Equipamento, Políticas de Seleção para Tarefas/ Seções, Recurso e Alocação de Pessoal, Prestação de Informação ao Usuário, Recursos/ Apoios Financeiros.

**F19. Clima Organizacional**

- Cultura Organizacional, Avaliação / Promoção, Percepções dos Equipamentos Operados, Mudança de Equipamento/ Aeronave/ Missão ou Desativação da Unidade, Estrutura Organizacional.

**F20. Processos Organizacionais**

Carga de Trabalho, Programa e Política de Avaliação de Riscos, Publicações/ Orientação de Procedimentos, Programas de Formação Organizacional, Doutrina, Programa de Gestão de Supervisão.