*EJ NEWS – Revista Acadêmica da EJ Faculdade de Aviação Civil – Itápolis/SP - v. 2, n. 1, 2026, p. 71-96.*
*DOI:https://doi.org/10.63656/nh3fhv11. ISSN* ***- 3085-7678 (online)***

# A DINÂMICA SOCIOTÉCNICA DE UM ACIDENTE AÉREO: a construção progressiva de um evento evitável e o CRM como ferramenta de prevenção

*THE SOCIO-TECHNICAL DYNAMICS OF AN AIRCRAFT ACCIDENT: the progressive construction of a preventable event and CRM as a prevention tool*

Bruno Vieira Silva[1]

*"Depois do medo, vem o Mundo"*
*Clarice Lispector*

**RESUMO**: O presente artigo tem como finalidade analisar o acidente Varig 254, sob a ótica da Gestão de Recursos de Cabine (*Crew Resource Management* – CRM), com o intuito de abarcar o erro humano presente, a comunicação ineficiente e os fatores contribuintes para a ocorrência do acidente. Para justificar alguns pontos, a análise será complementada pela teoria Ator-Rede (TAR), de John Law (1992), que visualiza o acidente como uma rede ordenada de materiais heterogêneos, e modelos/teorias voltados para a análise de elementos humanos e tipos de erro – os modelos *Shell e Reason*. Em uma rede, cada ator é diferente do que era antes de se associar a outros atores, sendo influenciado por suas relações. O artigo reúne informações e reflexões (bibliográfica) a respeito do papel do CRM em situações de risco e no cotidiano da vida do piloto, e visa estudar fatores humanos ligados à aviação para mitigar os erros humanos que culminam em acidentes graves, comparando o acidente Varig 254 com o acidente American Airlines 232, demonstrando o sucesso da aplicação do CRM para diminuir a gravidade deste acidente. O artigo contribui, assim, ao trazer conhecimentos para que futuros pilotos e aspirantes à aviação aprendam com os erros passados, e procurem manter uma cultura de segurança visando mitigar acidentes.
**Palavras-chave**: fator humano; modelo Shell; modelo Reason; aviação; CRM.

**ABSTRACT/RESUMEN:** The purpose of this article is to analyze the Varig 254 accident from the perspective of Crew Resource Management (CRM), with the aim of addressing human error, inefficient communication, and factors contributing to the accident. To justify some points, the analysis will be complemented by John Law's Actor-Network Theory (ANT), which views the accident as an ordered network of heterogeneous materials, and models/theories focused on the analysis of human elements and types of error—the Shell and Reason models. In a network, each actor is different from what they were before associating with other actors, being influenced by their relationships. The article gathers information and reflections (bibliographic) on the role of CRM in risky situations and in the daily life of pilots, and aims to study human factors related to aviation to mitigate human errors that culminate in serious accidents, comparing the Varig 254 accident with the American Airlines 232 accident, demonstrating the success of applying CRM to reduce the severity of this accident. The article thus contributes by providing knowledge so that future pilots and aviation aspirants can learn from past mistakes and seek to maintain a culture of safety in order to mitigate accidents.
**Keywords**: human factor; Shell model; Reason model; aviation; CRM.

## Introdução

O transporte aéreo é um dos meios de locomoção mais seguros e eficientes da atualidade, mas uma simples entropia entre as cadeias envolvidas na segurança operacional pode resultar em consequências catastróficas. Nos primórdios da aviação, os pilotos treinavam a si mesmos, pois não havia instrutores de voo, como Alberto Santos Dumont (1873-1932), que inovava com suas invenções e as realizava com métodos e recursos próprios. Ainda que rápido, Santos

[1] Graduado no Curso Superior de Pilotagem Profissional de Aeronaves na Faculdade de Tecnologia em Aviação Civil - EJ, Itápolis/São Paulo. Contato: brunovs10@outlook.com.br

Dumont voou por 60 metros a bordo de seu 14-Bis (1906), dando início à popularização e visibilidade pública da aviação. Posteriormente, o uso do avião foi intensificado após a Segunda Guerra Mundial com intuito de transportar passageiros, cargas e globalizar o mundo. A Primeira Guerra Mundial (1914 – 1918) e a Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945), além de influenciarem fortemente a história da aviação, tiveram grande impacto na formação e no treinamento de pilotos (Acosta, 2021).

A aviação passou por diversas mudanças para que fosse possível alcançar o nível de segurança que existe hoje, e o trabalho na cabine de voo foi diminuindo cada vez mais com o avanço das tecnologias, e consequentemente, o erro humano tornou-se o principal causador de acidentes aéreos. Alguns dos piores acidentes de avião do mundo poderiam ter sido facilmente evitados se não houvesse uma pequena, mas fatal, falha de comunicação entre pilotos e controladores de tráfego aéreo.

As técnicas para se operar uma aeronave incluem a utilização de auxílios tanto externos (mapas, instrumentos de voo e de apoio) quanto internos (experiência, psicológico). Em 1979, a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço - *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) realizou a oficina (*workshop)* Gerenciamento de Recursos na Cabine de Comando *(Resource Management on the Flight Deck*) (NASA - Ames, 1989), e os pesquisadores envolvidos detectaram a maior influência do erro humano como a causa provável dos acidentes, destacando a falha de comunicação interpessoal dos tripulantes (Helmreich, 1998).

Com isso, surgiu a Gestão de Recursos da Tripulação (*Crew Resource Management* - CRM), que se delimita a ser o uso eficaz de todos os componentes e assistências disponíveis aos tripulantes, saber como se portar em situações críticas, manter a consciência situacional para garantir uma operação segura e eficiente, além de liderar sobre situações de pressão e risco. Posteriormente, o CRM passou por constantes evoluções, abrangendo não somente as ações dentro da cabine (*cockpit*), passando a abordar uma aplicação mais ampla desses mesmos conceitos de comunicação, coordenação e gerenciamento de recursos em diversas outras áreas da operação e administração da empresa, para além da cabine de pilotagem, culminando em uma nova designação para a letra "c" de sua sigla: Gerenciamento de Recursos de Corporação (*Corporate Resource Management*), em que *Corporate* (Corporação) significa reunião de pessoas com a mesma profissão e com os mesmos deveres e direitos, ou seja, grupo de pessoas que trabalham em equipes envolvidas com a mesma atividade aérea (BRASIL, 2004, p. 6). Com base nesses resultados e na tentativa de remediar a aparente deficiência nas habilidades da

tripulação, a maioria das companhias aéreas introduziu treinamento adicional em técnicas de gerenciamento de cabine de comando, estabelecendo normas e procedimentos adequados, percebendo a necessidade da manutenção da segurança operacional.

Serão analisados, neste artigo, também os modelos SHELL, Queijo Suíço, e o modelo Gerenciamento de Ameaças e Erros, ou *Threat and Error Management*, como base para entender o entorno do CRM, bem como a Teoria Ator-Rede (TAR), de Bruno Latour (1947-2022) para complementar a análise sociotécnica dos acidentes.

A iniciativa do autor para o desenvolvimento deste artigo partiu de sua afeição por psicologia, e foi uma oportunidade de imersão e aprendizado sobre a psicologia da aviação. Ao investigar temas como fatores humanos, tomada de decisão sob pressão, comunicação eficaz e gerenciamento de recursos de tripulação - *Crew Resource Management* (CRM), buscou construir um conhecimento sólido sobre os mecanismos psicológicos que moldam o desempenho da equipe em um ambiente de alta complexidade e risco. Seu saber prático (*know-how*) não é um obstáculo, mas sim um incentivo para uma exploração aprofundada no tema. Espera-se com esse estudo que o aprofundamento neste campo não apenas enriqueça sua formação acadêmica, mas também contribua para uma visão mais plena e consciente sobre os desafios da aviação moderna, influenciando profissionais, pesquisadores, entusiastas e estudantes, todos com um interesse comum na melhoria contínua da segurança e *performance* de diversos setores da aviação.

Serão usados artigos científicos baseados no tema proposto, artigos de internet e livros, portanto a metodologia será feita por uma pesquisa bibliográfica, descritiva e explicativa, com abordagem exploratória e estudo de casos.

Segundo Lakatos e Marconi (2003, p.188), a pesquisa exploratória possui a finalidade de "aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno, modificar e clarificar conceitos e ajudar no desenvolvimento de hipóteses, para a realização de uma pesquisa precisa, capacitando ao autor a classificar conceitos e modificá-los."

## 1 O Acidente Aeronáutico

O acidente aeronáutico é toda ocorrência relacionada com a operação de uma aeronave no período entre o embarque do passageiro, com a intenção de realizar um voo, até o momento em que todas as pessoas tenham dela desembarcado e, durante o qual, pelo menos uma das situações abaixo ocorra:

a) Qualquer pessoa sofra lesão grave ou morra em decorrência de sua presença na aeronave, em contato direto com qualquer de suas partes, incluindo aquelas que dela tenham se desprendido, ou submetido à exposição direta do sopro de hélice, rotor ou escapamento de jato, ou às suas consequências. Exceção é feita quando as lesões resultarem de causas naturais, forem auto ou por terceiros infligidas, ou forem causadas a pessoas que embarcaram clandestinamente e se acomodaram em área que não as destinadas aos passageiros ou aos tripulantes.

b) A aeronave sofra dano ou falha estrutural que afete adversamente a resistência estrutural, o seu desempenho ou as suas características de voo ou, ainda, se exigir a substituição de grandes componentes ou a realização de grandes reparos no componente afetado. Exceção é feita para falha ou danos limitados ao motor, carenagens, seus acessórios, hélices, pontas de asas, antenas, pneus, freios, ou pequenos amassos ou perfurações no revestimento da aeronave.

c) A aeronave seja considerada desaparecida ou o local onde se encontra seja absolutamente inacessível. (DECEA, s.d.).

## 1.1 Órgãos Investigadores e de prevenção

A investigação de acidentes aéreos é um campo essencial para garantir a segurança operacional e aprimorar os métodos protocolados para prevenção. A globalização do setor aéreo dispõe de uma padronização dos processos investigativos, assegurando que as lições aprendidas sejam aplicadas mundialmente. Os órgãos responsáveis pela investigação, como o Conselho Nacional de Segurança nos Transportes - *National Transportation Safety board* (NTSB - EUA) - e o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA - Brasil), são instituições primordiais para a busca de respostas após a ocorrência de um acidente, contribuindo para que os erros cometidos pelos anteriores sirva de inspiração para a prevenção futura destes erros e de outros semelhantes.

O NTSB (figura 01) é uma agência federal independente responsável por investigar todos os acidentes de aviação civil, bem como incidentes graves nos EUA envolvendo outros meios de transporte, como desastres ferroviários e grandes acidentes com veículos motorizados, embarcações marítimas, oleodutos e até mesmo operadores espaciais comerciais (APNEWS, 2024). É reconhecida por sua abordagem detalhada e independente na investigação de acidentes aeronáuticos, buscando identificar causas e recomendar melhorias na segurança operacional (NTSB, 2020)

Figura 01 – Logo do NTSB




Fonte: Wikimédia (2007)

A investigação de acidente aeronáutico é de grande importância para melhorar o máximo possível a segurança de voo, seja militar ou civil. Por causa disso, existem convenções e resoluções internacionais para padronizar procedimentos de apuração, análise e recomendações, sempre com o objetivo de evitar a recorrência de casos.

Em 1948, os países participantes da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) definiram que, na medida do possível, incluiriam em seus regulamentos nacionais a mesma redação das normas sugeridas pela unidade. Por esse motivo, a norma vigente no Brasil segue os parâmetros do Anexo 13 da Convenção de Chicago, da qual o país é signatário.

O CENIPA (figura 02) é o órgão do Comando da Aeronáutica responsável pelo Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER). As investigações são embasadas no Anexo 13 da Convenção Internacional de Aviação Civil da ICAO, 2016, órgão de referência mundial, que normatiza as leis sobre aviação civil internacional. Para o CENIPA "o único objetivo da investigação de acidente será o da prevenção de futuros acidentes" [e] "o propósito dessa atividade não é determinar culpa ou responsabilidade". (CENIPA, s.d.)

Figura 02– Logo do CENIPA




Fonte: Wikimedia (2024)

O CENIPA é o órgão responsável por planejar, administrar, coordenar, executar, controlar, orientar e realizar a promoção de atividades de prevenção, investigação de ocorrências aeronáuticas (acidente, incidente ou incidente grave) no Brasil (CENIPA, 2017). As ações deste órgão são baseadas em princípios que são os pilares da filosofia em que o órgão está inserido. São eles (CENIPA, 2022):

1. Todo acidente aeronáutico pode ser evitado;
2. Todo acidente aeronáutico resulta de vários eventos e nunca de uma causa isolada;
3. Todo acidente aeronáutico tem um precedente;
4. A prevenção de acidentes requer mobilização geral;
5. O propósito da prevenção de acidentes não é restringir a atividade aérea, mas estimular o seu desenvolvimento com segurança;
6. A alta direção é a principal responsável pela prevenção de acidentes aeronáuticos;
7. Na prevenção de acidentes não há segredos nem bandeiras; e
8. Acusações e punições de erros humanos agem contra os interesses da prevenção de acidentes.

A identidade do CENIPA surgiu durante a "Era dos Fatores Humanos", assim chamada pela OACI, um período em que a segurança da aviação passou a focar na interação entre o ser humano e a máquina e não apenas em falhas técnicas. Com a diminuição drástica dos acidentes aéreos, a aviação passou a ser o meio de transporte mais seguro do mundo, e com isso surgiram estudos que buscavam fundamentar-se na interação homem-máquina no meio aeronáutica, focando em prevenção. Com isso, o lema do CENIPA tornou-se "O Homem, o Meio, a Máquina" representando os pilares da investigação moderna dos acidentes aéreos: humano, operacional e material.

O fator humano compreende o homem, com uma ótica biológica sobre o mesmo, a partir de seus aspectos fisiológicos e psicológicos; o fator operacional diz respeito aos aspectos que envolvem o homem no exercício da atividade, incluindo os fenômenos naturais e infraestrutura; e o fator material diz respeito à máquina, à aeronave e ao seu projeto de engenharia.

## 2 Fatores Humanos e Modelos de Análise na Segurança de Voo

### 2.1 Fator Humano

A instrução de Aviação Civil (BRASIL, 2005, p.2), diz que o fator humano é "o conjunto de ciências que estudam todos os elementos que contribuem com a relação interativa do homem,

em um dado ambiente, com os diversos sistemas que o cercam e que são determinantes na sua dinâmica, eficiência e eficácia".

Na Administração Federal de Aviação, em inglês *Federal Aviation Administration* (FAA), Fatores Humanos são definidos como um "esforço multidisciplinar para gerar e compilar informações sobre capacidades e limitações humanas e aplicar essas informações a equipamentos, sistemas, instalações, procedimentos, empregos, ambientes, treinamento, pessoal e gestão de pessoal para um desempenho humano seguro, confortável e eficaz" (FAA, 1993).

## 2.2 Erro humano

O erro é uma falha involuntária que induz a um resultado indesejado (Brasil,2005, p.12). A *performance* humana não é imune a erros, justamente pelo ser humano ser falho e emocional. Erros devem ser esperados, mas sempre devemos criar meios para que os mesmos não ocorram ou sejam mitigados. Algumas formas de prevenção do erro envolvem gerenciamentos e monitoramento dos erros, treinamentos etc. Não se deve confundir erro com violação, pois, diferente do erro, a violação é o desvio intencional da normalidade, envolvendo normas e procedimentos.

Na busca de entender o processo multidisciplinar que resulta em um acidente aeronáutico, a OACI recomenda dois modelos de análise de Fatores Humanos: os modelos SHELL e Reason.

## 2.3 Modelos Reason, SHELL e Teoria Ator Rede

### 2.3.1 Modelo Reason

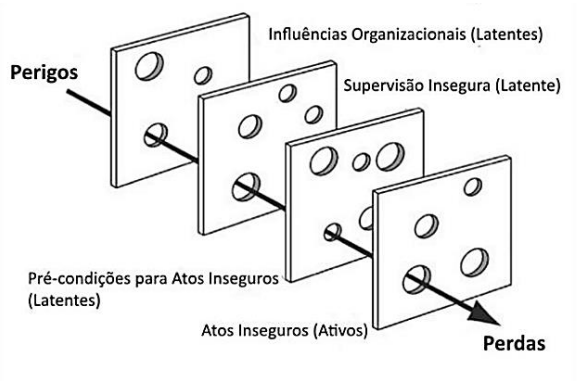
O modelo do Queijo Suíço, proposto originalmente por James Reason (1938-2025), compara as defesas do sistema humano a uma série de fatias de queijo suíço com furos aleatórios, dispostas verticalmente e paralelamente umas às outras, com espaços entre cada fatia (Skybrary, s.d.).

Na estrutura representativa de Reason, o modelo demonstra que qualquer barreira de uma organização pode ser considerado uma fatia, com cada fatia representando uma camada de defesa que exerce a função de prevenir acidentes, contra o que ele chama de falhas ativas e condições latentes, e os furos, característicos desse tipo de queijo, representam as falhas e imperfeições em cada uma dessas composições individuais, sendo um eventual alinhamento desses buracos coincidindo com um acidente ou incidente aeronáutico. É uma forma de explicar

como as falhas, acidentes, desastres e fracassos acontecem em sistemas complexos, pelo alinhamento de contínuas falhas.

Dentro do contexto aeronáutico, a Teoria do Queijo Suíço (Figura 03) aborda uma perspectiva impactante com a finalidade de reduzir e compreender os riscos associados a acidentes.

Figura 03 – Teoria do Queijo Suíço




Fonte: Griffin *et al.* (2015)

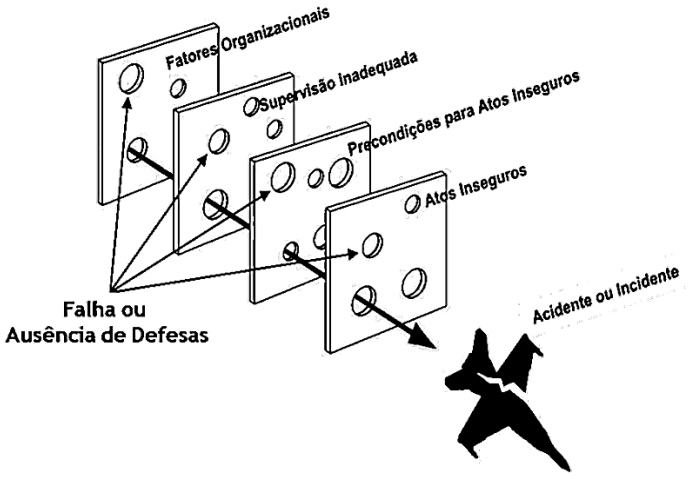
Ainda dentro dessa abordagem, existem conceitos importantes que devem ser observados, como os conceitos de falhas ativas e falhas latentes. As falhas ativas são erros ou violações que tem um efeito imediato, onde a falha criada precede imediatamente ao acidente, como o não cumprimento de um procedimento padrão (eBianch, 2024). As falhas latentes, por sua vez, são falhas que, geralmente estão ocorrendo há muito tempo e se tornam "organizacionais", podendo não causar falhas imediatas, mas aumentam o risco de erros futuros.

> Falhas Ativas: são os erros ou violações cometidas pelo operador no cotidiano da operação, e tem um impacto imediato na segurança do sistema, se não forem percebidas e corrigidas a tempo. Falhas Latentes: elas podem permanecer ocultas por longos períodos e só se manifestarem quando um acidente ocorre. (Barreto, 2008 *apud* Júnior, 2017, p. 17)

O modelo de James Reason é considerado por (Barreto, 2008 *apud* Júnior, 2017, p. 17) um instrumento útil para a investigação de acidentes aeronáuticos. Possui uma visão que vai além das ações e omissões cometidas pelo operador no local de trabalho (falhas ativas) e há a inclusão das falhas originadas nas decisões adotadas por quem detém o poder decisório na organização (falhas latentes).

Resumidamente, o Modelo do Queijo Suíço, demonstrado na figura abaixo (Figura 04), explicita que os acidentes aeronáuticos raramente têm uma causa única, resultando de uma combinação entre falhas humanas e organizacionais. Assim, para uma prevenção efetiva, não se deve somente nos atentar a corrigir erros individuais, mas também fortificar as camadas de segurança e identificar falhas latentes antes que causem danos.

Figura 04 – Teoria do Queijo Suíço

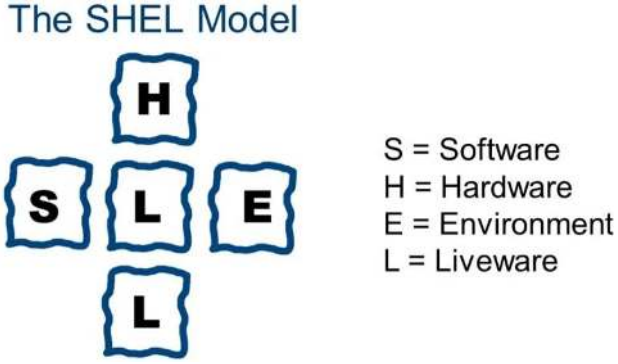



Fonte: eBianch (2024)

### 2.3.2 Modelo SHELL

O Modelo SHELL da ICAO, que será visto na figura 05, conforme descrito no Documento 9859 da ICAO, Manual de Gestão de Segurança (ICAO - Organização de Aviação Civil Internacional, 2018), é uma ferramenta conceitual usada para analisar a interação de múltiplos componentes do sistema. O modelo SHELL consiste em uma demonstração, através de um diagrama que ilustra um modelo conceitual utilizando blocos que representam diferentes componentes dos Fatores Humanos. Apresenta o ser humano como o elemento central do sistema e seu inter-relacionamento com os diversos sistemas. (Brasil, s.d.). O conceito, cujo nome é derivado das letras iniciais de seus componentes *Software* (S) (procedimentos, regras, treinamento etc.), *Hardware* (H) (equipamentos, sistemas funcionais, piloto automático etc.), *Environment* (E) físico interno (climatização, ruído etc.), físico externo (condições meteorológicas, visibilidade, pista etc.) e organizacional (politicas, cultura, estrutura organizacional etc.), *Liveware* (L) (os seres humanos, como tripulações de voo, engenheiros e mecânicos aeronáuticos e suas relações mútuas como grupo e sociedade), foi desenvolvido pela primeira vez por Elwyn Edwards (1932-1993) em 1972, com um refino e expansão do conceito e estrutura do modelo feita por Frank Hawkins (?-1990).

Figura 05 – Modelo SHELL




Fonte: Cavendish Aviation (2015)

As bordas deste bloco não são simples e retas, e, portanto, os outros componentes do sistema devem ser cuidadosamente ajustados a elas para evitar estresse no sistema e eventuais falhas. De todas as dimensões do modelo, o *Liveware* (humano) é o menos previsível e mais suscetível a mudanças internas, como fome, fadiga, psicológico, e externas, como luz, ruído, carga de trabalho (Skybrary, s.d.).

Com o intuito de expor a interface entre pessoas, mais um "L" foi incluído, justificando a relação entre pessoas e outras pessoas, com enfoque em liderança, cooperação e trabalho em equipe, denominada interface *Liveware-Liveware*. Inclui treinamentos de CRM entre outros. A relação *Liveware-hardware* é considerada quando se aborda os sistemas homem-máquina, como ergonomia e *design* de equipamentos. Na *interface Liveware-Software, Software* é a relação entre o ser humano e os sistemas de apoio no local de trabalho, como *checklists*, procedimentos operacionais padrão, simbologia, vocabulário e clareza. Por conseguinte, a *interface*. *Liveware-Environment* envolve a relação entre o ser humano e os ambientes externo e interno, incluindo sua interação com considerações físicas como temperatura, luminosidade, vibrações (interno) e terreno, infraestrutura predial, fatores climáticos (externo).

### 2.3.3 Teoria Ator-Rede

A Teoria Ator-Rede surgiu na década de 1980 e deriva de escolas de pensamento na história, filosofia e sociologia, sendo proposta por Bruno Latour (1947-2022), Michael Callon (1945-2025), John Law e Antoine Hennion. Esta teoria representa uma ruptura com o paradigma moderno tradicional, separando sujeito e objeto, humano e não humano, natureza e

sociedade. Para Latour, a sociedade é constituída por uma rede de entidades heterogêneas humanas e não humanas, que se relacionam e se conectam, gerando uma variação do resultado. A noção de rede heterogênea está no coração da Teoria Ator-Rede – *Actor Network Theory* - TAR. De acordo com esta abordagem, os atores tomam a sua forma e adquirem seus atributos como consequência de suas relações com os outros. (Latour; Camillis *et al.*, 2016; Law, 2004, *apud* Capaverde *et al.* 2023).

Latour, em sua obra Ciência em Ação: Como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora (2000), observa que o conceito de tradução representa uma forma de releitura ou adaptação de interesses de actantes empenhados na construção de fatos. Trata-se, portanto, de uma questão de interpretação de objetivos em um processo de inovação. O conceito de tradução, na TAR, está fortemente relacionado com o conceito de rede e associações. As associações explicam a rede (*socius*) e esta, por sua vez, é caracterizada pelas traduções entre componentes, que podem gerar associações rastreáveis. As associações descrevem os esquemas de ordem na geração de estados estéticos. A tradução persiste na associação entre actantes, constituindo um processo que produz a diferença, produz algo novo. Portanto, a noção de tradução, da TAR, favorece a inovação de estados estéticos na produção artística.

A TAR sofreu diversas críticas ao longo dos anos, como a análise limitada das estruturas sociais. Latour enfatiza que os processos que atravessam os atores são importantes, servindo como base para a descoberta de como definem e ordenam o social, haja vista que não convém à teoria TAR dar ênfase a conceitos entrelaçados, tomando o social como movimento constante. Também recomenda investigar a construção do "coletivo" a partir de "cinco grandes incertezas, que se baseiam em discutir em como os grupos se formam por meio de laços incertos, mutáveis e contraditórios, e da inclusão e interação do humano com o não-humano, abordando as questões de fato e interesse, havendo uma interação estabelecida pelas entidades, e não uma substituição de umas das outras, entre outras recomendações.

Nenhum acidente ocorre por fatalidade, mas sim por deficiências enquadradas em três fatores básicos: humano, material e operacional. Como indica a apostila de Noções Básicas de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, uma vez identificados e analisados todos os fatores participantes nos acidentes, pode-se constatar que existem e estão disponíveis medidas adequadas a neutralizá-los (Eonezava, p. 6-7, 2013). Falhas organizacionais e culturais são grandes atores contribuintes para um acidente, e o erro humano, como será visto no caso Varig 254, não surgiu de "improviso", mas foi produzido e mantido por uma rede de práticas organizacionais.

### 2.3.4 Modelo Gestão de Ameaças e Erros - TEM

O modelo Gestão de Ameaças e Erros, no inglês *Threat and Error Management* (TEM), admite que pilotos e tripulações não são isentos de erro e que, naturalmente, cometerão e encontrarão situações de risco, possuindo o objetivo de gerenciar proativamente essas ameaças e erros, fornecendo uma estrutura onde as margens de segurança são respeitadas. É basicamente composto por três componentes: as Ameaças, que podem ser ambientais, organizacionais, técnicas e humanas, os Erros, providos de ações incorreta ou que deveriam ter sido realizadas, e os Estados Indesejados, que resultam de ameaças não gerenciadas e erros não detectados que podem se desenvolver em acidentes e incidentes aéreos (Simulados ANAC, s.d.).

O *Threat and Error Management* é uma ferramenta indispensável para a segurança na aviação moderna. Ao fornecer uma estrutura para entender, antecipar e gerenciar ameaças e erros, o TEM capacita as tripulações de voo a operarem de forma mais segura e eficaz. A sua aplicação contínua e o aprimoramento dos programas de treinamento baseados no TEM são essenciais para manter e elevar os padrões de segurança em um ambiente operacional cada vez mais complexo (Simulados ANAC, s.d.).

> A estrutura TEM concentra-se simultaneamente no contexto operacional e nas pessoas que desempenham funções operacionais nesse contexto. A estrutura é descritiva e diagnóstica tanto do desempenho humano quanto do desempenho do sistema. É descritiva porque captura o desempenho humano e do sistema no contexto operacional normal, resultando em descrições realistas. É diagnóstica porque permite quantificar as complexidades do contexto operacional em relação à descrição do desempenho humano nesse contexto, e vice-versa. (SKYBRARY, s.d)

Sua integração na aviação está nos treinamentos dos pilotos, procedimentos operacionais (SOPs), *briefings* de voo, entre outros. Ao aplicar o TEM, o usuário deve sempre ser mantido em primeiro. Portanto, este modelo se mostra fundamental para a aviação moderna, ao permitir a capacidade da tripulação de mapear e identificar os erros e ameaças na rede, transformando experiências passadas em conhecimento preventivo e consolidando uma segurança de voo coletiva.

## 3 Estudo de Caso: Varig 254

No dia 3 de setembro de 1989, realizado por uma aeronave Boeing 737-200 de matrícula PP-VMK (Figura 06), partia o voo 254 da VARIG, do Aeroporto Internacional de Guarulhos

(SP) para Belém (PA), com escalas em outras 6 cidades, incluindo Marabá (PA), de onde decolou para seu destino. Após decolar de Marabá, a aeronave fez um pouso forçado na selva Amazônica, em São João do Xingu (MT), depois de ficar sem combustível. Entre os fatores que justificaram a queda da aeronave foi a falta de uma vírgula no plano de voo impresso, levando a um erro de interpretação por parte dos pilotos. No acidente, 12 vidas foram perdidas em decorrência da queda ou na espera por resgate, sendo que, dos 54 a bordo, 17 tiveram ferimentos graves e 25 ficaram com ferimentos leves (Saconi, 2019).

Figura 06 - Boeing 737-200 (PP-VMK)




Fonte: Groves, s.d

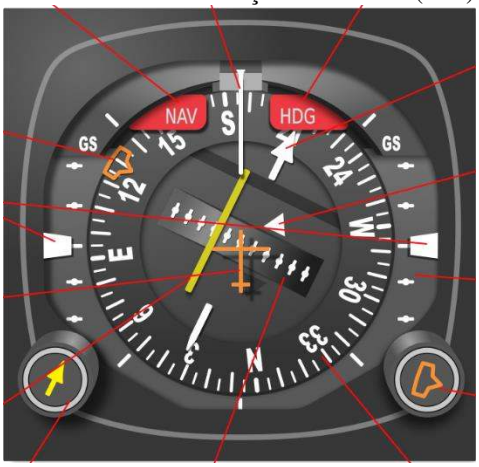
A Varig havia começado a disponibilizar, para seus pilotos, planos de voo computadorizados, alguns meses antes do acidente. Até aquela época usavam-se 3 dígitos para a inserção, no Indicador de Situação Horizontal (*Horizontal Situation Indicator* - HSI) - demonstrado nas figuras 07 e 08 - , um instrumento de maior precisão para longas rotas, do rumo a ser seguido para Belém. O procedimento da Varig para a época implicava que o último dígito era uma casa decimal, ou seja, o rumo correto era 027.0 graus, mas o comandante interpretou como sendo 270 graus magnéticos (na bússola).

O CENIPA (1991) apontou que a principal causa do acidente foi a inserção de um dado errado, que no caso foi o equívoco decimal no instrumento de navegação. Quando o comandante estava programando os comandos na aeronave, olhou o plano de voo e leu o rumo magnético necessário para chegar a Belém como sendo 0270 graus, e não 027,0 graus como deveria, sendo este o primeiro erro ativo. Eles haviam voado, utilizando o instrumento, outras seis vezes naquele dia.

O segundo erro culminou ao copiloto, que copiou o rumo magnético de 270 graus do Indicador de Situação Horizontal (HSI) do comandante, quando deveria ter revisado o dado no

plano de voo disponível, cumprindo o procedimento padrão de conferir se os dados coincidiam com os do plano de voo (CENIPA, 1991).

Figura 07 - Indicador de Situação Horizontal (HSI)




Fonte: MYSID (2010)

Figura 08 - HSI do Boeing 737



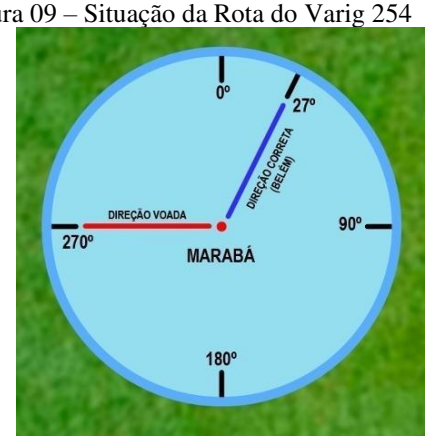

Fonte: Cristian (2017)

Naquela época, o 737 possuía sistemas de navegação convencionais, não dispondo de Sistema de Posicionamento Global - *Global Positioning System* (GPS) ou sistema inercial, o que contribuía para a manutenção de uma baixa consciência situacional dos pilotos (é a percepção de um indivíduo ou grupo sobre os elementos de um ambiente em um determinado tempo e espaço, a compreensão do significado desses elementos e a projeção do seu estado em um futuro próximo), impedindo que os próprios percebessem que estavam indo na direção errada, como será visto na figura 09, rumo ao local onde seria feito o pouso forçado (figura 10). Segundo entrevista para a emissora de televisão Rede Globo (Acidente do..., 1997), uma sobrevivente do acidente afirma que a tripulação estava ouvindo o jogo pelas eliminatórias da

Copa do Mundo Brasil X Chile no rádio, mas Nilson Zille, copiloto da aeronave, negou em entrevista para a mesma emissora.

Os pilotos perceberam que o rumo magnético estava incorreto. O copiloto Nilson Zille sintonizou em duas frequências de rádio. Subiu para o nível de voo 085 e sintonizou as frequências do NDB de Carajás e Marabá, 320 KHz e 370 KHz, respectivamente, não as tendo identificado. Acreditando estar recebendo marcações dos auxílios Radiofarol Não Direcional, ou *Non-Directional Beacon* NDB (transmissor de rádio de baixa frequência que emite sinais em todas as direções para auxiliar na navegação aérea) de Carajás e Marabá, aproou-os (apontar a proa da aeronave) até a parada dos motores (CENIPA, 1991).

Figura 09 – Situação da Rota do Varig 254




Fonte: Mundo da Meteorologia (2020)

Figura 10 – Local para onde o avião deveria ter ido e o qual ele foi encontrado




Fonte: G1 (2019)

O viés de confirmação, situação na qual acredita-se que a tripulação estava, fez com que os pilotos buscassem e valorizassem informações que apoiassem a crença inicial de que a rota estava correta, ignorando ou desconsiderando os vários indícios que apontavam o erro. Isso significa que qualquer nova percepção para os pilotos apoiava a hipótese de que estavam na rota correta para Belém (CENIPA, 1991).

> A Varig havia começado a disponibilizar planos de voo computadorizados meses antes do acidente. Esses planos continham todas as informações para o voo, como frequências de rádio das torres dos aeroportos, de controladores de voo, pontos de referência para a navegação e a rota (Saconi, 2019, p.1).

A falha inicial aqui era simples e detectável, podendo ter sido evitada em uma eventual verificação cruzada pelos pilotos. No relatório Final do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), também foi apontado o fator contribuinte externo à cabine, com a representação gráfica inadequada do plano de voo computadorizado, cabendo como recomendação a modificação da apresentação gráfica do plano de voo computadorizado visando facilitar sua visualização.

### 3.1 *Power Distance*

O "*Power Distance* reflete a aceitação por subordinados de relações desiguais de poder e é definido por declarações indicando que os novatos não devem questionar as decisões ou ações de seus superiores" (Helmreich *et al.*, 2001, p. 5).

A aplicação do CRM nas companhias é importante para que os tripulantes se adequem às diferentes culturas envolvidas na empresa, e aos colegas de trabalho, pois cada tripulante traz consigo uma carga cultural definida e, no caso do Varig 254, o comandante já era conhecido por ser uma pessoa "difícil" de conviver, mas competente.

> As influências de três culturas relevantes para o cockpit são descritas: as culturas profissionais dos pilotos, as culturas das organizações e as culturas nacionais que cercam os indivíduos e suas organizações... Na aviação, as três culturas, profissionais, organizacionais e nacionais, podem ter impacto positivo e negativo na probabilidade de um voo seguro. O voo seguro é o resultado positivo do reconhecimento de risco oportuno e da gestão eficaz de erros, que são resultados universalmente desejados. A responsabilidade das organizações é minimizar os componentes negativos de cada tipo de cultura, enfatizando o positivo. Tanto o CRM quanto o treinamento técnico fazem parte de uma filosofia e programa de gestão de erros. Helmreich *et al.*, 2001, p. 1 e 3).

No contexto do acidente, o *power distance* se aplica à omissão do copiloto às ações do comandante César Augusto Padula Garcez, que era ex-militar, e que anteriormente ao voo já havia se desentendido com o copiloto Nilson Zille.

Portanto, no contexto do voo Varig 254, a combinação entre um comandante de perfil autoritário, um relacionamento prévio desgastado e a internalização cultural de alta distância de poder resultou em uma dinâmica de cabine de comando *(cockpit)* em que o copiloto se omitiu de exercer seu papel de monitoramento e verificação cruzada. A ausência desse contraponto, fundamental na filosofia de CRM, permitiu que desvios críticos permanecessem sem correção, contribuindo para o desenrolar da tragédia.

## 4 Estudo de caso: United Airlines

Em 19 de julho de 1989, uma aeronave McDonnell Douglas modelo DC-10-10 (figura 11), o voo 232, da companhia United Airlines, com matrícula N1819U, sofreu uma falha catastrófica no motor da cauda nº 2 durante o voo de cruzeiro nos Estados Unidos da América, após decolar de Denver (CO) com 285 passageiros e 11 tripulantes a bordo, com destino ao aeroporto *O'Hare International Airport*, em Chicago (IL). Durante a primeira hora o voo transcorreu com normalidade. Na segunda hora de voo, uma pá rachada do rotor do motor nº2 se desintegrou, causando a falha do motor. Com a explosão, partes do motor e da cauda se fragmentaram, e a descarga forçada de peças do conjunto do rotor de estágio 1 levaram à perda dos três sistemas hidráulicos que acionavam os controles de voo da aeronave. Os pilotos da aeronave, Capitão Alfred Haynes (1931-2019) e o primeiro oficial William Records descobriram rapidamente que estavam sem os controles manuais da aeronave, incluindo o piloto automático (NTSB, 1990).

Figura 11 – Modelo aeronave DC-10 United Airlines




Fonte: KPLASTIQUE (1977)

A tripulação notou, pelos instrumentos do motor, que o motor nº 2 (cauda) falhou, e iniciaram os procedimentos para o desligamento deste motor.

> Durante a execução da lista de verificação de desligamento, a tripulação notou que os medidores de pressão hidráulica e os manômetros de pressão da aeronave indicavam zero. O primeiro oficial pilotava a aeronave no momento da falha do motor e informou ao comandante que não conseguia controlá-la, e que iniciou uma curva descendente à direita. O comandante assumiu o controle da aeronave e confirmou que ela não respondia aos comandos de controle. Em seguida, reduziu a potência do motor nº 1, o que resultou na aeronave rolando para uma atitude de asas niveladas. A tripulação de voo acionou o gerador pneumático que alimenta a bomba hidráulica auxiliar nº 1; no entanto, essa ação não restaurou a potência hidráulica da aeronave (NTSB, 1989)

Após 5 minutos da explosão, a tripulação de voo entrou em contato via rádio com o Centro de Controle de Tráfego Aéreo de Minneapolis (*Air Route Traffic Control Center* - ARTCC) e solicitou assistência de emergência e vetores para o aeroporto mais próximo. Os passageiros foram informados da falha do motor e os comissários foram instruídos a preparar a aeronave para um possível pouso de emergência. Na cabine de passageiros havia um piloto, Dennis E. Fitch (1942-2012), de 46 anos, examinador e instrutor de voo de DC-10 da United Airlines, que estava fora de serviço e ofereceu sua experiência para ajudar a tripulação, indo até a cabine de pilotagem auxiliar os pilotos.

> O piloto examinador tentou usar a potência do motor para controlar o ângulo de inclinação e a rotação. Ele disse que o avião tinha uma tendência contínua de virar para a direita, tornando difícil manter uma atitude de inclinação estável. Ele também informou que as alavancas de impulso dos motores nº 1 e nº 3 não podiam ser usadas simetricamente, então ele usou as duas mãos para manipular os dois aceleradores. (NTSB, 1990)

A tripulação avistou o aeroporto a cerca de 14 quilômetros do pouso, e o controle de tráfego instruiu a tentar pousar na cabeceira 31, que possuía 2640 metros de comprimento. No entanto, a aeronave estava se aproximando pela pista 22, que tinha 2080 metros de comprimento e estava fechada no momento, mas devido à posição e dificuldades em realizar curvas, o comandante optou por continuar a aproximação para a pista 22 em vez de tentar manobrar para a 31 O avião pousou ligeiramente à esquerda da linha central da pista 22. O primeiro contato com o solo foi feito pela ponta da asa direita, seguido pelo trem de pouso principal direito. O avião derrapou para a direita e rolou para uma posição invertida, e os rastros que a aeronave deixou na pista, evidenciaram a agressividade do toque ao solo.

Durante o pouso, testemunhas afirmaram vir a aeronave pegar fogo e capotar, parando após cruzar as pistas 17/35. Segundo a NTSB (1990), as operações de combate a incêndio e resgate começaram imediatamente, porém a aeronave foi destruída pelo impacto e pelo fogo.

> Após o acidente, o NTSB conduziu uma série de estudos em simuladores para avaliar a possibilidade de treinamento da tripulação para controlar a aeronave em uma situação UAL 232. Os estudos revelaram que a tripulação não teria se beneficiado desse treinamento, caso ele existisse, visto que a aeronave era virtualmente impossível de controlar. O NTSB concluiu que a aeronave, embora em condições de pilotagem, não poderia ter pousado com sucesso em uma pista com a perda de todos os controles hidráulicos de voo (NTSB, 1990).

Havia 296 pessoas a bordo, sendo 285 passageiros e 11 tripulantes. Do total, morreram 112 pessoas, incluindo uma vítima que veio a falecer posteriormente em razão dos ferimentos. Apesar da gravidade do acidente, todos os membros da cabine de comando sobreviveram, ainda que tenham sofrido ferimentos. O acidente é mundialmente conhecido como um caso de sucesso na aplicação do CRM, pelo fato de que 184 pessoas conseguiram escapar com vida de um acidente considerado catastrófico, tornando-o um excelente exemplo de acidente contributivo para reforçar a importância de fatores humanos e organizacionais.

O NTSB determinou como causa provável deste acidente a consideração inadequada das limitações de fatores humanos nos procedimentos de inspeção e controle de qualidade utilizados pela unidade de revisão de motores da United Airlines, evidenciando assim, um erro de corporação. As limitações impediram a detecção de uma trinca em uma área crítica do disco do ventilador de estágio 1 do motor, originada por um defeito metalúrgico que não foi detectado

### 4.1 O CRM no acidente United Airlines 232

O acidente da United Airlines 232 é um dos acidentes mais estudados na aviação, pois demonstra um excelente desempenho da tripulação diante de uma situação impossível, apesar da falha técnica catastrófica. As lições aprendidas foram que, o capitão Haynes, o copiloto e o engenheiro de voo e instrutor agiram em cooperação de forma exemplar, compartilhando suas experiências, mantendo a comunicação aberta e usando efetivamente dos recursos humanos. O caso é considerado uma das maiores referências mundiais em CRM.

Abordando no contexto de corporação, a investigação do NTSB revelou algumas pequenas falhas em inspeções, que poderiam ter evitado o acidente. Se o CRM tivesse sido aplicado externamente à cabine e houvesse uma cultura de reporte e aprendizado contínuo, o acidente poderia não ter ocorrido (Wiegmann; Shappell, 2003).

## 5 A Teoria Ator-Rede aplicada aos acidentes

Quando observados sob a ótica da Teoria Ator-Rede, os acidentes Varig 254 e United Airlines 232 passam a não ser definidas apenas como falhas humanas ou técnicas, e passam a ser compreendidas pelos resultados e interações complexas dentro da rede sociotécnica de cada acidente. Nessa rede, pessoas, normas organizacionais, máquina, homem e meio são atores do evento final.

### 5.1 Varig 254

Ao interpretar incorretamente o plano de voo, programando o rumo 270 ao invés de 027,0, os pilotos conduziram a aeronave para o sentido oposto ao pretendido. A Varig não disponibilizava um treinamento a respeito da mudança decimal nos rumos estipulados no plano de voo, sendo uma atriz dentro do acidente. Porém, a investigação revelou que no plano de voo estava faltando uma vírgula, que estava mal impressa, contribuindo para a interpretação incorreta. Não houve verificação cruzada pelo copiloto, o que contribuiu para a manutenção do erro (CENIPA, 1991).

A TAR permite chegar à conclusão de que o acidente não ocorreu apenas por conta de um indivíduo e sim de uma interação entre atores que compõem a rede. Os atores não humanos identificados, como a falta de verificação cruzada e a má impressão do plano de voo, contribuíram para o desfecho. Em suma, o erro não é de um ator isolado, mas resultado de uma má interação articulada entre atores humanos e não humanos dentro da rede.

Seguindo os fatores contribuintes, pequenas intervenções poderiam ter evitado o acidente, já que a aeronave estava perfeitamente operacional. Seguindo a teoria Ator-Rede, o acidente aconteceu devido a uma desconexão da rede sociotécnica que sustentava o voo.

### 5.2 United Airlines 232

Neste caso, a rede sociotécnica se reorganizou de uma maneira em que vários atores contribuíram ativamente para o sucesso da situação, diante da falha total dos comandos da aeronave. Mesmo controlando a aeronave apenas pelas manetes de potência 1 e 3 (a 2 pertencia ao motor perdido), os pilotos encararam a situação com maestria, que extrapolava qualquer treinamento anterior ou procedimento, com seriedade e trabalho em equipe, a essência do CRM. A gestão de crise pelo comandante foi um dos pontos positivos que contribuíram para a sucessão de ideias ao longo da situação, como a identificação rápida do problema e liderança da equipe na formulação de hipóteses a respeito das ações a serem tomadas.

Na perspectiva Latouriana, o fato de a tripulação ter redefinido suas funções, constituiu um ato de tradução. Os motores, que foram projetados apenas para a propulsão da aeronave, foram convertidos em instrumentos de controle e direção. A tripulação (humano) adaptou o uso das tecnologias disponíveis, interagindo de forma cooperativa e precisa com a máquina (não humano), uma relação típica das redes heterogêneas descritas por Latour.

A potencialidade de um piloto exercitar, de modo eficiente, bom julgamentos e decisões, demonstrando controle eficaz na prática das habilidades no gerenciamento de voo - *Airmanship* (Kern, 1997) dos tripulantes ficou evidente pela excelente coordenação, efetiva comunicação e proatividade entre os membros da tripulação, que uniram suas experiências em prol de um objetivo. No caso United Airlines, um evento sem precedentes tornou o acidente praticamente inevitável do ponto de vista operacional, pois os pilotos estavam sem os controles básicos da aeronave, que dispuseram de exímio CRM exercido por todas as partes presentes, e contornaram a situação com maestria.

## Considerações finais

A análise desenvolvida ao longo deste trabalho permitiu compreender como o acidente aéreo, que antes era apenas visto sob óticas superficiais, como falha técnica ou humana, podem ser relidos a partir de uma perspectiva sociotécnica, embasada pela Teoria Ator-Rede (TAR), de Bruno Latour, passando a unir os atores humanos e não humanos e entendendo como ambos se relacionam. Ao comparar os acidentes Varig 254 e United 232 sob a ótica da Teoria Ator-Rede é visto que eventos complexos precisam ter seus atores humanos e não humanos analisados, pois eles se associam, traduzem e redefinem seus objetivos e papéis em uma rede sociotécnica de ação. Portanto, o erro é um efeito coletivo da rede, podendo assim ser uma falha generalizada entre as partes que compõe o corpo sociotécnico.

Visto isso, o presente trabalho buscou responder à seguinte questão-problema: Quais os impactos e efeitos de uma boa aplicação do CRM durante situações de risco na cabine de comando (*cockpit*)?

Foram analisados artigos, livros e documentos oficiais – a partir dos quais foram realizados dois estudos de caso em que o CRM é um fator importante para os acidentes, e com finais símiles – foi identificado a importância de se estudar os fatores humanos e sua importância na prevenção de acidentes aeronáutico. Constatou-se também que o CRM é uma ferramenta indispensável para a relação interpessoal em diversas áreas, principalmente na aviação, onde há a interação homem-homem e homem-máquina, ambas dependentes de

procedimentos padronizados focados em mitigar erros. A TAR permite demonstrar, por meio de traduções, as falhas transformadas em novas relações durante o processo que se fez presente, permitindo uma evolução sociotécnica e definindo novos papéis para os atores em questão.

O Voo da United Airlines 232 revelou o surgimento de uma nova rede sociotécnica, diante de uma situação catastrófica e imprevisível, sendo um marco na evolução do Gerenciamento de Recursos de Cabine (CRM) e sua contribuição para o entendimento e estudo sobre fatores humanos. Foi evidenciado que o êxito e a falha das operações não dependem de apenas um ator e sim da interação de atores existentes no campo e de suas capacidades de manter as traduções harmônicas e racionais para a circunstância. Sendo assim, estas traduções rompidas ou malfeitas, a colaboração para um eventual acidente será maior.

Fatores organizacionais, técnicos e operacionais somados ao reconhecimento das habilidades não técnicas ligadas à relação do homem com a máquina, contribuem para uma cultura organizacional segura, focada em diminuir os acidentes aéreos e entendê-los. Pode-se definir o acidente UA232 como sendo um evento inevitável, que dispôs de atores que conseguiram contornar essa inevitabilidade diminuindo os impactos prováveis e traduzindo-os para a situação que ocorreu. O caso da Varig 254 foi uma condição de evitabilidade tanto organizacional quanto transmissório (comunicação).

Os órgãos de segurança e investigação de acidentes aéreos – (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) e *National Transportation Safety Board*, (NTSB), bem como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), *Federal Aviation Administration* (FAA) e Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) – funcionam como instituições não humanas, possuindo a função de atores que influenciam a disseminação do conhecimento e aprendizagem para evitar a repetição de erros e falhas sistêmicas.

Cabe aos órgãos competentes e às companhias aéreas sustentarem treinamentos baseados na cultura do CRM e estimular o mesmo no dia a dia da corporação, bem como avaliações periódicas visando eventuais aperfeiçoamentos das atuais normas e protocolos de segurança, sempre com o objetivo de mitigar e diminuir acidentes e incidentes aeronáuticos, garantindo que cada acidente se transforme em lições e aprimoramentos coletivos, e não apenas estatísticas.

**Referências**

ACOSTA, J. P. L; COSTA, N. H. S. **A relevância do treinamento de habilidades não técnicas na atuação de pilotos de avião**. 2021. Disponível em: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ciencias-aeronauticas/pilotos-de-aviao. Acesso em: 29 de set. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **Crew Resource Management (CRM) – Sitese**. Brasília: ANAC, 2019. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/arquivos/pdf/CRM-Sitese.pdf. Acesso em: 05 out. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **Manual do Facilitador em CRM. Brasília:** ANAC**,** s.d. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/arquivos/pdf/manualtreinamentofacilitadorcrm3.pdf. Acesso em: 05 out. 2025.

BRASIL. Departamento de Aviação Civil (DAC). **Simpósio de Gerenciamento de Recursos de Equipes (Corporate Resource Management – CRM).** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/arquivos/pdf/CRM-Sitese.pdf. Acesso em: 05 out. 2025.

BRASIL. Departamento de Aviação Civil (DAC). **Instrução de Aviação Civil (IAC) n. 060-1002A**, de 14 de abril de 2005. Aprova a Instrução de Aviação Civil do DAC que trata do Treinamento em Gerenciamento de Recursos de Equipes (CRM). Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://hangarmma.com.br/blog/wp-content/uploads/2019/05/IAC060_1002A.pdf. Acesso em 09 out. 2025.

CAPAVERDE, Son Caroline Bastos; FOGAÇA, Lucas; HENRIQSON, Éder. A construção de modelos teóricos na pesquisa em administração: a influência de Law. Revista de Administração de Empresas (RAE), Porto Alegre, p. 6, 2023. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rae/a/zJNYPcMB5w6YkprbHk35jyH/?format=html&lang=pt. Acesso em: 07 out. de 2025.

CAVENDISH AVIATION. **Shell model in aviation**. Cavendish Aviation College, [S.l.], 2015. Disponível em: https://www.cavendish.ac/shell-model-in-aviation. Acesso em: 14 out. 2025.

CENIPA - Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Órgão do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos** – SIPAER. Força Aérea Brasileira, Brasília, 2018. Disponível em: https://www2.fab.mil.br/incaer/images/eventgallery/instituto/Opusculos/Textos/opusculo_cenipa.pdf. Acesso em: 12 out. 2025.

CENIPA - Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Relatório final – Acidente aeronáutico PP-VMK**, 03 set. 1989. Brasília: Força Aérea Brasileira, 1991. Disponívelem:https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/RF_PPVMK_ACIDENTE_03_09_1989.pdf. Acesso em: 05 out. 2025.

CENIPA - Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **O CENIPA**. [s.l.], [s.d.]. Disponível em: https://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/o-cenipa. Acesso em: 09 out. 2025.

CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **NSCA 3-15:** Gestão da Segurança de Voo na Aviação Militar. Brasília: CENIPA, 2022.

CRISTIAN, Marcilio. **Acidente do voo Varig 254 Marabá** - **Belém**. [S.l.: s. n.], 2017. 1 vídeo (26:47). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=qEjSpUqwX0s. Acesso em: 25 de out. 2025.

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Glossário**. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://www.decea.mil.br/index.cfm?i=utilidades&p=glossario&single=2133. Acesso em: 09 out. 2025.

EBIANCH. **Apostila FHU**. [S.l.], fev. 2024. Disponível em: https://www.ebianch.com/wp-content/uploads/2025/02/11-Apostila-FHU_eBianch.pdf. Acesso em: 22 out. 2025.

EONEZAVA, João Carlos. **Noções básicas de prevenção de acidentes aeronáuticos**: apostila do Curso de Formação de Cabos (CFC). Escola de Especialistas de Aeronáutica – EEAR, 2013. Disponível em: https://www2.fab.mil.br/eear/images/cfc/cfc_prevencao.pdf. Acesso em:12 out de 2025.

FAA - Federal Aviation Administration. **Crew Resource Management – History**. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 2022. Disponível em: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-11/crmhistory.pdf. Acesso em: 11 out. 2025.

FAA - Federal Aviation Administration. **AMT Handbook Addendum:** Human Factors. Washington, D.C., 2005. Disponível em: https://www.faasafety.gov/files/gslac/courses/content/258/1097/AMT_Handbook_Addendum_Human_Factors.pdf. Acesso em: 12 out. 2025.

FAA - Federal Aviation Administration. **Crew Resource Management – History**. Washington, D.C., nov. 2022. Disponível em: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-11/crmhistory.pdf. Acesso em: 12 out. 2025.

FAA - Federal Aviation Administration. **Human Factors – The Role of Human Factors in Aviation Safety**. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 2024. Disponível em: https://www.hf.faa.gov/role.aspx. Acesso em: 08 out. 2025.

FAA - Federal Aviation Administration. **Lessons Learned – Accident N1819U**. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 2023. Disponível em: https://www.faa.gov/lessons_learned/transport_airplane/accidents/N1819U. Acesso em: 12 out. 2025.

FAA - Federal Aviation Administration. **Order 9550.8 Human Factors Policy**, 1993. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations_policies/orders_notices/index.cfm/go/document.information/documentid/12081. Acesso em: 12 out. 2025.

FAA - Federal Aviation Administration. **FAA Research 1989 – 2002/**Human Factors in Aviation Maintenance and Inspection/ Human Factors on Aviation Maintenance and Inspection (HFAMI) web site. 2002. Disponível em: http:hfskyway.faa.gov/HFAMI/lpext.dll/FAA%20Research%201989%20-%202002/ Infobase/1a4?fn=main-jhfami.htm&f=templates. Acesso em 12/10/2025.

G1**. Voo Varig 254** – erro na configuração da rota fez avião voar na direção contrária [imagem]. Foto: Infografia Dennis Barbosa/G1, 2019. Disponível em: https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2019/09/03/bebe-que-escapou-ilesa-de-acidente-da-varig-na-amazonia-ha-30-anos-pensou-em-ser-comissaria-de-bordo.ghtml. Acesso em: 14 out. de 2025.

GROVES, Clinton H. **Varig Boeing 737-200 PP-VMK** [fotografia]. s.l., s.d. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Varig_Boeing_737-200_PP-VMK_mod.jpg. Acesso em: 10 out. de 2025.

GRIFFIN, Thomas G. C.; YOUNG, Mark S.; STANTON, Neville A. **Human Factors Models for Aviation Accident Analysis and Prevention.** Farnham: Ashgate Publishing, 2015.

HAWKINS, F. H. **Human factors in flight**. Aldershot: Ashgate, 1993.

HELMREICH, R. L. **Error management as organizational strategy**. In: Proceedings of the IATA Human Factors Seminar, Bangkok, Thailand, 20–22 Apr. 1998. p. 1-7.

HELMREICH, Robert L.; WILHELM, John A.; KLINECT, James R.; MERRITT, Ashleigh C. **Culture, Error, and Crew Resource Management**. Department of Psychology, The University of Texas at Austin, 2001. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org. Acesso em:14 de out. 2025.

ICAO - Organização de Aviação Civil Internacional. **Safety Management Manual** (SMM). Doc 9859. Montreal, 2018.

ICAO - Organização de Aviação Civil Internacional. **Anexo 13** – Investigação de Acidentes e Incidentes Aeronáuticos. Montreal: OACI, 2016.

JÚNIOR, Carlos Ângelo. **Ausência do CRM na instrução de voo: consequências desse quadro e benefícios de sua implantação.** 2017. Monografia (Graduação em Ciências Aeronáuticas) — Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017. Disponível em: https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/c575c572-65bc-409f-885e-7e6449d93db2/content. Acesso em: 29 set. de 2025.

KERN, Tony. **Redefining Airmanship**. New York: McGraw-Hill. 1997.

KPLASTIQUE. **McDonnell Douglas DC-10 (N1819U) operated by United Airlines [fotografia].** Janeiro de 1977. Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:United_DC-10_N1819U.jpg. Acesso em: 09 out. de 2025.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LATOUR, Bruno. **Ciência em ação**: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

LAW, John. **Notas sobre a teoria ator-rede: ordenamento, estratégia e heterogeneidade.** (Trad. Fernando Manso). Rio de Janeiro: NECSO – Núcleo de Estudos de Ciência, Tecnologia e Sociedade (UFRJ), 1992. Disponível em: https://www.necso.ufrj.br/Trads/Notas%20sobre%20a%20teoria%20Ator-Rede.htm. Acesso em: 07 out. 2025.

MUNDO DA METROLOGIA. **Voo Varig 254**: Interpretação enganosa do plano de voo contribuiu para a queda da aeronave. Disponível em: http://www.mundodametrologia.com.br/2020/09/voo-varig-254-interpretacao-enganosa-do.html. 2020. Acesso em: 11 de out. 2025.

MYSID. **Horizontal situation indicator** [ilustração]. 02 ago. 2010. Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported (CC BY-SA 3.0). Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horizontal_situation_indicator-en.svg. Acesso em: 11 de out. 2025.

NASA. **Airline Crew Training**. Ames Research Center, jan. 1989. Disponível em: https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20020087647.pdf. Acesso em: 08 out. 2025.

NSTB - National Transportation Safety Board (NTSB). **Annual Report to Congress 2020**. Washington, D.C.: NTSB, 2020.

NSTB - National Transportation Safety Board (NTSB). **Aircraft Accident Report – United Airlines Flight 232**, McDonnell Douglas DC-10-10, Sioux Gateway Airport, Sioux City, Iowa, July 19, 1989.

NSTB - National Transportation Safety Board (NTSB). **NTSB/AAR-90/06**. Washington, D.C., 1 nov. 1990. Disponível em: https://www.ntsb.gov/investigations/accidentreports/reports/aar-90-06.pdf. Acesso em: 10 out. 2025.

SACONI, Alexandre. **A história do avião da Varig que caiu na Amazônia por causa de uma vírgula**. UOL Economia, São Paulo, 04 set. 2019. Disponível em: https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2019/09/04/trinta-anos-queda-aviao-varig-amazonia.htm. Acesso em: 29 out. 2025.

SIMULADOS ANAC. **O que é o Gerenciamento de Ameaças e Erros (TEM)**. Simulados ANAC, [S.l.], s.d. Disponível em: https://simuladosanac.com/blog/o-que-e-o-gerenciamento-de-ameacas-e-erros-tem. Acesso em: 02 out. 2025.

SKYBRARY. **James Reason HF Model**, s.d. Disponível em: https://skybrary.aero/articles/james-reason-hf-model. Acesso em: 02 de out. 2025.

SKYBRARY. **SHELL Model**. [s.d.]. Disponível em: https://www.skybrary.aero/articles/icao-shell-model. Acesso em: 02 de out. 2025.

SKYBRARY. **Threat and Error Management (TEM)**. [s.d.]. Disponível em: https://skybrary.aero/articles/threat-and-error-management-tem. Acesso em: 09 out. 2025.

WIEGMANN, D. A.; SHAPPELL, S. A**. Uma abordagem de erro humano para análise de acidentes aéreos**: o Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos. 1. ed. Routledge, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.4324/9781315263878. Acesso em: 08 de out. 2025

WIKIMEDIA COMMONS. **Cenipa Emblem** [imagem]. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cenipa_Emblem.png. 9 ago 2024. Acesso em: 08 de out. 2025.

WIKIMÉDIA COMMONS. **Seal of the United States National Transportation Safety Board** [imagem]. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Seal_of_the_United_States_National_Transportation_Safety_Board.svg. 30 ago 2007. Acesso em: 10 out. 2025.

YOUTUBE. **Acidente do voo da Varig 254 Marabá - Belém**. 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=qEjSpUqwX0s. Acesso em: 29 de set. 2025.