


**NEUROERGONOMIA NO CONTROLE DE VOO COM TECNOLOGIA EMBARCADA
FLY-BY-WIRE E ARTIFICIAL FEEL PARA UM MELHOR FEEDBACK HÁPTICO**

**NEUROERGONOMICS IN FLIGHT CONTROL WITH ONBOARD FLY-BY-WIRE
TECHNOLOGY AND ARTIFICIAL FEEL FOR BETTER HAPTIC FEEDBACK**

**NEUROERGONOMÍA EN EL CONTROL DE VUELO CON TECNOLOGÍA FLY-BY-WIRE
INTEGRADA Y SENSACIÓN ARTIFICIAL PARA UNA MEJOR RESPUESTA HÁPTICA**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n9-139>

Data de submissão: 11/08/2025

Data de publicação: 11/09/2025

Roque Antônio de Moura

Doutor em Engenharia

Instituição: Fatec São José dos Campos

E-mail: roque.moura@fatec.sp.gov.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3036-7116>

Marcello Pereira Benevides

Mestrando em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade de Taubaté

E-mail: marcello.benevides@sp.senai.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2683-2275>

Lucas José Gasparin Corrêa Rufino

Especialização em Inteligência Artificial

Instituição: Faculdade Senai de Taubaté

E-mail: lucasjose.gasparin@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4564-9631>

Marcus Vinicius Souza Dias

Mestre em Engenharia Mecânica

Instituição: Escola Técnica Estadual de Ibaté (ETEC)

E-mail: marcus.dias01@etec.sp.gov.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8868-8677>

Messias Borges Silva

Doutor em Engenharia

Instituição: Faculdade de Engenharia e Ciências (FEG-UNESP)

E-mail: messias.silva@unesp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8656-0791>

RESUMO

O uso dos princípios neuroergonômicos em sistemas de controle de voo utilizando a tecnologia *fly-by-wire* (FBW) e o *feedback* háptico aprimorado por um sistema de sensação artificial (*Artificial Feel*), possibilita a integração e a compreensão de como o cérebro humano processa informações sensoriais e motoras compensando a ausência de *feedback* físico nos sistemas FBW que tecnologicamente substituem os antigos controles pesados de voo mecânicos por comandos leves e eletrônicos. O

objetivo desta pesquisa é divulgar como o sistema *artificial feel* recria artificialmente as forças e sensações que o piloto sentiria, proporcionando um *feedback* háptico (tátil) preciso e intuitivo. A metodologia contou com uma pesquisa bibliográfica e publicações inerentes ao assunto para se refletir oportunidades e ameaças entre impedimentos e limites tecnológicos e o limite físico-cognitivo humano. Uma análise SWOT, identificou se há ameaças como a dependência tecnológica e questões éticas. Conclui-se que a tecnologia *artificial feel* aliado a neuroergonomia melhora a consciência situacional do piloto e otimiza a tomada de decisões, pois o cérebro recebe informações táteis que complementam a percepção visual e auditiva. Essa sinergia entre neurociência e engenharia aeronáutica reduz a carga cognitiva, aumenta a segurança e a precisão do controle de aeronaves quanto a sua pilotagem.

Palavras-chave: Artificial Feel. Neuroergonomia. Resposta Háptica. Sensação Artificial. Sistema FBW.

ABSTRACT

The use of neuroergonomics principles in flight control systems using fly-by-wire (FBW) technology and haptic feedback enhanced by an artificial feel system enables the integration and understanding of how the human brain processes sensory and motor information, compensating for the lack of physical feedback in FBW systems, which technologically replace the old, heavy mechanical flight controls with lightweight, electronic controls. The objective of this research is to demonstrate how the artificial feel system artificially recreates the forces and sensations a pilot would feel, providing precise and intuitive haptic (tactile) feedback. The methodology included a literature search and publications related to the subject to reflect opportunities and threats, including technological impediments and limits, and the human physical-cognitive limit. A SWOT analysis identified threats such as technological dependence and ethical issues. The conclusion is that artificial feel technology combined with neuroergonomics improves pilot situational awareness and optimizes decision-making, as the brain receives tactile information that complements visual and auditory perception. This synergy between neuroscience and aeronautical engineering reduces cognitive load, increases safety, and increases the precision of aircraft control and piloting.

Keywords: Artificial Feel. Neuroergonomics. Haptic Feedback. Artificial Sensation. FBW System.

RESUMEN

El uso de principios neuroergonómicos en sistemas de control de vuelo que emplean tecnología fly-by-wire (FBW) y retroalimentación háptica mejorada mediante un sistema de tacto artificial permite integrar y comprender cómo el cerebro humano procesa la información sensorial y motora, compensando así la falta de retroalimentación física en los sistemas FBW, que sustituyen tecnológicamente los antiguos y pesados controles de vuelo mecánicos por controles electrónicos ligeros. El objetivo de esta investigación es demostrar cómo el sistema de tacto artificial recria artificialmente las fuerzas y sensaciones que sentiría un piloto, proporcionando retroalimentación háptica (táctil) precisa e intuitiva. La metodología incluyó una búsqueda bibliográfica y publicaciones relacionadas con el tema para reflejar las oportunidades y amenazas, incluyendo los impedimentos y limitaciones tecnológicas, y el límite físico-cognitivo humano. Un análisis FODA identificó amenazas como la dependencia tecnológica y cuestiones éticas. La conclusión es que la tecnología de tacto artificial, combinada con la neuroergonomía, mejora la conciencia situacional del piloto y optimiza la toma de decisiones, ya que el cerebro recibe información táctil que complementa la percepción visual y auditiva. Esta sinergia entre la neurociencia y la ingeniería aeronáutica reduce la carga cognitiva, aumenta la seguridad y la precisión del control y pilotaje de aeronaves.

Palabras clave: Sensación Artificial. Neuroergonomía. Respuesta Háptica. Sistema FBW.

1 INTRODUÇÃO

Neuroergonomia, uma junção entre psicologia ergonômica do trabalho e neurociência busca identificar a resposta neurofisiológica e comportamental relacionada ao labor (Tyagi; Mehta, 2022). Estudos neuroergonômicos possibilitam detalhar e analisar atividades humanas de alta complexidade e uso da tecnologia, indicando a forte convergência da neurociência para estudos nas várias áreas do conhecimento (Villarouco *et al.*, 2020).

A neuroergonomia, no âmbito físico-mental, estuda o comportamento no trabalho, visando projetar o trabalho combinado com a capacidade neural e limitações humanas sem afetar o bem-estar e a forma como a força laboral humana desempenha seu labor (Parasuraman, 2003; Shi *et al.*, 2023).

A introdução do sistema *Fly-by-Wire* (FBW) representou uma inovação fundamental no controle de aeronaves modernas, substituindo as complexas e pesadas conexões mecânicas por uma interface eletrônica e computadorizada de controle (Rogalski, 2002; Adjoudani *et al.*, 2017).

O FBW proporciona uma melhoria substancial na precisão e segurança das manobras e uma redução na carga de trabalho do piloto (Silva *et al.*, 2024; Sousa *et al.*, 2025) atuando nas superfícies de controle sob o comando humano e assistido por computadores. Conforme Hayward e Maclean (2008) essa arquitetura eletrônica corrobora na eficiência e segurança operacional no setor de aviação (Liu *et al.*, 2019).

Na aviação moderna e futuras, os sistemas FBW podem ser considerados como agentes tecnológicos que auxiliarão na segurança e na eficiência das operações aéreas em todas as fases do voo (Bohra; Dharmadhikari, 2023; Costa *et al.*, 2025).

Segundo Tomczyk (2003) há uma perda do sistema tradicional para o FBW no controle de voo. Substituir elementos de máquinas pesados e ruidosos por sensores e atuadores eletrônicos eliminou o *feedback* háptico (Wu *et al.*, 2013).

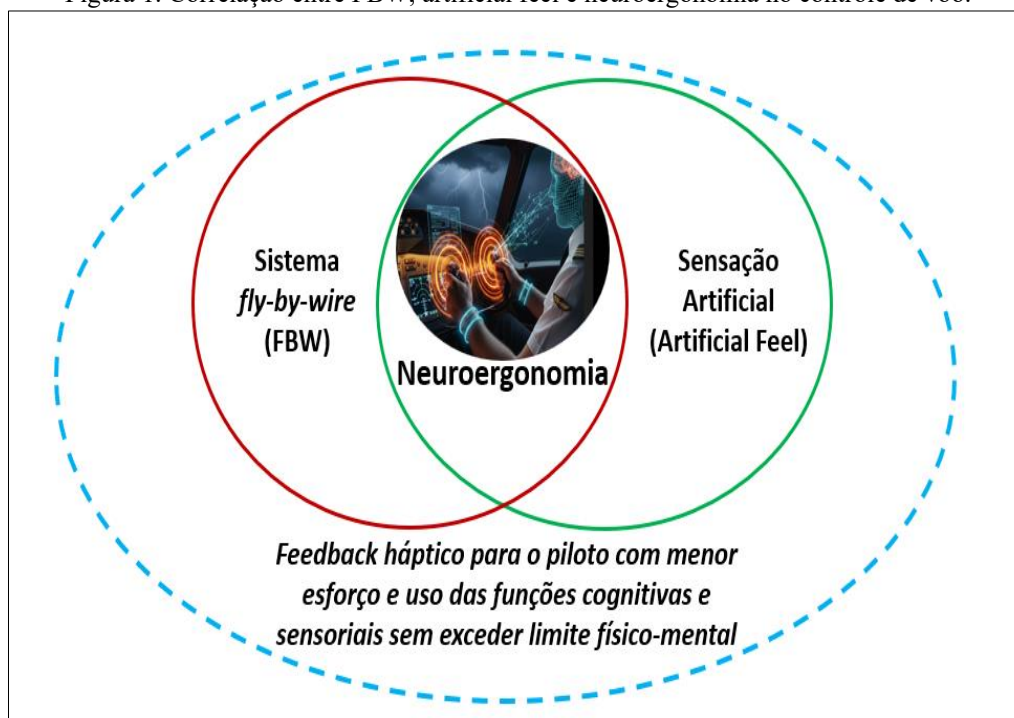
Para contornar esse desafio neuroergonômico, foi criado, desenvolvido e implementado um sistema com sensação artificial (*artificial feel*) (Hayward; Maclean, 2008; Salas; Maurino, 2010).

Este sistema, segundo Liu; Wang (2023) ajusta a resistência percebida nos controles de voo em proporção direta à velocidade da aeronave e à intensidade da manobra, reintegrando assim o componente sensorial humano ao processo de controle e melhorando a consciência situacional do piloto.

Com o controle de voo mecânico, o piloto e a aeronave formavam uma unidade mecânica, onde a força e a sensação tátil eram cruciais para o controle. Com o FBW, essa interação física foi substituída por comandos elétricos, eliminando o *feedback* sensorial direto, o que é um desafio neuroergonômico (Salas; Maurino, 2010; Santos *et al.*, 2025).

A Figura 1 ilustra a correlação entre o sistema *fly-by-wire* (FBW) e a sensação artificial (Artificial Feel) e a Neuroergonomia, destacando como essas tecnologias se unem para otimizar a interação entre o ser humano (piloto) e a máquina (aeronave).

Figura 1. Correlação entre FBW, artificial feel e neuroergonomia no controle de voo.



Fonte: Autores (2025).

Enquanto o FBW substitui os controles mecânicos por comandos eletrônicos comprometendo o *feedback* tátil, o sistema de sensação artificial devolve ao piloto a percepção e sensação de aeronavegabilidade. Nesse sentido, o *feedback* háptico de forma intuitiva e compatível com as capacidades cognitivas e sensoriais humanas, possibilita que o piloto mantenha um alto nível de consciência situacional e controle de aeronavegação com menor esforço (Abbink; Mulder; Boer, 2012; Antônio *et al.*, 2024; Benevides *et al.*, 2025).

O *feedback* háptico ocorre por meio de tecnologia que usa estímulos físicos, como vibrações controladas para simular sensações táteis e transmitir informações ao agente humano, aprimorando a interação com dispositivos eletrônicos e tornando-a mais imersiva (Cunha *et al.*, 2021).

Assim, o piloto sente texturas, impactos e outras sensações físicas como se estivesse tocando em algo, em vez de apenas ver ou ouvir (Feltman *et al.*, 2024).

A sensação artificial compensa a ausência da resposta tátil em aeronaves com FBW (Liu; Wang, 2023; Manoharan; Kim, 2016).

2 REVISÃO DA LITERATURA

A neuroergonomia estuda consistentemente que estados mentais do piloto como carga de trabalho, atenção e fadiga podem ser monitorados por meio dos sinais fisiológicos, possibilitando adaptar comandos aeronáuticos reais inclusive com abordagens individualizadas para cada piloto, o que abre caminho para *interfaces* neuroadaptativas no *cockpit* (Ma *et al.*, 2012).

As respostas neurofisiológicas intensificam ou suavizam respostas táteis no sidestick (Figura 2) para reduzir sobrecarga e preservar consciência humana situacional (Feltman *et al.*, 2024; Van Weelden *et al.*, 2022; Gorji *et al.*, 2023).

Figura 2. Consciência humana situacional na aeronavegabilidade.



Fonte: Autores (2025).

Em aeronaves FBW a sensação natural do sistema mecânico é perdido e precisa ser recriado artificialmente. A literatura clássica e contemporânea cita as características do esforço, força, amortecimento e inércia que modelam a interação neuromuscular do piloto e influenciam diretamente qualidades de pilotagem (Miller; Emfinger, 1967; Hess, 1990; Gubbels; Goheen, 1997).

A tecnologia *artificial feel* torna-se um atuador de carga cognitiva que modula rigidez, esforço e força ao laço neuromuscular sem sacrificar a autoridade do piloto. Uma tecnologia inteligente amplia oscilações e antecipa violações de envelope de voo, ou seja, permeando as opções seguras como velocidade, altitude e peso que possibilitam que a aeronave voe sem sofrer danos ou falhas corroborando para uma viagem segura, como por exemplo, evitar ou minimizar a passagem da aeronave por turbulências no espaço aéreo (Liu *et al.*, 2024).

Sobre o retorno tátil propriamente dito, aumenta-se a consciência de envelope e a adesão aos limites minimizando erros humanos (Lutnyk *et al.*, 2023; De Rooij *et al.*, 2022).

O princípio é neuroergonômico de usar o canal tátil como via paralela de comunicação para aliviar os canais visual e auditivo infere em comandos intuitivos e de baixa latência ao sistema sensório-motor humano (Schmidt-Skipiol; Hecker, 2015).

A intersecção entre o Sistema FBW, a Sensação Artificial (*Artificial Feel*) e a Neuroergonomia otimizam a interação háptica entre o piloto e a aeronave. Enquanto o FBW substitui os controles mecânicos por comandos eletrônicos comprometendo o feedback tátil, o sistema de sensação artificial restaura a resposta háptica (García-Acosta *et al.*, 2021).

A neuroergonomia, no centro da intersecção FBW e *artificial feel* processa no cérebro humano a informação sensorial e motora de forma que seja intuitivo e compatível com as capacidades cognitivas e sensoriais humanas (Nuamah Mehta, 2020) possibilitando ao piloto manter um alto nível de consciência situacional e controle preciso com menor esforço (Hollenbeck *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2025; Moura *et al.*, 2024).

Um exemplo prático da importância da sensação de navegabilidade citam-se as aeronaves Concorde que eram equipadas com um sistema de sensação artificial de modo que o piloto a controlava convencionalmente à resistência do ar e atendia os propósitos de restaurar cargas nos controles de voo compatíveis com uma pilotagem precisa e estável, manter as cargas de sensação consideráveis ao piloto antes de reagir as configurações de voo que sejam perigosas e interromper a limitação de carga do piloto automático (Abbink; Mulder; Boer, 2012).

3 METODOLOGIA

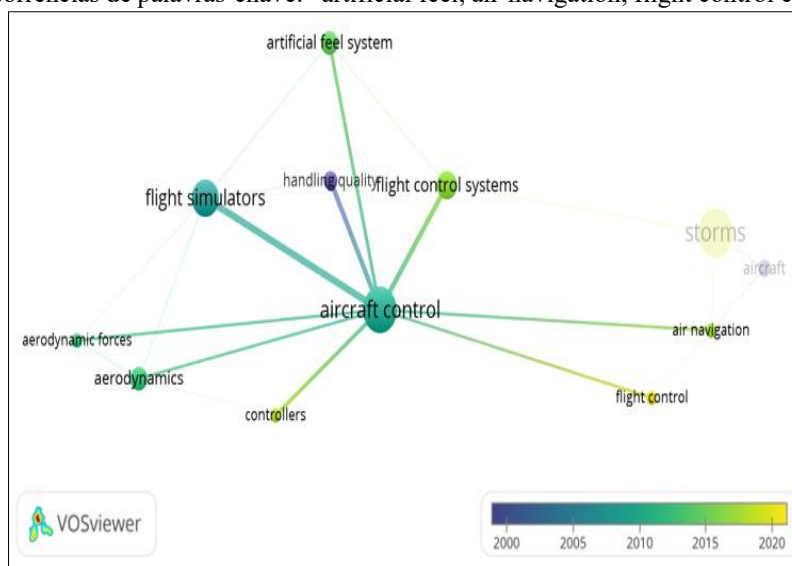
A metodologia adotada nesta pesquisa caracteriza-se como exploratória e bibliográfica (Miguel *et al.*, 2018). O procedimento metodológico seguiu as etapas:

- Levantamento bibliográfico nas bases IEEE *Xplore*, *Scopus* e *WoS* publicadas no período de 2000 a 2020;
- Consulta a relatórios técnicos de fabricantes (Airbus, Boeing) e órgãos reguladores (EASA, FAA, ANAC);
- Comparativo entre controles com e sem a implementação da sensação artificial.

Como metodologia bibliográfica, um mapa ilustra a tecnologia da sensação artificial que não é estudada isoladamente, mas como um elo crítico dentro do domínio de comandos de voo e é associado como pilotagem de qualidade. Uma solução contemporânea para a perda do *feedback* aerodinâmico

natural, sendo reconhecido na literatura recente como elemento fundamental para manter a consciência situacional do piloto é a sensação artificial (*artificial feel*) conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3. Co-ocorrências de palavras-chave: “artificial feel, air-navigation, flight control e aircraft control”.



Fonte: Autores (2025).

A tecnologia *artificial feel*, ao simular as forças aerodinâmicas e o retorno tátil ausentes no FBW, não apenas aumenta a sensação de *feedback*, mas também minimiza a carga cognitiva e aprimora a tomada de decisão do piloto. A otimização dessas interfaces neurais e mecânicas é fundamental para a segurança e a eficiência operacional em aeronaves modernas (De Rooij *et al.*, 2022; Da Silva Filho *et al.*, 2025).

A neuroergonomia torna-se um recurso essencial pois os sistemas de *artificial feel* impactam na carga cognitiva, tempo de reação e precisão de controle. A integração de múltiplos canais sensoriais aumenta a performance cognitiva e nesse sentido a sensação artificial atua como um canal complementar, reduzindo a sobrecarga visual e auditiva (Parasuraman, 2003).

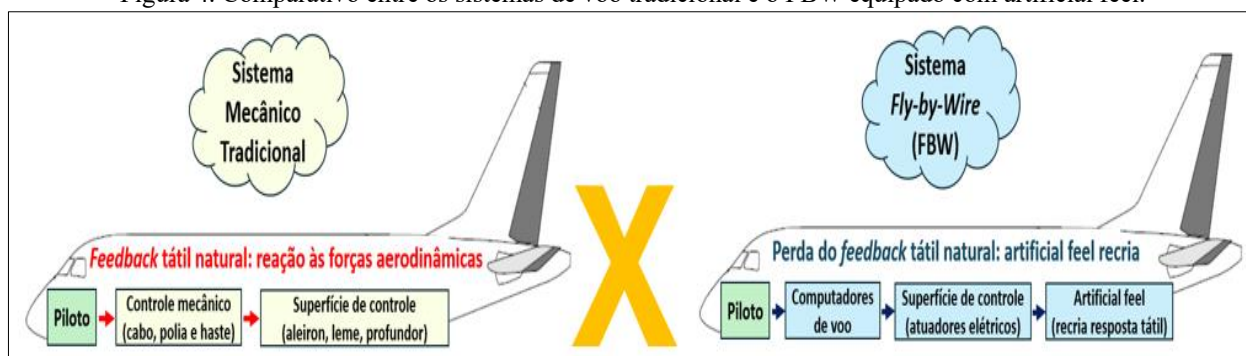
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 SISTEMA FBW E RESPOSTA HÁPTICA

No sistema mecânico tradicional, o piloto recebe *feedback* natural das superfícies de controle por meio dos cabos, engrenagens e outros elementos mecânicos. Já no sistema *fly-by-wire* o *feedback* natural é perdido. Artificialmente essa sensação háptica pode ser recriada pela tecnologia *artificial feel* ou *superficial feel*. A neuroergonomia atua como o elo principal entre o piloto e a máquina utilizando a sensação háptica para que o piloto receba um feedback tátil significativo para operar a aeronave de

forma eficaz e segura, conforme ilustra a Figura 4 comparando aeronaves com e sem a tecnologia FBW.

Figura 4. Comparativo entre os sistemas de voo tradicional e o FBW equipado com artificial feel.



Fonte: Autores (2025).

Como não há uma conexão mecânica direta entre o manche e as superfícies, o piloto não sentiria a resistência do ar ou a pressão nas superfícies de controle. O manche ficaria solto o que seria perigoso. A tecnologia *artificial feel* recria essa sensação de forma artificial.

Uma resistência e um peso no manche, simula o que o piloto sentiria se houvesse uma conexão mecânica, e ainda, faz com que a resistência do manche aumente com a velocidade ou com a força das manobras, ficando mais pesado e firme em altas velocidades e dando ao piloto a sensação de controle sobre as forças aerodinâmicas (Manoharan; Kim, 2016).

Ainda do ponto de vista neuroergonômico sugere-se o desenvolvimento de modelos adaptativos de *feedback* háptico que se ajustem em tempo real ao estado fisiológico e cognitivo humano (Liu; Wang, 2023).

Parasuraman (2003) discute como a neuroergonomia pode ser aplicada em ambientes de alto risco e complexidade, como a aviação, uma síntese conceitual que reflete a ideia central da obra e estabelece a conexão direta entre a neuroergonomia, a tecnologia FBW e a necessidade de *feedback* tátil com o aprimoramento do controle de voo FBW (Liu *et al.*, 2019).

4.2 CONSCIÊNCIA SITUACIONAL DURANTE O VOO

A consciência situacional da força e esforço fornece ao piloto indícios sobre a altitude, velocidade e limitações da aeronave. Ao se simular a resistência aerodinâmica, o *feedback* tátil reduz a dependência exclusiva de estímulos visuais e auditivos, equilibrando a sobrecarga sensorial e promovendo decisões mais rápidas e precisas e etapas como decolagem, pouso e manobras de emergência.

A Neuroergonomia é a disciplina que estuda o cérebro em ambientes de trabalho, combinando neurociência com ergonomia. Seu objetivo é projetar sistemas que se alinhem com as capacidades e limitações do cérebro humano.

A contribuição da neuroergonomia para a aviação é profunda como mostra o Quadro 1.

Quadro 1. Contribuição da neuroergonomia para a aviação.

Princípio	Contribuição neuroergonômica com o uso de Artificial Feel no sistema FBW
Consciência Situacional	A Neuroergonomia comprova que a resposta tátil não é apenas um “detalhe”, mas uma entrada sensorial vital para o cérebro do piloto. O tato é processado em áreas cerebrais relacionadas à propriocepção, à tomada de decisão e à atenção, permitindo que o piloto construa um modelo mental preciso e rápido do estado da aeronave.
Habilidade e Intuição	A Neuroergonomia explora como a prática e o aprendizado levam à criação de “atalhos” neurais. Um sistema de <i>artificial feel</i> bem projetado permite que o piloto desenvolva uma intuição sobre o voo com a resposta tátil em reflexo rápido e inconsciente.
Carga Cognitiva	Ao fornecer <i>feedback</i> tátil, o sistema artificial feel reduz a carga cognitiva do piloto, que não precisa mais depender exclusivamente da visão e da audição para avaliar a situação. Isso libera recursos cerebrais para outras tarefas críticas.

Fonte: Autores (2025).

O sistema de *artificial feel* (sensação artificial) utiliza atuadores de retorno de força (*force feedback*) no manche ou *stick* da cabine controlados por *software* e sensores.

Forças e resistência artificiais simulam a situação em que o piloto sente sua aeronave. A resposta tátil não natural fornece ao piloto um *feedback* instantâneo sobre o que a aeronave está fazendo sem que ele precise olhar para os instrumentos (Gubbels; Goheen, 1997).

4.3 ANÁLISE SWOT

Foi elaborada uma análise das forças, fraqueza, oportunidades e ameaças (SWOT) sobre a aplicação da neuroergonomia no controle de voo com tecnologia embarcada *fly-by-wire* e *artificial feel* para um melhor *feedback* háptico, conforme mostra o Quadro 2.

Quadro 2. Contribuição da neuroergonomia no controle de voo quanto a fadiga humana.

Fatores	A neuroergonomia no controle de voo aliada com FBW e Artificial feel
Pontos fortes (Strengths) S	Interface otimizada cérebro-máquina: A neuroergonomia possibilita que o sistema de controle seja projetado para corresponder à forma como o cérebro do piloto processa informações, reduzindo carga cognitiva com melhor desempenho
	Feedback háptico superior: A tecnologia de “sensação artificial” fornece uma resposta tátil rico e preciso, compensando a falta de resposta física nos sistemas <i>fly-by-wire</i> conceitualmente eletrônicos.
	Melhora a percepção humana: Redução de erros humanos com a sensação e a percepção para tomada de decisão do piloto por meio do <i>feedback</i> sensorial, a tecnologia pode ajudar a diminuir a probabilidade de erros críticos durante o voo.
	Aumento da consciência situacional: Um feedback háptico eficaz ajuda o piloto a “sentir” o estado da aeronave e suas reações. Consciência em tempo real.
Pontos fracos (Weaknesses) W	Complexidade tecnológica: A integração de sistemas neuroergonômicos e de sensação artificial é complexa. Requer algoritmos e <i>hardware</i> sofisticados.
	Custo elevado de desenvolvimento: Pesquisa, desenvolvimento e implementação desses sistemas são caros, o que pode limitar sua adoção a aeronaves de alto valor, como caças e grandes aeronaves comerciais de última geração.
	Manutenção e calibração: A calibração precisa e a manutenção desses sistemas avançados podem ser mais complexas do que as de controles de voo tradicionais.
	Falta de padronização: Como a área é relativamente nova, pode não haver padrões industriais claros para o design e a implementação desses sistemas, o que pode dificultar a interoperabilidade e a aceitação geral.
Oportunidades (Opportunities) O	Aumento da demanda por segurança: A indústria aeronáutica está sempre buscando maneiras de aumentar a segurança. Essa tecnologia, ao reduzir o erro humano, se encaixa perfeitamente nessa demanda.
	Expansão: A tecnologia de feedback háptico e neuroergonomia pode ser aplicada em outras indústrias que dependem de controle de máquinas complexas, como simuladores de treinamento, robótica e até mesmo veículos autônomos.
	Inovação em treinamento de pilotos: Simuladores de voo com neuroergonomia e “sensação artificial” podem oferecer um treinamento mais realista e eficaz, preparando melhor os pilotos para situações de voo reais.
	Mercado de upgrades: A tecnologia pode ser adaptada para modernizar e melhorar as frotas de aeronaves que utilizam sistemas FBW menos avançados.
Ameaças (Threats) T	Desconfiança da indústria: A aviação é uma indústria que valoriza a confiabilidade e a comprovação. A adoção de uma tecnologia tão avançada e “artificial” pode enfrentar ceticismo inicial.
	Custos de implementação: Os custos de instalação altos. As companhias aéreas podem não considerar a tecnologia viável, limitando sua adoção.
	Desafios regulatórios: A aprovação por agências reguladoras (FAA ou EASA) é um processo longo e complexo. Requer testes rigorosos para provar a segurança.
	Concorrência: Interações entre piloto e aeronave podem surgir. Soluções mais simples ou de menor custo pode ameaçar a dominância dessa tecnologia. A FBW pode ser questionada a qualquer tempo.

Fonte: Autores (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia *artificial* ou *superficial feel* é essencial no sistema *fly-by-wire*, representando uma *interface* crítica entre piloto e aeronave. A tecnologia *artificial feel* contribui além da recriação tátil, pois, neuroergonomicamente atua na redução da carga cognitiva, prevenção de erros e aumento da consciência situacional.

Ao se restabelecer a resposta tátil no sistema FBW, esse recurso garante ao piloto maior sensibilidade sobre os limites da aeronave, diminui a carga cognitiva e potencializa a eficiência neuroergonômica no comando de voo.

Em suma, o sistema *fly-by-wire* como inovação tecnológica e aliado ao sistema *artificial feel* é a solução de engenharia para um problema de *interface*, e neste contexto, a neuroergonomia é a ciência que fundamenta a necessidade e como essa união funcione em harmonia com o cérebro do piloto para um voo mais seguro e intuitivo sem exceder a carga ou limite físico-cognitivo humano.

Sugere-se que futuras pesquisas investiguem modelos adaptativos de feedback tátil, ajustados em tempo real ao estado fisiológico e cognitivo do piloto, integrando sensores biométricos à lógica de controle.

REFERÊNCIAS

- ABBINK, D.A., MULDER, M. & BOER, E.R. **Haptic shared control: smoothly shifting control authority?** Cognition, Technology & Work 14, 19–28 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10111-011-0192-5>
- AJOUDANI, A., ZANCHETTIN, A. M., IVALDI, S., ALBU-SCHÄFFER, A., KOSUGE, K., & KHATIB, O. (2017). **Progress and prospects of the human–robot collaboration**. V. 42, n. 5, p. 957–975, 2017. DOI: 10.1007/s10514-017-9677-2.
- ANTÔNIO, M. R., REGINA, O. M., GOUSSAIN, B. G. C. S., SILVA, M. B. (2024). **Neuroergonomics approach in the workplace aiming to standardize movements and increase workers' sense of well-being**. 24(10), 472–482. <https://doi.org/10.53660/CLM-3313-24H27>
- BENEVIDES, K. D. G.; BENEVIDES, P. P.; BENEVIDES, M. P.; VIAGI, A. F.; MOURA, R. A. (2025). **Neuroengenharia: uma pesquisa sobre Inteligência Artificial em um posto de trabalho compartilhado entre humano e máquina**. Revista Exatas, [S. l.], v. 31, n. 2, 2025. DOI: 10.69609/1516-2893.2025.v31.n2.a4017. Disponível em: <https://periodicos.unitau.br/exatas/article/view/4017>
- BOHRA, KS; DHARMADHIKARI, YS. (2023). **História do fly by wire, a tecnologia que expandiu os horizontes humanos na aviação**. 2023 8ª Conf. História da Eletro tecnologia do IEEE, Florença, Itália, 2023, pp. 46-51, DOI: 10.1109/histelcon56357.2023.10365861.
- COSTA, J. C. L.; SANTOS, D. F. A.; OLIVEIRA, M. R. de; MOURA, R. A. (2025). **Aprendizagem com solução de problemas reais para aprimoramento discente na injunção socioprofissional**. Revista CLCS, [S l], v18, n 2, p. e15288, 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.2-100. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/15288> Acesso em: 8 set. 2025.
- CUNHA, I. O. J.; JUNIOR, I. A. C.; MOURA, G. G.; MOURA, R. A.; SILVA, M. B. **Segurança e ergonomia para força laboral feminina na interação com máquinas colaborativas**. Revista Sodebras. Volume 16. Nº 187. Julho/2021. ISSN 1809-3957. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.16.2021.187.08>
- DA SILVA FILHO, A. L.; BENEVIDES, M. P.; NOHARA, E. L.; DE MOURA, R. A. (2025). **Engenharia mecânica na construção de máquina-ferramenta portátil para usinar peças de até 1200 milímetros de diâmetro**. ARACÊ, [S. l.], v7, n7, p.40298–40314. DOI: 10.56238/arev7n7-295. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/6788> . Acesso: 28ago2025.
- DE ROOIJ, G.; ELLERBROEK, J.; VAN PAASSEN, R.; MULDER, M. **Supplementing haptic feedback in flight envelope protection through visual display indications**. Journal of Aerospace Information Systems, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2514/1.I011191>
- FELTMAN, K. A.; VOGL, J. F.; MCATEE, A.; KELLEY, A. M. **Measuring aviator workload using EEG: an individualized approach to workload manipulation**. Frontiers in Neuroergonomics, v. 5, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnrgo.2024.1397586>

GARCÍA-ACOSTA, A.; DE LA RIVA, J.; SANCHEZ, J.; REYES-MARTÍNEZ, R. (2021). **Neuroergonomics stress assessment with two different methodologies, in a manual repetitive task-product assembly**. Computational Intelligence and Neuroscience. 2021. 1-13. DOI: 10.1155/2021/5561153.

GORJI, H. T.; WILSON, N.; VANBREE, J.; HOFFMAN, B.; PETROS, T.; TAVAKOLIAN, K.; et al. **Using machine learning methods and EEG to discriminate pilot cognitive workload during flight**. Scientific Reports, v. 13, 2507, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29647-0>

GUBBELS, A.W., GOHEEN, K.R., **Digital Redesign of the NRC Bell 205 Artificial Feel System**, Canadian Aeronautics and Space Journal, Vol. 43, N. 1, 1997.

HAYWARD, V., & MACLEAN, K. E. (2008). **Haptics: the present and future of artificial touch sensation**. *IEEE Transactions on Haptics*, 1(1), 1-13. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems | Annual Reviews

HESS, R. A. (1990). **Analyzing manipulator and feel system effects in aircraft flight control**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v. 20, n. 4, p. 923–931, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1109/21.105091>

HOLLENBECK, A. C.; SANE, S. P.; DANIEL, T. L. **Bioinspired artificial hair sensors for flight-by-feel of micro air vehicles: a review**. AIAA Journal, v. 61, n. 8, p. 3688–3708, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2514/1.J062931>

LIU, P., WANG, Y., & CHEN, S. (2019). **The role of haptic feedback in fly-by-wire systems**. Journal of Aerospace Engineering, 32(4), 04019056.

LIU, X.; CHEN, J.; ZHANG, Y.; LI, B.; ZHAO, Y. (2024). **Adaptive active inceptor design under shared control for nonlinear pilot-induced oscillations**. Chinese Journal of Aeronautics, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2024.03.023>

LIU, Y.; WANG, H. (2023). **Design and flight test of artificial feel system. lecture notes in electrical engineering**, 1069 LNEE, pp. 25 – 32. DOI: 10.1007/978-981-99-4882-6_4 Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85172260774&doi=10.1007%2F978-981-99-4882-6_4&partnerID=40&md5=0a4527c3fb29b7d5563d64436151e789

LUTNYK, L.; FANG, Y. J.; KRAUS, M.; KIEFER, P. **Fly Brate: evaluating vibrotactile cues for simulated flight**. International Journal of Human–Computer Interaction, v. 39, n. 12, p. 2374–2391, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2075627>

MA, QINGGUO; JI, WENJING; FU, HUIJIAN; BIAN, JUN (2012). **Neuro-industrial engineering: the new stage of modern IE - from a human-oriented perspective**. International Journal of Services Operations and Informatics, 7(2/3), 150. DOI:10.1504/IJSOI.2012.051398

MANOHARAN, V.; KIM, D. (2016). **Artificial feel system using magneto-rheological fluid on aircraft control stick**. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 9806, art. no. 98060L. DOI: 10.1117/12.2219244. Disponível: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2s2.084982085123&doi=10.1117%2F12.2219244&partnerID=40&md5=33499a5938332ff561d5d3b022d5df71>

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; LIMA, E. P.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; SOUSA, R.; COSTA, S. E. G.; PUREZA, V. 2018. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora GEN LTC. 2018. ISBN 978-853529134-6. ISBN 13 – 978-8535291346.

MILLER, FL, EMFINGER, JE. (1967) **Fly-by-wire techniques USAF technical documentary** Report No AFFDL-TH, pp. 67-53. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/AD0679158.pdf>

MOURA, R. A.; BENEVIDES, K. D. G.; BENEVIDES, M. P.; RICHETTO, M. R. S.; SOUSA, V. J.; OLIVEIRA, M. R.; SILVA, M. B. (2024). **Princípios de manutenção de aeronaves e neuroergonomia: uma combinação tecnológica de sucesso**. RGSA , São Paulo, v. 11, pag. e09560, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n11-137. Disponível <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/9560> . Acesso em: 8 set. 2025.

NUAMAH, J. K., MEHTA, R. K. (2020). **Neuroergonomics applications in information visualization**. in: Nam, c. (eds) neuroergonomics. cognitive science and technology. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34784-0_21

OLIVEIRA, M. R.; BENEVIDES, K. D. G.; RUFINO, L. J. G. C.; SANTOS, D. F. A.; BENEVIDES, M. P.; MOURA, R. A. (2025). **Direito Digital e sua limitação no uso da inteligência artificial hodierna: um ponto para reflexão e ações requeridas**. CLCS, [S. l.], v. 18, n. 7, p. e19679, 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.7-341. <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/19679>

PARASURAMAN, R. (2003). **Neuroergonomia: pesquisa e prática. Questões teóricas**. Ergonomics Science. 4, 5–20. DOI: <https://doi.org/10.1080/14639220210199753>

ROGALSKI, T. B. **Aircraft control system enabling fly to everybody**, the 4th international conference MECHANICS 2004, Scientific Bulletins of Rzeszow, University of Technology N. 209, Rzeszów 2004.

SALAS, E. & MAURINO, D. (2010). **Human Factors in Aviation**. DOI: 10.1016/C2009-0-01731-0. https://www.researchgate.net/publication/297275830_Human_Factors_in_Aviation

SANTOS, D. F. A.; BENEVIDES, K. D. G.; BENEVIDES, M. P.; OLIVEIRA, M. R.; RICHETTO, M. R. S.; GOUSSAIN, B. G. C. S.; MOURA, R. A. (2025). **Sistema fly by wire: maior segurança e eficiência no controle de decolagem, voo e pouso assistidos**. Contribuciones a Las Ciencias Sociales, [S. l.], v. 18, n. 7, p. e19082, 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.7-011. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/19082> . Acesso em: 8 set. 2025.

SCHMIDT-SKIPIOL, F. J. J.; HECKER, P. **Tactile feedback and situation awareness – improving adherence to an envelope in sidestick-controlled fly-by-wire aircrafts**. In: AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2015-2905>.

SHI, J. W., LI, L. & ZHIWEI, L. (2023): **Interactive effects of indoor environmental factors on work performance**, Ergonomics, DOI: 10.1080/00140139.2023.2243407

SILVA, E. A.; CAMARGO, A. A.; SILVA, M. B.; MOURA, R. A. (2024). **Neuroergonomía y Tecnologías inmersivas para lograr un envejecimiento saludable sin dolor y además ortesis.** Revista Exatas. V.30. UNITAU. DOI: <https://doi.org/10.69609/1516-2893.2024.v30.n2.a3916>

SOUSA, V., J.; MOURA, ROQUE A.; SILVA, M.B. (2025). **Fatores críticos de sucesso na implantação da metodologia CDIO:** o caso de uma Faculdade de Tecnologia. Revista FTT Journal of Engineering and Business. ISSN 2525-8729. São Bernardo do Campo/SP. Vol. 1, n. 10, pp. 118-135. Disponível em: <https://saijournal.cefsa.org.br/index.php/FTT/article/view/562>

TOMCZYK, A. (2003). Experimental **fly-by-wire control system for general aviation aircraft.** AIAA Guidance, Navigation & Control Conference and Exhibit. Doi:10.2514/6.2003-5776. <https://doi.org/10.2514/6.2003-5776>

TYAGI O.; MEHTA R. K. Mind over body: **A neuroergonomics approach to assessing motor performance under stress in older adults.** Applied Ergonomics. 2022. PMID: 35086006. 101:103691. DOI: 10.1016/j.apergo.2022.103691.

VAN WEELDEN, E.; ALIMARDANI, M.; WILTSHIRE, T. J.; LOUWERSE, M. M. **Aviation and neurophysiology: a systematic review.** Applied Ergonomics, v. 105, 103838, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103838>

VILLAROUCO, V; SANTIAGO, Z. M.; PAIVA, M.; FILHO, P.; MEDEIROS, R. (2020). **Neuroergonomia, neuroarquitetura e ambiente construído: tendência futura ou presente?** Ergo design & HCI. 8. 92. DOI: 10.22570/ergodesignhci.v8i2.1459

WU, Z., WANG, L., XU, Z., & TAN, X. (2013). **Investigação do método de identificação de parâmetros aerodinâmicos longitudinais para aviões de passageiros fly-by-wire.** Jornal Chinês de Aeronáutica, 26(5), 1156–1163. DOI:10.1016/j.cja.2013.09.002