



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

**PAULO CÉSAR RODRIGUES DUARTE, Cap Av**

**Gerenciamento do Treinamento em Realidade Virtual:** assegurando a prontidão  
operacional dos pilotos de caça

Rio de Janeiro

2025

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

**PAULO CÉSAR RODRIGUES DUARTE, Cap Av**

**Gerenciamento do Treinamento em Realidade Virtual:** assegurando a prontidão  
operacional dos pilotos de caça

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da  
Aeronáutica como requisito parcial para  
aprovação no Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu*  
em Liderança com Ênfase em Gestão no  
COMAER.

Linha de Pesquisa: Preparo da Força Aérea  
Orientadora: Alexandra Vidal Pedinotti Zuma,  
Maj Farm

Rio de Janeiro

2025

**PAULO CÉSAR RODRIGUES DUARTE, Cap Av**

**Gerenciamento do Treinamento em Realidade Virtual: assegurando a prontidão operacional dos pilotos de caça**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

---

Presidente, Bruno Bitencourt Carvalho de Oliveira, Maj Int - EAOAR

---

Alexandra Vidal Pedinotti Zuma, Maj Farm - DIRSA

Rio de Janeiro

2025

## RESUMO

O uso da realidade virtual (RV) no treinamento de pilotos da aviação de caça representa uma ferramenta valiosa ao oferecer cenários imersivos, desenvolvendo tanto as habilidades técnicas quanto as cognitivas, com custos reduzidos e menor risco de ocorrências aeronáuticas. Nesse contexto, este estudo propõe a criação do Programa de Gerenciamento de Treinamento em RV para aprimorar a gestão dos adestramentos dos pilotos de caça, integrando soluções que maximizem a retenção do conhecimento e ainda garantam a segurança operacional. Apesar de suas vantagens, a RV apresenta desafios como cansaço visual, exaustão mental e desconforto físico – sintomas associados à fadiga e *cybersickness* – que podem comprometer a absorção dos aprendizados bem como a transição para um voo real após uma sessão de RV, considerando seu impacto no estado de alerta e prontidão cognitiva dos pilotos. Para mitigar esses riscos, o Programa promove a configuração técnica adequada desses equipamentos, aprimorando a adaptação do piloto no ambiente virtual e otimizando a retenção do conhecimento. Adicionalmente, ao estabelecer diretrizes claras para a transição entre um treinamento em RV e um voo real, busca-se assegurar que o piloto esteja apto para realizar as atividades operacionais. Dessa forma, concluiu-se que o Programa de Gerenciamento de Treinamento em RV irá contribuir à retenção do conhecimento e a segurança operacional dos Esquadrões. Em ato contínuo, considerando a crescente utilização da RV para adestramento, a Força Aérea Brasileira poderá ampliar esse Programa para as aviações de asas rotativas, transporte e instrução básica, utilizando-o como referencial para impulsionar esse uso da RV.

**Palavras-chave:** Realidade Virtual; fadiga; *cybersickness*; treinamento.

## 1 INTRODUÇÃO

Os avanços recentes nas tecnologias de simulação têm ampliado o leque de soluções eficientes e sustentáveis para o adestramento de pilotos militares. Nesse escopo, a realidade virtual (RV) tornou-se uma ferramenta para as forças armadas modernas, permitindo que os pilotos sejam inseridos em cenários dinâmicos, complexos e altamente imersivos. Essa tecnologia possibilita a evolução e a consolidação tanto das habilidades técnicas quanto das cognitivas dos pilotos por meio de missões ajustáveis e personalizáveis.

Diversas forças aéreas, como a *United States Air Force* (USAF) e a *Royal Air Force* (RAF), já implantaram programas específicos de adestramento utilizando a RV, angariando resultados positivos na formação e manutenção operacional de pilotos de caça. Além disso, a RV representa uma alternativa economicamente vantajosa, pois os gastos de aquisição e manutenção desses equipamentos são significativamente mais baixos em comparação ao uso de aeronaves, o que contribui para a redução de custos operacionais e ainda minimiza os riscos associados ao treinamento em condições reais.

Embora a RV ofereça benefícios claros para o adestramento de pilotos de caça, sua aplicação intensiva também apresenta desafios que precisam ser considerados com o objetivo de garantir sua eficácia no âmbito operacional. Apesar de alguns Esquadrões já possuírem os equipamentos, ainda não existem protocolos específicos para sua utilização. Em primeiro lugar, é preciso maximizar a retenção dos conhecimentos do piloto por meio de uma adaptação adequada ao ambiente de RV, buscando as melhores disposições e configurações técnicas que propiciem seu bom desempenho nas missões.

Destaca-se ainda que o uso prolongado dessa tecnologia pode gerar efeitos negativos, como: cansaço ocular, exaustão mental, desconforto físico e *cybersickness* (náusea e desorientação espacial). Esses efeitos podem comprometer a performance e adesão dos pilotos nessas atividades e, em última instância, comprometer a segurança operacional em voos reais.

Diante desse cenário, este estudo defende a criação de um Programa de Gerenciamento de Treinamento em RV para aprimorar a gestão dos adestramentos dos pilotos de caça.

A implantação desse Programa se justifica, primeiramente, porque favorece maior retenção do conhecimento durante os treinamentos, aprimorando ainda a capacidade de respostas dos pilotos durante as missões. Além disso, a implantação do Programa irá garantir que os pilotos estejam adequadamente descansados e aptos para as atividades operacionais reais, mitigando os riscos que possam comprometer a segurança operacional.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Na Diretriz do Comando da Aeronáutica, intitulada como “Concepção Estratégica Força Aérea 100”, a Força Aérea Brasileira (FAB) destaca a importância de sistemas de capacitação operacional visando o aperfeiçoamento dos mecanismos de aprendizado e reforço, buscando a absorção e transmissão do conhecimento por meio da simulação e realidade virtual (Brasil, 2018). A fim de compreender o que a RV representa, Butt, Idris e Ahmed (2020) descrevem-na como uma interface bilateral, humano-computador, no lugar da interface tradicional de usuário, o que vem a oferecer uma experiência com elevado realismo.

A fim de aprimorar o treinamento dos pilotos de caça, foram adquiridos equipamentos de RV e destinados ao 1º Grupo de Aviação de Caça e Esquadrão Pampa, ambas Unidades Aéreas especializadas em defesa aérea, permitindo simulações de combate nas modalidades além do alcance visual e dentro do alcance visual. A partir de então, os pilotos realizam missões em um cenário tático e imersivo com outras aeronaves, sejam controladas por pilotos ou por inteligência artificial, integrando uma capacidade operacional que antes somente poderia ser praticada em voos reais de grande complexidade.

Contudo, para garantir a eficácia e a segurança no uso da simulação em RV, é necessário um gerenciamento cuidadoso dos treinamentos. O uso excessivo ou inadequado dessa ferramenta pode comprometer o desempenho do piloto e a retenção do conhecimento, além de representar riscos operacionais — especialmente caso o treinamento virtual seja seguido de um voo real — devido a sintomas adversos e alterações no estado de atenção do piloto.

### 2.1 AMBIENTAÇÃO À RV E RETENÇÃO DOS APRENDIZADOS

Segundo a ANAC (2020), o *Full Flight Simulator* (FFS) é definido como uma réplica dos instrumentos, painéis e controles de um determinado tipo ou modelo de uma aeronave, podendo simular a movimentação nos eixos. Já o *Flight Training Device* (FTD), possui descrição semelhante, mas é classificado abaixo do FFS pois não possui movimentação física. Os Esquadrões de defesa aérea atualmente possuem um FTD e, recentemente, receberam os equipamentos de RV.

Devido a sua relevância operacional, a FAB é criteriosa quanto ao uso de FTD para a capacitação e reciclagem de seus tripulantes. Esses dispositivos são empregados em treinamentos de procedimentos normais, de emergência e de emprego de armamento.

Contudo, o FTD possui limitações estruturais que dificultam a simulação de cenários de combate aéreo. Essa lacuna na capacitação só era preenchida por meio de voos reais, porém, a partir da introdução das tecnologias de RV, essa realidade foi alterada.

A exposição dos pilotos à RV, utilizando um *Helmet-mounted Display* (HMD), tem gerado resultados promissores em diversas forças armadas, como a USAF e a RAF. Como exemplo, Insinna (2020) expõe a inauguração de um prédio de U\$ 38 milhões, conhecido como *Virtual Test and Training Center*, onde os pilotos de caça da USAF podem praticar em um cenário simulado, voando missões complexas contra inimigos virtuais.

Os HMDs são dispositivos oculares que promovem a imersão do usuário no ambiente virtual, oferecendo ampla visão periférica e acompanhando, por meio de sensores, os movimentos de cabeça do usuário. Esses sensores então traduzem essa movimentação ao cenário virtual. Há um número crescente de dispositivos HMD que, com os avanços tecnológicos, vêm proporcionando experiências cada vez mais realistas (Auer *et al.*, 2021), sendo aplicados também em áreas como medicina e indústria automotiva (Andrade *et al.*, 2024).

Entretanto, para que o uso da RV atinja todo o seu potencial no adestramento de pilotos de caça, é necessário implementar diretrizes claras de uso. Nesse contexto, a criação de um Programa de Gerenciamento de Treinamento em RV se mostra fundamental pois irá organizar e orientar o uso da tecnologia de maneira segura e eficiente, maximizando a retenção do conhecimento e evitando riscos operacionais.

A adaptação adequada ao ambiente virtual é condição essencial para o bom aproveitamento do adestramento. Os dispositivos HMD precisam ser configurados corretamente, especialmente em relação ao campo de visão. Ajustes inadequados podem provocar tontura, desorientação e comprometer a percepção espacial do piloto, impactando negativamente a simulação e o treinamento (Lin *et al.*, 2002).

Sharples *et al.* (2008) identificam esses efeitos como Sintomas e Efeitos Induzidos pela Realidade Virtual (VRISE, do inglês *Virtual Reality-Induced Symptoms and Effects*), que incluem náuseas, fadiga e desorientação espacial. Yildirim (2019) ressalta que esses sintomas prejudicam o desempenho do usuário, podendo comprometer os resultados da atividade.

Além disso, a segmentação das sessões em RV também auxilia na adaptação do usuário. De acordo com Sharples *et al.* (2008), durante as sessões longas em ambientes virtuais, há um aumento da probabilidade na incidência de VRISE, sendo que sua intensidade também aumenta proporcionalmente com o tempo de exposição à RV. Com isso, Kourtesis *et al.* (2019) recomendam sessões de no máximo 55 a 70 minutos, desde que o piloto esteja familiarizado com o sistema e o *software* utilizado seja de alta qualidade.

É oportuno mencionar ainda que, como consequência da não observação desses cuidados, pode-se comprometer também a adesão aos treinamentos em RV. Durante sua análise sobre os efeitos de *cybersickness* (conceito semelhante a VRISE), LaViola (2000) argumenta que os indivíduos tendem a evitar experiências que, conhecidamente, causarão desconfortos. Outrossim, os usuários podem adotar comportamentos inadequados em detrimento de sua performance na missão, ou seja, reduzir sua própria movimentação ou outras interações com o cenário a fim de minimizar esses sintomas. Essa atitude pode impactar no realismo da simulação e na absorção dos aprendizados desejados.

Destarte, o Programa de Gerenciamento de Treinamento em RV assume papel essencial que contempla orientações precisas sobre a ambientação, a configuração dos equipamentos e a segmentação das sessões. Dessa forma, garante-se um aprendizado eficaz, maior retenção do conhecimento e uma melhora na capacidade de respostas dos pilotos nas missões reais, consequentemente aprimorando o adestramento dos pilotos de caça da FAB.

## 2.2 FADIGA INDUZIDA E SEUS IMPACTOS OPERACIONAIS

Segundo Astrand *et al.* (2006 *apud* Kube, 2019), a fadiga configura-se como uma condição restritiva ao desenvolvimento do trabalho, influenciada por dois eixos principais: os fatores físicos e os mentais/psicológicos. Ainda, Astrand *et al.* (2006 *apud* Kube, 2019) destacam que o processo de fadiga pode se desencadear mesmo no início da atividade, ainda que seus sintomas mais severos se manifestem de forma progressiva ao longo do exercício. Considerando que a fadiga humana é apontada como contribuinte para aproximadamente 20% dos incidentes e acidentes aeronáuticos (Licati, 2011), torna-se imperativo tratar desse tema, especialmente no contexto da aviação militar.

Ao comparar os esforços e impactos físicos envolvidos na RV em contraste com o FTD, fica evidente que a RV é mais exigente ao piloto. Essa diferença se torna ainda mais perceptível durante as missões de combate aéreo dentro do alcance visual, nas quais o piloto precisa realizar movimentos bruscos para manter o inimigo em seu campo de visão. Essa movimentação intensa, combinada com o efeito ilusório do ambiente virtual, pode gerar um conflito entre os sistemas sensoriais vestibulares e visuais, resultando em uma condição conhecida como *cybersickness* (Yildirim, 2019).

Em tais situações, Geršak, Lu e Guna (2020) relatam que os sintomas dessa condição são similares aos do enjoo por movimento estático, incluindo náuseas e tonturas. Além disso, conforme apontado por LaViola (2000), esses efeitos podem persistir por horas após a

exposição ao ambiente de RV. Em resposta a essa problemática, algumas bases militares estrangeiras adotaram políticas que proíbem os pilotos de realizar voos imediatamente após o treinamento em RV, visando garantir a segurança operacional.

No aspecto mental, Auer *et al.* (2021) destacam que a demanda cognitiva e física em simuladores de RV supera significativamente a demanda dos treinadores convencionais. Complementando essa análise, Silveira (2024) realizou um estudo comparativo dos efeitos adversos entre simuladores convencionais e equipamentos de RV, utilizando o *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) como método de avaliação. Esse instrumento padronizado, de preenchimento voluntário, quantifica a intensidade dos sintomas por meio de uma pontuação: quanto maiores os valores, mais severos os sintomas.

Após a exposição aos dispositivos de RV, observou-se um aumento expressivo nas pontuações do SSQ quando comparados aos FTDs. Um aspecto crítico identificado foi a evolução temporal dos sintomas: embora os valores tenham apresentado redução gradativa, permaneceram consideráveis mesmo após seis horas da exposição. Ademais, sabe-se que os sintomas de VRISE resultam em reduções significativas no tempo de reação e no desempenho cognitivo geral, o que pode comprometer as habilidades essenciais para atividades de alta complexidade (Kourtesis, 2019). Com isso, faz-se pertinente implementar uma gestão eficiente na transição para o voo real a fim de mitigar os riscos oriundos da participação na RV.

O uso de FTD nos Esquadrões de Caça ocorre de forma compassada e regulamentada por legislações específicas, que estabelecem não apenas a frequência e tipos de missões, mas também protocolos de segurança. Nessa ótica, destaca-se a exigência de um intervalo de descanso entre o treinamento no FTD e o voo real aos pilotos em formação operacional, visando minimizar os riscos de ocorrências aeronáuticas associadas à fadiga.

Entretanto, os equipamentos de RV não estão explicitamente categorizados como FFS ou FTD nas normativas atuais, resultando na ausência de diretrizes sobre o tempo de descanso pós-RV e de menções específicas para conscientização de condições como VRISE ou *cybersickness*, mesmo que esses sistemas sejam mais exigentes que os FTDs tradicionais.

Destarte, o cenário atual apresenta um paradoxo: enquanto os FTDs possuem protocolos de segurança consolidados, os treinamentos em RV – que são mais exigentes e induzem sintomas como náuseas, tontura e deterioração do tempo de reação – não possuem uma gestão operacional padronizada. A transição imediata de exercícios em RV para voos reais, sem intervalos adequados, pode culminar em riscos operacionais, uma vez que a *cybersickness* e a fadiga cognitiva alteram o estado de alerta e a capacidade de resposta crítica do piloto.

Portanto, é importante compreender que, sem a devida gestão de riscos, os efeitos negativos da participação na RV podem gerar impactos sérios à segurança operacional, reforçando assim a criação de um Programa de Gerenciamento de Treinamento em RV para aprimorar a gestão dos adestramentos dos pilotos de caça.

### **3 CONCLUSÃO**

A adoção da RV no treinamento de pilotos de caça representa um avanço promissor e segue alinhada à Diretriz do Comando da Aeronáutica, na “Concepção Estratégica Força Aérea 100”. Essa tecnologia provou-se capaz de superar as limitações dos simuladores convencionais presentes nos Esquadrões e proporcionar tanto imersão como realismo em cenários complexos de combate aéreo.

Nesse contexto, esse ensaio defendeu a criação de um Programa de Gerenciamento de Treinamento em RV para aprimorar a gestão dos adestramentos dos pilotos de caça. Esse Programa surge para potencializar os benefícios dessa tecnologia em harmonia com a segurança operacional. Por meio da configuração adequada dos equipamentos e a segmentação das sessões de treinamento é possível otimizar a adaptação dos pilotos ao ambiente virtual, garantindo um bom desempenho durante a missão e, conseqüentemente, maximizando a retenção do conhecimento.

Em ato contínuo, sabendo que a participação no ambiente de RV traz maiores exigências cognitivas e físicas do piloto do que os FTD convencionais e os sintomas do VRISE resultam em reduções significativas no tempo de reação e performance do piloto, podendo perdurar por horas após a exposição à RV, a implementação desse Programa irá contribuir para a segurança dos operadores ao estabelecer diretrizes claras quanto à transição do treinamento em RV para um voo real, garantindo que os pilotos estejam adequadamente aptos para as atividades operacionais, mitigando a incidência de ocorrências aeronáuticas por contribuição da fadiga humana.

Com as evidências práticas desse ensaio, o Programa poderá servir como referencial e alavancar a utilização da RV nas aviações de asas rotativas, transporte e instrução básica, otimizando a retenção do conhecimento em diferentes níveis e mantendo elevada a segurança das operações, colocando a FAB na vanguarda quanto ao adestramento em RV.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. R. B. *et al.* Virtual Reality for Medical Training. *In: SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA (SVR)*, 26., 2024, Manaus. **Anais estendidos do XXVI Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024, p. 15-16. Disponível em: [https://sol.sbc.org.br/index.php/svr\\_estendido/article/view/30435](https://sol.sbc.org.br/index.php/svr_estendido/article/view/30435). Acesso em: 25 mar. 2025.
- AUER, S. *et al.* Comparison between virtual reality and physical flight simulators for cockpit familiarization. *In: MENSCH UND COMPUTER (MuC)*, 21., 2021, Ingolstadt. **Proceedings of Mensch und Computer 2021**. New York: ACM, 2021, p. 378–392. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3473856.3473860>. Acesso em: 4 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria EMAER n° 1.597/GC3, de 10 de outubro de 2018. Aprova a reedição da Diretriz de Comando da Aeronáutica 11-45 “Concepção Estratégica – Força Aérea 100”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 180, p. 116-158, 15 out. 2018. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=3081>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- BUTT, W. R.; IDRIS, S.; AHMED, M. K. Study and analysis of virtual reality and its impact on the current era. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY TRENDS (ITT)*, 7., 2020, Abu Dhabi. **Seventh International Conference on Information Technology Trends (ITT)**. Abu Dhabi: IEEE, 2020, p. 20–25. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ITT51279.2020.9320776>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- GERŠAK, G.; LU, H.; GUNA, J. Effect of VR technology matureness on VR sickness. **Multimedia Tools and Applications**, [s. l.], v. 79, p. 14491–14507, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6969-2>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- INSINNA, V. For US Air Force pilots, the toughest training flights are going virtual. **Defense News**, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.defensenews.com/air/2020/08/25/for-air-force-pilots-the-toughest-training-flights-are-going-virtual/>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- KOURTESIS, P. *et al.* Validation of the Virtual Reality Neuroscience Questionnaire: Maximum Duration of Immersive Virtual Reality Sessions Without the Presence of Pertinent Adverse Symptomatology. **Frontiers in Human Neuroscience**, [s. l.], v. 13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00417>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- KUBE, L. C. Fisiologia da fadiga, suas implicações na saúde do aviador e na segurança na aviação. **Revista Conexão SIPAER**, Brasília, v. 10, n. 1, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://conexaosipaer.com.br/index.php/sipaer/article/view/61>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- LAVIOLA, J. J. A discussion of cybersickness in virtual environments. **ACM SIGCHI Bulletin**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 47-56, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/333329.333344>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- LICATI, P. A vez do FRMS. **Aero Magazine**, São Paulo, 2011. Disponível em: [https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/a-vez-do-frms\\_71.html](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/a-vez-do-frms_71.html). Acesso em: 31 mar. 2025.

LIN, J. W.; DUH, H. B. L. Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment. *In: IEEE VIRTUAL REALITY, 2002, Orlando, FL. Proceedings IEEE Virtual Reality 2002*. Washington: IEEE Computer Society, pp. 164–171. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/VR.2002.996519>. Acesso em: 27 mar. 2025.

SHARPLES, S. *et al.* Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. **Displays**, Amsterdã, v. 29, p. 58–69, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.005>. Acesso em: 31 mar. 2025.

SILVEIRA, T. M.; CALVO, A. P. Descrição do simulator sickness após exposição aos treinadores de voo da Academia da Força Aérea: um estudo em andamento. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO, 13., 2024, Taubaté. Anais XIII Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento – XIII CICTED 24*. Taubaté: Even3, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/xiiicicted24/948300-descricao-do-simulator-sickness-apos-exposicao-aos-treinadores-de-voo-da-academia-da-forca-aerea--um-estudo-em-an/>. Acesso em: 31 mar. 2025.

YILDIRIM, C. Cybersickness during VR gaming undermines game enjoyment: A mediation model. **Displays**, Amsterdã, v. 59, p. 35–43, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2019.07.002>. Acesso em: 18 mar. 2025.